IEEESTEC

17th Student projects conference

Organized By:
EESTEC LC Niš
IEEE Student Branch Niš
Faculty of Electronic Engineering Niš

With the cooperation of:
IEEE Serbia and Montenegro Section
IEEE Electron Devices/Solid-State Circuits Chapter
IEEE Microwave Theory and Technology Society Chapter
IEEE WIE Affinity Group
IEEE Computational Intelligence Chapter
Serbian Academy of Sciences and Arts (SASA), Branch Niš
Ministry of Science, Technological Development and Innovation

ISBN: 978-86-6125-281-5

IEEESTEC Student Projects Conference, November 28, 2024, Niš, Serbia
Proceedings of Papers

Publisher:
Faculty of Electronic Engineering, Niš
P.O.Box 73, 18000 Niš
http://www.elfak.ni.ac.rs

Chairman:
Danijel Danković

Vice Chairman:
Miloš Marjanović

Editors of Proceedings:
Vera Marković
Danijel Danković
Zlatica Marinković
Miloš Marjanović
Biljana Stošić
Emilija Živanović

Secretary:
Jana Vračar Zlatković
Aleksandra Stojković
Nikola Mitrović
Milan Stojanović
Sandra Veljković
Teodora Popović
Stefan Nikolić
Anđela Jovanović
Nevena Veselinović
Lana Tasić
Nikola Stojiljković
Marija Petrović
Neda Branković
Sandra Miljković
Ksenija Pešić

Technical Editors:
Miloš Marjanović
Danijel Danković
Emilija Živanović

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.3(082)
004(082)

IEEESTEC Student Project Conference (17 ; 2024 ; Niš)
IEEESTEC 17th Student Project Conference, [November 28, 2024, Niš] : [proceedings of papers] / organized by EESTEC LC, Niš ... [et al.] ; [editors Vera Marković ... [et al.]]. - Niš : Faculty of Electronic Engineering, 2024 (Niš : Grafika galeb). - 440 str. : ilustr. ; 30 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst štampan dvostubačno. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-6125-281-5

а) Електротехника -- Зборници б) Рачунарство -- Зборници

COBISS.SR-ID 156107785

Printed by: Preduzeće za grafičku, izdavačku i trgovinsku delatnost Grafika galeb doo, Niš, 2024.
Circulation: 100 copies

Reviewers:

1. Nikola Mitrović
2. Miloš Marjanović
3. Milan Stojanović
4. Aleksandra Stojković
5. Sandra Veljković
6. Neda Branković
7. Jana Vračar Zlatković
8. Jelena Jovanović
9. Vladimir Sibinović
10. Ksenija Pešić
11. Emilija Živanović
12. Milena Frtunić Gligorijević
13. Filip Filipović
14. Vladimir Mitić
15. Milan Simić
16. Goran Miljković
17. Nenad Petrović
18. Marija Milijić
19. Aleksandar Milenković
20. Nikola Stojanović
21. Nikola Vučić
22. Novak Radivojević
23. Jelena Nedeljković
24. Milica Stojanović
25. Ivana Đorđević
26. Vojkan Davidović
27. Anđela Jovanović
28. Natalija Ivković
29. Isidora Jovanović
30. Anđela Đorđević
31. Mina Nikolić
32. Nevena Tufegdžić
33. Stefan Stankov
34. Danijel Danković
35. Nevena Veselinović
36. Lana Tasić
37. Aleksandar Pavlovski
38. Nikola Krstić
39. Vojkan Kostić
40. Marija Milošević
41. Matija Špeletić
42. Vukadin Drašković
43. Jelena Petrović
44. Nemanja Perić
45. Igor Jovanović
46. Stefan Ilić
47. Jelena Anastasov
48. Biljana Stošić
49. Dragana Vukić
50. Dunja Đorđević
51. Nenad Radivojević
52. Mirjana Perić
53. Oliver Vojinović
54. Aneta Prijić
55. Veljko Stošić

Table of contents:

Realizacija prototipa za merenje napona i frekvencije u trofaznom sistemu primenom mikrokontrolera LGT8F328P 1
Detekcija tona određene frekvencije primenom autokorelacione funkcije 5
Merenje nadmorske visine korišćenjem MEMS senzora pritiska 9
Brojač koraka realizovan pomoću ADXL34 akcelerometra 13
Projektovanje buck konvertora korišćenjem diskretnih komponenata i STM32 ARM mikrokontrolera 17
Projektovanje i realizacija sistema za upravljanje robotom na točkovima korišćenjem STM32 ARM mikrokontrolera 21
Projektovanje sistema za kontrolu pametnog kontejnera pomoću Nucleo-64 25
Projektovanje sistema za kontrolu RGB svetla 29
Projektovanje kontrolera saobraćajne raskrsnice za FPGA čip 33
Sistem za kontrolu automobilskih brisača pomoću STM32 ARM mikrokontrolera i servo motora 37
Projektovanje sistema za kontrolu rada DC motora korišćenjem L293D integrisanog kola 41
Netrunners „Vision One“ 45
Primena STM32 ARM mikrokontrolera za podešavanje i merenje temperature i vlažnosti vazduha 49
Realizacija semafora korišćenjem Zybo Z7-10 FPGA razvojnog okruženja 55
Korišćenje STM32F103 Blue Pill-a za kontrolu LED svetiljke 59
Diabetes Prediction Using Machine Learning 63
Emulacija sistema za parkiranje zasnovana na ARM mikrokontroleru 67
Projektovanje štampane ploče GSM komunikacionog sistema 73
Pametni čuvar bašte 79
Practical Realization of Adjustable Signal Generator Using Analog Devices 83
Određivanje i upoređivanje spektra RGB dioda 89
Simulacija upravljanja sistemom za sintezu hloroforma primenom SCADA sistema 93
Projektovanje štampane ploče za dečiju igračku za detekciju pokreta 97
Mini CNC ploter baziran na Arduinu 103
Projektovanje kontrolera saobraćajne raskrsnice korišćenjem FPGA tehnologije 107
Kontrola grešaka primenom konvolucionih kodova 113
Projektovanje i testiranje luksmetra 117
Projektovanje razvojnog okruženja baziranog na STM32 mikrokontroleru 121
PIN dioda kao senzor rendgenskog zračenja 129
Uticaj jačine kerme na osetljivost PIN fotodiode pri izlaganju rendgenskom zračenju 133
Realizacija semafora korišćenjem Zybo Z7-10 FPGA razvojnog okruženja 137
Projektovanje dimera sijalice korišćenjem STM32 ARM mikrokontrolera 141
Razvoj sistema za automatsko upravljanje staklenika u Altium Designer-u 145
Senior SOS: Sistem za detekciju pada 149
Edukativne pločice za realizaciju vežbi na Katedri za mikroelektroniku 151
Detektor mobilne komunikacije 157
Samonapajajući IoT sistem za praćenje popunjenosti kontejnera za smeće 161
Projektovanje signal generatora u programu Altium Designer 165
Ispitivanje pouzdanosti elektrolitskog kondenzatora niske impedanse u kontrolisanim klimatskim uslovima 169
Analiza funkcionisanja MEMS kapacitivnog senzora pritiska primenom softverskog paketa ANSYS 177
Analiza temperaturne zavisnosti rada kola za regulaciju napona sa Zenerovom diodom 181
Kalibracija fotootpornika 185
Uređaj za podešavanje ambijentalnih uslova prostorije 189
Projektovanje luksmetra 195
Spektralni odziv fotootpornika 199
Sistem za daljinsko upravljanje realizovan korišćenjem infracrvene komunikacije 203
Transportna linija za brojanje i sortiranje uz korišćenje IoT tehnologija 209
Testiranje hibridnog modula za kontrolu LED lampi i napajanja iz kategorije „SLOIN slim“ 213
Realizacija i testiranje radio identifikacionog sistema korišćenjem MFRC522 219
Design and Practical Realization of The Snake Game Using Arduino Nano 225
Kalibracija fotodiode 231
3D skener pomoću senzora udaljenosti zasnovan na Arduino platformi 235
Interaktivni peščani sat – inovativna interpretacija vremena kroz Arduino tehnologiju 239
Pametni sistem za praćenje kvaliteta vazduha i kontrolu okruženja 243
ERASMUS+ program mobilnosti između Univerziteta u Nišu i Univerziteta u Haenu 249
Primenjena statistika u ORACLE bazama podataka 251
Program za rešavanje Hanojskih kula u programskom jeziku Python 255

Bluetooth kosilica 259
Kalibracija RF oslabljivača 261
Stabilizacija drona pomoću MPU6050 263
TerraTrack – terenski lokator i informator 267
Hiding MBR Formatted Storage Medium's Partition on Linux-based Operating Systems 271
Razvoj sistema za praćenje i kontrolu bezbednosti u Industriji 4.0 275
Sistem za kontrolu semafora na raskrsnici implementiran uz pomoć VHDL jezika za opis hardvera 279
Enigma Machine on an FPGA Board 283
Šmitov komparator sa operacionim pojačavačima 287
Pomagalo za slepe ljude 291
Merenje i prikaz rastojanja korišćenjem FPGA tehnologije 295
Unapređenje dizajna kratkotalasne amaterske radiostanice za prenos glasa i digitalnih signala 299
Projektovanje sistema za prikaz fotografija korišćenjem ST7735 TFT displeja 305
Projektovanje sistema parking rampi 313
Projektovanje layouta CMOS invertora korišćenjem alata otvorenog koda Glade 317
Analiza pouzdanosti gasnih odvodnika proizvođača Littelfuse pri različitim radnim naponima 321
„IEEE Region 8 Student and Young Professional" kongres 2024 325
Projektovanje i praktična realizacija rotirajućeg postolja za 3D skeniranje 329
Primena Creality Ferret 3D skenera za prostorno skeniranje objekata 333
Zdravoljub – 3D štampani uređaj sa senzorima za proveru medicinskih parametara 337
Poređenje dva načina realizacije LED ruleta 341
Spektralni odziv fotodiode 345
Projektovanje sistema za kontrolu LED osvetljenja 349
Poboljšanje uspešnosti simulacije depozicije energije prilikom pojave polarne svetlosti paralelnom implementacijom modela rasejanja elektrona 353
Grafička simulacija gorenja tela predstavljenih trougaonim mrežama 357
Projektovanje indikatora napredovanja korišćenjem ARM razvojnog okruženja 361
Generisanje slikovnih CAPTCHA testova pomoću kompozitnih generativnih adverserijalnih mreža 367
Agent treniran reinforcement learning-om za Tribes 371
Poređenje HTML stranica koristeći graph2vec model 375
Optimizacija performansi prikazivanja scena 3D gausovskog slaganja unaprijednim smanjenjem nivoa detalja na osnovu udaljenosti 379
Projektovanje fazi regulatora za automatizaciju sistema pametne kuće 383
Realizacija interfejsa predajnog modula fotofona 387
Interfejs za FM prijemnik sa mikrokontrolerom 391
LCD displej za FM radio prijemnik 395
Gajgerov brojač 399
Projektovanje i implementacija štampane ploče u robotskom sistemu za praćenje linije 403
PLC invertor napona 407
Promocija Fizike kroz saradnju Elektronskog fakulteta u Nišu i gimnazije „Bora Stanković" iz Niša 411
Praktična realizacija kontrole pristupa pomoću Arduino UNO razvojnog okruženja 417
Regulacija nivoa tečnosti pomoću Arduina 421
Model semafora 425
Sistem za regulaciju osvetljenja u prostoriji 429
Merenje temperature i vlažnosti vazduha 433
Verifikacija SPI2AHB bridge-a primenom UVM metodologije 437

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.001L
Original scientific paper

Realizacija prototipa za merenje napona i frekvencije u trofaznom sistemu primenom mikrokontrolera LGT8F328P

Đorđe Lazarević
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
djordje.lazarevic@elfak.ni.ac.rs
ORCID: N/A

Uroš Ilić
Katedra za energetiku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
uros.ilic@elfak.ni.ac.rs
ORCID: N/A

Jovan Ćirić
Toplička akademija strukovnih studija
Prokuplje, Srbija
joca.ciric@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu je prikazana praktična realizacija prototipa za merenje napona i frekvencije u trofaznom sistemu primenom mikrokontrolera LGT8F328P. Takođe su prikazani signali sa naponskih senzora i optokaplera, rezultat merenja napona i frekvencije i vrednosti merenja sa komercijalno dostupnih instrumenata.**

Ključne reči—merenje, napon, frekvencija, trofazni sistem

I. UVOD

Merenje naizmeničnog napona je ključni aspekt u mnogim električnim i elektronskim merenjima, omogućavajući preciznu analizu i kontrolu električnih sistema. Postoje različiti načini za određivanje vrednosti naizmeničnog napona. Napon se najčešće meri korišćenjem različitih tipova senzora kao što su naponski razdelnici, senzori napona bazirani na Hall-ovom efektu i senzori u vidu izolacionih naponskih transformatora [1]. Uređaji koji se koriste su voltmetri, osciloskopi i digitalni multimetri koji imaju različite nivoe tačnosti. Za primenu u mernim instrumentima za merenje napona (voltmetrima), za merenje u distributivnim mrežama, kao i u elektronskim uređajima najčešće se koriste naponski razdelnici i to za svaku fazu posebno ili izolacioni naponski transformatori. Takođe, važan parametar koji se meri uz merenje faznog i međufaznog napona je merenje frekvencije napona. Sve tri faze su u trofaznom sistemu pomerene za 120° pri čemu je frekvencija svih faznih napona jednaka. Za određivanje vrednosti frekvencije naizmeničnog napona u trofaznom sistemu najčešće je dovoljno merenje frekvencije jedne faze. Metoda koja se koristi za određivanje frekvencije napona je detekcija prolaska naizmeničnog napona kroz nulu. U ove svrhe je moguće koristiti izolacioni step-down transformator ili najčešće optokapler koji je povezan na pin mikrokontrolera ili nekog mikroračunara na kome je moguće podesiti hardverski prekid i detektovati promenu. Savremeni merni instrumenti su realizovani tako da pored napona mere i ostale parametre električne energije kao sto su struja, aktivna, reaktivna i prividna snaga a takođe i potrošnju energije, harmonike i ostale veličine. Na slici 1. je prikazan savremeni merni uređaj koji se pored merenja napona koristi i za merenje ostalih parametara električne energije, mrežni analizator SOCOMEC DIRIS A60 [2].



Slika 1. Mrežni analizator Diris A60 firme Socomec.

II. MERENJE NAIZMENIČNOG NAPONA I FREKVENCIJE

Merenje napona u trofaznim sistemima uključuje analizu faznih i međufaznih napona, kao i izračunavanje efektivnih vrednosti (RMS - Root Mean Square) za svaki fazni napon. Merenjem trofaznog napona mogu se utvrditi potencijalne neuravnoteženosti u sistemu koje mogu dovesti do neefikasnog rada opreme ili oštećenja. TRUE RMS merenje predstavlja tačnu metodu za izračunavanje efektivne vrednosti napona, naročito kada su talasni oblici signala izobličeni. U globalu, RMS vrednost faznog napona predstavlja kvadratni koren srednje vrednosti kvadrata trenutnog napona u toku jedne periode:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 \, dt} \qquad (1)$$

Određivanje True RMS vrednosti nazimeničnog napona u diskretnim sistemima koji sadrže mikrokontrolere ili mikroprocesore sa analogno-digitalnim konvertorima se vrši primenom izraza koji omogućava aproksimaciju baziranu na konačnom broju uzoraka [3]:

$$V_{TRMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \ldots + V_n^2}{n}} \quad (2)$$

Izračunavanje međufaznog napona se u trofaznom sistemu koji je simetričan vrši na sledeći način:

$$V_{LL} = Vf\sqrt{3} \quad (3)$$

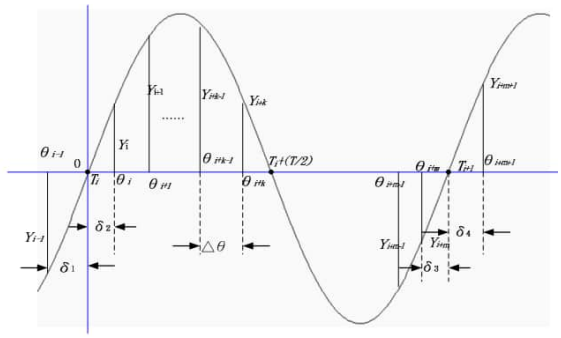
Važno je napomenuti da je izračunavanje međufaznog napona u trofaznom sistemu u skladu sa izrazom 3 moguće isključivo u slučaju trofaznog simetričnog sistema što u praksi najčešće nije slučaj. U uređajima u kojima se primenjuju mikrokontroleri međufazni naponi u trofaznom sistemu se izračunavaju kao:

$$V_{12} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2\cos(120^\circ)} \quad (4)$$

$$V_{23} = \sqrt{V_2^2 + V_3^2 - 2V_2V_3\cos(120^\circ)} \quad (5)$$

$$V_{31} = \sqrt{V_3^2 + V_1^2 - 2V_3V_1\cos(120^\circ)} \quad (6)$$

Za određivanje frekvencije naizmeničnog signala najčešće korišćena metoda je zero-crossing. Metoda izračunavanja je jednostavna i omogućava brzo izvršavanje bez korišćenja kompleksnih matematičkih formula. Za jedan ciklus naizmeničnog signala, period između dve tačke je polovina periode signala. Frekvencija signala se dobija merenjem vremena prolaska kroz nulu između dve tačke i računanjem recipročne vrednosti Na slici 2 je prikazan naizmenični signal sa naznačenim tačkama gde signal prolazi kroz nulu [4].



Slika 2. Naizmenični signal sa prolaskom kroz nulu.

Frekvencija signala se računa kao:

$$f = \frac{1}{T_{i+1} - T_i} \quad (7)$$

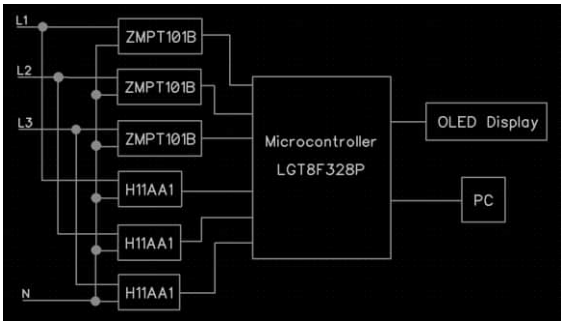
III. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Prototip za merenje napona i frekvencije u trofaznom sistetmu baziran je na razvojnom okruženju sa 8-bitnim mikrokontrolerom LGT8F328P [5] proizvođača LogicGreen Technologies. Ovaj mikrokontroler je vrlo sličan mikrokontroleru ATMega328p koji se koristi na Arduino razvojnim pločama ali sa poboljšanim performansama u smislu višeg radnog takta do 32MHz, poseduje anlogno-digitalni konvertor sa rezolucijom od 12 bita, 8-bitni digitalno analogni konvertor i 16-bitnu jedinicu za ubrzanje digitalne aritmetike (DSC) koja podržava direktan pristup 16-to bitnim podacima. Takođe ovaj mikrokontroler ima integrisani diferencijalni pojačavač sa programabilnim pojačanjem što eliminiše upotrebu operacionog pojačavača kao nezavisne komponente za pojačanje signala sa senzora. Veća rezolucija analogno digitalnog konvertora omogućava preciznije merenje napona dovedenog na analognim ulazima mikrokontrolera. Za razvoj programa za mikrokontroler je korišćeno Arduino IDE razvojno okruženje u kome je mikrokontroler u potpunosti podržan. Uzorkovanje napona za svaku fazu pojedinačno je vršeno korišćenjem naponskih transformatora strujnog tipa ZMTP101B [6] sa pripadajućim otpornicima od 820K i 100R. Na slici 3 je prikazan korišćeni naponski transformator.



Slika 3. Naponski transformator strujnog tipa ZMTP101B.

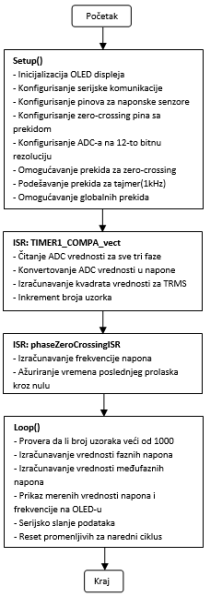
Za detekciju prolaska faze kroz nulu je korišćen optokapler H11AA1 [7] sa odgovarajućim otpornicima za ograničenje struje takođe za sve tri faze. Signal sa naponskih transformatora se vodi na tri analogna ulaza mikrokontrolera dok se izlaz sa optokaplera vodi na tri digitalna pina od kojih je u ovom slučaju jedan iskorišćen za merenje frekvencije. Obrada podataka se vrši u mikrokontroleru i rezultati merenja faznih, međufaznih napona i frekvencije se preko I2C interfejsa prikazuju na OLED displeju 0.96 inča. Takođe, podaci se šalju serijski preko UART-a tako da je moguće podatke dobijati preko USB porta na računaru preko odgovarajućeg konvertora i iščitavati njihovu vrednost na serijskom terminalu a takođe i vršiti njihovu softversku obradu po potrebi. Blok dijagram sistema za merenje napona i frekvencije prikazan je na slici 4.



Slika 4. Blok dijagram sistema za merenje napona i frekvencije.

Proces merenja napona počinje uzorkovanjem signala sa naponskih senzora preko analognih pinova mikrokontrolera i analogno-digitalnom konverzijom a nakon toga se vrši proračun TRUE RMS vrednosti napona. U isto vreme zahvaljujući podešenom hardverskom interaptu na pinu mikrokontrolera vrši se detekcija prolaska signala kroz nulu, koristi tajmerski prekid i vrši proračun frekvencije napona i

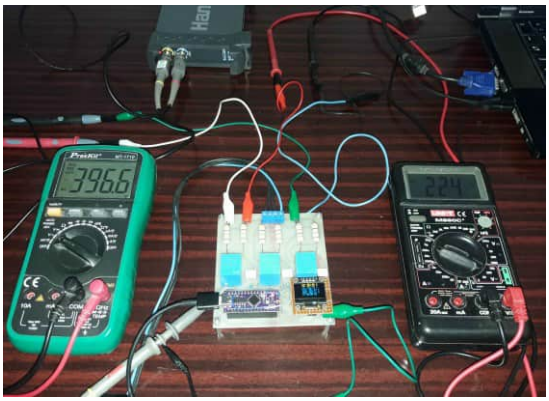
na kraju, prikaz rezultata merenja na displeju i serijsko slanje podataka preko UART-a. Uprošćeni algoritam po kome se vrši merenje napona i frekvencije u mikrokontroleru odnosno po kome se izvršava zadati program je prikazan na slici 5.



Slika 5. Algoritam za merenje napona i frekvencije.

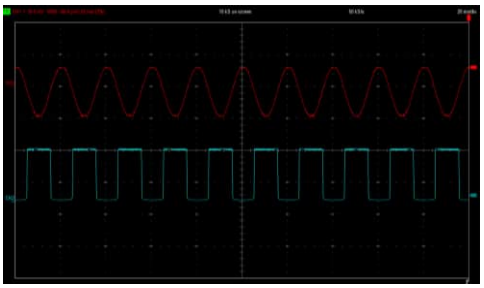
IV. Izrada prototipa i provera rada sistema

Prototip uređaja je realizovan na eksperimentalnoj štampanoj ploči projektovanoj u softveru DipTrace [8] u kome je takođe projektovana i električna šema sistema. Povezivanje uređaja na naizmenični napon se vrši preko klema na štampanoj ploči dok je povezivanje sa računarom i ujedno napajanje sistema omogućeno preko USB-a na razvojnom okruženju Mini EVB. Sistem je projektovan da radi pri naponu od 3,3V tako da je na okruženju izvršena određena modifikacija kako bi se ispunio taj uslov. Za upoređivanje izmerenog faznog i međufaznog napona i frekvencije sa izrađenim prototipom korišćena su i dva dodatna multimetra i osciloskop. Za merenje faznog i međufaznog napona su korišćeni multimetri dok je za merenje frekvencije korišćen osciloskop u vidu akvizicijske kartice sa prikazom i obradom signala na računaru. Prototip sistema i njegovo povezivanje, sa merenim vrednostima faznog i međufaznog napona na multimetrima, je prikazan na slici 6.



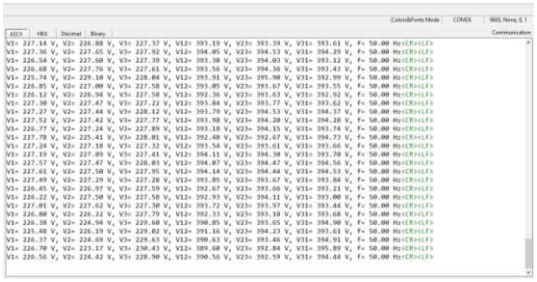
Slika 6. Prototip sistema i povezivanje u kolu.

Na izlazu naponskog senzora odnosno naponskog transformatora i na optokapleru su povezane sonde osciloskopa radi analize naizmeničnog signala. Signal sa osciloskopa sa naponskog transfomatora i optokaplera koji se koristi za zero-crossing na prvoj fazi je prikazan na slici 7.



Slika 7. Prikaz signala sa osciloskopa sa naponskog transformatora i optokaplera za prvu fazu.

Na računaru su preko softvera Docklight [9] prikazani rezultati merenja. Na slici 8 su prikazani rezultati merenja faznog, međufaznog napona i frekvencije.



Slika 8. Rezultati merenja faznih napona, međufaznih napona i frekvencije na serijskom portu.

Rezultati merenja se odnose na fazne napone V1, V2 i V3, na međufazne napone V12, V23 i V31 i na frekvenciju napona f i oni se preko serijskog porta prikazuju na terminalu svake sekunde. Tolerancija pojedinih komponenti, radna temperatura i mnogi drugi faktori mogu uticati na preciznost merenja. Kada su u pitanju osnovna merenja napona, opseg tačnosti od ±1% do ±5% je prihvatljiv u praksi.

V. Zaključak

Predloženi prototip uređaja za merenje napona i frekvencije je veoma jednostavan za primenu u raznim sistemima. Takođe, uz nisku cenu i minimalno unapređenje sistema je moguće ovaj prototip proširiti ili dodati uređaju koji već vrši merenje struje i drugih parametara i rezultate merenja koristiiti za dalju analizu i proračun. Prototip poseduje I2C i UART komunikacione portove tako da ga je veoma lako povezati na drugi mikrokontrolerski sistem ili na računar.

Literatura

[1] Ž. Despotović, “Merenje napona i struje u kolima energetske elektronike”, 2016. Dostupno na: https://www.viser.edu.rs/download/681.

[2] Diris A60, Multifunction meters - PMD. Dostupno na: https://docs.rs-online.com/b6b7/A700000007820997.pdf.

[3] T. Wildi, “Electrical Machines, Drives and Power Systems”, Epearson Education, Upper Saddle River, New Jersey, 6th edition.

[4] Chen, Y. C., & Shen, H.Y., & Chen, C.H. (2016). Low Cost Arduino DAQ Development and Implementation on an Android App for

Power Frequency Measurement. International Symposium on Computer, Consumer and Control, pp. 99-102, 2016.

[5] LGT8FX8P Series - EFLASH Based MCU Overview v1.0.1, LogicGreen Technologies Co., LTD. Dostupno na: https://wiki.ocrobot.com/lib/exe/fetch.php?media=ocrobot:alpha:8f328p-u:lgt8f88p_lgt8f168p_lgt8f328p_translated.pdf

[6] ZMPT101BCurrent-type Voltage Transformer. Dostupno na: https://5nrorwxhmqqijik.leadongcdn.com/ZMPT101B+specification-aidijBqoKomRilSqqokpjkp.pdf

[7] Optocoupler, Phototransistor Output, AC Input, WithBaseConnection. Dostupno na: https://www.vishay.com/docs/83608/83608.pdf

[8] DipTrace, Schematic and PCB design software, Dostupno na:https://diptrace.com/

[9] Docklight, RS232 Terminal/Monitor. Dostupno na: https://docklight.de

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.005P
Original scientific paper

Detekcija tona određene frekvencije primenom autokorelacione funkcije

Aleksandar Panić
Elektronika i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
apanic@elfak.rs
ORCID: N/A

Katarina Stojević
Elektronika i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
katarina.stojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu je opisana realizacija sistema za detekciju tona određene frekvencije upotrebom *Nucleo* razvojnog sistema, mikrofona sa elektretom i LE diode za indikaciju detekcije tona. Detekcija tona je izvršena softverskom implementacijom autokorelacione funkcije.**

Ključne reči—autokorelacija, detekcija tona

I. Uvod

Zvuk spada u grupu najkorišćenijih signala za prenos informacija. Primer prenosa informacije pomoću zvuka sa kojim se svakodnevno susrećemo je verbalna komunikacija. Pored verbalne komunikacije, zvuk je signal od značaja u velikom broju sistema veštačke inteligencije za detekciju govora, u audio sistemima, medicinskim sistemima itd. Sa ciljem da se izvrši precizna detekcija zvučnog signala od značaja za određenu aplikaciju, najčešće se koristi kombinacija hardverski realizovanih filtara i softverski implementiranih algoritama. U nastavku rada će biti opisan sistem za detekciju tona određene frekvencije koji koristi algoritam u čijoj je osnovi izračunavanje autokorelacione funkcije. Frekvencija tona koji sistem treba da detektuje se zadaje u kodu programa.

II. Autokorelacija

Autokorelacija pokazuje sličnost (stepen poklapanja) signala $x(t)$, sa njegovom kopijom zakašnjenom u vremenu za proizvoljni pomeraj τ. U analognom domenu, autokorelacija je definisana sledećim izrazom:

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)x(t+\tau)dt. \qquad (1)$$

Autokorelacija je funkcija τ, tj. kako se menja τ, tako se menja i vrednost autokorelacione funkcije. Neka je signal sinusnog oblika periode T. Sve periode sinusnog signala su identične. Ako podesimo $\tau = T$, tada će zakašnjena kopija signala biti identična samom signalu i vrednost autokorelacije će biti najveća. Isti zaključak važi i ako je τ celobrojni umnožak T. Za svako drugo τ, autokorelacija će imati manju vrednost. Ukoliko signal nije periodičan, tada se ni za jedno τ ne može dobiti maksimalna autokorelacija, jer uzastopni uzorci signala više nisu međusobno jednaki. U diskretnom domenu, autokorelacija je definisana izrazom:

$$R_{xx}(m) = \frac{1}{L}\sum_{k=0}^{L-1} x[k]x[k+m], \quad m \geq 0, \qquad (2)$$

u kome su sa $x[k]$ i $x[k+m]$, označeni k-ti i $(k+m)$-ti odmerak kontinualnog signala $x(t)$. Princip detekcije tona primenom autokorelacije se sastoji u tome da se računa $R_{xx}(T)$, ili $R_{xx}(kT)$, gde je k ceo broj, i dobijeni rezultat poredi sa unapred definisanim graničnim nivoom.
Za potrebe detekcije tona u zvučnom signalu, autokorelacija se može realizovati u tri koraka. Prvi korak podrazumeva baferovanje $(L+m)$ odmeraka, pri čemu L predstavlja trajanje uzorka zvučnog signala, dok je sa m označen pomak autokorelacije. U drugom koraku je potrebno odrediti srednju vrednost baferovanih odmeraka, primenom izraza:

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} x[k], \qquad (3)$$

u kome je sa μ označena srednja vrednost, dok je sa N označen ukupan broj odmeraka, odnosno $(L+m)$ odmeraka. U završnom koraku se vrši izračunavanje autokorelacione funkcije po formuli:

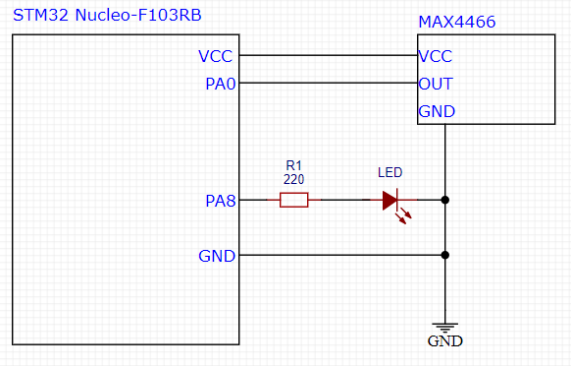
$$R_{xx}(m) = \frac{1}{L}\sum_{k=0}^{L-1} (x[k] - \mu)\,(x[k+m] - \mu). \qquad (4)$$

Za pravilnu detekciju tona, neophodno je ispoštovati određena pravila. Prvo pravilo nameće odmeravanje signala frekvencijom koja je bar dva puta veća od frekvencije signala koji želimo da detektujemo, a koja je ujedno celobrojni umnožak frekvencije željenog signala. Drugo pravilo je da pomak autokorelacije, m, mora da bude jednak pozitivnom celobrojnom umnošku periode tona koji želimo da detektujemo. Poslednje pravilo koje je neophodno ispoštovati je da trajanje uzorka zvučnog signala, L, mora da bude jednako ili duže od pomaka autokorelacije, m.

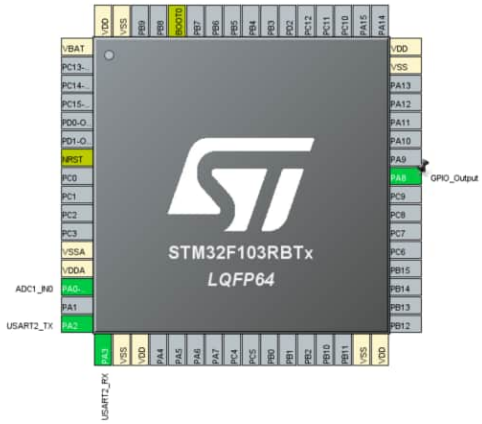
III. Realizacija

Projekat je realizovan upotrebom razvojnog sistema *STM32 Nucleo-64* sa *STM32F103RB* mikrokontrolerom [1], mikrofonskog modula sa *MAX4466* pojačavačem [2] i LE

diode. Električna šema sa povezanim komponentama je prikazana na slici 1, dok je na slici 2 prikazana konfiguracija pinova razvojnog sistema. Za konfiguraciju pinova je korišćeno okruženje *STM32CubeMX* [3].



Slika 1. Električna šema projekta realizovana u *EasyEDA* okruženju [4].



Slika 2. Konfiguracija pinova u *STM32CubeMX* okruženju [3].

Princip rada je jednostavan - zvučni signal koji se detektuje pomoću mikrofonskog modula se odmerava u ekvidistantnim vremenskim tačkama i na taj način se dobijaju odmerci zvučnog signala koji se pomoću AD konvertora konvertuju iz analognog u digitalni oblik i skladište u bafer. Odmeravanje se inicira prekidom tajmera. Dužina bafera je proizvoljna, ali se moraju ispoštovati prethodno navedena ograničenja. Na slici 3 je prikazan deo koda u kojem su definisane vrednosti promenljivih koje smo koristili u programu. Ukupna dužina bafera je smeštena u promenljivoj *N*, dok su pomak (*offset*) autokorelacije i broj odmeraka u uzorku definisani u promenljivama *m* i *L*, respektivno. Za pisanje programa je korišćeno okruženje *Keil MDK* [5].

```
const float THRESHOLD_VALUE = 6800000;
const int fc = 440; //frekvencija tona koji treba detektovati
const int c = 18; //odnos frekvencije odmeravanja i frekvencije tona koji treba detektovati (broj odmeraka po periodi)
const int m = 6 * c; //offset
const int L = 148; //broj odmeraka u uzorku

const int N = m + L; //ukupna duzina bafera

int buffer[2][N]; //dva bafera za odmerke
volatile int s = 0; //indeks bafera za upis odmeraka
volatile int p = 1; //indeks bafera za procesiranje odmeraka
int k = 0; //indeks tekuceg odmerka u baferu
volatile bool newFrame = false; //indikacija napunjenog bafera za odmerke
char bafer[20];

float DC; //srednja vrednost
float autocor_val; //vrednost autokorelacione funkcije
```

Slika 3. Definicije potrebnih promenljivih.

Nakon popunjavanja jednog bafera, kako ne bismo čekali da odmeravanje signala ponovo počne tek po završetku obrade prethodno prikupljenog skupa odmeraka, definisan je još jedan bafer. Uloga promenljive *s* (*store samples*) je identifikacija bafera u koji je potrebno smestiti nove odmerke, dok je promenljivom *p* (*process*) označen pun bafer u kome se nalaze odmerci koje je potrebno obraditi. Na slici 4 je prikazan deo koda koji se odnosi na upis novog odmerka u bafer, proveru popunjenosti bafera, eventualnu izmenu vrednosti promenljivih *p* i *s* u slučaju da je bafer u koji su odmerci prethodno smeštani popunjen i postavljanje indikatora *newFrame*.

```
void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef* hadc)
{
/* Prevent unused argument(s) compilation warning */
  UNUSED(hadc);
/* NOTE : This function should not be modified. When the callback is needed,
function HAL_ADC_ConvCpltCallback must be implemented in the user file.
*/
  buffer[s][k] =HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
  k = k + 1;
  if(k >= N){
    k = 0;
    //zamena bafera:
    s = 1 - s;
    p = 1 - p;
    newFrame = true;
  }
}
```

Slika 4. Funkcija za skladištenje novog odmerka i indikaciju popunjenosti bafera.

Kada se bafer popuni novim odmercima, indikatorska promenljiva *newFrame* dobija vrednost *true*, čime se naznačava da je bafer popunjen i da je potrebno izvršiti obradu novog niza odmeraka u glavnoj programskoj petlji. Prvi korak prilikom obrade je računanje srednje vrednosti koja se smešta u promenljivu *DC*. Naravno, pre izračunavanja srednje vrednosti za tekući niz odmeraka, potrebno je postaviti vrednost promenljive *DC* na 0, kako ne bismo razmatrali DC vrednost za prethodni niz odmeraka. Nakon izračunavanja srednje vrednosti, sledi izračunavanje autokorelacione funkcije i smeštanje izračunate vrednosti u promenljivu *autocor_val*. Implementacija ovih koraka je jednostavna i prikazana je na slici 5.

```
    DC = 0.;


    if(newFrame == true){


    //racunanje DC komponente
      for(int i=0;i<N;i++){
        DC += buffer[p][i];
      }
      DC = DC / N;
    }

    autocor_val = 0.;

    //racunanje vrednosti autokorelacione funkcije
    for(int i=0; i<L; i++){
      autocor_val += ((buffer[p][i]) - DC) * ((buffer[p][i+m]) - DC);
    }
    autocor_val /= L;
```

Slika 5. Računanje srednje vrednosti i vrednosti autokorelacije.

U zavisnosti od toga da li je izračunata vrednost autokorelacione funkcije veća od definisane granične vrednosti ili ne, na pin na koji je povezana LE dioda se postavlja odgovarajuća logička vrednost. U slučaju da je dobijena vrednost veća od granične vrednosti, potrebno je upaliti LE diodu, odnosno postaviti logički nivo 1 na pin na koji je dioda povezana, čime se postiže vizuelna indikacija detekcije tona. U suprotnom, na pin na koji smo povezali diodu postavljamo logičku vrednost 0. Na kraju, potrebno je postaviti vrednost promenljive *newFrame* na *false*, jer je

obrada podataka iz bafera završena. Deo koda vezan za pobudu diode je prikazan na slici 6.

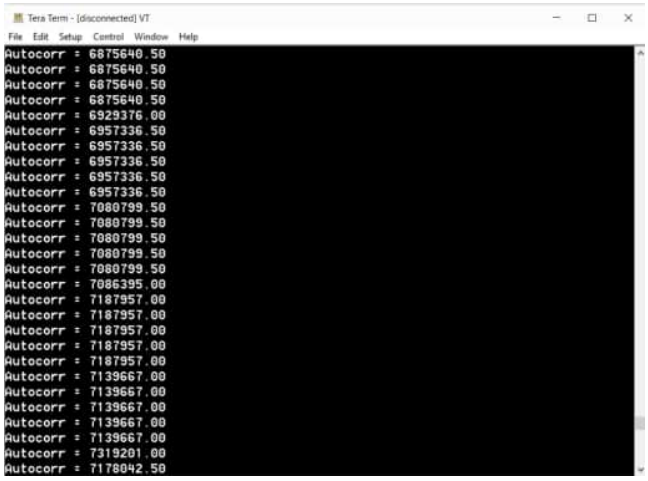
```
159     //pobuda diode
160     if(autocor_val >= THRESHOLD_VALUE){
161       HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, 1);
162     }
163     else{
164       HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, 0);
165     }
166
167     newFrame = false; //brisanje flega
```

Slika 6. Deo koda za pobudu diode.

Definisanje granične vrednosti se vrši eksperimentalno, posmatranjem vrednosti autokorelacione funkcije za tonove različitih frekvencija. Granična vrednost je u kodu definisana promenljivom *TRESHOLD_VALUE*. U našem slučaju, za određivanje granične vrednosti smo vršili očitavanje vrednosti autokorelacione funkcije slanjem podataka iz mikrokontrolera računaru pomoću *UART* periferije, koje smo prikazali pomoću emuliranog terminala upotrebom *Tera Term*-a [6]. Deo koda za prenos podataka putem *UART*-a i prikaz podataka na prozoru terminala prikazani su na slikama 7 i 8, respektivno.

```
155     //prikaz vrednosti autokorelacije
156     sprintf(bafer,"Autocorr = %.2f \r\n",autocor_val);
157     HAL_UART_Transmit(&huart2,(uint8_t*)bafer,strlen(bafer),10);
```

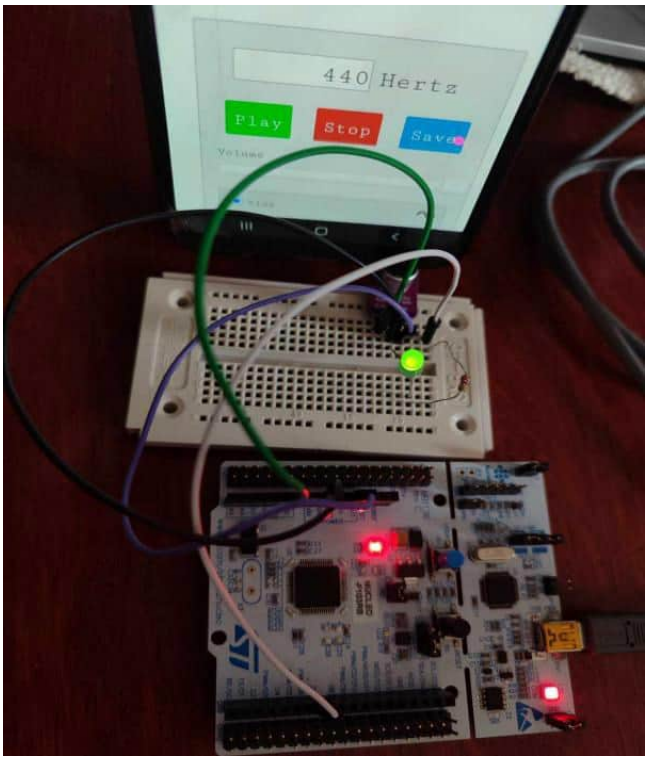
Slika 7. Deo koda za prenos podataka putem *UART*-a.



Slika 8. Prikaz vrednosti autokorelacije u terminalu.

IV. Testiranje

Testiranje sistema je izvršeno generisanjem tonova različitih frekvencija u opsegu od 20 Hz do 4 KHz upotrebom *Online Tone Genreator*-a [7]. Posmatranjem vrednosti autokorelacije za tonove različitih frekvencija i postavljanjem različitih vrednosti parametara *L*, *m*, i granične vrednosti *TRESHOLD_VALUE*, ustanovili smo da se selektivnost sistema neznatno menja. Nakon većeg broja pokušaja sa različitim vrednostima, parametrima *L*, *m* i *TRESHOLD_VALUE* smo dodelili vrednosti 148, 108 i 6800000, respektivno. Navedene vrednosti parametara smo postavili za detekciju tona frekvencije 440 Hz. Za tako odabrane parametre, selektivnost sistema je izuzetno visoka za tonove frekvencije do 1.7 KHz, dok je iznad ove frekvencije sistem pogrešno detektovao nekoliko tonova kao ton frekvencije 440Hz, iako je njihova frekvencija bila višestruko veća. Uspešna detekcija tona frekvencije 440 Hz je prikazana na slici 9.



Slika 9. Detekcija tona frekvencije 440 Hz.

Sledeći problem na koji smo naišli prilikom testiranja sistema jesu velike varijacije u vrednosti autokorelacione funkcije sa promenom rastojanja između zvučnog izvora i mikrofona. Sa povećanjem udaljenosti, dolazi do drastičnog pada vrednosti izračunate autokorelacije, što dovodi do toga da sistem ne može uspešno da detektuje željeni ton. Takođe, veliki uticaj na rezultate pokazalo je i prisustvo zvuka koji generišu drugi izvori. Dobijeni rezultati i vrednosti parametara koje smo prikazali u ovom radu se odnose na slučaj kada se zvučni izvor nalazi na fiksnom rastojanju u neposrednoj blizini mikrofona, pri čemu je merenje vršeno u kućnim uslovima bez drugih izvora zvuka.

V. Zaključak

Na osnovu rezultata dobijenih testiranjem sistema, možemo da zaključimo da je funkcionalnost sistema u velikoj meri ograničena, jer se precizna detekcija tona može ostvariti samo u slučaju kada se zvučni izvor nalazi u neposrednoj blizini mikrofona i kada nema drugih izvora zvuka, uz preduslov da se u sistem uvrsti hardverski filtar za preprocesiranje signala i da se upotrebi kvalitetniji mikrofon. Detekcijom tona određene frekvencije se uzrokuje pokretanje određene akcije u sistemu, pa samim tim, u zavisnosti od namene sistema, postoji veliki broj načina za nadogradnju sistema. S obzirom na to da je rad realizovan kao deo projektnog zadatka iz predmeta MEMS koji se realizuje na master studijama na smeru Elektronika i mikrosistemi, nadogradnja projekta prevazilazi okvire predmeta i mogućnosti autora.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju doc. dr Milošu Marjanoviću na izdvojenom vremenu i pruženoj pomoći u izradi rada.

LITERATURA

[1] ALLDATASHEET.COM, NUCLEO-F103RB Datasheet (PDF) - STMicroelectronics, Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/883109/STMICROELECTRONICS/NUCLEO-F103RB.html, [Pristupano: 25. 2. 2024.].

[2] ALLDATASHEET.COM, MAX4466 Datasheet (PDF) - Maxim Integrated Products, Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/460080/MAXIM/MAX4466.html, [Pristupano: 25. 2. 2024.].

[3] ST, STM32Cube initialization code generator, Dostupno na: https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html.

[4] EasyEDA, Dostupno na: https://easyeda.com/.

[5] armDeveloper, Keil MDK, Dostupno na: https://developer.arm.com/Tools%20and%20Software/Keil%20MDK#Editions.

[6] Softonic, Tera Term for Windows, Dostupno na: https://tera-term.en.softonic.com/.

[7] Online Tone Generator, Dostupno na: https://onlinetonegenerator.com/.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.009T
Original scientific paper

Merenje nadmorske visine korišćenjem MEMS senzora pritiska

Aleksandra Trajković
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
trajkovic.aleksandra@elfak.rs
ORCID: N/A

Nemanja Stojanović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
nemanja.stojanovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Hristina Todorović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
hristina.t@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*–Razvojna ploča Mikroe3328 Altitude 3 Click sa ugrađenim senzorom barometarskog pritiska i temperature ICP-10100 u ovom projektu iskorišćena je za potrebe merenja samog pritiska, temperature, kao i nadmorske visine pomoću Nucleo okruženja. Korišćeni su softverski alati STM32CubeMX i KeiluVision.**

Ključne reči-MEMS senzor pritiska, nadmorska visina

I. Uvod

Temperaturu, pritisak, vlažnost vazduha i vetar ubrajamo u meteorološke elemente, dok su kiša, sneg, grad i magla meteorološke pojave. Otuda, vreme predstavlja stvarno stanje meteoroloških elemenata i pojava u datom trenutku. [1]

Vazdušni pritisak može da se meri, sem živinim, i metalnim barometrom – barometar aneroid [2]. Vazdušni pritisak opada sa visinom i to približno jedan milibar za svakih 10 metara povećanja visine.

Prve jedinice za merenje vazdušnog pritiska bili su milimetri, a kasnije je uvedena nova jedinica za merenje vazdušnog pritiska – milibar. Pritisku od 760 milimetara odgovara 1.013 milibara.

Pod normalnim pritiskom obično se podrazumeva pritisak od 1013 milibara na morskom nivou. Prema tome, ako živite u mestu na nadmorskoj visini od 100 m, za vas će normalni vazdušni pritisak biti za 10mbar manji, to jest 1003 mbar. Za mesta sa nadmorskom visinom od 300 metara, normalni vazdušni pritisak iznosi 983 mbar.

Strogo naučno, pod normalnim vazdušnim pritiskom podrazumeva se srednja godišnja vrednost pritiska nekog mesta ili regiona, određena na osnovu dugogodišnjeg osmatranja – najmanje 30 do 50 godina.

Barometarski pritisak može se izraziti u bilo kojoj od dole navedenih mera:

Inch of mercury (inHg) - Koristi se uglavnom u Sjedinjenim Državama;

Milibar (mbar) - koriste meteorolozi;

Pascals (Pa) - Jedinica SI sistema, koja se koristi širom sveta;

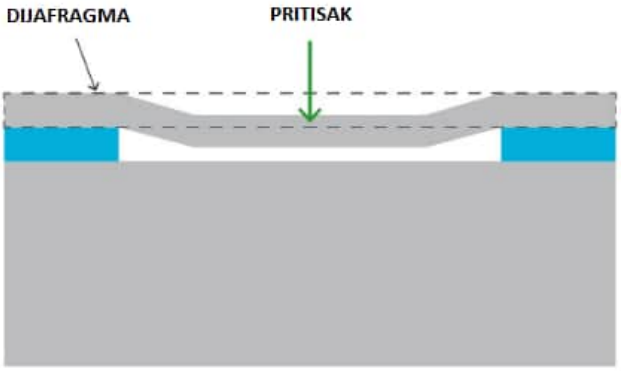
Atmosfera (Atm) - Pritisak vazduha na nivou mora na temperaturi od 59°F (15°C).

Kada se konvertuju između njih, koristi se ova formula:

29,92 inHg = 1,0 Atm = 101325 Pa = 1013,25 mbar.

II. Princip rada MEMS Senzora

Baromtarski senzori pritiska detuktuju vrednosti atmosferskog pritiska i promene visine i koriste se u uređajima kao što su pametni telefoni, pametni satovi i dronovi. Ovi senzori se mogu podeliti u dve tipa: piezootporni i kapacitivni. Uopšteno govoreći, kapacitivne verzije ovog senzora su superiorne zbog smanjene potrošnje energije i smanjenog uticaja šumova. Ovi senzori detektuju promenu pritiska pomoću MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) dijafragme. Na primeru kapacitivnih senzora, u koji spada i senzor korišćen u ovom radu, to je moguće tako što se promena kapacitivnosti između dijafragme i elektroda konvertuje u promenu vrednosti atmosferskog pritiska.



Slika 1. Princip promene vrednosti pritiska.

III. Korišćene komponente

A. STM32 Nucleo-64 razvojno okruženje

Razvojno okruženje *STM32 Nucleo-64* (slika 1) sa *STM32F103RB* mikrokontrolerom pripada familiji *ARM* mikrokontrolera. *Arm Cortex-M* je koncept korišćenja 32bitnih *RISC ARM (Advanced RISC Machine)* arhitektura za kreiranje mikroprocesora i mikrokontrolera.

STM32 Nucleo-64 razvojno okruženje poseduje mogućnost povezivanja sa *Arduino* razvojnim okruženjem i *STM Morpho* razvojnim okruženjem za primenu u kompleksnim aplikacijama. Ima fleksibilno napajanje od 3.3V, 5V, 7V-12V. Poseduje dve korisničke LE diode i dva tastera kao i mini USB konektor. Konfiguriše se korišćenjem softverskog alata *STM32CubeMX* [3] dok se neophodan

firmware piše u odgovarajućem programu, pri čemu je ovde upotrebljen *Keil uVision* [4].



Slika 2. STM32 Nucleo-64 razvojno okruženje.

B. MikroElektroMehanički senzor atmosferskog pritiska Mikroe-3328

Za početak je važno, radi daljih merenja, napraviti razliku između apsolutne i relativne visine. Termin apsolutna visina se odnosi na visinu iznad nivoa mora *(Mean Sea Level)*, dok relativna visina označava visinu iznad površine tla *(Above Ground Level)*.

Altitude 3 click omogućava merenje barometarskog pritiska, korišćenjem ICP-10100, integrisanog senzora barometarskog pritiska i temperature. Zasnovan na naprednoj MEMS tehnologiji kapacitivnog senzora, nudi preciznost i termperaturnu stabilnost. Veoma visoka apsolutna tačnost pritiska do ±1Pa omogućava Altitude 3 click-u da oseti veoma male promene visine, u opsegu od oko 10cm. Senzor temperature nudi tačnost do ±0,4°C, u opsegu od -40°C do 85°C. Mala potrošnja energije čini ga savršenim izborom za različite aplikacije na baterije [5].



Slika 3. Altitude 3 click Senzor atmosferskog pritiska.

IC senzor barometarskog pritiska koji se koristi na Altitude 3 click je ICP-10100, visoke preciznosti, male snage, vodootporni senzor barometarskog pritiska i temperature. IC Senzor je proizveden korišćenjem MEMS kapacitivne tehnologije šuma, optimizovane za precizna merenja nadmorske visine. Može da detektuje razliku pritiska sa tačnošću od ±1Pa, visinsku rezoluciju manju od 10 cm. Ovo čini ovaj senzor veoma upotrebljivim u razvoju aplikacija za dronove, omogućavajući im da lebde na fiksnoj visini ili da se koristi u njihovoj kontroli stabilizacije. Takođe, ovaj senzor ima veoma nizak temperaturni *offset* od samo ±0,5Pa/°C, u opsegu od 25°C do 45°C.

Pošto je upakovan u vodootporno kućište, ICP-10100 senzor omogućava da se koristi 1,5m ispod površine vode u trajanju od 30 minuta. Međutim, iako Click ploča sama po sebi nije vodootporna, senzor i dalje nudi dobru otpornost na povećanu vlažnost. ICP-10100 senzor nudi najbolje performanse kada radi u normalnim uslovima pritiska i temperature u opsegu od 0°C do 45°C i od 95kPa do 105kPa.

ICP-10100 može da radi u četiri različita režima, što omogućava da se njegove performanse prilagode specifičnim zahtevima. Ovi režimi omogućavaju kompromis između visoke preciznosti, niske buke, brzine i potrošnje energije. Ovi režimi uključuju režim niske snage (LP-low power), normalan režim (N-normal), režim niske buke (LN-low noise) i režim ultra niskog šuma (ULN-ultra low noise). Tehnička dokumentacija ICP-10100 sadrži tabelu koja prikazuje vreme konverzije, trenutnu potrošnju i šum merenja pritiska za svaki od ovih režima, omogućavajući izbor optimalnog režima.

IV. KORIŠĆENE PERIFERIJE MIKROKONTROLERA

I²C *(„Inter-Integrated Circuit")* komunikaciju je razvio *Philips*. Ovaj vid komunikacije se koristi za mala rastojanja, najčešće za povezivanje integrisanih kola na štampanoj ploči. Za ovaj protokol su potrebne dve fizičke linije tipa *open drain*. Ove linije se nazivaju SCL (*Serial Clock*) i SDA (*Serial Data*). Na I²C magistrali se mogu vezati 112 kola, a njima se pristupa preko 7-bitne adrese [6].

U ovom tipu komunikacije uređaj može da bude postavljen kao master (*master*) ili kao slejv (*slave*). Master uređaj je najčešće mikrokontroler, a slave uređaji su uglavnom neke periferijske jedinice (senzori, memorije ili slično). I²C komunikacija može da sadrži samo jedan master uredaj, a do 2^7 slejv uređaja od kojih svaki mora imati svoju adresu po kojoj je kasnije master uređaj i raspoznaje.

Vrlo bitan deo komunikacije su dva *pull-up* otpornika koji su povezani na SCL i SDA liniju. Oni omogućavaju da su SDA i SCL sve vreme podignuti na visoki naponski nivo (logičku jedinicu, odnosno napon napajanja). Komunikacija se vrši tako da uređaji spuštaju napon na linijama na logičku nulu ili tako što ga ne spuštaju, pa napon ostaje na jedinici. Dakle, ni u jednom trenutku nije potrebno uvesti dodatni element koji treba da podiže liniju komunikacije na nivo logičke jedinice (jer to rade otpornici), već samo treba u određenim intervalima spušati napon.

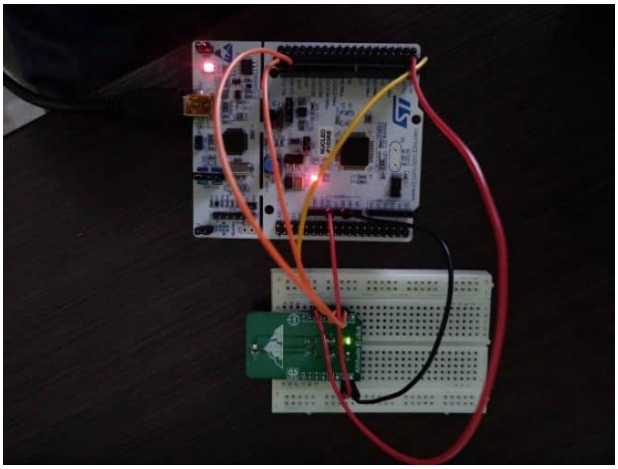
UART (Universal (Synchronous) Asynchronous Receive Transmit) komunikacija je tip komunikacije za serijsko slanje podataka. Prilikom *UART* komunikacije, dva uređaja komuniciraju direktno. U ovom projektu ćemo koristiti ovu vrstu komunikacije za prikaz očitavanja sa senzora na računar preko terminala. *UART* uređaj koji šalje podatke konvertuje paralelnu formu podataka u serijsku formu podataka, i kao takvu je šalje prema *UART* prijemniku. Prijemnik prima podatke u serijskoj formi i konvertuje ih nazad u paralelnu formu podataka. Tok podataka odvija se između TX pina uređaja koji šalje podatke i RX pina uređaja koji prima podatke.

Još jedna od karakteristika *UART* komunikacije, tačnije, karakteristika koja ga razlikuje od *USART* komunikacije je to što *UART* prenosi podatke asinhrono, odnosno bez uticaja signala takta mikrokontrolera ili kola. Umesto signala takta,

UART uređaj koji šalje podatke dodaje na početku i na kraju paketa podatka dodaje start bit, odnosno stop bit.

V. Povezivanje uređaja i STM32CubeMX

Na slici 3 se nalazi senzor *Mikroe3328* povezan na *Nucleo* okruženje i to preko pinova konfigurisanih pomoću softverskog alata *STM32CubeMX* (slika 5) za *I²C* i *UART* komunikaciju.



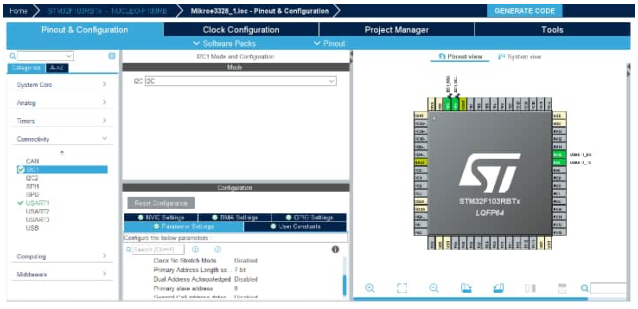
Slika 4. Hardversko povezivanje senzora sa Nucleo pločom.

Pinout *Mikroe3328* senzora prikazan je na slici 4 i ovde možemo videti da se za I²C komunikaciju pinovi 11 i 12 koriste kao SCL i SDA i povezuju direktno na pinove koji su upravo ovako i označeni na ploči mikrokontrolera.

Za *UART* komunikaciju je neophodno naglasiti da se pin RX, tj 14 na senzoru povezuje na TX mikrokontrolera, dok je pin broj 13, tj TX povezan sa RX pinom mikrokontrolera.

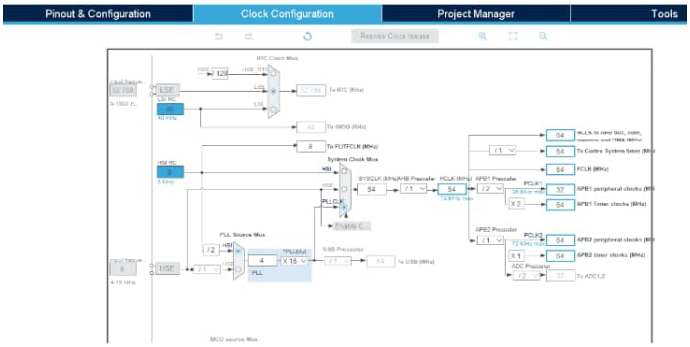
Notes	Pin	mikro BUS				Pin	Notes
	NC	1	AN	PWM	16	NC	
	NC	2	RST	INT	15	NC	
	NC	3	CS	RX	14	NC	
	NC	4	SCK	TX	13	NC	
	NC	5	MISO	SCL	12	**SCL**	I2C Clock
	NC	6	MOSI	SDA	11	**SDA**	I2C Data
Power Supply	**+3V3**	7	3.3V	5V	10	NC	
Ground	**GND**	8	GND	GND	9	**GND**	Ground

Slika 5. Pinout Mikroe3328.



Slika 6. Podešavanja u CubeMX softverskom alatu.

Naravno potrebno je radi komunikacije između mikrokontrolera i senzora uskladiti baud rate, koji iznosi 115200.



Slika 7. Clock Configuration u CubeMX softverskom alatu.

VI. Softverski kod

```
I2C_HandleTypeDef hi2c1;
 void MX_I2C1_Init(void)
{
hi2c1.Instance = I2C1;
hi2c1.Init.ClockSpeed = 400000;
hi2I"Cc1.Init.DutyCycle = I2C_DUTYCYCLE_2;
hi2c1.Init.OwnAddress1 = 0;
hi2c1.Init.AddressingMode =
I2C_ADDRESSINGMODE_7BIT;
hi2c1.Init.DualAddressMode =
I2C_DUALADDRESS_DISABLE;
hi2c1.Init.OwnAddress2 = 0;
hi2c1.Init.GeneralCallMode =
I2C_GENERALCALL_DISABLE;
hi2c1.Init.NoStretchMode =
I2C_NOSTRETCH_DISABLE;
if (HAL_I2C_Init(&hi2c1) != HAL_OK)
{ Error_Handler(); }
}
     Sledi komunikacija preko I²C-a:

     #define ICP10100_ADDRESS 0x63 << 1
     // I²C adresa za ICP-10100 pritisak i
temperaturu;
     void Read_Pressure_Temperature(void)
     {
uint8_t data[6];
//Za skladištenje podataka o pritisku i
temperaturi
// Slanje komande za očitavanje pritiska i
temperature
HAL_I2C_Master_Transmit
(&hi2c1, ICP10100_ADDRESS,
<COMMAND_FOR_READING>, <LENGTH>,
HAL_MAX_DELAY); HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c1,
ICP10100_ADDRESS, data, 6, HAL_MAX_DELAY);
// Pretvaranje podataka u stvarni pritisak i
temperaturu
//Ovi podaci zavise od podatka iz tehničke
dokumentacije za ICP-10100
pressure = <calculated_pressure_value>;
temperature = <calculated_temperature_value>;

// Pretvaranje ovih podataka u Paskale, kao i
podatke za temperaturu u Celzijuse
}
float altitude;
void Calculate_Altitude(void)
{
// Visina izračunata na bazi podataka o
pritisku
 altitude = 44330 * (1.0 - pow(pressure /
101325.0, 0.1903)); }
```

```
void Transmit_Altitude(void)
{
 char uartBuffer[50];
sprintf(uartBuffer, "Altitude: %.2f
meters\r\n", altitude);
HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)
uartBuffer, strlen(uartBuffer),
HAL_MAX_DELAY); }
int main(void)
{
HAL_Init();
SystemClock_Config();
 MX_I2C1_Init();
MX_USART1_UART_Init();

while (1)
{
Read_Pressure_Temperature();
Calculate_Altitude();
Transmit_Altitude();
HAL_Delay(1000);
}
}
```

Izlaz na terminalu izgleda ovako:

```
Altitude: 198.75 meters
```

VII. ZAKLJUČAK

U ovom radu demonstrirana je upotreba senzora pritiska za određivanje nadomrske visine korišćenjem Mikroe senzorske pločice i ARM mikrokontrolera.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo na pomoći i podršci profesorki Vesni Paunović i docentu Milošu Marjanoviću.

LITERATURA

[1] "Pogode i nepogode - 150 godina srpske meteorologije", Galerija nauke i tehnike SANU 22. april - 22. Maj 1998.
[2] "Vazdušni pritisak", Meteologos, Svet meteorologije
[3] "STM32CubeMX", Dostupno na: https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html
[4] "*Keil uVision* ", Dostupno na: https://www2.keil.com/mdk5/uvision/
[5] Altitude 3 Click, Dostupno na: https://www.mikroe.com/altitude-3-click?srsltid=AfmBOor5S-yvXmmb9detIpIzWUvo23iqzXQ5qGWG7GG7ohclzjsiUhMZ

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.013J
Original scientific paper

Brojač koraka realizovan pomoću ADXL345 akcelerometra

Sanja Janković
Elektronika i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
sanja.jankovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Marija Stanisavljević
Elektronika i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
marija.stanisavljevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* – U radu je realizovan brojač koraka korišćenjem *ADXL345* akcelerometra. Ovaj uređaj je namenjen za precizno praćenje broja koraka korisnika tokom fizičke aktivnosti. Uz korišćenje *Arduino Mega 2560* platforme omogućeno je pouzdano prikupljanje i obrada podataka, a rezultati su prikazani na *TFT* ekranu. Sistem se suočava sa izazovima kao što su prepoznavanje različitih obrazaca kretanja i optimizacija tačnosti detekcije koraka. Brojač koraka ima široku primenu u oblastima kao što su fitnes, zdravlje i sportska oprema, a može se unaprediti praćenjem dodatnih parametara fizičke aktivnosti korisnika.**

Ključne reči – brojač koraka, ADXL345 akcelerometar, Arduino Mega 2560, TFT ekran

I. Uvod

U današnje vreme praćenje fizičke aktivnosti postalo je sastavni deo svakodnevnog života, kako profesionalnih sportista, tako i rekreativaca. Jedan od ključnih alata za ovo praćenje jeste brojač koraka koji može pružiti korisne infomacije o nivou fizičke aktivnosti pojedinca. Brojač koraka se najčešće koristi za praćenje aktivnosti u cilju poboljšanja zdravlja, motivacije za vežbanje, kao i postizanju određenih sportskih i fitnes ciljeva.

U ovom radu prikazana je realizacija digitalnog brojača koraka korišćenjem *ADXL345* akcelerometra i *Arduino Mega 2560* platforme. *ADXL345* akcelerometar omogućava precizno merenje ubrzanja u tri ose, što je ključno za tačno prepoznavanje pokreta karakterističnih za hodanje ili trčanje.

Cilj ovog rada je da se prikaže način na koji se može konstruisati funkcionalni brojač koraka korišćenjem lako dostupnih komponenata, kao i da se istraže potencijalne primene ovakvog uređaja u svakodnevnom životu.

II. Komponente korišćene za realizaciju projekta

Komponente korišćene za realizaciju projekta su *ADXL345* akcelerometar, *Arduino Mega 2560* razvojno okruženje i *TFT* displej, zbog njihove široke dostupnosti, pouzdanosti i fleksibilnosti. *ADXL345* je troosni akcelerometar poznat po visokoj preciznosti merenja, niskoj potrošnji energije i podršci za različite komunikacione protokole, što ga čini pogodnim za integraciju u razne projekte. Sa druge strane, *Arduino Mega 2560* je izabran zbog svojih naprednih karakteristika, uključujući veći broj ulazno/izlaznih pinova i mogućnost povezivanja sa više senzora i aktuatora. Ova ploča pruža veliku fleksibilnost za buduće nadogradnje sistema i omogućava korisnicima da istražuju kompleksnije projekte.

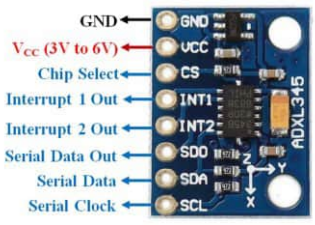
Iako postoje i energetski efikasniji ili jednostavniji mikrokontroleri na tržištu, izbor ovih komponenti se pokazao kao optimalan za razvoj prototipa, pružajući potrebnu ravnotežu između funkcionalnosti, pouzdanosti i lakoće korišćenja.

Arduino Mega je mikrokontrolerska ploča sa *ATMEGA2560* mikrokontrolerom. Koristi se za razvoj složenih projekata, omogućavajući interakciju sa brojnim senzorima i aktuatorima zahvaljujući velikom broju ulazno/izlaznih pinova. Sadrži 54 digitalna ulazno/izlazna pina (od kojih 14 mogu da se koriste kao *PWM* izlazi), 16 analognih ulaza, 4 *UART*-a, 16 MHz kristalni oscilator, *USB* konekciju, priključak za napajanje, *ICSP* konektor i taster za reset. Ploča se može napajati jednostavnim povezivanjem na računar preko *USB* kabla. [1] Na slici 1 prikazan je izgled *Arduino Mega 2560* okruženja.



Slika 1. *Arduino Mega 2560* razvojno okruženje.

ADXL345 je mali, tanak, energetski efikasan, troosni akcelerometar, dobro poznat i široko korišćen u primenama, kao što su mobilni telefoni, medicinski instrumenti, uređaji za igre, industrijska automatizacija, lični navigacioni uređaji, oprema za fitnes, zaštita hard diskova, itd. Na slici 2 prikazan je izgled *ADXL345* akcelerometra.



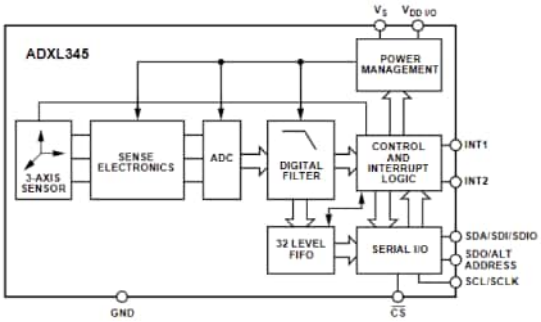
Slika 2. *ADXL345*.

ADXL345 meri ubrzanje u tri pravca (x, y i z) sa visokom preciznošću. Sa veoma niskom potrošnjom energije od samo 23 µA u normalnom režimu rada, idealan je za upotrebu u uređajima koji zahtevaju dugotrajno korišćenje baterije. Osim osnovnih merenja ubrzanja, *ADXL345* nudi napredne funkcije kao što su detekcija tapkanja, slobodnog pada i aktivnosti/neaktivnosti. [2]

ADXL345 može komunicirati s drugim hardverom koristeći *I2C* i *SPI* protokole, a opseg merenja je programabilan od strane korisnika između sledećih opcija: ±2, ±4, ±8 i ±16 g**.** Opseg merenja igra ključnu ulogu u tačnosti detekcije koraka. Na primer, postavljanje opsega na ±2g omogućava preciznije merenje manjih ubrzanja, što je posebno važno za detekciju koraka, dok veći opsezi, kao što su ±8g ili ±16g, mogu biti pogodniji za aktivnosti koje uključuju veća ubrzanja, kao što su trčanje ili skakanje. Izbor pravog opsega omogućava optimizaciju performansi uređaja i smanjuje rizik od grešaka u merenju, kao što su lažne detekcije ili propušteni koraci. [3]

Frekvencija uzorkovanja takođe značajno utiče na performanse brojača koraka i može se birati u rasponu od 0.1 Hz do 3.2 kHz, što omogućava fleksibilnost u prikupljanju podataka. Visoka frekvencija uzorkovanja, poput 100 Hz ili više, omogućava brže detektovanje promena u ubrzanju, što je ključno za precizno beleženje koraka u realnom vremenu. Na taj način, korisnici mogu očekivati tačnije rezultate u detekciji koraka, posebno pri bržim aktivnostima. Međutim, viša frekvencija uzorkovanja može dovesti do veće potrošnje energije, pa je važno pronaći ravnotežu između tačnosti i efikasnosti.

S obzirom na to da je senzor malih dimenzija od 3 mm × 5 mm × 1 mm, napaja se naponom između 2 i 3.6 V. Na slici 3 prikazan je funkcionalni dijagram ADXL345 akcelerometra. [4]



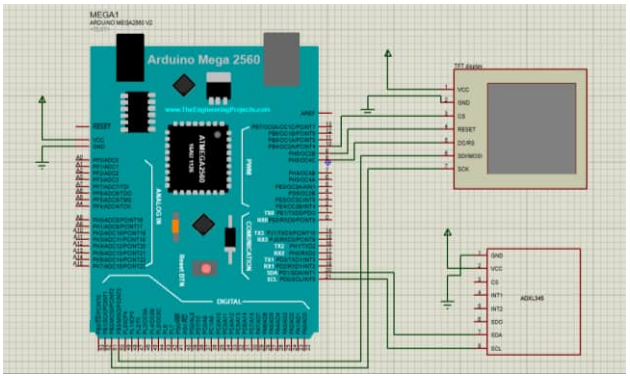
Slika 3. ADXL345 funkcionalni blok dijagram.

TFT (*Thin Film Transistor*) displej je napredni tip *LCD* (*Liquid Crystal Display*) ekrana koji koristi tankoslojne tranzistore za kontrolu pojedinačnih piksela, čime omogućava bolju jasnoću slike i preciznije prikazivanje boja. Ovi displeji se odlikuju visokom rezolucijom, brzim vremenom odziva i širokim uglovima gledanja. [5] Na slici 4 prikazan je *TFT* displej.



Slika 4. *TFT* displej.

Projektovanje električne šeme, prikazane na slici 5, izvršeno je u programu *Proteus 8 Professional*.



Slika 5. Električna šema sistema.

III. PROGRAMSKI KOD

Arduino hardver se programira koristeći programski jezik zasnovan na *Wiring* jeziku, koji ima sličnosti sa *C++* jezikom, ali s određenim pojednostavljenjima i izmenama. Arduino integrisano razvojno okruženje (*IDE*) koristi *C/C++* biblioteku pod nazivom „*Wiring*“, koja omogućava jednostavno obavljanje uobičajenih ulazno-izlaznih operacija. [6] Svi programi za Arduino platforme pišu se u *Arduino IDE* (eng. *Integrated Development Environment*) softverskom razvojnom okruženju prikazanom na slici 6.



Slika 6. *Arduino IDE* softversko razvojno okruženje.

Na samom početku potrebno je uključiti biblioteke za rad sa *TFT* ekranom i *ADXL345* akcelerometrom, kao i za komunikaciju preko *I2C* protokola. Zatim se definišu pinovi za kontrolu *TFT* displeja i kreira objekat za njegov rad, kao i objekat za rad akcelerometra. Pored toga definišu se pomoćne promenljive.

```
#include <Wire.h>               // biblioteka za I2C komunikaciju
#include <Adafruit_GFX.h>       // osnovna grafička biblioteka za TFT displeje
#include <Adafruit_ST7735.h>    // biblioteka za rad sa TFT displejem
#include <Adafruit_ADXL345_U.h> // biblioteka za ADXL345 akcelerometar

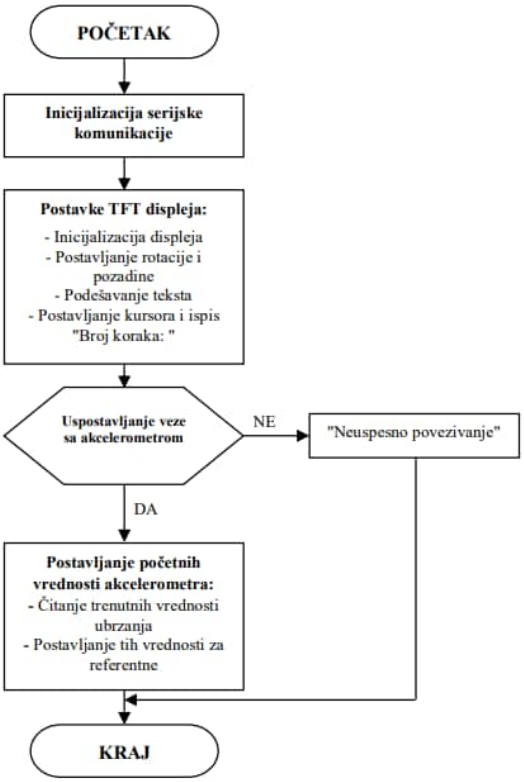
// Definicije pinova TFT displeja
#define CS     10
#define RST    9
#define DATA   8

//instanciranje objekta nazvanog tft
Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(CS, DATA, RST);

//instanciranje objekta nazvanog akcelerometar
Adafruit_ADXL345_Unified akcelerometar = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
```

U *setup()* funkciji vrše se početna podešavanja *TFT* displeja i proverava se da li je akcelerometar uspešno povezan. Ukoliko nije, ispisuje se poruka na serijskom

terminalu i zaustavlja se izvršenje. Takođe, vrši se čitanje početnih vrednosti sa akcelerometra pomoću *sensors_event_t* i funkcije *getEvent()* koje su deo *Adafruit* biblioteke za *ADXL345* akcelerometar. Pozivom fukcije *getEvent(&event)* uspostavlja se komunikacija sa akcelerometrom i preko *I2C* protokola čitaju vrednosti na x, y i z osi i popunjava struktura *event* tim vrednostima. Na slici 7 prikazan je algoritam za *setup()* funkciju.

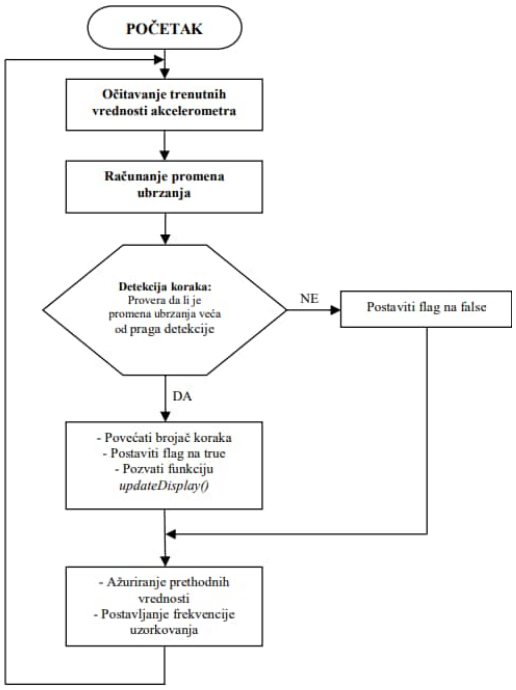


Slika 7. Algoritam za *setup()* funkciju.

U glavnoj *loop()* funkciji vrši se čitanje trenutnih vrednosti akcelerometra, zatim se proverava da li je došlo do promene u ubrzanju i da li je promena veća od 2. Ova vrednost predstavlja prag detekcije. To je unapred definisana vrednost koju senzor koristi kao referencu i određena je eksperimentalno, uzimajući u obzir pokrete kao što su lagani potresi ili slučajni pokreti ruku, koji bi mogli dovesti do pogrešne detekcije. Postavljanjem praga na ovu vrednost smanjuje se mogućnost grešaka, jer se zanemaruju manji signali koji ne predstavljaju stvarne korake, što povećava preciznost brojača koraka. Ukoliko nova vrednost očitana sa akcelerometra prelazi ovu granicu, akcelerometar može signalizovati da se desio pokret, odnosno korak. Ukoliko korak prethodno nije bio detektovan, brojač koraka se povećava, a zatim se ažurira prikaz na *TFT* displeju (funkcija *updateDisplay()*).

```
void updateDisplay() {
  tft.fillScreen(ST7735_BLACK); // setovanje boje pozadine
  tft.setCursor(10, 40);        // setovanje pozicije kursora
  tft.print("Broj koraka: ");   // ispis teksta
  tft.println(cnt);             // ispis trenutnog broja koraka
}
```

Frekvencija uzorkovanja je postavljena na 10 Hz, što znači da se podaci iz *ADXL345* akcelerometra čitaju na svakih 100 ms. Ovaj period uzorkovanja se postiže korišćenjem funkcije *delay(100)* unutar glavne petlje *loop()*.Takva frekvencija uzorkovanja omogućava uređaju da efikasno detektuje promene u ubrzanju i pravilno broji korake. Na slici 8 prikazan je algoritam za *loop()* funkciju.

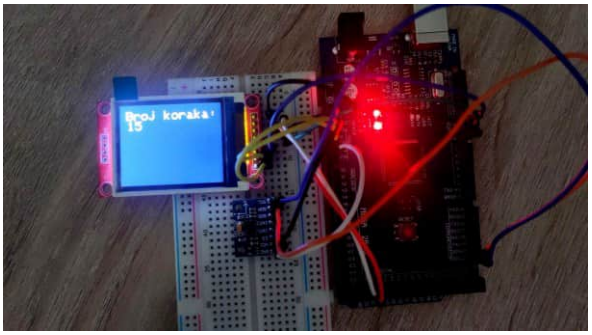


Slika 8. Algoritam za *loop()* funkciju.

IV. Praktična realizacija

Na slici 9 je prikazana realizacija prototipa sistema koji se sastoji od *TFT* displeja, *Arduino Mega 2560* i *ADXL345* akcelerometra. U okviru inicijalnog testiranja, sistem je uspešno detektovao 15 koraka, koji su potom prikazani na *TFT* displeju. Ova testiranja su izvedena u standardnim uslovima hodanja, što potvrđuje osnovnu funkcionalnost brojača koraka.

Međutim, važno je naglasiti da je realizacija trenutno ograničena na prototip, što onemogućava testiranje sistema u različitim uslovima, kao što su trčanje, hodanje na nagnutim terenima ili složenijim okruženjima. Ova ograničenja u testiranju predstavljaju prepreku za procenu tačnosti i ponovljivosti sistema, jer se očekuje da bi različiti uslovi mogli značajno uticati na performanse uređaja. Buduća istraživanja bi trebala da obuhvate kvantitativne analize, u kojima bi se uporedili izmereni i očekivani broj koraka u raznim uslovima. Dodatno, razvoj metode kalibracije akcelerometra i unapređenje algoritma za detekciju koraka bi značajno doprineli tačnosti merenja. Ove preporuke bi omogućile širu primenu sistema u različitim aktivnostima i značajno unapredile njegovu funkcionalnost.



Slika 9. Rezultati testiranja.

V. ZAKLJUČAK

Projekat može biti unapređen na nekoliko načina kako bi postao funkcionalniji i korisniji. Poboljšanja bi mogla uključivati dodavanje funkcija za kalibraciju i prilagođavanje osetljivosti kako bi se smanjila greška u detekciji koraka. Na primer, implementacija postupka kalibracije može uključivati određivanje referentnih tačaka kroz niz merenja tokom mirovanja i aktivnog hodanja, čime bi se optimizovala detekcija koraka.

Takođe, merenje udaljenosti i potrošnje kalorija moglo bi proširiti primenu uređaja. To bi moglo biti ostvareno korišćenjem podataka o koracima zajedno sa prethodnim parametrima kao što su dužina koraka, koja može varirati od korisnika do korisnika. Jedan od izazova pri dodavanju novih funkcionalnosti je balansiranje između novih karakteristika i potrošnje energije, što je ključni faktor za produženo trajanje baterije. Uvođenje bežične povezanosti omogućilo bi slanje podataka na mobilne uređaje za detaljnije praćenje aktivnosti, ali bi moglo dodatno opteretiti kapacitet baterije, što bi zahtevalo optimizaciju u potrošnji energije.

Na kraju, izrada udobnog i otpornog kućišta mogla bi unaprediti iskustvo korišćenja i produžiti vek trajanja uređaja. Ova poboljšanja ne samo da bi unapredila funkcionalnost brojača koraka, već bi omogućila i njegovu širu primenu u svakodnevnim aktivnostima, čineći ga još korisnijim za korisnike.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju doc. dr Milošu Marjanoviću sa Katedre za mikroelektroniku na Elektronskom fakultetu, na izdvojenom vremenu, sugestijama i pomoći pri realizaciji projekta i pisanju rada.

LITERATURA

[1] What Arduino Mega is and how it works, dostupno na: https://www.blikai.com/blog/featured-products/what-arduino-mega-2560-is-and-how-it-works

[2] Datasheet ADXL345, dostupno na: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl345.pdf

[3] S. Mehta and J. Singh, "Indicating Human Activity Intensity using Accelerometer," *Journal of Electronic Design Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 12–17, 2019. [Online]. Available: Academia.edu

[4] ADXL345 Functional block diagram, dostupno na: https://www.researchgate.net/figure/ADXL345-Functional-block-diagram-Analog-Devices-2009_fig3_336116117

[5] "Displeji TFT – LCD", Prof. dr Vesna Paunović, dostupno na: http://mikro.elfak.ni.ac.rs/wpcontent/uploads/9-disleji-LCD.pdf

[6] "Arduino programsko okruženje", dostupno na: https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/elektronikae2/wpcontent/uploads/sites/87/2018/03/Arduinouputstvo.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.017M
Original scientific paper

Projektovanje buck konvertora korišćenjem diskretnih komponenata i STM32 ARM mikrokontrolera

Sandra Miljković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
sandra.miljkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Milica Danković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
milica.dankovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Luka Nešić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
lukanesic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu opisana je topologija buck konvertora korišćenjem diskretnih komponenata - tranzistora, kalema, diode i kondenzatora, i STM32 ARM mikrokontrolera koji vrši kontrolu tranzistora kao prekidača. Korišćen je potenciometar za podešavanje duty cycle-a kontrolnog signala. Sistem je testiran u laboratoriji sa različitim vrednostima opterećenja.**

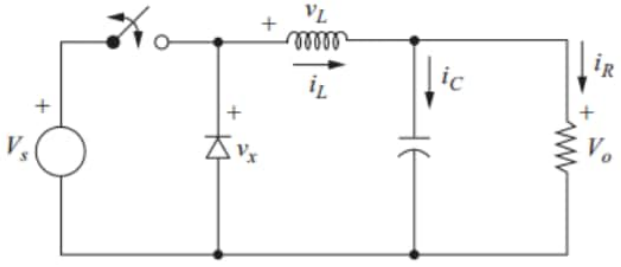
Ključne reči—buck konvertor, ARM, STM32 mikrokontroler

I. Uvod

Buck konvertori (slika 1), poznati i kao step-down konvertori, su uređaji za pretvaranje jednosmerne struje (DC) koji smanjuju ulazni napon na niži izlazni napon. Ovi konvertori se često koriste u različitim elektronskim uređajima i napajanjima. Buck konvertor koristi PWM (Pulse Width Modulation) za kontrolu prekidačkog elementa (tranzistora), koji brzo uključuje i isključuje ulazni napon prema kalemu. Osnovne faze rada uključuju:

On faza: Kada je tranzistor uključen, napon iz izvora (Vin) se prenosi kroz kalem na izlazni kondenzator i opterećenje. Tokom ove faze, kalem se puni energijom i struja kroz njega raste.

Off faza: Kada je tranzistor isključen, struja kroz kalem ne može momentalno prestati zbog njegove prirode. Dioda obezbeđuje putanju za struju kalema, održavajući struju kroz opterećenje dok se energija skladištena u kalemu prazni.



Slika 1. Buck konvertor.

Kada je prekidač zatvoren, dioda je inverzno polarisana, napon kroz kalem je:

$$v_L = V_S - V_0 = L\frac{di_L}{dt} \tag{1}$$

Struja kroz kalem u ovom slušaju računa se po formuli:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{Dt} = \frac{V_S - V_0}{L} \tag{2}$$

$$(\Delta i_L)_{CLOSED} = \frac{V_S - V_0}{L} DT \tag{3}$$

Za otvoreni prekidač se polaritet na krajevima kalema menja, diode postaje direktno polarisana. Napon, tj. struja kroz kalem biće:

$$v_L = -V_0 = L\frac{di_L}{dt} \tag{4}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{-V_0}{L} \tag{5}$$

$$(\Delta i_L)_{OPEN} = \frac{-V_0}{L}(1-D)T \tag{6}$$

U steady-state režimu izlazna struja je stabilna pa važi:

$$V_0 = DV_S \tag{7}$$

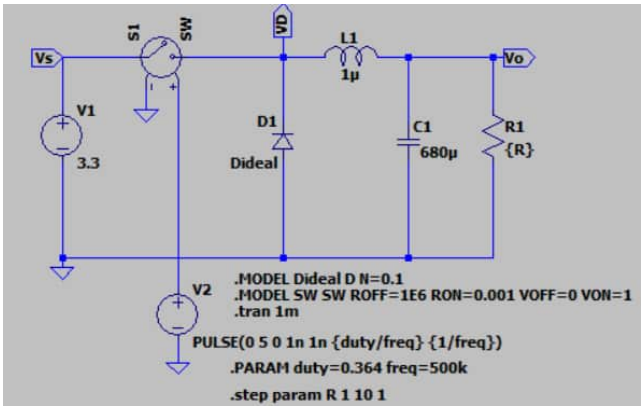
Iz formule (7) se vidi da izlazni napon direktno zavisi od vrednosti *D*, odnosno Duty Cycle-a prekidačkog signala.

II. Praktična realizacija

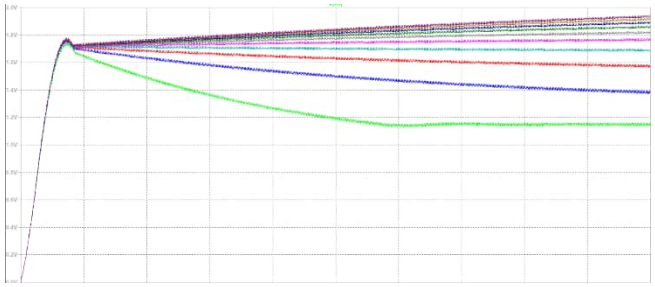
Pre samog praktičnog povezivanja na ploči, urađena je simulacija šeme u program LT Spice, kako bi se dobio opseg očekivanih vrednosti na izlazu kola. Na slici 2 je prikazana električna šema kola realizovana u programu.

Rezultati simulacije prikazani su na slici 3. Može se videti da je simulacija rađena za vrednosti otpornosti od 1 do 10 Ω, sa korakom od jednog oma. Uočljiva je varijacija izlaznog

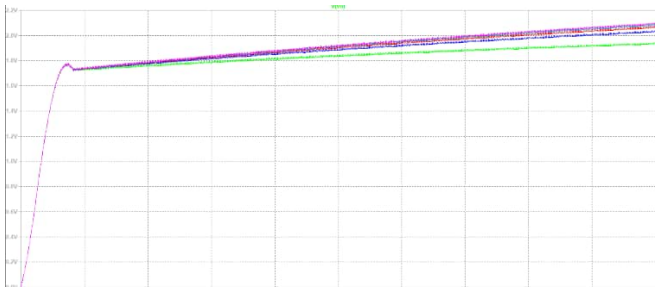
napona za različite vrednosti otpornosti. U praktičnoj realizaciji će promena otpornosti biti simulirana dekadnom kutijom. Prvo za opseg od 1 do 10 Ω, sa razmakom od 1 Ω, a zatim za vrednosti od 10 do 50 Ω, sa korakom od 10 Ω. Iz simulacije se može uočiti da je očekivana vrednost izlaznog napona u opsegu od 1,1 V do 1,9 V. Simulacijom su potvrđene i vrednosti za veće otpornike, što se može videti na slici 4.



Slika 2. LTSpice šema.



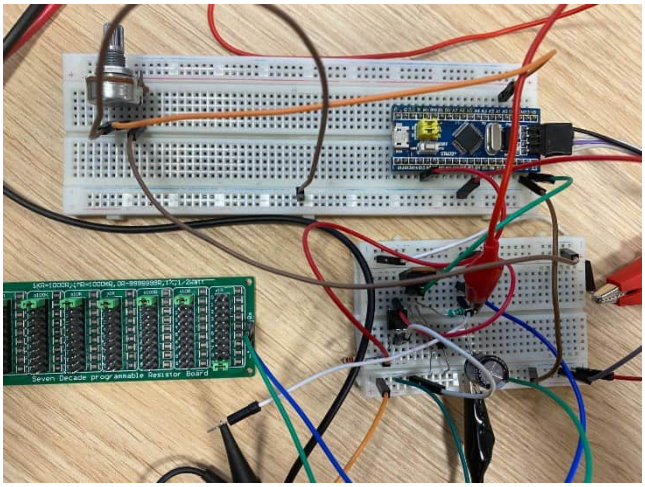
Slika 3. Vrednost izlaznog napona za opseg otpornosti od 1 do 10 Ω.



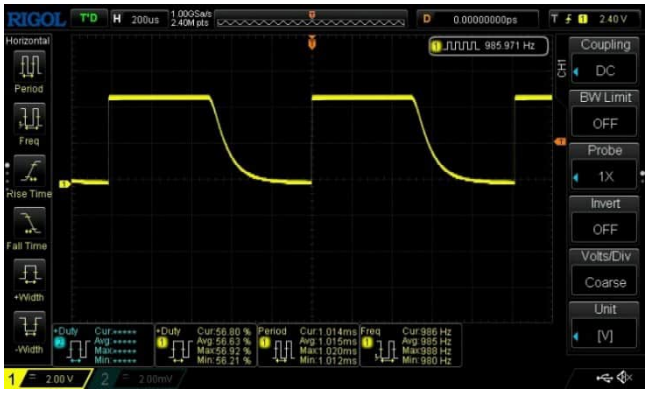
Slika 4. Vrednosti izlaznog napona za opseg otpornosti od 10 do 50 Ω.

Praktično povezivanje urađeno je sa istim vrednostima komponenata koje su korišćene u simulaciji. Na slici 5 prikazana je šema realizovana na proto ploči.

Glavni kontrolno razvojno okruženje je Blue Pill, odnosno STM 32 mikrokontroler, kojim se kontroliše PWM signal, ali i šalje signal na optokapler. Signal za kontrolu tranzistora šalje se na PB3 pin (PORTB, pin 3). NMOS tranzistor snage IRF510, prema tehničkoj dokumentaciji, ima napon praga iz opsega od 2 V do 4 V. S obzirom da je napon napajanja mikrokontrolera 3,3 V, tj. signal logičke jedinice će biti 3,3 V, tako da uključivanje tranzistora snage predstavlja problem. Da bi se ovaj problem prevazišao biće iskorišćen optokapler 4N35, koji ima ulogu da optički poveže, tj. galvanski odvoji deo kola koji radi na 3,3 V i deo kola koji radi sa jednosmernim naponom od 5 V. Dekadna kutija iskorišćena je umesto otpornika fiksne vrednosti, kako bi se lakše uočilo koja vrednost najoptimalnije zadovoljava očekivani opseg dobijen simulacijom. Izlazni signal usnimljen je korišćenjem osciloskopa. Na slici 6. može se videti izgled kontrolnog signala, čiji je Duty cycle zapravo i menjan tokom eksperimenta. Talasni oblik kontrolnog signala nije idealan, što je i očekivano obzirom na kapacitivnosti koje postoje.



Slika 5. Praktična realizacija.



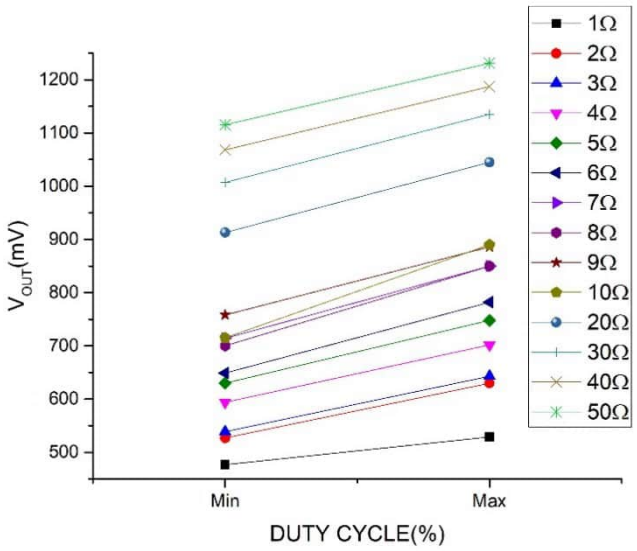
Slika 6. Kontrolni signal.

Vrednosti izlaznih signala usnimljene su za svaku vrednost otpornika ponaosob. Uočena su odstupanja za manje vrednosti otpornika na izlazu, što se može videti na slici 7.



Slika 7. Vrednost izlaznog napona za otpornik od 1 Ω, pri maksimalnoj vrednosti Duty Cycle-a.

U simulaciji je, za konkretan primer od 1 Ω, dobijena vrednost izlaznog napona, nakon smirivanja, 1.8 V, dok se na osciloskopu dobija vrednost od 520mV. Odstupanja su prisutna sve do vrednosti od 30 Ω, nakon čega se rezultati simulacije i praktično dobijene vrednosti poklapaju. Na slici 8 mogu se videti dobijene vrednosti izlaznog napona pri minimalnom i maksimalnom Duty Cycle-u. Sa grafika se jasno vidi da se vrednošću otpornika može grubo kontrolisati opseg izlaznog napona, dok se promenom Duty Cycle-a može kontrolisati fina promena, u opsegu od 100 mV.



Slika 8. Grafik zavisnosti izlaznog napona od vrednosti Duty Cycle-a.

III. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je realizacija Buck Convertora korišćenjem diskretnih komponenti i STM32 ARM mikrokontrolera. Prikazani su rezultati dobijeni putem simulacije, korišćenjem softvera LT Spice, kao i rezultati dobijeni praktično, snimljeni na osciloskopu u laboratorijskim uslovima. Uočeno je odstupanje za vrednosti koje su dobijene u simulaciji od vrednosti koje su dobijene praktično, za vrednosti otpornika od 1 Ω do 20 Ω, nakon čega se dobijeni rezultati poklapaju sa simulacijom. Ono što je ovim radom pokazano jeste da se vrednost otpornika može koristiti za grubo podešavanje vrednosti napona na izlazu, dok se modulacijom Duty Cycle-a može manevrisati u odabranom opsegu, i to sa promenom od 100mV od minimalne do maksimalne vrednosti Duty Cycle-a.

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost dugujemo doc. dr Milošu Marjanoviću za nesebičnu podršku i dragocene savete prilikom praktične realizacije ovog rada.

LITERATURA

[1] M. Marjanović, "Upravljanje komponentama snage korišćenjem ARM mikrokontrolera.", Elektronski fakultet Niš, Katedra za mikroelektroniku, 2024.. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/kiks-vezbe-nucleo.pdf

[2] Buck Converter Plexim. Dostupno na: https://www.plexim.com/academy/power-electronics/buck-conv

[3] Buck converter with discrete components. Dostupno na: https://www.sagiuniverse.com/Technical_papers/buck_converter_discretes.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.021N
Original scientific paper

Projektovanje i realizacija sistema za upravljanje robotom na točkovima korišćenjem STM32 ARM mikrokontrolera

Ivana Nedeljković
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
ivananedeljkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Marija Petrović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
marija.petrovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Milica Petrović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milicap@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Cilj ovog projekta je dizajn sistema za upravljanje robotom na točkovima, koristeći STM32 ARM mikrokontroler. Robot je opremljen sa dva *Parallax* servo motora koji omogućavaju njegovo kretanje, i ultrazvučnim senzorom HC-SR04 koji meri udaljenost do prepreka, sprečavajući robota da se približi na manje od 10 cm. Upravljanje robotom vrši se putem džojstik modula, omogućavajući mu da se kreće napred, levo, desno i unazad. Sistem takođe uključuje dva LED indikatora — crvena LED se uključuje kada se prepreka nalazi ispred robota, dok je zelena LED aktivna kada nema prepreka.**

Ključne reči—robot, džojstik, ultrazvučni senzor

I. Uvod

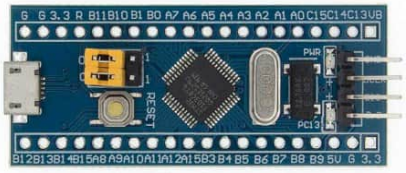
U savremenom svetu, robotski sistemi postaju sve značajniji deo mnogih industrija kao što su proizvodnja, logistika, medicina, poljoprivreda. Nauka i tehnika se razvijaju ka automatizaciji teških fizičkih poslova poput prenosa tereta u fabrikama i prodavnicama, sa ciljem da mašine zamene ljude u ovim situacijama. Ovakvi sistemi mogu poslužiti kao osnova za razvoj pametnih invalidskih kolica, robotskih usisivača i kosilica.

Ovaj projekat ima za cilj projektovanje i realizaciju robota na točkovima, koristeći *STM32 ARM* mikrokontroler kao centralnu upravljačku jedinicu. Tok realizacije ovog projekta uključuje programiranje *STM32* mikrokontrolera, očitavanje vrednosti sa džojstika, integraciju senzora i motora, kao i izradu algoritma za detekciju i indikaciju prepreka i upravljanje kretanjem.

II. Korišćene komponente

A. STM32F103 Blue Pill

STM32 Blue Pill je razvojno okruženje proizvođača *STMicroelectronics* koje je korišćeno za realizaciju ovog sistema. Prikazano je na slici 1. U centru se nalazi *STM* mikrokontroler *STM32F103C8T6* zasnovan na *ARM Cortex-M RISC* arhitekturi. Maksimalna frekvenciji takta koja se može postići je 72 MHz, ima ugrađenu memoriju velike brzine, kao i veliki broj ulazno/izlaznih pinova i periferijskih jedinica. Poseduje dva analogno-digitalna konvertora, tri tajmera opšte namene i jedan tajmer za generisanje *PWM* signala. Mikrokontroler sadrži standardne i napredne komunikacione interfejse i to: dva *I2C* i *SPI* interfejsa, tri *USART* interfejsa, *USB* i *CAN*. Dužina reči je 32 bita, a ima i dovoljno memorije za izvršavanje operacija u realnom vremenu [1].



Slika 1. Blue Pill okruženje [1].

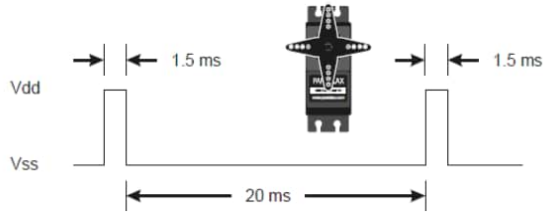
B. Parallax servo motor

Parallax servo motor omogućava kontinualnu rotaciju u oba smera i često se koristi u robotici za pokretanje točkova. Radi na naponu napajanja između 4 V i 6 V, a struja koja protiče kroz njega je u opsegu od 15 mA do 200 mA.



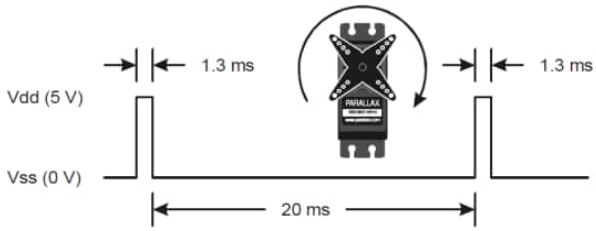
Slika 2. Parallax servo motor.

Upravljanje ovim motorom vrši se pomoću *PWM (Pulse Widht Modulation)* signala. Brzina i smer motora su određene širinom impulsa u opsegu od 1.3 ms do 1.7 ms. Princip upravljanja je dat u nastavku. Na motor se šalje PWM signal čija logička nula traje 20 ms, a u zavisnosti od željenog smera obrtanja motora bira se vreme trajanja logičke jednice. U slučaju da logička jedinica traje 1.5 ms, motor se neće rotirati i taj slučaj je prikazan na slici 3.



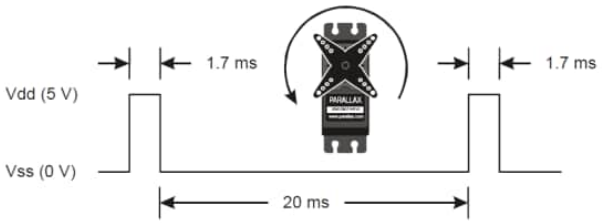
Slika 3. PWM signal sa neutralnom pozicijom motora [2].

Smanjenjem *DTC*-a (*Duty Cycle*), motor će započeti rotaciju u smeru kazaljke na satu i ravnomerno povećavati brzinu sve do maksimalne brzine. Motor dostiže maksimalnu brzinu pri trajanju impulsa od 1.3 ms. U tom slučaju će *DTC* biti 6.5 % (slika 4) [2].



Slika 4. PWM signal sa maksimalnom brzinom rotacije u smeru kazaljke na satu [2].

S druge strane, povećanjem *DTC*-a, postepeno se povećava brzina u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu, sve dok vreme trajanja logičke jedinice ne dostigne vrednost od 1.7 ms. Tada će motor imati maksimalnu brzinu kretanja i *DTC* je u tom slučaju 8.5 % (slika 5).



Slika 5. PWM signal sa maksimalnom brzinom rotacije u smeru suprotnim od smera kazaljke na satu [2].

C. Džojstik modul

Džojstik modul je dvoosni senzor dizajniran za precizno detektovanje pokreta u dva pravca [3]. Svaka osa (x i y) opremljena je nezavisnim potenciometrom od 10 kΩ, omogućavajući precizno upravljanje na osnovu položaja ručice. Modul takođe uključuje prekidač koji se aktivira pritiskom na ručicu, pružajući dodatne funkcionalnosti za interakciju. Ovaj kompaktni modul radi na 5 V napajanja i može se lako integrisati sa mikrokontrolerima koristeći standardne 2.54 mm pinove za povezivanje. Njegov radni temperaturni opseg od 0 do 70 °C čini ga pogodnim za različita okruženja i primene u elektronici i robotici.



Slika 6. Džojstik modul.

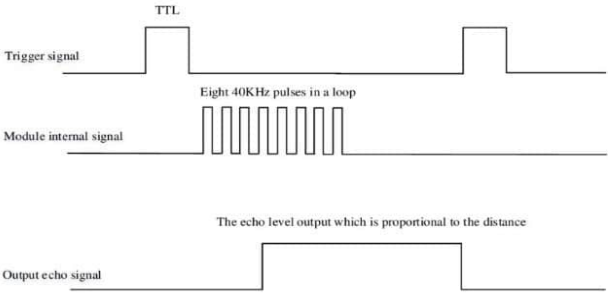
D. HC-SR04

Ultrazvučni senzor se koristi za merenje rastojanja između senzora i objekta koji se nalazi ispred njega. Ovaj senzor je jednostavan za upotrebu i nudi zadovoljavajuću preciznost. Rezolucija senzora je 0.3 cm. Opseg detektovanja objekata je od 2 do 500 cm. Sam senzorski modul ima četiri pina: *VCC* (napajanje od 5V), *TRIG* (ulazni pin koji je zadužen za emitovanje frekvencije), *ECHO* (izlazni pin koji daje informaciju o povratnom talasu) i *GND* (uzemljenje) [4].



Slika 7. Ultrazvučni senzor HC-SR04 [4].

Senzor radi prema sledećem principu: prvo je potrebno dovesti senzorski impuls u trajanju od 10 μs na *TRIG* pin. Po završetku tog impulsa senzor šalje 8 ultrazvučnih impulsa frekvencije 40 kHz. U tom trenutku pin *ECHO* prelazi sa stanja logičke nule na stanje logičke jedinice i to stanje zadržava sve dok se reflektovani impulsi ne vrate nazad do senzora. Vremenski dijagram senzora je prikazan na slici 8.

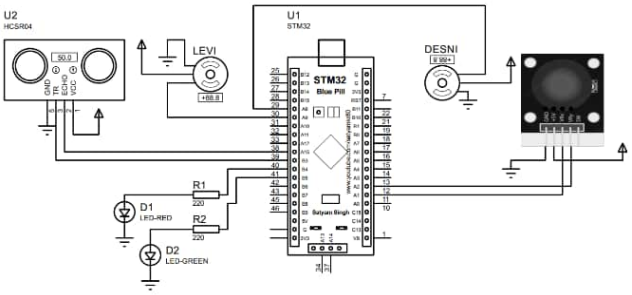


Slika 8. Vremenski dijagram ultrazvučnog senzora [4].

Merenjem trajanja *ECHO* impulsa i poznavanjem brzine zvuka može se izračunati rastojanje između senzora i predmeta. Vreme trajanja *ECHO* impulsa je vreme koje je potrebno da ultrazvučni talas ode do predmeta čije se rastojanje meri i da se vrati nazad do senzora. Ukupno rastojanje koje se dobije je iz tog razloga potrebno podeliti sa 2 kako bi se dobilo rastojanje između senzora i predmeta, kao što je prikazano u jednačini (1):

$$Rastojanje = (vreme\ trajanja\ ECHO\ impulsa \cdot brzina\ impulsa) \div 2 \quad (1)$$

III. ŠEMA U PROTEUS-U

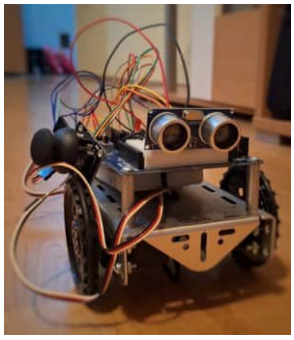


Slika 9. Električna šema sistema realizovana korišćenjem softverskog alata Proteus.

Na slici 10 je prikazana praktična realizacija sistema. Za reaizaciju je iskoriščen ActivityBot 360 °Robot.

To je edukativni robot dizajniran od strane kompanije Parallax, pri čemu je u ovu svrhu iskorišćen samo deo sistema sa servo motorima i točkovima, dok je za pokretanje periferijskih jedinica upotrebljen STM32 Blue Pill okruženje povezano na protopločici.

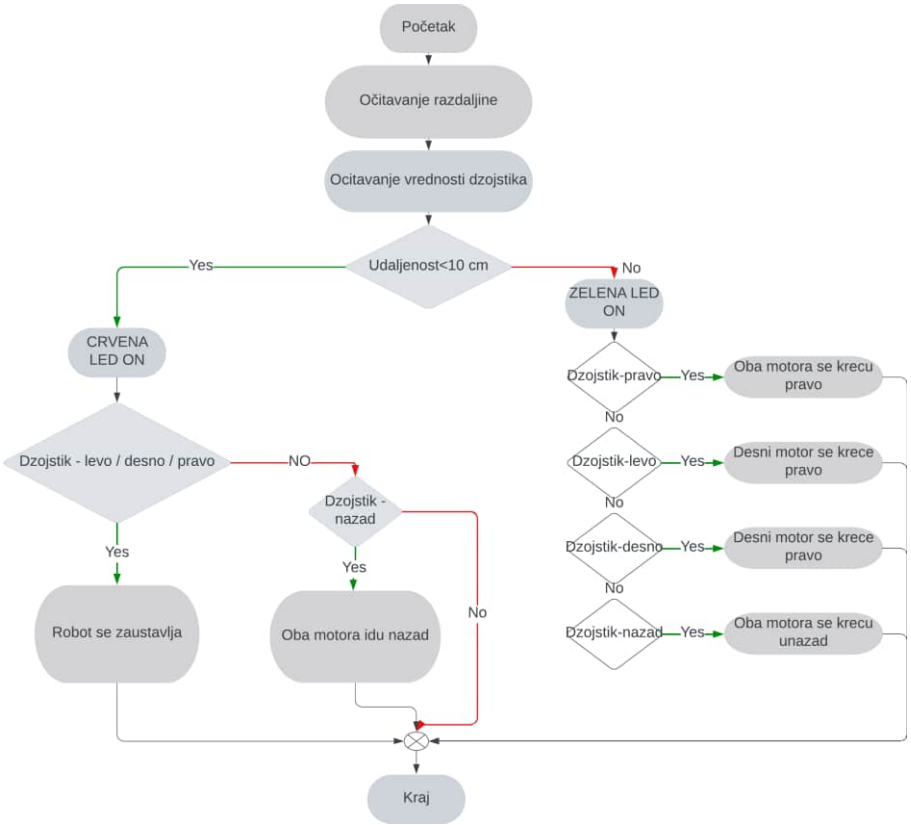
Šema se sastoji iz razvojnog okruženja *STM32 Blue Pill* na koje je povezano dva servo motora pomoću kojih se ovaj sistem kreće. Takođe je povezan i džojstik modul kojim se kontroliše smer kretanja robota, kao i ultrazvučni senzor koji sve vreme meri rastojanje od prepreke i šalje podatke mikrokontroleru. Na osnovu tih informacija, mikrokontroler upravlja motorima kako bi se robot zaustavio ako se približi prepreci na manje od 10 cm. Pored toga, sistem poseduje dve LE diode-crvenu i zelenu. Crvena LED se uključuje kada je prepreka bliža od 10 cm, dok je zelena aktivna kada nema prepreka ispred robota.



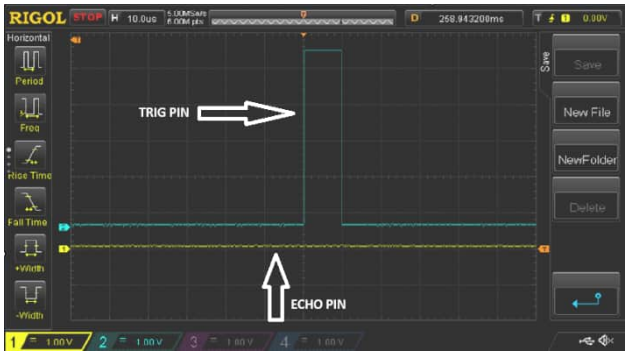
Slika 10. Praktična realizacija.

IV. ALGORITAM I PRAKTIČNA REALIZACIJA

Na slici 11. je prikazan algoritam projekta. Na početku algoritma se očitava vrednost džojstika i trenutna udaljenost robota od prepreke. Ako je očitana udaljenost manja od 10 cm uključuje se crvena *LED*. U ovom slučaju, motori ne mogu da se kreću napred, levo ili desno, čak iako džojstik daje te komande. Jedino je dozvoljeno kretanje unazad kako robot bi robot izbegao prepreku. Ako je udaljenost veća od 10 cm, to znači da nema prepreka u blizini i uključuje se zelena *LED*. U ovom stanju motori izvršavaju komande koje dolaze sa džojstika. Za kretanje napred i nazad, oba motora su aktivna. Pri skretanju ulevo, levi motor se isključuje, dok desni motor omogućava skretanje. Pri skretanju udesno, desni motor se isključuje, dok levi omogućava skretanje.

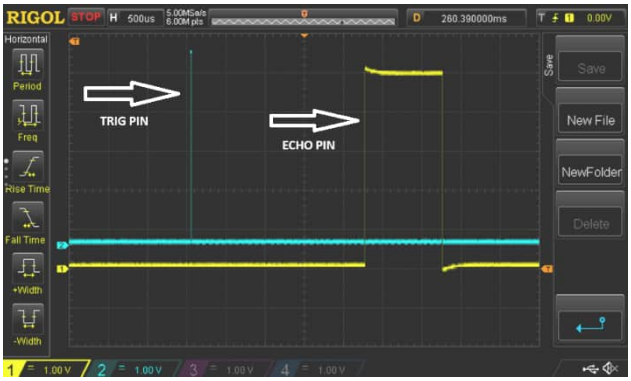


Slika 11. Algoritam izvršenja programa.



Slika 12. Signal sa *TRIG* i *ECHO* pina.

Signali sa *ECHO* i *TRIG* pina su usnimljeni na osciloskopu *RIGOL DS1102* radi provere rada ultrazvučnog senzora (slika 10 i 11) [6]. Na slici 12. je prikazan impulsni *TRIG* signal u trajanju od 10 us koji inicira rad ultrazvučnog senzora, a na slici 13. je usnimljen *ECHO* signal pomoću koga se meri rastojanje. *TRIG* signal je žute boje a *ECHO* signal je plave boje.



Slika 13. Signal sa TRIG i ECHO pina.

V. ZAKLJUČAK

Robot sa ultrazvučnim senzorom može pronaći veliku primenu u svakodnevnom životu. Pre svega, može se koristiti kao robot za čišćenje koji izbegava prepreke ili kao kosilica za košenje trave koja se može kontrolisati džojstikom. Jedan vid primene ovog robota je u industriji kao pomoćnik za dostavu u skladištima gde smanjuje zahteve za ljudskim resursima. Veoma korisna primena je u opasnim okruženjima gde je ljudska prisutnost rizična, poput rudnika, tunela, oblastima sa visokim nivoima radijacije i tako dalje. Može se koristiti i kao edukativna igračka za učenje programiranja.

Ovo rešenje se može vrlo jednostavno unaprediti dodavanjem nekog bežičnog modula poput *bluetooth*-a za komunikaciju džojstik modula i motora kako bi se smanjilo korišćenje žica i obezbedio veći opseg kretanja robota. Umesto džojstika se može upotrebiti i infracrveni daljinski upravljač za upravljanje kretanjem robota, s tim što u ovom slučaju na mikrokontroler mora biti povezan infracrveni prijemnik kako bi komunikacija bila moguća. Druga ideja za unapređenje jeste dodavanje servo motora na koji bi se postavio ultrazvučni senzor. Dodavanjem mogućnosti okretanja ultrazvučnog senzora se proširuje opseg detekcije prepreke. Jedna ideja jeste da robot prati prepreku. U tom slučaju bi se mogao iskoristiti kao pametna korpa koja prati kupca u supermarketu. Takođe, moguće je sve ovo napraviti i bez džojstik modula ako se napravi aplikacija specijalizovana za kontrolu kretanja robota.

ZAHVALNICA

Rad je realizovan kao projektni zadatak iz predmeta Komponente i kola snage, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi. Autori se zahvaljuju mentorima Milanu Stojanoviću i Milošu Marjanoviću.

LITERATURA

[1] Tehnicka dokumentacija za STM32F103x8. Dostupno na: https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00161566.pdf

[2] Tehnička dokumentacija za Parralax Continuous Rotation Servo. Dostupno na: https://docs.rs-online.com/870b/0900766b8123f8a1.pdf

[3] Tehnička dokumentacija za džojstik modul. Dostupno na: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Joystick%20Module.pdf

[4] Tehnička dokumentacija za HC-SR04, Dostupno na: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

[5] M. Marjanović, „Upravljanje komponenetama snage korišćenjem ARM mikrokontrolera“. Elektronski fakultet Niš, 2024.

[6] Softver za osciloskop RIGOL DS1102. Dostupno na: https://www.rigol.eu

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.025V
Original scientific paper

Projektovanje sistema za kontrolu pametnog kontejnera pomoću Nucleo-64

Nevena Veselinović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nevena.veselinovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Veljko Stošić
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
veljko.stosic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom projektu biće obrađen sistem za upravljanje pametnim kontejnerom korišćenjem ARM mikrokontrolera STM32F103RB na razvojnom okruženju STM32 Nucleo-64. Sistem će omogućiti otvaranje/zatvaranje kontejnera putem servo motora, koji će se aktivirati pomoću PIR senzora, čime se postiže beskontaktna kontrola. Takođe, ultrazvučnim senzorom će se meriti količina smeća u kontejneru, a nivo popunjenosti će se ilustrovati na LED bargraph-u. Kada je kontejner napunjen, poruka o tome će biti poslata do računara preko UART-a, a istovremeno će se aktivirati zvučni alarm.**

Ključne reči—pametni kontejner, Nucleo-64

I. UVOD

Sistem za kontrolu pametnog kontejnera biće realizovan pomoću ARM mikrokontrolera STM32F103RB na razvojnom okruženju STM32 Nucleo-64, koji će biti zadužen za kontrolu. Ultrazvučni senzor HC-SR04 meriće količinu smeća u kontejneru, odnosno visinu praznog prostora u njemu i te podatke slaće računaru preko UART komunikacije. Otvaranje i zatvaranje kontejnera vršiće se bez kontakta, pomoću PIR senzora pokreta, koji će detektovati prisustvo ispred kontejnera. Nakon toga, će se pomoću servo motora SG90 otvoriti kontejner, koji će se, kada PIR senzor prestane da šalje podatke o detektovanju pokreta, zatvoriti. Nivo popunjenosti kontejnera će se ispisivati na LED bargraph-u, a kada se određeni nivo pređe, informacija o tome poslaće se računaru i oglasiće se zvučni alarm, koji je predstavljen zujalicom.

II. PRINCIP RADA SISTEMA

Sistem će biti realizovan pomoću Nucleo-64 razvojnog okruženja [1], odnosno ploče, koja je zasnovana na STM32F103RB mikrokontroleru. On ima ARM Cortex-M3 jezgro [2], koje radi na maksimalnoj frekvenciji od 72 MHz, korišćenoj i u projektu. Šema kompletnog sistema prikazana je na slici 1. Sve komponente rade pri naponu od 5 V.

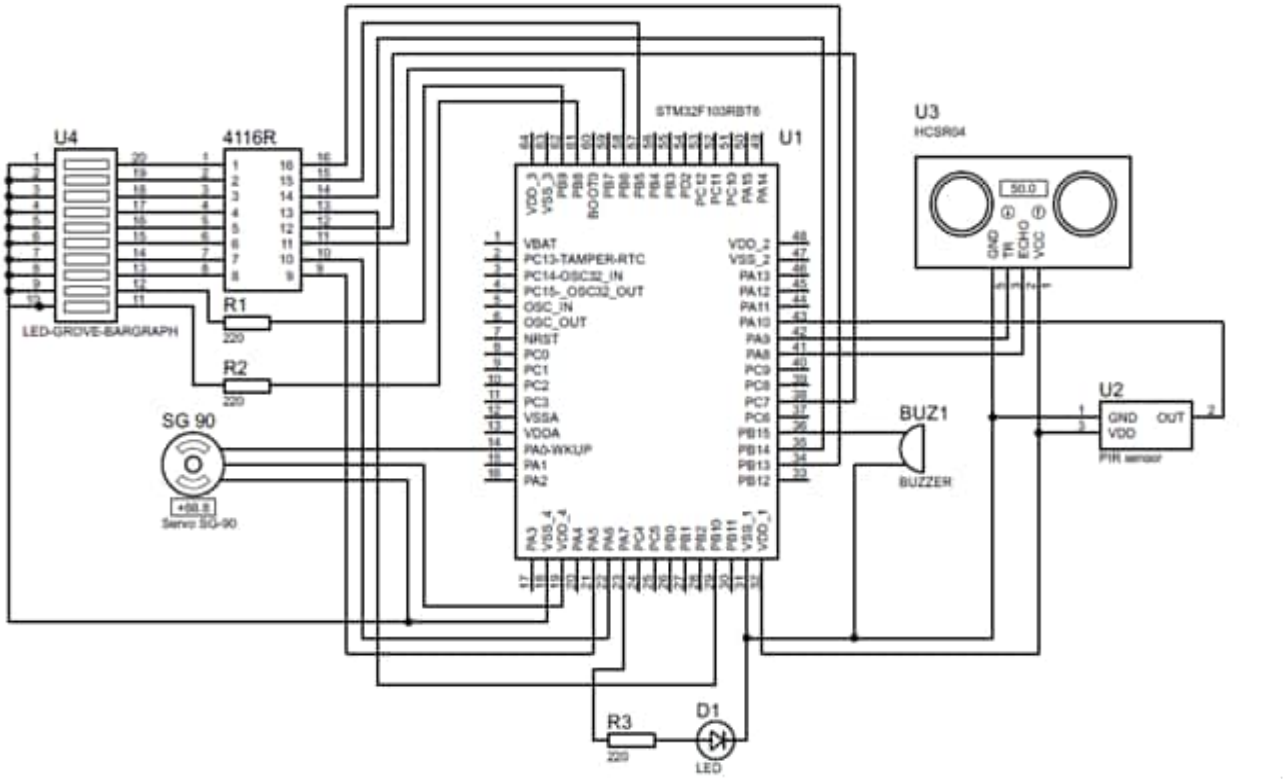
Jedna od osnovnih komponenti ovog sistema jeste HC-SR04 [3] ultrazvučni senzor udaljenosti, koji meri nivo popunjenosti kontejnera. Sastoji se od prijemnika i predajnika, radi na principu slanja ultrazvučnih impulsa i merenju vremena potrebnog za njihov povratak, na osnovu brzine prostiranja zvuka. Ima raspon merenja od 2 cm do 400 cm i tačnost od oko ±3 mm. Senzor ima dva karakteristična pina TRIG i ECHO, koji su vezani na pin A9 i A8, respektivno. On će preko UART komunikacije [4], podatke slati računaru, a ti podaci će se prikazivati u *Realterm*-u [5].

Naredna komponenta, PIR senzor [6], odnosno *passive infrared*, je uređaj koji detektuje infracrveno zračenje koje emituju objekti u okolini. Radi na principu detekcije promena u toplotnom zračenju u svom vidljivom polju. Ima opseg detekcije od 5 do 10 metara i pokriva ugao od 90 do 180 stepeni. Fizički se sastoji od termoelektričnih senzora, optičkih sočiva i elektronskog sklopa. Povezan je na pinu A10, slika 1. Kako bi se vizuelno lakše proverila tačnost rada senzora, dodata je LE dioda na pinu A7, koja će prilikom detektovanja pokreta svetleti.

Nakon što se detektuje pokret, servo motor SG90 [7] otvara kontejner. Princip kontrole servo motora zasniva se na trajanju logičke jedinice signala, odnosno podešavanjem PWM (*Pulse Width Modulation*) [8]. U zavisnosti od faktora ispune signala, zavisiće i položaj servo motora. Servo motor radi na frekvenciji od 50 Hz, što znači da je perioda signala za kontrolu motora 20 ms. Motor ide iz položaja 0 u položaj od 90 stepeni, a to će se kontrolisati promenom trajanja logičke jedinice signala na pinu A0 koji kontroliše servo motor. Kada je trajanje logičke jedinice 1 ms, tada je motor u položaju 0 stepeni, a kada je 3 ms, tada je u položaju 90 stepeni.

Vizuelnu reprezentaciju obezbeđuje LED *bargraph* [9], koji se sastoji od 10 dioda zelene boje. Preko otporne mreže 4116R [10] i 2 dodatna otpornika od 220 Ω, povezan je sa Nucleo okruženjem. U zavisnosti od informacije o dubini, koju ultrazvučni senzor šalje računaru, Nucleo aktivira određene segmente na LED *bargraph*-u, a kada se pređe određeni nivo popunjenosti, aktivira se zujalica, koja je povezana na pin B15 i predstavlja zvučni alarm.

Da bi se čitav sistem lakše realizovao, korišćena su 2 pomoćna programska alata. STM32 Cube MX [11] je softver razvijen od strane *STMicroelectronics* koji pruža grafički interfejs za konfigurisanje mikrokontrolera iz STM32 serije.



Slika 1. Električna šema sistema za kontrolu pametnog kontejnera.

Ovaj alat olakšava inicijalnu konfiguraciju periferija, postavljanje pinova, generisanje inicijalnog koda i optimizaciju podešavanja mikrokontrolera. Generisani kod sa inicijalizovanim podešavanjima komunikacija i pinova, dodatno je modfikovan u softveru *Keil uVision5* [12]. Ovaj softver daje mogućnost provere izvršenja koda, uključivanja dodatnih biblioteka, kompajliranja a zatim i izvršavanja koda na ploči.

III. SOFTVERSKA REALIZACIJA

Softversko rešenje zasniva se na 3 osnovne funkcije koje su pozivane u glavnoj petlji koda. Prva funkcija, hcsr04(), je funkcija za ultrazvučni senzor, prikazana na slici 2.

```
void hcsr04()
{
    // Aktiviranje TRIG pina da pošalje ultrazvučni impuls
    HAL_GPIO_WritePin(TRIG_PORT, TRIG_PIN, GPIO_PIN_SET);  // TRIG pin na visoki nivo
    __HAL_TIM_SET_COUNTER(&htim1, 0);  // resetovanje tajmera
    while (__HAL_TIM_GET_COUNTER (&htim1) < 10);  // Čekanje 10 mikrosekundi
    HAL_GPIO_WritePin(TRIG_PORT, TRIG_PIN, GPIO_PIN_RESET);  // TRIG pin na niski nivo

    pMillis = HAL_GetTick();
    // Čekanje da ECHO pin postane visok (početak refleksije zvučnog impulsa)
    while (!(HAL_GPIO_ReadPin (ECHO_PORT, ECHO_PIN)) && pMillis + 10 > HAL_GetTick());
    Value1 = __HAL_TIM_GET_COUNTER (&htim1);  // vreme početka refleksije

    pMillis = HAL_GetTick();
    // Čekanje da ECHO pin postane nizak (kraj refleksije zvučnog impulsa)
    while ((HAL_GPIO_ReadPin (ECHO_PORT, ECHO_PIN)) && pMillis + 50 > HAL_GetTick());
    Value2 = __HAL_TIM_GET_COUNTER (&htim1);  // vreme kraja refleksije

    // Izračunavanje udaljenosti
    Distance = (Value2-Value1) * 0.034 / 2;

    if(Distance <= 5)
        {
            HAL_UART_Transmit(&huart2,"Ne bacaj!\r\n",strlen("Ne bacaj!\r\n"),10);
        }
        else{
        sprintf(ispis, "%d \r \n", Distance);
        HAL_UART_Transmit(&huart2,(uint8_t *)ispis,strlen(ispis),10);}
        LedBargraph ();}
}
```

Slika 2. Funkcija za kontrolu ultrazvučnog senzora.

TRIG pin se postavlja na visok naponski nivo, to traje 10 µs i nakon toga se postavlja na nizak naposnki nivo. Čekamo da ECHO pin postane visok, što označava početak refleksije zvučnog impulsa, promenljiva *Value1* pamti to vreme. Zatim čekamo da ECHO pin postane nizak, to vreme će označiti kraj refleksije i biće upisano u promenljivu *Value2*. Razlika u ovim vremenima predstavlja potrebno vreme da zvučni impuls pređe rastojanje između senzora i prepreke, a zatim se reflektuje nazad do senzora. Na osnovu ove razlike možemo izračunati udaljenost do prepreke, znajući da je brzina zvuka 340 m/s. U okviru ove funkcije rađena je provera udaljenosti, njen ispis na *RealTerm*-u i kontrola LED *bargraph*-a preko funkcije.

Druga funkcija služi za kontrolu PIR senzora. Prikazana je na slici 3.

```
void pir()
    {
        stanje = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_10);
        if (stanje == 1) {
            stanje2 = 1;
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_7, 1); // Postaviti pin A7 na 1
        }
        else {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_7, 0); // Postaviti pin A7 na 0
        }
    }
```

Slika 3. Funkcija za kontrolu PIR senzora.

PIR senzor povezan je na pin A10 koji šalje informaciju o detektovanju pokreta. Ta informacija se upisuje u promenljivu *stanje*. Ako je *stanje* na visokom naponskom nivou znači da je pokret detektovan i tada se promenljiva *stanje2* postavlja na visok naponski nivo, to znači da će se kontejner otvoriti, odnosno da će se servo motor postaviti u određeni položaj. Dodatno, aktiviraće se i dioda koja služi za vizuelnu kontrolu PIR senzora. Kada je promenljiva stanje na niskom naponskom nivou, dioda će se isključiti. Funkcija za kontrolu LED *bargraph*-a je funkcija koja zavisi od parametra *Distance*, koji se računa u funkciji hcsr04(). U zavisnosti od dubine kontejnera, zavisiće naponski nivoi signala na pinovima preko kojih je povezan LED bargraph. Glavna petlja softverskog rešenja, prikazana je na slici 4.

```
  while (1)
{
      pir();

      if(stanje2==0)
      {
          htim2.Instance->CCR1=15;
          HAL_Delay(100);
          hcsr04();

      }
      else if (stanje2==1)
      {
          stanje = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_10);
          htim2.Instance->CCR1=5;
          HAL_Delay(5000);
          stanje2=0;
      }


      HAL_Delay(100);

}
```

Slika 4. Glavna petlja softverskog rešenja.

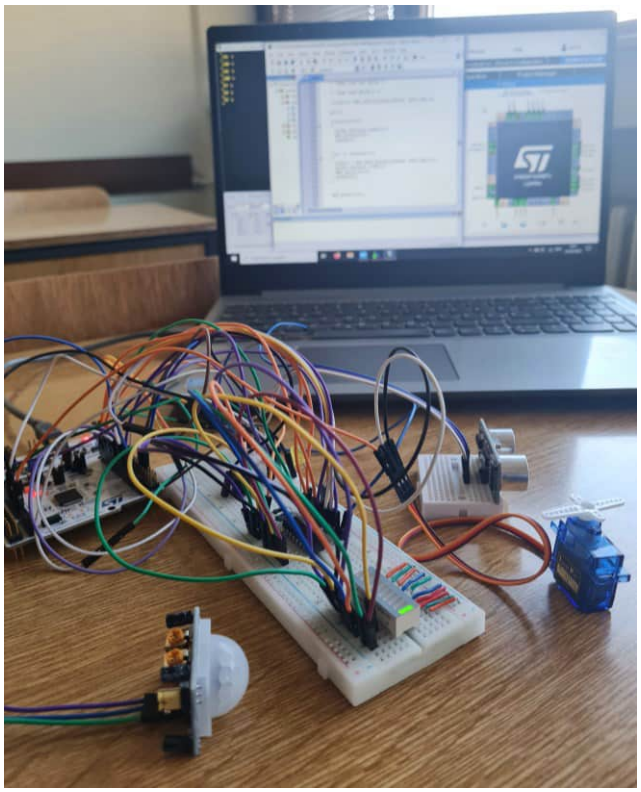
Prva funkcija koja se poziva je funkcija pir(). Preko nje će se neprestano detektovati pokret. Ako je promenljiva *stanje2* na niskom naponskom nivou, kontrolni signal servo motora će imati vreme trajanja logičke jedinice 3ms, odnosno faktor ispune 15, a funkcija hscr04(), će meriti dubinu. Ako je promenljiva *stanje2* na visokom naponskom nivou, servo motor će promeniti svoj položaj (kontejner će se otvoriti), faktor ispune signala koji ga kontroliše će biti 5, a vreme trajanja logičke jedinice 1ms. To će trajati određeno vreme (5 s), nakon čega će se promenljiva *stanje2* postaviti na nizak naponski nivo, odnosno kontejner će se zatvoriti.

IV. Praktična realizacija sistema

Za projektovanje sistema za kontrolu pametnog kontejnera potrebne su sledeće komponente: Nucleo-64 kao razvojno okruženje, ultrazvučni senzor HC-SR04, PIR senzor pokreta, servo motor SG 90, otporna mreža, LED *bargraph* i zujalica.

Povezivanje komponenata vrši se uz pomoć tehničkih dokumentacija, strogo prateći instrukcije. Ultrazvučni senzor nalazi se unutar kontejnera, ispod poklopca, kako bi merio nivo popunjenosti u kontejneru. Servo motor ima kontrolu poklopca kontejnera i biće povezan sa njim. PIR senzor, kao detektor pokreta nalazi se na prednjoj strani kontejnera, kako bi neometano detektovao pokrete, odnosno prisustvo nekog lica. Sve dok se detektuje pokret svetleće dioda, a kontejner će biti otvoren. Kako se kontejner bude popunjavao tako će se na osnovu informacija koje šalje ultrazvučni senzor, menjati boje na led bargraph-u. U zavisnosti od nivoa popunjenosti zavisiće i nivo boja na led bargraph-u, koji ima deset segmenata. Kada se popuni i deseti segment, aktiviraće se i zujalica, koja će pored LED *bargraph*-a koji predstavlja vizuelno obaveštenje, krenuti da zuji i kao zvučni alarm obavestiti korisnika da je kontejner pun.

Pored merenja nivoa smeća u kontejneru, ultrazvučni senzor će te podatke o popunjenosti slati računaru, a ti podaci će se preko UART-a ispisivati na terminalu. Kada se pređe određena granica popunjenosti umesto podataka o količini smeća, ispisaće se informacija o prestanku bacanja smeća. Praktična realizacija sistema prikazana je na protoploči što se vidi na slici 5.



Slika 5. Praktična realizacija sistema.

V. Problemi pri realizaciji

Prilikom realizacije ovog sistema postojalo je par problema različite vrste.

Prvi od problema bio je uspostavljanje rada ultrazvučnog senzora u realnom vremenu. U softverskom alatu koji smo koristili nema gotovih funkcija za ovaj senzor, pa je za potrebe projekta osmišljena funkcija koja će raditi merenje i prikaz u realnom vremenu. To je rešeno pomoću internog tajmera u STM-u.

Drugi problem je bila fizička kalibracija PIR senzora, koji na sebi ima dva potenciometra za podešavanje vremena trajanja signala nakon detekcije pokreta i osetljivosti senzora , oba su podešena na oko 70%.

Treći problem bila je kontrola servo motra, podešavanje frekvencije rada na 50 Hz nije bio problem, koliko je bila tačna procena faktora ispune za 0 i 90 stepeni, ona varira od 0 do 2 ms, ali to je rešeno eksperimentalnim putem.

VI. Praktična primena sistema

Praktična primena ovog sistema za upravljanje pametnim kontejnerom je višestruka.

Efikasnije upravljanje otpadom: Sistem omogućava kontinuirano praćenje nivoa popunjenosti kontejnera. Ovo omogućava efikasnije planiranje ruta za pražnjenje kontejnera, što može dovesti do smanjenja troškova i efikasnijeg korišćenja resursa.

Smanjenje fizičkog kontakta: Kontrola otvaranja i zatvaranja kontejnera putem servo motora i detekcija pokreta PIR senzorom omogućava beskontaktno rukovanje kontejnerom, što može biti posebno korisno u kontekstu higijene i sprečavanja širenja zaraznih bolesti.

Bolje informisanje: Sistem šalje informacije o nivou popunjenosti kontejnera računaru, omogućavajući

nadzornicima ili odgovornim osobama da prate stanje kontejnera u realnom vremenu i reaguju na vreme.

Automatizacija procesa: Sistem automatski kontroliše otvaranje i zatvaranje kontejnera, što može smanjiti potrebu za ljudskim intervencijama i olakšati rad osoblju koje je zaduženo za upravljanje otpadom.

Sve ove funkcionalnosti omogućavaju bolje upravljanje otpadom u urbanim sredinama, što doprinosi održivosti i efikasnosti sistema upravljanja otpadom.

Sistem se potencijalno može napajati pomoću solarnih panela postavljenih na poklopac kontejnera, što omogućava autonomno napajanje čak i u uslovima bez pristupa direktnom izvoru struje. Takođe, moguće je ugraditi dugotrajne baterije kao rezervni izvor napajanja ili sistem direktno povezati na električnu mrežu, čime bi se obezbedila neprekidna funkcionalnost i pouzdanost sistema u svim uslovima rada.

VII. Zaključak

Implementacija sistema za upravljanje pametnim kontejnerom donosi brojne koristi u efikasnijem upravljanju otpadom, poboljšanoj bezbednosti i automatizaciji procesa. Kombinacija senzora, mikrokontrolera i aktuatora omogućava kontinuirano praćenje nivoa popunjenosti kontejnera, beskontaktno otvaranje i zatvaranje poklopca, kao i automatsko obaveštavanje o potrebi pražnjenja kontejnera. Praktična primena sistema može dovesti do smanjenja troškova upravljanja otpadom, efikasnijeg korišćenja resursa, smanjenja fizičkog kontakta, poboljšane bezbednosti radnika koji upravljaju otpadom i boljeg informisanja nadležnih osoba o stanju kontejnera. Ovi sistemi predstavljaju korak ka pametnijem i održivijem upravljanju otpadom u urbanim sredinama. Uz to, proces implementacije ovakvog sistema može doneti izazove, kao što su potreba za prilagođavanjem postojećih procesa, rešavanje tehničkih problema tokom implementacije i potreba za obukom osoblja za korišćenje novih tehnologija. Međutim, dugoročne koristi sistema za upravljanje pametnim kontejnerom mogu daleko prevazići ove početne izazove, pružajući održivo i efikasno rešenje za upravljanje otpadom u urbanim sredinama.

Zahvalnica

Zahvalnost za realizaciju ovog rada dugujemo profesoru Ivici Maniću, docentu Milošu Marjanoviću i asistentu Milanu Stojanoviću. Projekat je rađen u okviru predmeta Komponente i kola snage, koji se izvodi u 8. semestru OAS, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi.

Literatura

[1] STM32 Nucleo-64 razvojno okruženje sa STM32F103RB mikrokontrolerom. Dostupno na: https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f103rb.html

[2] ARM Cortex-M3 jezgro. Dostupno na: https://www.st.com/content/st_com/en/arm-32-bit-microcontrollers/arm-cortex-m3.html

[3] Ultrazvučni modul za merenje udaljenosti HC-SR04. Dostupno na: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

[4] UART komunikacija. Dostupno na: https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Getting_started_with_UART

[5] RealTerm softver. Dostupno na: https://realterm.sourceforge.io/

[6] PIR pasivni infracrveni senzor pokreta. Dostupno na: https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf

[7] SG90 Servo motor. Dostupno na: https://www.friendlywire.com/projects/ne555-servo-safe/SG90-datasheet.pdf

[8] PWM sa STM32 mikrokontrolerom. Dostupno na: https://www.theengineeringprojects.com/2021/12/pwm-with-stm32.html

[9] LED Bargraph tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://www.farnell.com/datasheets/1683492.pdf

[10] 4116R otporna mreža. Dostupno na: http://class.ece.iastate.edu/ee230/Datasheets/4116R%20Datasheet.pdf

[11] STM32CubeMX softver. Dostupno na: https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html

[12] µVision softver. Dostupno na: https://developer.arm.com/documentation/101407/0540/User-Interface/uVision-GUI

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.029V
Original scientific paper

Projektovanje sistema za kontrolu RGB svetla

Nevena Veselinović
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nevena.veselinovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Veljko Stošić
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
veljko.stosic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom radu biće obrađeno projektovanje sistema za kontrolu RGB svetla. Preko tri tastera će se inkrementirati vrednost faktora ispune signala koji će se prosleđivati LE diodama unutar RGB diode. Vrednost faktora ispune biće prikazana na TFT displeju, a vreme trajanja logičke jedinice na OLED displeju.**

Ključne reči—RGB diode, kontrola tasterima, OLED, TFT

I. UVOD

Sistem za kontrolu RGB svetla biće formiran tako da će faktor ispune signala koji dolazi do LE dioda unutar RGB diode zavisiti od tri tastera, za svaku boju u okviru RGB diode, posebno. Korisnici mogu postepeno povećavati vrednost faktora ispune po 10% koracima, dosežući do maksimalnih 100%. Nakon dostizanja maksimalne vrednosti, daljim pritiskom tastera sistem se automatski resetuje na nulu, omogućavajući ciklično ponavljanje procesa. U početnom trenutku, vrednost faktora ispune sve tri diode jednaka je 0%. Displeji su tu kako bi se pratila ispravnost procesa inkrementiranja. Na TFT displeju pratiće se vrednost faktora ispune za sve tri diode istovremeno, ali će odgovarajućim bojama, jasno biti naznačeno koji faktor ispune se na koju diodu odnosi. Istovremeno, će se na OLED displeju prikazivati vreme trajanja logičke jedinice za svaku diodu u okviru RGB diode, posebno.

Tačnost trajanja logičke jedinice svih dioda u okviru RGB diode, crvene, zelene i plave, biće proverena osciloskopom i prikazana u nastavku.

II. PRINCIP RADA SISTEMA

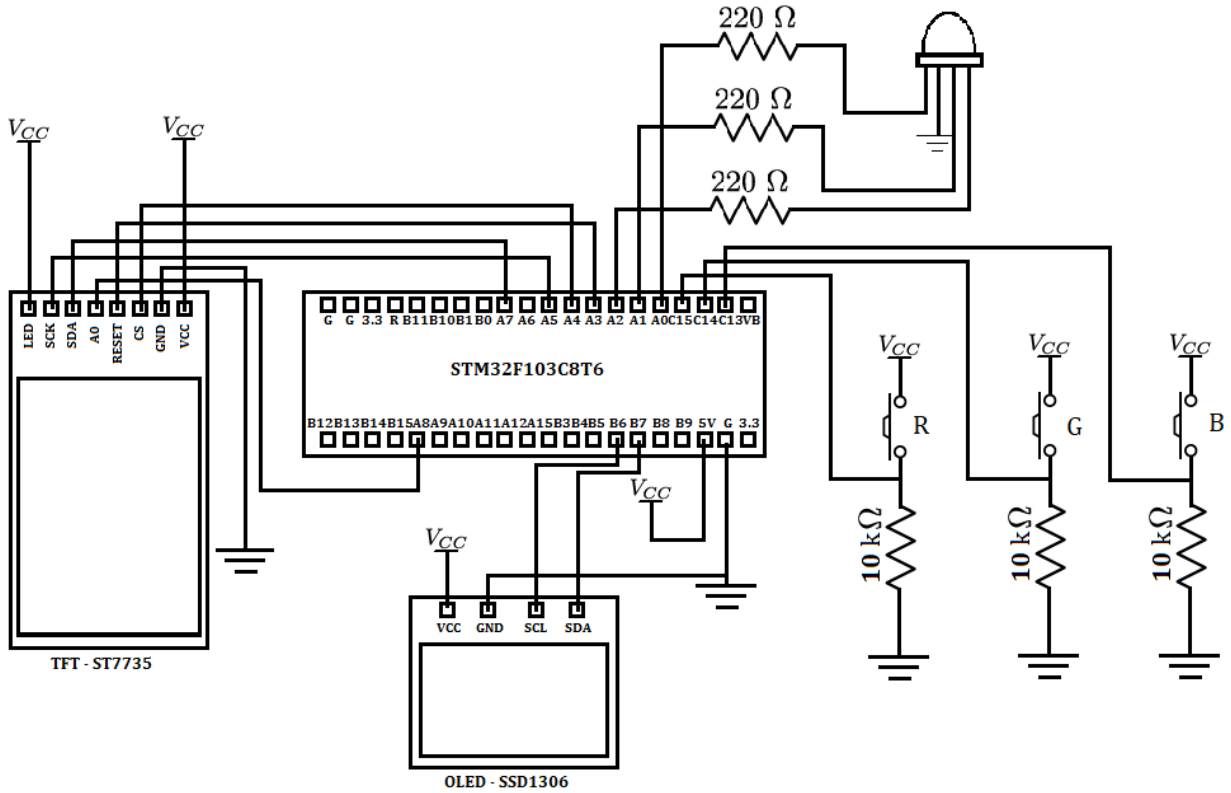
Sistem će biti realizovan pomoću Blue Pill razvojnog okruženja [1], odnosno ploče, koja je zasnovana na STM32F103C9T6 mikrokontroleru, koji ima ARM Cortex-M3 jezgro, koje radi na maksimalnoj frekvenciji od 72 MHz [2]. Šema kompletnog sistema prikazana je na slici 1, u nastavku. Osnovna komponenta ovog sistema jeste RGB dioda. RGB (*Red*, *Green*, *Blue*) dioda je elektronska komponenta koja se sastoji od tri LE diode, crvene, zelene i plave. Ove diode su enkapsulirane u jedno kućište. Ove tri boje se kombinuju u različitim proporcijama kako bi se dobile neke druge boje, kada one svetle zajedno. Svaka boja se kontroliše pojedinačnim električnim signalima, podešavanjem PWM (Pulse Width Modulation) signala [3]. U zavisnosti od faktora ispune signala, zavisiće i boja kojom će RGB dioda svetleti, faktor ispune svakog signala menjaće se pomoću jednog od tastera. U okviru projekta korišćena je RGB dioda sa zajedničkom katodom.

Prilikom izrade korišćena su tri tastera, u pull-up konfiguraciji, svaki za po jednu LE diodu u okviru RGB diode. Pull-up konfiguracija sastoji se od tastera i otpornika, taster je povezan između napajanja (Vcc) i ulaznog pina, a otpornik između ulaznog pina i uzemljenja (GND). Prilikom izrade korišćeni su otpornici od 10 kΩ. Za kontrolu crvene LE diode korišćen je pin C15, za kontrolu zelene pin C14 a za kontrolu plave LE diode, korišćen je pin C13.

Kako bi se lakše i preciznije pratila promena faktora ispune signala RGB diode, korišćeni su TFT i OLED displej. TFT (Thin Film Transistor) [4] koji je korišćen je ST7735R TFT displej. Ovaj displej koristi tanki film tranzistora koji kontroliše svaki pojedinačni piksel, što omogućava preciznu kontrolu osvetljenosti i boje. Ima visoku brzinu osvežavanja i mogućnost prikaza 18 boja, što ga čini vrlo pogodnim za ovaj projekat. U realizaciji projekta korišćen je OLED SSD1306 modul [5]. Koji predstavlja moderniji tip displeja za primenu u embedded sistemima, pre svega zbog svojih malih gabarita. Povezuje se preko samo 4 pina, korišćenjem I2C komunikacije. Koristi SSD1306 drajver koji omogućava veliki broj podešavanja.

Na slici 1, prikazana je celokupna šema projekta za kontrolu RGB svetla. RGB dioda je jednim pinom vezana za masu, a ostala tri pina su preko otpornika, čija je otpornost 220 Ω, vezana za ploču. Takođe, OLED SSD1306 i TFT ST7735 displeji, su pomoću njihovih datasheet-a povezani na ploču.

Da bi se sistem lakše realizovao, korišćena su 2 pomoćna programska alata. STM32 Cube MX je softver razvijen od strane STMicroelectronics koji pruža grafički interfejs za konfigurisanje mikrokontrolera iz STM32 serije. Ovaj alat olakšava inicijalnu konfiguraciju periferija, postavljanje pinova, generisanje inicijalnog koda i optimizaciju podešavanja mikrokontrolera [6]. Generisani kod sa inicijalizovanim podešavanjima komunikacija i pinova, dodatno je modifikovan u softveru Keil uVision5 [7]. Ovaj softver daje mogućnost provere izvršenja koda, uključivanja dodatnih biblioteka, kompajliranja a zatim i izvršavanja koda na ploči.



Slika 1. Električna šema sistema za kontrolu RGB svetla.

III. PRAKTIČNA REALIZACIJA SISTEMA

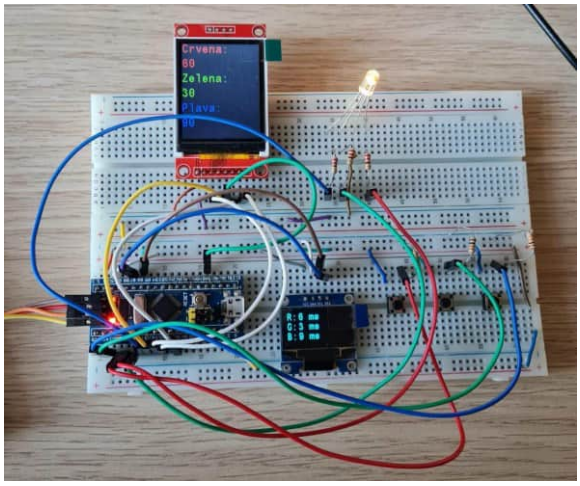
Za projektovanje sistema za kontrolu RGB svetla su potrebne sledeće komponente: Blue Pill – razvojno okruženje [1], RGB dioda, OLED–SSD1306 displej [5], TFT ST7735R displej [4], 3 tastera, 3 otpornika od 10 kΩ, 3 otpornika od 220 Ω, 2 proto-ploče i žice.

Povezivanje komponenata vrši se pomoću tehničkih dokumentacija, strogo prateći instrukcije. Tasteri se nalaze jedan do drugog u redosledu Red, Green, Blue radi lakšeg orijentisanja. Žice u tim bojama dodatno olakšavaju koji je taster namenjen za koju funkciju, što je prikazano na slici 2. Pritiskom na neki od taster, signal ide do Blue Pill-a i zatim izvršavanjem softverskih komandi šalje signale do RGB diode, TFT-ST7735R i OLED–SSD1306 displeja.

Na TFT-ST7735R displeju se odgovarajućom bojom prikazuju vrednosti faktora ispune koji se isporučuju pinovima RGB diode.

Na OLED-SSD1306 displeju se prikazuje vreme trajanja logičkih jedinica.

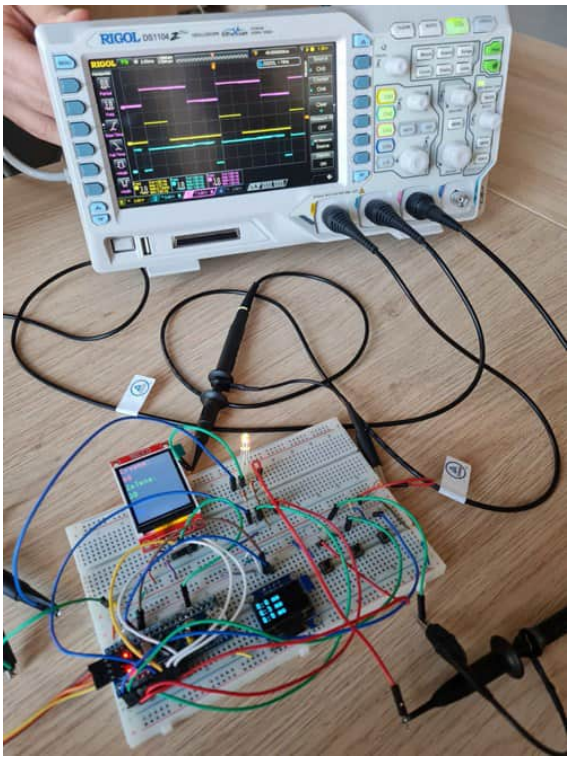
Korisnik preko tri tastera može inkrementirati vrednost faktora ispune signala koji se prosleđuje LE diodama unutar RGB diode u koracima od po 10%. Na početku je 0%, pritiskom tastera se inkrementira na 10, potom na 20 i tako do 100. Kada dođe do 100%, narednim pritiskom tastera se vraća na nulu i tako u krug.



Slika 2. Realizacija sistema za kontrolu RGB svetla.

A. *Provera rezultata*

Za proveru rezultata korišćen je osciloskop RIGOL DS1104 [8]. Osciloskop poseduje hardver za konekciju opcionih logičkih sondi (MSO Ready) čime korisnik pored standardnih funkcija osciloskopa dobija i funkciju 16-kanalnog logičkog analizatora na istom uređaju. Sondama su povezani izlazni signali čiju vrednost faktora ispune proveravamo. Jedan kraj je povezan na mestima između otpornika i izvoda RGB diode, a drugi kraj je zakačen za "masu", kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Povezivanje osciloskopa za proveru rezultata.

Provera rezultata zasniva se na ispitivanju frekvencije, periode i faktora ispunjenosti signala koji se dovodi na svaku od tri LE diode unutar RGB diode. Na slici 3, redom su prikazani signali, prvi signal odgovara signalu koji se dovodi na crvenu LE diodu, drugi signal odgovara signalu koji se dovodi na zelenu LE diodu, a treći signal odgovara signalu koji se dovodi na plavu LE diodu u okviru RGB diode. Prilikom podešavanja PWM signala [3], izvedena su određena podešavanja u okviru softvera STM32 Cube MX [6]. Frekvencija rada samog kola u softveru na početku iznosi 8 MHz, pomoću podešavanja Prescalera, koji je podešen na 800-1, frekvencija kola smanjena je na 10 kHz. Counter Period (AutoReload Register), odnosno ARR podešen je na 100-1 čime je frekvencija kola smanjena na 100 Hz. Dakle, konačna frekvencija svakog od signala koji se šalju LE diodama u okviru RGB diode, softverski je podešena da iznosi 100 Hz. Pošto je period signala T, recipročna vrednost frekvencije signala f, period svakog signala iznosi 10 ms. Faktor ispune signala (*Duty cycle* eng.) menjaće se kliktanjem tastera.

Na slici 4, prikazane su frekvencije signala koji se šalju LE diodama u okviru RGB. U donjem levom uglu ekrana uočava se da je f=100 Hz.



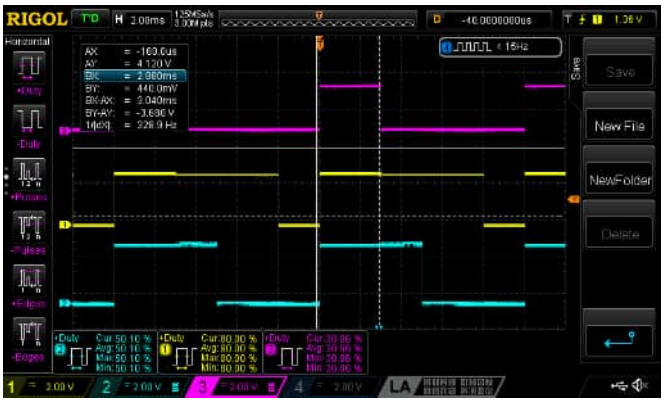
Slika 4. Prikaz frekvencija signala na osciloskopu.

Na slici 5, prikazani su periodi signala koji se šalju LE diodama u okviru RGB. U donjem levom uglu ekrana uočava se da je perioda svakog signala približno 10 ms, tačnije 9.98 ms.



Slika 5. Prikaz perioda signala na osciloskopu.

Na slici 6, prikazani su faktori ispune signala koji se šalju LE diodama u okviru RGB. U donjem levom uglu ekrana uočavaju se faktori ispune za svaki signal. Takođe, može se uočiti da je kursorima izmerena perioda signala koji se šalje crvenoj diode u okviru RGB.



Slika 6. Prikaz faktora ispune signala na osciloskopu.

U gornjem levom uglu na slici 6, uočava se BX-AX=3.04 ms, a faktor ispune tog signala iznosi 30%. DC, odnosno faktor ispune računa se po formuli (1).

$$DC = \frac{t}{T} \cdot 100\ \% \tag{1}$$

U formuli (1), t je vreme trajanja logičke jedinice signala, a T perioda signala, kada se izvrši računica, dobija se da DC, odnosno faktor ispune iznosi 30%, čime je dokazana tačnost između softverske i praktične realizacije.

IV. Problemi pri realizaciji

Prilikom realizacije ovog sistema postojalo je par problema različitih vrsta.

Jedan od njih je predstavljao konfiguraciju pritiska tastera i vreme do izvršenja naredbe. To je rešeno konstantnim očitavanjem stanja, da li je neki od tastera pritisnut. Ukoliko jeste, poziva se funkcija zadužena za taj taster. Vreme do izvršenja naredbe nije moglo da radi bez nekog kašnjenja, kako se ne bi očitao veći broj pritiska

tastera. Rešenje je pronađeno u dodavanju softverskog kašnjenja od 100 ms, prilikom svakog pritiska tastera.

Drugi problem predstavljalo je pamćenje prethodne promene u okviru TFT-ST7735R displeja. Na primer, nakon prikaza faktora ispune signala “100”, ostaje zapisano “000”. Cilj je bio da se prikaže samo “0”, pa je iskorišćena funkcija za popunjavanje pravougaonika bojom pozadine na mestu poslednje 2 cifre. To je takođe iskorišćeno kod ispisa dvocifrenih brojeva popunjavanjem pravougaonika u boji pozadine na mestu poslednje cifre trocifrenog broja.

V. Praktična primena sistema

Sistem za kontrolu RGB svetla, koji omogućava precizno podešavanje faktora ispune signala, može se primeniti u različite komercijalne svrhe gde je kontrola i prilagođavanje boja i osvetljenja ključna.

Ambijentalno osvetljenje u prostorijama: Sistem se može integrisati u osvetljenje prostorija, posebno u okruženjima gde je važno prilagoditi atmosferu ili boje svetla prema potrebama. Na primer, u restoranima, hotelima ili trgovinama.

Izložbeni prostori: U muzejima, galerijama ili izložbenim prostorima, sistem može prilagoditi osvetljenje kako bi istakao određene eksponate ili promenio atmosferu prostora.

Scenska osvetljenja: U pozorištima, bioskopima, koncertnim dvoranama ili klubovima, ovakav sistem može pružiti dinamičko osvetljenje koje se prilagođava atmosferi događaja.

Proizvodi sa prilagodljivim osvetljenjem: U proizvodima poput pametnih uređaja, automobila ili kućnih aparata, RGB osvetljenje može dodati estetski element i omogućiti personalizaciju korisničkog iskustva.

VI. Zaključak

Sistem za kontrolu RGB svetla je napravljen kako bi olakšao biranje proizvoljnih boja. Zadatak može biti unapređen tako što će pored ovih funkcija za inkrementiranje jedne boje, postajati tasteri sa gotovim bojama i tako što će postajati jedan taster za reset svih boja na nulu. Takođe, može se uvećati broj dioda, tako da to svetlo bude jako i primenjivo u komercijalne svrhe. Ovaj sistem se može koristiti za različite potrebe koje zahtevaju prilagođavanje svetla i može se implementirati na daljinski upravljač za kontrolu svetla.

Zahvalnica

Zahvalnost za realizaciju ovog rada dugujemo asistentu Nikoli Mitroviću. Projekat je rađen u okviru predmeta Optoelektronika, koji se izvodi u 7. semestru OAS, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi.

Literatura

[1] STM32F103C8T6 - Blue Pill. Dostupno na: https://components101.com/microcontrollers/stm32f103c8t8-blue-pill-development-board

[2] STM32F103C8. Dostupno na: https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html

[3] Basics of PWM (Pulse Width Modulation). Dostupno na: https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output

[4] Sitronix ST7735 LCD Controller Datasheet. Dostupno na: https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/1.8-SPI-LCD-Module-datasheet.pdf

[5] SSD1306 OLED Segment with Controller. Dostupno na: https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/2047793/0/0/1/ssd1306.html

[6] UM1718 User manual STM32CubeMX for STM32 configuration and initialization C code generation. Dostupno na: https://www.st.com/resource/en/user_manual/um1718-stm32cubemx-for-stm32-configuration-and-initialization-c-code-generation-stmicroelectronics.pdf

[7] µVision User's Guide. Dostupno na: https://developer.arm.com/documentation/101407/latest/

[8] User’s Guide DS1000Z Digital Oscilloscope. Dostupno na: https://www.batronix.com/pdf/Rigol/UserGuide/DS1000Z_UserGuide_EN.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.033V
Original scientific paper

Projektovanje kontrolera saobraćajne raskrsnice za FPGA čip

Nevena Veselinović
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nevena.veselinovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Veljko Stošić
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
veljko.stosic@elfak.rs
ORCID: N/A

Nikola Stefanović
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nikola.stefanovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom radu biće obrađeno projektovanje kontrolera saobraćajne raskrsnice za FPGA čip koji upravljati raskrsnicom, pružajući efikasan tok saobraćaja. Sistem se sastoji od generatora taktnog signala, brojača za praćenje vremenskih intervala, kao i konačnog automata za kontrolu semafora na raskrsnici. Glavni cilj je omogućiti stalno zeleno svetlo na glavnoj ulici za automobile, dok će se promena semafora aktivirati pritiskom na taster od strane pešaka ili detekcijom vozila na sporednoj ulici.**

Ključne reči—VHDL, semafor, FSM, FPGA

I. Uvod

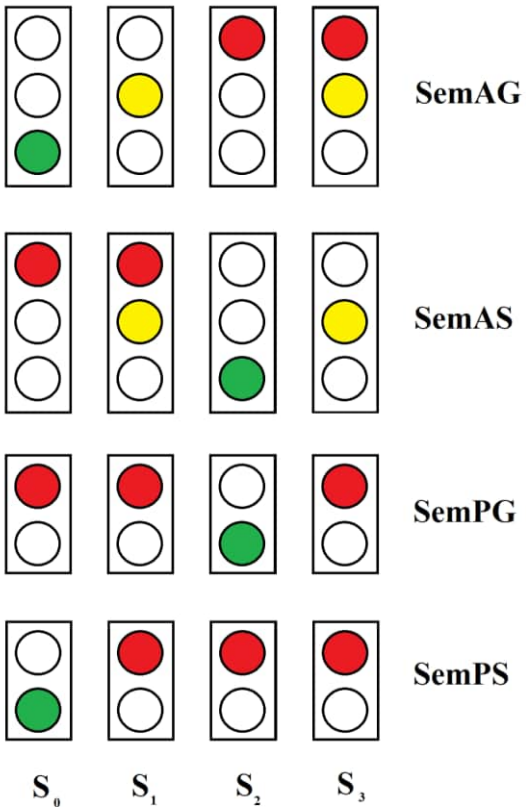
Sistem za kontrolu semafora je realizovan u VHDL-u, u formatu konačnog automata. Cilj zadatka je stvoriti efikasan protok saobraćaja kroz integraciju različitih komponenti, uključujući generator taktnog signala, brojač za praćenje vremenskih intervala i konačni automat za kontrolu semafora na raskrsnici. Glavni zadatak je osigurati neprekidan protok vozila duž glavne ulice pomoću stalnog zelenog svetla, promena će se indicirati ili pritiskom tastera od strane pešaka ili detekcijom prisustva vozila na sporednoj ulici. Projekat je implementiran korišćenjem VHDL-a na FPGA ploči ZyboZ7, uz korišćenje modula za semafore, LE dioda, kao i tastera za simulaciju zahteva pešaka i prisustva vozila.

II. Princip rada sistema

Sistem je realizovan pomoću Zybo Z7-20 ploče [1]. Ovo je FPGA razvojna ploča sa Xilinx Zynq-7000 serijom čipova, kombinujući FPGA logiku sa dva ARM Cortex-A9 procesora. Sa 512 MB DDR3 RAM memorije, različitim portovima za komunikaciju i podrškom za Vivado Design Suite [2], koji je korišćen u projektu. Vivado Design Suite je sveobuhvatan alat Xilinx-a za razvoj FPGA i SoC dizajna, pružajući funkcionalnosti sinteze, implementacije i simulacije. Podržava VHDL i Verilog jezik i ključan je alat za inženjere koji rade na dizajnu digitalnih sistema. U okviru softverskog dela zadatka pisan je jedan fajl, pod nazivom *semafor.vhd.* Kontrola raskrsnice realizovana je pomoću dva semafora, jedan u glavnoj ulici, a drugi u sporednoj. U glavnoj ulici traje zeleno svetlo sve dok neki događaj to ne prekine i aktivira ciklus crvenog svetla u glavnoj ulici.

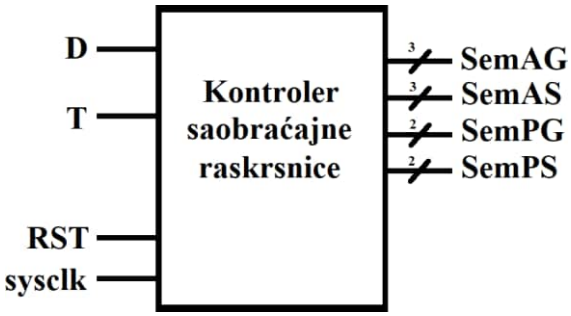
Događaj prekidanja može biti pešak koji pritisne taster ili detekcija vozila u sporednoj ulici, pomoću senzora. Ciklus trajanja crvenog svetla traje tako što je nakon aktiviranja ciklusa, u glavnoj ulici 5s žuto, zatim 24s crveno i 5s crveno i žuto svetlo, nakon čega se semafor vraća u normalan režim rada, tj. uvek zeleno svetlo. Ciklus ukupno traje 34s. Režim rada sva četiri semafora prikazan je na slici 1.

Automat je realizovan pomoću 4 stanja – S_0, S_1, S_2, S_3. Oznake koje su korišćene u toku pisanja programskog koda za semafore bile su SemAG – semafor za automobile na glavnoj ulici, SemAS – semafor za automobile na sporednoj ulici, SemPG – semafor za pešake na glavnoj ulici i SemPS – semafor za pešake u sporednoj ulici. Na slici 1, se takođe vidi raspored svetla na svakom od ovih semafora u zavisnosti u kom se stanju automat nalazi.



Slika 1. Režimi rada semafora.

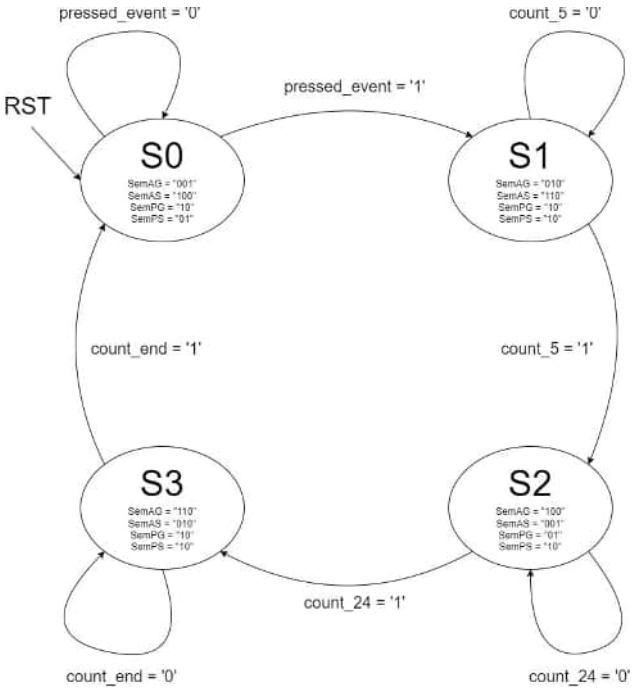
Blok šema sistema sa označenim portovima je prikazana na slici 2. Svaki od semafora kontrolisan je vektorom odgovarajuće dužine: semafori za automobile su dužine tri dok su semafori za pešake dužine dva.



Slika 2. Blok šema sistema sa označenim portovima.

Ulazni parametri kontrolera su D i T. Ulaz D je namenjen za simulaciju detekcije prisustva vozila u sporednoj ulici, a ulaz T za simulaciju pešaka. Sistem ima i asinhroni reset, označen sa RST. Da bi sistem mogao da ima mogućnost internog clock-a, to jest da bi se simulirao pravi rad kontrolera saobraćajne raskrsnice, još jedan od ulaznih parametara jeste sysclk, odnosno sistemski taktni signal. Blok šema ovog sistema je prikazana na slici 2.

Na slici 3, prikazan je dijagram stanja konačnog automata. Automat koji je obrađen u projektu je Murovog tipa. Kod ovakvih automata izlazi se generišu samo na osnovu trenutnog stanja automata [3].



Slika 3. Dijagram stanja konačnog automata.

III. Softverska realizacija

Sistem je realizovan u programu Vivado [2], pomoću programskog jezika VHDL - *Very High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*. Entitet sistema prikazan je na slici 4. Najbitniji deo programskog koda je proces kojim je generisan clk signal sa periodom od 1 sekunde. Ovo je rešeno pomoću podešavanja sistemskog clock-a u okviru constraint fajla. Ovi fajlovi koriste se u FPGA dizajnu kako bi se postavile ograničenja i usmerenja za implementaciju na FPGA čipu. To je fajl Zybo-Z7-Master.xdc. Pomoću naredbe *create_clock* podešeno je da sistemski taktni signal ima periodu 100 ns i faktor ispune 50%. Proces kojim je realizovan generator u okviru VHDL programa, dat je na slici 5.

```
entity semafor_fsm is
    Port (sysclk, RST : in std_logic;
          D, T : in std_logic;
          CLK_OUT : out std_logic;
          SemAG, SemAS : out std_logic_vector (2 downto 0);
          SemPG, SemPS : out std_logic_vector (1 downto 0)
          );
end semafor_fsm;
```

Slika 4. Entitet komponente.

Signal treba da broji do 5 miliona što označava poluperiodu signala CLK_TEMP, te je njegova ukupna perioda jednaka jednoj sekundi.

```
clock : process (sysclk, RST) is
begin
    if RST = '1' then
        counter <= 0;
        CLK_TEMP <= '0';
    elsif rising_edge(sysclk) then
        if counter = 5000000 then
            CLK_TEMP <= not CLK_TEMP;
            counter <= 0;
        else
            counter <= counter + 1;
        end if;
    end if;
end process;
```

Slika 5. Generator takta periode 1 s.

Kada smo dobili stabilno brojanje jedne sekunde, možemo taj signal iskoristiti kao takt koji pokreće naš brojač. S obzirom da je promena stanja automata definisana tačnim vremenskim periodom, on se mora i odrediti.

```
brojac_34: process (CLK_TEMP, RST) is
begin
    if RST = '1' then
        counter_sek <= (others => '0');
        pressed_event <= '0';
    elsif rising_edge(CLK_TEMP) then
        if ((T = '1' OR D = '1') AND pressed_event = '0') then
            pressed_event <= '1';
        elsif (pressed_event = '1' and counter_sek < "100010" ) then
            counter_sek <= counter_sek + 1;
                if counter_sek = "000100" then
                        count_5 <= '1';
                else
                        count_5 <= '0';
                end if;
                if counter_sek = "011100" then
                        count_24 <= '1';
                else
                        count_24 <= '0';
                end if;
                if counter_sek = "100001" then
                        count_end <= '1';
                else
                        count_end <= '0';
                end if;
            else
                counter_sek <= (others => '0');
                pressed_event <= '0';
                count_5 <= '0';
                count_24 <= '0';
                count_end <='0';
        end if;
    end if;
end process;
```

Slika 6. Brojač.

Najlakši način je uvesti pomoćne signale (takozvane *flag* signale) koji će menjati stanje kada je prošao određeni vremenski period. U ovom slučaju to su signali: count_5 koji meri pet sekundi, odnosno vreme od ulaska u stanje S1 pa do prelaska u stanje S2, count_24 koji meri dvadeset četiri sekunde koje automat provede u stanju S2 pre prelaska u stanje S3 i count_end koji meri još 5 sekundi pre prelaska iz stanja S3 nazad u početno stanje. Kako bi brojanje do dva različita broja zahtevalo dva brojača, u ovom slučaju je iskorišćen brojač koji broji ukupno vreme trajanja jednog semaforskog ciklusa koje iznosi trideset devet sekundi.

Kod projektovanja samog konačnog automata u programskog jeziku VHDL potrebno je najpre odrediti azbuku stanja. To se radi naredbom *type* koja nam omogućava da napravimo nov tip signala koji može uzimati samo određene vrednosti, koje predstavljaju naša stanja. Zatim se kreiraju dva signala tog tipa koja predstavljaju trenutno kao i naredno stanje automata. Ovde se uvodi poseban proces koji simulira registar automata i on ga vraća u početno stanje kada se aktivira RST, kao i dodeljuje naredno stanje na prednjoj ivici taktnog signala. Opisani registar se nalazi na slici 7.

```
fsm_reg : process (CLK_TEMP, RST) is
begin
    if RST = '1' then
        trenutno <= S0;
    elsif rising_edge(CLK_TEMP) then
        trenutno <= naredno;
    end if;
end process;
```

Slika 7. Registar konačnog automata.

Na kraju, sve prethodno opisano se objedinjuje na slici 8, koja je podeljena na slike a) i b), gde vidimo ceo kod automata. Pri ulasku u svako stanje na izlaz daje odgovarajuće vrednosti za semafor koje su prikazane ranije na slici 1.

Važno je napomenuti da prilikom projektovanja konačnog automata, moraju biti opisani svi mogući prelazi koji se mogu desiti unutar stanja. U ovom slučaju, greška bi bila napisati if uslov bez *else* uslova.

```
fsm : process (CLK_TEMP, RST, D, T, trenutno) is
begin
    case (trenutno) is
        when S0 =>
            SemAG <= "001";
            SemAS <= "100";
            SemPG <= "10";
            SemPS <= "01";

            if (pressed_event ='1') then
                naredno <= S1;
            else
                naredno <= S0;
            end if;

        when S1 =>
            SemAG <= "010";
            SemAS <= "110";
            SemPG <= "10";
            SemPS <= "10";

            if (count_5 = '1') then
                naredno <= S2;
            else
                naredno <=S1;
            end if;
```

Slika 8 a). Konačni automat semafora.

```
        when S2 =>
            SemAG <= "100";
            SemAS <= "001";
            SemPG <= "01";
            SemPS <= "10";

            if (count_24 = '1') then
                naredno <= S3;
            else
                naredno <=S2;
            end if;

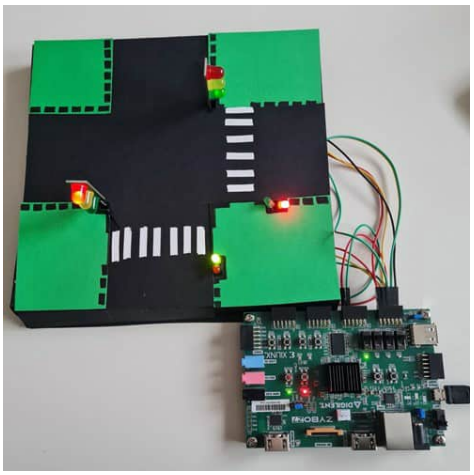
        when S3 =>
            SemAG <= "110";
            SemAS <= "010";
            SemPG <= "10";
            SemPS <= "10";

            if (count_end = '1') then
                naredno <= S0;
            else
                naredno <=S3;
            end if;
    end case;
end process;
```

Slika 8 b). Konačni automat semafora.

IV. Praktična realizacija sistema

Za projektovanje kontrolera saobraćajne raskrsnice za FPGA čip korišćene su sledeće komponente: Zybo Z7-20 ploča, 2 modula za semafor, 2 zelene diode, 2 crvene diode, 4 mini proto-ploče i žičani kratkospojnici. Otpornici nisu korišćeni, jer Zybo Z7-20 na svojim izlazima poseduje otpornost od 200 Ω. Povezivanje komponenata vrši se uz pomoću tehničkih dokumentacija, strogo prateći instrukcije. Tasteri sa Zybo Z7-20 ploče su iskorišćeni kao asinhroni reset, taster za pešake koji žele da pređu ulicu i senzor koji detektuje prisustvo vozila u sporednoj ulici. Nakon zahteva pešaka ili detekcije vozila u sporednoj ulici, odnosno pritiskom nekog od ta 2 tastera, se prelazi u stanje sa žutim svetlom u trajanju od 5 sekundi, zatim se aktivira zeleno svetlo na semaforu u sporednoj ulici kao i zeleno svetlo za pešake preko glavne ulice u trajanju od 24 sekunde. Nakon isteka tog ciklusa, sistem prelazi u podrazumevano stanje, tj. stalno prohodna glavna ulica za automobile i stalno prohodna sporedna ulica za pešake.



Slika 9. Realizacija kontrolera za saobraćajnu raskrsnicu.

V. PROBLEMI PRI REALIZACIJI

Prilikom realizacije ovog sistema postojalo je par problema različitih vrsti. Jedan od njih je predstavljao pravljenje generatora takta periode 1s. To je rešeno tako što je pomoću naredbe *create_clock* podešeno da sistemski taktni signal ima periodu 100ns i faktor ispune 50%.

Drugi problem je bilo poklapanje imena clock-a iz komponente sa imenom clock-a iz ograničenja i to što konačni automat ne radi ukoliko nema svaki slučaj pokriven.

Još jedan problem je predstavljao to što je simulacija radila neometano u odnosu na realizaciju na ploči. To je rešeno velikim brojem pokušaja i ponavljanja celog procesa sinteze, implementacije i generisanjem bitstrima što je jako sporo i oduzima puno vremena.

VI. PRAKTIČNA PRIMENA SISTEMA

Ovakav kontroler saobraćajne raskrsnice se može primeniti u slučajevima kada je glavna ulica veoma prometna za automobile, a sporednom ulicom automobili retko prolaze. Dolaskom automobila aktiviraće se senzor koji će ugasiti glavni semafor, i uključiti semafor iz sporedne ulice. Takođe, pritiskom tastera za pešake, moći će da se pređe glavna ulica.

VII. ZAKLJUČAK

Projektovanje kontrolera saobraćajne raskrsnice za FPGA čip predstavlja korak ka stvaranju inteligentnih sistema upravljanja saobraćajem koji mogu poboljšati efikasnost, bezbednost i protok saobraćaja na raskrsnicama. Kroz implementaciju sistema koji detektuje prisustvo vozila i zahteve pešaka za prelazak ulice, FPGA kontroler omogućava prilagođavanje semafora u realnom vremenu, što rezultuje optimizovanim upravljanjem saobraćaja.

Ovaj projekat otvara mogućnosti za široku primenu u stvarnom svetu, uključujući poboljšanje bezbednosti na raskrsnicama, smanjenje vremena provedenog u saobraćajnim gužvama i optimizaciju protoka saobraćaja.

Mogućnost za poboljšanje ovog sistema se ogleda u implementiranju tajmera koji ne dozvoljava ponovno isključivanje glavnog semafora ukoliko se u kraćem vremenskom periodu aktiviraju taster za pešake ili senzor za detekciju vozila u sporednoj ulici.

ZAHVALNICA

Zahvalnost za realizaciju ovog rada dugujemo profesoru Danijelu Dankoviću i docentu Milošu Marjanoviću. Projekat je rađen u okviru predmeta Projektovanje programabilnih komponenata, koji se izvodi u 7. semestru OAS, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi.

LITERATURA

[1] Zybo Z7 Board Reference Manual. Dostupno na: https://digilent.com/reference/_media/reference/programmabl e-logic/zybo-z7/zybo-z7_rm.pdf

[2] Vivado Design Suite. Dostupno na: https://docs.xilinx.com/r/en-US/ug949-vivado-design-method ology/Vivado-Design-Suite-User-and-Reference-Guides

[3] Implementing a Finite State Machine in VHDL. Dostupno na: https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/implement ing-a-finite-state-machine-in-vhdl/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.037G
Original scientific paper

Sistem za kontrolu automobilskih brisača pomoću STM32 ARM mikrokontrolera i servo motora

Milan Grčić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milan.grcic@elfak.rs
ORCID: N/A

Kristina Mišić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
kristina.misic@elfak.rs
ORCID: N/A

Dimitrije Marinković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dimitrije.m@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu je realizovan sistem za kontrolu automobilskih brisača korišćenjem STM32 ARM mikrokontrolera i servo motora. Brisači se pokreću pritiskom tastera, a brzina pomeranja brisača određena je detektovanom količinom vode, koja se meri senzorom kiše YL-83.**

Ključne reči-brisači, ARM, servo motor

I. Uvod

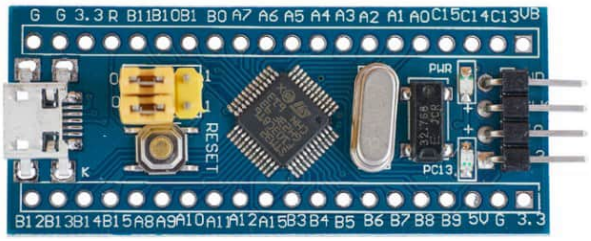
Kod automobilskih brisača, senzor kiše se koristi kako bi se automatski prilagodila brzina brisača u skladu sa intenzitetom kiše. Ovi senzori za kišu rade u tandemu sa elektronskim kontrolerom brisača koji interpretira signale sa senzora i upravlja brzinom brisača u skladu sa detektovanim uslovima. Brisači (slika 1) se nalaze na vetrobranskim staklima automobila, farovima nekih modela automobila, vozovima, avionima. U pitanju je uređaj koji čisti vodu, sneg ili blato sa vetrobranskog stakla vozila i na taj način vozaču obezbeđuje neophodnu vidljivost puta i okoline**.** Brisači se uglavnom montiraju na prednje vetrobransko staklo, ali sve više i na zadnje, pretežno kod modela koji imaju „peta vrata“, odnosno prtljažni prostor koji komunicira sa unutrašnjošću vozila.



Slika 1. Prikaz brisača i senzora kiše.

II. Korišćene komponente

Projektovani sistem je realizovan korišćenjem sledećih komponenata: STM32F103 *Blue Pill*, servo motor SG90, senzor kiše YL-83, OLED SSD1306, taster i otpornik od 10 kΩ.



Slika 2. Razvojno okruženje *Blue Pill*.

A. STM32F103 Blue Pill

Blue Pill (Slika 2) je korišćeno razvojno okruženje za realizaciju ovog projekta. U centru se nalazi mikrokontroler STM32F103C8T6[1], zasnovan na ARM *Cortex*-M RSC arhitekturi. Radi na frekvenciji od 72 MHz, ima ugrađenu memoriju velike brzine, kao i veliki broj ulazno-izlaznih pinova periferijskih jedinica. Poseduje dva analogno-digitalna konvertora, tri tajmera opšte namene plus jedan tajmer za generisanje PWM signala, takođe sadrži standardne i napredne komunikacione interfejse i to: dva I^2C I SPI interfejsa, tri UART interfejsa, USB i CAN. Dužina reči je 32 bita, a ima i dovoljno memorije za izvršenje operacije u realnom vremenu..

B. Senzor kiše YL-83

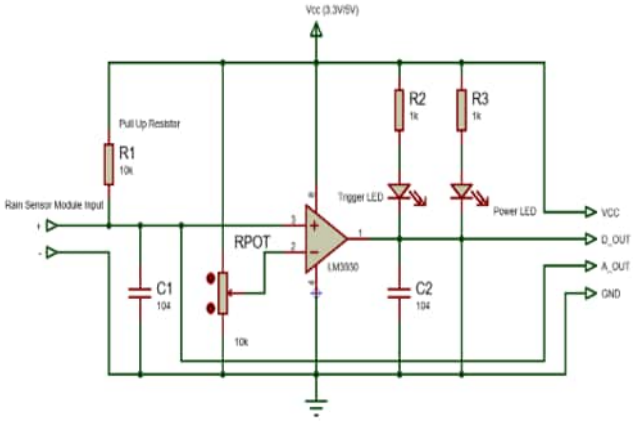
YL-83 je senzor kiše (slika 3) koji se koristi za otkrivanje prisutnosti vlage. Spada u grupu otpornih senzora. Poseduje dva dela. PCB za detekciju kiše je izrađen od više izloženih provodnih pločica raspoređenih u rešetkastom formatu. Kada kiša padne na vrh senzora, otpornost provodnih pločica se menja i merenjem promena u otporu, možemo odrediti intenzitet kiše. Što je kiša intenzivnija, to je niži otpor, a provodnost se povećava. Ukoliko je kiša manjeg intenziteta, otpornost je veća, a provodnost se smanjuje.

Modul senzora ima četiri pina, od kojih su dva za Vcc i Gnd, dok druga dva mogu istovremeno dati analogne i digitalne podatke.



Slika 3. Senzor kiše YL-83.

Na šemi (Slika 4) nalazi se LM393 operacioni pojačavač koji ima ulogu komparatora i može se napajati iz izvora od 3.3 V ili 5 V. Izlazni napon operacionog pojačavača će zavisiti od napona napajanja modula senzora kiše. Glavni zadatak ovog operacionog pojačavača je pretvaranje dolaznog analognog signala sa senzorske sonde u digitalni signal. Takođe sadrži potenciometar od 10 K koji se koristi za podešavanje referentnog napona, koji se dovodi na invertujući ulaz. Ako analogni napon doveden na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača, padne ispod praga napona postavljenog potenciometrom, izlaz operacionog pojačavača postaje nizak. Ukoliko je napon na neinvertujućem ulazu veći od referentnog napona na invertujućem ulazu na izlazu operacionog pojačavača će biti visok naponski nivo (5 V ili 3 V). Osim toga, poseduje dva LED-a. Prvi LED je za napajanje, a drugi LED je okidač. LED za napajanje se uključuje kada se napajanje primeni na pločicu, a LED okidač se uključuje kada se postigne određeni referentni napon. Ovo je osnovni princip rada ovog kola.

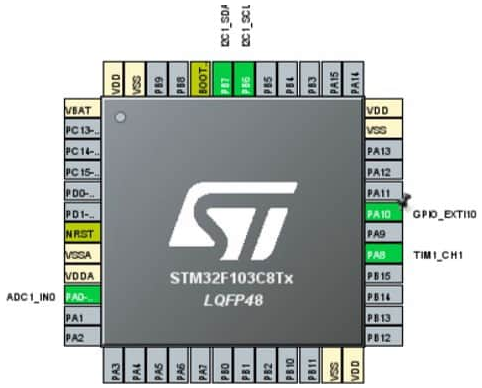


Slika 4. Modul senzora kiše YL-83.

III. PODEŠAVANJA U CUBEMX

CubeMx je grafički alat[2] koji omogućava vrlo lako konfigurisanje STM32 mikrokontrolera i generisanje kompletnog C projekta za: IAR, KEIL, AC6...

Pinovi koji su korišćeni za realizaciju sistema prikazani su na slici 5. PA0 je konfigurisan kao ulazni pin, na PA8 generišemo PWM signal tj. služi za komunikaciju sa tajmerom. PA10 je konfigurisan kao izlazni pin koji služi za očitavanje tastera, a PA6 i PA7 za I^{2}C protokol.



Slika 5. Korišćeni pinovi mikrokontrolera.

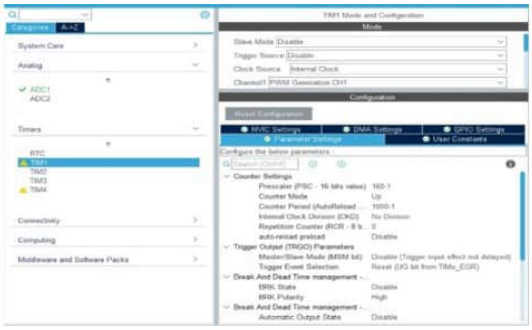
Modulacija širine impulsa (*Pulse Width Modulation* – PWM) je tehnika generisanja povorke impulsa sa pina, gde korisnik može odrediti učestanost (1) (samim tim i periodu) impulsa i faktor ispune signala. U ovom projektu korišćen je servo motor čija je frekvencija kontrolnog signala 50Hz, pa se odatle zaključuje da je perioda njegovog signala 20ms. Interni oscilator je podešen na 8MHz. Upravljanje servo motora vrši se generisanjem odgovarajućeg PWM signala. Za to se koristi tajmer mikrokontrolera. Podešavanje tajmera je prikazano na slici 6. Da bi bilo moguće podešavati tajmer u *CubeMx*-u, potrebno je odrediti preskaler i vrednost ARR (*Auto-Reload Register*). Preskaler (4) predstavlja delioc učestanosti. Inkrementacija sadržaja registra tajmera realizovana je pomoću ARR. ARR (2) pokazuje koliko puta treba da se inkrementira sadržaj registra tajmera da bi se desio prekid (*interrupt*). Poželjno je imati 1000 individulanih vrednosti za ARR jer će odrediti *duty cycle* koji ne treba biti ceo broj.

$$T = \frac{Counter\ Period}{f_{TIM1\ (prescaler)}} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow Counter\ Period = T \cdot f_{TIM1\ (prescaler)} = 20\ \text{ms} \cdot 50\ \text{kHz} \quad (1)$$

$$ARR\ (Auto\ Reload\ Register) = 1000 - 1 \quad (2)$$

$$f_{TIM1\ (prescaler)} = \frac{f_{TIM1}}{prescaler} = \frac{8\ \text{MHz}}{160 - 1} = 50\ \text{kHz} \quad (3)$$

$$prescaler = \frac{8\ \text{MHz}}{50\ \text{kHz}} = 160 - 1 \quad (4)$$



Slika 6. Podešavanje parametara tajmera.

Da bi se prevazišao problem koji se javlja prilikom očitavanja tastera, ali i drugih komponenti, tehnikom *polling*-a, koriste se prekidi *(interrupt*). Prekidi su signali koje komponente šalju mikrokontroleru da bi preduzeo određenu akciju, tada mikrokontroler na trenutak prekida izvršavanje glavne programske petlje, prelazi u ISR (*Interrupt Service Routine*) potprogram, izvršava određene naredbe i vraća se u glavni program tamo gde je stao pre aktiviranja prekida. Prekid mogu izazvati spoljašnji događaji (npr. pritisak tastera). Konfigurisanje NVIC kontrolera koji upravlja spoljašnjim prekidima je prikazano na slici 7.



Slika 7. Konfigurisanje NVIC kontrolera.

Analogno-digitalna konverzija (ADC) kod senzora kiše je proces pretvaranja analognog signala u digitalni format koji mikrokontroler može razumeti i obraditi. *Continuous* mod se koristi kada je potrebno vršiti akviziciju podataka najbrže moguće. Da bi se aktivirao ovaj mod potrebno je u prozoru za konfiguraciju parametara AD konvertora izabrati *Enabled* za opciju *Continuous Conversion Mode* (slika 8).

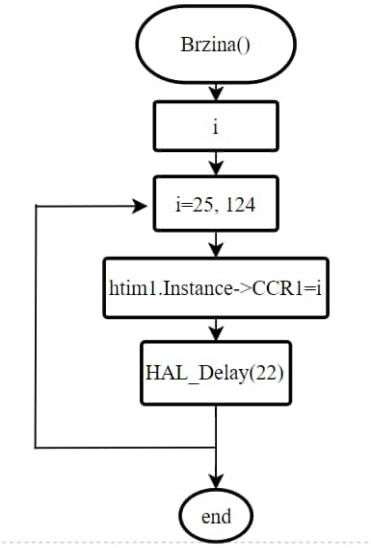


Slika 8. Podešavanja za *Continuous* mod AD konvertora.

IV. SOFTVERSKA REALIZACIJA PROJEKTA

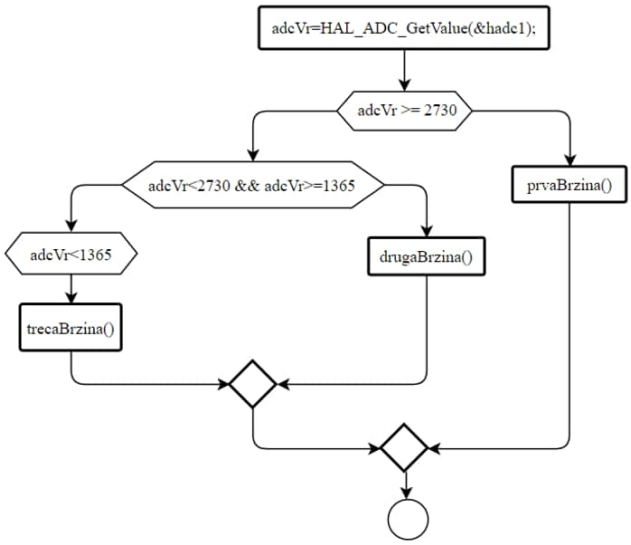
Keil MDK je softverski alat. Programski kod je pisan u *IDE Keil Vision*. Ovo integrisano razvojno okruženje služi za kreiranje firmware-a i za "spuštanje" koda na čip. Za rad sa OLED displejom bilo je potrebno uključiti dodatne biblioteke *fonts* i *ssd1306*. Biblioteke se uključuju naredbom #include "ime_biblioteke.h".

Definišu se 3 funkcije za prvu, drugu i treću brzinu. Funkcija *void* prvaBrzina**()** postavlja prvu brzinu. U petlji od 25 do 124, promenljiva se povećava za jedan u svakoj iteraciji. U svakoj iteraciji, vrednost promenljive i se postavlja kao vrednost koju kanal 1 tajmera htim1 treba da postaviti (htim1.Instance->CCR1=i;**)**. Zatim se koristi funkcija HAL_Delay() kako bi se aplikacija zaustavila na određeno vreme (22 milisekunde) pre nego što nastavi s idućom iteracijom. Definisane su još 2 funkcije, za naredne dve brzine koje koriste drugačije vrednosti kašnjenja. Na slici 9 prikazan je algoritam funkcije za promenu brzine brisača.



Slika 9. Algoritam funkcije za promenu brzine brisača.

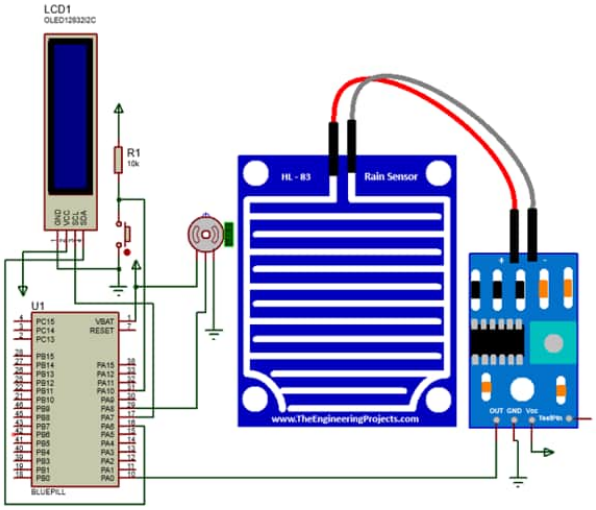
Sledećim algoritmom (Slika 10) se opisuje glavni deo programa. Ovim blokom adcVr=HAL_ADC_GetValue (&hadc1) dobija se vrednost iz ADC-a korišćenjem funkcije HAL_ADC_GetValue(), koja koristi hadc1 za referencu na ADC. Petljom *if* se proverava vrednost adcVr. Ako je veća ili jednaka od 2730, izvršava se odgovarajuća radnja koja poziva funkciju prvaBrzina**()** za postavljanje prve brzine. Takođe se na OLED displeju ispisuje "Prva". Funkcijom SSD1306_GotoXY() vrši se pozicioniranje na displeju. Argumenti ove funckije su X I Y koordinate tačke na displeju u kojoj se pozicioniramo. Petljom *else if* (adcVr<2730 && adcVr>=1365){...}, ukoliko prethodni uslov nije ispunjen, proverava se je li adcVr manja od 2730 i veća ili jednaka od 1365. Ako jeste, poziva se funkcija drugaBrzina() za postavljanje druge brzine, a na OLED displeju ispisuje "Druga". Petljom *else if (*adcVr<1365){...}, ako nijedan od prethodnih uslova nije ispunjen, znači da je adcVr manja od 1365. U ovom slučaju, poziva se funkcija trecaBrzina() za postavljanje treće brzine, na OLED displeju ispisuje se "Treća".



Slika 10. Algoritam glavnog dela programa.

V. Opis šeme sistema

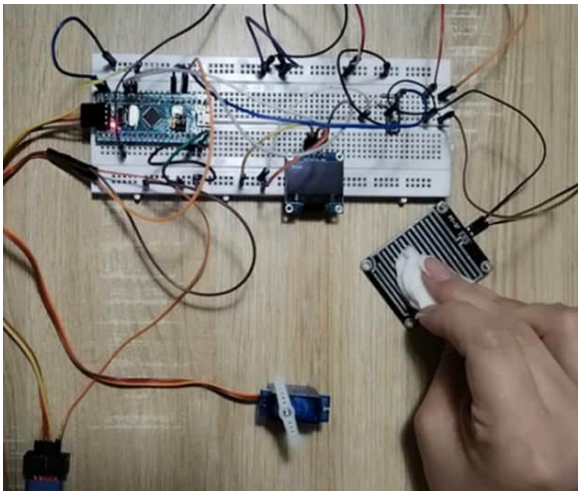
Na slici 11 se može videti šema sistema. Centralni deo sistema je razvojno okruženje *Blue Pill*, u čijem se centru nalzi mikroekontroler STM32F103C8T6. Na ovom razvojnom okruženju se povezuje SSD1306, putem I^2C komunikacije. Pin OLED-a SCL ide na A6, a SDA ide na A7 mikrokontrolera. Ovaj displej služi za prikaz brzine kojom se kreće servo motor. Napaja se jednosmernim naponom od 5V. Pin A8 mikrokontrolera generiše PWM (Pulse Width Modulation) signal kojim se kontroliše položaj servo motora. Taster je povezan u *pull-up* konfiguraciji na pin A10 mikrokontrolera, i njime se uključuje/isključuje servo motor. Analogni pin modula senzora je povezan na pin A0, dok digitalni pin nije povezan jer je bilo potrebno identifikovati količinu kiše.



Slika 11. Prikaz šeme sistema u *Proteus*-u.

VI. Praktična realizacija

Na slici 12 prikazan je slučaj kada je taster pritisnut. Tada se servo motor kreće najmanjom brzinom jer je prisutna najmanja količina vode na senzoru kiše.



Slika 12. Brisači se kreću najsporije, prvom brzinom.

Na OLED displeju se ispisuje brzina kojom se kreće servo motor, odnosno OLED ovde konkretno služi kao indikator za vrednosti ADC. Za testiranje je korišćen tupfer natopljen vodom radi lakšeg rukovanja i dobijanja preciznijih rezultata. Kako je količina vode koju detektuje senzor veća, povećavaće se brzina servo motora (brisača) iz prve u drugu, zatim u treću.

VII. Zaključak

U ovom radu je prikazan sistem za kontrolu automobilskih brisača pomoću STM32 ARM mikrokontrolera i servo motora. Pri realizaciji ovog projekta javio se problem pri napajanju servo motora sa konstantnih 5V koji je uspešno otklonjen.

U sklopu automobilskih sistema[3] senzori imaju veliku ulogu, pa je ovom sistemu za kontrolisanje automobilskih brisača moguće i pridružiti i druge senzorske sisteme poput onih za upravljanje svetlima, temperauturom ili vlažnosti vazduha u automobilu.

Zahvalnica

Rad je realizovan kao deo projektnog zadatka predmeta Komponente i kola snage na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi. Autori se zahvaljuju profesoru Milošu Marjanoviću i Milanu Stojanoviću na pruženom znanju, nabavljenim komponentama koje su bile neophodne za realizaciju projekta kao i ukazanim sugestijama radi unapređenja istog.

Literatura

[1] STM32F103C8 *Blue Pill* razvojno okruženje. Dostupno na: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f102cb.pdf

[2] Uputstva za rad sa ARM mikrokontrolerima. Dostupno na: https://www.epraktikum.iz.rs/sharing/PraktikumZaPrimenuNucleoOkruzenja.pdf

[3] Zanimljivosti o senzorima u automobilima. Dostupno na: https://www.skoda-storyboard.com/sr/skoda-svet-sr/inovacija-sr/senzori-za-kisu-mrak-i-osvetljenje/

[4] Nikola Mitrović, Miloš Marjanović, Danijel Danković, Primena ARM mikrokontrolera, Akademska Misao, 2023. ISBN: 978-86-7466-951-8.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.041M
Original scientific paper

Projektovanje sistema za kontrolu rada DC motora korišćenjem L293D integrisanog kola

Miloš Mitrović
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
milos.mitrovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Nikola Stefanović
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
nikola.stefanovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Rad opisuje proces projektovanja sistema za kontrolu rada DC motora, sa potencijalom za komercijalnu primenu.**

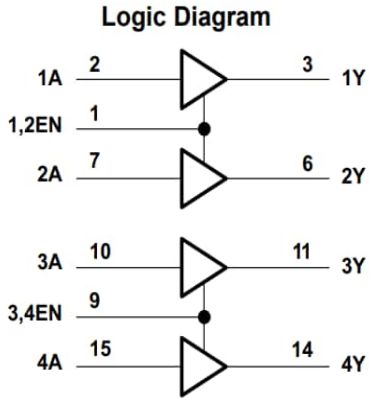
Ključne reči—L293D, DC motor, Nucleo.

I. UVOD

Rad opisuje proces projektovanja sistema za kontrolu rada DC motora korišćenjem L293D kontrolnog kola i NUCLEO razvojnog okruženja.

Korišćeni DC motori koji nisu imali tehničku dokumentaciju, po određenim saznanjima, namenjeni su za rad na 5V, ali informacije o maksimalnoj struji nisu poznate. Empirijski je utvrđeno da izabrani DC motori mogu bez problema raditi polarisani naponom od 9V, kao i naponom od 12V (zbog sigurnosti na ovom naponu testiran je rad samo nekoliko sekundi).

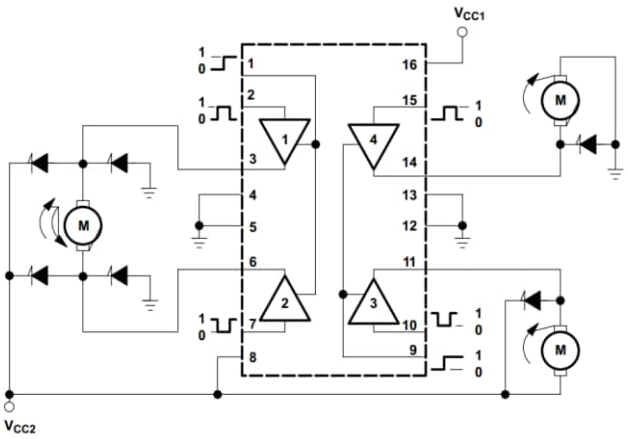
Kao kontrolna logička jedinica korišćen je NUCLEO sa STM32F103RB mikrokontrolerom [1].



Slika 1. Logička šema kola L293D.

II. L293D KONTROLNO KOLO

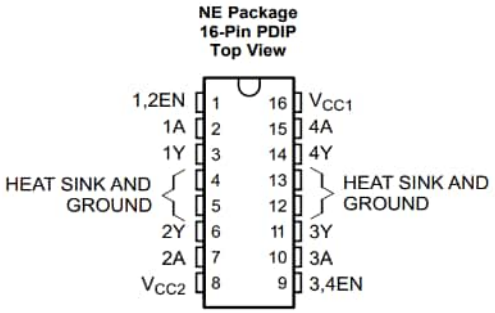
Poznatije kao H-Most (*eng. H-Bridge*) kontrolno kolo L293D je integrisano kolo koje u sebi sadrži četiri Half-H drajvera, slika 1. Zbog toga kolo ima ulaze za dva kontrolna (*eng. enable*) signala i četiri para ulaza i izlaza koji su označeni sa 1A - 4A i 1Y - 4Y respektivno [2].



Slika 2. Funkcionalni blok dijagram kola L293D.

Na fukncionalnom blok dijagramu, slika 2, vidimo način rada ovog kola kada su na njega povezani elektromotori. Kolo podržava do četiri elektromotora istovremeno, s tim da će funkcionalnost biti umanjena.

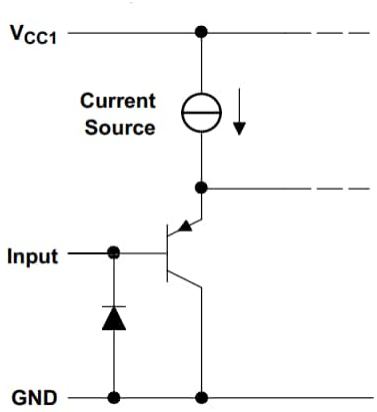
Ukoliko jedan elektromotor povežemo na dva drajvera, menjanjem polariteta ulaznog signala moći ćemo ne samo da kontrolišemo njegovo uključenje, već i smer okretanja. Istovremeno možemo i na druga dva drajvera da povežemo drugi elektromotor bez gubitka funkcionalnosti. Međutim, ukoliko povežemo po jedan elektromotor na svaki drajver, moći ćemo da kontrolišemo samo njihovo uključenje i isključenje, ali ne i smer okretanja.



Slika 3. Raspored priključaka na kućištu kola L293D.

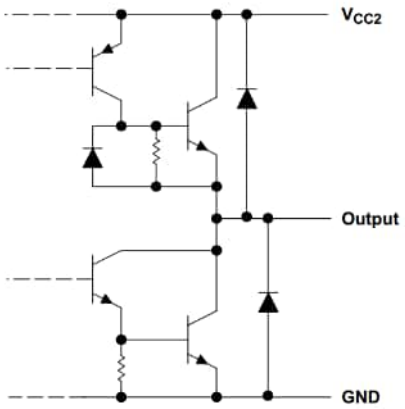
Na slici 3 možemo videti izgled ulaza i izlaza na kućištu integrisanog kola. Primećujemo da ima čak četiri priključaka za masu, odnosno hladnjak. Oni su tu radi sigurnosti, jer ako kolo povezujemo na visok napon (9V, 12V ili više), može doći do pregrevanja i pregorevanja kola. Ulaz V_{CC1} služi kao napajanje koje dobijamo od NUCLEO ploče i iznosi 5V, dok je ulaz V_{CC2} eksterno napajanje koje kolo preusmeri na elektromotore.

Slika 4 nam pokazuje ulazni i izlazni stepen kola L293D. Na ulaznom stepenu (Slika 4) možemo videti da je napajanje V_{CC1} povezano preko strujnog izvora na kolektor bipolarnog tranzistora, a ulazni signal služi kao kontrolišući za tranzistor jer se dovodi na njegovu bazu.



Slika 4. Ulazni stepen.

Na izlaznom stepenu (slika 5) možemo videti da je napajanje V_{CC2} povezano sa izlazom preko dvostepenog tranzistorskokg para, poznatijeg kao Darlingtonov par. On se koristi kod kola koji vode veće struje i pogodan je jer se na izlazu drugog stepena dobija pojačanje i do 1000 puta, što je vrlo bitno za pravilan rad elektromotora. Kolo Darlingtonovog para sadrži po otpornik koji se nazivaju i stabilizujući jer smanjuju vreme nagomilavanja nosioca u bazama tranzistora. Dioda ima ulogu pri uključivanju negativnog napona, kako bi se nagomilani nosioci brže ispraznili [3]. S obzirom da naše kolo koristi samo jednosmerne napone, negativna polarizacija ne igra nikakvu ulogu.



Slika 5. Izlazni stepen.

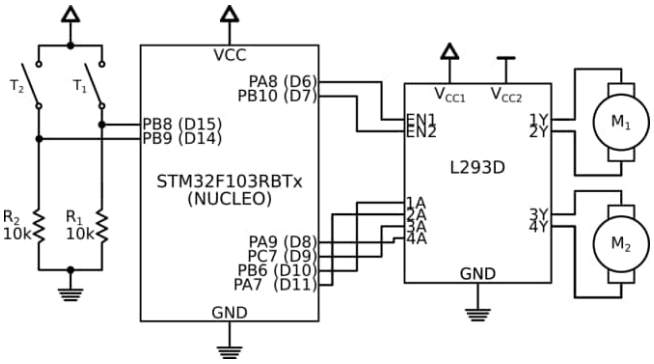
III. Električna šema

Na slici 6 moguće je videti električnu šemu sistema opisanog u odeljku I.

Sa leve strane nalaze se dva tastera i dva otpornika vrednosti $R_{1,2}$=10kΩ u *pull-down* konfiguraciji. Upravo se ovim tasterima kontroliše rad sistema i oni su povezani na pinove D14 i D15 NUCLEO razvojnog okruženja.

Nasuprot ovom delu, sa desne strane šeme moguće je uočiti L293D kontroler. U ovom radu koriste se oba ulaza za kontrolu rada, koji su povezani na pinove D0 i D1, sa kojih se na osnovu stanja na tasterima dozvoljava ili obustavlja rad motora. Ulaz EN1 kontroliše izlaze 1Y i 2Y, dok ulaz EN2 kontroliše izlaze 3Y i 4Y.

Stanje na ulazima 1A i 2A određuje smer rotacije DC motora M1, a stanje na ulazima 3A i 4A određuje smer rotacije DC motora M2. Takođe, zavisno od vrednosti na ovim ulazima moguće je i obustaviti rotaciju motora, ukoliko se na oba ulaza dovede napon logičke jedinice ili logičke nule istovremeno.



Slika 6. Električna šema sistema.

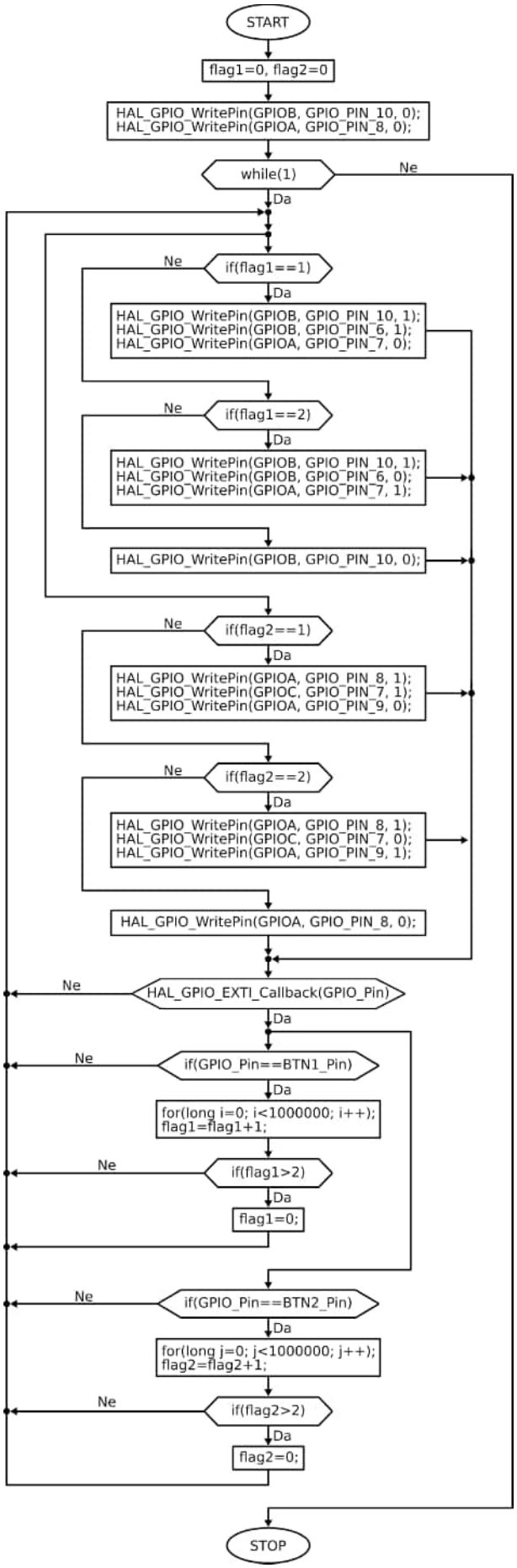
IV. Kod i algoritam

Zarad boljeg razumevanja rada sistema, u ovom odeljku biće dat algoritam koda, koji se može videti na slici 7.

Na početku koda kreiraju se dve promenljive, čije će se vrednosti menjati prilikom promena stanja na tasteru i na taj način signalizirati da je došlo do pritiska, jedna promenljiva, "flag1", koja će se koristiti za kontrolu rada prvog DC motora i druga promenjiva, "flag2", za kontrolu rada drugog DC motora, obe promenjive su celobrojnog tipa (*eng. integer*).

Sledi beskonačna dok (*eng. while*) petlja koja će se izvršavati sve dok na NUCLEO-u ima napajanja. U ovoj petlji se, zavisno od vrednosti promenjivih "flag1" i "flag2", prosleđuju vrednosti stanja izlaznih pinova.

Vrednosti promenjivih u ovoj beskonačnoj petlji kontrolisane su putem funkcije prekida (*eng. interrupt*). U ovoj funkciji se ispituje koji od tastera je izazvao okidanje i na osnovu toga se inkrementira vrednost odgovarajuće promenjive. Takođe u ovom procesu uključena je i tehnika softverskog ublažavanja poskakivanja (*eng. debouncing*), tako što je u kod dodata prazna za (*eng. for*) petlja koja se inkrementira i time, s obzirom da se izvršava u funkciji prekida, blokira naredno "lažno" okidanje koje može nastati usled mehaničkih oscilacija, realnog neidelnog tastera.



Slika 7. Algoritam koda.

Vredno je napomenuti da postoje i hardverske tehnike za ublažavanje poskakivanja, od kojih najjednostavnije rešenje predstavlja dodavanje kondenzatora u paraleli sa *pull-down* otpornikom, međutim, s obzirom da frekvencija oscilovanja tastera nije poznata ovo nije veoma efikasno rešenje kako se ne može precizno izabrati potrebna vrednost kondenzatora.

Drugo, mnogo bolje rešenje uključuje dodavanje SR flip-flopa između tastera i ulaza u NUCLEO (ova tehnika koristi *pull-up* konfiguraciju). S obzirom da ovo zahteva dodavanje još jedne komponente, iz praktičnih razloga u ovom radu upotrebljena je pomenuta tehnika softverskog ublažavanja poskakivanja.

V. ZAKLJUČAK

Sistem prikazan u radu mogao bi biti upotrebljen u komercijalne svrhe uz određene izmene.

Jedan od primera upotrebe bila bi daljinska kontrola spuštanja i podizanja roletni. Za ovu primenu potrebno je povezati sistem za kontrolu rada kola, odnosno tastere, bežičnim putem sa ostatkom sistema. Za ovo se nameću dve mogućnosti. Prva je korišćenje *Wi-Fi* modula, kako bi NUCLEO mogao biti povezan preko aplikacije sa mobilnim telefonom ili računarom, a druga je korišćenje *bluetooth* modula kako bi mogao biti povezan sa daljinskim upravljačem, naravno moguće je koristiti oba rešenje zajedno, čime se obezbeđuje određena redudantnost sistema.

Takođe, potrebno bi bilo i alternativno napajanje DC motora, koji bi morali biti snažniji od motora korišćenih u prototipu. Najefikasniji način bio bi povezivanje na mrežu i spuštanje napona odgovarajućim konvertorima, za šta je moguće iskoristiti već postojeće LED drajvere od 12V, koji su sposobni da obezbede dovoljnu struju, odnosno dovoljnu snagu za pokretanje ovako teškog opterećenja. Ovaj izvor napajanja moguće je koristiti i za napajanje NUCLEO ploče, međutim potrebno je dobijeni napon spustiti na vrednost od 5V. Ovo je moguće uraditi pomoću spuštača napona (*eng. buck converter*), međutim, s obzirom da je napon već donekle nizak, ovo bi predstavljalo dosta skuplje i komplikovanije rešenje, dok bi bolja opcija bilo korišćenje regulatora napona, kao što je na primer L7805CV.

Regulator napona i ostale komponente potrebne za realizaciju kola za kontrolu napona, zajedno sa L293D integrisanim kolom, mogli bi biti smešteni na zasebnu štampanu ploču, a ceo sistem bio bi smešten u namenski izrađeno kućište sa predviđenim izvodima za povezivanje na mrežu i sa roletnama. Kućište bi moglo biti ugrađeno u zid prilikom ugradnje sistema.

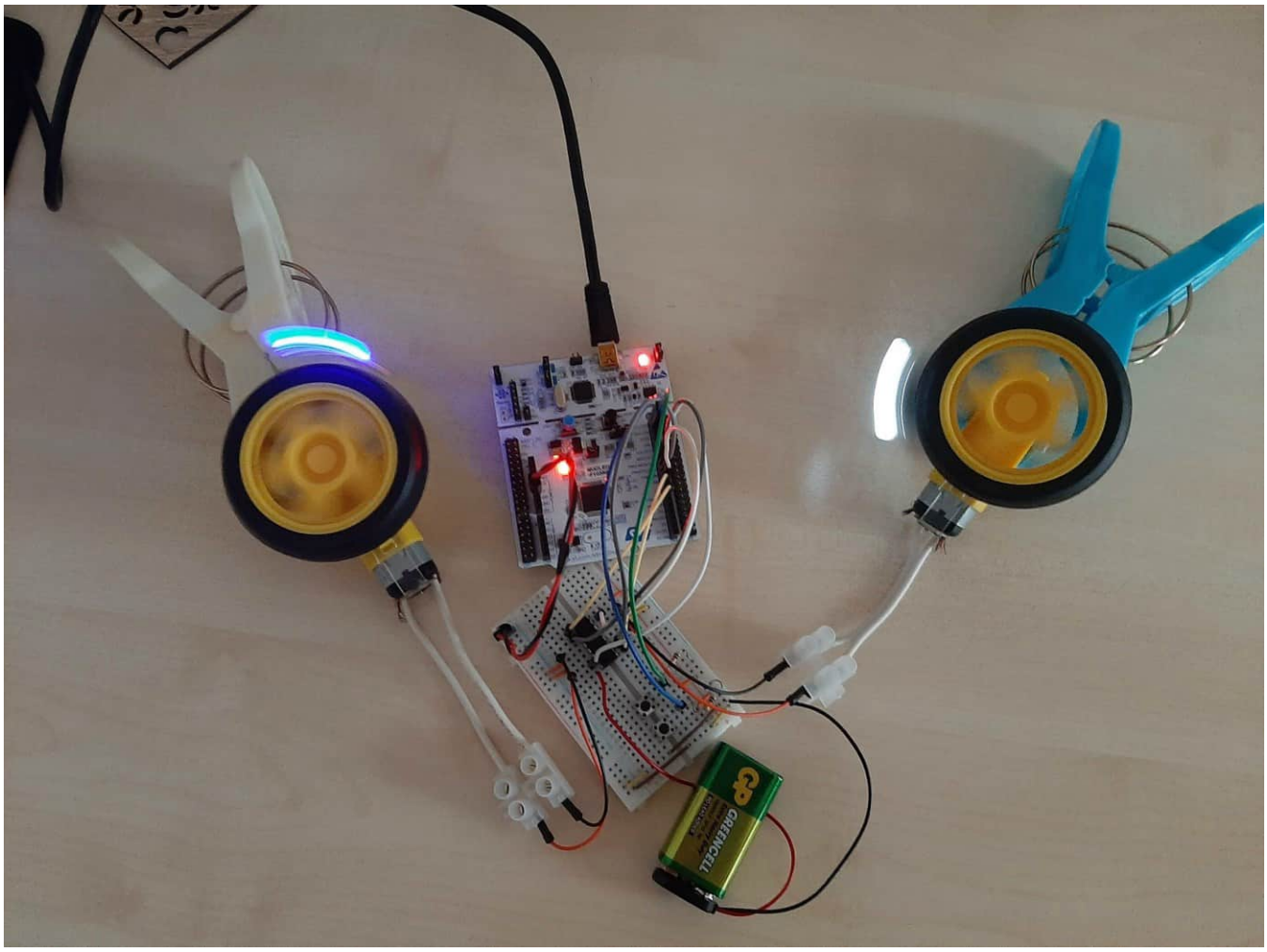
Na slici 8 moguće je videti funkcionalni prototip sistema.

LITERATURA

[1] Kontrola rada DC motora, vežbe iz predmeta Komponente i kola snage 2024. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/komponente-i-kola-snage/.

[2] Tehnička dokumentacija za L293x Quadruple Half-H Drivers. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=L293d%20datasheet&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwpbi4BhByEiwAMC8Jna25tHRq2H8XDA7jSUIRFeLxMpdcgcfpahYIh316XnBEouYcEJ-IEBoCUhIQAvD_BwE.

[3] M. Predojević, „Snažni tranzistori i Darlingtonov spoj”. Dostupno na: https://www.otpornik.com/elektronika/komponente/snazni-tranzistori-i-darlingtonov-spoj.html



Slika 8. Prototip sistema.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.045R
Original scientific paper

Netrunners „Vision One“

Nikola Ranđelović
Student prve godine osnovnih akademskih studija
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
nikolaivanrandjelovic@gmail.com
ORCID: N/A

Luka Rakić
Student prve godine osnovnih akademskih studija
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
luka.rakic.552005@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu opisana je softverska i hardverska realizacija *open-source* dodatka za naočare koji pretvara bilo koje naočare u pametne naočare. Primenjeni su različiti modeli veštačke inteligencije, neki lokalno, a neki na serverskoj strani. Fizički uređaj pokreće i kontroliše mobilna aplikacija. Detaljnije informacije o funkcijama uređaja, primeni veštačke inteligencije u projektu, načinu na koji „Vision One“ [1] može pomoći osobama sa oštećenim sluhom, kao i korišćenim tehnologijama, dostupne su u nastavku teksta.**

Ključne reči—Veštačka inteligencija, Arduino, Bluetooth, aplikacija, dodatak.

I. Uvod

Veštačka inteligencija (AI – *Artificial Intelligence*) [2] je interdisciplinarna oblast koja spaja računarsku nauku, matematiku i podatke kako bi kreirala sisteme sposobne za obavljanje zadataka koji tradicionalno zahtevaju ljudsku inteligenciju. Veštačka inteligencija je postala neizostavan deo svakodnevnog života. Ona oblikuje budućnost mnogih industrija, od zdravstva do telekomunikacija. Sa svojim sposobnostima da automatski prepoznaje obrasce, analizira podatke i pruža inteligentne odgovore, veštačka inteligencija je ušla i u svakodnevni život ljudi, menjajući način na koji smo obavljali osnovne zadatke. Mašinsko učenje (ML – *Machine Learning*) [3] je grana veštačke inteligencije koja se fokusira na razvoj algoritama i modela koji omogućavaju računarima da uče i donose zaključke iz podataka. Jedna od oblasti gde se veštačka inteligencija ističe je personalizovana tehnologija, gde služi kao most između korisnika i složenih funkcionalnosti koje bi inače bile teške za upotrebu.

„Vision One“ koristi snagu veštačke inteligencije kako bi transformisao obične naočare u pametan uređaj koji ne samo da olakšava interakciju sa digitalnim svetom, već i pruža konkretne funkcije koje mogu značajno poboljšati svakodnevni život. Korišćenjem funkcije „AI Assistant“, „Vision One“ omogućava korisnicima da dobiju odgovore na pitanja i pristupe informacijama jednostavnom glasovnom interakcijom koristeći *OpenAI ChatGPT 4o-mini* [4] model.

Pored „AI Assistant“ funkcije, uređaj poseduje i „Speech-to-Text“ funkcionalnost koja koristi napredne modele mašinskog učenja kako bi konvertovala govor u tekst u realnom vremenu i prikazala tekst na ekranu uređaja. Model za prepoznavanje glasa i konvertovanje u tekst je takođe prisutan i u „AI Assistant“ funkciji. Funkcija „Speech-to-Text“ može pružiti pomoć osobama sa oštećenim sluhom i ujedno predstaviti praktičnu primenu veštačke inteligencije u domenu poboljšanja dostupnosti tehnologije, omogućavajući korisnicima da „vide“ razgovore i interakcije kroz „titlove u realnom vremenu“.

Ovaj projekat je dokaz da veštačka inteligencija nije samo alat za obradu podataka, već moćan alat koji može direktno poboljšati kvalitet života. „Vision One“ je razvijen sa ciljem da omogući jednostavnu i pristupačnu interakciju sa tehnologijom pružajući funkcionalnosti koje se oslanjaju na moć veštačke inteligencije da prilagodi iskustvo različitih potreba.

II. Realizacija projekta

U samoj realizaciji projekta, korišćene su razne, pažljivo odabrane komponente i vođena je posebna pažnja na kompaktnost i funkcionalnost sistema. S obzirom na ograničenja u prostoru i težinu, izbor komponenata je usmeren na male, energetski efikasne elemente koji omogućavaju dugotrajnu upotrebu, dok fizički dizajn obezbeđuje jednostavnu montažu i nošenje na naočarama. Izgled sistema se može viditi na slici 1.



Slika 1. Praktična realizacija uređaja.

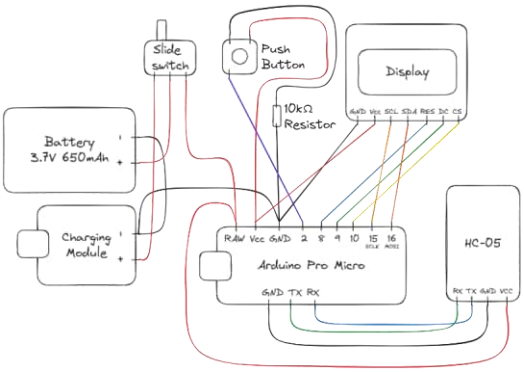
A. Interne komponente

Srce sistema „Vision One“ čini *Arduino Pro Micro* [5] razvojna ploča, koja služi kao centralni kontroler za sve operacije uređaja. Ova ploča je idealna za ovakav projekat zbog svojih malih dimenzija i niske potrošnje energije. *Arduino Pro Micro* poseduje 32KB *flash* memorije, 2,5KB *SRAM*-a i podržava 12 digitalnih i 5 analognih ulaza/izlaza, što je dovoljno za upravljanje perifernim komponentama i komunikaciju sa mobilnim telefonom putem *HC-05* [6] *Bluetooth* modula. *HC-05 Bluetooth* modul omogućava komunikaciju sa korisničkom aplikacijom preko koje se uređaj kontroliše i podešavaju se različiti režimi rada.

Vizuelni prikaz na pametnim naočarama omogućava *LCD IPS* ekran [7]. Ovaj ekran koristi *IPS (in-plane switching)* tehnologiju, koja obezbeđuje dobar kontrast i vidljivost.

Napajanje obezbeđuje litijum-jonska baterija [8] od 3,7V i 650mAh. Za punjenje baterije, koristi se *USB Type-C* [9] modul, koji omogućava brzo i efikasno punjenje, i prati nove regulative Evropskog Parlamenta koje imaju za cilj da standardizuju tip punjača za uređaje koji se pune sa manje od 100W snage.

Sistem takođe sadrži klizni prekidač za uključivanje i isključivanje uređaja, kao i programabilni *macro* taster [10] koji korisnicima omogućava da jednim klikom pokrenu željenu funkciju na samom uređaju. Dijagram kola se može videti na slici 2.



Slika 2. Dijagram kola.

B. Kućište uređaja

Fizički dizajn kućišta je realizovan putem 3D štampe [11] koristeći *PLA (Polylactic acid)* [12] plastiku, koja je lagana i dovoljno izdržljiva da zaštiti komponente unutar uređaja. Kućište je dizajnirano u *OnShape CAD* [13] softveru, prilagođeno dimenzijama komponenti i optimizovano za nošenje na svakodnevnim naočarama.

Posebna pažnja je posvećena optičkom delu sistema, gde se koristi akrilno staklo kao projekcijska površina za prikaz informacija sa ekrana. Refleksija slike sa ekrana postiže se pomoću parčeta ogledala koje preusmerava svetlost kroz sočivo, a potom projektuje sliku na akrilno staklo. Kako bi se slika pravilno fokusirala i uvećala, korišćeno je sočivo sa žižnom daljinom od 100mm, koje obezbeđuje optimalnu čitljivost prikaza bez ometanja normalnog vida korisnika. Korišćenjem jednačine tankih sočiva [14], kao u (1), i poznatih parametara, to jest žižne daljine sočiva (f) koja iznosi 100 mm i distance objekta (o) od 73 mm, došli smo do udaljenosti lika (i) od -270,3 mm, što je dovoljno za optimalnu čitljivost.

$$\frac{1}{f}-\frac{1}{o}=\frac{1}{i}$$

$$\frac{1}{100\ \text{mm}}-\frac{1}{73\ \text{mm}}=-0,0037\cdot\frac{1}{\text{mm}} \qquad (1)$$

$$i=\frac{1}{\text{-0,0037 mm}}\approx -270,3\ \text{mm}$$

C. Softverski „stack“

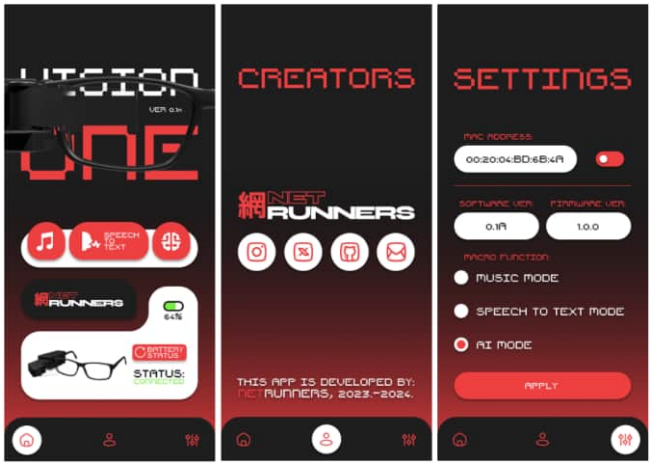
Softverski *stack* ovog projekta obuhvata pažljivo dizajnirane komponente koje omogućavaju korisnicima jednostavnu interakciju sa uređajem, kao i integraciju veštačke inteligencije za svakodnevnu upotrebu. Glavni deo softvera, podeljen je na dva ključna segmenta – *firmware* za *Arduino* i mobilna aplikacija zasnovana na *Flutter framework*-u [15]. Ovi segmenti rade zajedno kako bi omogućili neometano funkcionisanje uređaja i kontrolu različitih režima rada.

Firmware za *Arduino* je odgovoran za kontrolu hardverskih komponenti uređaja i upravljanje *Bluetooth* komunikacijom između uređaja i mobilne aplikacije. Softverski kod za *Arduino* je pisan u *C++* programskom jeziku, koristeći *Arduino IDE* [16] okruženje za razvoj i testiranje.

Ključna funkcionalnost *firmware*-a je upravljanje režimima rada, prikupljanje podataka ulaznih senzora i prikazivanje tih podataka na *LCD* ekran. *Arduino Pro Micro* prima signale iz aplikacije (serijska veza je ostvarena putem *Bluetooth*-a) koji se odnose na promenu režima rada ili unos komandi, i na osnovu toga izvršava odgovarajuće akcije.

Mobilna aplikacija za „Vision One“ razvijena je koristeći *Flutter framework* i *Dart* programski jezik. *Flutter* je izabran zbog svoje multiplatformske prirode, omogućavajući razvoj aplikacije koja može raditi na *Android* uređajima, a potencijalno i na drugim platformama u budućnosti, uz minimalne promene u kodu.

Aplikacija služi kao centralni *hub* za interakciju korisnika sa „Vision One“ uređajem. Korisnici putem aplikacije mogu birati između četiri režima rada i slati komande uređaju. Aplikacija je dizajnirana sa intuitivnim korisničkim interfejsom (UI – *User Interface*), koji omogućava brzo prebacivanje između režima rada, povezivanje sa drugim „Vision One“ uređajima, i programiranje *macro* tastera. Pri pritiskanju *macro* tastera, uređaj šalje signal aplikaciji da je dugme pritisnuto i pokreće režim koji je dodeljen dugmetu. Aplikacija se može videti na slici 3.



Slika 3. Dizajn mobilne aplikacije „Vision One“.

III. Princip rada funkcija

Glavna ideja iza ovog uređaja je da se na jednostavan i interesantan način integrišu različiti alati, vođeni veštačkom inteligencijom, kako bi korisnici mogli da uživaju u

pametnim funkcijama bez potrebe za složenim uređajima. Svaka funkcija uređaja ima specifičan režim rada, koji se može aktivirati putem aplikacije i koristi mogućnosti veštačke inteligencije i senzorskih podataka za pružanje *real-time* odgovora. Pošto procesor na *Arduino* ploči i nije toliko brz, bilo je potrebno obratiti posebnu pažnju na količinu podataka koja se šalje na uređaj, kao i na brzinu kojom se šalju ti podaci.

A. „Connection mode“

Ovo je režim u kojem uređaj očekuje konekciju sa mobilnim telefonom, a mobilni telefon pokušava da uspostavi konekciju sa uređajem.

Mobilna aplikacija koristi *flutter_bluetooth_serial* [17] biblioteku koja pokušava da uspostavi vezu sa uređajem putem *Bluetooth*-a. Na stranici za podešavanje aplikacije postoji polje za tekst na koje se unosi *MAC* adresa uređaja. Biblioteka potom koristi tu *MAC* adresu i uspostavlja vezu sa uređajem, nakon čega se šalje string sa trenutnim vremenom, podešavajnima *macro* tastera u aplikaciji i porukom da je veza uspešno uspostavljena, dok uređaj vraća odgovor sa svojim trenutnim statusom. Za proveru tačnosti *MAC* adrese, koristimo *RegEx (Regular Expression)* [18], što se može videti na slici 4.

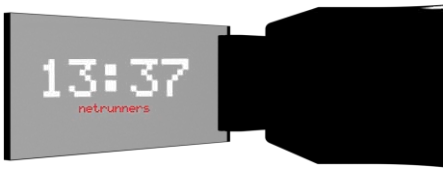
```
return Row(
  children: [
    Expanded(
      child: ...,
        mask: "##:##:##:##:##:##",
        maskFilter: {"#": RegExp(r'^[0-9a-zA-Z]+$')},
      ),
    ),
    const SizedBox(
      width: 30,
    ),
    BluetoothSwitch(
      value: widget.isEnabled ? true : false,
      onChange: widget.onChange,
    )
  ],
);
```

Slika 4. Funkcija za proveru *MAC* adrese u *Flutter* aplikaciji.

B. „Clock mode“

„Clock mode“, ili režim sata, pruža osnovne funkcije prikaza trenutnog vremena, omogućavajući korisnicima brz i lak pregled vremena, bez potrebe za pogledom u telefon ili ručni sat.

Mobilna aplikacija prikuplja informacije o vremenu sa mobilnog telefona i šalje ga uređaju putem *Bluetooth* konekcije. Uređaj prima taj podatak i prikazuje ga na ekranu. Ovaj režim se prikazuje samo ukoliko ni jedan drugi režim nije aktivan. Na slici 5 se može videti izgled *„Clock mode“* funkcije.



Slika 5. Prikaz *„Clock mode“* funkcije.

C. „Speech-to-Text“

Ovaj režim je kreiran kako bi osobama sa oštećenim sluhom olakšao ili čak omogućio pristup informacijama iz okruženja putem vizuelnog prikaza „titlova u realnom vremenu“. Kako bi sve to funkcionisalo, biblioteka koju aplikacija koristi, *speech_to_text* [19], služi kao interfejs za ugrađeni *SpeechRecognizer API* [20]. „Speech-to-Text“ modul se takođe koristi i za deo „AI Assistant“ režima. Biblioteka *speech_to_text* funkcioniše na engleskom jeziku.

Kada je ovaj režim aktiviran, aplikacija šalje signal uređaju da počne prikaz poruke u realnom vremenu, dok aplikacija uključuje mikrofon na mobilnom telefonu i koristi ga kao ulaz. Ulazni podaci, to jest govor, se potom prosleđuju *SpeechRecognizer API*-ju koji ih obrađuje. *SpeechRecognizer API* koristi mašinsko učenje za obradu zvuka i konvertovanje u tekst. Kada uređaj ima pristup internetu, obrada se vrši na *cloud*-u. Kada uređaj nema pristup internetu, obrada se vrši lokalno, na samom uređaju. Obrada na *cloud*-u je daleko preciznija nego lokalna obrada, pošto se hardver na mobilnim telefonima ne može uporediti sa serverima, te se preporučuje korišćenje dok uređaj ima pristup internetu. Takođe, vredi napomenuti da je *SpeechRecognizer API* prisutan na svim Android sistemima od *API* nivoa 8, ali je video znatna poboljšanja od *API* nivoa 31. Da bi *SpeechRecognizer API* obradio tekst, potrebno je oko 300 milisekundi. Nakon uspešne obrade, povratni podaci se šalju Arduino ploči koja prima te podatke, a potom ih prikazuje na ekranu. Na slici 6, može se videti funkcija za „slušanje“.

```
void turnOnSpeech(bool macro) {
if (!isConnected) {
  Utility.showToast("You must connect to your glasses to use this feature.");
  return;
}

speechWasEnabled = false;
  context.read<STTProvider>().resetSpokenWords();

  if (widget.speechEnabled) {
    context.read<STTProvider>().stopListening();
  } else {
    context.read<STTProvider>().startListening(true);
  }

  if (!macro) {
    widget.changeMode("s");
  }
}
```

Slika 6. Funkcija paljenja „Speech-to-Text“ režima.

D. „AI Assistant“

Ovo je režim koji omogućava korisnicima da koriste snagu veštačke inteligencije putem glasovnih komandi. Ovaj režim koristi izuzetno napredan *OpenAI ChatGPT 4o-mini* model koji pruža odgovore na pitanja i daje savete na osnovu korisničkih upita. Sistem je osmišljen tako da odgovori stižu brzo i precizno.

Kada korisnik aktivira ovaj režim putem aplikacije ili *macro* tastera, na ekranu se ispisuje „Listening“, što označava da je prethodno spomenuti „Speech-to-Text“ modul aktiviran. Tada se očekuje od korisnika da postavi svoje pitanje, nakon kojeg se modul za slušanje gasi. Tada se na ekranu ispisuje „Responding“, a potom se uspostavlja veza sa OpenAI serverima, koristeći biblioteku pod nazivom *dart_openai* [21]. „Poziv“ *gpt-3.5-turbo-1106* modela koji je služio za testiranje pre prelaska na *gpt-4o-mini*, može se

videti na slici 7. Nakon što funkcija primi odgovor, podaci se šalju uređaju, nakon čega se na ekranu prikazuje tekst „ChatGPT's answer“ i tekst odgovora ispod. Tada počinje i tajmer od 10 sekundi, nakon čega se odgovor uklanja sa ekrana i uređaj se vraća na početni režim, gde prikazuje trenutno vreme.

```
OpenAIChatCompletionModel chatCompletion =
    await OpenAI.instance.chat.create(
  model: "gpt-3.5-turbo-1106",
  seed: 6,
  messages: [userMessage],
  temperature: 0.2,
  maxTokens: 500,
);
```

Slika 7. Funkcija za poziv modela veštačke inteligencije.

E. *„Music mode“*

„Music mode“, ujedno i poslednji režim rada, služi za prikaz detalja o multimedijalnom sadržaju koji se reprodukuje na mobilnom telefonu. Na ekranu se prikazuju detalji poput dužine trajanja, naziva sadržaja i imena autora.

Dok je ovaj režim aktivan, mobilni uređaj, koristeći biblioteku *NowPlaying* [22], prikuplja metapodatke sadržaja kroz panel za notifikacije koristeći *NotificationListener API* [23]. Potom se ti podaci prosleđuju uređaju i prikazuju na ekranu. Izgled *„Music mode“* funkcije se može videti na slici 8.



Slika 8. Prikaz *„Music mode“* funkcije.

IV. Rezultat

Nakon sastavljanja i programiranja aplikacije i kola, sproveli smo niz testiranja kako bismo utvrdili preciznost i performanse našeg uređaja. Svi režimi rada funkcionišu bez zastoja. Testiranja su sprovedena kako na stabilnost *Bluetooth* veze, tako i na tačnost prepoznavanja govora, brzinu odgovora *AI* asistenta, i preciznost prikaza informacija na LCD ekranu. Krajnji rezultat je funkcionalan sistem koji transformiše obične naočare u pametne naočare.

Režimi su testirani u prostoriji sa dvoje ljudi. „AI Assistant“ režim je demonstrirao veliku efikasnost u pružanju odgovora putem *OpenAI ChatGPT 4o-mini* modela. Odgovori su bili precizni i brzi, omogućavajući korisnicima da dobiju informacije bez odlaganja. „Speech-to-Text“ režim postigao je visoku preciznost u realnom vremenu, konvertujući govor u tekst sa minimalnim kašnjenjem i preciznošću od preko 95%. „Clock“ režim je pouzdano prikazivao trenutno vreme, dok je „Music“ režim pokazivao ispravne podatke o sadržaju koji se reprodukovao na uređaju.

V. Zaključak

Sve u svemu, „Vision One“ je pokazao visok nivo funkcionalnosti i praktične primenljivosti, omogućavajući korisnicima da koriste pametne funkcije bez potrebe za previše komplikovanim uređajima. Korisnički interfejs, kao i hardverski i softverski delovi, međusobno su sinhronizovani i prilagođeni tako da obezbede intuitivno iskustvo za sve korisnike. Uređaj bi se dodatno mogao unaprediti dodavanjem novih funkcija, nadogradnjom hardvera, i smanjenjem težine i veličine uređaja. Projekat je kompletno *open-source* i dostupan na *GitHub* stranici [1].

Zahvalnica

Zahvaljujemo se firmi „Data 018“ [24] na finansijskoj podršci koja je omogućila nabavku neophodnih materijala i opreme za razvoj „Vision One“ uređaja. Takođe, izražavamo veliku zahvalnost našoj mentorki, profesorki Ivani Miladinović, nastavniku elektro-grupe predmeta, na njenom stručnom vođenju i nesebičnoj pomoći tokom projekta. Posebnu zahvalnost dugujemo i profesorki Snežani Stojanović, nastavniku fizike, za podršku u nabavci optičkih komponenti koje su bile ključne za funkcionalnost uređaja.

Literatura

[1] „Vision One“. Dostupno na: https://vision-one.netrunners.work
[2] Detaljan opis termina „Veštačka inteligencija“. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence
[3] Detaljan opis termina „Mašinsko učenje“. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning
[4] Dokumentacija i opisi OpenAI GPT modela. Dostupno na: https://platform.openai.com/docs/models
[5] Dokumentacija vezana za Arduino Pro Micro. Dostupno na: https://docs.arduino.cc/hardware/micro/
[6] Dokumentacija HC-05 Bluetooth Modula. Dostupno na: https://bulebots.readthedocs.io/en/latest/hc05_bluetooth.html
[7] Dokumentacija ST7735 LCD IPS ekrana. Dostupno na: https://docs.circuitpython.org/projects/st7735/en/latest/index.html
[8] Detaljan opis termina „Litijum-jonska baterija“. Dostupno na: https://sr.wikipedia.org/sr/Litijum-jonska_baterija
[9] Detaljan opis termina „*USB Type-C*“ i „*USB-C*“. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/USB-C
[10] *Macro* tasteri. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Macro_key
[11] 3D štampa. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
[12] *PLA*. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid
[13] *OnShape CAD* softver. Dostupno na: https://www.onshape.com/
[14] Jednačina tankih sočiva: Kartezijanska konvencija. Dostupno na: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/lenseq.html
[15] *Flutter Framework*. Dostupno na: https://flutter.dev/
[16] *Arduino IDE*. Dostupno na: https://www.arduino.cc/en/software
[17] *Flutter* biblioteka *flutter_bluetooth_serial*. Dostupno na: https://pub.dev/packages/flutter_bluetooth_serial
[18] Definicija termina *RegEx (Regular Expression)*. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Regular_expression
[19] *Flutter* biblioteka *speech_to_text*. Dostupno na: https://pub.dev/packages/speech_to_text
[20] *Android* dokumentacija *SpeechRecognition API*-ja. Dostupno na: https://tinyurl.com/SpeechRecognitionAPI
[21] *Flutter* biblioteka *dart_openai*. Dostupno na: https://pub.dev/packages/dart_openai
[22] *Flutter* biblioteka *NowPlaying*. Dostupno na: https://pub.dev/packages/nowplaying
[23] *Android* dokumentacija *NotificationListener API*-ja. Dostupno na: https://tinyurl.com/NotificationListenerAPI
[24] Data 018. Dostupno na: https://www.data018.co.rs

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.049T
Original scientific paper

Primena STM32 ARM mikrokontrolera za podešavanje i merenje temperature i vlažnosti vazduha

Lana Tasić
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
lana.tasić@elfak.rs
ORCID: N/A

Nenad Radivojević
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nenad.radivojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

Sadržaj: **U ovom radu opisana je mogućnost korišćenja STM32 Blue Pill okruženja za podešavanje i merenje temperature i vlažnosti vazduha uz pomoć UART komunikacije. Takođe, radi potpunosti rada biće opisane i korišćene komponente, kao i pojašnjenje korišćenih biblioteka prilikom softverske implementacije**

Ključne reči—STM32 Blue Pill, temperatura, vlažnost, UART

I. Uvod

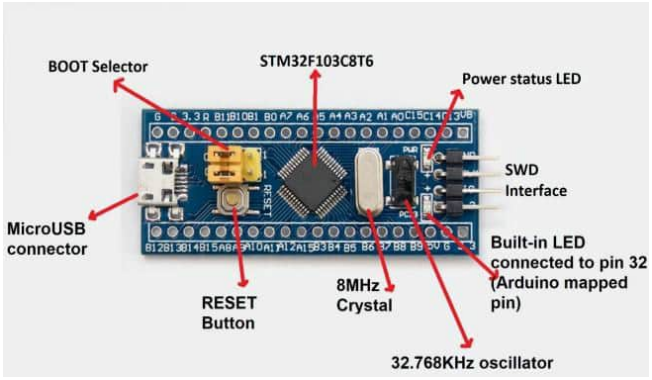
Kontrola temperature i očitavanje temperature i vlažnosti vazduha od vrlo je značajne primene u mnogim pametnim sistemima. U ovom projektu biće opisana simulacija kontrole ambijentalne temperature.

Naime, koristi se senzor vlažnosti i temperature čije se vrednosti prikazuju na ekranu pomoću UART komunikacije, a željena vrednost temperature unosi se preko tastature. Ukoliko je željena vrednost niža od izmerene uključuje se DC motor sa propelerima kontrolisan mikrokontrolerom preko MOS tranzistora snage, koji hladi prostoriju. Granica za uključivanje/isključivanje definisana je kao ±10%.

II. Korišćene komponente

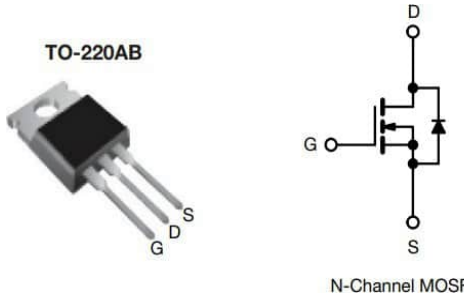
Prilikom realizacije ovog projekta korišćene komponente su: STM32 ARM mikrokontroler, NMOS tranzistor snage IRF510, optokapler 4N35, DHT11 senzor temperature i vlažnosti vazduha, FT232R FTDI čip neophodan za UART komunikaciju, kao i dva otpornika, jedan od 10kΩ, drugi od 220Ω.

Okruženje STM32F103 Blue Pill sadrži mikrokontroler 32-bitne RISC ARM arhitekture, kao i veliki broj pinova i periferijskih jedinica. Ovaj tip arhitekture može da radi na visokim učestanostima, sadrži više memorije, a zahteva manji napon rada (3.3V). Blue Pill nema programator na ploči, pa je zbog toga neophodno koristiti eksterni programator (ST-link). Na slici 1 nalazi se korišćeno STM32 Blue Pill okruženje sa svojim komponentama.



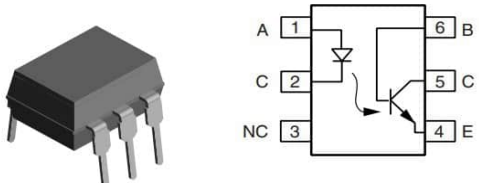
Slika 1. STM32 Blue Pill.

NMOS tranzistor snage neophodan nam je kako bismo kontrolisali uključivanje i isključivanje DC motora. U ovom slučaju, korišćen je IRF510, koji ima napon praga iz opsega od 2V do 4V. Ovaj tranzistor ima integrisanu zaštitnu diodu. NMOS tranzistori snage značajni su zbog velike brzine prekidanja i široke oblasti bezbednog rada. Upravo zbog velike brzine prekidanja našao je primenu u ovakvim i sličnim sistemima, gde nije potrebno da provodi velike struje. Na slici 2 nalazi se kućište ovog tranzistora, kao i njegov simbol.



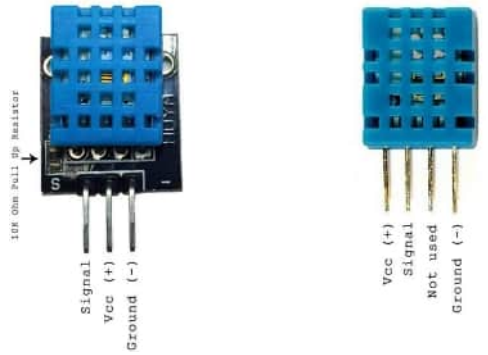
Slika 2. IRF510 NMOS tranzistor snage.

S obzirom da je napon napajanja mikrokontrolera 3.3V, uključivanje tranzistora može biti problem. Da bi se ovaj problem prevazišao koristi se optokapler, koji ima ulogu da optički poveže, tj. galvanski izoluje deo kola koji radi na 3.3V i deo kola koji radi sa jednosmernim naponom od 5V, a samim tim osigura da napajanje koje koristi motor bude stabilnije i pouzdanije. Korišćen optokapler 4N35, pri struji kroz GaAs infracrveni LED od 10mA, napon na diodi je 1.3V, pa se dobija neophodna optornost za ograničenje struje kroz LED 220Ω (izračunata vrednost je 200Ω, ali se uzima standardna vrednost otpornosti od 220Ω). Izlazni deo optokaplera predstavlja NPN fototranzistor. Na slici 3 nalazi se kućište ovog optokaplera, kao i njegov simbol.



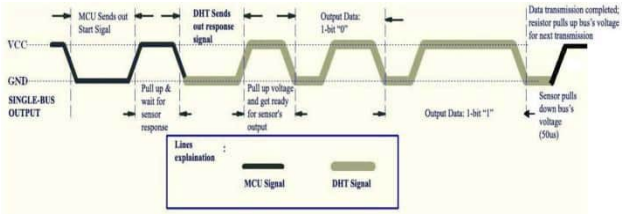
Slika 3. 4N35 optokapler.

Kao glavni senzorski adut u aplikaciji se koristi senzor za merenje temperature i relativne vlažnosti vazduha DHT11. Ovaj senzor ima posebno kalibrisan digitalni izlaz koji se treba dešifrovati. Na taj način se *one wire* komunikacijom postiže očitavanje vrednosti temperature i relativne vlažnosti vazduha sa visokom tačnošću. Za očitavanje temperature se koristi NTC otpornik, a vlažnost se meri uz pomoć otporno-senzitivnog materijala. Analogni podaci se šalju na integrisani 8-bitni mikrokontroler koji te vrednosti šalje posebnom digitalnom komunikacijom. Na slici 4. nalazi se kućište ovog senzora, kao i štampana ploča na kojoj se on nalazi.



Slika 4. DHT11 senzor temperature i vlažnosti vazduha.

Na slici 5 grafički je prikazan *one wire* način komunikacije između DHT11 senzora i mikrokontrolera.

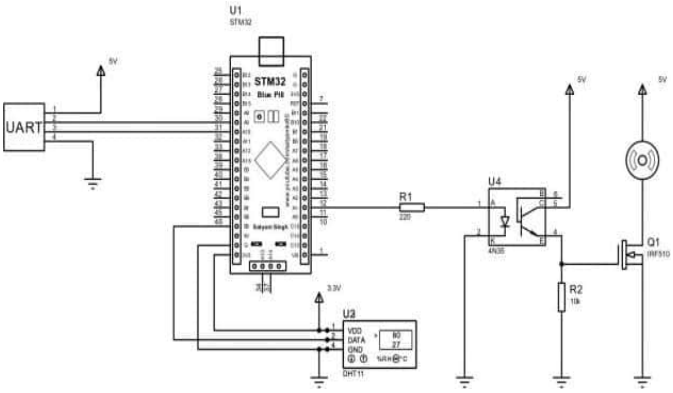


Slika 5. Grafički prikaz komunikacije između mikrokontrolera i senzora DHT11.

Komunikacija se vrši na sledeći način: mikrokontroler šalje startni signal i to logičku nulu senzoru, a zatim se vraća na logičku jedinicu dok čeka odgovor senzora. Senzor šalje mikrokontroleru logičku nulu, pa se vraća na logičku jedinicu tako da može da šalje podatke. Podaci su nule ili jedinice i određuju se dužinom trajanja impulsa. Takođe, svi prethodno poslati signali su tačno određene dužine, pa je pri programiranju ovog senzora neophodno voditi računa o ovim vremenima. Sva vremena data su precizno u tehničkoj dokumentaciji senzora i mogu se koristiti za programiranje.

III. Praktična realizacija

Šema sa slike 6 prikazuje kako je korišćen STM32 mikrokontroler za kontrolu DC motora uz pomoć optokaplera i MOSFET-a. Glavni cilj ovog sistema je omogućavanje sigurnog i efikasnog upravljanja motorom, koristeći podatke sa senzora i električnu izolaciju kako bi se zaštitile komponente.



Slika 6. Šema sistema.

Na početku, STM32 je povezan sa UART interfejsom za serijsku komunikaciju, što omogućava razmenu podataka između mikrokontrolera i drugih uređaja, poput računara ili drugog mikrokontrolera. Ovaj interfejs je ključan za kontrolu i monitoring sistema.

Senzor DHT11 meri temperaturu i vlažnost i šalje te podatke mikrokontroleru. Ovi podaci mogu poslužiti kao osnova za odluke o upravljanju motorom, omogućavajući dinamično prilagođavanje rada sistema u zavisnosti od uslova okoline.

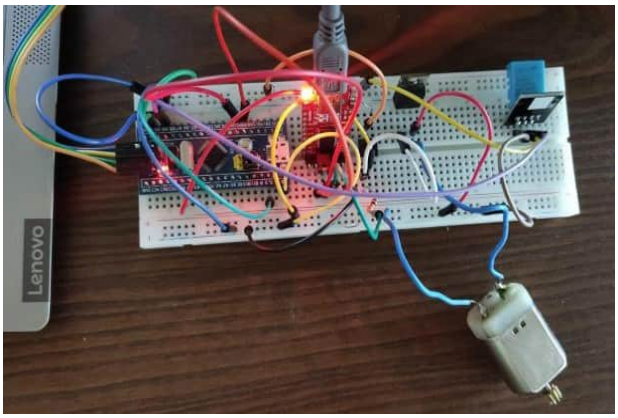
Za izolaciju između mikrokontrolera i naponskog nivoa od 5V motora korišćen je optokapler 4N35. Kada mikrokontroler pošalje signal, LED unutar optokaplera se uključuje, što aktivira fototranzistor unutar 4N35. To omogućava protok struje između kolektora i emitora optokaplera, pružajući električnu izolaciju koja štiti mikrokontroler od potencijalno štetnih povratnih struja iz motora.

Emitorska struja iz optokaplera prolazi kroz otpornik i aktivira gejt MOSFET tranzistora IRF510. Kada je gejt aktiviran, MOSFET omogućava protok struje od izvora do drejna, što uključuje DC motor. Motor je povezan na napajanje od 5V i uzemljen preko MOSFET-a, što omogućava sigurno i efikasno upravljanje.

Ova konfiguracija koristi STM32 za kontrolu DC motora na siguran način, kombinujući galvansku izolaciju optokaplera i MOSFET za korišćenje visokonaponskog dela kola. Ovaj sistem omogućava mikrokontroleru da upravlja

motorom na temelju podataka senzora, istovremeno štiteći osetljive komponente od potencijalno štetnih struja, što čini sistem pouzdanim i efikasnim za razne aplikacije.

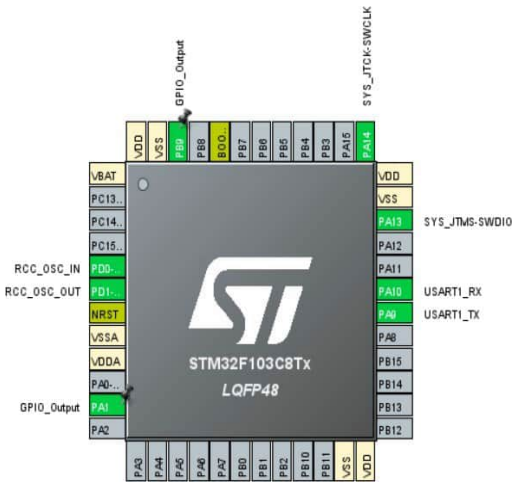
Na slici 7. nalazi se praktično povezana šema na proto ploči. STM32 povezan je na računar preko ST Link V2 uređaja uz pomoć koga se programira.



Slika 7. Praktična realizacija sistema.

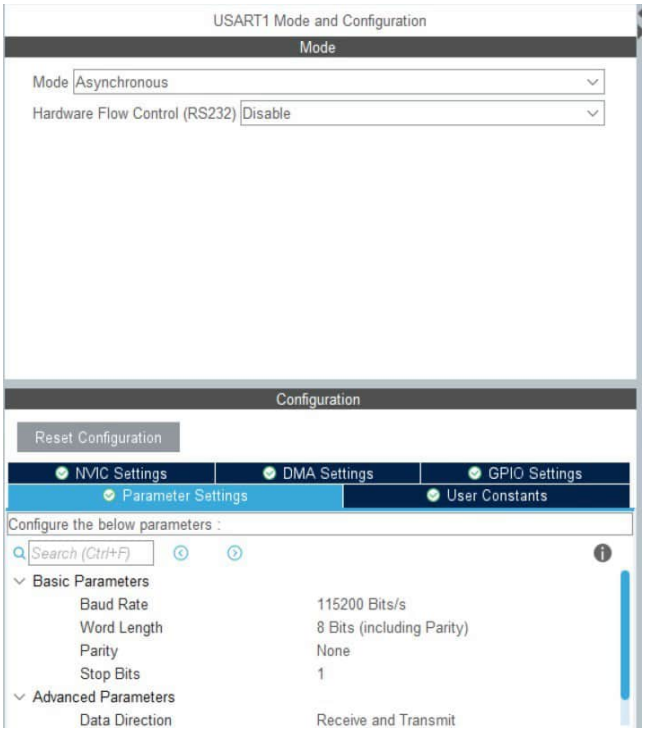
IV. SOFTVERSKA IMPLEMENTACIJA

Radi softverske implementacije ovog sistema korišćena su okruženja CubeMX i Keil uVision. CubeMX služi za konfiguraciju STM32 okruženja, pinova mikrokontrolera, ali i ostalih komponenti u okruženju. Keil uVision je okruženje koje služi za programiranje mikrokontrolera. Na početku se koristi CubeMX i prvo je neophodno definisati pinove mikrokontrolera. Definicija svih pinova prikazana je na slici 8. Većina pinova se definiše nakon konfiguracije nekih drugih parametara u CubeMX okruženju, a korisnik definiše pin koji je povezan za senzor, kao i pin koji će upravljati DC motorom. Korišćeni pinovi su PA1 za upravljanje DC motorom i PB9 za komunikaciju sa senzorom. Oba pina definisana su kao izlazni. Treba naglasiti da će se u samom kodu menjati konfiguracija pina koji služi za komunikaciju sa senzorom, jer će se u nekom trenutku ovaj pin ponašati kao ulazni, a u drugom kao izlazni.



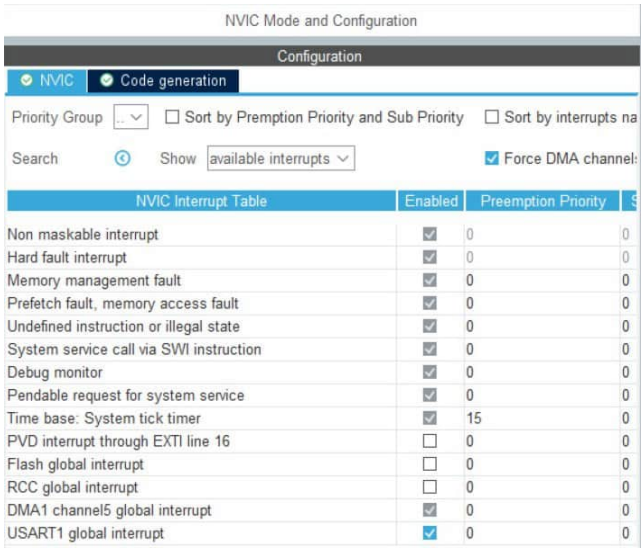
Slika 8. CubeMX raspored pinova.

Nakon podešavanja pinova neophodno je omogućiti korišćenje UART komunikacije koja će nam biti neophodna za prikazivanje podataka sa senzora, kao i za upravljanje temperaturom i to unosom željene temperature preko tastature. Korišćen je asinhroni mod. Podešena brzina prenosa je 115200 Bits/s, a dužina reči je 8 bitova uključujući i bit pariteta. Ove podatke je bitno zapamtiti zbog kasnijeg testiranja sistema, jer će biti neophodno podešavanje ovih vrednosti u bilo kom okruženju za prikazivanje i slanje podataka. Na slici 9 prikazano je podešavanje UART komunikacije.



Slika 9. CubeMX podešavanje UART komunikacije.

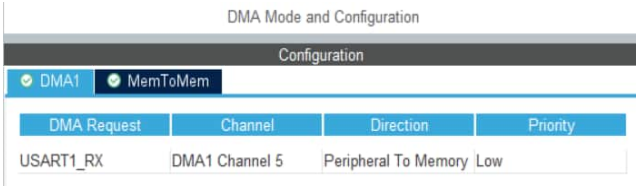
Takođe je neophodno omogućiti globalnu prekidnu funkciju za korišćenje UART komunikacije, što je prikazano na slici 10.



Slika 10. CubeMX dodavanje globalnog interapta za UART.

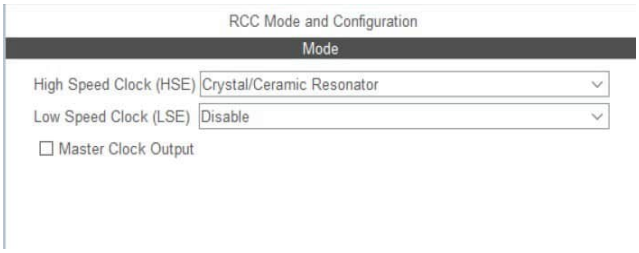
Radi što optimalnijeg korišćenja UART komunikacije i skladištenja podataka biće korišćen direktan pristup

memoriji, što se takođe mora omogućiti u CubeMX okruženju i prikazano je na slici 11.

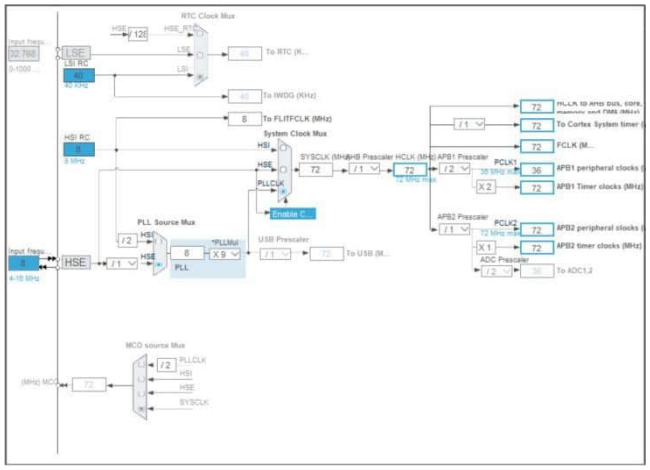


Slika 11. CubeMX podešavanje DMA memorije za UART.

S obzirom na to da je kašnjenje u Keil uVision okruženju definisano milisekundom, a u slučaju ovog sistema biće neophodno implementirati kašnjenje u mikrosekundama, potrebno je podesiti frekvenciju oscilatora ugrađenom u STM32 okruženju, a način na koji se ona menja prikazan je na slikama 12 i 13. Izabrano je korišćenje *Crystal/Ceramic Resonator* oscilatora, a frekvencija je podešena na 72MHz. Naime, podešavanjem *prescaler*-a na 72, dobila bi se frekvencija od 1MHz, koja odgovara periodi od jedne mikrosekunde. Funkcija za kašnjenje u mikrosekundama nalazi se u uvezenoj biblioteci senzora DHT11.



Slika 12. CubeMX odabir oscilatora.



Slika 13. CubeMX konfiguracija Clock-a.

Ovim su završena sva podešavanja vezana za CubeMX i sada se prelazi na Keil uVision. Na samom početku neophodno je ubaciti i uključiti biblioteke za korišćeni senzor. Biblioteka za dati senzor je napisana u skladu sa prethodno opisanim načinom komunikacije između senzora i mikrokontrolera. Takođe, u samoj biblioteci definisano je i pomenuto kašnjenje u mikrosekundama. Kako bi programski kod funkcionisao, neophodno je uključiti sve potrebne biblioteke, bilo da su one standardne (stdio.h, string.h) ili uvezene (DHT.h). Uključivanje biblioteka prikazano je na slici 14.

```
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "DHT.h"
/* USER CODE END Includes */
```

Slika 14. Keil uVision uključivanje biblioteka.

Naredni korak podrazumeva definiciju korišćenih promenljivih. *DHT11_Data* je tipa jedne strukture podatka koja je definisana u korišćenoj biblioteci i u njoj se nalaze celobrojne očitane vrednosti temperature i vlažnosti vazduha. Naredne promenljive korišćene su za pretvaranje celobrojne vrednosti u stringove, za računicu potrebnu za određivanje opsega u kome će biti uključen DC motor, kao i niz karaktera neophodan za slanje vrednosti preko tastature UART komunikacijom. Deklaracija promenljivih prikazana je na slici 15

```
/* USER CODE BEGIN 0 */

DHT_DataTypedef DHT11_Data;
char tempString[30];
char humString[30];
char PlusString[30];
char MinusString[30];
uint8_t Plus = 0;
uint8_t Minus = 0;
uint8_t prijem[10] = {};


/* USER CODE END 0 */
```

Slika 15. Keil uVision deklaracija promenljivih.

Naredni deo koda se izvršava samo jednom, na početku i u ovom slučaju neophodna je samo jedna linija koda u tom delu. Ova linija služi za primanje podataka preko UART komunikacije i to direktnim pristupom memoriji. Iskorišćena funkcija ima tri argumenta, pokazivač na strukturu UART2 rukovaoca, pokazivač na bafer gde će se primljeni podaci skladištiti, kao i broj bajtova koji će biti primljeni. U ovom slučaju bafer predstavlja već deklarisanu promenljivu *prijem* koja u suštini sadrži niz karaktera koji će biti primljeni. Deo programa koji će se izvršiti samo jednom prikazan je na slici 16.

```
  /* USER CODE BEGIN 2 */

HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,prijem,4);

  /* USER CODE END 2 */
```

Slika 16. Keil uVision deo programa koji će se izvršiti jednom.

Za korišćene UART komunikacije takođe je neophodno definisati i prekidnu funkciju (eng. *interrupt*). Kada podaci stignu, dešava se prekid i izvršava se upis podataka u bafer i biva pozvana funkcija čija je definicija prikazana na slici 17. Opis ove funkcije nalazi se u biblioteci dostupnih HAL funkcija. Takođe, primljeni podaci se prikazuju na terminalu radi provere.

```
/* USER CODE BEGIN 4 */
void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
{
/* Prevent unused argument(s) compilation warning */
//UNUSED(huart);
/* NOTE: This function should not be modified, when the callback is
needed, the HAL_UART_RxCpltCallback could be implemented in the user
file
*/
HAL_UART_Receive_DMA(&huart1,prijem,4);
HAL_UART_Transmit(&huart1,prijem,4,100);
}
/* USER CODE END 4 */
```

Slika 17. Keil uVision definicija prekida za UART.

Najbitniji deo koda koji zapravo opisuje čitavu funkcionalnost ovog sistema jeste glavna programska petlja koja se izvršava beskonačno mnogo puta. Prikaz ove petlje nalazi se na slici 18.

Započinje se prikupljanjem i obradom podataka sa senzora i to funkcijom iz uvezene biblioteke za korišćeni senzor. Ova funkcija vrši čitavu prethodno objašnjenu komunikaciju između mikrokontrolera i senzora. Nakon toga, vrši se konverzija prikupljenih podataka iz celobrojnih vrednosti u stringove koji su pogodni za prikazivanje na terminalu. Takođe, vrši se neophodna računica kojom se označava opseg od 10% primljene vrednosti koji se koristi za uključivanje i isključivanje DC motora. Kod ove računice, neophodno je pristigle karaktere pretvoriti u celobrojne vrednosti, što se izvršava jednostavnim oduzimanjem karaktera '0' svakom članu niza. Uzima se prvi član niza, cifra desetice, množi se sa 10 i dodaje se drugi član niza, cifra jedinice čime se dobija celobrojna vrednost pristiglog podatka. Za dobijanje opsega, dodaje se, odnosno oduzima cifra desetice, koja ujedno i predstavlja 10% primljene vrednosti. Opseg vrednosti dobijen u celobrojnim vrednostima se takođe konvertuje u string tip podatka.

Zatim sledi slanje i prikaz očitanih podataka temperature i vlažnosti vazduha, kao i deo koda predviđen za uključivanje motora. Naime, ispituje se da li je očitana vrednost temperature veća od gornje granice opsega i to korišćenjem funkcije iz standardne biblioteke za rad sa stringovima.

Ukoliko je prvi argument funkcije veći od drugog, gledajući ASCII vrednosti, funkcija vraća broj veći od 0. Upravo ovaj uslov se i ispituje. Ukoliko je broj veći od nule, DC motor, odnosno ventilator, se uključuje i hladi prostoriju. U trenutku kada se ove dve vrednosti izjednače ili prva postane manja od druge, motor se isključuje. Donja granica opsega bi se mogla koristiti ukoliko bi se sistemu dodao grejač koji bi zagrejao prostoriju.

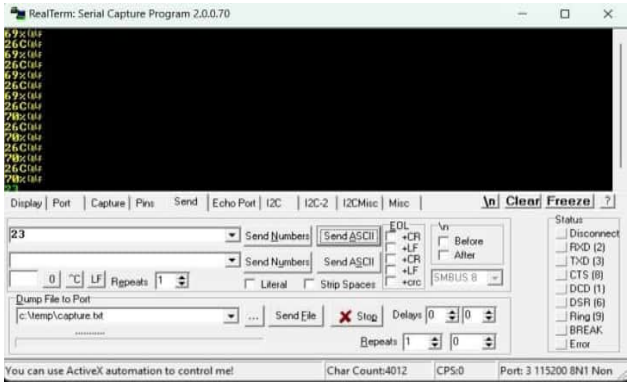
Na samom kraju dodaje se neophodno kašnjenje od 1300ms koje je definisano u tehničkoj dokumentaciji ovog senzora i potrebno je kako bi se u narednoj iteraciji ponovila uspešna komunikacija između senzora i mikrokontrolera.

```
113   /* USER CODE BEGIN WHILE */
114   while (1)
115   {
116
117     /* USER CODE END WHILE */
118
119     /* USER CODE BEGIN 3 */
120
121     DHT_GetData(&DHT11_Data);
122     sprintf(tempString,"%d",DHT11_Data.Temperature);
123     sprintf(humString,"%d",DHT11_Data.Humidity);
124     Plus = ((prijem[0]-'0')*10+(prijem[1]-'0')) + (prijem[0]-'0');
125     Minus = ((prijem[0]-'0')*10+(prijem[1]-'0')) - (prijem[0]-'0');
126     sprintf(PlusString,"%d",Plus);
127     sprintf(MinusString,"%d",Minus); //ukoliko imamo npr grejac
128     HAL_UART_Transmit(&huart1,tempString,strlen(tempString),10);
129     HAL_UART_Transmit(&huart1,"C\r\n",strlen("C\r\n"),10);
130     HAL_UART_Transmit(&huart1,humString,strlen(humString),10);
131     HAL_UART_Transmit(&huart1,"%\r\n",strlen("C\r\n"),10);
132     if (strcmp(tempString,PlusString)>0) {
133     HAL_GPIO_WritePin (GPIOA, GPIO_PIN_1, 1);
134     } else HAL_GPIO_WritePin (GPIOA, GPIO_PIN_1, 0);
135     HAL_Delay(1300);
136   }
137   /* USER CODE END 3 */
138 }
```

Slika 18. Keil uVision glavna programska petlja.

V. TESTIRANJE SISTEMA

Za testiranje sistema biće korišćen terminal program *RealTerm.* Nakon pokretanja programa potrebno je izvršiti određena podešavanja, shodno podešavanjima koja su izvršena u CubeMX okruženju za UART komunikaciju. Ovo podrazumeva selekciju Half Duplex komunikacije, kao i podešavanje brzine prenosa od 115200 (eng. *baud rate*). Takođe, potrebno je izabrati i port preko koga je povezan FTDI čip. Nakon ovih podešavanja u kartici *Send* se preko tastature unose željene vrednosti temperature koje se šalju klikom na dugme *Send ASCII*. Za to vreme, na terminalu se sve vreme prikazuju trenutne vrednosti temperature i vlažnosti vazduha. RealTerm terminal prikazan je na slici 19.



Slika 19. RealTerm terminal.

VI. ZAKLJUČAK

Ovakva konfiguracija može predstavljati i potpuno realan projekat uz malo izmena. Na DC motor bi se morao prikačiti ventilator koji bi mogao da značajno ohladi prostoriju, a može se i kontrolisati brzina okretanja motora tako da se prostorija više ili manje hladi. Takođe, može se dodati i grejač tako da postoji mogućnost grejanja prostorije. Najkomplikovaniji deo ovakvih projekata jeste sama razrada ideje i pronalazak ili kreiranje odgovarajućih biblioteka za korišćene senzore. Upravljanje ostalim delovima kola prilično je jednostavno.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se predmetnom asistentu dr Milošu Marjanoviću na izdvojenom vremenu i datim savetima. Nadamo se budućim saradnjama.

LITERATURA

[1] M. Marjanović "Upravljanje komponentama snage korišćenjem ARM mikrokontrolera" 2024. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/kiks-vezbe-nucleo.pdf.

[2] I. Manić "Komponente i kola snage - predavanja". Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/Komponente-i-kola-snage_predavanja.pdf.

[3] NMOS tranzistor snage IRF510 tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://www.vishay.com/docs/91015/irf510.pdf.

[4] Optokapler 4N35 tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://www.vishay.com/docs/81181/4n35.pdf.

[5] STM32F103C8 tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.htmlhttps://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html.

[6] FT232R FTDI čip tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/08/DS_FT232R.pdf.
DHT11 senzor temperature i vlažnosti vazduha tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical- Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf.
[7] DHT11 korišćena biblioteka. Dostupno na: https://github.com/lanatasic1/dht11-biblioteka-za-stm32.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.055T
Original scientific paper

Realizacija semafora korišćenjem Zybo Z7-10 FPGA razvojnog okruženja

Lana Tasić
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
lana.tasić@elfak.rs
ORCID: N/A

Vuk Zlatković
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
vuk.zlatković@elfak.rs
ORCID: N/A

Nenad Radivojević
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nenad.radivojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* - U ovom radu biće ukratko objašnjen princip rada Zybo Z7-10 FPGA razvojnog okruženja, sa fokusom na primenu za realizaciju kontrolera saobraćajne raksrsnice, odnosno semafora.**

Ključne reči—Zybo Z7-10, FPGA, saobraćajna raskrsnica,

I. Uvod

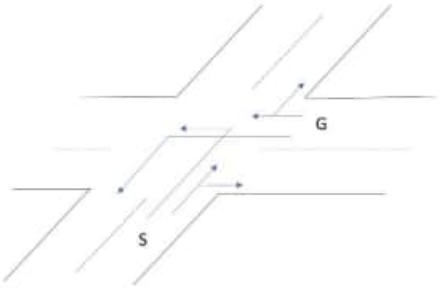
U ovom projektu je realizovan kontroler saobraćajne raskrsnice korišćenjem Zybo Z7-10 FPGA razvojnog okruženja. Skica raskrsnice prikazana je na slici 1. Zeleno svetlo za automobile je treptuće poslednjih 5 sekundi i to sekundu je uključeno, sekundu je isključeno. Promena stanja dešava se pri nailasku prednje ivice taktnog signala i sistem ima mogućnost asinhronog reseta. Opisni kod sadrži sledeće celine:

- Generator takta vremenskog trajanja od 1s;
- Brojač za 5s i 24s;
- Konačni automat za semafor sa treptućim zelenim svetlom.

Zybo Z7 je razvojno okruženje namenjeno za razvoj embeded softvera i digitalnih kola sledećih karakteristika:

- Cortex A9 dvojezgrani procesor sa radnim taktom od 667MHz i integrisanim Xilinix FPGA
- 1GB DDR3L memorije sa radnim taktom od 533 MHz i 32-bitnom magistralom
- Široki opseg portova (USB, Ethernet, Audio, Video)
- Pmod konektori za interagovanje sa dodatnim uređajima
- Pcam konektor za dodavanje kamera senzora sa MPI CSI-2 interfejsom
- Mogućnost Programiranja iz JTAG-a, QuadSPI-a, flash memorije i SD kartice

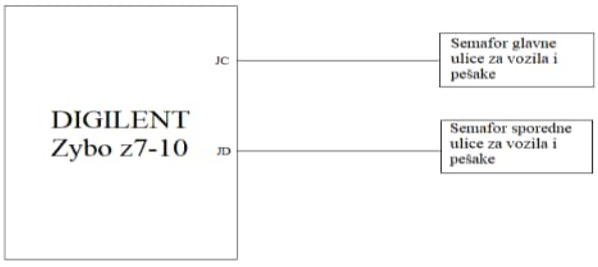
Digitalno kolo je opisano u softverskom okruženju Vivado.



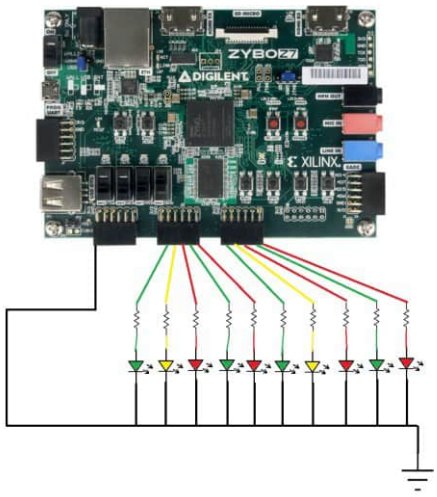
Slika 1. Skica raskrsnice.

II. Praktična realizacija

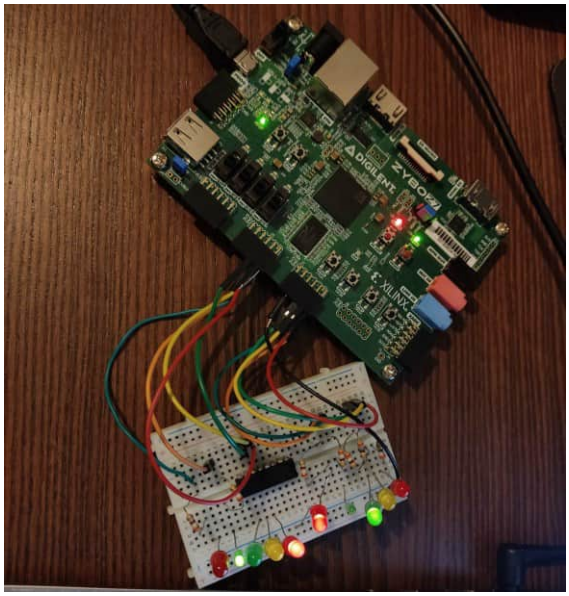
Prilikom praktične realizacije sistema korišćene komponente su: četiri crvene LE diode, četiri zelene LE diode, dve žute LE diode, otpornici od 330Ω, proto ploča i Zybo Z7-10 razvojno okruženje. Na slici 2 prikazana je blok šema praktično realizovanog projekta, dok se na slici 3 nalazi električna šema ovog sistema. Na slici 4 nalazi se fotografija praktično realizovanog sistema. Semafori glavne ulice za vozila i pešake povezani su na port JC Zybo Z7-10 razvojnog okruženja, dok su semafori za sporednu ulicu povezani na port JD.



Slika 2. Blok šema praktično realizovanog projekta.



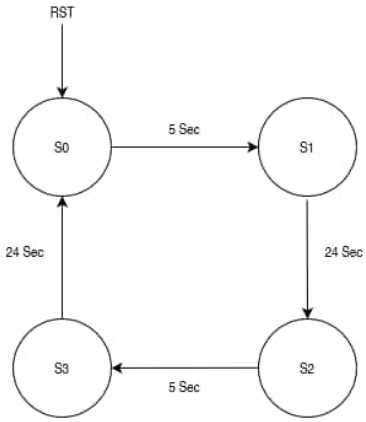
Slika 3. Električna šema praktično realizovanog projekta.



Slika 4. Fotografija praktično realizovanog sistema.

III. Dijagram stanja konačnog automata

Ovaj automat predstavlja Murov tip automata i realizovan je u četiri stanja. Dijagram stanja konačnog automata prikazan je na slici 5, a detaljni opis stanja se može pročitati iz tabele na slici 6.



Slika 5. Dijagram stanja konačnog automata.

	S0		S1		S2		S3	
	Glavna	Sporedna	Glavna	Sporedna	Glavna	Sporedna	Glavna	Sporedna
Vozilo	Z	C	Z	ZC	C	Z	ZC	Z
Pesak	C	Z	C	C	Z	C	C	C

Slika 6. Detaljniji prikaz stanja iz konačnog automata.

U stanju 0 je na glavnoj ulici na semaforu za vozila uključeno zeleno svetlo koje poslednjih pet sekundi menja svoje stanje (uključeno, isključeno) sa frekvencijom 1Hz, a na semaforu za pešake crveno svetlo, dok je na sporednoj ulici na semaforu za vozila uključeno crveno svetlo, a na semaforu za pešake zeleno svelto. Ovo stanj traje 24 sekunde.

U stanju 1 je na glavnoj ulici na semaforu za sva vozila uključeno žuto svetlo, a na semaforu za pešake crveno svetlo, dok je na sporednoj ulici na semaforu za vozila uključeno crveno i žuto svetlo, a na semaforu za pešake crveno svetlo. Ovo stanje traje 5 sekundi.

U stanju 2 je na glavnoj ulici na semaforu za vozila uključeno crveno svetlo, a na semaforu za pešake zeleno svetlo, dok je na sporednoj ulici na semaforu za vozila uključeno zeleno svetlo koje poslednjih pet sekundi menja svoje stanje (uključeno, isključeno) frekvencijom 1Hz, a na semaforu za pešake crveno svetlo. Ovo stanje traje 24 sekunde.

U stanju 3 je na glavnoj ulici na semaforu za vozila uključeno žuto i crveno svetlo, a na semaforu za pešake crveno svetlo, dok je na sporednoj ulici na semaforu za vozila uključeno žuto svetlo, a na semaforu za pešake crveno svetlo. Ovo stanje traje 5 sekundi.

IV. VHDL opis u softverskom okruženju Vivado

Pisanje VHDL opisa digitalnog kola sprovedeno je pomoću softverskog alata Vivado.

Prvi korak jeste definisanje neophodnih biblioteka i entiteta ovog digitalnog kola. Korišćene biblioteke su: STD_LOGIC_1164, STD_LOGIC_ARITH i STD_LOGIC_UNSIGNED. Ulazni signali su clk i rst, dok su izlazni signali oni koji uključuju odgovarajuće LE diode na semaforu. Takođe neophodno je definisati pomoćne signale. Pomoćni signali su u ovom slučaju signali za pomoćni clk, brojače i resete koji se odnose na brojače, kao i signali koji se odnose na stanja automata.

Nakon toga kao pobuda za menjanje stanja automata u vremenu korišćena je interna taktna brzina ploče Zybo Z7-10, čija je vrednost iskorišćena za generisanje clk signala trajanja koje je približno jednako vremenskom intervalu od jedne sekunde i ta labela je u kodu nazvana Prescaler. Ovaj deo koda prikazan je na slici 7.

```
--prescaler za clock - generator taktnog signala
PRESCALER: process(clk)
begin
counter <= (others => '0');
if(clk'event and clk='1')then
    if counter<"10111110101111000010000000" then
        counter<=counter+1;
    else
        clk1s<=not clk1s;
        counter<=(others => '0');
    end if;
end if;
end process;
```

Slika 7. Deo VHDL koda vezan za generator taktnog signala od 1 s.

Unutar ove labele je definisan generator taktnog signala u trajanju od jedne sekunde i realizovan je kao pomoćni signal clk1s. Napravljena je petlja koja ispituje ivice CLK signala koji je definisan da preuzima vrednost brzine rada same ploče i u odnosu na to povećava vrednost brojača do broja od 50 miliona u binarnom obliku. Kada brojač dostigne vrednost od 50 miliona interni signal koji služi kao generator taktnog signala od jedne sekunde preuzme svoju suprotnu vrednost, a vrednost brojača se resetuje na nulu. Na ovaj način je dobijen taktni signal u trajanju od jedne sekunde uz pomoć koga su kasnije napravljeni brojači do 24 i do 5.

Brojači su opisani uz pomoć naredbe "process" i u listi senzitivnih signala su obuhvaćeni clk1s i reseti za odgovarajući brojač. Brojač povećava svoju vrednost svakom prednjom ivicom taktnog signala. Vraća se na početnu vrednost kada dostigne vrednost 5 ili 24 ili kada na njega reaguje cnt_rst koji nam služi da se brojači resetuju svaki put kada se promeni stanje u konačnom automatu. Deo koda vezan za brojače prikazan je na slici 8.

```
--brojac 5s
process(clk1s,cnt_rst)
begin
brojac5<=(others=>'0');
    if (clk1s 'event and clk1s='1') then
    brojac5<=brojac5+1;
    if (brojac5 > 4 or cnt_rst = '1') then
    brojac5<=(others=>'0');
    end if; end if;
end process;

--brojac 24s
process(clk1s,cnt_rst)
begin
brojac24<=(others=>'0');
    if (clk1s 'event and clk1s='1') then
    brojac24<=brojac24+1;
    if (brojac24 > 23 or cnt_rst = '1') then
    brojac24<=(others=>'0');
    end if; end if;
end process;
```

Slika 8. VHDL opis brojača od 5 s i 24 s.

Konačni automati realizovani su pomoću naredbe "process" uz pomoć "case" strukture. Konačni automat neophodno je realizovati uz pomoć dva procesa. Prvi proces prikazan je na slici 9.

```
--konacni automat prvi proces
process(clk1s,rst)
begin
if(rst='1') then
    sadasnje <= S0;
    sledece <= S0;
elsif(clk1s'event and clk1s='1')then
    sadasnje <= sledece;
end if;
end process;
```

Slika 9. Prvi proces konačnog automata.

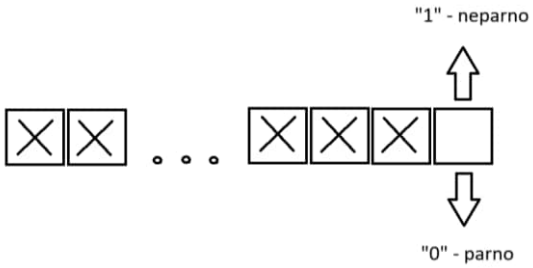
Ovaj proces omogućava nam da resetujemo stanje automata kao i da definišemo da se njegovo stanje potencijalno može promeniti svakim okidom prednje ivice taktnog signala.

Drugi proces obuhvata "case" strukturu kojom prikazujemo svako stanje konačnog automata, koja su već opisana. Bitno je napomenuti da se promenom stanja resetuje odgovarajući brojač. Deo drugog procesa prikazan je na slici 10 i obuhvata prvo stanje automata. Ostala stanja realizovana su na sličan način.

```
--konacni automat drugi proces
process(sadasnje,brojac5,brojac24)
begin
cnt_rst5 <= '0';
cnt_rst24 <= '0';
case sadasnje is
      when S0 =>
        glavnaVozac <= "001";
        glavnaPesak <= "10";
        sporednaVozac <= "100";
        sporednaPesak <= "01";
        if(brojac24>18 and brojac24(0)='1') then
        glavnaVozac<="000";
        end if;
        if (brojac24 > 23) then
            sledece <= S1;
            cnt_rst5 <= '1';
        end if;
```

Slika 10. Drugi proces konačnog automata.

Treptuće zeleno svetlo realizovano je ispitivanjem parnosti binarnog broja. Ukoliko je bit najmanje važnosti jednak "1" binarni broj je neparan i tada zeleno svetlo treba biti isključeno. Sekundu kasnije broj je paran, odnosno bit najmanje važnosti je jednak "0", pa se zeleno svetlo uključuje. Određivanje parnosti binarnog broja prikazano je na slici 11.



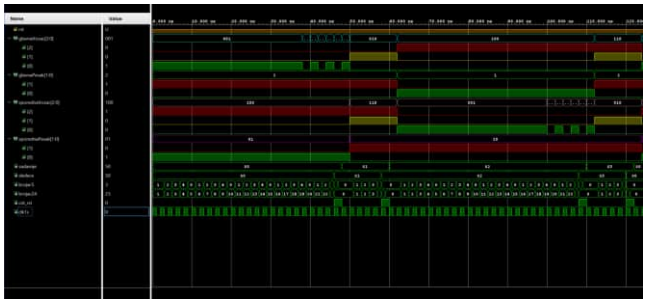
Slika 11. Određivanje parnosti binarnog broja.

Za uspešno izvršavanje simulacije nije neophodno napraviti testbench, već je moguće koristiti već napisan kod uz jednu izmenu. Izmena se odnosi na generator taktnog signala i prikazana je na slici 12.

```
process  -- CLOCK ZA SIMULACIJU
begin
        clk1s<=not clk1s;
        wait for 1ns;
end process;
```

Slika 12. Generator taktnog signala za simulaciju.

Simulacija je prikazana na slici 13 i pokazuje nam tačnost ovog VHDL opisa digitalnog kola za kontroler raskrsnice odnosno semafor.



Slika 13. Simulacija.

Radi uspešno završenog sistema neophodno je spustiti ovaj kod na ploču i izmeniti Constrains fajl. Ove izmene prikazane su na slici 14 i odnose se na clock signal, korišćenje dugmeta za reset i omogućavanje portova za određene izlazne signale koji će uključiti odgovarajuće LE diode.

```
set_property -dict { PACKAGE_PIN K17   IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {clk} ]; #IO_L12P_T1_MRCC_35 Sch=sysclk
create_clock -add -name sys_clk_pin -period 8.00 -waveform {0 4} [get_ports {clk} ];
set_property -dict { PACKAGE_PIN K18   IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports rst]; #IO_L12N_T1_MRCC_35 Sch=btn[0]

##Pmod Header JC
set_property -dict { PACKAGE_PIN V15   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports glavnaVozac[2]]; #IO_L10P_T1_34 Sch=jc_p[1]
set_property -dict { PACKAGE_PIN W15   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports glavnaVozac[1]]; #IO_L10N_T1_34 Sch=jc_n[1]
set_property -dict { PACKAGE_PIN T11   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports glavnaVozac[0]]; #IO_L1P_T0_34 Sch=jc_p[2]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN T10   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports { jc[3] }]; #IO_L1N_T0_34 Sch=jc_n[2]
set_property -dict { PACKAGE_PIN W14   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports glavnaPesak[1]]; #IO_L8P_T1_34 Sch=jc_p[3]
set_property -dict { PACKAGE_PIN Y14   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports glavnaPesak[0]]; #IO_L8N_T1_34 Sch=jc_n[3]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN T12   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports { jc[4] }]; #IO_L2P_T0_34 Sch=jc_p[4]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN U12   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports { jc[5] }]; #IO_L2N_T0_34 Sch=jc_n[4]


##Pmod Header JD
set_property -dict { PACKAGE_PIN T14   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports sporednaVozac[2]]; #IO_L5P_T0_34 Sch=jd_p[1]
set_property -dict { PACKAGE_PIN T15   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports sporednaVozac[1]]; #IO_L5N_T0_34 Sch=jd_n[1]
set_property -dict { PACKAGE_PIN P14   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports sporednaVozac[0]]; #IO_L6P_T0_34 Sch=jd_p[2]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN R14   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports { jd[3] }]; #IO_L6N_T0_VREF_34 Sch=jd_n[2]
set_property -dict { PACKAGE_PIN U14   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports sporednaPesak[1]]; #IO_L11P_T1_SRCC_34 Sch=jd_p[3]
set_property -dict { PACKAGE_PIN U15   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports sporednaPesak[0]]; #IO_L11N_T1_SRCC_34 Sch=jd_n[3]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN V17   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports { jd[4] }]; #IO_L21P_T3_DQS_34 Sch=jd_p[4]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN V18   IOSTANDARD LVCMOS33     } [get_ports { jd[5] }]; #IO_L21N_T3_DQS_34 Sch=jd_n[4]
```

Slika 14. Constrains fajl.

V. ZAKLJUČAK

Sistem za upravljanje raskrsnicom svetlosnim signalima pruža efikasno rešenje za regulaciju saobraćaja za datu raskrsnicu. Upotrebom LE dioda, otpornika i Zybo Z7 razvojnog okruženja konstruisan je model koji omogućava evaluaciju ovog rešenja i njegovo unapređenje. Moguće primene ovog sistema su za upravljanje saobraćaja, za korišćenje kao baze za napredne sisteme svetlosne saobraćajne signalizacije ili u izradi maketa saobraćajne raskrsnice sa svetlosnomo signalizacijom.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se profesoru dr Danijelu Dankoviću i predmetnom asistentu dr Milošu Marjanoviću na pruženoj pomoći i podršci i izvojenom vremenu prilikom realizacije ovog rada. Nadamo se budućim saradnjama.

LITERATURA

[1] Slajdovi sa predavanja iz predmeta Projektovanje programibilnih komponenata, 2023.

[2] Slajdovi sa vežbi iz predmeta Projektovanje programibilnih komponenata, 2023.

[3] Zybo Z7 tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://digilent.com/reference/_media/reference/programmable-logic/zybo-z7/zybo-z7rm.pdf.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.059T
Original scientific paper

Korišćenje STM32F103 Blue Pill-a za kontrolu LED svetiljke

Lana Tasić
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
lana.tasić@elfak.rs
ORCID: N/A

Veljko Cvetković
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
veljkozrza@elfak.rs
ORCID: N/A

Nenad Radivojević
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nenad.radivojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* - U ovom radu prikazan je princip rada STM32 Blue Pill-a, TFT displeja, TLC LED drajvera i LE dioda, sa detaljnijim fokusom na korišćenje ovih komponenata u svrhu projektovanja sistema za kontrolu LED svetiljke.**

Ključne reči—STM32 Blue Pill, TFT displej, LED.

I. Uvod

Ovaj sistem za kontrolu LED svetiljke sadrži 8 plavih i 8 crvenih LE dioda. Pritiskom tastera povećava se broj uključenih LE dioda, a pritiskom drugog tastera smanjuje se broj uključenih LE dioda. LE diode se uključuju naizmenično (nakon plave, uključuje se crvena, pa nakon nje plava, pa crvena itd.) i isključuju se na isti način. Na TFT displeju crvenim slovima prikazan je broj uključenih crvenih LE dioda, a plavim slovima broj uključenih plavih LE dioda. Ukupan broj uključenih LE dioda ispisuje se ljubičastom bojom, a jačina svetlosti koju trenutno emituju LE diode prikazane su belom bojom.

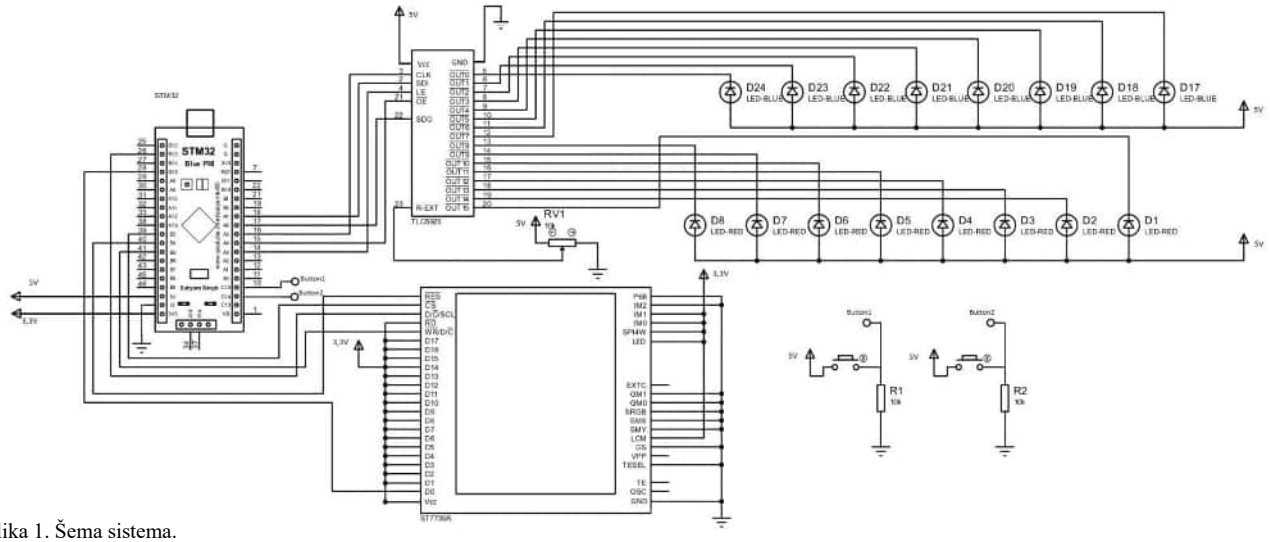
II. Šema sistema i princip rada korišćenih komponenata

Šema sistema prikazana je na slici 1. Korišćene komponente su STM32F103 Blue Pill [1] okruženje, TLC5925 LED drajver [2], osam plavih LE dioda, osam crvenih LE dioda, potenciometar od 10kΩ, TFT displej, dva otpornika od 10kΩ i dva tastera.

Okruženje STM32F103 Blue Pill sadrži mikrokontroler 32-bitne RISC ARM arhitekture, kao iveliki broj pinova i periferijskih jedinica. Ovaj tip arhitekture može da radi na visokim učestanostima, sadrži više memorije, a zahteva manji napon rada (3.3V). Blue Pill nema programator na ploči, pa je zbog toga neophodno koristiti eksterni programator (ST-link).

LED drajveri se koriste u shvrhe kontrole velikog broja LE dioda i to na principu demultipleksiranja. Postoje *Constant current* i *Constant voltage* LED drajveri. *Constant current* drajveri isporučuju konstantu struju LE diodama i na taj način stvaraju uniformno osvetljenje. *Constant voltage* drajveri isporučuju konstantan napon LE diodama i koriste se za raznobojno, neuniformno osvetljenje. Češće se koriste *Constant current* drajveri i upravo takav je i TLC5925. Ovaj drajver koristi SPI komunikaciju i pored LE dioda zahteva i eksterni otpronik, odnosno potenciometar kojim se kontroliše jačina svetlosti, odnosno jačina struje kroz diode.

TFT (*Thin Film Transistor*) displej [3], spada u grupu LCD (*Liquid Crystal Display-a*). Imaju tranzistor izasvakog piskela kako bi se eliminisalo prelivanje boja na displeju.



Slika 1. Šema sistema.

Svaki displej zahteva svoj drajver kako bi komunicirao sa mikrokontrolerom, a TFT displej koji je korišćen u realizaciji ovog sistema koristi drajver ST7735.

Pre početka povezivanja šeme neophodno je definisati pinove Blue Pill okruženja. Korišćena je SPI komunikacija i za TLC drajver i za TFT displej. Pored pinova neophodnih za komunikaciju, definisana su i dva pina kao ulazna za tastere.

Na TLC drajver povezane su LE diode i potenciometar na odgovarajućim pinovima, a po jedan pin je povezan na masu i napajanje. Korišćeno je napajanje od 5V zbog napona vođenja plavih dioda. Ostali pinovi služe za SPI komunikaciju.

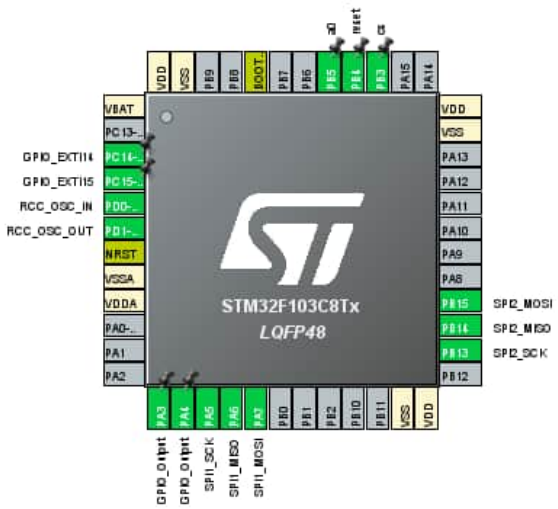
TFT displej takođe koristi SPI komunikaciju i pinovi su odgovarajuće povezani. Treba napomenuti da LED pin služi za pozadinsko osvetljenje i vezuje se za napajanje.

Tasteri su povezani u pull-down konfiguraciji i to korišćenjem otpornika od 10kΩ.

LED (*Light Emitting Diode*) je optoelektronska komponenta koja emituje svetlost pri odgovarajućem napajanju. Emisija svetlosti se dešava prilikom direktne polarizacije diode i ova pojava naziva se elektroluminiscencija. Korišćene plave LE diode imaju napon vođenja od 3.5V, a crvene LE diode imaju napon vođenja od 1.8V

III. SOFTVERSKA IMPLEMENTACIJA

Nakon povezivanja šeme neophodno je izvršiti postavke alata i samo kodiranje. U *STM32CubeMX* okruženju podešeni su korišćeni pinovi potrebni za obe SPI komunikacije, kao i pinovi za tastere i to korišćenjem eksternog interapta. Podešeni pinovi na mikrokontroleru prikazani su na slici 2.



Slika 2. Definicija korišćenih pinova u softverskom alatu *STM32CubeMX.*

Klikom na *Generate code* prelazi se u softverski alat *Keil uVision5* i tamo se nastavlja sa daljim radom i programiranjem. Prvi korak bio je dodavanje odgovarajućih biblioteka koje su neophodne za rad sa TFT displejom.

Naredni korak bio je dodavanje potrebnog uslova za eksterni interapt. Dodaje se promenljiva za označavanje broja stanja i pritiskom jednog tastera to stanje se povećava, a pritiskom drugog se smanjuje. Ukoliko je stanje minimalno prelazi u maksimum, a ukoliko je maksimalno prelazi u minimum. Tako se obezbeđuje kružni proces.

Unos ostalih pomoćnih promenljivih izvršeno je pomoću nizova ili matrica, zbog toga što to omogućava pojednostavljanje celokupnog koda. Te promenljive se odnose na podatke koji se šalju TLC drajveru, nizovi stringova koji se šalju TFT displeju, kao i koordinate, odnosno pozicija tih stringova, ali i njihova boja. Takođe, dodate su i promenljive koje će određivati broj uključenih plavih, odnosno crvenih LE dioda.

Zbog bolje preglednosti, ali i funkcionalnosti, svaki deo koda je pretočen u određene funkcije, tako da je glavni deo imao samo tri linije. Prva funkcija je određena za eksterni interapt, druga služi za isporuku podataka SPI komunikacijom TLC drajveru, treća za prikaz na TFT displeju i poslednja za promenu broja uključenih plavih i crvenih LE dioda, kao i određivanje jačine svetlosti, što takođe treba prikazati na TFT displeju.

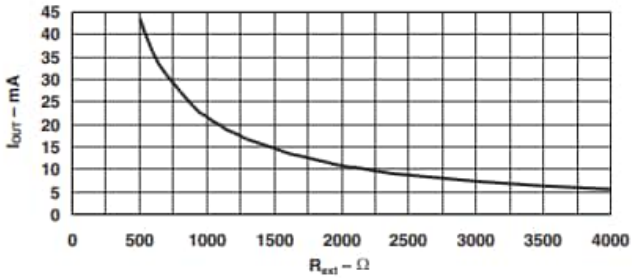
IV. IZRAČUNAVANJE OSVETLJENOSTI LED SVETILJKE

Što se tiče izračunavanja jačine svetlosti koju emituju sve LED svetiljke zajedno korišćene su tehničke dokumentacije *TLC5925 LED* drajvera i crvene i plave LED [4], [5] na sledeći način:

- Povezana je jedna plava LED i okretanjem potenciometra je podešeno da ona svetli najjačim intenzitetom.
- Isključeno je napajanje i izmerena je vrednost otpornosti na potenciometru između pina koji je povezan na drajver i mase.
- Uz pomoć dobijene vrednosti za otpornost određena je struja jednačinom koja je data u tehničkoj dokumentaciji jer se vrednost otpornosti ne može jasno očitati sa grafika zavisnosti struje od otpornosti (Slika 3.) .Korišćena je sledeća formula:

$$I_{out} = \left(\frac{1.21V}{R_{ext}} \right) \times 18 \qquad (1)$$

gde je R_{ext} otpornost koja je očitana na potenciometru (dobijene su vrednosti 430Ω plavu i 370Ω za crvenu).

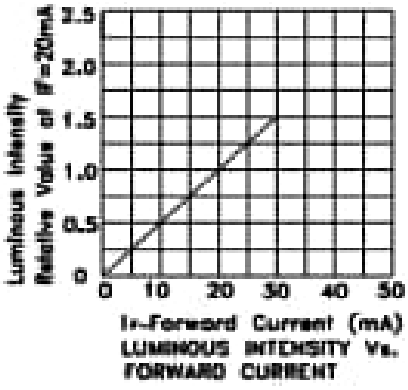


Slika 3. Grafik zavisnosti struje od otpornosti iz tehničke dokumentacije *TLC5925 LED* drajvera.

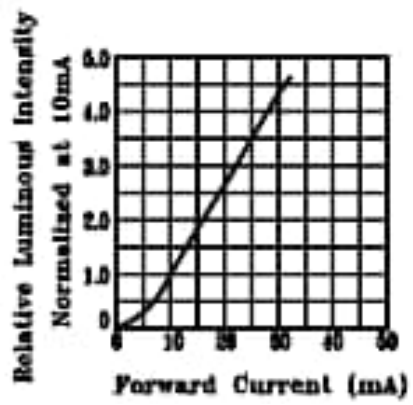
Identičan postupak je odrađen i za crvenu LED.

Nakon toga za dobijene vrednosti struje posmatrani su grafici iz tehničkih dokumentacija plave i crvene LED koji pokazuju zavisnost umnoška jačine svetlosti dioda i struje koja kroz njih protiče koji su prikazani na slikama 4 i 5.

Vrednosti su određene odgovarajućom aproksimacijom jer se za dobijene vrednosti struje ne može tačno odrediti vrednost osvetljenosti sa grafika (dobijene su vrednosti približno 50mA za plavu LED i približno 58mA za crvenu LED).



Slika 4. Grafik zavisnosti umnoška jačine svetlosti od struje iz tehničke dokumentacije plave LED.



Slika 5. Grafik zavisnosti umnoška jačine svetlosti od struje iz tehničke dokumentacije crvene LED.

V. Problemi pri realizaciji

Rad na svakom projektu mora da nosi sa sobom određene probleme koje treba prevazići kako bi finalni rezultat bio u potpunosti uspešan. U ovom poglavlju biće opisani određeni problemi na čijem rešavanju je provedeno manje ili više vremena.

Najveći problem predstavljalo je manjak prostora na proto ploči, kao i loši kontakti. Zbog toga je za realizaciju dodata još jedna proto ploča kako komponente ne bi smetale jedna drugoj. Neophodno je da se raspored komponenata dobro isplanira, jer loš raspored može prethoditi novonastalim problemima.

Dosta manji problem bio je činjenica da plave LE diode zahtevaju veći napon od crvenih i zbog toga je bilo neophodno dovesti napon od 5V. Ovo nije problem sam za sebe, međutim dodatno povezivanje USB-a na Blue Pill dovelo je do prethodno opisanog problema, odnosno manjka prostora.

Ostali problemi vezani su za pisanje samog koda. Bilo je sitnih nedoumica oko ubacivanja eksternog interapta kada su u pitanju dva tastera, međutim to je ubrzo bilo prevaziđeno.

Takođe, jedan od problema bilo je to što je druga cifra dvocifrenog broja ostajala iako se na TFT displeju ispisuje jednocifreni broj. To je rešeno ubacivanjem razmaka ispred svakog jednocifrenog broja pri definiciji stringova.

VI. Zaključak

Sistemi za kontrolu LED svetiljke mogu imati brojnu primenu, a ovde će biti izdvojene dve najintuitivnije.

Prva primena predstavlja kontrolu osvetljaja i boje LED lampe pritiskom tastera. Druga primena može biti indikacija uključenih uređaja povezanih na ovo kolo. Pritiskom tastera uključuje se uređaj, ali i dioda, tako da smo sigurni da je uređaj zaista uključen. Displej takođe prikazuje broj uključenih uređaja.

Zahvalnica

Zahvaljujemo se profesorki dr Vesni Paunović i predmetnom asistentu master inž. Nikoli Mitroviću na pruženoj pomoći i podršci i izdvojenom vremenu prilikom realizacije ovog rada. Nadamo se budućim saradnjama.

Literatura

[1] Tehnička dokumentacija za STM32F103 Blue Pill. Dostupno na : https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00105823-stm32-nucleo64-boards-mb1136-stmicroelectronics.pdf.

[2] Tehnička dokumentacija za TLC5925 LED drajver. Dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5925.pdf?ts=1617046705277&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.

[3] Tehnička dokumentacija za ST7735 TFT displej. Dostupno na: https://www.openimpulse.com/blog/wpcontent/uploads/wpsc/downloadables/1.8-SPI-LCD-Module-datasheet.pdf.

[4] Tehnička dokumentacija za LITEON plavu LED. Dostupno na: https://www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=1764.

[5] Tehnička dokumentacija za Kingbright crvenu LED. Dostupno na: https://www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=1772.

[6] Slajdovi sa vežbi iz predmeta Optoelektronika, Nikola Mitrović, 2023. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/optoelektronika/.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.063N
Original scientific paper

Diabetes Prediction Using Machine Learning

Jelena Nedeljković
Department of Electronics
Faculty of Electronic Engineering, University of Niš
Niš, Serbia
jelena.nedeljkovic@elfak.ni.ac.rs
ORCID: 0009-0002-2547-8935

***Abstract*—In this paper, we present the application of machine learning, specifically the Support Vector Machine (SVM) algorithm, for diabetes prediction using the Pima Indians Diabetes dataset. Diabetes is a serious global health issue, and timely diagnosis can significantly improve treatment outcomes. The PIMA dataset contains 768 instances with 8 medical attributes, including glucose concentration, body mass index (BMI), blood pressure, and family history of diabetes. The process involves data preprocessing, which includes cleaning, standardization, and splitting the data into training and testing sets. We used the SVM algorithm for classification, and the model was evaluated using accuracy metrics. Our model achieved an accuracy of 78.6% on the training data and 77% on the test data, which is considered a solid result given the size and characteristics of the dataset. The results show that SVM is effective for diabetes prediction, although a larger dataset could further improve model performance. In future work, we plan to test other algorithms, such as Random Forest and Neural Networks, to achieve even higher prediction accuracy.**

Keywords—Machine learning, SVM, diabetes

I. INTRODUCTION

Diabetes is one of the most significant health challenges of modern society, with an increasing number of cases worldwide. According to the World Health Organization, diabetes affects over 400 million people, and this number is expected to continue rising. Proper and timely diagnosis of diabetes can significantly improve patients' quality of life and reduce the risk of serious complications such as heart disease, kidney disease, and neuropathy.

Given the complexity and diversity of factors influencing the development of diabetes, traditional diagnostic methods often face challenges in precision and efficiency. In this context, machine learning techniques are becoming increasingly popular, as they enable the analysis of large datasets and the identification of patterns that may go unnoticed in conventional approaches.

One of the most well-known datasets used in diabetes research is the Pima Indians Diabetes Dataset. This database contains information on diagnostic measures used to predict the risk of developing diabetes in Pima Indian women. In this paper, we will focus on the application of the Support Vector Machine (SVM) algorithm as a classification method to identify patients at risk of diabetes.

The goal of our research is to develop a model that can effectively predict the onset of diabetes based on available medical attributes such as glucose levels, blood pressure, body mass index, and family history of the disease. Through the analysis and evaluation of the model, we explore the possibilities and limitations of using machine learning in biomedical research, with particular emphasis on the significance of data quality and preprocessing.

This paper provides an overview of the methodology, results, and future research directions, aiming to enhance the understanding of diabetes and improve the diagnostic process through innovative data analysis approaches.

The paper is organized into several sections. The first part contains the introduction, followed by the related work, then methodology that describes the approach and data used. Next, a dedicated section covers the Support Vector Machine (SVM) algorithm, while the results of the analysis and model evaluation are presented in the following section. Finally, the paper concludes with a summary of key findings and directions for future research. It is expected that the results of this study will contribute to a better understanding and improvement of diabetes diagnostics through the application of machine learning.

II. RELATED WORK

The use of machine learning (ML) in disease prediction, particularly diabetes, has gained considerable attention due to its ability to handle complex datasets and improve early diagnosis. One study achieved 99% accuracy using the Random Forest algorithm for diabetes prediction, underscoring the power of ML in surpassing traditional medical testing methods in accuracy and efficiency [1].

Various studies have explored the effectiveness of boosting algorithms in diabetes prediction. A study analyzing diabetes data from Bangladesh, India, and Germany found that boosting algorithms, such as AdaBoost, CatBoost, Gradient Boost, and XGBoost, outperformed basic models like Random Forests and Decision Trees. These algorithms proved particularly effective in predicting diabetes in the Bangladesh dataset, highlighting their potential for more accurate predictions in real-world applications [2].

Another study focused on traditional machine learning algorithms like KNN, Decision Trees, and Random Forests for diabetes prediction using the Pima Indian dataset. Random Forest demonstrated the highest accuracy (84%), showing significant improvement over conventional methods like blood and urine tests. This suggests that ML models are more efficient and effective in the early detection of diabetes [3].

In an attempt to address the limitations of single ML models, ensemble learning approaches have been introduced.

A stacking ensemble model, combining Gradient Boosting, AdaBoost, and Random Forest with logistic regression as the meta-learner, was proposed. The ensemble model showed improved prediction accuracy compared to single models, further supporting the adoption of ensemble learning techniques in medical diagnostics [4].

Deep learning has also been employed to enhance diabetes prediction accuracy. One study applied a deep belief network (DBN) to the Pima Indian Diabetes Dataset, demonstrating superior performance compared to traditional classifiers like Naïve Bayes, Decision Trees, and Support Vector Machines. This research highlights the potential of deep learning models to outperform conventional machine learning algorithms in complex medical prediction tasks [5].

Finally, diabetes remains a global health issue, with projections estimating an increase from 382 million cases in 2022 to 592 million by 2035. In this context, a study comparing Logistic Regression and Random Forest for diabetes prediction achieved a remarkable 99.03% accuracy with Random Forest, further underscoring the effectiveness of ML models in managing the diabetes epidemic [6].

These studies collectively highlight the potential of machine learning models, including traditional, ensemble, and deep learning techniques, in enhancing early diabetes prediction and improving public health outcomes.

III. Methodology

This section provides a detailed description of the steps taken to create a diabetes prediction model, including data processing, dataset splitting, and the implementation of the Support Vector Machine (SVM) algorithm.

A. Dataset

For the purposes of this research, the Pima Indians Diabetes [7] dataset was used, which contains 768 samples with a total of 8 attributes. Each sample represents medical measurements of women over the age of 21 from the Pima Indian population, with the presence or absence of diabetes as the target variable, which is binary (1 - diabetes, 0 - no diabetes). The main attributes in the dataset are:

1. Number of pregnancies (Pregnancies);
2. Blood glucose level (Glucose);
3. Diastolic blood pressure (Blood Pressure);
4. Skin thickness (Skin Thickness);
5. Serum insulin (Insulin);
6. Body mass index (BMI);
7. Diabetes pedigree function (Diabetes Pedigree Function);
8. Age (Age).

This dataset was chosen due to its relevance in the context of diabetes prediction and the availability of data.

B. Data Preprocessing

Data preprocessing is a crucial step that involves several phases to prepare the data for use in the machine learning algorithm. The following activities were undertaken:

1. Data Cleaning: Missing values in the attributes were addressed through imputation, while extreme values were identified and potentially removed.
2. Normalization and Standardization: To ensure all attributes are on the same scale, Z-score standardization was applied, which ensures that all data have a mean of 0 and a standard deviation of 1. This is important for the SVM algorithm, as improperly scaled data can negatively impact model performance.
3. Encoding Categorical Data: When necessary, categorical data were converted into numerical form using techniques such as one-hot encoding or label encoding.

C. Data Splitting

After preprocessing, the data was split into training and testing sets using a 70% for training and 30% for testing ratio. Stratification was applied during the split to ensure that the class proportions (diabetics and non-diabetics) remained consistent in both sets. This division allows for the evaluation of the model on unseen data and helps assess its generalization ability.

D. Algorithm

As the main classification algorithm, Support Vector Machine (SVM) was selected. SVM works by finding the optimal hyperplane that best separates the classes in a multidimensional space. Key characteristics of the algorithm include:

1. Kernel Function: We used the Radial Basis Function (RBF) kernel, which allows the model to handle nonlinear class separation, often necessary in biomedical data.
2. Regularization: The parameter C was used to control the complexity of the model to avoid overfitting to the training data.

The algorithm was implemented using Python, utilizing the Scikit-learn library for machine learning. Hyperparameters were tuned using the GridSearchCV technique to achieve the optimal combination of parameters for the best model performance.

In the next section, we will explain the fundamental principles of the Support Vector Machine (SVM) algorithm and its application in this research in more detail.

IV. Support Vector Machine (SVM)

A. Fundamental Principles of SVM

Support Vector Machine (SVM) is a powerful classification algorithm used in machine learning. The fundamental idea of SVM is to find the optimal hyperplane that separates the data into different classes. This hyperplane is chosen to maximize the margin, which is the distance between the hyperplane and the nearest points from each class, known as support vectors.

Key characteristics of SVM include:

1. Margin Maximization: The goal is to find a hyperplane that separates the classes in such a way that it leaves the largest possible distance between the hyperplane and the support vectors.
2. Robustness: SVM is resistant to overfitting, especially in high-dimensional spaces, making it suitable for complex problems.

B. Kernel Functions

One of the most important features of SVM is the use of kernel functions, which enable the model to handle nonlinear class separation. Kernel functions transform the input data into a multidimensional space, allowing for the identification of the optimal hyperplane even when the data are not linearly separable.

The most commonly used kernel functions include:

1. Linear Kernel: Used when the data are linearly separable.
2. Polynomial Kernel: Used for nonlinear problems with polynomial characteristics.
3. Radial Basis Function (RBF): The most frequently used kernel function, which performs well in many situations and allows the model to adapt to complex patterns in the data.

In this research, the RBF kernel function was used due to its effectiveness in dealing with nonlinear classification problems.

C. *Regularization*

Regularization is a key component of SVM that helps control the complexity of the model. This technique allows the model to avoid overfitting, which occurs when it too closely follows the noise in the data instead of learning relevant patterns.

The parameter C regulates the trade-off between achieving low error on the training data and maintaining low model complexity. High values of C favor accurate classification of the training data, while lower values of C allow the model to be more flexible and generalize better to unseen data.

D. *Training and Evaluation Process*

Training the SVM model involves finding optimal values for hyperparameters such as C and the choice of kernel function. These values are adjusted using the GridSearchCV technique, which allows for systematic exploration of different combinations of hyperparameters to identify the best configuration based on accuracy on a validation dataset.

Model evaluation is performed using accuracy as the primary metric, along with additional analysis through a confusion matrix and other metrics such as precision, recall, and F1-score. This analysis provides insight into the model's effectiveness and identifies potential areas for improvement.

V. RESULTS

A. *Model Performance*

After training the model using Support Vector Machine (SVM) with a linear kernel function, we achieved significant results. The model demonstrated an accuracy of 78.6% on the training set, indicating that it successfully classified the majority of the samples it analyzed. On the test set, the model achieved an accuracy of 77%. These values are in line with expectations, considering the nature of the data and the complexity of the problem. Figures 1 and 2 present the performance results of the model.

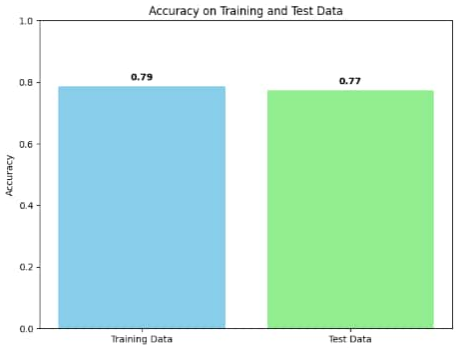


Fig. 1. Accuracy on Training and Test Data.

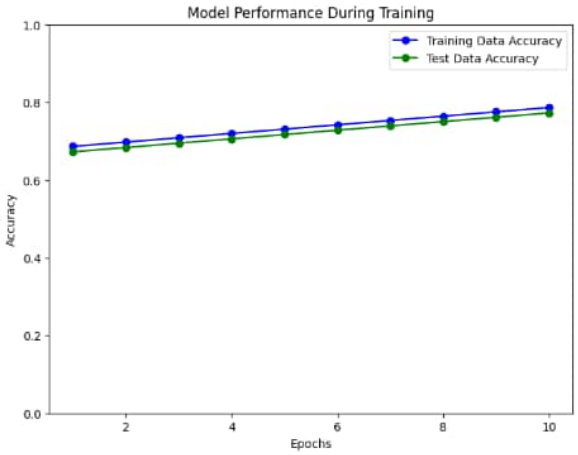


Fig. 2. Model Performance.

B. *Actual and Predicted Values*

The model results are further illustrated by a graph showing actual and predicted values on the test data. This graph allows for a visual comparison between the actual outcomes and those predicted by the model. Graph analysis:

1. Alignment: Ideally, the points on the graph should align with the diagonal line, indicating high accuracy in classification. Any deviation from this line may suggest prediction errors, whether they are false positives or false negatives.
2. Model Performance: An upward trend in accuracy during training, which can be further displayed in the graph, indicates an improvement in the model's performance across iterations.
3. Variability: If the points are scattered rather than forming a smooth line, it may indicate variability in the model's performance. This can result from data quality as well as the model's ability to generalize.

This analysis helps identify potential issues in the model and points to the need for further optimizations and data preprocessing.

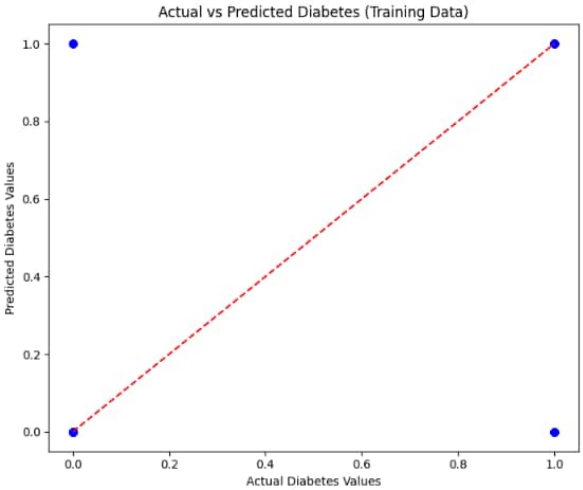


Fig. 3. Actual vs Predicted Values (Training Data).

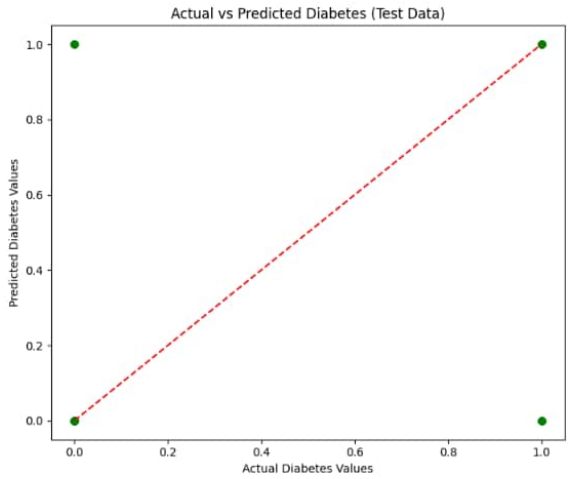


Fig. 4. Actual vs Predicted Values (Test Data).

C. *Impact of Preprocessing*

The importance of data preprocessing cannot be overstated. The application of various preprocessing techniques, including normalization, encoding categorical data, and handling missing values, has positively impacted the model's performance. This phase allowed the model to learn more effectively and deliver more reliable results.

D. *Development of Predictive System*

In conclusion, a predictive system has been developed that allows users to input their medical data and check if they are at risk of diabetes. This interactive tool utilizes the model to analyze the submitted data and provide recommendations, representing a significant step towards improving diabetes diagnosis.

```
[[ 0.3429808   1.41167241  0.14964075 -0.09637905  0.82661621 -0.78595734
   0.34768723  1.51108316]]
[1]
The person is diabetic
```

Fig. 5. Predictive System.

VI. Conclusion

In this study, we explored the application of the Support Vector Machine (SVM) algorithm for diabetes prediction using the Pima Indians Diabetes dataset. The model achieved an accuracy of 78.6% on the training set and 77% on the test set, indicating its ability to effectively classify the data. The performance analysis revealed that the results were in line with expectations, but also highlighted areas for improvement, particularly in enhancing the quality and diversity of the data.

Observed variations in accuracy and the dispersion of points in the graphs suggest that it is crucial to continuously optimize data preprocessing and hyperparameter tuning. Exploring other machine learning algorithms and utilizing larger datasets could further improve results and enable better model generalization.

Based on our findings, we can conclude that SVM is an effective tool for diabetes diagnosis, but ongoing research and improvements are essential to ensure more accurate and reliable predictions in the future. In subsequent studies, we plan to investigate alternative approaches and methods, contributing to the enhancement of the model and its application in the healthcare sector.

Acknowledgments

This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia [grant number 451-03-65/2024-03/200102].

References

[1] A. Mangal and V. Jain, “Performance analysis of machine learning models for prediction of diabetes” 2022 2nd International Conference on Innovative Sustainable Computational Technologies (CISCT)

[2] S.A.Shampa, Md.S.Islam and A. Nesa, “Machine Learning-based Diabetes Prediction: A Cross-Country Perspective”, 2023 International Conference on Next-Generation Computing, IoT and Machine Learning (NCIM)

[3] N.Hu and J.Gao, “Research on Diabetes Prediction Model Based on Machine Learning Algorithms”, 2023 International Conference on Computers, Information Processing and Advanced Education (CIPAE)

[4] J.Liu, L.Fan,Q.Jia, L.Wen and C.Shi, “Early Diabetes Prediction Based on Stacking Ensemble Learning Model”, 2021 33rd Chinese Control and Decision Conference (CCDC)

[5] P.Prabhu and S. Selvabharathi, “Deep Belief Neural Network Model for Prediction of Diabetes Mellitus”, 2019 3rd International Conference on Imaging, Signal Processing and Communication (ICISPC)

[6] S.Mahajan, P.K.Sarangi, A.K.Sahoo and M.Rohra, “Diabetes Mellitus Prediction using Supervised Machine Learning Techniques”, 2023 International Conference on Advancement in Computation & Computer Technologies (InCACCT)

[7] Pima Indians Diabetes Database, av. at 14.10.2024, https://www.kaggle.com/datasets/uciml/pima-indians-diabetes-database

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.067S
Original scientific paper

Emulacija sistema za parkiranje zasnovana na ARM mikrokontroleru

Dušan Simić
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Serbia
simic.dusan@elfak.rs
ORCID: N/A

Milica Mladenović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Serbia
m.milica@elfak.rs
ORCID: N/A

Miloš Milojević
Katedra za mikroelktroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Serbia
mikimilojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu prikazano je projektovanje i implementacija kontrole brzine i smera rotacije DC motora putem STM32 mikrokontrolera, uz integraciju OLED displeja i ultrazvučnog senzora za merenje udaljenosti.**

Ključne reči—STM32 ARM mikrokontroler, L293D drajver, DC motor, HC-SR04 ultrazvučni senzor, potenciometar, OLED displej i napajanje

I. Uvod

Ovaj projekat se bavi projektovanjem sistema za kontrolu brzine i smera okretanja DC motora korišćenjem STM32 ARM mikrokontrolera i L293D drajvera. Sistem koristi potenciometar za određivanje stanja uključen/isključen i smera okretanja motora, dok je brzina okretanja motora regulisana na osnovu rastojanja od prepreke, koje se meri ultrazvučnim senzorom. Što je rastojanje manje, brzina okretanja motora je manja, a motor se zaustavlja kada rastojanje od prepreke bude manje od 5 cm. Na OLED displeju se prikazuju izmerene vrednosti, pružajući korisniku jasan uvid u rad sistema.

II. Korišćene komponente

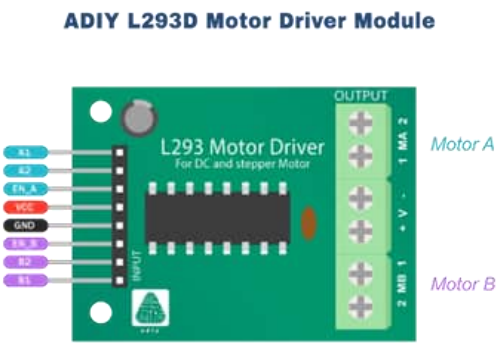
STM32 ARM mikrokontroler je centralni kontroler sistema, odgovoran za obradu signala sa senzora, kontrolu drajvera motora i interfejs sa OLED displejom. Model STM32F103RB, koji se koristi na Nucleo-64 razvojnoj ploči, omogućava fleksibilno napajanje koje može biti 3.3V, 5V ili između 7 i 12V. Za povezivanje sa računarom koristi se mini USB priključak. Pored toga, ploča ima dva korisnička LED indikatora i dva tastera, jedan za resetovanje i drugi koji je namenjen za korisničke funkcije. Mikrokontroler je zasnovan na ARM Cortex-M3 procesoru, sa 128KB Flash memorije i 20KB SRAM-a, što omogućava stabilne performanse i obradu podataka. Što se tiče komunikacionih interfejsa, STM32F103RB podržava I2C, SPI, USART/UART, CAN i USB, pružajući širok spektar mogućnosti za povezivanje sa spoljnim komponentama i uređajima.

Kombinacija STM32 ARM mikrokontrolera i L293D drajvera omogućava efikasno upravljanje motorom na osnovu ulaznih signala sa potenciometra i ultrazvučnog senzora. Ova konfiguracija pruža preciznu kontrolu brzine i smera okretanja motora, što je od suštinskog značaja za pravilno funkcionisanje celog sistema.



Slika 1. Razvojno okruženje STM32 Nucleo-64.

L293D drajver koristi se kao H-bridge drajver za kontrolu DC motora, omogućavajući promenu smera i regulaciju brzine motora. Njime upravlja mikrokontroler, koji na osnovu informacija dobijenih od potenciometra i ultrazvučnog senzora donosi odluke o potrebnim promenama u kretanju motora. Ovaj drajver može da upravlja motorima koji zahtevaju napajanje do 36V i struju do 600mA po kanalu. Dodatno, L293D obezbeđuje zaštitu čipa i ostalih komponenti od oštećenja izazvanih povratnim naponom, zahvaljujući ugrađenim diodama. Takođe, poseduje zaštitu od pregorevanja, a kontrola rada motora vrši se preko ulaznih pinova za smer, izlaznih pinova koji su povezani sa motorom, kao i enable pinova koji omogućavaju ili onemogućavaju rad drajvera. Motor može da se okreće u oba smera promenom logičkih nivoa na ulaznim pinovima, čime se omogućava fleksibilna kontrola njegovog kretanja. Brzina motora reguliše se putem PWM (Pulse Width Modulation) signala koji se primenjuje na “enable” pinovima, što omogućava preciznu kontrolu brzine rotacije. L293D drajver može da kontroliše do dva DC motora nezavisno, ili jedan stepper motor, pružajući raznovrsne mogućnosti primene u različitim projektima.



Slika 2. L293D drajver.

DC motor je elektromotor koji se koristi za demonstraciju kontrole brzine i smera rotacije. Ovaj motor je ključan u sistemu jer omogućava prikaz funkcionalnosti kontrole pomoću mikrokontrolera i drajvera, dok promene brzine i smera okretanja direktno odgovaraju na ulazne signale i PWM kontrolu, čime se obezbeđuje dinamična i prilagodljiva operacija.

Ultrazvučni senzor HC-SR04 koristi se za merenje rastojanja i omogućava regulaciju brzine motora u zavisnosti od udaljenosti do prepreke. Princip rada senzora zasniva se na emisiji ultrazvučnih talasa visoke frekvencije, zato što se koristi ultrazvuk frekvencije 40kHz, što nike visoka frekvencija. Senzor meri vreme potrebno da se ti talasi reflektuju od objekta i vrate nazad do senzora, što omogućava precizno određivanje udaljenosti od prepreka. Na osnovu ovih podataka, brzina motora se prilagođava kako bi se optimizovala njegova funkcionalnost u realnim uslovima.



Slika 3. HC-SR04 ultrazvučni sensor.

Ultrazvučni senzor HC-SR04 koristi četiri pina za komunikaciju. Pin VCC, koji se obično napaja sa 5V, i GND obezbeđuju napajanje senzoru. Trig pin služi kao ulaz za pokretanje merenja, gde mikrokontroler šalje kratak impuls u trajanju od 10 mikrosekundi. Nakon pokretanja merenja, Echo pin prelazi u visoki naponski nivo, a trajanje impulsa na ovom pinu odgovara meri udaljenosti do objekta. Echo pin ostaje visok dok ultrazvučni talas ne bude reflektovan nazad i detektovan, čime se završava merenje udaljenosti.

Potenciometar je analogni ulazni uređaj koji se koristi za kontrolu stanja i smera okretanja motora. Ovaj uređaj omogućava korisniku da ručno podešava otpor, čime se menja izlazni napon, što mikrokontroler koristi za određivanje željene brzine i smeru rotacije motora. Povezivanjem potenciometra sa mikrokontrolerom, korisnik može lako i precizno upravljati radom motora u skladu sa zahtevima aplikacije.

OLED displej je uređaj koji se koristi za prikazivanje izmerenih vrednosti sa senzora i drugih relevantnih informacija o radu sistema. Ova tehnologija prikaza koristi organski poluprovodnički materijal koji emituje svetlost kada kroz njega prolazi struja. OLED displeji su poznati po svojim izvanrednim karakteristikama, uključujući visoki kontrast, široku paletu boja, brz odziv i fleksibilnost u oblikovanju.

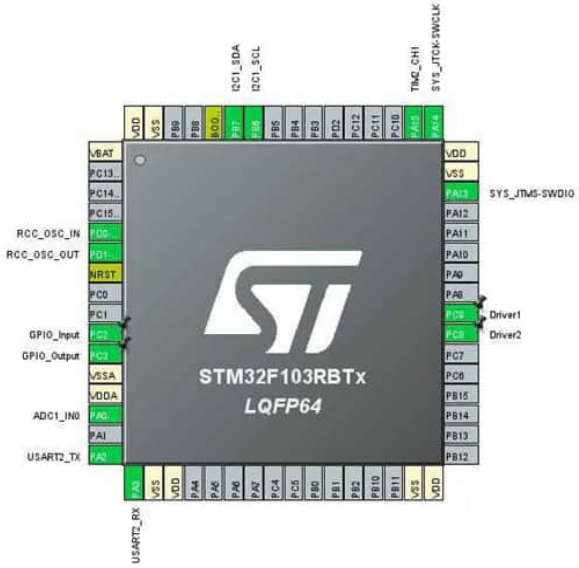


Slika 4. OLED displej.

Displej koji se koristi u ovom projektu implementira I2C komunikaciju i ima četiri osnovna pina: VCC, koji obezbeđuje napajanje (3.3 ili 5V), GND za zemlju, SDA kao pin za protok podataka i SCL kao pin za taktni signal. I2C komunikacija omogućava dvosmerni serijski prenos podataka između master uređaja, u ovom slučaju mikrokontrolera, i slave uređaja, odnosno OLED displeja, koristeći samo dva pina (SDA i SCL). Ova komunikacija omogućava efikasnu razmenu informacija, što je ključno za prikazivanje real-time podataka na displeju.

III. KONFIGURISANJE PERIFERIJA MIKROKONTROLERA

Pinovi PD0 i PD1 na mikrokontroleru STM32F103RBT6 povezani su sa eksternim oscilatorom. PD0 je konfigurisan kao ulaz za eksterni oscilator (RCC_OSC_IN), dok je PDI izlaz za eksterni oscillator (RCC_OSC_OUT). Eksterni oscillator obezbeđuje stabilan i precizan takt, ključan za pravilno funkcionisanje mikrokontrolera. Međutim, pošto ovi pinovi nisu korišćeni u šemi, mikrokontroler koristi interni oscilator (HSI - High Speed Internal) za generisanje sistemskog takta (SYSCLK), koji obično radi na frekvenciji od 8 MHz.



Slika 5. Konfiguracija mikrokontrolera.

Međutim, iako brojač inicijalno funkcioniše na frekvenciji od 8 MHz, preskaliran je na 1 MHz, što znači da je jedan takt jednak jednoj mikrosekundi. Ovo je postignuto podešavanjem preskalera i ARR registra (Auto Reload Register) u CubeMX-u.

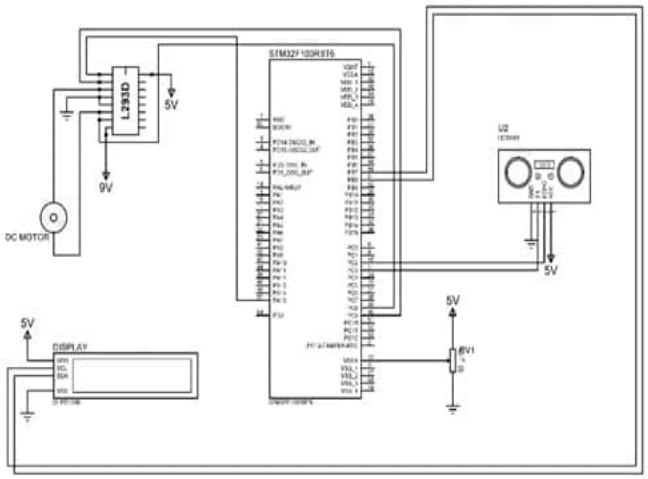
Ultrazvučni senzor HC-SR04 koristi dva pina za rad, pored dva pina za uzemljenje i izvor napajanja (Vcc = 5V). Trig (TR) pin inicira slanje ultrazvučnog signala, dok ECHO pin se interno pomoću mikrokontrolera na senzorskom modulo, postavlja u stanje logičke jedinice kada se završi slanje 8 ultrazvučnih impulsa frekvencija 40kHz, i u tom stanju ostaje dok se emitovani ultrazvuk ne vrati u senzorski modul.. Pin PC2 je konfigurisan kao GPIO_Input jer prima signal od ECHO pina ultrazvučnog senzora, registrujući nisku ili visoku vrednost u zavisnosti od reflektovanog impulsa. Pin PC3 je konfigurisan kao GPIO_Output, što omogućava mikrokontroleru da aktivno upravlja ovim pinom.

Ova konfiguracija omogućava mikrokontroleru da koristi PC3 za upućivanje kratkog Trig signala ka senzoru, dok PC2 prima i obrađuje Echo signal koji se vraća od senzora. Ovo je osnova za merenje rastojanja pomoću ultrazvučnog senzora.

Pin PA0 je konfigurisan kao ADC1_IN0 i služi kao analogni ulaz za ADC (Analog-to-Digital Converter) na STM32 mikrokontroleru. Ovaj pin je povezan sa potenciometrom i omogućava precizno merenje napona u odnosu na referentnu tačku za analogne konverzije, pin VSSA. Pinovi PA2 i PA3 su konfigurisani kao USART2_TX i USART2_RX i služe za serijsku komunikaciju (UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) na STM32 mikrokontroleru. PA2 služi kao Transmit (TX) pin za USART2 interfejs, omogućavajući slanje serijskih podataka sa mikrokontrolera na druge uređaje ili periferije. PA3 služi kao Receive (RX) pin za USART2 interfejs, omogućavajući prijem serijskih podataka sa drugih uređaja ili periferija. Kombinacija USART2_TX i USART2_RX omogućava dvosmernu komunikaciju, gde mikrokontroler može da šalje i prima podatke putem serijske veze.

Drajver L293D, popularan za DC motore, omogućava kontrolu brzine i smera rotacije motora. Koristi se u kolu za kontrolisanje motora preko mikrokontrolera, sa kontrolnim pinovima za određivanje smera rotacije i funkcijama kao što je PWM signal za kontrolu brzine motora. Pinovi PC9 i PC8 koriste se za kontrolu brzine i smera rotacije motora. Pin PA15 je konfigurisan kao TIM2_CH1 i koristi se za kontrolu PWM signala. Drajver zahteva dva izvora napajanja: Vcc (5V) za logički deo i Vs (9V) za snagu, omogućavajući kontrolu motora sa većom snagom. Masa predstavlja zajedničku masu za oba napajanja.

Pinovi PA13 (SYS_JTMS-SWDIO) i PA14 (SYS_JTCK-SWCLK) rezervisani su za SWD interfejs, koji se koristi za programiranje i debagovanje STM32 mikrokontrolera. Ovi pinovi su neophodni tokom razvoja aplikacija za efikasno testiranje i debagovanje softvera na mikrokontroleru. Pinovi PB6 i PB7 su konfigurisani za I2C komunikaciju i koriste se za povezivanje sa perifernim komponentama kao što je OLED displej. PB7 je određen kao Serial Data Line (SDA) za I2C komunikaciju preko I2C1 interfejsa, prenoseći serijske podatke između mikrokontrolera i periferije. PB6 je određen kao Serial Clock Line (SCL) za I2C komunikaciju preko I2C1 interfejsa, sinhronizujući prenos podataka na I2C liniji. OLED displej tipa SSD1306 koristi se za prikazivanje grafike i teksta, a za komunikaciju sa STM32 mikrokontrolerom koristi I2C interfejs. Displej zahteva napajanje od 5V i koristi GND pin za masu. Na slici 6 je prikazana električna šema.

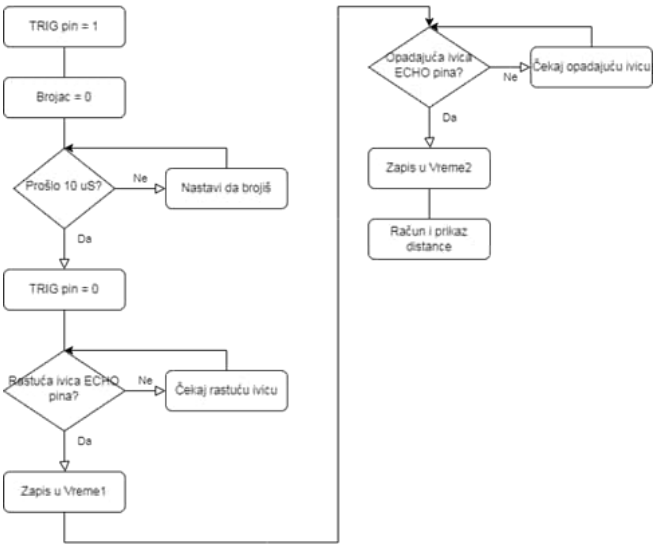


Slika 6. Električna šema.

IV. KOD

Kod se sastoji iz tri celine koje izvršavaju zasebne zadatke vezane za komponente/periferiju koju kontrolišu:

A. Čitanje HC-S04 ultrazvučnog senzora i prikaz razdaljine



Slika 7. Algoritam koda za čitanje senzora.

Prvobitno se na izlazni "TRIG" pin (Trigger pin senzora) šalje visok naponski nivo, i nakon korišćenja prazne While petlje kako bi se postigao kašnjenje od 10 mikrosekundi, na isti pin šalje se niski naponski nivo. Ovim je postignut impuls Trigger pina dovoljan da pokrene slanje ultrazvučnih impulsa iz modula. Dalje, potrebno je izmeriti vreme za koje se ultrazvučni impulsi vrate do senzora, odnosno potrebno je izmeriti vreme za koje je ECHO pin (Echo pin senzora) na visokom naponskom nivou. Čitaju se dva vremenska trenutka pod nazivom Vreme1 (trenutak početka Echo impulsa) i Vreme2 (trenutak kraja Echo impulsa). Zatim, u cilju računanja razdaljine senzora od prepreke, razlika te dve promenljive množi se sa brzinom zvuka kroz vazduh, i dobijeni rezultat dodatno deli sa 2 zbog činjenice da zvuk

treba da dođe do prepreke, i vrati se nazad do senzora. Dobijena razdaljina se konvertuje u potreban tip podatka, i ispisuje se na virtuelni port koristeći UART komunikaciju, odnosno na OLED SSD1306 display pomoću I2C komunikacije:

```
HAL_Delay(50);

HAL_UART_Transmit(&huart2,poruka1,sizeof(poruka1),10);
HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t*)Distance_d, strlen(Distance_d),10);
HAL_UART_Transmit(&huart2,cm,sizeof(cm),10);
HAL_UART_Transmit(&huart2,novi_red,sizeof(novi_red),10);
HAL_UART_Transmit(&huart2,novi_red,sizeof(novi_red),10);

SSD1306_UpdateScreen();
SSD1306_GotoXY (0, 0);
SSD1306_Puts ("Razdaljina:", &Font_11x18, 1);
sprintf(distance_oled,"%d    ", Distance);
SSD1306_GotoXY (0,30);
SSD1306_Puts (distance_oled, &Font_16x26, 1);
SSD1306_GotoXY (35,30);
SSD1306_Puts ("cm", &Font_16x26, 1);

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Slika 8. Deo koda za prikaz podataka.

B. Kontrola smera kretanja DC motora u zavisnosti od stanja potenciometra



Slika 9. Algoritam koda za čitanje potenciometra.

Pre svega, potrebno je pročitati vrednost potenciometra u datom trenutku. Funkcijama u prva dva reda koda to se i postiže, a sama vrednost smešta se u promenljivu pot_state. Nakon stečene informacije potrebno je vrednost promenljive uporeditit sa graničnim/ključnim vrednostima:

```
//For potentiometer:
uint16_t pot_state;
uint16_t change_dir = 2048;
uint16_t off_value = 300;
```

Slika 10. Granične vrednosti potenciometra.

Na osnovu poređenja će se izvršiti određeni zadatak. Ukoliko je pot_state manji od off_value (300), na pinove H-mosta (Driver1 i Driver2) šalje se nula, što znači da će se motor isključiti. Ako to nije slučaj, u zavisnosti od poređenja sa change_dir motor će se vrteti u desno (pot_value < 2048), odnosno u levo (pot_value > 2048):

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

//Reading potentiometer state:
HAL_ADC_PollForConversion (&hadc1,1000);
pot_state = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
//Questioning potentiometer state:
if (pot_state < off_value){
  HAL_GPIO_WritePin(Driver1_GPIO_Port,Driver1_Pin,GPIO_PIN_RESET);
  HAL_GPIO_WritePin(Driver2_GPIO_Port,Driver2_Pin,GPIO_PIN_RESET);
}
else if (pot_state < change_dir){
  HAL_GPIO_WritePin(Driver1_GPIO_Port,Driver1_Pin,GPIO_PIN_SET);
  HAL_GPIO_WritePin(Driver2_GPIO_Port,Driver2_Pin,GPIO_PIN_RESET);
}
else{
  HAL_GPIO_WritePin(Driver1_GPIO_Port,Driver1_Pin,GPIO_PIN_RESET);
  HAL_GPIO_WritePin(Driver2_GPIO_Port,Driver2_Pin,GPIO_PIN_SET);
}
//Displaying potentiometer state:
char pot_d [20];
sprintf(pot_d, "%lu", (unsigned long)pot_state);
HAL_UART_Transmit(&huart2,pot,sizeof(pot),10);
HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t*)pot_d,strlen(pot_d),10);
HAL_UART_Transmit(&huart2,novi_red,sizeof(novi_red),10);

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Slika 11. Deo koda za ispitivanje potenciometra.

C. Kontrola brzine kretanja DC motora u zavisnosti od distance senzora od mete



Slika 12. Algoritam koda za ispitivanje distance.

Distanca senzora se ispituje, i na osnovu njene vrednosti prilagođava se brzina rada motora. Ukoliko je razdaljina manja od 5 cm motor se momentalno isključuje. U suprotnom, na svim razdaljinama do 55 centimetara (radi praktičnog prikaza rada) na EN1 pin drajvera L293D šalje se pulsni signal faktora ispune iskazanom u procentima unutar promenljive DTC.

```
    ////////////////////////////////////////////

    //PWM generation based on distance:
    if (Distance <= 5) {
        htim2.Instance->CCR1=0;
    }
    else if (Distance > 5 && Distance <= 55){
        DTC = 2*(Distance - 5);
        htim2.Instance->CCR1 = DTC;
    }
    else {
        htim2.Instance->CCR1 = 100;
    }

    HAL_Delay(500);
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
```

Slika 13. Deo koda za ispitivanje distance.

V. ZAKLJUČAK

Ovako izrađen projekat može da služi kao osnovna ideja za realizaciju mnogo ozbiljnijeg sistema za kontrolu automobila čije su pobude svakako kompleksnije od uključivanja par pinova na mikrokontroleru. Kontrola smera kretanja motora putem potenciometra može se primeniti na relaciji volan - točkovi, sa naravno mnogo delikatnijom kontrolom smera obrtanja točkova. Dalje, merenje i prikaz distance kola od prepreke može služiti kao indikacija za isključivanje i promenu brzine vozila od strane kontrolne jedinice sistema, kao i korisnu informaciju vozaču.

ZAHVALNICA

Izrada ovog projekta ne bi bila moguća bez znanja i veština stečenih sa predavanja i vežbi u okviru predmeta Komponente i kola snage. Zahvalnica profesorima koji su nastavu na predmetu učinili mogućom.

LITERATURA

[1] Sparkfun - Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. Dostupno na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

[2] Vezbe iz predmeta Komponente i kola snage - Miloš Marjanović

[3] Vezbe iz predmeta Modeliranje i simulacija mikroelektronskih komponenata i kola - Miloš Marjanović

[4] SSD1306 Datasheet - Adafruit. Dostupno na: chrome-extension://kdpelmjpfafjppnhbloffcjpeomlnpah/https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf

[5] STM32F103xB - Datasheet. Dostupno na: chrome-extension://kdpelmjpfafjppnhbloffcjpeomlnpah/https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.073J
Original scientific paper

Projektovanje štampane ploče GSM komunikacionog sistema

Boris Jevtić
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
borisjevtic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Zadatak ovog rada je projektovanje uređaja koji, korišćenjem GSM tehnologije bežične komunikacije upravlja snažnim uređajima u domaćinstvu.**

***Ključne reči*—GSM, PCB, SMPS, buck, komunikacija.**

I. UVOD

Sa porastom potrebe za električnom energijom u različitim aspektima svakodnevnog života, od potrošačkih elektronskih uređaja do industrijskih sistema, postaje izuzetno važno razmatrati načine na koje će obezbediti stabilno, efikasno i kompaktno napajanje. Tradicionalni linearni izvori napajanja, iako pouzdani u održavanju stabilnog napona, imaju ograničenu primenu zbog svoje neefikasnosti i velike disipacije toplote. Ovo posebno postaje problematično u situacijama gde su male dimenzije i visoka efikasnost ključni faktori. U tom kontekstu, prekidački izvori napajanja izlaze na površinu kao alternativno rešenje.

Tehnološki napredak u poslednjih nekoliko decenija transformisao je naše živote na ranije nezamislive načine. Jedna od značajnih promena je povećan stepen kućne automatizacije, koji donosi novu dimenziju udobnosti, sigurnosti i energetske efikasnosti u naše domove.

Bežične tehnologije kao što su wi-fi, bluetooth i zigbee su značajno olakšale instalaciju i upravljanje kućnim automatizovanim sistemima. Ove tehnologije omogućavaju lako povezivanje uređaja bez potrebe za složenim ožičenjem, što značajno smanjuje troškove i vreme potrebno za instalaciju.

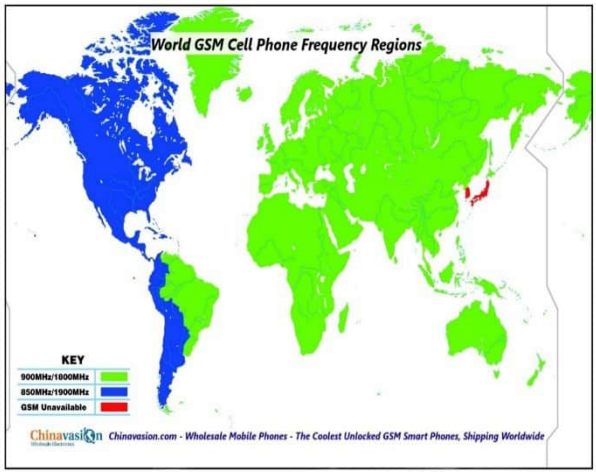
II. GSM KOMUNIKACIJA

Globalni sistem za mobilnu komunikaciju (engl. Global System for Mobile communication) je jedan od najpopularnijih i najšire primenjenih telekomunikacionih standarda. Razvijen je kako bi omogućio univerzalnu platformu za mobilnu telefoniju, omogućavajući korisnicima širom sveta da se povezuju i komuniciraju na isti način, bez obzira na geografske i tehnološke razlike.

GSM sistem radi na principu korišćenja radio talasa za bežičnu komunikaciju između mobilnih uređaja i mrežne infrastrukture. Ključni elementi ove tehnologije uključuju frekvencijske opsege, metode modulacije i multipleksiranje, kao i složenu arhitekturu mreže koja omogućava efikasno upravljanje i održavanje komunikacije.

GSM koristi različite frekvencijske opsege koji su podeljeni na određene frekvencijske kanale. U Evropi i Aziji, najčešći opsezi su 900 MHz i 1800 MHz, dok se u Severnoj i Južnoj Americi češće koriste opsezi od 850 MHz i 1900 MHz. Ovi opsezi su podeljeni na kanale širine 200 kHz, što omogućava istovremeni prenos velike količine podataka.

GSM sistem koristi digitalnu modulaciju poznatu kao Gausov minimumski ključ (GMSK). Ova tehnika modulacije je veoma efikasna u smanjenju spektralne širine, što omogućava veći broj korisnika na istom frekvencijskom opsegu. Sistem takođe koristi tehnologiju multipleksiranja po vremenu (TDMA), gde se vreme deli na okvire određene dužine, a svaki okvir je podeljen na osam vremenskih slotova. Svaki vremenski slot je dodeljen različitom korisniku, što omogućava više korisnika na istoj frekvenciji bez međusobnog ometanja [1]. Frekvencijski opsezi za GSM komunikaciju prikazani su na slici 1.



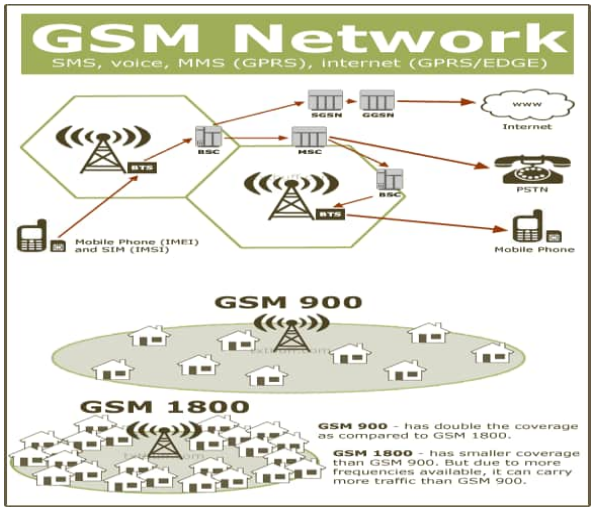
Slika 1. Frekvencijski opsezi za GSM komunikaciju.

Arhitektura GSM mreže je složena i čine je sledeće celine:

- Bazne stanice (BTS): služe kao tačke za prijem i prenos signala između mobilnih uređaja i mreže. Bazne stanice pokrivaju određene geografske oblasti, (ćelije), i upravljaju komunikacijom unutar tih područja.
  upravljanje radio resursima i obezbeđivanje kontinuiteta komunikacije kada korisnici prelaze iz jedne ćelije u drugu.

- Kontroleri baznih stanica (BSC): ovi kontroleri upravljaju grupama baznih stanica i odgovorni su za upravljanje radio resursima i obezbeđivanje kontinuiteta komunikacije kada korisnici prelaze iz jedne ćelije u drugu.
- Centri za prebacivanje mobilnih uređaja (MSC): upravljaju pozivima, rukovanjem podataka i povezivanjem mobilnih uređaja sa širom telefonskom mrežom. Oni su odgovorni za rukovanje korisničkim pozivima i podacima kada se kreću između različitih delova mreže.
- Registri korisnika: domaćih (HLR) i gostujućih (VLR). HLR čuva informacije o korisnicima i njihovim uslugama, dok VLR privremeno čuva informacije o korisnicima koji su trenutno u oblasti koju pokriva određena bazna stanica.

Arhitektura GSM mreže prikazana je na slici 2.



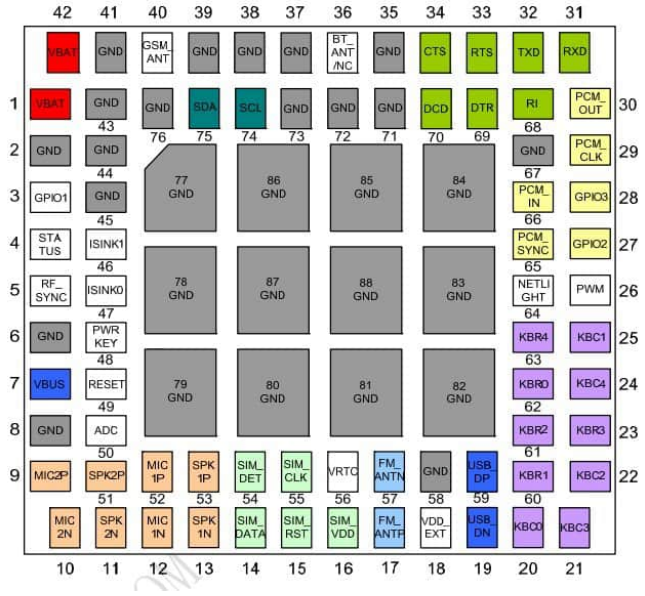
Slika 2. Arhitektura GSM mreže.

Jedna od najvažnijih karakteristika GSM sistema je sposobnost da obezbedi kontinuitet komunikacije dok se korisnici kreću. Proces poznat kao hendover (handover) omogućava mobilnim uređajima da neprekidno prebacuju vezu sa jedne bazne stanice na drugu bez gubitka veze, što je ključno za korisnike koji su u pokretu.

GSM sistem podržava međunarodni roming (engl. roaming), omogućavajući korisnicima da koriste svoje mobilne uređaje i van granica svoje zemlje. Ovo je moguće zahvaljujući dogovorima između različitih mrežnih operatera širom sveta, što omogućava korisnicima da ostanu povezani sa svojim brojem i uslugama gde god da se nalaze.

III. GSM KOMUNIKACIONI MODUL SIM800L

GSM modul SIM800L je veoma popularan i široko korišćen modul za bežičnu komunikaciju u različitim projektima i aplikacijama. Ovaj modul omogućava korisnicima da ostvare GPRS, SMS i glasovnu komunikaciju preko mobilne mreže. SIM800L je mali i kompaktni GSM/GPRS modul koji obezbeđuje stabilnu i pouzdanu komunikaciju i prilagođen je za primenu u različitim IoT (Internet of Things) uređajima, pametnim sistemima i daljinskim upravljačima. Radi na frekvencijama od 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz i 1900 MHz. Odlikuju ga izuzetno male dimenzije (17,8 mm * 15,8 mm * 2,4 mm) što znači da se lako integriše u elektronske uređaje. Radi na naponima od 3,4 V do 4,4 V i, kao što je praksa pokazala, prestaje sa normalnim funkcionisanjem ako u nekom trenutku vrednost napona napajanja premaši 4,4 V. Sa mikrokontrolerom komunicira pomoću UART protokola. Sa modulom se komunicira korišćenjem AT (attention) komandi [2]. Pinovi integrisanog kola SIM800L prikazani su na slici 3.



Slika 3. Pinovi integrisanog kola SIM800L.

Integrisano kolo sa slike 3 odlikuje veliki broj pinova (čak 88). Iako izvodljivo, rutiranje svakog pina zasebno, pritom prateći preporuke proizvođača iz tehničke dokumentacije, oduzelo bi dosta vremena. Na našem tržištu moguće je nabaviti modul sa već postavljenim integrisanim kolom i pratećim komponentama na pinu za napajanje. GSM modul prikazan je na slici 4.



Slika 4. Pinovi GSM modula SIM800L.

Komunikacioni modul poseduje 12 pinova:

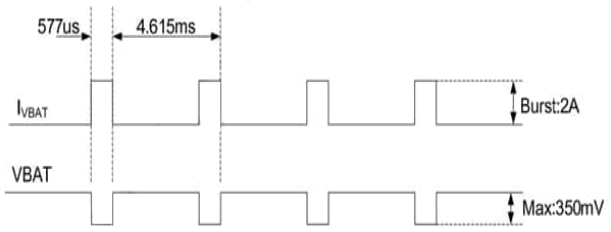
- Pin za povezivanje antene NET
- Pin za napajanje VCC
- Pin za reset RST
- Pin za UART komunikaciju (RXD i TXD)
- Pin za masu GND
- Pin za indikaciju zvonjenja RING
- Pin DTR (Data Transfer Ready)
- Pinovi za povezivanje mikrofona (MIC+ i MIC-)
- Pinovi za povezivanje zvučnika (SPK+ i SPK-)

Karakteristika svih GSM modula jeste mala potrošnja energije osim u trenutku uspostavljanja veze sa baznom stanicom. Ovaj interval, iako kratak, odlikuje protok struje jačine 2 A što predstavlja izazov u pogledu napajanja ovih modula.

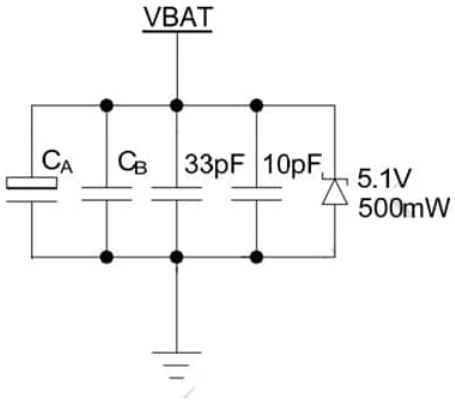
Najjednostavnije rešenje problema napajanja bilo bi upotreba baterija. Baterije su izvori jednosmernog napona koje odlikuje velika gustina energije po masi i po zapremini što praktično znači da mogu da obezbede struju velike jačine kada je to potrebno. Baterije bi posle izvesnog vremena bilo potrebno zameniti ili, u slučaju punjivih baterija dopuniti. Fizička zamena baterija zahtevala bi angažovanje ljudske ruke (smanjenje autonomije) dok bi upotreba punjivih baterija učinila uređaj složenijim jer bi iziskivala dodatna kola za kontrolu punjenja

Upotreba prekidačkog izvora napajanja rešava problem potrebe za strujom velike jačine bez upotrebe baterijskog napajanja.

Promene napona i struje GSM modula u vremenu prikazane su na slici 5. Komponente povezane na pin za napajanje prikazane su na slici 6.



Slika 5. Promena napona i struje izvora za GSM modul.



Slika 6. Komponente povezane na pin za napajanje.

IV. PREKIDAČKI IZVOR NAPAJANJA

Prekidački izvori napajanja (Switched Mode Power Supplies - SMPS) predstavljaju moderna rešenja za konverziju i upravljanje električnom energijom. Za razliku od linearnih izvora napajanja koji regulišu izlazni napon uz pomoć mrežnih transformatora, linearnih naponskih regulatora i drugih pasivnih komponenti, prekidački izvori koriste brzo uključivanje i isključivanje poluprovodničkih komponenti, kao što su BJT ili MOS tranzistori. Ovo omogućava visoku efikasnost i smanjenje gubitaka u sistemu, što ih čini izuzetno korisnim u brojnim aplikacijama, od potrošačke elektronike do industrijskih sistema.

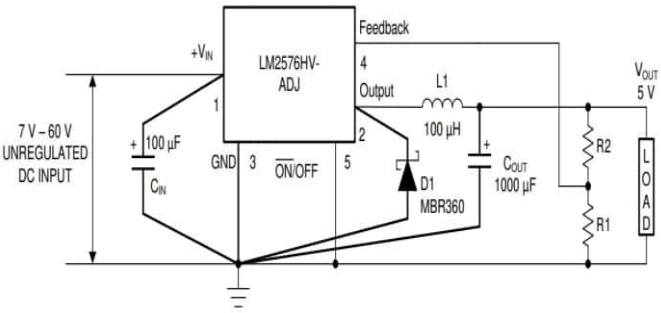
Osnovni tipovi prekidačkih izvora napajanja su:

- Buck (spuštajući) konvertori: smanjuju vrednost ulaznog napona.
- Boost (podižući) konvertori: povećavaju vrednost ulaznog napona.
- Buck-Boost konvertori: povećavaju ili smanjuju vrednost ulaznog napona zavisno od potrebe.
- Flyback konvertori: koriste transformatore za promenu vrednosti napona i galvansku izolaciju.

Primarna komponenta za realizaciju buck konvertora je prekidački regulator napona LM2576T – ADJ.

LM2576 predstavlja seriju monolitnih integrisanih kola koja obezbeđuju sve aktivne funkcije za buck konvertor, maksimalne izlazne struje jačine 3 A. Ova integrisana kola dostupna su sa fiksnim izlaznim naponima od 3,3 V, 5 V, 12 V, 15 V, kao i u verziji sa podesivom vrednošću izlaznog napona. Električna šema povezivanja ovog integrisanog kola sa eksternim komponenatama prikazana je na slici 7.

Ovi regulatori zahtevaju minimalan broj eksternih komponenti, jednostavni su za upotrebu i sadrže blok zaštite od grešaka i oscilator fiksne frekvencije. Radom regulatora uravlja se eksterno, postavljanjem pina za uključenje/isključenje na odgovarajući logički nivo. Regulatori poseduju i blok za termalno isključenje u cilju zaštite od pregrevanja i otkaza. Regulatori serije LM2576 dostupni su u SMD i trough-hole izvedbi [3]. Blok šema prekidačkog regulatora prikazana je na slici 7.



Slika 7. Blok šema prekidačkog regulatora napona LM2576.

Prekidački regulator napona LM2576T – ADJ poseduje sledeće pinove:

- Pin V_{IN} – pin na koje dovodi neregulisani ulazni napon
- Pin OUTPUT – pin regulisanog izlaznog napona
- Pin GROUND – pin za masu (kratkospojen sa TAB pinom integrisanog kola)
- Pin FEEDBACK – pin za povratnu spregu (željena vrednost regulisanog napona funkcija je otpornosti otpornika vezanih na ovaj pin)
- Pin ON/OFF – pin za uključivanje/isključivanje regulatora (kada je ovaj pin na logičkoj nuli, regulator će biti uključen dok se po dovođenju napona logičke jedinice regulator isključuje.)

Vrednost željenog izlaznog napona određuje se korišćenjem formule (1):

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1}) \quad (1)$$

Parametar V_{REF} predstavlja naponsku referencu i ima konstantnu vrednost za svaki regulator (linearni ili prekidački). Naponska referenca korišćenog regulatora iznosi

1,23 V. Imavši ovo u vidu, za vrednost izlaznog napona V_{OUT} od 4 V i odabirom vrednosti otpornika R_1 od 2 kΩ, primenom formule (1) dobija se vrednost otpornosti otpornika R_2 od 4.5 kΩ.

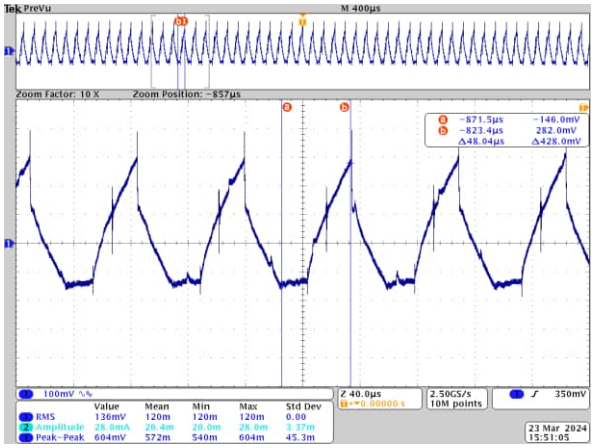
Za izradu prototipa bloka napajanja na protoploči sa 840 pinova, dimenzija 16,3 cm * 5,5 cm, pored žica za povezivanje korišćene su i sledeće komponente u trough-hole izvedbi:

- Prekidački regulator napona LM2576T – ADJ
- Kalem induktivnosti 100 µH
- Šotkijeva dioda 1N5822
- Elektrolitski kondenzator kapacitivnosti 1000 µF
- Elektrolitski kondenzator kapacitivnosti 100 µF
- Otpornik otpornosti 2 kΩ
- Redno vezani otpornici otpornosti 2.2 kΩ
- Otporna dekadna kutija

Za dobijanje jednosmernog signala vrednosti napona 12 V korišćen je laboratorijski izvor jednosmernog napona, a posmatranje oblika signala vršeno je na osciloskopu.

Na slici 8 prikazan je talasni oblik napona poskakivanja na izlazu prekidačkog regulatora. Treba napomenuti da je, usled načina povezivanja komponenata, na protoploči, vrednost napona poskakivanja (ripple voltage) veća od realnog napona kada su komponente skladno postavljene na štampanu ploču. Praćenjem promene dobijenog signala na izlazu regulatora napona LM2576T – ADJ i merenjem razlike napona između tačaka u kojima je vrednosti napona poskakivanja minimala, odnosno maksimalna, određena je vrednost napona poskakivanja od oko 400 mV. Otporna dekadna kutija imala je ulogu opterećenja. Prilikom promene vrednosti otpornosti otporne dekadne kutije dokazana je još jedna bitna osobina regulatora napona – vrednost izlaznog napona se značajno ne menja sa promenom vrednosti otpornosti izlaznog otpornika (opterećenja).

Oblik napona poskakivanja prikazan je na slici 8.



Slika 8. Napon poskakivanja na izlazu prekidačkog regulatora.

V. Princip rada uređaja

Iz standardnog prekidačkog izvora napajanja izlaznog napona 12 V dovodi se napon na ulaz prekidačkog regulatora napona. Zadatak prekidačkog regulatora je da obezbedi stabilan napon vrednosti 4 V pri čemu je maksimalna jačina struje 3 A. Dobijeni izlazni napon dovoljan je za normalan rad mikrokontrolera ATMEGA328P dok je za rad GSM modula SIM800L čak i preporučen od strane proizvođača. Zadatak mikrokontrolera ATMEGA328P je da, u zavisnosti od podataka koje dobija od GSM modula a pošto se uveri da je podatak odgovarajućeg formata, podesi jedan od svojih izlaznih pinova na nivo logičke jedinice čime će se aktivirati relej koji će dovesti komandni napon na kontakt kontakora i tako zatvoriti strujno kolo špulne kontaktora. Osim što ima ulogu prekidača, relej galvanski izoluje naizmenični, visokonaponski deo štampane ploče od jednosmernog, niskonaponskog dela.

Razlog upotrebe kontaktora jeste velika snaga pojedinih potrošača, samim tim i veća jačina struje koja bi, u kratkom roku, izazvala pregorevanje releja.

VI. Projektovanje štampane ploče

Projektovanje štampane ploče izvršeno je u programu Altium Designer 23. U cilju bolje preglednosti, električna šema uređaja podeljena je u dva zasebna bloka:

- Blok napajanja, koji obuhvata prekidački regulator napona kao i komponente u njegovim kolima
- Blok mikrokontrolera, koji obuhvata mikrokontroler, GSM modul, relej i komponente za kontrolu rada releja

A. Blok napajanja

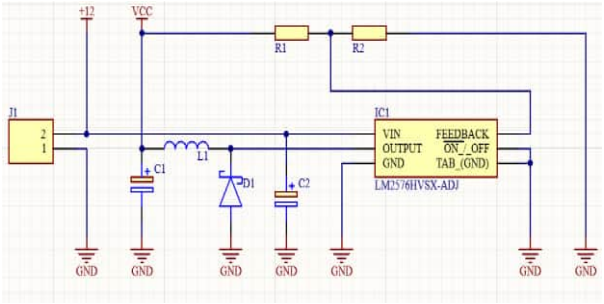
Blok napajanja čine sledeće komponente:

- Konektor za štampanu ploču J_1
- Elektrolitski kondenzatori C_1 i C_2
- Šotkijeva dioda D_1
- Otpornici R_1 i R_2
- Prekidački regulator napona LM2576T – ADJ
- Kalem L_1

Zadatak komponenata bloka napajanja je da obezbede stabilisani napon vrednosti 4 V, neophodan za normalno funkcionisanje GSM modula i mikrokontrolera.

Jednosmerni signal vrednosti napona 12 V dovodi se na pin V_{IN} regulatora, dok je pin GND na masi. Između pina V_{IN} i mase nalazi se elektrolitski kondenzator C_2 kapacitivnosti 100 µF. Pin ON/OFF takođe se povezuje na masu čime se regulator uključuje. Na FEEDBACK pin se, u konfiguraciji naponskog razdelnika povezuju otpornici R_1 i R_2. Odabirom vrednosti otpornosti ovih otpornika dobija se željena vrednost izlaznog napona s tim da je vrednost otpornosti jednog od otpornika preporuka proizvođača. Između OUTPUT pina regulatora i mase nalazi se inverzno polarisana šotkijeva dioda D_1 koju, zbog spoja metal-poluprovodnik, odlikuje niža vrednost napona vođenja u odnosu na silicijumsku pn diodu. Na katodu diode vezan je jedan kraj kalema L_1 induktivnosti 100 mH. Drugi kraj kalema vezan je na pozitivnu elektrodu elektrolitskog kondenzatora C_1 kapacitivnosti 1000 µF koja je ujedno VCC pin za ostatak uređaja.

Električna šema bloka napajanja prikazana je na slici 9.



Slika 9. Električna šema bloka napajanja.

B. Blok mikrokontrolera

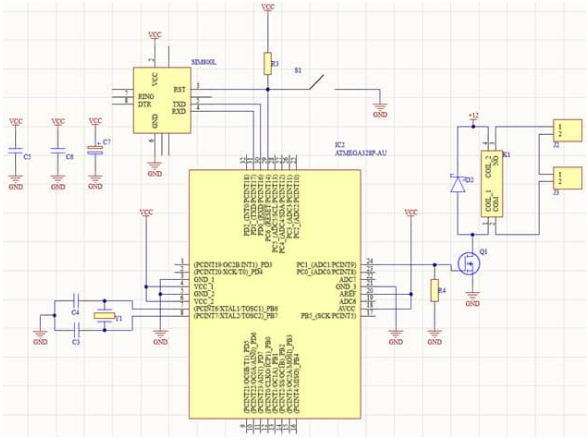
Blok napajanja čine sledeće komponente:

- Mikrokontroler ATMEGA328P-AU
- GSM modul SIM800L
- NMOS tranzistor IRFL110TRPBF-BE3
- Relej komandnog napona 12 V
- Šotkijeva dioda D_2
- Konektori za štampanu ploču J_2 (IN) I J_3 (OUT)
- Otpornici R_3 i R_4
- Prekidač S_1
- Kristal oscilator Y_1
- Keramički kondenzatori C_3, C_4, C_5, C_6
- Elektrolitski kondenzator C_7

Zadatak komponenata u bloku mikrokontrolera je da, u zavisnosti od sadržine primljene SMS poruke uključe odnosno isključe kontaktor. Kontrola uključivanja kontaktora postiže se kontrolom uključivanja releja K_1. UART pinovi GSM komunikacionog modula povezani su sa UART pinovima mikrokontrolera. Taster S1 ima ulogu tastera za reset i povezan je na reset pinove mikrokontrolera i komunikacionog modula. Otpornik R_3 ima ulogu pull-up otpornika. Kondenzatori C_5 i C_6 imaju ulogu bypass kondenzatora dok je kondenzator C_7 reservoir kondenzator. Kontrola uključivanja i isključivanja releja vrši se uključivanjem i isključivanjem NMOS tranzistora Q_1. Kada je tranzistor isključen, između drejna i sorsa nije formiran kanal i struja neće teći. Po dovođenju napona na gejt tranzistora koji je veći od napona praga ($V_{GS}>V_T$), između drejna i sorsa formiraće se kanal i relej će se uključiti. Uključen relej napraviće provodni put za naizmenični signal između konektora J_2 i J_3 i uključiti kontaktor. Otpornik R_4 služi da, po isključenju, u što kraćem roku isprazni kapacitivnu strukturu NMOS tranzistora. Šotkijeva dioda D_2 štiti relej od inverznog napona.

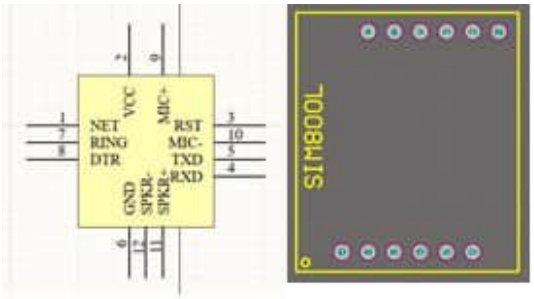
Električna šema bloka mikrokontrolera prikazana je na slici 10.

Štampana ploča realizovana je u programu Altium Designer. Osnovnom programu pridodata je ekstenzija koja omogućava uvoz otisaka i 3D modela komponenta u odgovarajuće biblioteke. Korišćenjem ove ekstenzije značajno je smanjeno vreme projektovanja štampane ploče. Otisci i 3D modeli komponenata preuzeti su sa veb pretraživača. U slučaju GSM komunikacionog modula preuzimanje otiska i 3D modela sa pomenutog sajta nije bilo moguće te se pristupilo ručnoj izradi otiska modula.



Slika 10. Električna šema bloka mikrokontrolera.

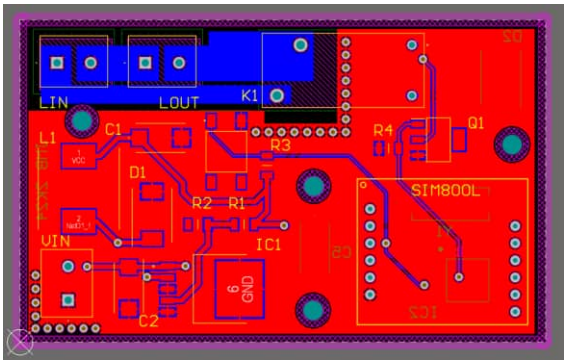
Simbol i otisak modula prikazani su na slici 11.



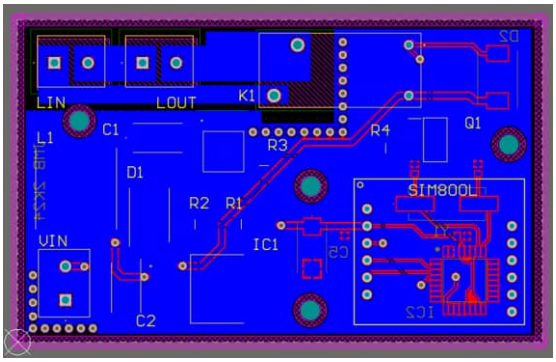
Slika 11. Simbol i otisak GSM komunikacionog modula.

Štampanu ploču čine dve celine: visokonaponska koja obuhvata konektore J_2 i J_3 i kontakte releja K_1 i niskonaponska koja obuhvata sve ostale komponente. Relej K_1 galvanski izoluje ove dve celine. Na štampanoj ploči probušene su 4 rupe za fiksiranje ploče u kućište uređaja. Rupe su, kao i cela štampana ploča, oivičene keep-out layerom debljine 2 mm. Sa obe strane niskonaponske celine štampane ploče razlivena je masa. Korišćenjem via kratkospojene su mase sa obe strane štampane ploče. Maksimalna širina linija iznosi 0,8 mm dok su oko visokonaponskih kontakata razliveni poligoni. Za određivanje poželjne širine linija za vodove napajanja VCC predviđene za protok struje maksimalne jačine 3 A korišćen je jedan od brojnih, na internetu dostupnih kalkulatora širina linija na štampanoj ploči [4]. Nakon što je završeno projektovanje generisani su odgovarajući gerber fajlovi. Dimenzije projektovane štampane ploče su 78 mm * 48 mm.

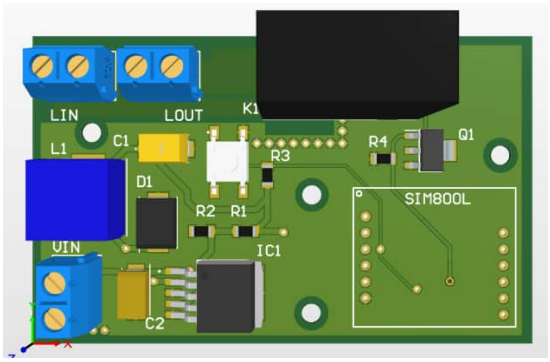
Top layer štampane ploče prikazan je na slici 12. *Bottom layer* štampane ploče prikazan je na slici 13. Gornja strana štampane ploče prikazana je na slici 14. Donja strana štampane ploče prikazana je na slici 15.



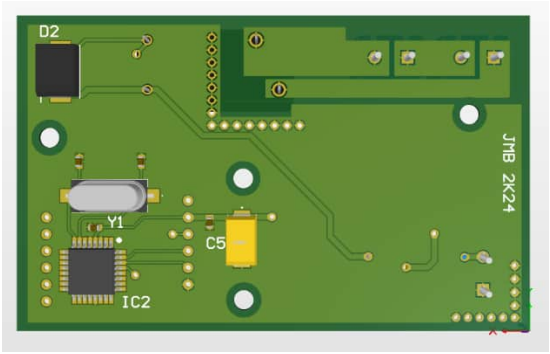
Slika 12. *Top layer* štampane ploče.



Slika 13. *Bottom layer* štampane ploče.



Slika 14. Gornja strana štampane ploče.



Slika 15. Donja strana štampane ploče.

VII. ZAKLJUČAK

Prekidačka napajanja i GSM komunikacija su dva stuba moderne tehnologije koja nastavljaju da se razvijaju i igraju ključnu ulogu u mnogim aspektima savremenog života i industrije. Ove dve tehnologije ne samo da se dopunjuju, već podstiču inovacije i povećavaju efikasnost u različitim aplikacijama, od potrošačke elektronike do industrije i infrastrukture.

Kada se posmatraju zajedno, prekidačka napajanja i GSM komunikacija predstavljaju sinergetsku kombinaciju koja omogućava razvoj i napredak u različitim oblastima. Prekidačka napajanja obezbeđuju energetsku efikasnost i stabilnost koja je neophodna za dugotrajan rad elektronskih uređaja, dok GSM komunikacija pruža povezanost i mogućnost prenosa podataka u realnom vremenu.

Ova kombinacija je posebno važna u kontekstu interneta stvari (engl. Internet of Things), gde milioni uređaja moraju biti povezani i efikasno upravljati energijom.

Iz do sada napisanog sa lakoćom se može zaključiti da je perspektiva prekidačkih izvora napajanja i GSM komunikacije je veoma svetla i obećavajuća. Obe tehnologije će nastaviti da igraju ključnu ulogu u razvoju novih rešenja i usluga koje će poboljšati kvalitet života i podstaći inovacije u različitim industrijama.

LITERATURA

[1] Friedhelm Hillebrand, “GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication”, Wiley, 2001.

[2] Tehnička dokumentacija za komunikacioni modul SIM800L, dostupno na https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1741389/SIMCOM/SIM800L.html.

[3] Tehnička dokumentacija za prekidački regulator napona LM2576T – ADJ, dostupno na https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf.

[4] Kalkulator širine linija na štampanoj ploči, dostupno na: https://www.digikey.com/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.079K
Original scientific paper

Pametni čuvar bašte

Petar Kostić
„Budi neko, probaj eko"
ETŠ„Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
koosticpetar@gmail.com
ORCID: N/A

Sara Jocić
„Budi neko, probaj eko"
ETŠ„Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
Sarasuncica332@gmail.com
ORCID: N/A

Miljana Milenković
„Budi neko, probaj eko"
ETŠ„Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
miljanamilenkovic207@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Ovaj rad predstavlja razvoj i testiranje pametne bašte zasnovane na sistemu senzora i Arduino Nano ESP32 mikrokontroleru. Cilj projekta je zaštita biljaka u različitim vremenskim uslovima, uključujući kišu i grad, putem automatizovane regulacije cerade. Sistem koristi senzore za temperaturu, vlažnost tla, svetlost, kišu i grad, koji zajedno omogućavaju efikasno upravljanje zaštitom bašte. Napajanje sistema vrši se putem solarnog panela, čime se postiže energetska nezavisnost. Rezultati testiranja pokazuju uspešnu zaštitu biljaka od vremenskih nepogoda, čime se značajno unapređuju uslovi za gajenje u bašti. Dalji razvoj sistema predviđa dodavanje novih senzora, poput anemometra, kako bi se omogućila dodatna zaštita biljaka.**

Ključne reči—pametna bašta, Arduino, senzori

I. Uvod

Imajući u vidu ozbiljne izazove sa kojima se suočava planeta na polju ekologije i klimatskih promena, a samim tim i neophodnost zdravijeg načina života, uočena je potreba za konkretnim delovanjem. Istraživanjem su dobijeni podaci o održivosti kišnih bašti [1] i pametnih bašti [2], što je poslužilo kao smernica za projekat.

Projekat predstavlja koncept bašte koja funkcioniše kao bašta otvorenog tipa u optimalnim vremenskim uslovima, a u slučaju nepogoda ili nevremena predviđen je adekvatan sistem zaštite i funkcionisanja u vanrednim uslovima. Ovaj model sadrži senzore koji omogućavaju regulaciju optimalnog rasta i razvoja biljaka, kao i senzore koji signaliziraju potencijalne opasnosti od vremenskih nepogoda. Takođe, sistem poseduje izvršne elemente koji učestvuju u regulisanju rada celokupnog sistema kako u redovnim, tako i u vanrednim vremenskim uslovima.

II. Princip rada i praktična realizacija

Najpre će biti opisan rad sistema u normalnim vremenskim uslovima:

Model bašte (slika 1) sadrži senzore pomoću kojih se meri: vlažnost zemljišta, temperatura i vlažnost vazduha, kao i intenzitet svetlosti. U zavisnosti od podataka sa senzora, sistem po potrebi reguliše vlažnost zemljišta navodnjavanjem. Navodnjavanje zemljišta obavlja se pomoću prirodnog pada iz rezervoara u kojem se nalazi elektro-ventil. Aktiviranje sistema počinje kada se očita manja vrednost od potrebne optimalne za razvoj biljaka.

Optimalna vrednost definiše se u aplikaciji u zavisnosti od individualnih potreba biljaka u bašti. Rezervoar za navodnjavanje dimenzionisan je srazmerno površini bašte i primenjuje princip navodnjavanja „kap po kap" [3]. Takav sistem štedi vodu, koja se crevima dovodi do svake biljke, vlažeći mali deo zemljišta oko korena. Time se smanjuju troškovi vode, pojava korova i bolesti. Sistem je prikladan za sve tipove tla, manje narušava njegovu strukturu, a navodnjavanje je moguće i po vetru. Punjenje rezervoara odvija se tokom kišnih dana. Navodnjavanje se vrši noću, registracijom vrednosti sa fotootpornika i pri najnižoj spoljnoj temperaturi očitanoj pomoću temperaturnog senzora.



Slika 1. Praktična realizacija.

Pored navedenih senzora, sistem sadrži i senzor za detekciju kiše. Pri očitavanju visokih vrednosti količine padavina, kao i povišene vlažnosti zemljišta, sistem reaguje. Takođe, reakcija sistema nastupa kada "knock" senzori [4] postavljeni oko bašte detektuju grad. U takvim slučajevima, bašta se prekriva ceradom otpornom na kišu, grad i jak vetar. Prekrivanje se vrši pomoću dva paralelna servo motora [5], dok je cerada dizajnirana tako da se kišnica ili grad slivaju u rezervoar, koji poseduje sigurnosni prelivni vod. Nakon prestanka padavina i razvedravanja, cerada se sklapa pomoću servo motora u skladu sa vremenom unetim u aplikaciju. Na taj način, sistem se vraća na regulaciju u normalnim vremenskim uslovima. Tokom sušnih dana, kada se očitaju niske vrednosti vlažnosti zemljišta, sistem automatski vrši navodnjavanje.

Na slici 2 je prikazan model bašte sadrži aplikaciju kojom se u svakom trenutku može pratiti stanje bašte i njeni parametri pomoću pametnog telefona. To uključuje:

- Vremensku prognozu
- Trenutnu temperaturu i vlažnost vazduha
- Vlažnost zemljišta
- Intenzitet svetlosti



Slika 2. Aplikacija.

III. MIKROKONTROLER

Fig. 3. Glavni kontrolni element sistema je Arduino Nano ESP32 [6], na kojem su priključeni svi senzori i motori. Sistem je stalno povezan sa internetom i pametnim telefonom. Napajanje se vrši pomoću baterije koja se dopunjava putem solarnog panela, što omogućava nezavisnost od električne mreže i postavljanje sistema bilo gde.



Slika 3. Arduino ESP32.

IV. KOMPONENTE

- *DHT11* senzor [7]
- Senzor za merenje vlažnosti tla [8]
- Fotootpornik [9]
- Senzor za kišu [10]
- *Knock* senzor x4 [4]
- *Servo* motor x2 [5]
- Baterija i solarni panel
- Elektro ventil[11]

V. REZULTATI

Rezultati testiranja sistema pokazuju značajan uspeh u zaštiti biljaka u uslovima vremenskih nepogoda korišćenjem senzora i automatizovane regulacije. Testiranje je obavljeno u dva dela, bez regulacije i sa regulacijom:

A. Prvi deo testiranja (bez regulacije)

Improvizovani kišni uslovi: Bašta je bila posuta velikom količinom vode, simulirajući obilnu kišu. Bez senzora za kišu i vlažnost tla, došlo je do prekomernog zasićenja vode, što je izazvalo potapanje biljaka.

Improvizovani grad: Ledene kocke bačene po površini bašte simulirale su grad, što je prouzrokovalo fizička oštećenja biljaka.

B. Drugi deo testiranja (sa regulacijom)

Simulacija vremenskih nepogoda: Ponovljena je simulacija kiše i grada uz upotrebu senzora za kišu, vlažnost tla i pokretača cerade (slika 4). Automatizovani sistem je uspešno detektovao nepogode i aktivirao ceradu.

Sistem je efikasno zaštitio biljke, sprečivši potapanje i oštećenja od grada. Biljke su ostale netaknute i nastavile su da se razvijaju.



Slika 4. Prikaz sistema u zatvorenom položaju.

VI. ZAKLJUČAK

Projekat nudi rešenje za unapređenje funkcionisanja bašti u svim vremenskim uslovima. Tradicionalni sistemi za zalivanje i upotreba staklenika često ne omogućavaju adekvatnu reakciju na promene vremenskih uslova, što može ugroziti održivost bašte. Testiranje je pokazalo da integrisani sistem senzora i automatizovane fizičke zaštite omogućava značajno poboljšanje u zaštiti biljaka, pružajući efikasnu zaštitu od nepovoljnih vremenskih uslova.

Sistem je osmišljen da bude fleksibilan i skalabilan, omogućavajući prilagođavanje različitim vrstama bašti, bez

obzira na njihovu veličinu ili vrstu biljaka koje se uzgajaju. Integracija senzora i servo motora omogućava visoku preciznost i pouzdanost u regulisanju uslova za rast biljaka, dok upotreba solarne energije doprinosi energetskoj efikasnosti i održivosti sistema. Na taj način, projekat ne samo da pomaže u zaštiti biljaka u različitim vremenskim uslovima, već i promoviše ekološki prihvatljiv način baštovanstva, u skladu sa savremenim trendovima održivog razvoja.

Model pametne bašte razvijen u ovom projektu može se dalje unaprediti dodavanjem novih senzora i funkcionalnosti. Na primer, ugradnja anemometra bi omogućila merenje brzine vetra, što bi dodatno zaštitilo biljke preventivnim aktiviranjem zaštite. Takođe, dodavanje posebnog rezervoara za vodu bi osiguralo zalivanje u slučaju suše ili nedostatka vode. Glavni cilj sistema je očuvanje održivosti bašte u normalnim uslovima uz pomoć senzora, kao i osiguranje efikasne zaštite biljaka u vanrednim vremenskim situacijama, čime se doprinosi zdravlju biljaka i efikasnom korišćenju resursa.

ZAHVALNICA

Zahvalnost se upućuje elektrotehničkoj školi „Mija Stanimirović“, koja je obezbedila sredstva i uslove za rad, kao i mentoru Ivani Bogdanović za pruženu podršku. Takođe, dipl.ing.arh. Goranu Radosavljeviću zahvaljuje se na izradi perspektivnog prikaza modela sistema.

LITERATURA

[1] Kisela kiša. Dostupno na: https://sr.wikipedia.org/Kisela_kiša

[2] Prva srpska pametna bašta. Dostupno na: https://www.e2.rs/prva-srpska-pametna-basta/

[3] Kap po kap za početnike i kako u startu postaviti zalivni sistem koji omogućava redovno zalivanje. Dostupno na: https://ratarstvo.net/kap-po-kap-za-pocetnike-i-kako-u-startu-postaviti-zalivni-sistem-koji-omogucava-redovno-zalivanje-uz-najmanji-utrosak-vremena-i-vode/

[4] Detect a knock. Dostupno na: https://ratarstvo.net/kap-po-kap-za-pocetnike-i-kako-u-startu-postaviti-zalivni-sistem-koji-omogucava-redovno-zalivanje-uz-najmanji-utrosak-vremena-i-vode/

[5] Servomotor. Dostupno na: https://sh.wikipedia.org/wiki/Servomotor

[6] Nano ESP32. Dostupno na: https://docs.arduino.cc/hardware/nano-esp32/

[7] DHT11. Dostupno na: https://docs.arduino.cc/libraries/dht11/

[8] Soil Moisture Sensor. Dostupno na: https://store.fut-electronics.com/products/soil-moisture-sensor?srsltid=AfmBOopOhOAR_L9Y_jjCgEyMStjmjZLtnx9r09keKw6b5LPCEH9N0YcN

[9] Photoresistor. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor

[10] Jednostavni senzor kiše. Dostupno na: https://soldered.com/hr/proizvod/jednostavni-senzor-kise/

[11] Elektroventil. Dostupno na: https://elektromodul.rs/navodnjavanje/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.083N
Original scientific paper

Practical Realization of Adjustable Signal Generator Using Analog Devices

Petar Nikolić
Dept. of Microelectronics
Faculty of Electronic Engineering
Niš, Serbia
nikolicpetar@elfak.rs
ORCID: N/A

***Abstract*—This project shows the realization of a signal generator using NE555, LM2902 quad-operational amplifier and RC low pass filters. Generated frequency range for this signal generator is 50 Hz to 4 kHz. Duty cycle of the square signal and of symmetry of the triangle signal is in range of 0.9% to 99.1%. Amplitude range and added offset both depend on the supply voltage of the circuit.**

Keywords—multivibrator, filter, modification, amplitude, frequency

I. Introduction

Modern signal generator devices are high in price and are not available to everyone, and for some applications, buying such a costly device is not the best option. So, the aim of this paper is to show how, by using elementary integrated circuits and passive components, a signal generator can be constructed.

This signal generator circuit consists of 3 blocks that are used to generate and modify the signals. First, a NE555 [1] oscillator generates a square and a triangle wave, then a square wave can be converted to a sine wave using RC filters. Sawtooth and impulse signals can also be generated.

By manually short-circuiting, the desired waveform can be shown on the output. Signal parameters are modified by the use of potentiometers. A practically realised circuit of this signal generator is shown in Fig. 1. This circuit was simulated in LTspice simulator.

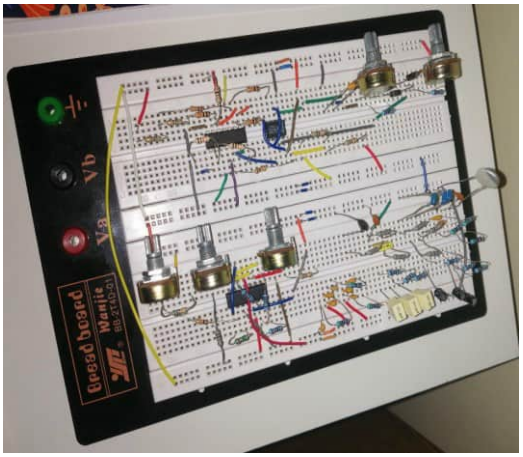


Fig. 1. Signal generator circuit realised on a breadboard.

II. Description of Function of Signal Generator Blocks

A. Oscillator block

In this block the base square waveform is generated using NE555 in astable multivibrator configuration. The 1N4001 [2] diodes are used so that the capacitor is charged and discharged through a different potentiometer and resistor pair. This enables the manual control of duty cycle of the square wave and the symmetry for a triangular waveform by changing the value of potentiometers.

Trigger and threshold pins of NE555 are short-circuited and connected to the positive electrode of the capacitor, and with NE555's internal structure in mind, this means that the capacitor charges to 2/3 * V_{cc} and when the voltage across the capacitor exceeds this value, that triggers the comparator and the SR latch is reset, which enables the capacitor to discharge to 1/3 * V_{cc}, and the cycle starts again [3].

The charging time of the capacitor is t_{high} for the square wave, and discharging time is t_{low}. Oscillator block is shown in Fig. 2. The voltage on the capacitor and output of NE555 is shown on Fig. 3.

The resistors that are in series with potentiometers have a function to limit the diode current, in case the potentiometers are set at their lowest resistance value. The capacitor value is 68 nF and the resistance in series with it is in range from 2 kΩ to 222 kΩ for each resistor-potentiometer pair, and with those values the frequency range is calculated with (1):

$$f = \frac{1}{0.693 * C * (R_{pot1} + R_1 + R_{pot2} + R_2)} \quad (1)$$

In the LTspice simulator [4] this frequency can vary from 5 Hz to 20 kHz, depending on the capacitor value, because at 20 kHz great distortions are present in the generated waveform. However, when this schematic is realised with real components, the frequency range is narrower, due to the parasitic values that are present. For a 68 nF capacitor frequency range goes from 50 Hz to 5.3 kHz, but because of the parasitic values that cause

distortions at 4 kHz, real frequency range goes from 50 Hz to 4 kHz. The duty cycle and symmetry have a range going from 0.9% to 99.1%. Duty cycle/symmetry formula is shown in (2):

$$DTC = \frac{R_{pot1} + R_1}{R_{pot1} + R_1 + R_{pot2} + R_2} * 100\% \qquad (2)$$

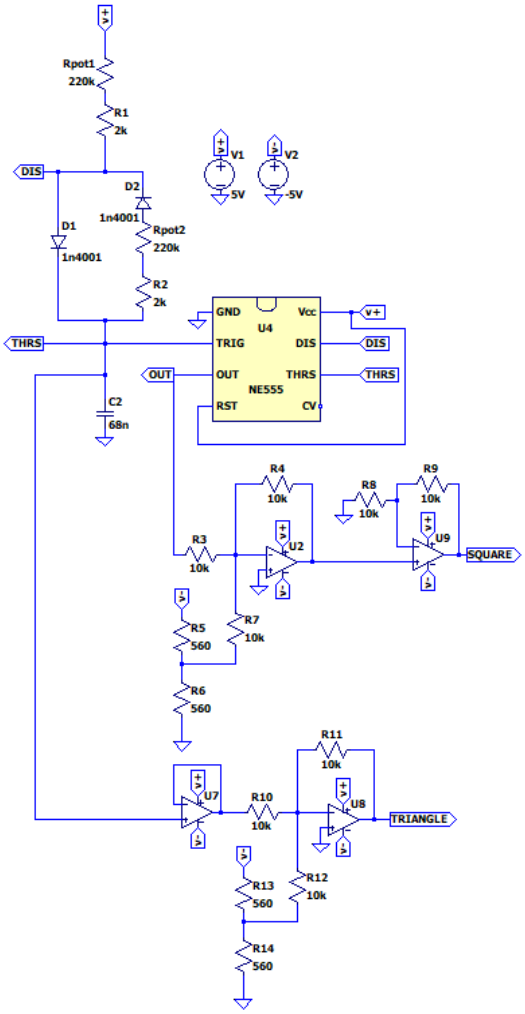


Fig. 2. Oscillator block (NE555 square/triangle wave oscillator).

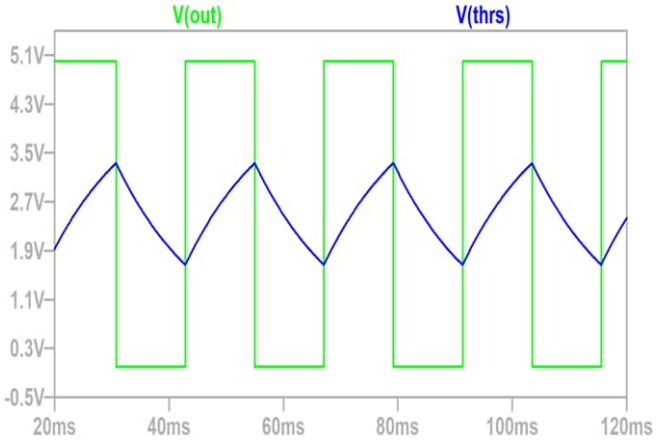


Fig. 3. Charging and discharging of the capacitor and square wave on the output of NE555.

The output pin of NE555 generates the square wave, but it's amplitude has a range that goes from 0 V to the value of V_{cc}, because NE555 is single-supply. So LM2902 [5] dual-supply circuit is applied to change that range to $-V_{cc}$ to V_{cc}. With the first operational amplifier in inverting configuration, half of $-V_{cc}$ is added to the output signal of NE555. Then the square wave on the output of this operational amplifier has an amplitude range going from -1/2 * V_{cc} to +1/2 * V_{cc}. This square wave is passed to the non-inverting pin of the next op-amp which further amplifies the signal by $A = 2$. So, the final amplitude range for square wave is $-V_{cc}$ to V_{cc}.

Triangular waveform is present on the positive electrode of the capacitor, it's shape presents the charging and discharging of the capacitor. This signal is passed to the input of voltage-buffer circuit, so that the next circuits don't affect the NE555. In the next step, offset of -1/2 * V_{cc} is added to the signal. Final amplitude range for the triangular waveform is -1/6 * V_{cc} to +1/6 * V_{cc}.

These amplitude ranges are of fixed values on the output of the first block, but they can be modified when passed, by short-circuiting, to the third block, which function is to modify the amplitude and add an offset to the generated signal.

It is important to notice that square and triangular waveforms are both inverted once in this block. This is annulled with the summing amplifier circuit at the end of the third block.

B. Low pass filters block

This block contains the low-pass RC filter circuits which are the foundation for the forming of sinusoidal waveform. As input for these circuits, the square waveform generated in the previous block is being used. Depending on the frequency of the input signal, values of resistance and capacitance differ, so for the range from 50 Hz to 4 kHz, four different RC circuits are made. Each of these circuits have three low-pass filters that form the sinusoidal wave on the output [3]. The second block is shown in Fig. 4.

The range of frequencies for each RC circuit are experimentally confirmed to be 1.5 * f_c to 4.25 * f_c, where f_c is the corner-frequency of the base RC circuit. Formula for the corner-frequency is (3):

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C} \qquad (3)$$

So, for the first circuit 10 kΩ resistors and 680 nF capacitors are used to get the frequency range of 35 Hz to 100 Hz. The other three RC circuits have frequency ranges of: 200 Hz to 1 kHz, 1 kHz to 3.5 kHz and 3.5 kHz to 4 kHz.

Some approximations have been made when calculating these ranges.

As the frequency of the input square wave increases, the amplitude of sinusoidal wave decreases.

In conclusion, this block is being used only when the sinusoidal waveform is generated, for all the other

waveforms, first block and the third block are the only ones being used.

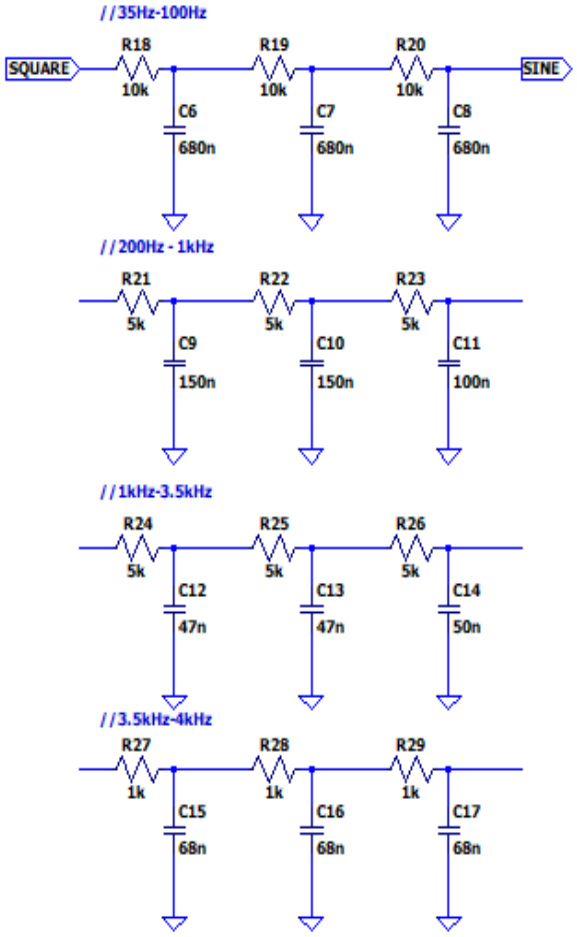


Fig. 4. RC filters used for the sine wave.

C. *Signal modification block*

Another LM2902 circuit is used in this block. As stated before, this block is used for signal modifications. By short-circuiting the waveform from previous blocks (square, triangular, sinusoidal, impulse, sawtooth or PWM), amplitude can be amplified or attenuated, and positive or negative offset can be added to the waveform [6]. Third block is shown in Fig. 5.

At first signal is passed to a voltage divider which has a function to attenuate the signal, this is mostly used for the square/impulse/PWM signals because of their starting amplitude range of $-V_{cc}$ to V_{cc}. For all the other signals starting amplitude range is lower. This voltage divider consists of a 560 Ω resistor and a 10 kΩ potentiometer.

This signal is amplified in the next step, op-amp in non-inverting configuration is used, with a 10 kΩ potentiometer as a feedback resistor, and a 1 kΩ resistor with one pin connected to inverting input and the other connected to the ground. This means that the amplification is in the range from 0 to 11.

To modify the offset value another voltage divider is used, identical to the one used for attenuation of the input waveform, with $-V_{cc}$ to V_{cc} chosen by short-circuiting. This offset is inverted once with an op-amp in inverting configuration. Then the signal is passed to a voltage-buffer for isolation of this circuit from the next one.

Amplified waveform signal and inverted offset signal are then passed to summing amplifier circuit which amplifies both of the signals by A = -1, so the sum of these voltages is present on the output. And the negative unity gain is used because both of the signals were inverted once, before being passed to this final circuit.

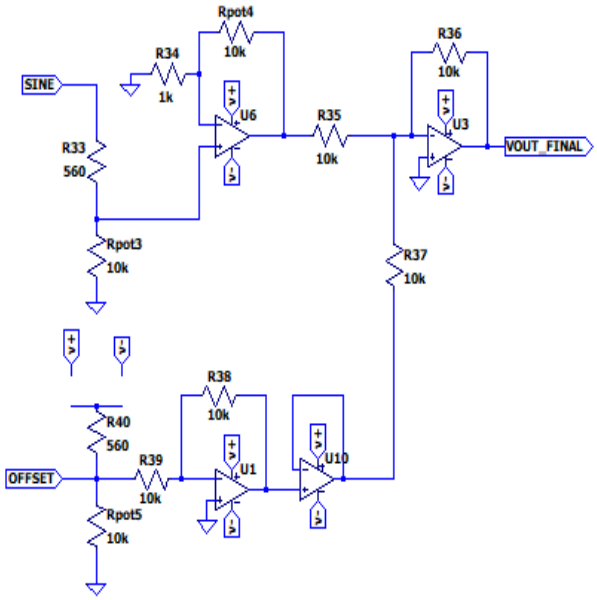


Fig. 5. Third block for signal modification.

With all of the above taken into consideration, formulas for the offset and amplitude of the signal are, respectively, shown in (4) and (5):

$$V_{offset} = \frac{R_{pot5}}{R_{pot5} + R_{40}} * \pm V_{cc} \tag{4}$$

$$V_{\pm} = \left(1 + \frac{R_{pot4}}{R_{34}}\right) * \frac{R_{pot3}}{R_{pot3} + R_{33}} * V_s \tag{5}$$

R_{pot5} - potentiometer used for offset value modification (0 - 10 kΩ);
R_{pot4} - potentiometer used for amplitude amplification (0 - 10 kΩ);
R_{pot3} - potentiometer used for amplitude attenuation (0 - 10 kΩ);
R_{33}, R_{40} = 560 Ω, R_{34} = 1 kΩ;
$\pm V_{cc}$ - supply voltage;
V_s - amplitude of the waveform on input of the third block.

III. Practical Realization

In this chapter, signals that are being compared are results of LTspice simulation and real signals that have been recorded on an oscilloscope.

First, we can compare the square signal at its lowest possible frequency. At the lowest frequency of 50 Hz, potentiometers in the first block are both set to 210 kΩ, close to their maximum value. Supply voltage is ±10 V. The signal from LTspice simulation and signal recorded on the oscilloscope, are displayed in Fig. 6 and 7, respectively. By comparing these signals, it can be seen that there are no significant differences at 50 Hz, except that the amplitude of the signal on the oscilloscope is slightly below 10 V.

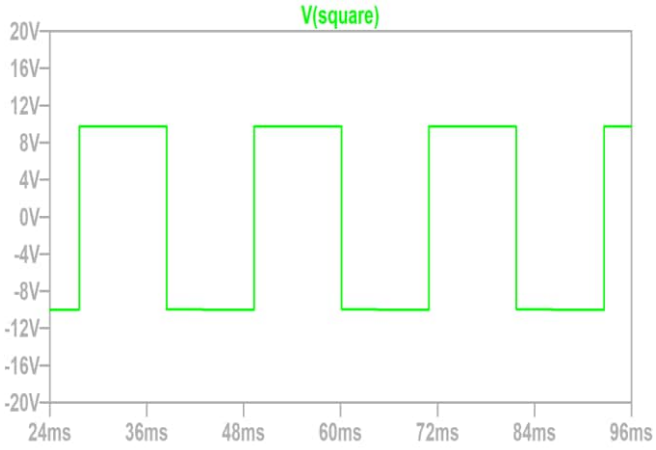


Fig. 6. LTspice simulation for 50 Hz square wave.

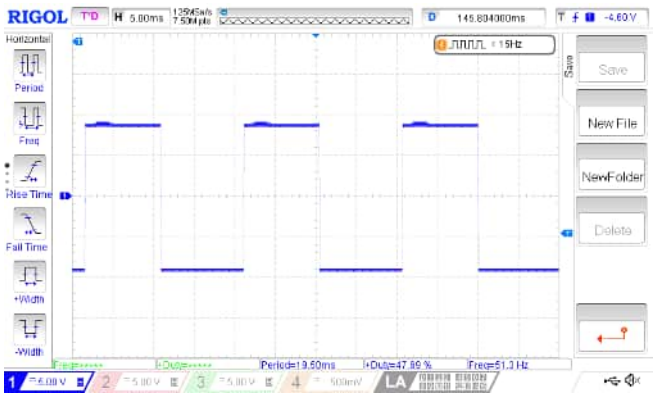


Fig. 7. 50Hz square signal recorded on the oscilloscope.

For the second comparison, a 4 kHz square wave is generated. Potentiometers in the first block are set to 650 Ω, close to their lowest value. Signals are displayed in Fig. 8 and in Fig. 9. On the signal from the oscilloscope, we can see that there are distortions present due to the parasitic values of the wiring on the breadboard, so higher frequencies than 4 kHz can't be generated.

In Fig. 10. and Fig. 11. square, triangular and sine waves are shown, with the frequency set to 300 Hz for all three signals. Sine wave is amplified in the third block and, only on the oscilloscope screen, it is stretched out for better viewing. This shows that within the given range of 50 Hz to 4 kHz, signals are generated without distortions.

To see how signal parameters can be changed a sine wave is observed, with a frequency of 330 Hz, supply voltage is ±5 V. So signals in Fig. 12. and 13. are on the output of the second RC filter (200 Hz – 1 kHz). In LTspice amplitude is in range from 0.7 V to -0.8 V, and on the oscilloscope, it is 0.4 V to -0.8 V.

In Fig. 14. and 15. sine wave is amplified to it's maximum possible amplitude range. On the oscilloscope amplitude range is -4 V to 4 V, and -4.6 V to 5 V in the simulation.

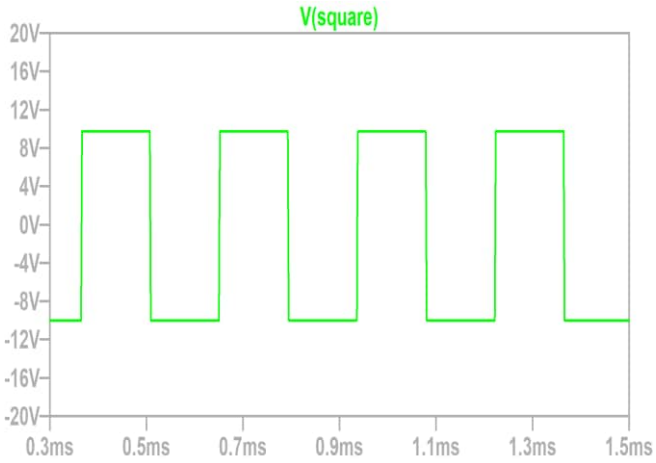


Fig. 8. LTspice simulation for 4kHz square wave.

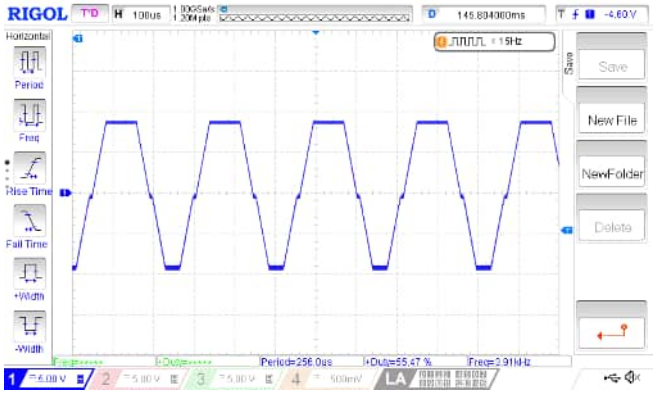


Fig. 9. 4kHz square signal recorded on the oscilloscope.

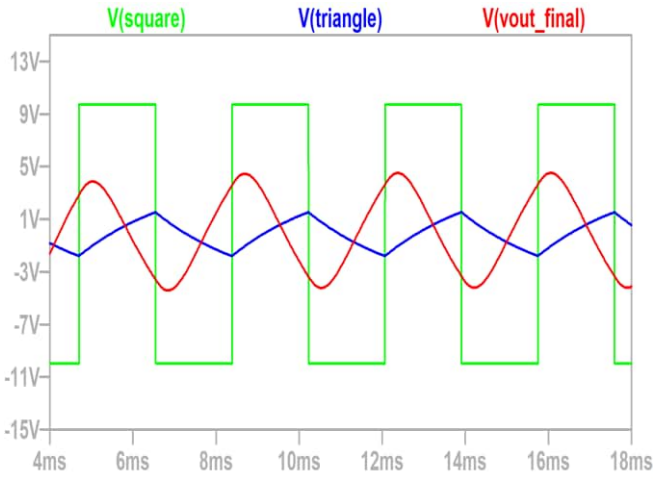


Fig. 10. LTspice simulation for 300 Hz square, triangle and sine wave.

In the last comparison, in Figs. 16. and 17, an offset of +2 V is added to the amplified sine signal. It is amplified by 4 in this case. On the oscilloscope amplitude range is 0 V to 4 V, and in LTspice it is -0.7 V to 5 V.

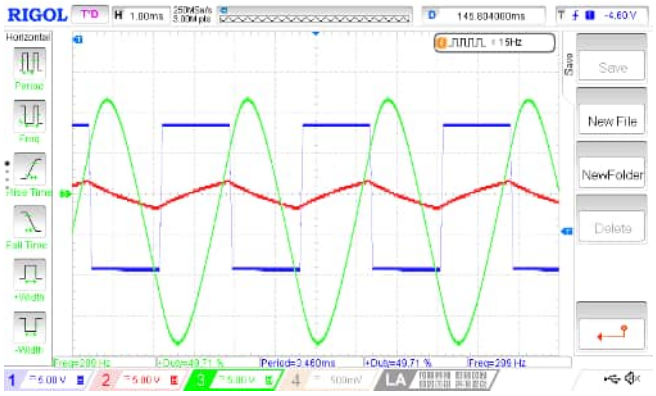


Fig. 11. 300 Hz square, triangle and sine signals recorded on the oscilloscope.

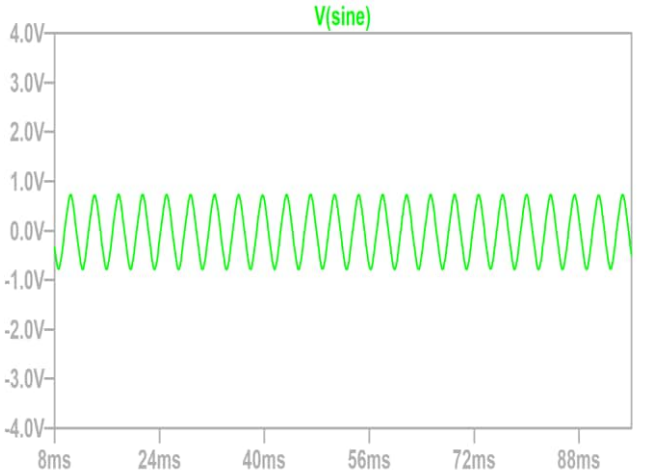


Fig. 12. LTspice simulation for 330 Hz unmodified sine wave.

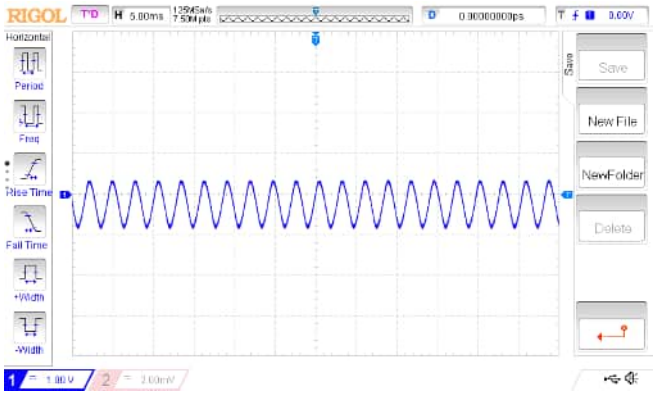


Fig. 13. 330 Hz unmodified sine signal recorded on the oscilloscope.

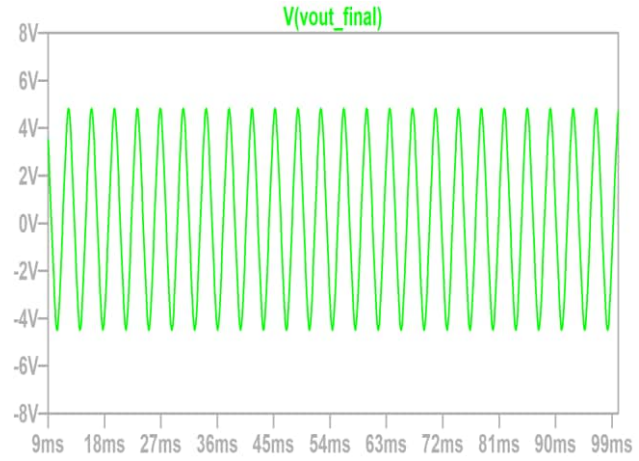


Fig. 14. LTspice simulation for 330 Hz amplified sine wave.

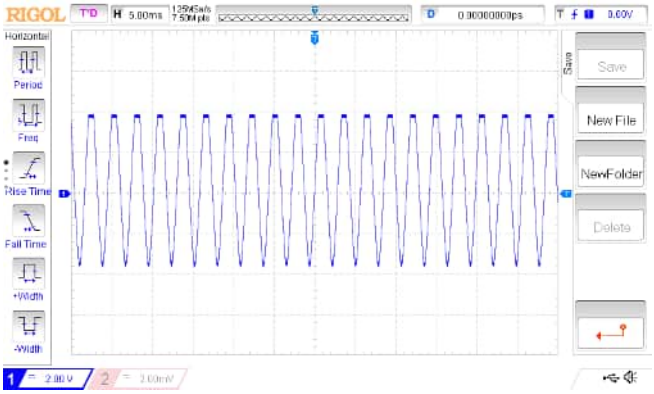


Fig. 15. 330 Hz amplified sine signal recorded on the oscilloscope.

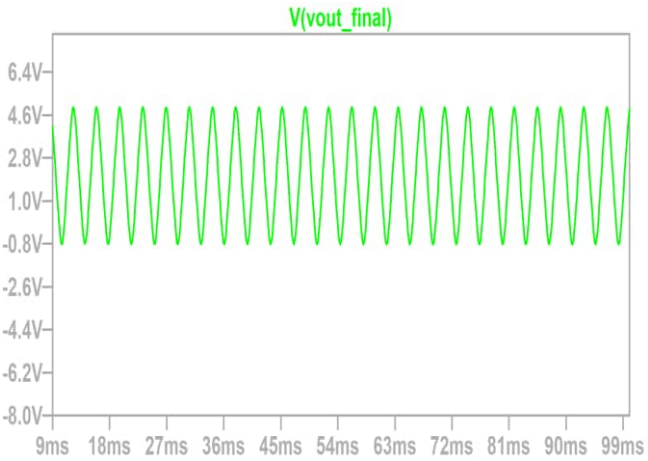


Fig. 16. LTspice simulation for 330 Hz sine wave with an offset.

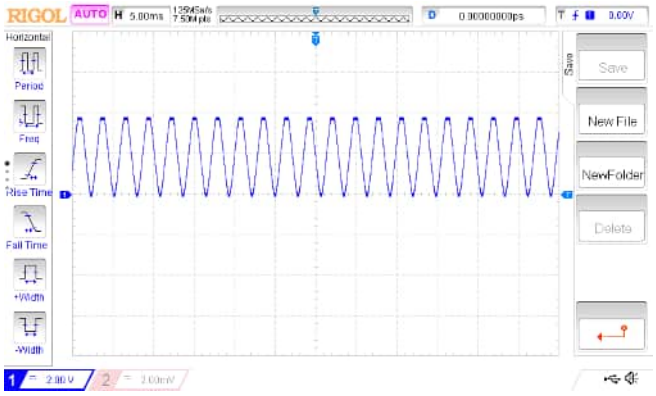


Fig. 17. 330 Hz sine signal with an offset recorded on the oscilloscope.

IV. Conclusion

In conclusion, this method for a signal generator has it's advantages and disadvantages. Simple design and solid wave shape within the given range of frequencies are it's advantage. It's disadvantage is manual control of the generator by short-circuiting the correct parts of the circuit. So, for further upgrades, this problem could be solved by implementing a circuit with electrical switches (MOSFETs) and a microcontroller which would control those switches through a user defined program.

Acknowledgement

The author thanks to MSc Eng. Nikola Mitrović for the practical help and suggestions in the making of this paper.

References

[1] NE555 datasheet. Available at: https://www.diodes.com/assets/Datasheets/NE555_SA555_NA555.pdf

[2] 1N4001 datasheet. Available at: https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf

[3] Z. Prijić, Analog microelectronics, lectures. Available at: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/analogna-mikroelektronika/analogna-mikroelektronika-literatura/

[4] LTspice simulator. Available at: https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html

[5] LM2902 datasheet. Available at: https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm2902.pdf

[6] N. Mitrović, D. Danković, and Z. Prijić, "Laboratorijski praktikum sa zadacima za samostalan rad iz predmeta analogna mikroelektronika", Faculty of Electronic Engineering, Niš, 2022.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.089N
Original scientific paper

Određivanje i upoređivanje spektra RGB dioda

Petar Nikolić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
nikolicpetar@elfak.rs
ORCID: N/A

Miloš Stojilović
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
milos.stojilovic@elfak.rs
ORCID: N/A

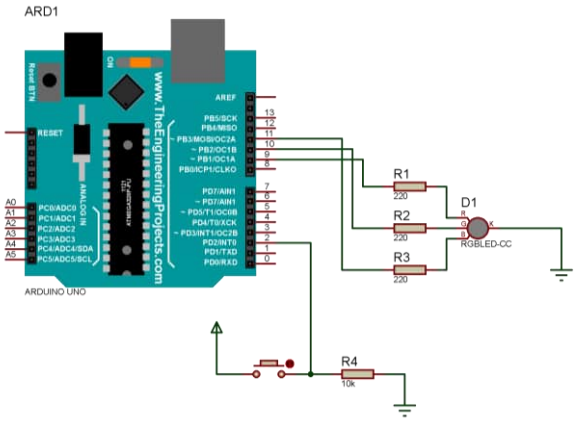
***Sadržaj*—U ovom projektu je praktično realizovana električna šema sa RGB diodom u cilju analize spektara različitih boja koje se dobijaju njenom primenom, kao i radi analize oblika signala koji se primenjuju za njeno napajanje.**

Ključne reči—dioda, spektar, signal, modulacija, prekid

I. Uvod

RGB dioda je dioda koja se sastoji od tri LE diode: crvene, zelene i plave. Kako bi se dobila odgovarajuća boja RGB diode, neophodno je na anode ove tri LE diode poslati odgovarajuće signale, ukoliko je ona sa zajedničkom katodom, kao u realizovanom primeru.

Jedan od najčešćih metoda kojim se formiraju potrebni signali za napajanje RGB diode je implusno širinska modulacija (eng. *Pulse Width Modulation*– PWM). Ovim metodom moguće je postići „*dimming*" LE dioda, tj. njihovo zatamnjivanje zato što za različite faktore ispune PWM signala dioda emituje različite jačine svetlosti. Sa porastom faktora ispune, raste jačina svetlosti koju emituje LED [1].

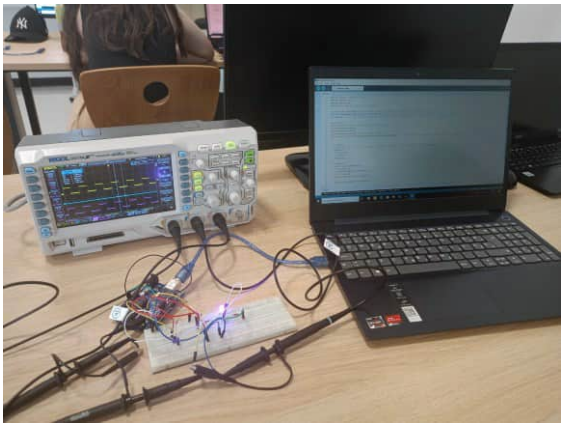


Slika 1. Električna šema sa Arduino okruženjem, RGB diodom i tasterom.

Na slici 1 je prikazana električna šema koja je realizovana. Preko digitalnih pinova Arduino okruženja sa ugrađenim PWM-om, vrši se slanje odgovarajućih signala na anode LED-ova RGB diode. Crvena LED je vezana na 9. pin, zelena na 10. pin i plava na 11. pin. Kako bi se ograničila struja kroz ove LE diode, redno su vezani otpornici od 220 Ω, na svaki od tri pinova [1].

Promena boje RGB-a se postiže pritiskom na taster, koji je za 2. pin Arduino okruženja vezan u pull-down konfiguraciji sa otpornikom od 10 kΩ. Drugi pin je odabran zato što ima ugrađen „*interrupt*" tj. prekid. Pritiskom na taster, pokreće se prekid i iz beskonačne petlje prelazi se u ISR tj. eng. *Interrupt Service Routine* [2].

Na slici 2 je prikazano povezano radno okruženje sa osciloskopom na kome su prikazani PWM signali za trenutnu boju RGB diode.



Slika 2. Radno okruženje sa povezanim osciloskopom.

II. Kod za Arduino okruženje

U nastavku je dat kod sa komentarima za Arduino okruženje:

```
#define redPin 9 //PWM pinovi
#define greenPin 10
#define bluePin 11
#define  tasterPin  2  //interrupt  pin  za
taster
volatile bool flag=false; //'volatile'
jer se njena vrednost menja u vise
funkcija
const int brightness=122; //jacina kojom
svetle LED
```

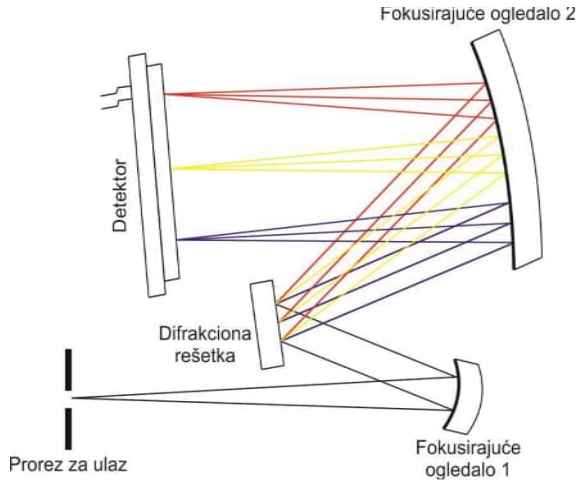
```
int index=0; //indeks boje koja se
trenutno prikazuje na RGB, indeks plave
boje je 0, žute je 1, ljubicaste je 2 i
tirkizne je 3
void setup() {
pinMode(redPin,OUTPUT); //svi LED pinovi
se deklarisu kao izlazni
pinMode(greenPin,OUTPUT);
pinMode(bluePin,OUTPUT);
pinMode(tasterPin,INPUT); //taster pin je
deklarisan kao ulazni
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(tas
terPin),tasterISR,RISING); //deklarisanje
prekida na taster pinu, funkcije koja se
poziva pri prekidu kada je prisutna
rastuca ivica signala (zbog pull-down
otpornika)
}
void loop() {
//svakim pritiskom tastera, indeks se
inkrementira, kada stigne do vrednosti 4,
vraca se na 0
if(flag) {
  index++;
  if(index==4)
    index=0;
  flag=false;
}
if(index == 0)
  applyColor(0,0,brightness);
else if(index == 1)
 applyColor(brightness,brightness,0);
else if(index == 2)
 applyColor(brightness,0,brightness);
else
 applyColor(0,brightness,brightness);
}
void tasterISR() {
  flag=true;
}

void applyColor(int R, int G, int B) {
//funkcija za prikaz boje na RGB diodi
  analogWrite(redPin,R);
  analogWrite(greenPin,G);
  analogWrite(bluePin,B);
}
```

III. Spektri plave, žute, ljubičaste i tirkizne boje RGB diode

Spektar svetlosti predstavlja skup spektralnih boja poređanih na osnovu talasnih dužina. Može se ostvariti putem interferencije i difrakcije (difrakciona rešetka) i disperzije svetlosti (staklena prizma). Za razliku od disperzionih spektara, difrakcioni spektri imaju obrnuti redosled spektralnih boja.

Princip rada spektometra se može objasniti pomoću slike 3 [3]. Svetlost se fokusira sfernim kolimatorskim ogledalom, a fokusiran zrak se difraktuje na reflektujućoj difrakcionoj rešetki, posle čega pada na fokusirajuće sferno ogledalo. Ovo ogledalo usmerava snop svetlosti ka linearnom detektoru, odakle se rezultati prosleđuju ka računaru.



Slika 3. Princip rada spektometra.

Za radni opseg i rezoluciju talasnih dužina spektometra najbitnije su dve karakteristike: tip difrakcione rešetke i veličina proreza na ulazu u spektrometar. Difrakciona rešetka ugrađena u ovaj spektrometar ima 600 linija/mm, čime je moguće razdvajanje linija u opsegu od 200 nm do 1100 nm, s tim što najveću efikasnost (od oko 75 %) poseduje za talasne dužine u opsegu 300 nm do 600 nm. Difrakciona rešetka bitno utiče na rezoluciju između dve bliske linije, zato što definiše koliko su linije razdvojene. Drugi bitan parametar za određivanje rezolucije između dve bliske linije je i širina proreza na ulazu spektrometra, koja određuje propusnu širinu snopa svetlosti. Širina proreza je 10 µm, što u kombinaciji sa difrakcionom rešetkom daje minimalnu rezoluciju između dve bliske linije od 0.27 nm [3].

Spektrometrom su usnimljeni spektri za plavu, žutu, ljubičastu i tirkiznu boju RGB diode.

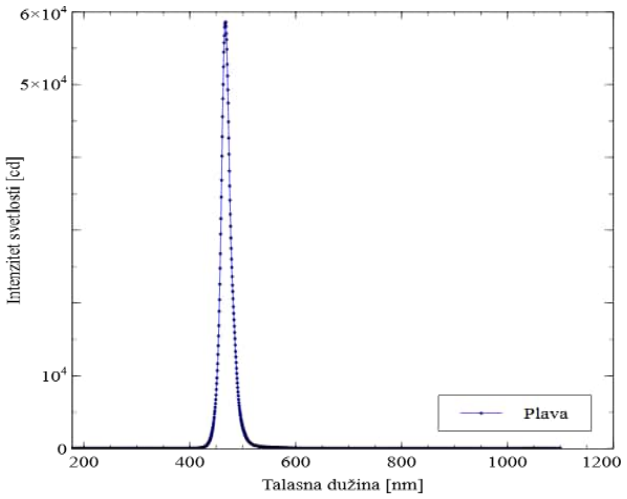
Posmatranjem spektara datih boja može se zaključiti da se spektar "osnovnih" boja sastoji od svetlosti jedne talasne dužine, dok se kod "složenih" boja sastoji od svetlosti različitih talasnih dužina.

Spektar plave svetlosti prikazuje da je prisutna samo jedna boja tj. plava (na talasnoj dužini od 475 nm), slika 4, dok se kod drugih spektara vidi da su date boje dobijene kombinacijom dveju osnovnih boja. Pri emitovanju žute boje prisutne su zelena (525 nm) i crvena (625 nm) svetlost, slika 5. Za dobijanje ljubičaste boje neophodne su plava (475 nm) i crvena (625 nm) svetlost, slika 6. I konačno,

tirkizna boja se sastoji od plave (475 nm) i zelene (525 nm) svetlosti, slika 7.

IV. PWM SIGNALI KOMPONENATA RGB DIODE

PWM signali kojima se dobijaju odgovarajuće boje RGB diode, prikazani su na slikama 8, 9, 10 i 11. Signal na kanalu 1 osciloskopa je signal na crvenoj, kanal 2 odgovara zelenoj i kanal 3 plavoj LED.



Slika 4. Svetlosni spektar plave boje RGB diode.

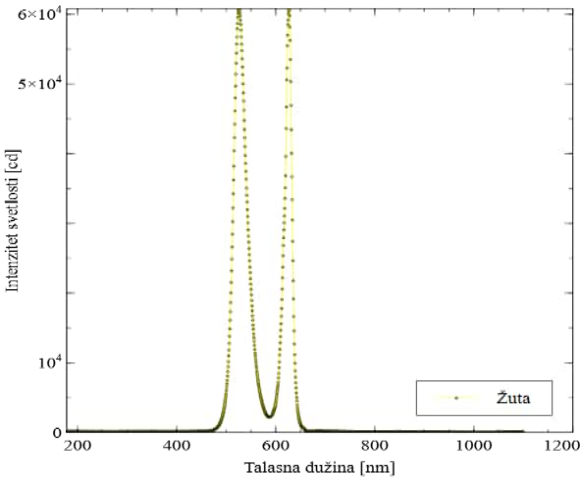
Za plavu boju se PWM signal šalje samo na anodu plave diode, dok su druge dve LED isključene, slika 8.

Kada RGB svetli žutom bojom, signali su na anodama crvene i zelene LED, dok je plava isključena, slika 9.

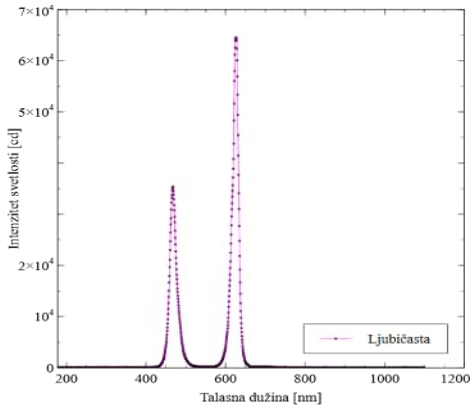
RGB svetli ljubičastom bojom kada je signal na anodama plave i crvene LED, a zelena je isključena, slika 10.

Kako bi se dobila poslednja boja u nizu, potrebno je signal poslati na anode plave i zelene LED, tada RGB svetli tirkiznom bojom, slika 11.

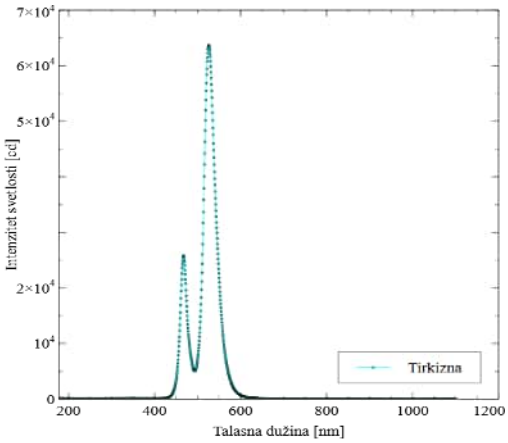
Može se primetiti da signali crvene, zelene i plave komponente imaju jednake širine impulsa, što rezultuje time da one sijaju jednakim intenzitetom. Tako, npr. kod tirkizne boje, plava i zelena komponenta imaju jednake intenzitete, a kod ljubičaste, crvena i plava komponenta. Ukoliko ovo ne bi bio slučaj, dobila bi se drugačija boja diode.



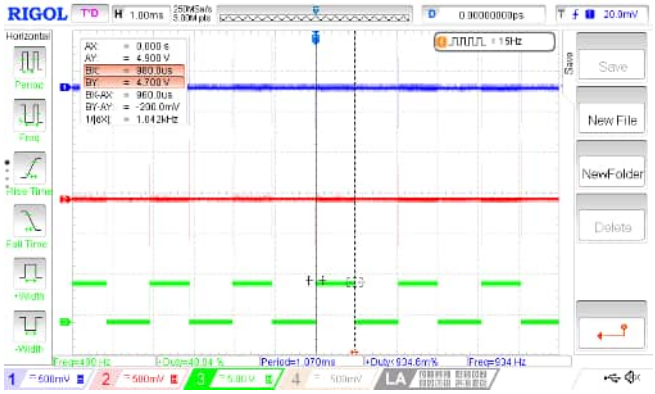
Slika 5. Svetlosni spektar žute boje RGB diode.



Slika 6.Svetlosni spektar ljubičaste boje RGB diode.



Slika 7. Svetlosni spektar tirkizne boje RGB diode.



Slika 8. PWM signali na anodama RGB diode za plavu boju.



Slika 9. PWM signali na anodama RGB diode za žutu boju.



Slika 10. PWM signali na anodama RGB diode za ljubičastu boju.



Slika 11. PWM signali na anodama RGB diode za tirkiznu boju.

V. ZAKLJUČAK

RGB dioda je optoelektronska komponenta koja se sastoji od tri komponente (R, G i B), zavisno od signala koji se šalju na pinove, dobijaju se različite boje. Najčešća metoda za dobijanje tih signala je implusno širinska modulacija (PWM). Spektar svetlosti predstavlja skup spektralnih boja poređanih na osnovu talasnih dužina. Svaka boja ima odgovarajući spektar svetlosti.

Posmatranjem i utvrđivanjem talasnih dužina na kojima su prisutni lokalni maksimumi datog spektra, možemo zaključiti od kojih osnovnih boja se sastoji boja čiji se spektar posmatra.

ZAHVALNICA

Ovaj projekat realizovan je u okviru predmeta Optoelektronske komponente, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi. Autori se zahvaljuju prof. dr Emiliji Živanović i master inž. Nikoli Mitroviću na stručnoj pomoći i sugestijama u izradi ovog rada.

LITERATURA

[1] RGB LED. Dostupno na. https://www.build-electronic-circuits.com/rgb-led/

[2] Arduino prekidi. Dostupno na: https://deepbluembedded.com/arduino-interrupts-tutorial-examples/

[3] Emilija Živanović, „Praktikum laboratorijskih vežbi iz predmeta Osnovi optike sa rešenim primerima zadataka“, Edicija: Pomoćni udžbenici, Elektronski fakultet, Niš, 2018.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.093K
Original scientific paper

Simulacija upravljanja sistemom za sintezu hloroforma primenom SCADA sistema

Stefan Krstić
Katedra za Automatiku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
k.steffi@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* − U ovom radu projektovan je sistem upravljanja za proces sinteze hloroforma u programskom okruženju *Citect SCADA*. Rad projektovanog sistema je simuliran sa ciljem da se prikaže efikasnost i pouzdanost SCADA sistema u automatizaciji tehnoloških procesa.**

Ključne reči* − *SCADA sistemi, hemijska industrija, hloroform, grafička strana, proces

I. Uvod

Industrijska automatizacija postala je osnova modernih proizvodnih procesa, omogućavajući povećanje efikasnosti i sigurnosti uz smanjenje troškova. U središtu naprednih tehnologija upravljanja nalaze se SCADA (***S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition*) sistemi čija je uloga u hemijskoj industriji posebno značajna zbog specifičnih izazova koje ova grana privrede donosi.

Česti zahtevi u industriji hemijskih procesa su: rukovanje opasnim materijama, stroga kontrola uslova pod kojima se odvijaju hemijske reakcije, precizno doziranje reaktanata, regulacija temperature, pritiska, *pH* vrednosti itd. SCADA sistemi pružaju mogućnost realizacije ovih zahteva sa visokim stepenom pouzdanosti, a doprinose i povećanju bezbednosti radnika time što će većim stepenom automatizacije oni biti pošteđeni poslova koji mogu biti štetni po zdravlje. Upravo zbog ove činjenice je kod proizvodnje hloroforma poželjno imati maksimalno automatizovan sistem jer je u pitanju supstanca čija su isparenja štetna za ljude [1].

Proces za koji se projektuje upravljački sistem sastoji se iz sledećih etapa:

- Dopuna rezervoara reaktantima
- Formiranje smeše kalcijum-hipohlorita i vode
- Doziranje i transport reaktanata u reaktor
- Upravljanje radom hemijskog reaktora
- Regulacija temperature i pritiska
- Razdvajanje hloroforma od nusproizvoda
- Prečišćavanje krajnjeg proizvoda
- Punjenje i zatvaranje buradi

II. Proizvodnja hloroforma

Postoje 4 metode za dobijanje hloroforma [2] i to:

1. Hlorovanje metana
2. Fotohemijsko hlorovanje
3. Redukcija ugljenik-tetrahlorida (tetrahlormetana)
4. Reakcija acetona i kalcijum-hipohlorita

Za potrebe ovog rada korišćena je četvrta metoda u kojoj se kao proizvodi reakcije između acetona i kalcijum-hipohlorita pored hloroforma ($CHCl_3$) dobijaju i kalcijum-acetat ($Ca(CH_3COO)_2$), kalcijum-hidroksid ($Ca(OH)_2$), kalcijum-hlorid ($CaCl_2$) i voda (H_2O), što se jasno vidi iz jednačine:

$$2CH_3COCH_3 + 6CaOCl_2{*}H_2O \rightarrow 2CHCl_3 + Ca(CH_3COO)_2 + 2Ca(OH)_2 + 3CaCl_2 + 6H_2O$$

Prve tri supstance su u čvrstom agregatnom stanju, a razdvajanje hloroforma i vode od njih se odvija u dekanterskoj centrifugi.

Reaktanti se koriste u odnosu 45 g acetona prema 453 g kalcijum-hipohlorita (≈1:10). Temperatura reakcije treba da se održava na 50 °C. Uvidom u termodinamiku dolazimo do toga da je promena entalpije $\Delta H = -305{,}634$ KJ/mol i na osnovu znaka zaključujemo da je reakcija egzotermna. Uvidom u kinetiku dolazimo do vremena trajanja reakcije i ono iznosi 1,831 h [2].

A. Oprema

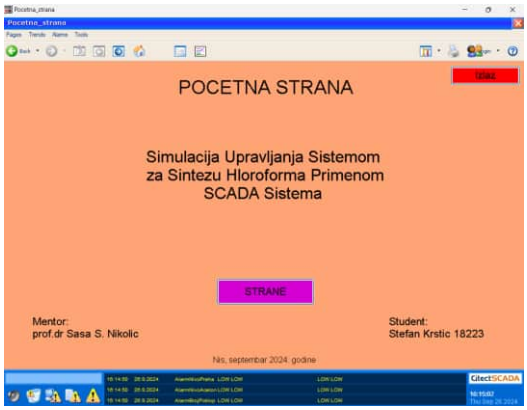
Neizostavan deo svakog industrijskog sistema su, naravno, senzori, pumpe, ventili i motori. Koriste se senzori za merenje temperature, pritiska, protoka i nivoa. Pumpe se koriste za transport materija kroz postrojenje, dok ventili omogućavaju protok materije, regulaciju pritiska i upravljanje sistemom za hlađenje. Korišćena su dva tipa ventila i to: dvosmerni ventil i trosmerni ventil T tipa, i svi su automatskog tipa. Motori se u ovom procesu koriste za upravljanje mikserima i pokretnom trakom. Integracijom ovih elemenata i programskim upravljanjem istih, postignut je visok nivo automatizacije.

Od opreme se još koriste: mikser, reaktor, dekanterska centrifuga i destilaciona kolona. Mikser služi kako bi se kalcijum-hipohlorit pomešao sa vodom pre doziranja u reaktor. Tip hemijskog reaktora koji se koristi je protočni sa idealnim mešanjem, a njegova funkcija je odvijanje hemijske reakcije koja nakon približno 2 h daje krajnji proizvod i četiri nusproizvoda. Dekanterska centrifuga se koristi za separaciju čvrstih nusproizvoda od tečnog hloroforma i vode, po završetku rada reaktora. Nakon razdvajanja čvrstih nusproizvoda sledi prečišćavanje hlorofoma od vode destilacijom, a to se odvija u destilacionoj koloni.

III. Realizacija

A. *Pregled grafičkih strana*

Projekat sadrži šest grafičkih strana. Prva među njima je „Početna strana“ i njen izgled prikazan je na slici 1.



Slika 1. Početna strana.

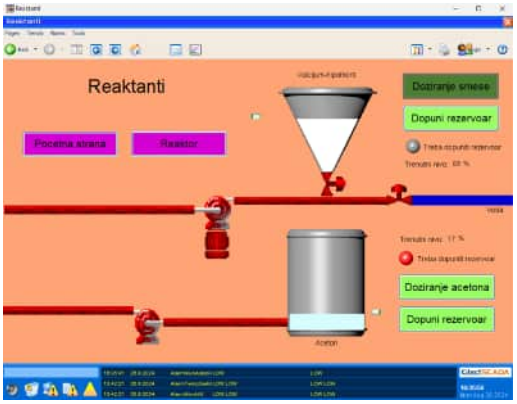
Sadrži tehničke informacije – naslov rada, imena autora i mentora, kao i dva dugmeta. Klikom na dugme „STRANE“ otvara se grafička strana „Odabir strane“ na kojoj se nalazi dugmad za navigaciju do ostalih grafičkih strana. Prikazana je na slici 2. Analogno ovome, svako ljubičasto dugme u projektu nas vodi do istoimene grafičke strane.



Slika 2. Odabir strane.

Na slici 3 prikazana je treća strana koja nosi naziv „Reaktanti“ i sadrži rezervoar sa kalcijum-hipohloritom koji je ventilom za doziranje odvojen od cevi kroz koju protiče voda kada se otvori krajnji desni ventil, a direktno povezan sa mikserom u kojem se homogenizuju prah i voda. Tu je i rezervoar sa acetonom koji ima svoju pumpu kojom se odvodi direktno u reaktor. Na ovoj strani su i dva navigaciona i četiri funkcionalna dugmeta.

Svako zeleno dugme u programu poziva funkciju koja simulira neki od procesa. Dugmad „Dopuni rezervoar“ puni do vrha onaj rezervoar pored kojeg se nalazi, dok dugmad „Doziranje smese“ i „Doziranje acetona“ otpočinju proces doziranja reaktanata u reaktor. Četvrta strana je „Reaktor“ i pristup njoj moguć je samo ukoliko je korisnik ulogovan, u suprotnom će se pojaviti poruka koja ga na to podseća i strana se neće otvoriti. Kao što možemo videti na slici 4 na ovoj strani se nalaze reaktor sa grejačima, mikserom i sistemom za hlađenje, kompresor, dvosmerni ventil (gornji) za dotok vode, trosmerni ventil (donji) T tipa za pritisak, pumpa, kontrolna tabla, četiri navigaciona i četiri funkcionalna dugmeta.



Slika 3. Reaktanti.

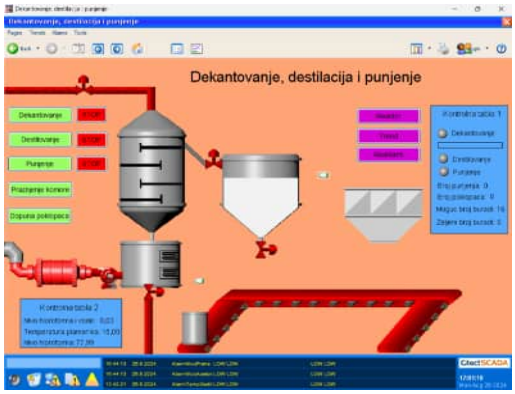


Slika 4. Reaktor.

Dugmad „Promena T“ i „Promena P“ služe za unos/promenu željenih vrednosti temperature i pritiska respektivno. Dugme „STOP“ zaustavlja rad reaktora, a dugme „Pokreni reaktor“ ponovo pokreće rad reaktora nakon zaustavljanja. Na kontrolnoj tabli mogu se pratiti trenutne vrednosti temperature i pritiska u reaktoru, zelena LE dioda služi kao indikator rada reaktora, a prikazane su i željene vrednosti promenljivih koje se regulišu tokom trajanja hemijske reakcije. Na samom kraju prikazano je vreme rada reaktora sa indikatorom koji se puni zelenom bojom i dalje grafičku predstavu o tome koliko će još vremena hemijska reakcija trajati. Navigaciono dugme „DDP“ odvodi nas do strane „Dekantovanje, destilovanje i punjenje“ čiji je izgled prikazan na slici 5.

Ova grafička strana sadrži dekanter, destilacionu kolonu, pumpu kojom se tečnost iz dekantera usmerava do destilacione kolone, ventil (dole levo) kojim se otpušta voda koja ostaje nakon destilacije, ventil (gore levo) za dovod hladne vode na vrh destilacione kolone. Rezervoar sa hloroformom koji ima dva ventila od kojih gornji služi za punjenje samog rezervoara, a donji za punjenje buradi. Desno od rezervoara se nalazi mašina za zatvaranje buradi, a ispod njih nalazi se pokretna traka kojom se burad kreće tokom procesa punjenja. Na ovoj stanici se nalaze tri navigaciona i sedam funkcionalnih dugmeta. Dugmad „Dekantovanje“, „Destilovanje“ i „Punjenje“ pokreće istoimeni proces, dok dugmad „STOP“ pored njih služi za

zaustavljanje ovih procesa. Dugme „Praznjenje komore“ služi da se isprazni komora dekantera u kojoj ostaju čvrste materije (nusproizvodi) nakon dekantovanja, a „Dopuna poklopaca“ da se uređaj za zatvaranje buradi dopuni poklopcima ukoliko je to potrebno.

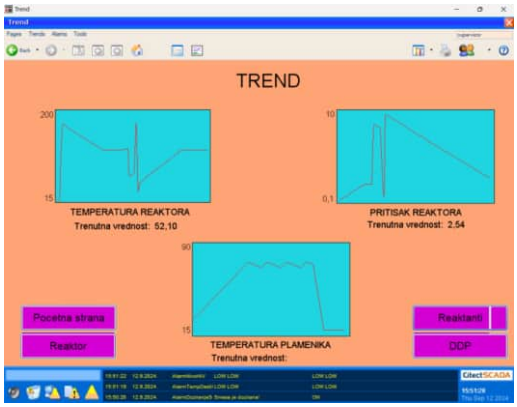


Slika 5. Dekantovanje, destilovanje i punjenje.

Tu su i dve kontrolne table. Na prvoj se vide diode koje daju indikaciju o procesima koji su trenutno u toku, ali i koliko je buradi moguće napuniti na osnovu trenutnog nivoa hloroforma u rezervoaru. Takođe, vidi se i željeni broj buradi za punjenje, broj napunjenih buradi i broj dostupnih poklopaca. Na drugoj kontrolnoj tabli vidi se nivo mešavine hloroforma i vode u destilacionoj koloni, trenutna temperatura plamenika i trenutni nivo hloroforma u rezervoaru.

Poslednja grafička strana jeste „Trend“ i njen izgled je prikazan na slici 6. Na ovoj strani se nalaze tri grafika na kojima se iscrtavaju vrednosti veličina koje se regulišu u toku rada sistema, a ispod njih se prikazuje i trenutna vrednost tih promenljivih. Iscrtavanje je aktivno samo ako rade adekvatni uređaji, u suprotnom se dobije poruka o tome da uređaj nije aktivan. Ovo je implementirano kako ne bi došlo do zabune oko neaktivnosti grafika. Vidimo i četiri navigaciona dugmeta.

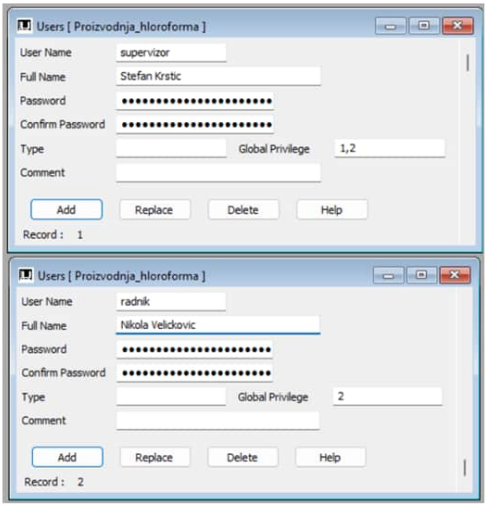
Kao vid korisničkog uputstva, princip rada gore prikazanog programa dat je u [3] u odeljku 4.2.



Slika 6. Trend .

B. *Korisnički nalozi*

Svaki SCADA softver omogućava kreiranje korisničkih naloga i konfigurisanje različitih nivoa privilegija za njih. Konkretno, u Citect SCADA-i postoji osam različitih nivoa privilegija. U ovom projektu su kreirana dva tipa korisničkih naloga: supervizor i radnik i njihova konfiguracija je prikazana na slici 7. Privilegiju nivoa 1 imaju sledeći elementi: sva dugmad „STOP“, dugmad „Promena T“ i „Promena P“. Privilegiju nivoa 2 imaju ostali funkcionalni dugmići. Slajderi u projektu služe samo kako bi se demonstrirala regulacija promenljivih u različitim okolnostima.



Slika 7. Korisnički nalozi.

C. *Tagovi*

Korišćena su tri tipa tagova: INT, REAL i DIGITAL. Ukupan broj tagova je 50, a kompletna lista data je u [3] u odeljku 4.4.

Pored ovih, u programu se koriste i tri trend taga koji služe za praćenje i iscrtavanje vrednosti temperature i pritiska u reaktoru, kao i temperature destilacione kolone. Tagovi koji prate veličine u reaktoru su aktivni samo ako reaktor radi, dok je tag koji prati temperaturu destilacione kolone aktivan samo dok traje proces destilacije.

D. *Alarmi*

Za bolje i lakše praćenje rada ovog sistema koriste se alarmi i to: 3 digitalna, 7 analognih i 1 napredni alarm. Analogni alarmi se koriste za nivo supstanci u rezervoarima i veličine koje se regulišu. Digitalni alarmi se koriste za obaveštavanje korisnika o završetku procesa doziranja i o kraju hemijske reakcije. Napredni alarm se koristi za indikaciju aktivnosti punjenja buradi.

E. *Funkcije*

Gore opisanim grafičkim stranama „život“ daju *cicode* funkcije pomoću kojih se izvršavaju upravljanje i regulacija parametara sistema. U [3], odeljak 4.7 dati su kodovi svih funkcija, a u nastavku je prikazana samo jedna od njih kojom se ilustruje regulacija pritiska u reaktoru.

```
FUNCTION regulacijaP()
IF radReaktora=1 THEN
IF pritisakReaktora>zeljeniPritisak+0.1 THEN
kompresor=0;
ventilPritiska=1;
pritisakReaktora=pritisakReaktora-0.03;
SleepMS(5000);
ELSE IF pritisakReaktora<zeljeniPritisak-0.1 THEN
```

```
kompresor=1;
ventilPritiska=1;
pritisakReaktora=pritisakReaktora+0.03;
SleepMS(5000);
ELSE kompresor=0;
ventilPritiska=0;
END
END
END
END
```

IV. Zaključak

U radu je prikazano kako se SCADA sistemi mogu iskoristiti za upravljanje hemijskim industrijskim procesom. Prikazana je prednost upravljanja konvencionalnim metodama: vremenskim, količinskim i ON/OFF upravljanjem. Program je moguće dalje unaprediti kreiranjem baze podataka koja bi čuvala podatke o procesu, fizičkim povezivanjem softvera sa PLC-om i konfiguracijom komunikacije između njih.

Zahvalnica

Autor se zahvaljuje prof. dr Saši S. Nikoliću i mast. inž. Anđeli Jovanović na sugestijama i pomoći pri realizaciji ovog projekta.

Literatura

[1] K. E. Raymond, D. F. Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology," , 4th ed., vol.5, 2004, pp. 523.

[2] M. F. Hakim, "Preliminary Plant Design of Chloroform from Acetone and Bleaching Powder Capacity 19,000 Tones/Year", 2015, CHAPTER 1, pp. 8–18.

[3] S. Krstić, "Projektovanje i implementacija upravljanja sistemom za preradu hloroforma zasnovano na SCADA sistemima", završni rad, Elektronski fakultet u Nišu, 2024.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.097P
Original scientific paper

Projektovanje štampane ploče za dečiju igračku za detekciju pokreta

Marija Prijić
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
marija.prijic@elfak.rs
ORCID: N/A

Beba Mladenović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
beba.mladenovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu je, pomoću softverskih alata *Altium Designer* i *FreeCAD*, projektovan model dečije igračke namenjene da reaguje na pokret. U *Altium Designer*-u su urađene električne šeme i projektovana je štampana ploča (*Printed Circuit Board* – PCB), a u *FreeCAD*-u je kreirana kutija za smeštanje štampane ploče. Takođe su korišćeni programi *Proteus* i *LTSpice* za simulaciju rada određenih delova projekta. Ideja projekta: korisnik uključuje igračku preko kliznog prekidača; kada PIR (*Passive Infrared*) senzor detektuje pokret, on šalje signal ostatku kola; uključuje se alarm (LE diode počinju naizmenično da svetle i zvučnik proizvodi zvuk policijske sirene u određenom vremenskom intervalu); alarm se resetuje do sledeće detekcije pokreta.**

Ključne reči—PCB, detekcija pokreta, alarm

I. Uvod

A. Koncept PCB-a u igračkama

Integracija baterija u igračke je označila značajan tehnološki napredak u svetu zabave dece. Igračke na baterije pojavile su se sredinom 20. veka, pružajući novi nivo interaktivnosti i mobilnosti. Ove igračke su mogle da se pomeraju, proizvode zvukove i svetle. Neke od ovih funkcija postignute su korišćenjem jednostavnih međusobno povezanih elektromehaničkih komponenata, dok su druge, složenije igračke, sadržale PCB.

Štampane ploče, koje se često nalaze u elektronskim igračkama i napravama, dizajnirane su sa posebnim razmatranjima prilagođenim njihovoj nameni i publici. Ovi PCB-ovi su obično jednostavnijeg dizajna i imaju osnovna kola za podršku funkcionalnosti igračke. Zbog ograničenja troškova i zahteva masovne proizvodnje, PCB igračke daju prednost efikasnosti i pristupačnosti u odnosu na složene karakteristike [1].

Ključne karakteristike PCB-ova za igračke su [2]:

1) Pojednostavljeno kolo: PCB igračke obično sadrže osnovne elektronske komponente kao što su LE diode, zvučni moduli i jednostavni senzori, optimizovani za interakcije i funkcionalnosti za koje su igračke namenjene.
2) Cena materijala: Proizvođači PCB-ova za igračke se često odlučuju za jeftinije materijale i proizvodne procese kako bi zadržali niske troškove proizvodnje uz održavanje prihvatljivog nivoa kvaliteta i sigurnosti.
3) Lakoća montaže: PCB-ovi za igračke su dizajnirani za jednostavno sastavljanje i integraciju u finalni proizvod, omogućavajući efikasnu masovnu proizvodnju i brzo vreme povratka investicije.
4) Kompaktna struktura: Štampane ploče moraju biti veoma malih dimenzija i istovremeno sadržati brojne elektronske komponente.

B. O igrački

Razmatrana igračka je reklamirana kao špijunska oprema za detekciju uljeza. Kada osoba prođe ispred senzora, diode na igrački počinju da svetle uz prateći zvuk alarma. Ovo treba da obavesti korisnika o prisustvu neželjene osobe u okolini špijunske opreme, tj. igračke.

Na slici 1 je prikazan primer igračke "*Spy Gear Micro Agent Motion Alarm*". Neki detalji vezani za funkcionisanje ove igračke, a atraktivni za korisnika, prikazani su na njenom pakovanju [3]:

1) *"Spy Gear Micro Agent Motion Alarm"* štiti vaše stvari oglašavanjem alarma svaki put kada su njegovi senzori pokreta aktivirani;
2) Mali i elegantan dizajn omogućava da *Motion Alarm* ne bude lako uočljiv;
3) Senzor se može podesiti da vrši detekciju u željenom vidnom polju što pomaže da uvek budete na oprezu i zaštitite svoje dragocenosti.

C. Cilj rada

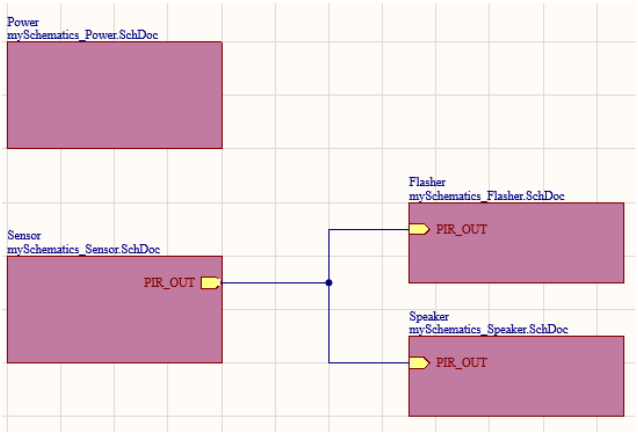
U ovom radu ćemo pokazati kako se može projektovati štampana ploča za ovaj tip igračke uz pomoć softverskih alata *Altium Designer* i *FreeCAD*.



Slika 1. Primer igračke "*Spy Gear Micro Agent Motion Alarm*" [3].

II. ELEKTRIČNE ŠEME

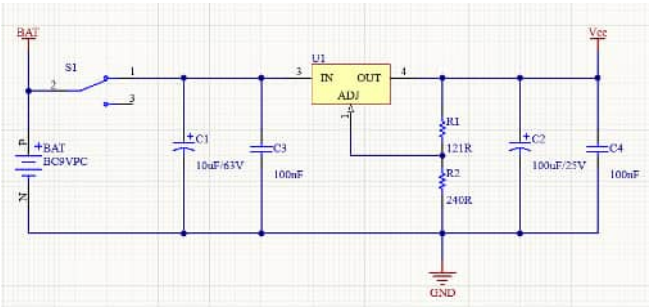
Projekat štampane ploče je realizovan korišćenjem programa *Altium Designer*. Na slici 2 je prikazana šema *Sensor*, *Flasher* i *Speaker*. Signal iz bloka *Sensor* daje dozvolu rada *Flasher* i *Speaker* blokovima.



Slika 2. Šema osnovnog bloka *Main*.

A. *Šema napajanja – blok Power*

Kolo napajanja je realizovano preko baterije od 9 V koja služi kao izvor napajanja za ostale delove projekta. Sastoji se od baterije BC9VPC, četiri kondenzatora, jednog standardnog otpornika, jednog potenciometra, i naponskog regulatora LM1117. Električna šema kola napajanja prikazana je na slici 3.



Slika 3. Električna šema kola napajanja u programu *Altium Designer*.

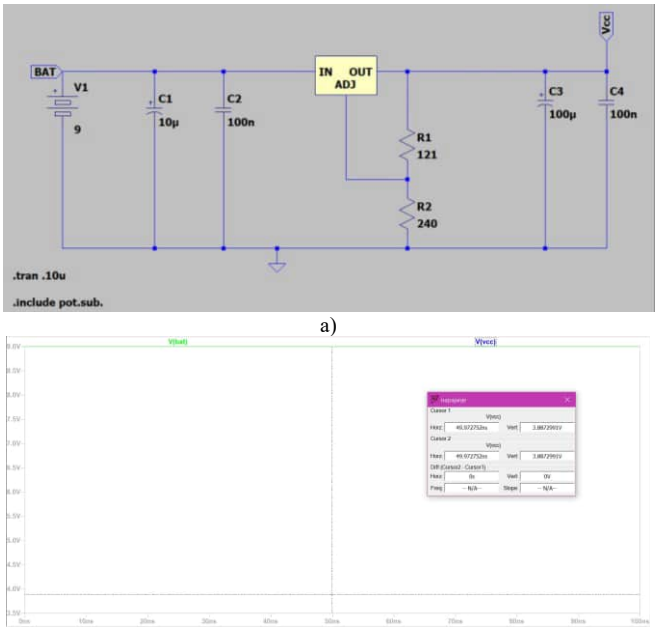
LM1117 (U1 na slici 3) je podesivi linearni regulator napona koji spušta napon baterije od 9 V na napon od 3,8 V i kojim se napaja kolo sa PIR senzorom. Regulator ima ulaz ADJ (*adjustable*) na koji se povezuju otpornik R1 i potenciometar R2 koji čine naponski razdelnik i služe za podešavanje izlaznog napona. Na osnovu formule za vrednost izlaznog napona:

$$V_{OUT} = V_{ref} * (1 + \frac{R_2}{R_1}), \qquad (1)$$

gde je referentni napon V_{ref}=1,25 V, proračunata je potrebna vrednost otpornosti potenciometra R2 za fiksiranu vrednost otpornosti R1.

Na ulazu kola se nalazi *SPDT* (*Single Pole Double Throw*) klizni (*slider*) prekidač koji je isprva u otvorenom položaju. Kada se prekidač zatvori, kolo se napaja preko baterije. U ovom projektu je korišćen prekidač EG1270.

Rad kola za napajanje je simuliran u *LTSpice* programu. U ovu simulaciju nije uključen SPDT prekidač. Rezultati simulacije pokazuju vrednosti napona baterije i regulisanog napona V_{OUT}. Kako bi se videla tačna vrednosti napona V_{OUT} korišćen je kursor. Na slici 4 a) je prikazana električna šema simulacije kola napajanja, a na slici 4 b) su prikazani rezultati simulacije.



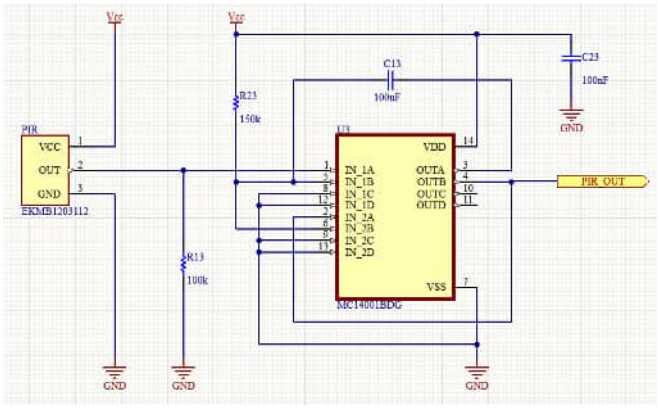
a)

b)

Slika 4. a) Električna šema simulacije bloka napajanja u programu *LTSpice*; b) Rezultati simulacije.

B. *Šema senzora – blok Sensor*

Korišćene komponente u senzorskom bloku su: PIR senzor EKMB1203112, dva otpornika, dva kondenzatora i NOR integrisano kolo MC14001BDG. PIR senzor omogućava detekciju pokreta tako što detektuje različite nivoe infracrvenog zračenja. Kada prepozna promenu nivoa zračenja, menja se vrednost na izlaznom pinu kola senzora. Zbog inertnosti senzora potrebno je 25 sekundi za stabilizaciju signala nakon uključenja igračke. Električna šema senzorskog bloka prikazana je na slici 5.



Slika 5. Električna šema bloka senzora u programu *Altium Designer*.

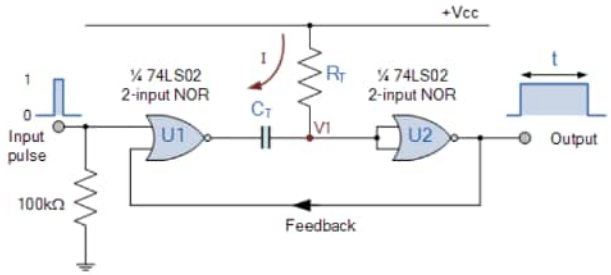
PIR senzor EKMB1203112 spada u grupu *Long Distance Detection Type* senzora. Proizvodi ga kompanija *Panasonic*. Ovaj senzor ima visoku pouzdanost, kolo komparatora koje sprečava lažne uzbune, duplo veću osetljivost, manju potrošnju struje i četiri puta veći odnos signal-šum od

konvencionalnih senzora. Informacije o PIR senzoru su prikazane u tabeli I.

TABELA I. UGAO ZAHVATA PIR SENZORA.

Domet detekcije	***Oblast detekcije***		***Broj zona detekcije***
	Horizontalno	Vertikalno	
12 m	102°	92°	92

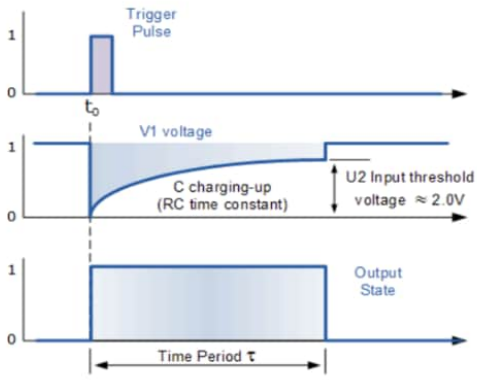
Za rad igračke je potrebno da se produži trajanje signala koji generiše PIR senzor a koji se uvodi u blokove *Flasher* i *Speaker*. Podešavanje trajanja signala je realizovano monostabilnim multivibratorom sa dva NOR kola [4] prikazanim na slici 6.



Slika 6. Šema monostabilnog multivibratora sa dva NOR kola [4].

Ako je na ulazu NOR kola U1 logička nula, na izlazu je logička jedinica. Otpornik R_T je povezan na napon napajanja, što je takođe logička jedinica i kroz njega ne protiče struja. Kondenzator C_T je prazan a napon V_1 je na logičkoj jedinici. Drugo NOR kolo će na izlazu imati logičku nulu u ovom slučaju. Ovo se naziva „stabilno stanje“ kola. Kada se na ulaz kola U1 dovede logička jedinica, na njegovom izlazu se pojavljuje logička nula i kondenzator počinje da se puni preko otpornika R_T. Takođe je i ulaz kola U2 na logičkoj nuli, što znači da se na izlazu dobija logička jedinica. Izlazni napon je u ovom slučaju jednak $+V_{cc}$. Drugo NOR kolo, U2, će zadržati ovo stanje dok se na kondenzatoru ne dostigne minimalni napon praga kola U2 (oko 2 V). Tada se menja stanje kola U2, jer se na njegovom ulazu pojavila logička jedinica. Na izlazu kola se dobija logička nula, koja se povratnom spregom vraća na ulaz kola U1. Ovo vraća multivibrator nazad na početno, stabilno stanje, i on iščekuje naredni impuls koji će ponovo pokrenuti ovaj proces.

Glavni nedostatak monostabilnog multivibratora sa dva NOR kola se ogleda u tome što je kondenzatoru potrebno određeno vreme da se napuni i isprazni. Na slici 7 vidimo tri grafika koji ilustruju produžetak signala [4]. Prvi grafik prikazuje *„trigger pulse“* koji predstavlja okidanje PIR senzora. Drugi grafik predstavlja punjenje kondenzatora dok poslednji grafik predstavlja produženi vremenski signal na izlazu.

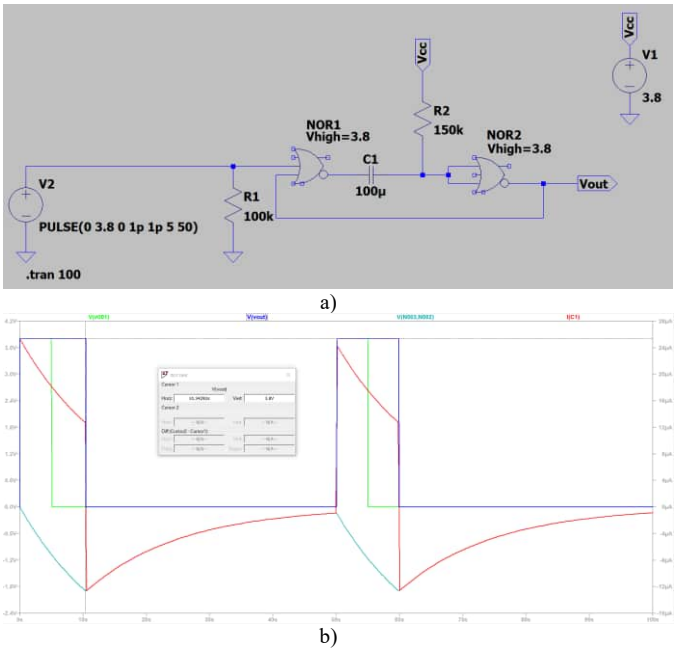


Slika 7. Grafik produženja impulsa [4].

Vremenska konstanta τ se računa prema formuli:

$$\tau = 0{,}7 * R * C. \qquad (2)$$

U ovom slučaju R iznosi 150 kΩ dok C ima vrednost od 100 μF. Iz tog razloga produženo vreme τ iznosi oko 10 s. Kolo sa ovim vrednostima je simulirano u programu *LTSpice* (slika 8a). Kursor kod rezultata simulacije ukazuje na produženo vreme od 10,34 s (slika 8b).



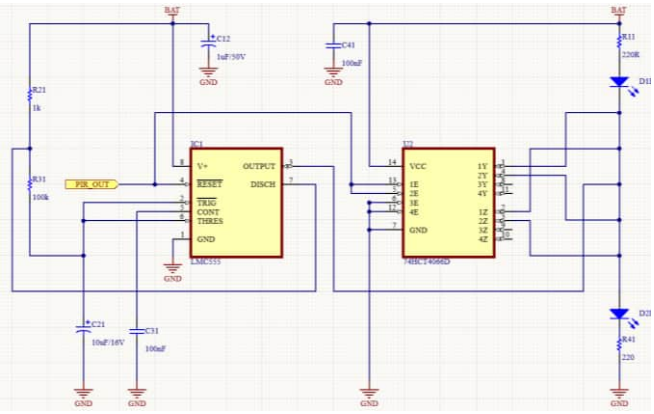
a)

b)

Slika 8. a) Električna šema simulacije monostabilnog multivibratora u programu *LTSpice*; b) Rezultati simulacije.

C. Šema treptača – blok Flasher

U centru šeme treptača (slika 9) je tajmer, integrisano kolo LMC555, koje radi u astabilnom režimu i predstavlja kontinuirani izvor pravougaonih impulsa koji aktiviraju LE diode. U pitanju je CMOS verzija standardnih 555 tajmera, a njegova prednost se ogleda u tome što troši manje struje od standardnih tajmera.

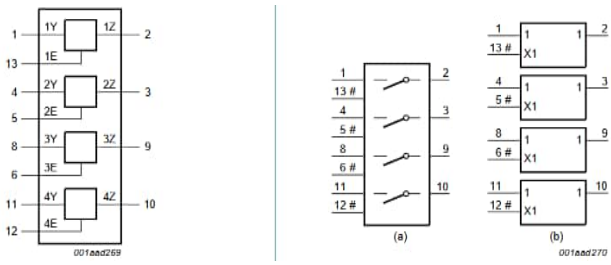


Slika 9. Električna šema bloka treptača.

Kolo *Flasher*-a [5] radi tako što pin okidača (Pin-2) i pin praga (Pin-6) 555 tajmera IC1 detektuju napone i kontrolišu izlaz. Ako pin okidača detektuje napon manji od 1/3 napona napajanja, on postavlja izlaz na ON. Ako pin praga detektuje napon veći od 2/3 napona napajanja, izlaz postaje OFF. Kad god je izlaz tajmera u OFF stanju, pin za pražnjenje (Pin-7) interno je povezan na 0 V.

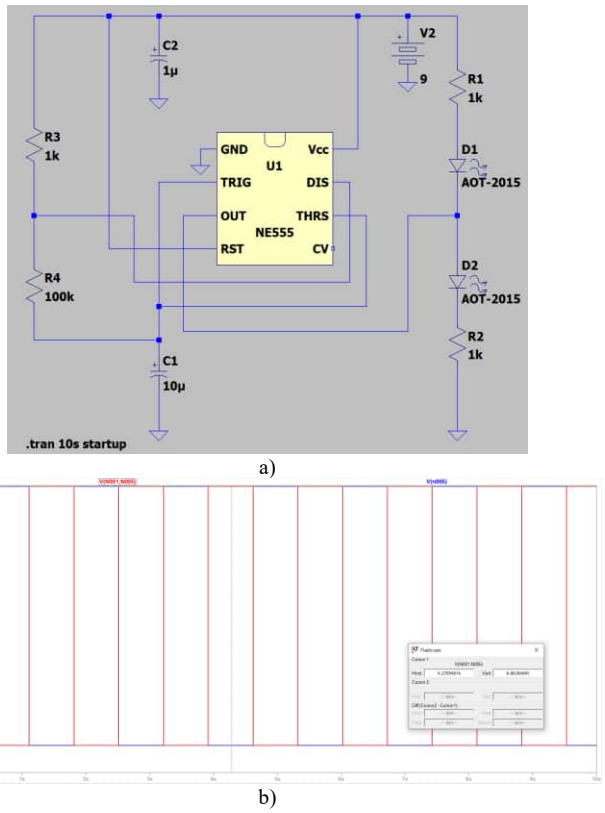
Odmah nakon uključenja napajanja, kondenzator (C21) će biti u ispražnjenom stanju i tako će napon na Pin-2 biti 0 V. Pošto je ovaj napon manji od 1/3 napona napajanja, izlaz je ON. Istovremeno će se Pin-7 interno odvojiti od mase i tako kondenzator počinje da se puni preko otpornika R31 i R21. Odmah nakon što napon na kondenzatoru (C21) pređe 2/3 napona napajanja, Pin-6 postavlja izlaz na OFF. Istovremeno će se Pin-7 ponovo interno povezati na masu, što rezultira pražnjenjem kondenzatora preko otpornika R31. Kada napon na kondenzatoru padne ispod 1/3 napona napajanja, Pin-2 će postaviti izlaz na OFF i ceo ovaj ciklus se kontinualno ponavlja (ne računajući inicijalno punjenje kondenzatora).

Korišćen je i četvorostruki analogni prekidač 74HCT4066 koji zatvara kolo kada se na E pinu pojavi logička jedinica, a otvara kolo u slučaju logičke nule. Ovo omogućava preciznu kontrolu struje *Flasher*-a. Kada na ulaze 1E i 2E dođe visoki naponski nivo prekidači na diodama se zatvaraju i počinje da teče struja. Ulazi 3E i 4E su vezani na masu tako da su njihovi izlazi uvek „LOW“. *Enable* pin je vezan na izlaz monostablinog multivibratora, prekidači (1E i 2E) su u zatvorenom položaju za vreme produženog signala tj. za vreme trajanja alarma. Na slici 10 je prikazan raspored pinova 74HCT4066 prekidača [6].



Slika 10. Raspored pinova 74HCT4066 prekidača [6].

U programu *LTSpice* simulirano je kolo treptača (slika 11a). Umesto LMC555 je korišćen NE555 SPICE model. U simulaciju nije uključen 74HCT4006 prekidač. Rezultati simulacije prikazuju naizmenično uključivanje dioda. (slika 11b).



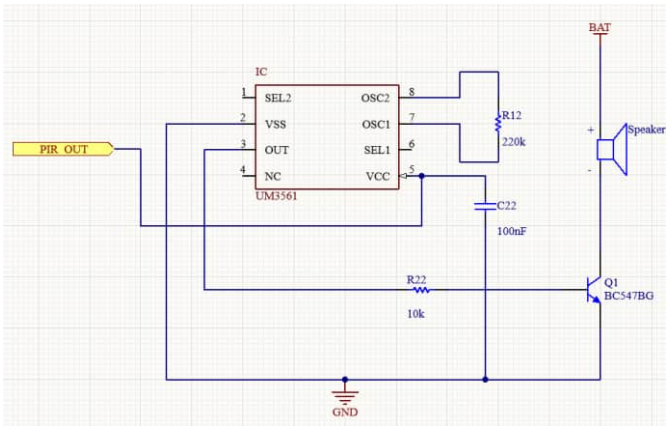
a)

b)

Slika 11. a) Električna šema simulacije treptača u programu *LTSpice*; b) Rezultati simulacije.

D. *Šema zvučnika – blok Speaker*

Korišćeno je integrisano kolo UM3561, koje može da generiše četiri tipa zvučnih signala. Najčešća primena je u igračkama i alarmnim sistemima. Radi sa napajanjem u opsegu 3 V-5 V. Izlazni signal koji ovo kolo generiše nije dovoljan za pokretanje zvučnika, pa se za pojačavanje signala na izlaz kola postavlja bipolarni tranzistor. Električna šema *Speaker* bloka prikazana na slici 12 je rađena u programu *Altium Designer*.



Slika 12. Električna šema bloka zvučnika.

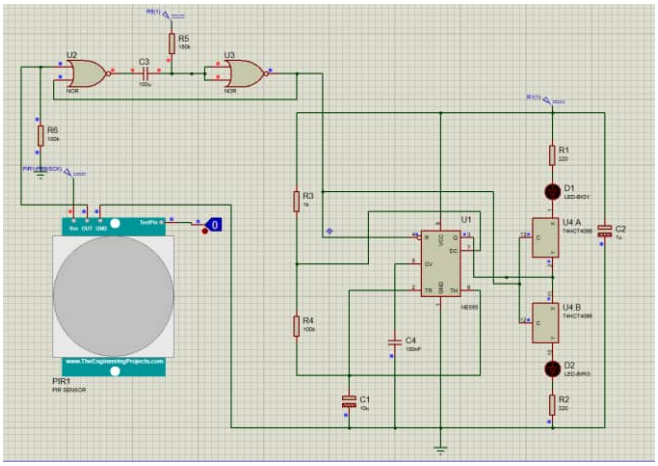
SEL1 i SEL2 su *Sound Effect Selection* pinovi, tj. pinovi od čije konfiguracije zavisi koji zvučni signal će integrisano kolo da emituje. U ovom slučaju ovi pinovi nisu povezani tako da zvučnik proizvodi signal policijske sirene. U tabeli II su prikazne moguće konfiguracije pinova za dobijanje četiri tipa zvučnih signala.

TABELA II. KONFIGURACIJE PINOVA ZA DOBIJANJE ČETIRI TIPA ZVUČNIH SIGNALA.

SEL 1	*SEL 2*	*Zvučni signal*
NC	NC	Policijska sirena
Vdd	NC	Vatrogasna sirena
Vss	NC	Ambulantna sirena
X	Vdd	Rafal mitraljeza

III. SIMULACIJA PROJEKTA U *PROTEUS*-U

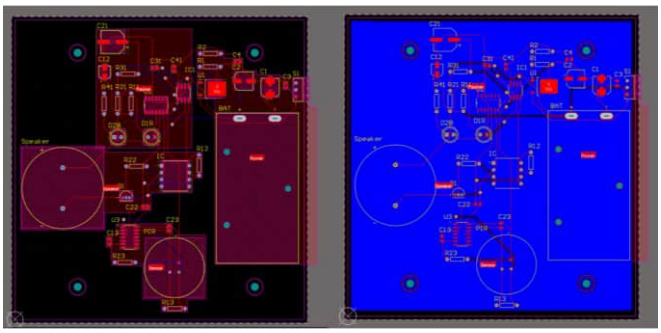
Softverski alat *Proteus* je korišćen za simulaciju projekta povezivanjem senzorskog bloka, monostabilnog multivibratora, NE555 tajmera i *Flasher* kola sa ciljem provere kako ovi blokovi međusobno interaguju. TestPin na PIR senzoru simulira detekciju pokreta. Kada korisnik u simulaciji pritisne *toggle*, PIR senzor menja stanje iz logičke „0“ u logičku „1“. Ovo služi kao okidački impuls prikazan na prvom grafiku slike 7. Nakon što „detektuje“ pokret, PIR senzor šalje impuls koji preko bloka multivibratora i NE555 tajmera aktivira diode koje počinju naizmenično da svetle. Zbog nedostupnosti modela kola UM3561 u biblioteci *Proteus*-a, u ovoj simulaciji nije prikazan blok *Speaker*. DC generatori R1(1), R5(1) i PIR1(PB5/SCK) predstavljaju napajanje dobijeno iz baterije i regulatora *Power* bloka. R1(1) i PIR1(PB5/SCK) imaju vrednost od 9 V (vrednost baterije) dok R5(1) ima vrednost nakon regulacije, tj. 3,8 V. Šema na slici 13 prikazuje simulaciono kolo *Sensor* i *Flasher* blokova.



Slika 13. Električna šema za simulaciju *Sensor* i *Flasher* blokova u programu *Proteus*.

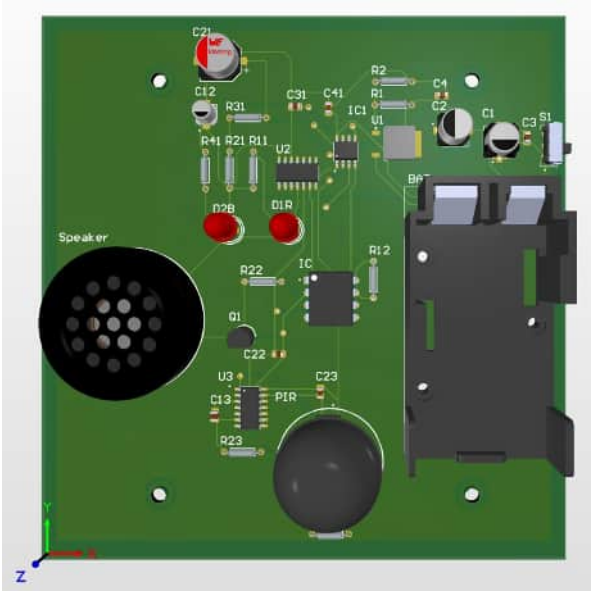
IV. 2D I 3D PRIKAZ PCB-A U *ALTIUM DESIGNER*-U

Kako bi se komponenta smestila u 2D prikaz (*layout*) štampane ploče, njenom simbolu mora se dodeliti otisak (*footprint*). Otisak komponente na PCB-u poseduje informacije kao što su *cooper masks layout*, maske za lemljenje, *silkscreen*, rupe za montažu i raspored pinova. Nakon pozicioniranja komponenata radi se rutiranje i izlivanje digitalne mase. Na slici 14 je prikazan layout PCB-a pre izlivanja mase i nakon izlivanja mase.



Slika 14. 2D prikaz PCB-a pre izlivanja mase i nakon izlivanja mase.

Za prikaz PCB-a u 3D prostoru, potrebno je svakoj komponenti dodeliti 3D model. Neke komponente uz otisak imaju već ugrađen model dok se druge ručno pozicioniraju. Na slici 15 je dat 3D prikaz štampane ploče.



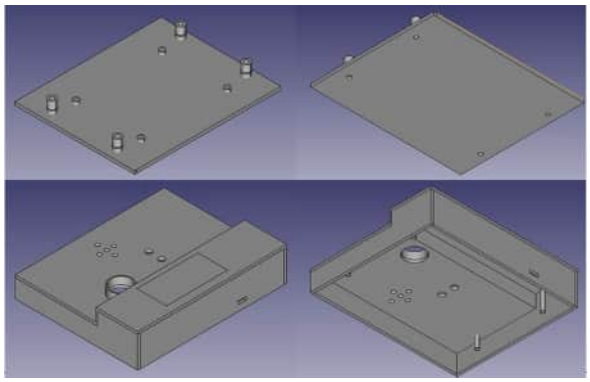
Slika 15. 3D prikaz PCB-a.

V. KUTIJA SA MONTIRANOM ŠTAMPANOM PLOČOM

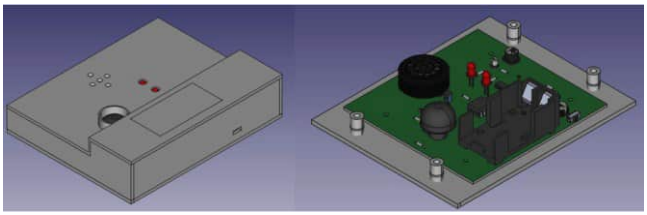
Softverski alat *FreeCAD* je korišćen za kreiranje kutije za smeštanje štampane ploče projektovane u *Altium Designer*-u. Kutija (slika 16) se sastoji iz dva dela, tj. *assembly*-a: *Top* i *Bottom*. *Bottom* panel ima stubiće za montiranje PCB-a i stubiće koji služe za povezivanje sa gornjim delom kutije. Kako je držač baterija viši nego komponente, gornji deo kutije ima dve različite visine. Ovo je ključno jer otvori za LE diode, zvučnik i PIR senzor moraju biti u nivou komponenti. Na gornjoj površini *Top* panela se nalaze otvori za komponente i vrata za pristup držaču baterija. Na donjem delu se nalaze stubići koji služe za spajanje gornjeg dela sa donjim delom. Na bočnoj strani se nalazi još jedan otvor za klizač prekidača.

U ovom delu rada prikazana je moguća realizacija kutije u koju bi se smestila štampana ploča. Autori su projektovali bazičnu kutiju koja može da se unapredi na razne načine, da bi bila što atraktivnija potencijalnim korisnicima. Na primer, može da se promeni boja kutije ili njen oblik, ili odštampa logo kompanije koja je proizvođač igračke. Uz saradnju sa grafičkim dizajnerom su mogućnosti modifikacija kutije praktično beskonačne.

Na slici 17 prikazan je izgled sklopljenog modela igračke i PCB montiran u *Bottom* panel kutije.



Slika 16. Kutija – *Bottom* panel (gore) i *Top* panel (dole).



Slika 17. Izgled sklopljenog modela igračke (levo) i PCB montiran na *Bottom* panel kutije (desno).

VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan dizajn elektromehaničkog modela (PCB i kutija) dečije igračke za detekciju pokreta. Kada PIR senzor detektuje pokret, šalje signal koji aktivira 2 LE diode i kolo UM3561. Diode počinju naizmenično da svetle crvenom i plavom bojom a kolo UM3561 emituje zvuk policijske sirene. Dužina trajanja jednog ciklusa zavisi od izabranih vrednosti kondenzatora i otpornika u kolu monostabilnog multivibratora.

Ovaj sistem se može modifikovati na različite načine. Na primer, mogu se promeniti vrednosti kondenzatora i otpornika u kolu multivibratora da bi se dobio duži ili kraći signal. Zavisno od primene, glavni nedostatak monostabilnog multivibratora sa dva NOR kola je moguće rešiti dodavanjem jednog AND kola preko kog bi se kondenzator praznio. Takođe je moguće koristiti diode drugih boja, ili promeniti tip zvučnog signala koji emituje kolo UM3561 kada PIR senzor detektuje pokret. Ovaj projekat može da se koristi kao igračka za decu ili kao funkcionalni alarmni sistem, uz određene modifikacije. Na primer, za alarmni sistem je potreban osetljiv i visoko kvalitetan PIR senzor, dok kod igračke za decu može da se koristi i PIR senzor sa manjom osetljivošću. Takođe, izgled kutije zavisi od namene, za alarmni senzor je potrebna diskretnija, jednobojna kutija, dok su za dečiju igračku poželjne raznovrsne modifikacije koje bi joj dale zanimljiviji izgled.

ZAHVALNICA

Autori rada se zahvaljuju profesorima dr Zoranu Prijiću, dr Danijelu Dankoviću i mast. inž. Aleksandri Stojković, na izdvojenom vremenu, sugestijama i pomoći pri izradi ovog projekta.

LITERATURA

[1] „A Journey Through Time: The History of Toys“. Dostupno na: https://www.bookbaker.com/en/v/A-Journey-Through-Time-The-History-of-Toys-Toys-and-Technology-From-Mechanical-to-Digital/8a41840e-9a5f-48b6-ba59-7e9cc5e294a3/8

[2] Shirley Leung, „Are toy PCBs the same as regular PCBs?“, 2024. Dostupno na: https://www.linkedin.com/pulse/toy-pcbs-same-regular-shirley-leung-cvlyc

[3] „Spy Gear Micro Agent Motion Alarm Toy“. Dostupno na: https://www.amazon.in/Spy-Gear-Micro-Agent-Motion/dp/B00KES43Z6

[4] „Monostable Multivibrator“. Dostupno na: https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/monostable.html

[5] „Adjustable Flashing/Blinking LED Circuit using 555 Timer IC“. Dostupno na: https://elonics.org/adjustable-led-flasher-using-555-timer/

[6] „74HCT4066 - Quad single-pole single-throw analog switch“, Product data sheet. Dostupno na: https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT4066.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.103V
Original scientific paper

Mini CNC ploter baziran na Arduinu

Mihajlo Videnović
učenik četvrte godine
ETŠ Nikola Tesla
Niš, Srbija
mihvid2006@gmail.com
ORCID: N/A

Đorđe Jovanović
učenik četvrte godine
ETŠ Nikola Tesla
Niš, Srbija
jdjordje1211@gmail.com
ORCID: N/A

Aleksa Zdravković
učenik druge godine
ETŠ Nikola Tesla
Niš, Srbija
aleksazdravkovicskola@gmail.com
ORCID: N/A

Mirko Mladenović
profesor grupe tehničkih predmeta
ETŠ Nikola Tesla
Niš, Srbija
mircevojvoda@gmail.com
ORCID: N/A

Saša Todorović
profesor grupe tehničkih predmeta
ETŠ Nikola Tesla
Niš, Srbija
sasa_todorovic72@hotmail.com
ORCID: N/A

Dejan Batanjac
profesor grupe tehničkih predmeta
ETŠ Nikola Tesla
Niš, Srbija
dejan.batanjac@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Ovaj rad daje prikaz razvoja CNC plotera, uz pomoć lako dostupnih elektronskih komponenti, zasnovan na popularnoj Arduino platformi. Dajemo detalje konstruisanja uređaja sposobnog za precizno crtanje složenih vektorskih modela kao i pregled potrebnog hardvera i softvera otvorenog koda za upravljanje CNC ploterom uz pomoć specijalizovanog jezika G-code.**

Ključne reči—CNC ploter, G-code, Arduino platforma

I. UVOD

Teorijska znanja iz oblasti elektronike, programiranja i mehatronike najbolje se usvajaju kroz praktičan rad. CNC mašine, kao osnova moderne proizvodnje i ključni element današnje industrijske automatizacije, pružaju studentima jedinstvenu priliku da razvijaju veštine koje su neophodne za buduću karijeru u inženjerstvu.

Danas je CNC tehnologija postala dostupnija zahvaljujući otvorenom kodu, ali i dalje predstavlja značajnu investiciju. Kako bismo omogućili učenicima da se upoznaju sa ovom tehnologijom bez ograničenja u korištenju programskog jezika G-code, a istovremeno pronašli krajnje ekonomično rešenje, razvili smo ovaj projekat.

Kroz izradu CNC plotera, učenici se upoznaju sa osnovama G-code programskog jezika, mikrokontrolera, step i servo motora i drugih komponenti koje se koriste u automatizaciji.

II. G-CODE

G-code je programski jezik koji se koristi za kontrolu CNC (*Computer Numerical Control*) sklopova [1]. Ovaj jezik omogućava precizno definisanje pokreta alata i operacija koje se izvršavaju. G-code je univerzalan i prilagodiv jezik i sreće se na svim otvorenim CNC sklopovima poput plotera, glodalica, bušilica i slično.

G-code se sastoji od niza alfanumeričkih instrukcija koje definišu različite postavke i pokrete. Koristimo dva osnovna tipa G-code instrukcija. Prvi, koji se koristi za kalibraciju CNC sklopa, i drugi koji se koristi za pokretanje alata, u našem slučaju keramičke pisaljke.

A. G-code za kalibraciju sklopa

Kalibracija CNC sklopa je proces definisanje parametara sklopa. Na primer, koliko koraka CNC sastav treba da izvrši po X-osi da bi se glava mašine pomerila za 1 cm. Primer jedne ovakve komande upravo za kalibraciju X-ose u komandnoj liniji bio bi: $100=250.000. Da izlistamo kalibracione postavke CNC sklopa koristimo naredbu $$. Tako smo u [2] dali precizne instrukcije koje koristimo da kalibrišemo naš sklop.

B. G-cod za pokretanje

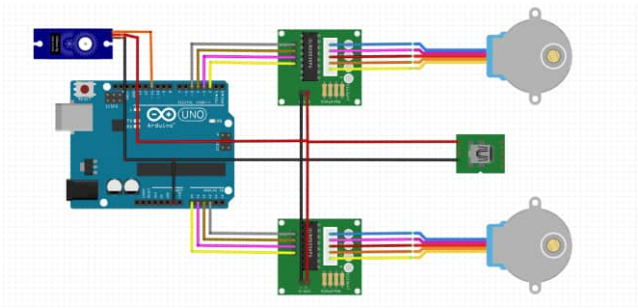
Kodovi za pokretanje su raznovrsni programski zapisi koji počinju slovom G, odakle i naziv G-code. Za detaljno objašnjenja G-code instrukcija videti [3]. U našem slučaju, koristimo softversko rešenje otvorenog koda za automatsko generisanje G-code na osnovu slike. I premda, G-code koji dobijamo u potpunosti zadovoljava potrebe, pokazalo se da je poznavanje osnovnih G-code instrukcija bilo neophodno u procesu testiranja projekta. Proces testiranja, podrazumevao je pravljenje mini programa za iscrtavanje geometrijskih primitiva. Tako, naredbe koje počinju kodom G0, koristimo za brzo pozicioniranje pisaljke, kodovi koji počinju sa G1 se koriste za linearno pokretanje pisaljke sa kontrolisanom brzinom kretnje, kodove G2/G3 koristimo za pomeranje pisaljke po kružnoj putanji, a kodove G90/G91/G92, koristimo redom, za za izbor apsolutnih ili relativnih koordinata sastava, i za postavljanje nulte pozicije.

III. HARDVERSKE KOMPONENTE

Projekat je baziran na Arduino Uno pločici koja koristi ATmega328 mikrokontroler. Za pokretanje pisaljke po X i Y osi koristimo unipolarne step motore 28BYJ-48, koji idu pridruženi sa drajverima ULN2003A. Za podizanje i spuštanje pisaljke koristimo servo motor SG90.

Micro USB kontektor služi da da dotatno napajanje sklopu. Šema povezivanja elektrčnih delova data je na slici 1. Za potrebe projekta koristimo set plastičnih delova koji se može preuzeti u stl formatu [4]. Krajnji dizajn za 3D štampanje nastao je nakon niza modifikacija i nakon uočavanja manjkavosti ranijih stl modela. Naš CNC sklop dodatno zahteva i:

- set čeličnih vođica prečnika 5 mm dužine oko 16 cm,
- zubčasti kaiš,
- ramenice GT2 20T,
- pisaljke sa keramičkim vrhom,
- kratkospojnike.



Slika 1: Šema povezivanja.

Nakon testiranja, keramička pisaljka pokazala se kao idealno rešenje. Druga rešenja poput kuglastih olovki, flomastera ili grafitnih olovki nisu bila dovoljno efikasna ili nisu davala dovoljno kvalaitetan trag crtanja. Dodatno, a što pisaljke sa keramičkim vrhom čini dobrim izborom je mogućnost lakog menjanja istih. Kompletna lista svih komponenti sa objašnjenima data je u [5] kao i YouTube video koji nam je bio inspiracija.

IV. SOFTVERSKE KOMPONENTE

Softverski alati koje koristimo su u potpunosti otvorenog koda. Mogu se podeliti u dve grupe alata: prva grupa generiše G-code, na osnovu slika ili vektorske grafike, a druga grupa služi da pošalje G-code na Arduino UNO pločicu i tom prilikom se G-code instrukcije prevode u pokrete aktuatora.

A. Softver za generisanje G-code

Iako je bilo različitih rešenja koje smo razmatrali, kao zadovoljavajuće rešenje, pokazao se open source program Inkscape. Verzija koja je korišćena može se preuzeti sa [6]. Inkscape je opremljen za proces pretvaranja rasterske slike u vektorsku grafiku—*tracing*. Da bi vektorsku grafiku dalje konvertovali u G-code koristimo MI ekstenziju za Inkscape [7]. Proces konverzije vektorske grafike u G-code dodatno se može specificirati korišćenjem MI ekstenzije [8].

B. Softver za slanje G-code na Arduino (UGS)

UGS *Universal Gcode Sender* je besplatan softver otvorenog koda [9] koji se koristi za upravljanje CNC sklopovima. Ovaj softver omogućava korisnicima da šalju G-code naredbe direktno na CNC platformu putem USB serijske veze.

UGS pruža korisnički interfejs koji omogućava korisnicima da učitavaju, pregledaju i pošalju G-code programe na CNC. Takođe, omogućava monitoring statusa platforme i praćenje izvršavanja G-code programa u realnom vremenu.

Ovaj softver je popularan zbog svoje podrške za različite CNC mašine i operativne sisteme, ali i zbog njegove otvorenosti i mogućnosti prilagođavanja. Rađen je u Javi.

Instalacija Jave je nužna da bi UGS radio. Uobičajeno, Windows operativni sistem ne dolazi sa instaliranom *Java Runtime Environment (*JRE*)*. Za rad sa UGS nije nam neophodno Java razvojno okruženje - JDK (*Java Developement Kit*), dovoljno je instalirati - JRE *runtime environment.*

C. JSSC

JSSC (*Java Simple Serial Connector*) je biblioteka koja omogućava komunikaciju između Java aplikacija i serijskih uređaja putem serijskog porta. Ova biblioteka omogućava Java programerima da lako pristupe serijskim portovima na različitim platformama (Windows, Linux, Mac) i komuniciraju sa različitim serijskim uređajima, u našem slučaju sa Arduino pločicom.

Glavne funkcije JSSC biblioteke uključuju:

- Pristup serijskim portovima,
- Pisanje i čitanje podataka,
- Kontrola parametara serijske veze,
- Asinhrona komunikacija.

D. GRBL uploader

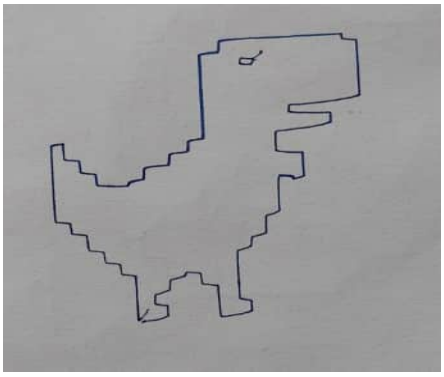
Osnovna varijanta Arduino GRBL uploadera na koji referišemo se može preuzeti sa GitHub linka [10]. GRBL uploader sadrži bitnu podršku za rad sa unipolarnim step motorima, jer originalno, UGS podržava samo bipolarne step motore. Rešenje koja smo našli na internetu, za GRBL uploader, na žalost nije radilo, zbog čega smo napravili modifikacije [11].

V. PROCES CRTANJA

Proces koji smo uspostavili omogućava nam da bilo koju rastersku sliku prevedemo u vektorsku bitmapu uz pomoć Inkscape programa i potom uz pomoć MI ekstenzije za Inkscape dobijemo kvalitetan G-code sa ekstenzijom .gcode. Ovu datoteku potom šaljemo u UGS koji se povezuje na Arduino UNO pločicu serijskom konekcijom. Arduino UNO pločica na sebi ima MEGA16U2 čip za serijsku komunikaciju koji dispečuje sadržaj G-code i dalje šalje do mikrokontrolera ATmega328P koji prevodi G-code u pokrete aktuatora.

A. Testiranje

Na Slici 2 možemo videti kako izgleda iscrtani dinosaurus u početnoj fazi testiranja. Kasnije smo uspeli da izbegnemo mnoge artefakte poput trepavice sa slike 2 koji nastaju u trenutku kada se pisaljka podiže sa papira. Primetili smo da je veoma bitno kontrolistati pritisak olovke na papir da bi se ovakvi artefakti izbegli.



Slika 2. Iscrtani dino.

B. Planovi za budućnost

U budućnosti planiramo da stvorimo rešenje tj. algoritm za konverziju portreta u G-code, gde bi se na CNC mašini iscrtale konture portreta zainteresovanih prolaznika u

vremenu kraćem od 5 minuta. Planiramo eksperimentisati sa različitim metodama za smanjenje broja linija, tj. potrebnih pokreta alata kako bismo povećali brzinu obrade.

VI. Zaključak

CNC mašine predstavljaju moćan alat u novom dobu robotike. Sagledavamo potrebe buduće industrije i zaključujemo da veštine CNC programiranja postaju ključne u opštoj automatizaciju koja nastupa. Ovde nudimo jedan otvoreni CNC sistem, kao ekonomično rešenje i platformu za učenje, koji je nadogradiv.

Literatura

[1] Definicija CNC. Dostupno na: https://bs.wikipedia.org/wiki/CNC_ma%C5%A1ina

[2] Kalibracija CNC sklopa. Dostupno na: https://docs.google.com/document/d/ 1qA6SEK35Q-p5wwXjTD9l1F1KC1YHoYs8Q4enB2QX4Zs/edit?usp=sharing

[3] G-code Explained - List of Most Important G-code Commands. Dostupno na: https://howtomechatronics.com/tutorials/g-code-explained-list-of-most-important-g-code-commands/

[4] CNC plastični delovi za 3D printing. Dostupno na: https://drive.google.com/file/d/ 12zErHse33GQDkeZYzxSx_rLwwD-nMp8p/view?usp=sharing.

[5] Listing komponenti. Dostupno na: https://docs.google.com/document/d/ 15hscN18iKAvLLpACYs7GgEsYr6Z7jh8Cny_544JbwTo/edit?usp=sharing

[6] Inkscape. Dostupno na: https://inkscape.org/release/inkscape-0.48.5/windows/32-bit/exe/dl/.

[7] MI Inkscape ekstenzija. Dostupno na: https://drive.google.com/file/d/ 12zErHse33GQDkeZYzxSx_rLwwD-nMp8p/view?usp=sharing.

[8] Specifikacija konverzije. Dostupno na: https://docs.google.com/document/d/ 11MZjAolzGKWyuwD_ocxkVnMuueGYhvZ3OTB1blpyeb4/edit?usp=sharing.

[9] UGS softver za slanje G-code. Dostupno na: https://drive.google.com/file/d/ 1B9yNm_c3tRQw9LZs2ktyqjNahYPpFJMS/view?usp=sharing.

[10] GRBL uploader. Dostupno na: https://github.com/ruizivo/GRBL-28byj-48-Servo.

[11] Modifikovana GRBL verzija. Dostupno na: https://github.com/dejanbatanjac/minCn

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.107P
Original scientific paper

Projektovanje kontrolera saobraćajne raskrsnice korišćenjem FPGA tehnologije

Marija Petrović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet Niš
Niš, Serbia
marija.petrovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Miloš Milojević
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet Niš
Niš, Serbia
mikimilojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

Dušan Simić
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet Niš
Niš, Serbia
simic.dusan@elfak.rs
ORCID: N/A

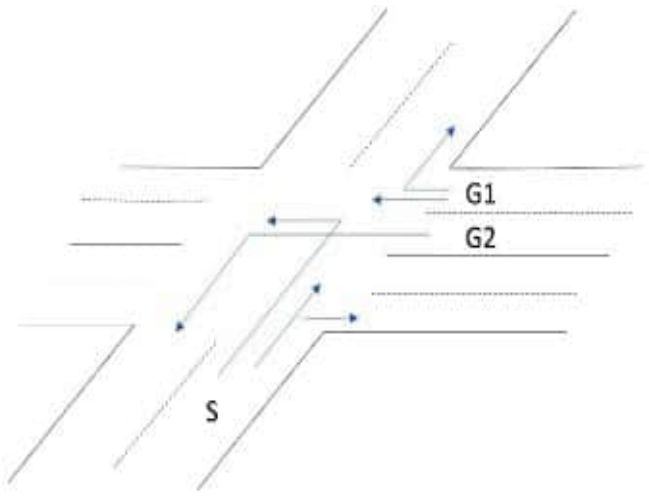
***Sadržaj*—Analiza, implementacija i evaluacija FPGA sistema kao kontrolera saobraćajne raskrsnice, uključujući crvene, žute i zelene LE diode, uz pomoć VHDL koda.**

Ključne reči—FPGA, raskrsnica, semafor, VHDL.

I. Uvod

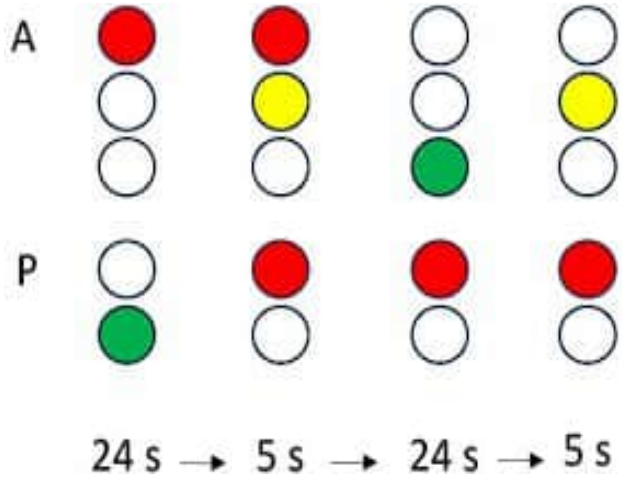
Cilj ovog rada je kreiranje inovativnog rešenja koje integriše FPGA tehnologiju i VHDL jezik za opis kola kako bi se efikasno upravljalo saobraćajnom raskrsnicom

Na slici 1 prikazana je raskrsnica za koju je razvijen saobraćajni kontroler. Fokus rada je na implementaciji sistema koji optimalno upravlja semaforima na osnovu specifičnih uslova raskrsnice. Automobili koji se kreću glavnom ulicom (G) mogu nastaviti kretanje pravo ili skrenuti desno, čime upravlja semafor G1, a semafor G2 upravlja vozilima koja skreću levo. Automobili koji se kreću sporednom ulicom (S) mogu nastaviti ići pravo, skrenuti levo ili desno, čime upravlja semafor S. Pored toga, potrebno je postaviti semafore za pešake na glavnoj i sporednoj ulici.



Slika 1. Skica raskrsnice.

Slika 2 prikazuje način rada semafora, za automobile i pešake koji moraju biti u jednom od četiri stanja u datom vremenskom intervalu. Posebno se ističe da glavna ulica poseduje dva semafora koji rade sinhronizovano, od kojih samo semafor G1 (sa desne strane) može imati uslovno zeleno svetlo za skretanje desno. Posebna pažnja posvećena je situaciji kada na semaforu za glavnu ulicu svetli crveno. U tom trenutku se aktivira uslovno zeleno svetlo za skretanje desno, pružajući dodatnu fleksibilnost i optimizaciju drumskog saobraćaja.



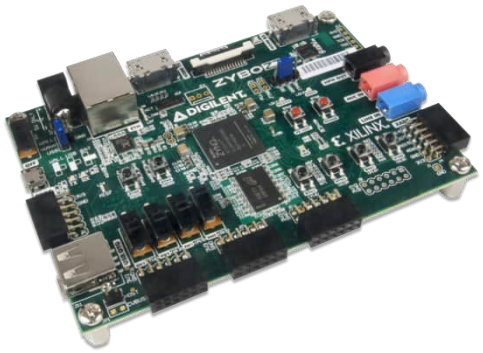
Slika 2. Način rada semafora: A-automobili, P-pešaci.

Pored semafora koji se odnose na vozila, potrebno je implementirati sistem semafora za pešake koji će raditi u harmoniji sa samim semaforima za vozila.

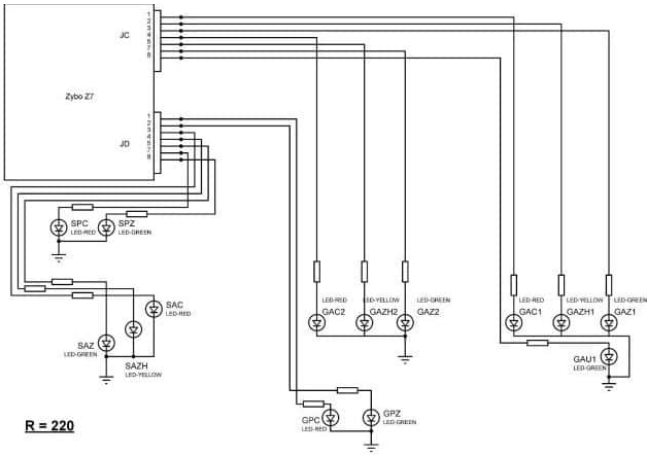
II. Hardver

FPGA (*Field Programmable Gate Array*) je komponenta čija se unutrašnja struktura konfiguriše pomoću jezika za opis hardvera (*HDL*). Osnovna karakteristika FPGA je njegova programabilnost, što znači da korisnik može više puta da programira FPGA čip kako bi izvršavao različite funkcije. Za realizaciju sistema korišćena je Zybo Z7 ploča koja sadrži Xilinx Zynq-7000 SoC (*System on Chip*), ARM Cortex-A9 procesor, kao i periferije poput tastera, LE dioda i 6 portova sa ulaz/izlaz pinovima.

Pored ploče prikazane na slici 3, u okviru hardvera, na raspolaganju su crvene, žute i zelene LE diode koje predstavljaju svetla na semaforima, zajedno sa otpornicima i otpornim mrežama sa kojima su vezane na protoploči. Na slici 4 prikazana je električna šema sistema.



Slika 3. Zybo Z7 razvojna ploča.



Slika 4. Električna šema sistema.

III. Softver

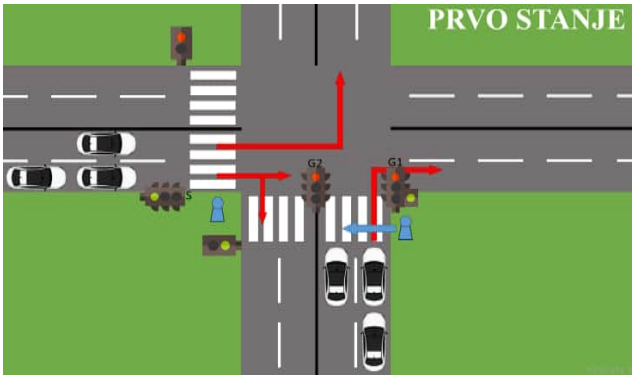
VHDL (*Very High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*) je jezik namenjen za opisivanje hardvera, koji se koristi za modelovanje i simulaciju digitalnih sistema. Primenjuje se u svim fazama projektovanja digitalnih integrisanih kola: od opisa i simulacije, preko sinteze, do dokumentacije. VHDL omogućava inženjerima da precizno definišu funkcionalnost i arhitekturu digitalnih sistema pre njihove fizičke realizacije.

IV. Opis rešenja

Cilj rada je simuliranje okruženja koje pruža potpunu bezbednost svim korisnicima raskrsnice. Sa tim, kao i sa datim uslovima rada raskrsnice na umu, sistem semafora je projektovan u četiri stanja rada koja se menjaju ciklično.

Na slici 5. prikazan je inicijalan rad semafora. U ovom stanju automobilima na glavnoj ulici onemogućeno je kretanje istom. Ovo znači da pešacima na glavnoj, kao i vozilima na sporednoj ulici, semafor svetli zeleno. Shodno tome, i pešacima na sporednoj ulici prolaz je zabranjen. Takođe, treba napomenuti drugi semafor na glavnoj ulici koji ukazuje uslovno kretanje vozila sa glavne na sporednu ulicu uz propust automobila već uključenih u saobraćaj. Ovo stanje traje 24 sekunde.

Drugo stanje prikazano je na slici 6. Sada semafori za automobile na glvnoj ulici pokazuju žuto i crveno svetlo kao znak da će uskoro osvetleti zeleno. Prema tome treba se zabraniti prelaz pešaka preko glavne ulice. Na sporednoj ulici se uključuje žuto svetlo za automobile, dok za pešake ostaje crveno. Stanje 2 se može posmatrati kao međustanje, i kao takvo traje samo 6 sekundi.

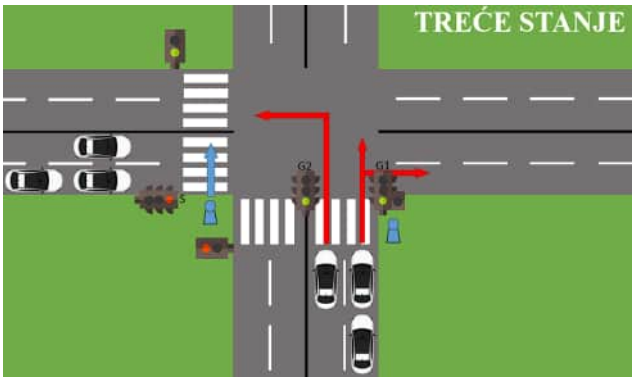


Slika 5. Prvo stanje semafora.



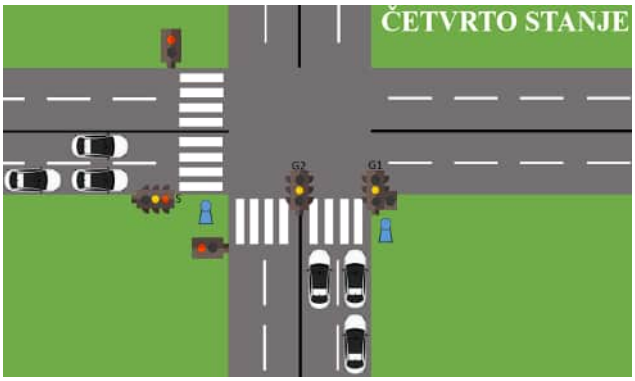
Slika 6. Drugo stanje semafora.

U trećem stanju, prikazanom na slici 7, automobilima na sporednoj ulici zabranjen je, odnosno automobilima na glavnoj ulici dozvoljen je prolaz, kao što je i nagovešteno u stanju 2. Kako logika nalaže, omogućen je prolaz pešaka sporednom ulicom, dok je pešacima na glavnoj ulici prolaz zabranjen. Kao i stanje 1, stanje 3 traje 24 sekunde.



Slika 7. Treće stanje semafora.

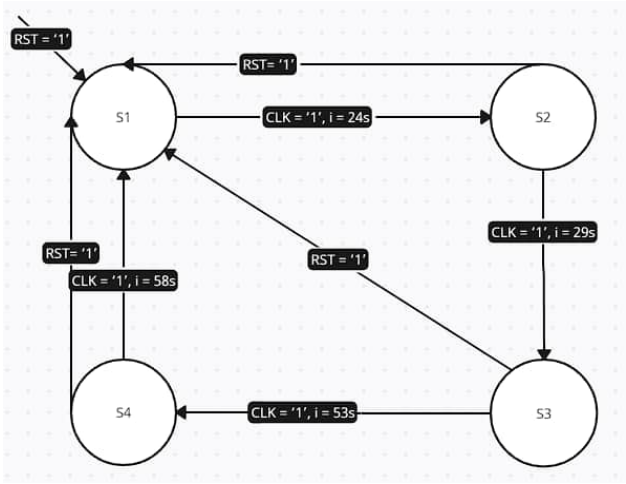
Poslednje, četvrto stanje prikazano je na slici 8. Slično je stanju 2 po tome što se može okarakterisati kao međustanje. Baš kao i drugo, i ovo stanje traje 6 sekundi. Žuta svetla na semaforima glavne ulice ukazuju na sledeće crveno svetlo, tj. zabranu prolaska. Obrnuto tome, žuto svetlo na semaforu sporedne ulice služi kao indikacija za sledeće zeleno svetlo. Po završetku ovog, sistem se vraća u inicijalno stanje odakle se ceo proces ponavlja do isključenja.



Slika 8. Četvrto stanje semafora.

V. OPIS KODA

U ovom poglavlju biće opisana funkcionalnost sistema kroz VHDL kod. Ponašanje sistema zavisi od stanja signala RST i CLK i predstavljeno je uz pomoć konačnog automata prikazanog na slici 9. Automat ima četiri stanja (S1, S2, S3, S4), pri čemu prelazi između stanja zavise od vrednosti signala i vremenskih intervala.



Slika 9. Dijagram stanja semafora.

Svaki kod napisan u VHDL-u se sastoji iz tri dela: deklaracije biblioteka i paketa, deklaracije entiteta i opis arhitekture. Entitet definiše interfejs digitalnog sistema, odnosno opisuje njegove ulaze, izlaze i osnovnu srukturu na visokom nivou. On ne sadrži nikakve detalje o implementaciji funkcionalnosti, već samo opisuje kako će se komponenta povezati sa drugim delovima sistema. Arhitektura, sa druge strane, definiše strukturu i ponašanje hardverskog sistema. Ona definiše logiku i funkcionalnost.

Na početku pisanja programa se deklariše standardna biblioteka *IEEE* zajedno sa njenim paketima (slika 10). Ovo je neophodno kako bi bio moguć rad sa logičkim signalima i izvršavanje aritmetičkih operacija.

```
LIBRARY IEEE;

USE IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

USE IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;

USE IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;
```

Slika 10. Deklaracija biblioteka i paketa.

Zatim je u kodu deklarisan entitet pod nazivom semafor u kojem su definisani smer i tip svih signala koji se koriste u daljem delu programa. Entitet koda je prikazan na slici 11.

```
ENTITY semafor IS

    PORT (
        -- CLK i RST signali
        clk : IN STD_LOGIC;
        rst : IN STD_LOGIC;
       -- clk_10M : out std_logic;

        -- Glavna ulica automobili sa uslovnim
        GAC1 : OUT STD_LOGIC; -- Crveno
        GAZH1 : OUT STD_LOGIC; -- Zuto
        GAZ1 : OUT STD_LOGIC; -- Zeleno
        GAU1 : OUT STD_LOGIC; -- Uslovno (radi

        -- Glavna ulica automobil
        GAC2 : OUT STD_LOGIC; -- Crveno
        GAZH2 : OUT STD_LOGIC; -- Zuto
        GAZ2 : OUT STD_LOGIC; -- Zeleno


        -- Glavna ulica pesaci
        GPC : OUT STD_LOGIC; -- Crveno
        GPZ : OUT STD_LOGIC; -- Zeleno

        -- Sporedna ulica automobili
        SAC : OUT STD_LOGIC; -- Crveno
        SAZH : OUT STD_LOGIC; -- Zuto
        SAZ : OUT STD_LOGIC; -- Zeleno

        -- Semafor na sporednoj ulici za pesake
        SPC : OUT STD_LOGIC; -- Crveno
        SPZ : OUT STD_LOGIC -- Zeleno
    );

END  ENTITY semafor;
```

Slika 11. Prikaz entiteta koda.

Automat ima dva ulaza i četrnaest izlaza. Ulazi su clk, koji predstavlja taktni signal kola, i rst - asinhroni reset kola. Izlazi predstavljaju odgovarajuća svetla na semaforima koji su obeleženi na sledeći način:

- G/S: semafor na glavnoj ulici / semafor na sporednoj ulici
- A/P: semafor za automobile / semafor za pešake
- C/ZH/Z/U: crveno / žuto / zeleno / uslovno svetlo
- 1/2: označava više semafora na istoj ulici.

Za opis funkcionalnosti i ponašanja entiteta semafor korišćen je funkcionalni (bihejvioralni) tip projektovanja. Deklarativni deo arhitekture prikazan je na slici 12.

```
ARCHITECTURE Behavioral OF semafor IS

    TYPE stanje IS (S1, S2, S3, S4);

    SIGNAL trenutno, sledece : stanje := S1;
    SIGNAL i : INTEGER := 0;
    signal clk1: std_logic;

  component clk_wiz_0 -- clock wizardom pode
  port
  (-- Clock in ports
  -- Clock out ports
  clk_10M           : out    std_logic;
  -- Status and control signals
  reset             : in     std_logic;
  locked            : out    std_logic;
  clk_in1           : in     std_logic
   );
  end component;
```

Slika 12. Deklarativni deo arhitekture koda.

Na početku je definisan novi tip signala "stanje" i definisana su dva signala tog tipa koji će imati vrednosti S1, S2, S3, S4 i služiće kao oznaka automatu za željene izlazne signale.

Takođe, definisan je i signal "i" celobrojnog tipa koji će služiti kao brojač neophodan za promenu stanja po željenim intervalima.

Komponenta *clk_wiz_0* je komponenta generisana od strane softvera Vivado čija je uloga da frekvenciju clk signala spusti na pogodnih 10 MHz. Pri instanciranju komponente nakon naredbe BEGIN na ulaz *clk_wiz_0* dovodi se interni taktni signal "clk" frekvencije 100 MHZ koju će komponenta smanjiti na 10 MHz i proslediti na pomoćni signal "clk1" od koga će zavisiti procesi vezani za takt.

Sledi opis rada automata. Osnovna ideja koda je standardna za bilo koji konačni automat. Postoje dva procesa kojim se opisuje rad sistema., Prvi proces je zavisan od clk i rst ulaza i ima ulogu da automatu dodeli vrednost trenutnog stanja, čija će se funkcionalnost uočiti nailaskom sledeće rastuće ivice takta. Taj proces predstavljen je slikom 13.

```
PROCESS (clk1, rst) IS
BEGIN
    IF (rst = '1') THEN
        trenutno <= S1;
        i <= 0;
    ELSIF (clk1'event AND clk1 = '1') THEN
        trenutno <= sledece;
        IF (i < 579999999) THEN
            i <= i + 1;
        ELSE
            i <= 0;
        END IF;
    END IF;
END PROCESS;
```

Slika 13. Prvi proces arhitekture koda.

Osim dodeljivanja stanja signalu "trenutno", ovaj proces ima i ulogu modifikovanja brojača "i" (inkrementiranje, resetovanje radi ponovnog početka ciklusa).

Drugi proces zavisan je od brojača, tj. aktiviraće se svakom promenom signala "i", kao što se vidi na slici 14.

```
PROCESS (i) IS
BEGIN
    CASE trenutno IS
        WHEN S1 =>
            GAC1 <= '1';
            GAZH1 <= '0';
            GAZ1 <= '0';
            GAU1 <= '1';

            GAC2 <= '1';
            GAZH2 <= '0';
            GAZ2 <= '0';

            GPC <= '0';
            GPZ <= '1';

            SAC <= '0';
            SAZH <= '0';
            SAZ <= '1';

            SPC <= '1';
            SPZ <= '0';

            if(i = 239999999) then
                sledece <= S2;
            else
                sledece <= S1;
             --   NULL;
            end if;
```

Slika 14. Drugi proces arhitekture koda.

Inicijalno stanje automata je S1, za koje su definisani izlazi tako da prate cilj zadatka. Promena signala "sledece", koja će se putem prvog procesa dodeliti signalu "trenutno", ključni je zadatak ovog procesa, zajedno sa prosleđivanjem željenih izlaza.

Shodno jednačini (1):

$$T = 1 / f \quad (1)$$

perioda taktnog signala biće $1*10^{-7}$ s. Neophodno je da automat pređe iz trenutnog u sledeće stanje nakon adekvatnog intervala. U prvom slučaju potrebno je da se stanje promeni nakon 24 sekunde. Zbog toga se promena dešava kada brojač "i" dostigne vrednost 239999999.

U sledećem ulasku u *case* strukturi, signalu "trenutno" biće dodeljena vrednost S2 zbog malopređašnje promene stanja. Sledeća promena izvršiće se nakon 6 sekundi, istom logikom primenjenom kod prve promene. Analogno tome, prateći uslove zadatka, dešava se svaka sledeća promena stanja automata.

U opisu koda navodi se implementacija internog taktnog signala. Na slici 15, kroz pregled .XDC datoteke sa ograničenjima, prikazan je način te implementacije. Uz pomoć ove dve naredbe implementiran je taktni signal. Naredbom *create_clock* podešava se signal tako da ima vrednost periode 100 ns i faktor ispune 50 %. Taj signal se prosleđuje na ulaz clk automata naredbom *get_ports*.

```
##Clock signal
set_property -dict { PACKAGE_PIN K17   IOSTANDARD LVCMOS33 }
create_clock -add -name grupa3 -period 100.00 -waveform {0 5}
```

Slika 15. Implementacija taktnog signala.

U datoteci sa ograničenjima takođe su definisani izlazni portovi izabrani za distribuciju signala na kolo. Korišćeni su *High-Speed Pmod* portovi JC i JD. Svaki izlaz ovih portova koji je iskorišćen u realizaciji odkomentarisan je, i u okviru funkcije get_ports navedeno je za koji izlaz će se primeniti, kao što je prikazano na slici 16.

```
##Pmod Header JC
set_property -dict { PACKAGE_PIN V15   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GAC1];
set_property -dict { PACKAGE_PIN W15   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GAZH1];
set_property -dict { PACKAGE_PIN T11   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GAZ1];
set_property -dict { PACKAGE_PIN T10   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GAC2];
set_property -dict { PACKAGE_PIN W14   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GAZH2];
set_property -dict { PACKAGE_PIN Y14   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GAZ2];
set_property -dict { PACKAGE_PIN T12   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GAU1];
#set_property -dict { PACKAGE_PIN U12   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports { jc[


##Pmod Header JD
set_property -dict { PACKAGE_PIN T14   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GPC];
set_property -dict { PACKAGE_PIN T15   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports GPZ];
set_property -dict { PACKAGE_PIN P14   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports SAC];
set_property -dict { PACKAGE_PIN R14   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports SAZH];
set_property -dict { PACKAGE_PIN U14   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports SAZ];
set_property -dict { PACKAGE_PIN U15   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports SPC];
set_property -dict { PACKAGE_PIN V17   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports SPZ];
#set_property -dict { PACKAGE_PIN V18   IOSTANDARD LVCMOS33    } [get_ports { jd[
```

Slika 16. Mapiranje signala.

VI. SIMULACIJA I PRAKTIČNA REALIZACIJA

Ključni korak pri programiranju FPGA čipa je provera funkcionalnosti koda putem simulacije. To podrazumeva pisanje testbench koda kojim se simuliraju ulazi, i na osnovu opisa komponenata, dobijaju odgovarajući izlazi. Testbench kod ovog dizajna prikazan je na slici 17, dok se rezultati simulacije mogu videti na slici 18. Simulacija realizovana je u softveru ModelSim.

```
    signal clk,rst:std_logic;
    constant clk_period: time := 0.1 ms;

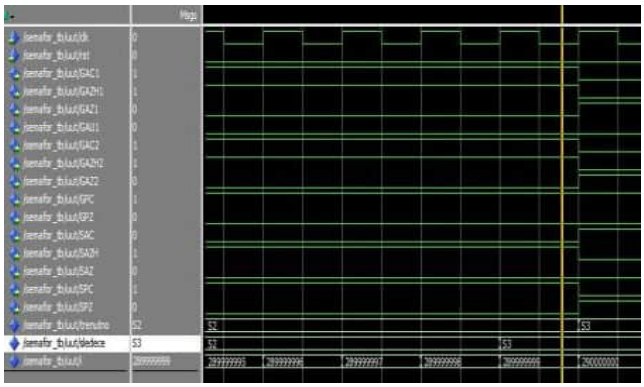
begin
    uut: semafor port map(
        clk => clk,
        rst => rst
    );

    klok:process is -- kontinualno prosledjivanje clk signala
    begin
        clk <= '1';
        wait for clk_period/2;
        clk <= '0';
        wait for clk_period/2;
    end process;

    reset:process is -- provera funkcionalnosti reseta
    begin
        wait for 40000000 * clk_period;
        rst <= '1';
        wait for 200 * clk_period;
        rst <= '0';
        wait;
    end process;
end architecture;
```

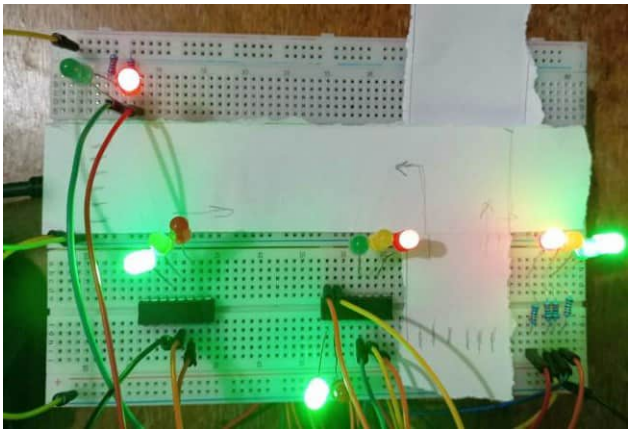
Slika 17. *Testbench* kod.

Na slici 19. prikazana je praktična realizacija kontrolera. Povezivanje komponenata u kolu prilikom praktične realizacije učinjeno je pomoću protoploče. Za potrebe ovog sistema na protoploči su povezane 14 LE dioda, 6 otpornika otpornosti 220 Ω i 2 otporne mreže.



Slika 18. Simulacija dizajna u programu ModelSim.

Katode LE dioda su povezane na masu a anode su preko otpornika povezane na odgovarajuće pinove *Zybo Z7 FPGA* razvojne ploče. Ovako realizovan sistem je testiran i programiran korišćenjem programa *Vivado*.



Slika 19. Praktična realizacija sistema.

VII. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je postupak projektovanja sistema za kontrolu saobraćajne raskrsnice. Sistem je realizovan i testiran kako softverski, tako i praktično na protoploči.

Sistem se može unaprediti na više načina. Jedan od njih zahteva korišćenje preciznih senzora za detekciju pešaka i automobila. Na taj način se realizuju sistemi koji prilagođavaju vreme trajanja svetlosnih signala realnim uslovima u saobraćaju. Oni će korišćenjem podataka sa senzora izvršiti optimizaciju protoka saobraćaja.

Dodatno unapređenje bi podrazumevalo implementaciju sistema za upravljanje energijom kako bi se smanjila potrošnja električne energije semafora u periodima kada nema značajnog saobraćaja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad napisan je kao deo studentskog projekta na predmetu "Projektovanje programabilnih komponenata", na smeru Elekronske komponente i mikrosistemi. Autori rada se zahvaljuju asistentu Milošu Marjanoviću na pruženom znanju i pomoći prilikom realizacije rada.

LITERATURA

[1] Juan Antonio Clemente, "Introduction to VHDL programming", Nov. 2014

[2] “VHDL code for Traffic Light Interface With FPGA”. Dostupno: https://www.pantechsolutions.net/vhdl-code-for-traffic-light-interface-with-fpga. [Pristupljeno 29-jan-2024].

[3] Tehnicka dokumentacija za Zybo Z7 FPGA razvojnu ploču. Dostupno: https://digilent.com/reference/programmable-logic/zybo-z7/start?redirect=1, [Pristupljeno 29-jan-2024].

[4] Tehnicka dokumentacija za upravljanje taktnim signaima sedme serije FPGA. Dostupno: https://docs.amd.com/v/u/en-US/ug472_7Series_Clocking, [Pristupljeno 29-jan-2024]

[5] Uputstvo za podešavanje taktnog signala u clock wizard alatu. Dostupno: https://www.youtube.com/watch?v=v1CoZZiJKzc, [Pristupljeno 29-jan-2024].

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.113S
Original scientific paper

Kontrola grešaka primenom konvolucionih kodova

Lucija Stojković,
modul Računarstvo i informatika
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
lucija.stojkoviccc@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* - Rad istražuje primenu konvolucionih kodova u kontroli grešaka u komunikacionim sistemima. Cilj rada je da objasni prirodu grešaka u prenosu podataka, da postavi teorijske osnove konvolucionih kodova i da istakne praktičnu primenu konvolucionih kodova u detektovanju i ispravljanju tih grešaka.**

Ključne reči - konvolucioni kodovi, kontrola grešaka, prenos podataka, detekcija grešaka, ispravljanje grešaka.

I. UVOD

Za postizanje efikasnih i tačnih komunikacija u savremenim komunikacionim sistemima, od ključne je važnosti obezbediti pouzdanost prenosa podataka. Da bi se to postiglo, svaki sistem za prenos podataka mora da bude spreman da se efikasno suočava sa mogućim greškama.

U navedenom kontekstu su, u teoriji i praksi, razvijeni različiti pristupi za kontrolu (detekciju i ispravljanje) tih grešaka. Zahvaljujući svojoj sposobnosti da dodaju redundantne informacije tokom kodiranja podataka, konvolucioni kodovi omogućavaju komunikacionim sistemima ne samo da otkriju, već i da isprave određeni broj grešaka, bez potrebe za ponovnim slanjem podataka [1].

Cilj ovog rada je da istraži prirodu grešaka u prenosu podataka, da postavi teorijske osnove konvolucionih kodova i da ukaže na praktičnu primenu konvolucionih kodova u detekciji i ispravljanju tih grešaka.

II. GREŠKE U PRENOSU PODATAKA

Greške u prenosu podataka predstavljaju neizbežan segment gotovo svakog komunikacionog sistema. U digitalnim komunikacijama, ove greške odražavaju promenu ili gubitak informacija, što može rezultirati time da primljeni podaci ne budu identični sa poslatim [2].

Učestalost grešaka tokom prenosa podataka i njihova važnost za komunikacione sisteme doprineli su različitim načinima njihovog klasifikovanja. U literaturi se najčešće ukazuje na dve vrste grešaka: nasumične greške i burst greške [3, 4]. Svaku od navedenih kategorija grešaka odlikuju specifične karakteristike, specifični uzročnici i specifični pristupi za njihovo ispravljanje.

Nasumične greške, kako i sam naziv sugeriše, javljaju se pojedinačno i nepravilno, bez specifičnog obrasca. Obično nastaju zbog šuma u komunikacionom kanalu, u kojem dolazi do izmene stanja jednog ili više bitova prilikom prenosa podataka. U digitalnim sistemima se ove greške mogu javiti kao posledica elektromagnetne interferencije, atmosferskih uslova ili tehničkih anomalija u uređajima za prenos. Na primer, prenos signala kroz bežične mreže može biti ometen uticajem drugih elektronskih uređaja ili fizičkih prepreka, što dovodi do toga da pojedini bitovi budu pogrešno interpretirani na prijemnom kraju.

Detekcija i ispravljanje nasumičnih grešaka najčešće se obavlja uz pomoć jednostavnijih algoritama za kontrolu grešaka, kao što su paritetne šeme ili blok kodovi. Konvolucioni kodovi takođe mogu predstavljati efikasno rešenje za korigovanje ove kategorije grešaka. Bez obzira na odabrani način njihovog ispravljanja, treba imati u vidu da, zbog činjenice da se javljaju u izolovanim slučajevima, što implicira da većina podataka ostaje netaknuta, nasumične greške je lakše ispravljati, u poređenju sa burst greškama.

Burst greške predstavljaju grupu uzastopnih grešaka koje se javljaju u kratkom vremenskom intervalu [5]. Za razliku od nasumičnih grešaka, gde su pojedinačni bitovi pogođeni, burst greške utiču na blokove podataka, stvarajući kontinuirani niz oštećenih bitova. Ovakve greške često nastaju zbog problema u hardverskim komponentama ili zbog dužih prekida u signalu tokom prenosa. Na primer, oštećenje kabla može dovesti do toga da više bitova bude izgubljeno ili izmenjeno u isto vreme.

Imajući u vidu činjenicu da oštećuju veći deo podataka, ispravljanje burst grešaka jeste zahtevnije u poređenju sa ispravljanjem nasumičnih grešaka i, kao takvo, podrazumeva i primenu izvesnih kompleksnijih metoda. Tradicionalne metode detekcije, poput paritetne šeme, nisu efikasne u otkrivanju ovih grešaka, dok blok kodovi i Reed-Solomon kodovi često pružaju bolje rezultate [6]. Konvolucioni kodovi se takođe mogu koristiti za rešavanje problema burst grešaka.

Uzročnici grešaka u prenosu podataka mogu biti različiti [3]. Neki od najčešćih jesu: elektromagnetni šumovi, smetnje od drugih uređaja, atmosferske promene (npr. kiša ili oluje koje utiču na satelitske veze), tehnička oštećenja ili kvarovi u opremi. Pored toga, loše projektovani sistemi ili nepravilno održavani uređaji takođe mogu doprineti povećanju frekvencije grešaka.

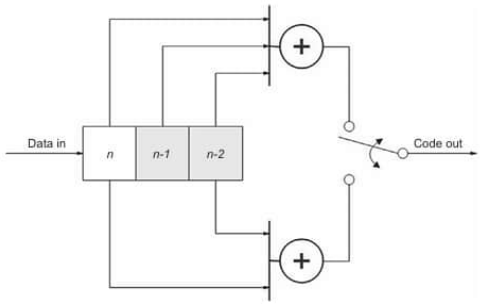
Bez obzira na kategoriju grešaka i na njihove uzročnike, efikasan sistem kontrole grešaka mora da bude u stanju da greške blagovremeno detektuje i efikasno ih ispravi. Ovo prvenstveno iz razloga što greške u prenosu podataka mogu imati ozbiljne posledice na komunikacione sisteme, uključujući gubitak informacija, smanjenje brzine prenosa, pa čak i potpunu nemogućnost uspostavljanja veze. U kritičnim sistemima, kao što su, recimo, medicinski uređaji ili sistemi za kontrolu vazdušnog saobraćaja, posledice grešaka mogu biti čak i katastrofalne. Stoga, kontrola grešaka nije samo tehnički izazov, već i pitanje sigurnosti i pouzdanosti.

III. TEORIJSKE OSNOVE KONVOLUCIONIH KODOVA

Zbog činjenice da omogućavaju pouzdan prenos podataka, čak i u uslovima visokog nivoa šuma i interferencija, konvolucioni kodovi predstavljaju jedan od ključnih koncepata u teoriji informacija i telekomunikacionim sistemima [7].

Glavna karakteristika konvolucionih kodova jeste da svaki izlazni bit nije samo funkcija trenutnog ulaznog bita, već i prethodnih ulaznih bitova. Ovaj efekat se postiže kroz upotrebu tzv. „shift" registara i logičkih funkcija, što omogućava „konvoluciju" informacija kroz vreme. U osnovi, svaki ulazni podatak prolazi kroz niz registara, a rezultujući izlaz zavisi od kombinacije trenutnog i prethodnih unosa [4].

U procesu kodiranja, svaki ulazni bit prolazi kroz „shift" registar koji se sastoji od nekoliko pozicija ili faza, u koje se smeštaju trenutno primljeni i prethodni bitovi (slika 1). Kada novi bit uđe sa leve strane registra, svi ostali bitovi se pomeraju za jedno mesto udesno, dok se najstariji bit izbacuje iz registra. Nakon svakog unosa novog bita, logičke operacije se izvode nad bitovima iz različitih faza registra. Ove operacije sabiraju različite kombinacije trenutnog i prethodnih bitova kako bi proizvele kodne bitove. Ti kodni bitovi se zatim šalju preko kanala, gde predstavljaju izlazne kodne sekvence [8].



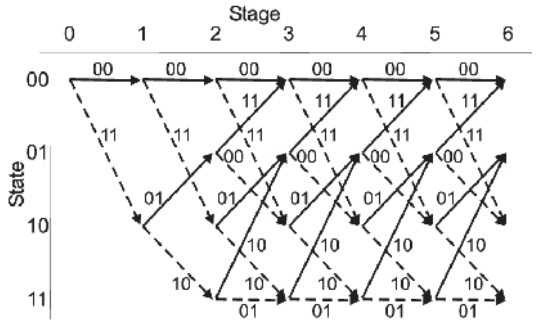
Slika 1. Konvolucioni enkoder. Izvor: [8].

Jedan od glavnih parametara konvolucionih kodova jeste prosečna dužina memorije ili dužina ograničenja, koja određuje koliko prošlih bitova utiče na trenutni izlaz. Na primer, konvolucioni kod sa memorijskom dužinom od 3 bita znači da trenutni izlaz zavisi od sadašnjeg ulaznog bita i prethodna dva bita. Ova karakteristika omogućava konvolucionim kodovima da efikasno proširuju informaciju, stvarajući robusniji signal otporan na greške.

U praksi se konvolucioni kodovi najčešće implementiraju kroz generatorske matrice ili polinome, koji definišu kako se ulazni podaci transformišu u izlazne. Generatorska matrica predstavlja niz logičkih operacija koje definišu pravila kodiranja. Svaka kolona u matrici predstavlja jedan izlazni bit, dok redovi predstavljaju ulazne bitove i njihove prethodne vrednosti [9].

Polinomi se koriste da bi se predstavila operacija kodiranja u formalnom matematičkom obliku. Na primer, polinom koji opisuje konvolucioni kod može izgledati kao skup binarnih koeficijenata, gde svaki koeficijent označava da li određeni ulazni bit doprinosi izlaznom bitu. Ova formalizacija omogućava dizajnerima komunikacionih sistema da optimizuju kodove za specifične aplikacije, birajući polinome koji pružaju najbolji kompromis između otpornosti na greške i kompleksnosti dekodiranja.

Jedan od ključnih elemenata u teoriji i primeni konvolucionih kodova jeste Viterbijev algoritam. U pitanju je algoritam, razvijen 1967. godine od strane Endrua Viterbija (Andrew Viterbi), koji omogućava optimalno dekodiranje konvolucionih kodova [10]. Njegova ključna prednost jeste njegova sposobnost da analizira sve moguće puteve koje signal može preći kroz komunikacioni kanal i da, kroz tzv. Trellis dijagram (slika 2), pronađe onaj put koji ima najveću verovatnoću da odgovara originalnom signalu [8].



Slika 2. *Trellis* dijagram. Izvor: [11].

Trellis dijagram predstavlja grafički prikaz evolucije stanja kodnog sistema kroz vreme. Svako stanje u Trellis dijagramu predstavlja jedan mogući niz bitova koji su poslati kroz kanal, dok su veze između stanja mogući prijemni signali.

Viterbijev algoritam, u kombinaciji sa Trellis dijagramima, zasniva se na minimalizaciji verovatnoće greške kako bi se postiglo optimalno dekodiranje. Tokom svakog koraka dekodiranja, algoritam izračunava kumulativnu verovatnoću greške za svaku putanju i eliminiše one putanje koje su manje verovatne. Na ovaj način, prijemni sistem nije preopterećen nepotrebnim informacijama, već se fokusira na najverovatnije sekvence koje su poslate.

Ovaj proces se nastavlja sve dok se ne dođe do poslednjeg stanja, u kojem algoritam ima jasan uvid u sekvencu sa najmanjom kumulativnom greškom. Na taj način, originalna poruka se uspešno dekodira, a greške izazvane šumom ili interferencijama se ispravljaju u hodu.

IV. PRIMENE KONVOLUCIONIH KODOVA U PRAKSI

Zahvaljujući svojoj sposobnosti da ispravljaju greške u prenosu podataka, konvolucioni kodovi su našli široku primenu u brojnim oblastima savremene tehnologije [3, 4, 12]. Zajedno sa Viterbijevim algoritmom, oni predstavljaju okosnicu mnogih telekomunikacionih i digitalnih sistema, u kojima je pouzdanost prenosa podataka od ključnog značaja. Njihova primena je naročito izražena u sistemima koji su podložni šumu i interferencijama, gde je važno održati visok nivo integriteta podataka.

Jedna od važnijih primena konvolucionih kodova jeste u okviru telekomunikacionih sistema, u kojima je prenos podataka često opterećen različitim oblicima šuma i smetnji. Konvolucioni kodovi omogućavaju da se ovi efekti ublaže, što rezultira tačnijim prenosom informacija čak i u okruženjima sa visokom stopom grešaka. Na primer, u mobilnim mrežama, gde podaci prolaze kroz različite vrste interferencija zbog fizičkih prepreka ili udaljenosti od baznih stanica, konvolucioni kodovi pomažu u smanjenju broja grešaka i poboljšanju kvaliteta signala.

Takođe, bežične komunikacije, kao što su Wi-Fi mreže, koriste konvolucione kodove kako bi obezbedile stabilnu vezu između uređaja, posebno u okruženjima gde postoji veliki broj korisnika koji dele istu mrežu. Kodiranje podataka na ovaj način pomaže da se signali zadrže u okviru prihvatljivih granica kvaliteta, što je ključno za nesmetano funkcionisanje internetskih usluga i prenos podataka u realnom vremenu.

Satelitske komunikacije su još jedna oblast gde su konvolucioni kodovi postali standard. Satelitski sistemi često moraju da prenose podatke preko velikih udaljenosti, što može izazvati različite probleme u komunikacionim kanalima, uključujući šum uzrokovan kosmičkim zračenjem, atmosferskim prilikama ili tehničkim ograničenjima opreme. Korišćenjem konvolucionih kodova, moguće je osigurati da poruke poslate sa Zemlje do satelita, i obrnuto, budu ispravno dekodirane, čime se minimizira rizik od gubitka podataka.

Posebno je značajna primena konvolucionih kodova u GPS sistemima (Global Positioning System). GPS signal mora da putuje kroz atmosferu, prolazeći kroz različite slojeve koji mogu izazvati distorziju signala. Da bi se obezbedilo precizno pozicioniranje, konvolucioni kodovi se koriste za ispravljanje grešaka i poboljšanje pouzdanosti podataka koje GPS uređaji primaju.

Razvoj digitalne televizije doneo je brojne prednosti u pogledu kvaliteta slike i zvuka, ali i nove izazove u vezi sa prenosom digitalnih signala. Konvolucioni kodovi imaju ključnu ulogu u očuvanju kvaliteta prenosa digitalnih signala, čime se osigurava da gledaoci dobiju jasnu i neprekidnu sliku, bez obzira na interferencije u prenosu.

Pored toga, multimedijalni sitemi koji koriste Internet za strimovanje video sadržaja, kao što su servisi za striming filmova i muzike, takođe koriste konvolucione kodove kako bi poboljšali stabilnost i kvalitet strimova.

Kada su u pitanju svemirske misije, gde su podaci često podložni velikim interferencijama usled kosmičkog zračenja ili udaljenosti od Zemlje, konvolucioni kodovi su neophodni za uspešno slanje i primanje informacija. Jedan od poznatih primera primene konvolucionih kodova je u NASA-inim misijama [4], gde se koriste za prenos podataka sa svemirskih letelica nazad na Zemlju. Ovi kodovi omogućavaju da se kritični podaci iz ekstremnih uslova svemira prenesu sa minimalnim gubicima i greškama.

Slično tome, konvolucioni kodovi se koriste i u podvodnim komunikacijama, gde su signali često podložni refleksijama i apsorpcijama u vodi. Ovi kodovi omogućavaju podvodnim sonarima i komunikacionim uređajima da prenose podatke na velikim udaljenostima, bez značajnog gubitka informacija.

V. Prednosti i ograničenja konvolucionih kodova

Kao jedan od najčešće korišćenih mehanizama za ispravljanje grešaka, konvolucioni kodovi se odlikuju brojnim prednostima koje ih i čine idealnim za široki spektar primena u digitalnim komunikacionim sistemima [12].

Jedna od ključnih prednosti jeste njihova sposobnost da pouzdano ispravljaju greške u prenosu podataka u realnom vremenu. Ovi kodovi omogućavaju da se greške koje nastaju usled šuma, interferencija ili drugih problema u prenosu brzo detektuju i isprave, pre nego što one ozbiljno utiču na kvalitet prenosa ili celovitost informacija.

Zahvaljujući svojoj strukturi, konvolucioni kodovi omogućavaju takođe kontinuirano kodiranje podataka, što im daje prednost u odnosu na tehnike koje zahtevaju podelu podataka na diskretne blokove. Ovo ih čini pogodnim za situacije gde je potrebno obraditi velike količine podataka, kao što su strimovanje videa, satelitske komunikacije i digitalna televizija.

Još jedna od prednosti konvolucionih kodova jeste njihova sposobnost da funkcionišu u uslovima sa visokim stepenom šuma. U telekomunikacionim sistemima, gde su signali često izloženi različitim oblicima interferencije, konvolucioni kodovi pomažu u održavanju integriteta podataka. Ova otpornost na šum omogućava da se podaci uspešno prenose i dekodiraju čak i kada je kvalitet signala znatno smanjen, što je posebno važno u satelitskim i mobilnim komunikacijama, u kojima su gubici u kvalitetu signala učestali.

Osim prednosti, konvolucionim kodovima jesu svojstvena i izvesna ograničenja [12].

Jedno od glavnih ograničenja konvolucionih kodova tiče se složenosti dekodiranja, posebno kod dužih kodnih reči ili većih memorijskih kapaciteta. Viterbijev algoritam, na primer, iako efikasan, zahteva značajne resurse, posebno u pogledu procesorske snage i memorije.

Osim toga, iako konvolucioni kodovi pružaju solidnu zaštitu od grešaka, postoje izvesne naprednije tehnike kodiranja, kao što su Turbo kodovi i LDPC (Low-Density Parity-Check) kodovi, koje nude bolju efikasnost u ispravljanju grešaka i veću otpornost na šum [3]. U okruženjima sa zahtevima za ekstremno niskom stopom grešaka, ove metode su često poželjnije od konvolucionih kodova.

Takođe, efikasnost konvolucionih kodova zavisi od podešavanja različitih parametara, kao što su dužina memorije i stopa kodiranja. Pogrešno podešeni parametri mogu dovesti do lošijih performansi u smislu ispravljanja grešaka ili povećanja složenosti sistema.

Proizilazi da, bez obzira na široku primenljivost konvolucionih kodova, njihova upotreba zahteva pažljivu procenu u zavisnosti od specifičnih zahteva sistema. U okruženjima gde je otpornost na šum od presudnog značaja i gde su dostupni značajni resursi za dekodiranje, kao što su satelitske komunikacije i svemirske misije, konvolucioni kodovi pružaju izuzetnu zaštitu. Međutim, u situacijama sa ograničenim resursima ili u kanalima sa učestalim burst greškama, može biti neophodno razmotriti i druge tehnike kodiranja.

VI. Zaključak

U ovom radu su analizirani izazovi u prenosu podataka i važnost ispravljanja grešaka u komunikacionim sistemima, sa posebnim fokusom na primenu konvolucionih kodova. Zahvaljujući sposobnosti da detektuju i ispravljaju greške, konvolucioni kodovi su predstavljeni kao efikasno rešenje u situacijama u kojima su prisutni šumovi i smetnje, čime značajno doprinose povećanju pouzdanosti prenosa podataka. U kombinaciji sa Viterbijevim algoritmom, primena konvolucionih kodova omogućava optimalno dekodiranje, smanjenje uticaja grešaka i očuvanje integriteta informacija. S obzirom na široku upotrebu u telekomunikacijama, bežičnim mrežama i satelitskim komunikacijama, očekuje se da će konvolucioni kodovi nastaviti da zauzimaju značajnu

poziciju među tehnologijama koje omogućavajući efikasnu i preciznu razmenu podataka.

LITERATURA

[1] J. Lahtonen. *Convolutional Codes*. Dostupno na: https://www.karlin.mff.cuni.cz/~holub/soubory/ConvolutionalCodesJyrkiLahtonen.pdf

[2] U. Pešović, S. Randić, and G. Dimić. „Sistem za određivanje verovatnoće greške bežičnog prenosa u IEEE 802.15.4 mrežama“ (tehnička dokumentacija projekta), 2012. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/318814990

[3] J. G. Proakis, and M. Salehi, *Digital Communications*, United States: McGraw-Hill, Inc., 2008. Dostupno na: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5636847/mod_resource/content/1/digital%20commun%205th%20-%20proakis%2C%20salehi.pdf

[4] S. Lin, and D. J. Costello, *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, New Jersey Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1983.

[5] V. V. Zyablov, R. Johannesson, and V. A. Pavlushkov, “Detecting and Correcting Capabilities of Convolutional Codes”, Problems of Information Transmission, Vol. 40, No. 3, 2004, pp. 187–194.

[6] M. Y. Cheong, *Block Error Correction Codes and Convolution Codes*. Dostupno na: http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004slides/topic18.pdf

[7] A. J. Viterbi, and J. K. Omura, *Principles of Digitaln Communication and Coding*, McGraw-Hill, Inc., 1979. Dostupno na: https://pg024ec.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/09/a-j-viterbi-of-principles-of-digital-communication-and-codin.pdf

[8] A. Bensky, *Short-range Wireless Communication*, Oxford: Elsevier Inc., 2019.

[9] V. Naumov, Y. Gaidamaka, N. Yarkina, K. Samouylov, *Matrix and Analytical Methods for Performance Analysis of Telecommunication Systems*, Springer, 2021.

[10] A. J. Viterbi, “Error Bounds for Convolutional Codes and an Asymptotically Optimum Decoding Algorithm“, IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, April, 1967.

[11] G. K. Rauwerda, G. J. M. Smith, C. R. W. van Benthem, and P. M. Heysters, “Reconfigurable Turbo/Viterbi Channel Decoder in the Coarse-Grained Montium Architecture”, (conference paper), 2006. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/220844195

[12] R. Johannesson, and K. Sh. Zigangirov, *Fundamentals of Convolutional Coding*, 2015. Dostupno na: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119098799

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.117I
Original scientific paper

Projektovanje i testiranje luksmetra

Nikola Ilić
Modul Elektronske komponente i mirkosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
nikkilic@elfak.rs
ORCID: N/A

Danilo Subotić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
dacasubotic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu prikazano je projektovanje kola koje dobija informaciju o osvetljenosti korišćenjem fotootpornika PGM5539-MP. Pored toga, kolo je povezano i sa kontrolnim fotootpornikom PGM5549. Na sistem je povezana i RGB dioda. Kada je osvetljenost oba fotootpornika u istom ili sličnom opsegu, RGB LED svetli tirkiznom bojom. Kada je osvetljenost prvog značajno veća, RGB LED svetli ljubičasto, a kada je značajnije manja, *RGB* svetli narandžasto.**

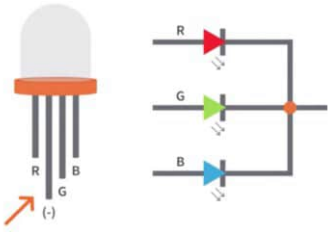
Ključne reči—osvetljenost, luksmetar, fotootpornik, RGB LED

I. Uvod

Luksmetar je uređaj koji meri osvetljenost u datom prostoru, koristeći optičke senzore za detekciju intenziteta svetlosti u luksima (lx), jedinici koja predstavlja količinu svetlosnog toka na kvadratnom metru površine. Ovi uređaji postali su ključni alat u mnogim oblastima, uključujući osvetljenje u industriji, arhitekturi, poljoprivredi i medicini. Zahvaljujući luksmetru, moguće je precizno kontrolisati osvetljenje kako bi se optimizovali radni uslovi, obezbedila energetska efikasnost ili poboljšali uslovi za rast biljaka. S obzirom na sve veću pažnju posvećenu energetskoj efikasnosti i kvalitetu osvetljenja, postoji rastuća potreba za uređajima koji mogu da mere nivo osvetljenosti u različitim sredinama. Luksmetri su posebno korisni u poslovnim prostorima, učionicama, bolnicama, laboratorijama i drugim okruženjima gde je pravilno osvetljenje važno za zdravlje, bezbednost i produktivnost. Oni omogućavaju uvid u trenutni nivo osvetljenja, omogućavajući optimizaciju resursa i smanjenje nepotrebne potrošnje energije. Projektovanje luksmetra omogućava precizno praćenje osvetljenja u određenim prostorima. Uređaj radi tako što detektuje svetlosne signale pomoću senzora, konvertuje ih u električne signale, a zatim obrađuje i prikazuje rezultate u realnom vremenu na displeju. Na ovaj način, luksmetar pruža korisniku mogućnost da brzo reaguje i prilagodi osvetljenje prema potrebama i zahtevima okoline.

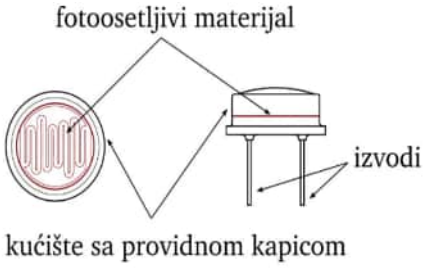
II. Korišćene komponente

RGB LED *(Red-Green-Blue Light Emitting Diode)* je vrsta LE diode koja može emitovati različite boje svetlosti kombinovanjem tri osnovne boje: crvene, zelene i plave [2]. Ova tehnologija omogućava kreiranje širokog spektra boja podešavanjem intenziteta svetlosti svakog od tri izvora. Zbog svoje sposobnosti da prikazuje razne boje, RGB LE diode su našle primenu u različitim uređajima kao što su rasveta, displeji, dekorativna rasveta, televizori i monitori. RGB LE diode se koriste ne samo u dekorativne svrhe, već i u industriji, signalnim sistemima, i pametnim osvetljenjima koja omogućavaju promenu boje prema želji korisnika, poboljšavajući estetiku i funkcionalnost osvetljenja.



Slika 1. *RGB LE* dioda modela 509RGBC2E-002 iskorišćena u ovoj aplikaciji [3].

Fotootpornik, poznat i kao fotorezistor ili LDR (eng. *Light Dependent Resistor*), je elektronska komponenta čija se otpornost menja u zavisnosti od intenziteta svetlosti [4]. Kada je izložen svetlosti, otpornost opada, dozvoljavajući veću struju da prolazi kroz njega, dok u mraku otpornost raste i ograničava struju. Fotootpornici koriste fotoosetljivi materijal oblikovan u uvijenu traku radi povećanja dužine otpornika. Mogu biti smešteni na keramičkom supstratu i zaštićeni providnim epoksidom. Rad fotootpornika zasniva se na fotoprovodnosti, gde se unutrašnji fotoelektrični efekat koristi za promenu provodljivosti materijala



Slika 2. Primer fotootpornika.

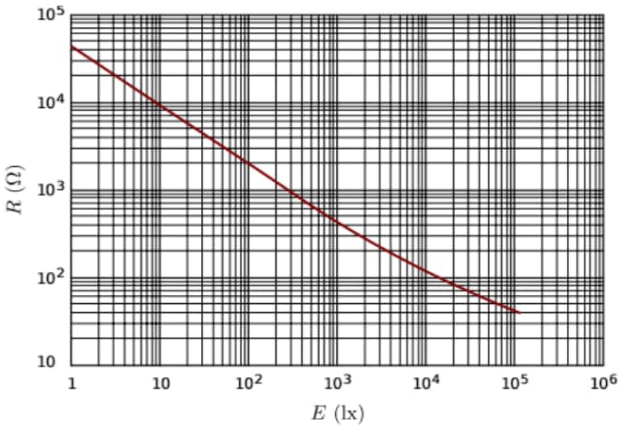
Za praktičnu primenu koristimo zavisnost otpornosti od osvetljenosti:

$$R = R_d \cdot E^{-\chi}, \quad (1)$$

gde je E > 1 osvetljenost u luksima (lx), dok je χ konstanta koja zavisi od fotootpornog materijala i talasne dužine upadne svetlosti. Zavisnost otpornosti od osvetljenosti u log−log razmeri se može približno opisati pravom linijom:

$$\log R = -\chi \cdot \log E + \log R_d, \quad (2)$$

što je prikazano na slici 3.

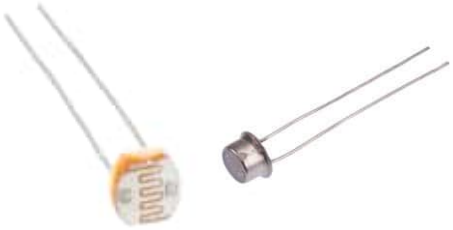


Slika 3. Zavisnost otpornosti fotootpornika od osvetljenosti.

Primeri fotootpornika koji su iskorišćeni u ovoj aplikaciji su PGM5539-MP[5] i PGM5549[6].

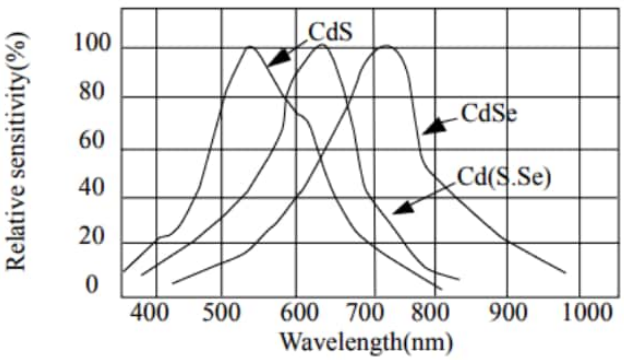
- PGM5539-MP je izabran zbog svoje visoke osetljivosti i brzog odziva na promene svetlosti, što ga čini idealnim za primene poput automatskih sistema za osvetljenje i senzora za ambijentalno osvetljenje, gde su potrebne brze reakcije na promenu svetlosnih uslova.
- PGM5549 se koristi zbog svoje pouzdanosti i preciznosti u merenju, što ga čini pogodnim za aplikacije gde je važna stabilnost u detekciji svetlosti, poput sigurnosnih sistema ili uređaja za kontrolu osvetljenja.

Ovi modeli pružaju optimalnu kombinaciju brzine, stabilnosti i preciznosti u različitim svetlosnim uslovima, što ih čini savršenim izborom za aplikacije u kojima je važna kontrola osvetljenja.



Slika 4. Prikaz fotootpornika PGM5549 (sa leve strane), i otpornika PGM5539MP (sa desne strane).

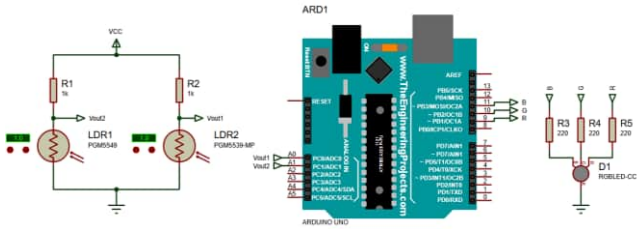
Dok je u nastavku priložena slika 5 iz tehnikčke specifikacije za oba fotootpornika, koja predstavlja zavisnost relativne osetljivosti fotootpornika od osvetljenosti.



Slika 5. Fotootpornici iskorišćeni u ovoj aplikaciji, sa zavisnošću osetljivosti od talasne dužine.

III. Projektovanje električne šeme detektora

Na slici 6 je prikazan šematski dijagram sistema koji koristi dva fotootpornika (LDR_1 i LDR_2) u kombinaciji sa RGB LE diodom i *Arduino* razvojnom okruženju. Ovaj uređaj je dizajniran za detekciju osvetljenja pomoću fotootpornika, a rezultati detekcije se prikazuju preko RGB LE diode. Fotootpornici (LDR_1 i LDR_2), koriste se fotootpornici, PGM5539-MP i PGM5549, koji detektuju intenzitet svetlosti. Fotootpornik LDR_1 je povezan sa otpornikom R_4 od 1 kΩ, dok je LDR_2 povezan sa otpornikom R_5 od 1 kΩ. Ovi otpornici formiraju naponske razdelnike koji omogućavaju čitanje promene svetlosti na analognim ulazima A_0 i A_1 mikrokontrolera. Mikrokontroler na osnovu tih promena očitava vrednosti svetlosti. Mikrokontroler očitava signale sa analognih ulaza A_0 i A_1, koji su povezani sa fotootpornicima, i na osnovu tih podataka kontroliše svetlost koju generiše RGB LE dioda. Ovaj mikrokontroler kontroliše izlazne signale prema LE diodi, koji su povezani preko otpornika R_1, R_2, i R_3 (svi su vrednosti od 220 Ω) kako bi ograničili struju kroz diode. RGB LE dioda je povezana na izlaze digitalnih pinova 9, 10, i 11 na *Arduino* razvojnom okruženju [7], koji kontrolišu crvenu, zelenu i plavu LED u RGB LE diodi. Na osnovu očitavanja intenziteta svetlosti sa fotootpornika, *Arduino* razvojno okruženje reguliše osvetljenje RGB LE diode, prikazujući različite boje. U nastavku na slici 5. se nalazi simulirani uređaj u softverskom okruženju *Proteus*.



Slika 6. Uređaj simuliran u softverskom okruženju *Proteus* [8].

Na slici 7 prikazan je serijskom terminalu u razvojnom okruženju *Arduino*, time se potvrđuje da sistem ispravno radi i meri u realnom vremenu osvetljenost prostorije i samim tim i menja boje na RGB LE diodi.

```
Otpor PGM-5549: 6368.00 ohm, Osvetljenost E2: 527.32 lux
Otpor PGM-5539MP: 6853.38 ohm, Osvetljenost E1: 467.95 lux
Otpor PGM-5549: 6135.65 ohm, Osvetljenost E2: 560.17 lux
Otpor PGM-5539MP: 7050.00 ohm, Osvetljenost E1: 446.92 lux
Otpor PGM-5549: 5666.16 ohm, Osvetljenost E2: 637.58 lux
Otpor PGM-5539MP: 7021.63 ohm, Osvetljenost E1: 449.86 lux
Otpor PGM-5549: 5594.51 ohm, Osvetljenost E2: 650.91 lux
Otpor PGM-5539MP: 6420.55 ohm, Osvetljenost E1: 520.32 lux
Otpor PGM-5549: 5618.32 ohm, Osvetljenost E2: 646.43 lux
Otpor PGM-5539MP: 5570.78 ohm, Osvetljenost E1: 655.43 lux
Otpor PGM-5549: 5594.51 ohm, Osvetljenost E2: 650.91 lux
Otpor PGM-5539MP: 5642.20 ohm, Osvetljenost E1: 641.99 lux
Otpor PGM-5549: 5594.51 ohm, Osvetljenost E2: 650.91 lux
Otpor PGM-5539MP: 5594.51 ohm, Osvetljenost E1: 650.91 lux
```

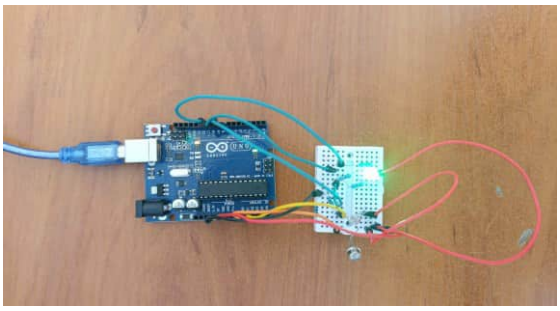
Slika 7. Serijski terminal u razvojnom okruženju *Arduino*.

Prilikom izrade rada, upotrebljen je kod kojim je potvrđena uspešna realizacija ovog rada. U nastavku se nalazi izvorni kod za ovaj uređaj.

```
const int photoresPin1 = A0; //Pin za PGM-5539MP
const int photoresPin2 = A1; //Pin za PGM-5549
const int redPin = 9; //Pin za crvenu LED u RGB
const int greenPin = 10; //Pin za zelenu LED u RGB
const int bluePin = 11; // Pin za plavu LED u RGB
const float C = 16.63e-6; // Konstanta C
const float x = 0.615;
//Eksponent x, sada iznosi 0.615
void setup() {
Serial.begin(9600);
//Pokretanje serijske komunikacije za terminal
pinMode(photoresPin1, INPUT);
//PGM-5539MP kao ulaz
pinMode(photoresPin2, INPUT);
//PGM-5549 kao ulaz
pinMode(redPin, OUTPUT); // Crvena LED kao izlaz
pinMode(greenPin, OUTPUT); // Zelena LED kao izlaz
pinMode(bluePin, OUTPUT); // Plava LED kao izlaz
}
void loop() {
//Očitavanje vrednosti sa oba fotootpornika
int sensorValue1 = analogRead(photoresPin1);
//Očitavanje sa PGM-5539MP
int sensorValue2 = analogRead(photoresPin2);
//Očitavanje sa PGM-5549
//Pretpostavljeni napon
float V = 5.0; // 5V kao referentni napon
//Računanje otpornost fotootpornika (prema specifičnim
karakteristikama senzora)
float R1 = (1023.0 / sensorValue1 - 1.0) * 10000;
//Otpornost za PGM-5539MP
float R2 = (1023.0 / sensorValue2 - 1.0) * 10000;
//Otpornost za PGM-5549
//Računanje struje (V/R) za oba fotootpornika
float If1 = V / R1;
float If2 = V / R2;
//Izračunavanje osvetljenosti E prema datoj formuli sa x
  = 0.615
float E1 = pow((If1 / C), 1.0 / x);
float E2 = pow((If2 / C), 1.0 / x);
//Ispis na serijski terminal
Serial.print("Otpornost PGM-5539MP: ");
Serial.print(R1);
Serial.print(" ohm, Osvetljenost E1: ");
Serial.print(E1);
Serial.println(" lux");
Serial.print("Otpornost PGM-5549: ");
Serial.print(R2);
Serial.print(" ohm, Osvetljenost E2: ");
Serial.print(E2);
Serial.println(" lux");
Delay(1000);
//Provera razlike između osvetljenosti i postavljanje bo
j e
if (abs(E1 - E2) < 100) {
    setColor(0, 255, 255); // Tirkizna boja
}
else if (E1 > E2) {
    setColor(255, 0, 255); // Ljubičasta boja
}
else {
    setColor(216, 58, 12); // Narandžasta boja
}
delay(100); // Pauza za stabilnost
}
// Funkcija za postavljanje boja RGB LED diode
void  setColor(int redValue, int greenValue, int  blueValue)
{
analogWrite(redPin, redValue); //Intenzitet crvene LED
analogWrite(greenPin, greenValue);
//Intenzitet zelene LED
analogWrite(bluePin, blueValue);// Intenzitet plave LED
}
```

IV. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Priklikom realizacije uređaja u laboratoriji, pored komponenata za realizaciju uređaja, iskorišćen je i četvorokanalni osciloskop, modela RIGOL DS1000Z [9], kako bi uočili promene na ulazu i izlazu ovog uređaja, kada RGB LE dioda menja boje u zavisonosti od napona na razdelnicima. Na slici 8 dat je prikaz uređaja realizovanog fizički u laboratoriji. Ovaj uređaj generiše boje na RGB LED na principu impulsno širinske modulacije. Žutim signalom na osciloskopu prikazana je plava LED u RGB diodi, ljubičastim signalom je prikazana zelena LED u RGB diodi i tirkiznim signalom na osciloskopu nam prikazuje crvenu LED u RGB diodi.



Slika 8. Praktična relizacija u laboratoriji.

Na slici 9 je generisana ljubičasta boja. Asko se osvrnemo na implementirani kod, ljubičasta boja se predstavlja vrednostima (255, 0, 255). Crvena i plava LE diode u sklopu RGB LED-a nalaze se na 100 % ispunjenosti(*Duty Cycle*), to je prikazano tirkiznim signalom koji predstavlja crvenu LED u RGB diodi, i žutim signalom na osciloskopu, koji prikazuje plavu LED u RGB diode. Ispunjenost zelene LED je 0% u RGB LED, prikazano ljubičastim signalom na osciloskopu.

U narednom slučaju razmatrano je kada se generisala tirkizna boja. Upečatljivo u ovom slučaju je da na osciloskopu tirkizni signal sa kanala dva nalazi na 0% ispunjenosti (logička nula), jer prilikom generacije tirkizne boje, crvena LED je isključena. Zelena i plava LED su na 100% ispunjenosti, na osciloskopu je pokazano ljubičastim signalom(zelena LED) i žutim signalom(plava LED). To je prikazano na slici 10. U poslednjem slučaju prikazanom na slici 11, nalaze se sva tri signala sa osciloskopa, to prikazuje da su crvena, zelena i plava LED uključene. Crvena LED, aproksimirana tirkiznim signalom na osciloskopu ima ispunjenost od 85%. Plava LED ima ispunjenost od 5%, prikazano žutim signalom na osciloskopu i zelena LED ima ispunjenost od 23%, prikazano ljubičastom bojom na osciloskopu.



Slika 9. Signali kada *RGB LE* dioda svetli ljubičastom bojom.



Slika 10. Signal na osciloskopu kada RGB LE dioda svetli tirkiznom bojom.



Slika 11. Signal sa osciloskopa kada RGB LE dioda svetli narandžastom bojom.

Prilikom praktične realizacije, pojavio se izazov u postizanju tačne nijanse narandžaste boje na RGB LED diodi zbog neadekvatnog projektovanja kombinacija boja. Problem je uspešno rešen kroz sistematsku pretragu i testiranje različitih RGB vrednosti, što je omogućilo optimizaciju boje i postizanje željenog rezultata.

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu zadovoljavajućih rezultata dobijenih analizom očitavanja svetlosti i ispravnog rada luksmetra, možemo zaključiti da je uređaj uspešno realizovan. Sistem je dokazao svoju efikasnost u preciznoj detekciji svetlosnih promena pomoću fotootpornika, ali postoje mogućnosti za dalja poboljšanja, kao što je povećanje osetljivosti na promene svetla u različitim okruženjima. Potencijalne nadogradnje uključuju optimizaciju algoritama za različite nivoe osvetljenja i proširenje funkcionalnosti sistema, poput uključivanja više senzora ili integracije sa pametnim sistemima osvetljenja. Ovaj uređaj ima široku praktičnu primenu u kontrolisanju osvetljenja u domovima, kancelarijama, i industrijskim postrojenjima, gde je efikasno upravljanje svetlom od suštinskog značaja. Dalji rad na projektu mogao bi doprineti većoj energetskoj efikasnosti i boljoj prilagodljivost svetlosnim uslovima u različitim aplikacijama.

ZAHVALNICA

Posebne zahvalnice profesorki Emiliji Živanović i asistentu Nikoli Mitroviću na ukazanoj pomoći i stručnim savetima prilikom izrade i realizacije rada..

LITERATURA

[1] E. Živanović, „Praktikum laboratorijskih vežbi sa primerima zadataka iz predmeta osnovi optike“, Elektronski fakultet u Nišu, 2018.

[2] R. Srividya, Dr. C. Pearl, C. R. Srinivasan, Đorđe Veličković, „Implementation of a Tunable RGB LED Light Source“, International Science Press, 2015.

[3] Tehnička specifikacija za 509RGBC2E-002. Dostupno na: https://www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=2927

[4] S. Ristić, „Elektronske komponente“, Elektronski fakultet u Nišu, 2010.

[5] Tehnikčka specifikacija PGM5539MP. Dostupna na: https://www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=7543.

[6] Tehnička specifikacija PGM5549. Dostupna na: https://www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=7543.

[7] Razvojno okruženje Arduino. Dostupno na: https://www.arduino.cc/

[8] Okruženje Proteus. Dostupno na: https://www.labcenter.com/

[9] Tehnička specifikacija RIGOL DS100Z. Dostupna na: https://int.rigol.com/Images/DS1000ZDataSheetEN_tcm7-3026_tcm7-3026.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.121V
Original scientific paper

Projektovanje razvojnog okruženja baziranog na STM32 mikrokontroleru

Nevena Veselinović
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nevenaveselinovicc@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U radu je opisan postupak projektovanja i implementacije sistema zasnovanog na ARM mikrokontroleru iz STM32 serije, odnosno STM32F103RBT6 mikrokontroleru, koji integriše najčešće korišćene periferijske jedinice na jednoj štampanoj ploči. Glavni cilj projekta je razvoj kompaktnog i efikasnog razvojnog okruženja, koje će omogućiti brže i jednostavnije testiranje i učenje u oblasti mikroelektronike. U prvom delu rada dat je teorijski pregled arhitekture ARM mikrokontrolera, s posebnim osvrtom na STM32 seriju. Drugi deo rada obuhvata praktičnu realizaciju razvojnog okruženja u softverskim alatima STM32CubeMX i Altium Designer. U STM32CubeMX alatu prikazane su konfiguracije i plan rasporeda periferija, dok je u softveru Altium Designer dizajnirana štampana ploča koja integriše sve periferijske jedinice. Posebna pažnja posvećena je optimizaciji rasporeda komponenata i rutiranju signala, kako bi se obezbedila pouzdanost i funkcionalnost sistema.**

Ključne reči—Altium Designer, ARM mikrokontroleri, periferijske jedinice, razvojno okruženje, STM32CubeMX, STM32F103RBT6

I. UVOD

STM32 mikrokontroleri predstavljaju seriju najkorišćenijih i najpopularnijih mikrokontrolera današnjice, pre svega zbog svojih performansi i pristupačnosti, ali i širokog spektra različitih modela koji postoje i mogućnostima koje nude. Cilj i zadatak rada je da se istraže i obrade periferijske jedinice STM32 mikrokontrolera, prateći put od ideje do realizacije projekta. Rad je nastao sa željom da se unapredi proces učenja, obrađivanja i testiranja različitih komponenata i elektronskih sklopova; kreiranjem razvojnog okruženja na kome će biti integrisane sve najčešće korišćene komponente na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi, na Elektronskom fakultetu u Nišu. Suština rada je dizajniranje štampane ploče, odnosno razvojnog okruženja koje će biti kompaktnije i korisnije u poređenju sa korišćenim okruženjima do sada. Cilj je da se omogući brže i efikasnije testiranje i učenje, pružajući studentima dodatno vreme za istraživanje i eksperimentisanje sa novim mikroelektronskim komponentama i kolima, što će omogućiti brže sticanje novih znanja.

II. TEORIJSKI PREGLED

Mikrokontroleri su digitalna integrisana elektronska kola specijalno dizajnirana za obavljanje specifičnih zadataka u ugrađenim sistemima. Jedna od najpoznatijih arhitektura mikrokontrolera je ARM arhitektura (*Advanced RISC Machines*), zasnovana na RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) instrukcijama, koja je poznata po svojoj efikasnosti i brzini. Kompanija *ARM Holdings* [1] ne proizvodi mikrokontrolere, već razvija i licencira dizajne čipova drugim proizvođačima, koji mogu da proizvode i prodaju mikrokontrolere zasnovane na ARM arhitekturi. *STMicroelectronics* [2] je jedan od proizvođača i trenutno jedini koji nudi kompletan sistem procesora baziranih na Cortex-M jezgrima. Kada se govori o Cortex-M jezgrama, često se spominju IP (*Intellectual Property*) jezgra, što znači da je dizajn čipa intelektualna svojina jedne strane, odnosno *ARM Holdings*-a.

Kompanija *STMicroelectronics* poznata je po proizvodnji STM32F103 serija mikrokontrolera. Ovo su mikrokontroleri zasnovani na Cortex-M3 jezgru, koje predstavlja 32-bitno RISC jezgro koje može da radi na frekvenciji od 72 MHz. Imaju ugrađene brze memorije, veliki opseg unapređenih ulazno/izlaznih priključaka (I/O – *Input*/*Output*) i periferija. Uređaji rade sa napajanjem od 2 do 3,6 V, tipično je to 3,3 V. Serija STM32F103 uključuje uređaje u šest različitih kućišta, od 36 do 100 pinova. U zavisnosti od izabranog uređaja, uključeni su različiti setovi periferija [3]. Izabran mikrokontroler iz ove serije je STM32F103RBT6 mikrokontroler.

Pored pomenutih karakteristika STM32F103 serije mikrokontrolera, odabrani mikrokontroler ima 128 KB Flash memorije, koja omogućava trajno skladištenje podataka čak i kada je napajanje isključeno, kao i 20 KB SRAM memorije (*Static Random Access Memory*), koja služi za privremeno čuvanje podataka tokom rada uređaja. Sadrži 51 GPIO pin (*General Purpose Input/Output*), konfigurisanih kao ulazni ili izlazni pinovi, prema potrebama aplikacije. Sadrži dva 12-bitna AD konvertora (*Analog-Digital Converter*) sa 16 kanala, RCC (*Reset and Clock Control*), RTC (*Real-Time Clock*) i četiri tajmera (*Timers*). Podržava dva I^2C (*Inter-Integrated Circuit*) serijska interfejsa, tri USART (*Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter*) interfejsa, dva SPI (*Serial Peripheral Interface*) interfejsa i CAN (*Controller Area Network*) interfejs. Mikrokontroler STM32F103RBT6 se nalazi u 64 LQFP (*Low-profile Quad Flat Package*) pakovanju. To znači da mikrokontroler ima 64

pina i da se nalazi u pakovanju sa raspoređenim pinovima duž četiri strane uređaja [4].

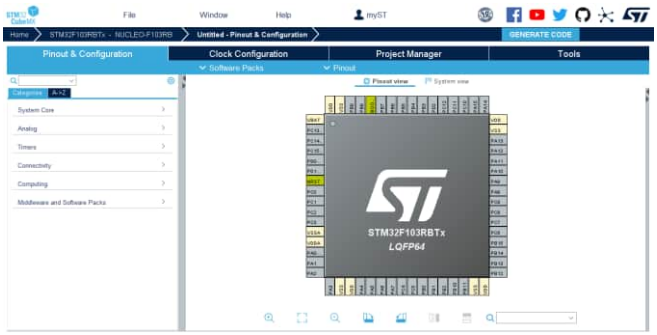
Na razvojnom okruženju naći će se različite periferije i komunikacije, one uključuju UART, I²C, SPI, ADC, PWM, GPIO, RCC i RTC.

III. Pregled periferija u softveru STM32Cube MX

U ovom poglavlju biće prikazano projektovanje razvojnog okruženja baziranog na STM32F103RBT6 mikrokontroleru, u softverskom alatu STM32CubeMX [5]. Pregled periferijskih jedinica dat je u alatu koji je proizvela kompanija *STMicroelectronics*, sa ciljem da korisnicima olakša rad sa mikrokontrolerima njihove proizvodnje. Softverski alat STM32CubeMX daje mogućnost pregleda svih pinova izabranog mikrokontrolera i direktnu konfiguraciju njegovih periferijskih jedinica, a svojim vizuelnim prikazom maksimalno olakšava pregled svih pinova. Njegova prednost je ta što prikazuje identičan raspored pinova u programu, kao što su na fizičkom mikrokontroleru. Ovaj alat nudi pregled različitih modela i kućišta, što olakšava dizajn ploče.

A. STM32F103RBT6 u alatu STM32CubeMX

Na početku procesa projektovanja izabran je željeni mikrokontroler. Na Slici 1 prikazan je interfejs softvera STM32CubeMX sa izabranim mikrokontrolerom, na kome su trenutno svi pinovi slobodni.



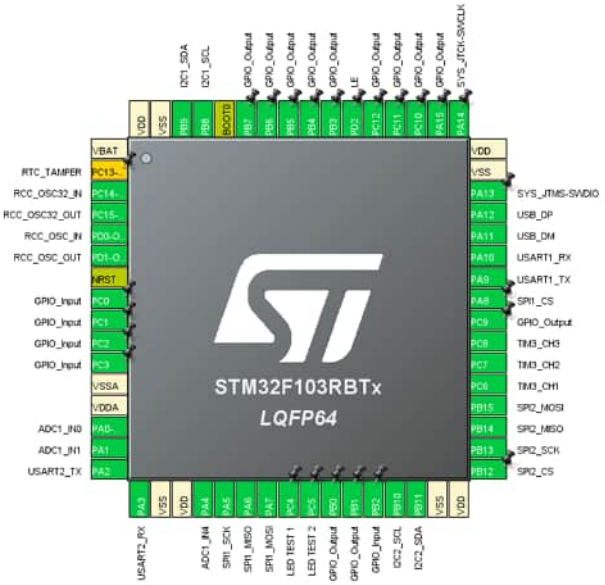
Slika 1. Interfejs softvera STM32CubeMX.

Pinout & Configuration je deo softvera koji omogućava detaljnu konfiguraciju periferija i sistemskih funkcija mikrokontrolera, ali i veoma dobru preglednost svih pinova mikrokontrolera.

B. Idejno rešenje rasporeda periferija

Cilj projektovanja razvojnog okruženja bio je optimalno iskoristiti sve raspoložive pinove mikrokontrolera, kojih je ukupno 64. Svaki pin mikrokontrolera podržava više funkcionalnosti, povezanih sa različitim periferijama (jednom, dve, pa čak i tri). Funkcionalnost pinu dodeljuje se u zavisnosti od odabranih periferija, što omogućava fleksibilno projektovanje. Da bi mikrokontroler radio ispravno u razvojnom okruženju, neophodno je povezati ga sa osnovnim komponentama kao što su kondenzatori, tasteri, USB konektor za napajanje, SWDIO i SWCLK pinovi za programiranje, BOOT1 i BOOT0 pinovi, oscilatori i RTC Tamper pin. Ove komponente zauzimaju određeni broj pinova, dok su preostali pinovi slobodni za periferije i uređaje. Nakon planiranja i optimizacije, u razvojnom okruženju implementirane su sledeće periferije: I²C1, I²C2, SPI1, SPI2, UART1, UART2, TIM2, TIM3, ADC1 (sa 3 kanala) i GPIO. Prvi I²C interfejs koristi se za povezivanje OLED ekrana za vizuelni prikaz podataka, dok je drugi otvoren za povezivanje. ADC1 se koristi sa tri kanala za povezivanje dva potenciometra i fotootpornika. Timer 3 (TIM3) je konfigurisan za kontrolu RGB diode putem PWM signala. SPI1 interfejs koristi se za LED drajver TLC5925, dok su preostali pinovi rezervisani za buduće proširenje. UART komunikacija omogućena je putem dve periferijske jedinice, a RCC periferija omogućava kontrolu eksternih i internih oscilatora.

Neke periferije imaju dodatne mogućnosti koje se mogu konfigurisati u CubeMX softveru. Napravljen je balans između potreba i mogućnosti kako bi se izbeglo preklapanje pinova. Periferije koje nisu maksimalno iskorišćene i dalje zadovoljavaju potrebe obrazovanja. Na Slici 2 prikazan je mikrokontroler sa svim mapiranim (eng. *mapped*) pinovima, ilustrujući kako su odabrani i raspoređeni za razvojno okruženje.



Slika 2. Idejno rešenje rasporeda periferija na STM32F103RBT6 mikrokontroleru.

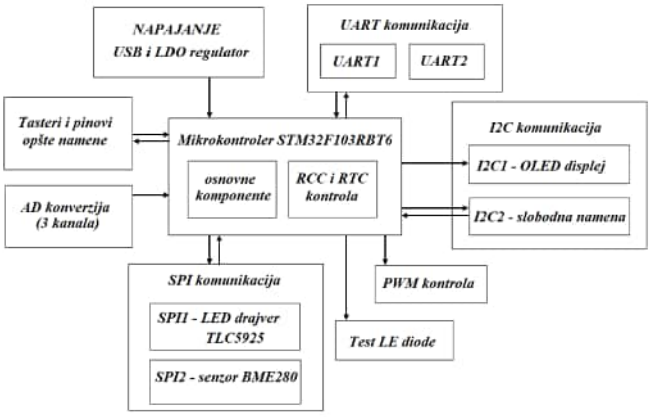
Svi pinovi deo su željene funkcionalnosti razvojnog okruženja i predstavljaju kontrolne pinove za neke uređaje, module ili displeje, a biće detaljno objašnjeni u nastavku. Važno je naglasiti da su svi pinovi označeni sa *GPIO_Output*, odnosno kao izlazni pinovi, označeni samo zbog ilustrativnog prikaza, ovi pinovi su u stvari slobodni (nemapirani) pinovi koji mogu imati onu namenu koju korisnik odabere.

IV. Projektovanje okruženja u programu Altium Designer

Altium Designer [6] je softverski alat za dizajniranje štampanih ploča – PCB (*Printed Circuit Board*). Omogućava kreiranje kompleksnih električnih šema, koje predstavljaju međusobne veze komponenata u sistemu. U njemu je moguće dizajnirati štampane ploče različitih složenosti, one mogu biti jednoslojne (jednostrane i dvostrane) i višeslojne. Takođe, moguće je birati koja će biti debljina slojeva i koji će ih izolacioni materijal činiti (najčešće je to fiberglas očvrsnut epitaksijalnom smolom – polimer FR4). Na kraju procesa omogućava 3D prikaz modela ploča, čime olakšava

vizuelizaciju i proveru fizičkog uklapanja komponenata. Altium Designer podržava simulaciju električnih veza i verifikaciju dizajna, ukazujući na sve moguće greške koje bi remetile fizičku izradu ploče i obezbeđuje ispravljanje grešaka pre proizvodnje. Na kraju, generiše proizvodnu dokumentaciju, odnosno gerber (eng. *Gerber*) fajlove neophodne za proizvodnju ploče. U nastavku biće prikazane električne šeme (eng. *schematic*) i izgled ploče sa komponentama (*Through-hole* i SMD (*Surface-Mount Device*)).

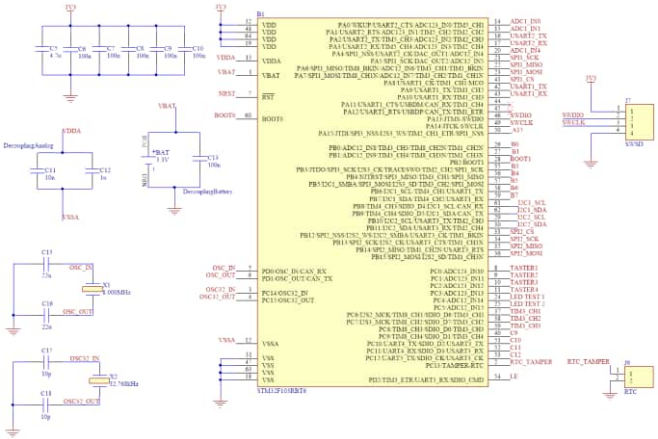
Radi lakšeg razumevanja narednih celina, na Slici 3 prikazana je blok šema razvojnog okruženja koja sadrži ključne elemente. Ova blok šema pruža pregled osnovnih periferija i njihovih veza sa mikrokontrolerom, kao glavnom komponentom projekta i služi da vizuelno olakša razumevanje dizajnerskog pristupa.



Slika 3. Blok šema razvojnog okruženja.

A. *Osnovno kolo mikrokontrolera sa napajanjem*

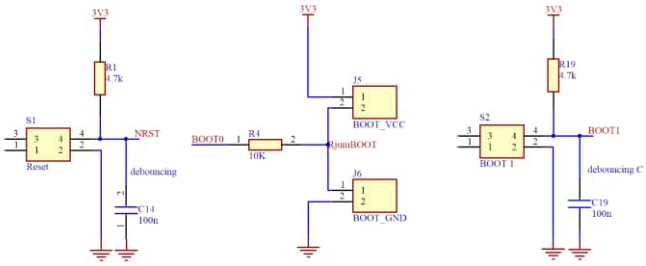
Električna šema osnovnog kola mikrokontrolera prikazana je na Slici 4, kreirana je na osnovu podataka iz tehničke dokumentacije glavnog uređaja (eng. *datasheet*) [4].



Slika 4. Električna šema osnovnog kola mikrokontrolera.

Keramički kondenzatori C_5, C_6, C_7, C_8, C_9 i C_{10} služe za otklanjanje naponskih šumova i smetnji koje dolaze iz napajanja, filtririraju visokofrekventne signale i omogućavaju stabilnost, dok se kondenzatori C_{11} i C_{12} koriste za uklanjanje smetnji analognih signala AD konvertora. Neprekidan rad RTC kola obezbeđuje baterijsko napajanje preko *coin-cell* baterije CR2032. Da bi se stabilizovao napon i smanjili električni šumovi, uz bateriju je povezan *decoupling* kondenzator C_{13}, koji filtrira visoke frekvencije i doprinosi pouzdanoj funkciji RTC kola. Komponente X_1 i X_2 predstavljaju eksterne kvarcne oscilatore koji služe za generisanje taktnog impulsa. Konektor označen sa SWSD povezan je sa pinovima SWDIO i SWCLK, oni su deo SWD (*Serial Wire Debug*) interfejsa, koji se koristi za programiranje i otklanjanje grešaka (eng. *debugging*). SWDIO je linija zadužena za prenos podataka, a SWCLK za kreiranje taktnog impulsa. RTC Tamper pin povezan je sa RTC (*Real Time Clock*) funkcijom; ima ulogu u detektovanju neželjenih ili neovlašćenih promena u sistemu, tu je da poveća zaštitu i obezbedi sigurnost podataka. Na ploči je povezan kratkospojnikom (eng. *jumper*) sa GND-om (od eng. *ground*) jer se u projektu ne koriste njegove funkcije. Šematski simboli komponenata pronađeni su zajedno sa otiscima (eng. *footprint*) i 3D modelima, na internet sajtovima proizvođača.

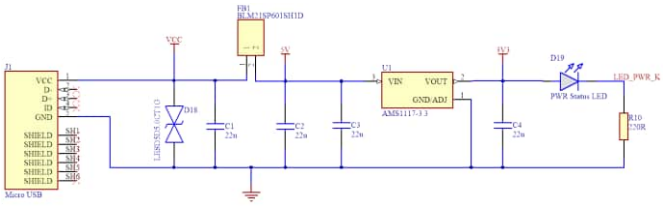
Na Slici 5 prikazan je deo šematika koji sadrži kontrolu Reset, BOOT0 i BOOT1 pinova.



Slika 5. Reset i BOOT pinovi.

Pin NRST je povezan u *pull-up* konfiguraciji sa tasterom S1 i služi za spoljni reset mikrokontrolera, aktivira se logičkom nulom. Kondenzator C_{14} je *debouncing* kondenzator, koji sprečava višestruko aktiviranje tastera i greške pri resetovanju. Pin BOOT0, kada je na logičkoj nuli, pokreće korisnički kod iz flash memorije, a na logičkoj jedinici aktivira interni *bootloader* za reprogramiranje preko periferija (USB, SPI, UART). BOOT0 je povezan preko kratkospojnika. BOOT1, zajedno sa BOOT0, određuje način pokretanja mikrokontrolera i povezan je sa tasterom S2 u *pull-up* konfiguraciji.

Na Slici 6 prikazana je šema kola za napajanje mikrokontrolera, preko USB konektora.



Slika 6. Šema napajanja mikrokontrolera.

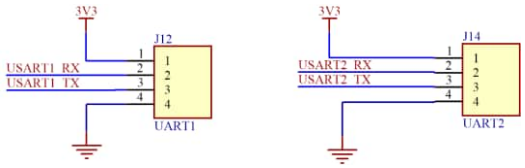
Komponenta D_{18} predstavlja TVS diodu (*Transient Voltage Suppressor*), koja štiti elektronsko kolo od visokog napona (eng. *overvoltage*) i elektrostatičkog pražnjenja (ESD - *Electrostatic Discharge*). TVS diode su komponente koje velikom brzinom uklanjaju naponske pikove zbog dobre brzine provodnosti i time štite ceo elektronski sklop od pregorevanja. FB_1 predstavlja feritnu prigušnicu i koristi se

za smanjenje elektromagnetnih smetnji (EMI). Deluje kao filter koji blokira visoke frekvencije koje mogu uzrokovati interferenciju u elektronskim uređajima. Koristi se za poboljšanje stabilnosti, performansi napajanja i uklanjanja šumova.

Kondenzatori C_1 i C_2 služe za filtriranje napona i stabilizaciju napajanja. Postavljeni pored feritne prigušnice, pomažu u smanjenju fluktuacija napona i stabilizaciji izlaza napajanja. Oni filtriraju visoke frekvencije i pružaju dodatnu stabilnost u napajanjima. U_1 predstavlja LDO (*Low Dropout*) regulator koji konvertuje viši ulazni napon u stabilan izlazni napon od 3.3V, pružajući pouzdano napajanje za elektronske komponente. Može da radi sa vrlo malim naponskim razlikama između ulaza i izlaza, što znači da je potrebno samo nekoliko desetina mV više od izlaznog napona na ulazu da bi regulator mogao da funkcioniše. Kondenzatori C_3 i C_4 služe za filtriranje i stabilizaciju ulaznog i izlaznog napona, respektivno. Na izlazu iz regulatora stavljena je LE dioda, kao indikator prisustva napona. Kada je napon prisutan i stabilan, LED svetli, što omogućava vizuelnu proveru ispravnosti napajanja.

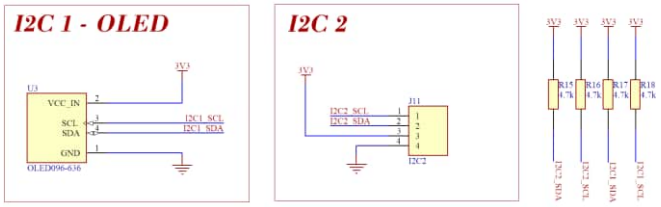
B. *Periferije konkretne namene*

U periferije konkretne namene spadaju komunikacije (UART, I²C, SPI), AD konverzija i PWM kontrola. Na Slici 7 prikazana je šema povezivanja UART komunikacije. Pošto su iskorišćene UART1 i UART2 komunikacija, ostavljena su dva ravna PCB konektora sa 4 pina.



Slika 7. Šema UART komunikacije.

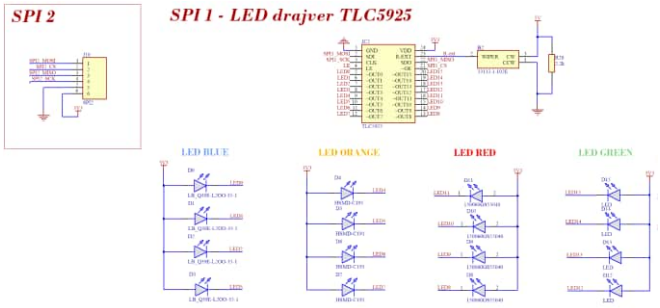
Na Slici 8 prikazana je šema I²C komunikacije, iskorišćene su obe periferije i svaka ima svoju grupu *pull-up* otpornika.



Slika 8. Šema I²C komunikacije.

Prva I²C periferija je iskorišćena za povezivanje OLED displeja (*Organic Light Emitting Diode*) koji će služiti za prikaz podataka prikupljenih tokom rada sistema. U pitanju je OLED displej sa dijagonalom od 0.96 inch i rezolucijom od 128x64 piksela. Ovo je ekran sa monohromatskim prikazom i omogućava visok kvalitet prikaza jer svaki piksel samostalno emituje svetlost, čime se postiže izuzetna energetska efikasnost i brz odziv. Druga I²C periferija je ostavljena slobodna u vidu pina sa 4 konektora, za povezivanje neke druge željene komponente.

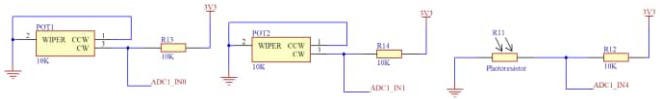
Iskorišćene su obe SPI periferije, šematski prikaz SPI komunikacije dat je na Slici 9.



Slika 9. Šema SPI komunikacije.

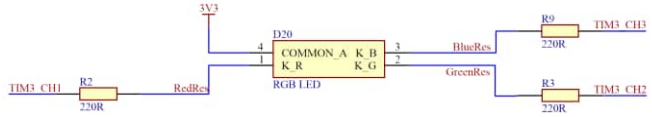
Prva SPI periferija povezana je sa TLC5925 LED drajverom, koji upravlja osvetljenjem 16 LE dioda putem PWM kontrole preko potenciometra B2. Drajver prima dva bajta podataka, gde svaki bit kontroliše jednu diodu. LE diode su podeljene u četiri grupe po boji: plava, narandžasta, crvena i zelena, što omogućava testiranje njihove efikasnosti. Druga SPI periferija je povezana na 6-pinski konektor, prilagođen za senzor BME280 [7], ali pošto se senzor koristi eksterno i postavlja po potrebi, ova periferija može biti slobodna i dostupna za druge komponente kada senzor nije povezan.

Na razvojnom okruženju biće testiran jedan od AD konvertora koristeći tri kanala. Šema AD konverzije prikazana je na Slici 10. Na svakom od ovih kanala je povezan naponski razdelnik, koji se sastoji od dva otpornika: jednog sa promenljivom i jednog sa stalnom otpornošću.



Slika 10. Šema AD konverzije.

Modulacija širine impulsa – PWM iskorišćena je za kontrolu RGB diode. Šema bloka sa RGB diodom prikazana je na Slici 11.

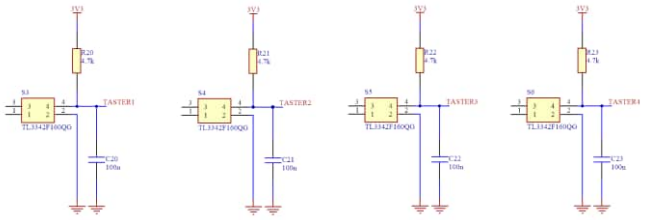


Slika 11. Šema PWM kontrole RGB diode.

Izabrana je RGB (*Red Green Blue*) dioda u konfiguraciji sa zajedničkom anodom povezanom na napajanje, dok su pinovi za crvenu, zelenu i plavu boju povezani na izlaze tajmera 3 koji koristi PWM kontrolu. Svaki kanal tajmera upravlja jednom od boja vršeći modulaciju širine impulsa na odgovarajućem pinu RGB diode.

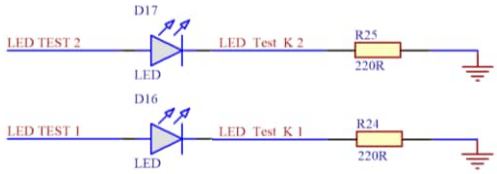
C. *Periferije opšte namene*

Periferije opšte namene predstavljaju fleksibilne resurse mikrokontrolera koji omogućavaju korisnicima da ih programiraju i koriste u skladu sa specifičnim potrebama projekta. Ove periferije nisu unapred određene za konkretne funkcije, već su dizajnirane da se prilagode različitim aplikacijama prema željama korisnika. Postavljena su četiri tastera, koje se mogu koristiti za kontrolu različitih funkcija, kao što su aktivacija specifičnih režima rada, kontrolu periferija ili interakcija sa korisnikom. Električna šema tastera prikazana je na Slici 12.



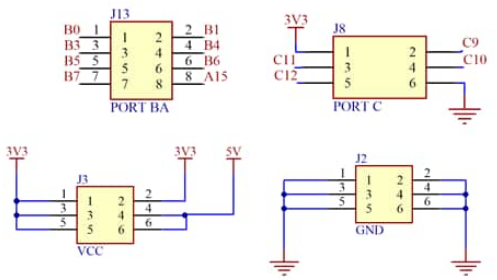
Slika 12. Šema 4 tastera opšte namene.

Takođe, uključene su dve LE diode koje služe za testiranje i demonstraciju različitih efekata, kao što su blinkanje LED-a ili vizuelni indikatori statusa. Ove diode omogućavaju vizuelnu povratnu informaciju o stanju sistema, kao što su indikacije aktivnih funkcija, grešaka ili drugih statusnih informacija. Ova vizuelna povratna informacija može biti ključna za brzo identifikovanje i rešavanje problema tokom razvoja i testiranja. Električna šema LE dioda prikazana je na Slici 13.



Slika 13. Šema LE dioda opšte namene.

Pored toga, sistem sadrži dva konektora sa šest pinova: jedan konektor za GND (uzemljenje) i drugi za napajanje. Postoji i određeni broj slobodnih pinova za dodatna podešavanja. Slobodni su oni pinovi koji nisu deo izabranih periferija u okviru planiranja i projektovanja sistema, povezani su na dva konektora sa osam i šest pinova. Električna šema pinova slobodne namene i konektora za napajanje i masu prikazana je na Slici 14.

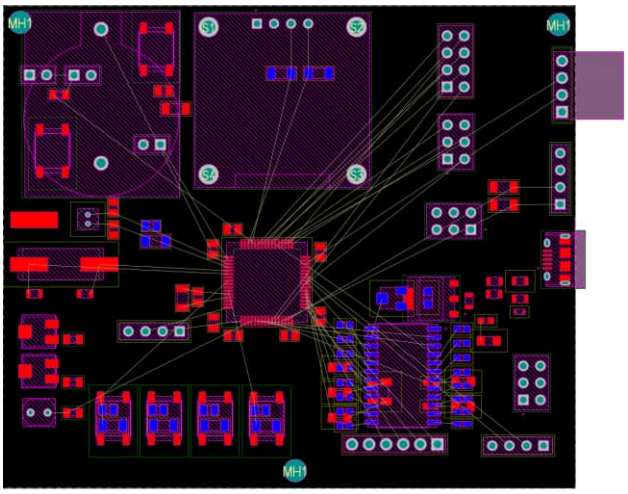


Slika 14. Šema pinova slobodne namene i konektora za VCC i GND.

Periferije opšte namene se nalaze na razvojnom okruženju kako bi još više proširile spektar mogućnosti koje ima i kako bi obezbedile lakše prilagođavanje drugih elektronskih sistema i aplikacija.

D. Raspored komponenata na ploči

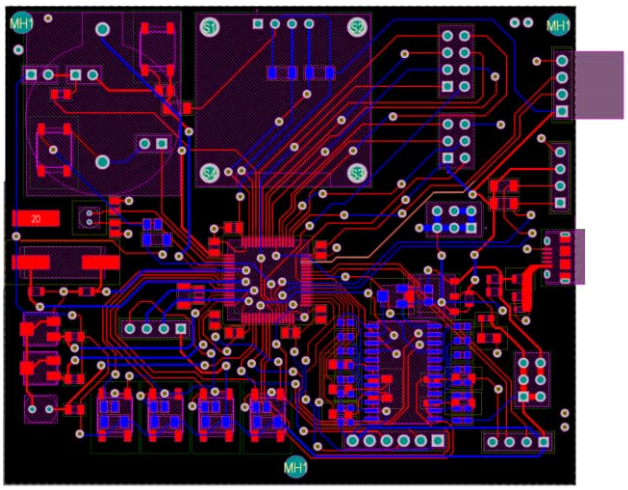
Projektovana ploča je dvoslojna i sadrži ukupno 96 komponenata raspoređenih sa obe strane. Na Slici 15 prikazan je raspored komponenata. Prilikom postavljanja komponenata posebna pažnja je bila usmerena na optimalan raspored i minimizaciju preklapanja signala.



Slika 15. Raspored komponenata na ploči.

E. Rutiranje komponenata

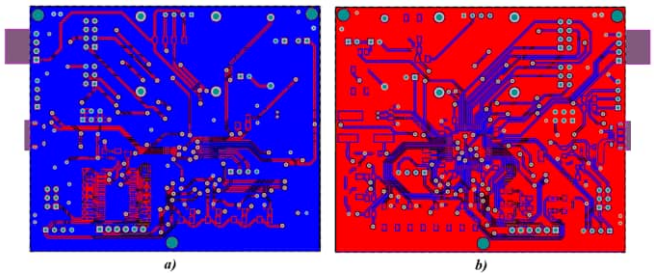
Rutiranje (eng. *Routing*) komponenata je proces povezivanja električnih signala na štampanoj ploči prema definisanoj šemi. Proces uključuje crtanje vodova koji povezuju komponente. Altium Designer omogućava automatsko i ručno rutiranje. U projektu je rađeno ručno rutiranje ploče, uz praćenje pravila dizajna (eng. *Design Rules*), kao što su širina, dužina vodova, rastojanje između njih i slično. Širina linija nije ista u svim delovima ploče već je prilagođena prema zahtevima signala. Kod USB konektora, oko ulaznog napona razliven je bakarni poligon (*Polygon Pour-VCC*). Kreiranje manjeg bakarnog poligona oko linija veze za VCC urađeno je zbog stabilnosti signala, održavanja adekvatnog napajanja, smanjivanja otpora i bolje disipacije toplote. Linije veza koje nose veću struju, kao one koje prenose 5 V, moraju biti deblje kako bi se sprečilo pregrevanje. Deblji vodovi omogućavaju bolji protok struje bez gubitaka energije i rizika od oštećenja komponenata. Uz pomoć opcije *Design Rule Check* utvrđeno ja da prilikom projektovanja i rutiranja nema nikakvih grešaka. Na Slici 16 prikazana je pločica nakon rutiranja.



Slika 16. Ploča nakon rutiranja.

Kako bi se obezbedilo uklanjanje svih šumova i bolja izolacija od elektromagnetnih smetnji, razlivena je masa sa donje (*Bottom Layer*) i sa gornje strane (*Top Layer*)

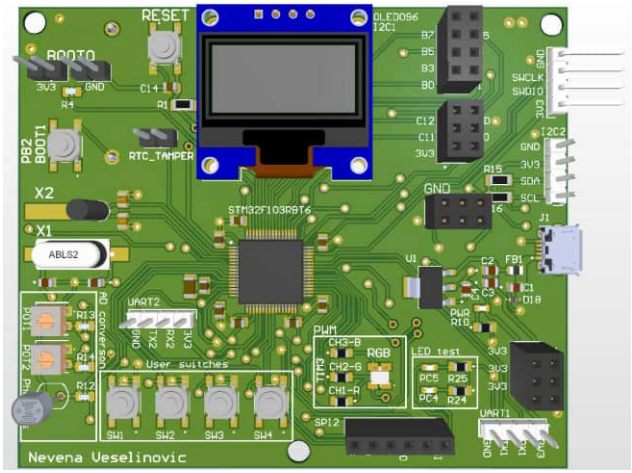
štampane ploče. Na Slici 17 prikazan je izgled razlivene mase sa obe strane ploče.



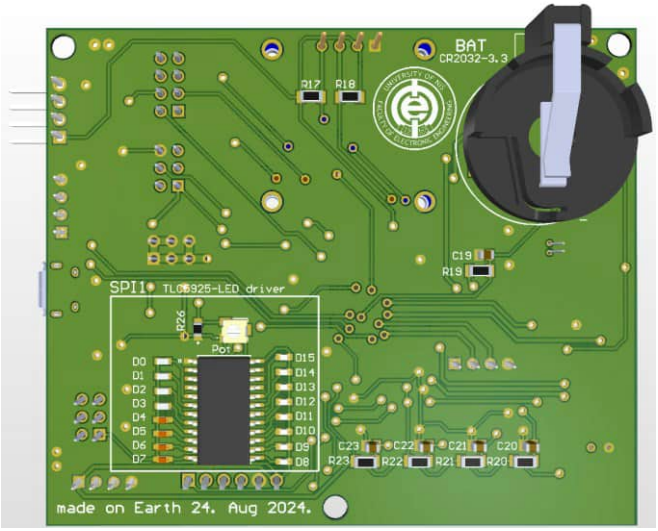
Slika 17. Ploča nakon razlivanja mase sa donje (a) i gornje strane (b).

F. Finalni izgled ploče

Na kraju projektovanja, štampana ploča je prikazana u 3D formatu kako bi se omogućio pregled finalnog izgleda i sveobuhvatan uvid u raspored komponenata. Na Slikama 18 i 19 prikazani su gornji (prednji) i donji (zadnji) deo ploče u 3D formatu, respektivno.



Slika 18. Prednja strana ploče u 3D formatu.



Slika 19. Zadnja strana ploče u 3D formatu.

V. PRAKTIČAN RAD U LABORATORIJI

Poseban deo razvoja sistema bio je posvećen praktičnom radu u Laboratoriji za realizaciju praktične nastave na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi i studijskom programu Elektronika i mikrosistemi, na Elektronskom fakultetu u Nišu. Na Slici 20 prikazano je radno okruženje u kome je vršeno testiranje sistema. Na osnovu prethodnih teorijskih analiza i planiranja dizajna, fizičko testiranje periferija i mikrokontrolera obavljeno je kako bi se osigurala funkcionalnost buduće ploče. Testiranje je izvršeno korišćenjem razvojnog okruženja Nucleo-64 [8] i pratećih komponenata. Cilj laboratorijskog testiranja bila je identifikacija mogućih grešaka, kao što su preklapanje pinova, neispravno povezivanje periferija i problemi u komunikaciji između komponenata.



Slika 20. Radno okruženje u pomenutoj laboratoriji.

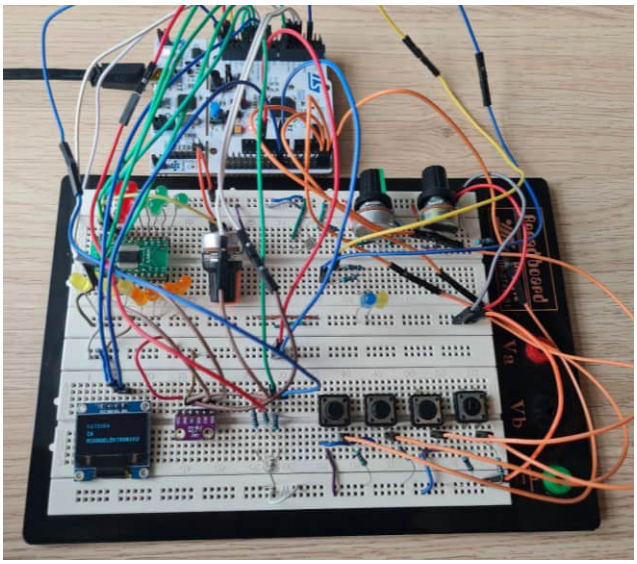
Proverena je tačnost i stabilnost rada periferija. Svaka komponenta povezana je kao deo neke periferije na proto ploči. Prednost novog razvojnog okruženja koje je projektovano leži u unapred definisanom rasporedu periferija i njihovoj jasnoj označenosti na ploči. Ovakav pristup značajno smanjuje mogućnost grešaka u povezivanju i minimizuje tehničke probleme, poput lošeg kvaliteta žica i nepouzdanih konektora.

Kreiranjem ovakve ploče, studentima, ali i ostalim korisnicima, omogućeno je da se fokusiraju na programiranje periferijskih jedinica i povezivanje novih komponenata, umesto na proveru ispravnosti žica i komunikacijskih veza sa uređajima. Na taj način, stvara se stabilno i pouzdano razvojno okruženje koje ubrzava proces učenja i istraživanja. Sve komponente, kao deo sistema, povezane zajedno sa razvojnim okruženjem prikazane su na Slici 21.

Iako su u laboratorijskom okruženju testirane neke od ključnih periferija i funkcionalnosti, razvojno okruženje omogućava dalji razvoj i prilagođavanje različitim potrebama. Pošto je samo okruženje dizajnirano tako da postoje slobodni pinovi i u okviru komunikacionih protokola

i u okviru okruženja, moguće je testirati dodatne komponente.

Na primer, mogu se povezati različiti komunikacioni moduli, kao što su Bluetooth i Wi-Fi moduli, preko slobodnih UART ili SPI periferija. Pored toga, mogu se integrisati dodatni senzori različitih funkcija, kao što su senzori temperature, vlažnosti vazduha, svetlosti, senzori za merenje udaljenosti, PIR senzori, akcelerometri, žiroskopi, kao i mnogi drugi, koji se obrađuju na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi. Pored senzora i dodatnih protokola, moguće je povezati i akturatore, kao što su DC, servo i stepper motori. Kako bi razvojno okruženje ostalo što univerzalnije, ali opet sa dovoljnim brojem integrisanih komponenata, napravljen je plan takav da one najkorisnije budu integrisane, a da za sve ove pomenute ostane više slobodnih periferija, pinova i konektora.



Slika 21. Vizuelni prikaz eksperimentalnog sistema sa povezanim komponentama.

Razvojno okruženje se može prilagoditi različitim obrazovnim potrebama. Na primer, za optoelektronska istraživanja mogu se dodati displeji i LED osvetljenje različitih boja i intenziteta, što omogućava kreiranje složenih sistema za prikaz podataka i kontrolu svetlosti. Takođe, integracija senzora za merenje temperature, vlažnosti, svetlosti ili udaljenosti, zajedno sa Wi-Fi modulom, omogućava razvoj IoT (*Internet of Things*) rešenja kao što su pametne kuće ili industrijske aplikacije. Dodavanje aktuatora otvara mogućnosti za izradu robotskih i automatizovanih sistema. Ovakvim načinom planiranja i rasporeda periferija, okruženje je dobilo vrlo važnu osobinu, a to je univerzalnost. Univerzalnost koja ga odlikuje čini ga izuzetno pogodnim za primenu u obrazovanju, a fleksibilnost koju pruža omogućava studentima i istraživačima da se bave raznovrsnim temama i projektima, prilagođavajući sistem potrebama.

VI. Zaključak

Brzi razvoj tehnologije zahteva stalno usavršavanje i praćenje inovacija. Ovo razvojno okruženje je namenjeno studentima, pružajući im kompaktno i sveobuhvatno razvojno okruženje za učenje i rešavanje praktičnih zadataka. Projektovana ploča integriše periferije, senzore i komponente potrebne za efikasno savladavanje osnovnih sistema, ostavljajući više vremena za naprednije eksperimente. Serijska proizvodnja mogla bi smanjiti troškove, čineći ploču pristupačnijom za obrazovne ustanove, omogućavajući individualno učenje i unapređenje veština budućih inženjera. Ovaj rad predstavlja mali doprinos obrazovanju i inovacijama u oblasti mikroelektronike.

Zahvalnica

Zahvalnost dugujem svom mentoru, prof. dr Danijelu Dankoviću, na podršci i smernicama tokom realizacije ovog rada. Projekat je urađen u okviru završnog rada na osnovnim akademskim studijama, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi.

Literatura

[1] ARM Holdings Ltd. ARM Official Website. Dostupno na: https://www.arm.com/

[2] STMicroelectronics. STMicroelectronics Official Website, 2019. Dostupno na: https://www.st.com/content/st_com/en.html

[3] STMicroelectronic, Arm Cortex-M3 – Microcontrollers, STMicroelectronics, 2020. Dostupno na: https://www.st.com/content/st_com/en/arm-32-bit-microcontrollers/arm-cortex-m3.html

[4] STMicroelectronics, Tehnička dokumentacija za STMF103RBT6 mikrokontroler. Dostupno na: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103rb.pdf

[5] STMicroelectronics, Softverski alat STM32CubeMX, STMicroelectronics, 2023. Dostupno na: https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html#overview

[6] Altium Designer, Altium Designer Official Website, Altium, 2024. Dostupno: https://www.altium.com/altium-designer/

[7] Bosch Sensortec, Humidity Sensors BME280. Dostupno na: https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/

[8] STMicroelectronics, Tehnička dokumentacija za NUCLEO-F103RB - STM32 Nucleo-64 development board with STM32F103RB MCU, STMicroelectronics. Dostupno na: https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f103rb.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.129DJ
Original scientific paper

PIN dioda kao senzor rendgenskog zračenja

Dunja Đorđević
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
dunja.djordjevic@elfak.rs
ORCID: N/A

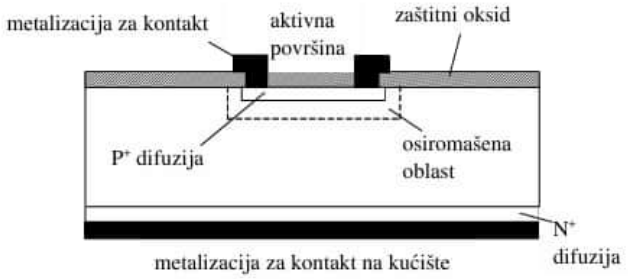
***Sadržaj*—Ovaj projekat istražuje mogućnost korišćenja PIN fotodiode za detekciju rendgenskog zračenja. Merena je indukovana fotostruja pod dejstvom ovog zračenja za različite kvalitete snopova i doze zračenja pri različitim naponima polarizacije kako bi se utvrdilo ponašanje fotodide kada se izloži X-zračenju. Mnogo faktora može uticati na osetljivost PIN fotodiode dok su u ovom radu istražene ucaj doze, debljine tj širine oblasti osiromašenja i energije izvora.**

Ključne reči—PIN dioda, rendgensko zračenje, sttruja mraka

I. UVOD

Rendgensko zračenje pripada spektru elektromagnetnih talasa sa veoma kratkim talasnim dužinama i visokim energijama. Ova energija je dovoljna da izazove jonizaciju atoma u materijalima, što ga čini izuzetno korisnim u medicinskim i industrijskim primenama, ali takođe zahteva posebne senzore za detekciju.

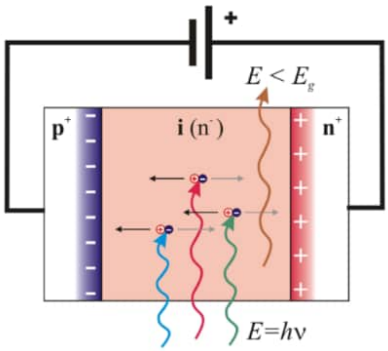
Standardne PN fotodiode imaju ograničenu sposobnost detekcije visokih energija, kao što su X-zraci, zbog svoje uske osiromašene oblasti, koja ne omogućava dovoljno duboko prodiranje fotona visoke energije. Suprotno tome, PIN diode, zahvaljujući svom nedopiranom *i* (*intrinsic*) sloju između P i N regiona, imaju znatno širu osiromašenu oblast koja omogućava efikasniju apsorpciju X-zračenja i bolju fotogeneraciju nosilaca naelektrisanja [1]. Na slici 1 prikazana je struktura N tipa PIN fotodiode.



Slika 1. Struktura N tip PIN fotodiode.

Kada se formira ovakva struktura, šupljine difunduju sa P+ strane, dok elektroni difunduju sa N+ strane prema i sloju gde se rekombinuju i nestaju. Ovaj proces za sobom ostavlja tanak sloj negativnih akceptorskih jona na P+ strani i tanak sloj pozitivnih donorskih jona na N+ strani. Ova dva naelektrisanja razdvojena *i* slojem formiraju ugrađeno električno polje.

Primenom inverznog napona, oblast prostornog naelektrisanja u kojoj nema nosilaca naelektrisanja se širi preko *i* sloja. Kada foton zračenja pogodi ovu oblast, generiše se par elektron-šupljina putem jonizacije atoma u kristalnoj rešetki. PIN struktura je dizajnirana tako da se apsorpcija fotona ostvaruje u *i* sloju. Fotogenerisani parovi elektron-šupljina u *i* sloju se razdvajaju pod uticajem električnog polja i usmeravaju se ka N+ i P+ strani. Dok ovi nosioci driftuju (kretanje pod dejstvom električnog polja) kroz *i* sloj, povećava se fotostruja. Da bi fotogeneracija nosilaca bila uspešna energija fotona *hv* mora biti veća od energije energetskog procepa E_g poluprovodničkog materijala od kojeg je fotodioda napravljena.



Slika 2. Princip rada.

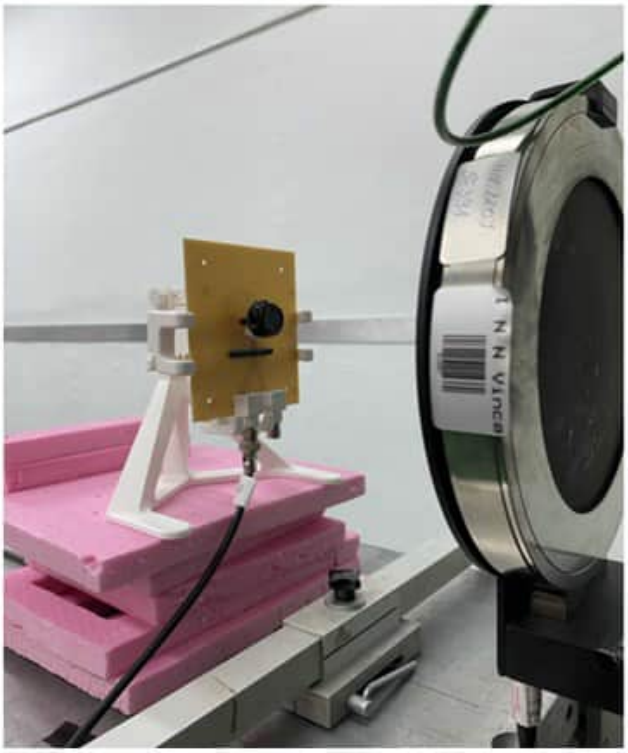
Parameter koji dominatno utiče na indukovanu fotostruju je aktivna zapremina detekcije, definisana aktivnom površinom i širinom oblasti osiromašenja. Dakle, za PIN fotodiode sa većom aktivnom površinom i/ili širom oblasti osiromašenja, očekuje se da pokažu veću osetljivost na incidentno zračenje. Dok je aktivna površina jedne diode konstanta, širina oblasti osiromašenja može varirati. Širina ove oblasti je određena primenjenim inverznim naponom [1]. Kada se na diodu primeni inverzni napon polarizacije (fotoprovodni režim), širina ove oblasti se povećava proporcionalno sa primenjenim naponom. Fotoprovodni režim pruža veću osetljivost i brži odziv, ali povećava struju curenja, ograničavajući na taj način minimalnu dozu zračenja koja može biti izmerena.

II. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Metodologija je obuhvatala praktičnu realizaciju eksperimenta u laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke “Vinča”, gde su vršeni eksperimenti ozračivanja N tipa fotodiode FD80N koju proizvodi Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju.

curenja, ograničavajući na taj način minimalnu dozu zračenja koja može biti izmerena.

Slika 3 prikazuje sobu u kojoj je vršeno ozračivanje, kao i izvor zračenja i pripremljeni uzorak (fotodiodu). Fotodioda FD80N [2] montirana je na pločicu koja je preko BNC konektora povezana sa bipolarnim napajanjem i računarom. Softver koji obezbeđuje adekvatno polarisanje diode i čuvanje podataka (indukovane fotostruje) pisan je u programskom jeziku C#. Površina fotodiode je optički izolovana kao što se može videti na slici 3 kako bi se maksimalno smanjio uticaj vidljive svetlosti. Pre testiranja neophodno je pravilno pozicionirati diodu, tako da se nalazi u centru izvora, i na tačno određenom rastojanju. Izvršena su merenja indukovane struje i dobijena zavisnost fotostruje od napona inverzne polarizacije za različite kvalitete snopova i intenzitete struje cevi. Ozračivanje je vršeno na sobnoj temperaturi korišćenjem rendgen aparata tipa *Hopewell Design Beam Irradiator X80-255.*



Slika 3. Eksperimentalna postavka.

Uzorak je postavljen na udaljenosti 50 cm od izvora. U prvoj seriji korišćen je kvalitet snopa RQR2 kome odgovara napon cevi 40 kV. Merenja se ponavljaju za 4 različite struje cevi (5, 10, 15 i 20 mA). Napon polarizacije se postavlja na vrednost 30, 40 i 50 V, i za svaku vrednost uzorak se 20 sekundi izlaže zračenju, za koje vreme se vrši prikupljanje vrednosti induovanih fotostruja. Proces je ponovljen za još dva kvaliteta snopa (RQR5 i RQR10), pri čemu je za kvalitet snopa RQR5 tj. napona cevi 70 kV, fotodioda bila polarisana inverznim naponom u opsegu od 0 do 50 V u trajanju od 20 sekundi za svaku vrednost. Kvalitetu snopa RQR10 odgovara napon cevi 150 kV.

Pored odziva same komponente, praćene su i njene karakteristike, kako bi se utvrdilo da li je došlo do njene degradacije, što je podrazumevalo merenje struje mraka i strujno-naponske karakteristike. Struje mraka merene su pre i posle svakog ozračivanja. Cilj je utvrditi njen uticaj na generisanu fotostruju, kao i da li dolazi do oštećenja same diode usled izloženosti visokoenergetskom zračenju. Struja mraka fotodiode je pre početka testiranja izmerena u test fixture, kao i u sobi za ozračivanje. Praćena je njena promena, pa tako dobijena njena vrednost i nakon ozračivanja.

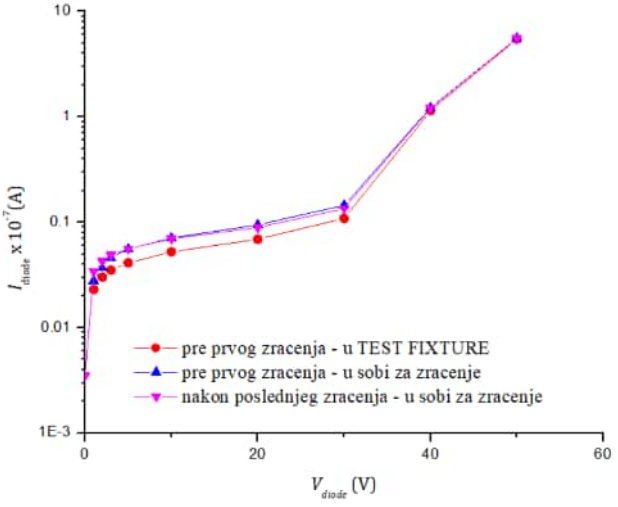
III. Rezultati

Svi dobijeni rezultati su najpre obrađeni u programu *GNU Octave*, kako bi se za izmerene vrednosti fotostruja za svaki napon polarizacije (u trajanju od 20 sekundi) pronašla srednja vrednost. Dobijeni podaci su potom iskorišćeni za grafički prikaz rezultata u programu *Origin* i predstavljanje zavisnosti generisane fotostruje od napona polarizacije.

Treba uzeti u obzir da se na diodu primenjuje inverzni napon, odnosno negativna vrednost napona. Takođe generisana fotostruja je suprotnog smera od smera struje pri direktnoj polarizaciji. Ove vrednosti odgovaraju četvrtom kvadrantu strujno-naponske karakteristike, međutim radi jednostavnosti koriste se apsolutne vrednosti napona i struja. Dalje u radu podrazumeva se da je primenjen negativan napon (napon inverzne polarizacije), ali se koriste apsolutne vrednosti istog.

A. Struja mraka i strujno-naponska karakteristika

Struja mraka predstavlja neželjenu komponentu, ograničava osetljivost, pa je potrebno pratiti njenu promenu, pogotovo na većim polarizacijama. Zbog toga izvršena su merenja struje mraka i njena zavisnost od napona polarizacije pre i posle ozračivanja. Na slici 4 u log-lin razmeri prikazane su izmerene vrednosti intenziteta struje mraka za različite napone polarizacije. Crvenom bojom predstavljena je njena zavisnost pre početka testiranja izmerena u test fixture. Potom je za isti opseg polarizacije izmerena njena vrednost u sobi za ozračivanje, pre početka samih eksperimenta i ta zavisnost prikazana je plavom bojom na slici 4. Na kraju testiranja, izvršeno je merenje ove zavisnosti u sobi za zračenje, i ona je predstavljena ljubičastom bojom.

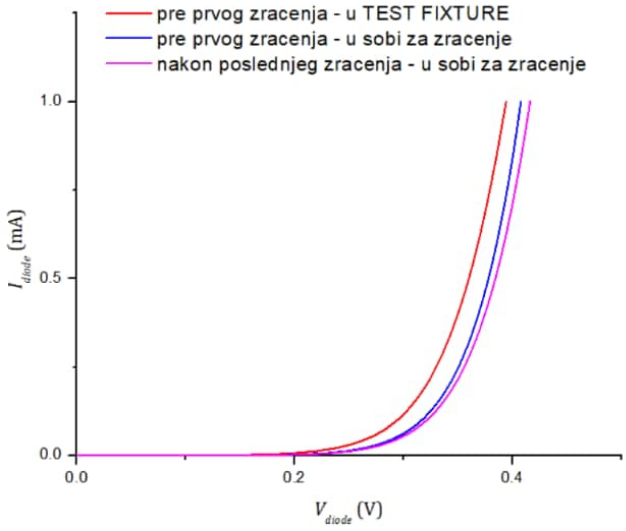


Slika 4. Struja mraka pre prvog i nakon poslednjeg zračenja.

Sa grafika se uočava da ne postoje velika odstupanja u vrednostima struje mraka, pre prvog i nakon poslednjeg zračenja u sobi za zračenje. Na osnovu toga se zaključuje da

ne dolazi do degradacije karakteristika komponente usled izlaganja X-zračenju. Sa druge strane za napone inverzne polarizacije koji su veći od 40 V dolazi do naglog povećanja struje mraka, pa ona bitno može uticati na generisanu fotostruju. Zbog ovakvih rezultata potrebno je uzeti u obzir i samu vrednost struje mraka, tako da će biti predstavljene zavisnosti generisane fotostruje od inverznog napona polarizacije sa izmerenim vrednostima fotostruja, a potom i sa oduzetom strujom mraka.

Na slici 5. skiciran je grafik strujno-naponske karakteristike pre i nakon ozračivanja. Crvenom bojom predstavljena je njena zavisnost pre početka testiranja izmerena u test fixture. Potom je za isti opseg polarizacije izmerena njena vrednost u sobi za ozračivanje, pre početka samih eksperimenta i ta zavisnost prikazana je plavom bojom. Na kraju testiranja, izvršeno je merenje ove zavisnosti u sobi za zračenje, i ona je predstavljena ljubičastom bojom. Može se uočiti neznatno pomeranje karakteristike u desno izmerene u sobi za ozračivanje, pre prvog i nakon poslednjeg zračenja komponente.

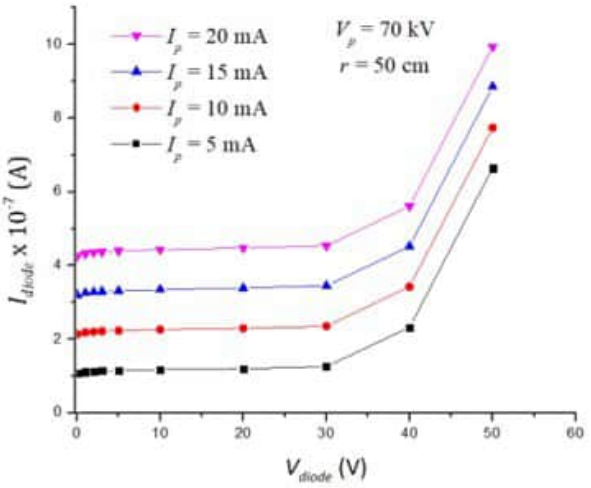


Slika 5. Strujno-naponska karakterstika.

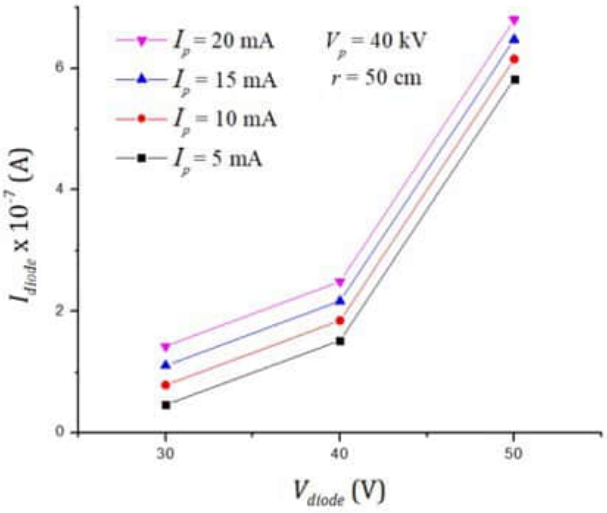
B. *Rezultati eksperimenta*

Na graficima 6,7 i 8 prikazana je zavisnost fotostruje od primenjenog napona polarizacije za različite kvalitete snopova. Crnom bojom prikazani su rezultati kada je struja cevi 5 mA, crvenom bojom 10 mA, plavom 15 mA, dok je ljubičastom predstavljena zavisnost kada je struja cevi 20 mA. Kako se povećava struja koja protiče kroz rendgensku cev povećava se i intenzitet generisane fotostruje za sve kvalitete snopova. Takođe za veće napone rendgenske cevi (slika 8) intenzitet fotostruje je veći nego pri manjim naponima rendgenske cevi (slika 6). Najveći rast fotostruje uočava se za napone polarizacije veće od 30 V.

Kako pri većim naponima inverzne polarizacije dolazi do povećanja struje mraka (struje curenja) izvršena je korekcija izmerenih fotostruja, tako što je od izmerenih vrednosti oduzeta struja mraka. Na slici 9 dat je grafik sa korekcijom struje mraka za kvalitet snopa RQR5 kome odgovara napon cevi 70 kV. Uočava se vrednost fotostruje gotovo konstanta za ceo opseg primenjenog napona polarizacije. Identični rezultati dobijeni su i za ostale kvalitete snopova, međutim zbog jednostavnosti prikazani su rezultati samo za ovaj slučaj.



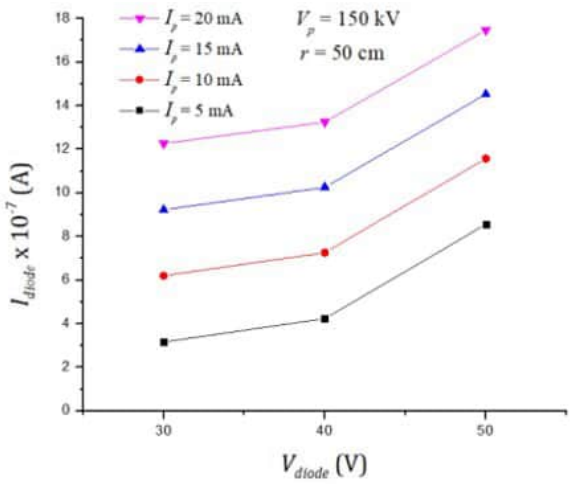
Slika 6. Zavisnost fotostruje od napona polarizacije, za različite vrednosti struje cevi, na rastojanju 50 cm i napon cevi 40 kV.



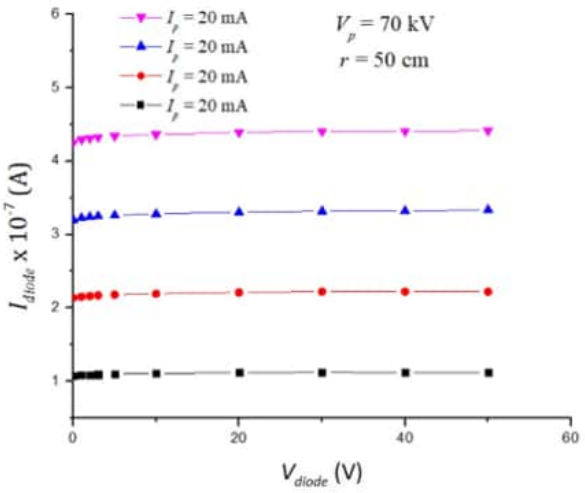
Slika 7. Zavisnost fotostruje od napona polarizacije, za različite vrednosti struje cevi, na rastojanju 50 cm i napona cevi 70 kV.

Na osnovu izvedenih eksperimenata se može videti da napon polarizacije ne utiče na struju diode. Sa druge strane on bitno utiče na struju mraka, koja znatno raste za napone polarizacije veće od 40 V. Ovo je donekle očekivano da se dogodi pri visokim vrednostima napona inverzne polarizacije, jer dolazi pre svega do povećanja termičkog šuma:„Struja mraka je još jedan važan faktor koji negativno utiče na performanse fotodiode. To je neželjena struja koja protiče kroz uređaj u odsustvu incidentnog zračenja.

Ona nastaje usled toplotnog šuma, struje curenja, defekata i nesavršenosti u kristalima, pukotina i granica zrna, kao i zbog lošeg kontakta ili neslaganja između aktivnog sloja poli-vinil-karbazola (PVK) i slojeva za transport naelektrisanja“ [3]



Slika 8. Zavisnost fotostruje od napona polarizacije, za različite vrednosti struje cevi, na rastojanju 50 cm i napona cevi 150 kV.



Slika 9. Zavisnost fotostruje od napona polarizacije, za različite vrednosti struje cevi, na rastojanju 50 cm i napona cevi 70 kV, sa oduzetom strujom mraka.

IV. Zaključak

U ovom radu ispitana je mogućnost korišćenja PIN fotodiode za detekciju X-zračenja. Obrađeni su teorijski osnovi njene upotrebe, a potom i eksperimentalno potvrđeni u laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke „Vinča“. Vršena je varijacija različitih parametara kao što su rastojanje uzorka i izvora, kao i napon i struja rendgenske cevi. Merena je zavisnost generisane fotostruje od napona inverzne polarizacije diode, pri različitim uslovima. Pokazano je da napon polarizacije neće uticati na osetljivost fotodiode. Odziv fotodiode je linearan bez obzira na kvalitet primenjenog snopa zračenja. Praćene su karakteristike fotodiode i utvrđeno da ne dolazi do njene degradacije usled ekspozicije rendgenskom zračenju. Ovi rezultati imaju veliki značaj zbog toga što skoro da ne postoje istraživanja uticaja rendgenskog zračenja na osetljivost PIN fotodiode.

Zahvalnica

Najveću zahvalnost dugujem svom mentoru, profesoru dr Goranu Ristiću, na neizmernoj podršci, smernicama i pomoći tokom izrade rada. Iskreno se zahvaljujem kolegi Stefanu Iliću za dragocenu pomoć i saradnju tokom realizacije eksperimenta. Takođe želela bih da se zahvalim profesorki dr Emiliji Živanović na korisnim savetima i sugestijama prilikom pisanja ovog rada.

Literatura

[1] M. Anđelković, G. Ristić Feasibility study of current mode gamma radiation dosimeter based on a commercial PIN photodiode and a custom made auto-ranging electrometer, Nuclear Technology & Radiation Protection, 28 (1), 73-83, 2013.

[2] Datasheet FD80N, IHTM

[3] N.Ali, S.Attique, A. Rahimi-Iman, S.Ali, F.Akram, N.Dai, H. Wu, *Sustainable Materials and Technologies*, 38, e00759, 2023.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.133DJ
Original scientific paper

Uticaj jačine kerme na osetljivost PIN fotodiode pri izlaganju rendgenskom zračenju

Dunja Đorđević
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dunja.djordjevic@elfak.rs
ORCID: N/A

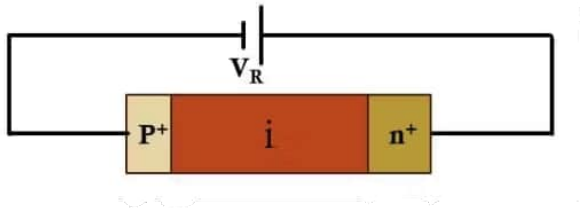
***Sadržaj*—U ovom radu proučavana je osetljivost PIN fotodiode pri izlaganju rendgenskom (X) zračenju. Vršena je varijacija različitih parametara kao što su doza zračenja, kvalitet snopa i struje rendgenske cevi. Merena je fotostruja za različite napone polarizacije u različitim uslovima. Takođe, izvršeno je merenje jačine kerme u vazduhu. Na osnovu dobijenih rezultata, prikazan je uticaj kerme na osetljivost PIN fotodiode.**

Ključne reči—PIN dioda, X-zračenje, kerma

I. UVOD

X-zračenje predstavlja visokoenergetsko zračenje koje se može detektovati PIN fotodiodama. Za razliku od standardnih PN fotodioda, koje imaju samo pozitivno dopirani P sloj i negativno dopirani N sloj, PIN fotodiode sadrže i nedopirani intrinzični (*i*) sloj između jako dopiranih P i N regiona. Ova struktura omogućava formiranje šire oblasti osiromašenja, što rezultira efikasnijom apsorpcijom fotona X-zračenja i boljom fotogeneracijom nosilaca naelektrisanja. Da bi se dodatno povećala osetljivost PIN fotodiode, ona se polarizuje u fotoprovodnom režimu rada (slika 1), primenom inverzne polarizacije, čime dolazi do širenja zone osiromašenja.

PIN struktura je dizajnirana tako da se apsorpcija fotona ostvaruje u *i* sloju. Fotogenerisani parovi elektron-šupljina u *i* sloju se razdvajaju pod uticajem električnog polja i usmeravaju se ka N+ i P+ strani. Dok ovi nosioci driftuju (kretanje pod dejtsvom električnog polja) kroz *i* sloj, povećava se fotostruja.



Slika 1. Struktura PIN fotodiode u fotoprovodnom režimu rada.

Kerma *K* (*Kinetic Energy Released per unit Mass in Medium*) predstavlja jednu od najznačajnijih dozimetrijskih veličina. Ona predstavlja početnu kinetičku energiju svih naelektrisanih čestica, oslobođenih dejstvom fotona, po jedinici mase.

S obzirom da kerma predstavlja oslobođenu kinetičku enegiju po jedinici mase materije, ona je usko povezana sa apsorbovanom dozom koja predstavlja apsorbovanu energiju po jedinici mase materije, i u slučaju vazduha ove dve veličine su jednake. Jedinica za kermu je grej (Gy), gde je 1 Gy = Jkg^{-1} [1].

II. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

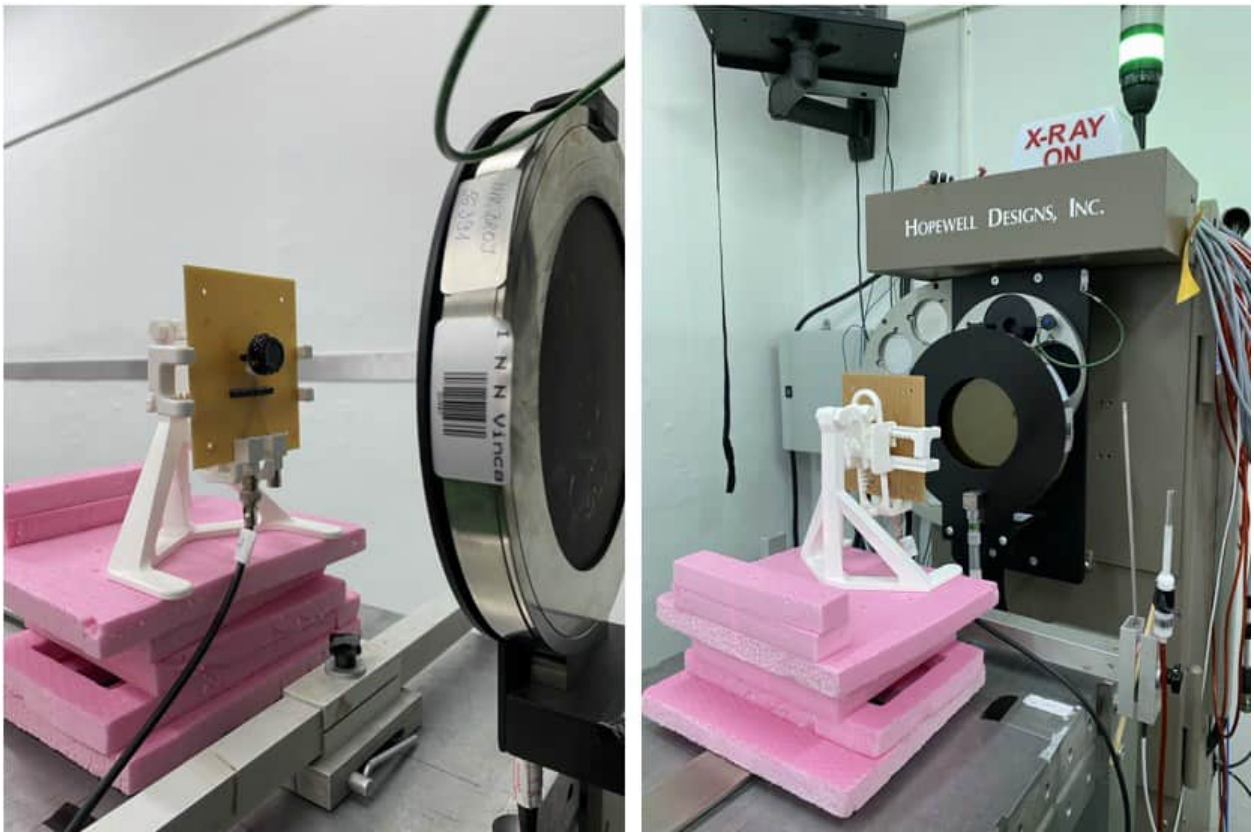
Odrađeno je niz eksperimenata kako bi se utvrdilo ponašanje PIN fotodiode pod dejstvom X-zračenja. Eksperimenti su sprovedeni u kontrolisanim laboratorijskim uslovima u laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ [2]. Ozračivanje je vršeno na sobnoj temperaturi korišćenjem rendgen aparata tipa *Hopewell Design Beam Irradiator X80-255* [3].

Kerma je merena korišćenjem elektrometra *PTW Unidos Webline* i jonizacione komore *ExRadin A3* [4]. Merene su karakteristike N-tip fotodiode FD80N koje proizvodi Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju u Beogradu [5]. Odabrana je navedena fotodioda pre svega zbog velike aktivne površine 80 mm^2, čime je postignuta veća osetljivost na incidentno zračenje. Slika 2 prikazuje sobu u kojoj je vršeno ozračivanje, kao i izvor zračenja i pripremljeni uzorak (PIN fotodiodu). Fotodioda montirana je na pločicu koja je preko BNC konektora povezana sa bipolarnim napajanjem i računarom. Softver koji obezbeđuje adekvatno polarisanje diode i čuvanje podataka (indukovane fotostruje) pisan je u programskom jeziku C#.

Eksperimentalno ispitivanje odziva PIN fotodiode na X-zračenje vršeno je u mraku i obuhvatilo je tri faze. Izvršena su merenja indukovane struje i dobijena zavisnost fotostruje od napona inverzne polarizacije za:

- različite kvalitete snopova, na istom rastojanju,
- različita rastojanja između uzorka i izvora i struje cevi za jedan kvalitet snopa,
- različite kvalitete snopova i intenzitete struje cevi.

Kako jačina kerme u vazduhu zavisi od parametra izvora odnosno od intenziteta struje rendgneske cevi i napona cevi (kvaliteta snopa) vršeno je merenje njene vrednosti prilikom promene nekog od navedenog parametra.



Slika 2. Postavka eksperimenta.

A. Prvi eksperiment

U prvom eksperimentu softverski se podešava promena napona inverzne polarizacije u opsegu od 0 do 50 V (0, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40 i 50 V). Prilikom izbora napona polarizacije treba uzeti u obzir da potpuno osiromašenje nastupa na 45 V [5], i obezbediti da ne dođe do proboja i oštećenja komponente. Uzorak je postavljen na rastojanju 50 cm od izvora, a struja koja protiče kroz rendgensku cev na 10 mA. Za svaki napon polarizacije uzorak se izlaže 20 sekundi, za koje vreme se mere i čuvaju podaci o struji koju fotodioda generiše. Merenje je ponovljeno za 4 različita kvaliteta snopa (RQR2, RQR5, RQR8 i RQR10). Izvršeno je i merenje jačine kerme u vazduhu, s obzirom da njena vrednost varira za različite napone cevi odnosno kvalitete snopova i njene vrednosti su date u tabeli 1.

TABELA I. PRVI EKSPERIMENT

	RQR2 U_p = 40 kV	RQR5 U_p = 70 kV	RQR8 U_p = 100 kV	RQR10 U_p = 150 kV
I_p (mA)	dK_{air1}/dt (mGy/min)	dK_{air2}/dt (mGy/min)	dK_{air3}/dt (mGy/min)	dK_{air4}/dt (mGy/min)
10	50.45	152.0	254.2	648.5

B. Drugi eksperiment

U eksperimentu čiji rezultati su pokazani u tabeli 2 podešen je isti opseg napona inverzne polarizacije. Korišćen je jedan kvalitet snopa RQR5. Vršena je varijacija udaljenosti između fotodiode i izvora. Za prvo rastojanje 100 cm ponovljena su merenja za 3 različite struje rendgenske cevi (10, 15 i 20 mA), dok su za ostala rastojanja izmereni odzivi za 10 i 20 mA. Uzorak je za svaki napon polarizacije izlagan zračenju u trajanju od 20 sekundi.

Kao i u prethodnom slučaju vrednost jačine kerme se razlikuje zbog varijacije struje cevi, zbog čega je izmerena i njena vrednost, i kasnije grafički predstavljena zavisnost struje cevi od jačine kerme.

TABELA II. DRUGI EKSPERIMENT

	I_{p1} = 10 mA	I_{p2} = 15 mA	I_{p3} = 20 mA
R (cm)	dK_{air1}/dt (mGy/min)	dK_{air2}/dt (mGy/min)	dK_{air3}/dt (mGy/min)
100	36.76	X	73.21
150	16.05	X	32.00
200	8.848	X	17.61
250	5.579	8.339	11.10

C. Treći eksperiment

U trećem eksperimentu uzorak je postavljen na udaljenosti 50 cm od izvora. U prvoj seriji korišćen je kvalitet snopa RQR2, merenja se ponavljaju za 4 različite struje cevi (5, 10, 15 i 20 mA). Napon polarizacije se menja na 20 sekundi i postavlja vrednost 30, 40 i 50 V. Proces je ponovljen i za ostala 3 kvaliteta snopa (RQR5, RQR8 i RQR10), pri čemu je za kvalitet snopa RQR5 tj. napona cevi 70 kV, fotodioda bila polarisana inverznim naponom u opsegu od 0 do 50 V u trajanju od 20 sekundi za svaku vrednost.

Kao što je i do sada bila praksa, izršeno je merenje jačine kerme u vazduhu, za različite serije, kao što je predstavljeno u tabeli 3, da bi se kasnije grafički predstavila

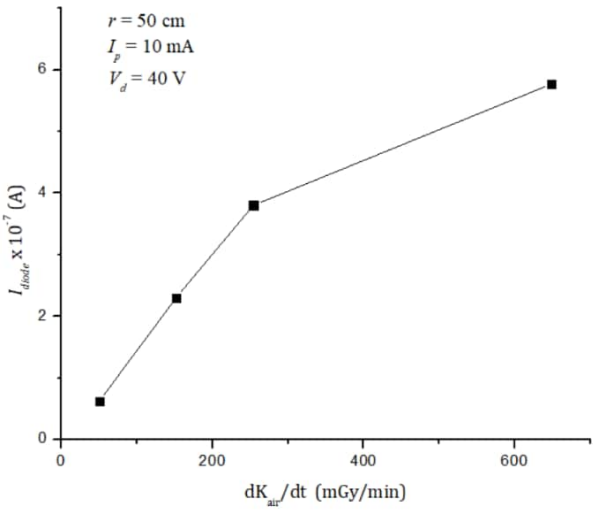
zavisnost struje diode od jačine kerme za različite kvalitete snopova.

TABELA III. TREĆI EKSPERIMENT

	I_{p1} = 5 mA	I_{p2} = 10 mA	I_{p3} = 15 mA	I_{p4} = 20 mA
U_p (kV)	dK_{air1}/dt (mGy/min)	dK_{air2}/dt (mGy/min)	dK_{air3}/dt (mGy/min)	dK_{air1}/dt (mGy/min)
40	29.75	50.45	75.46	100.4
70	76.09	152.0	227.6	302.9
100	127.2	254.2	380.3	505.9
150	217.2	433.4	648.5	861.6

III. REZULTATI

Svi dobijeni rezultati su najpre obrađeni u programu *GNU Octave* [6], kako bi se za izmerene vrednosti fotostruja za svaki napon polarizacije (u trajanju od 20 sekundi) pronašla srednja vrednost. Dobijeni podaci su potom iskorišćeni za grafički prikaz rezultata u programu *Origin* [7]. Na osnovu izmerenih vrednosti fotostruja u prvom eksperimentu, na slici 3 predstavljen je grafik zavisnosti struje koja protiče kroz diodu, pri naponu polarizacije 40 V, od vrednosti kerme.



Slika 3. Generisana fotostruja pri naponu polarizacije 40 V u funkciji jačine kerme na rastojanju 50 cm od izvora i intenziteta struje cevi 10 mA.

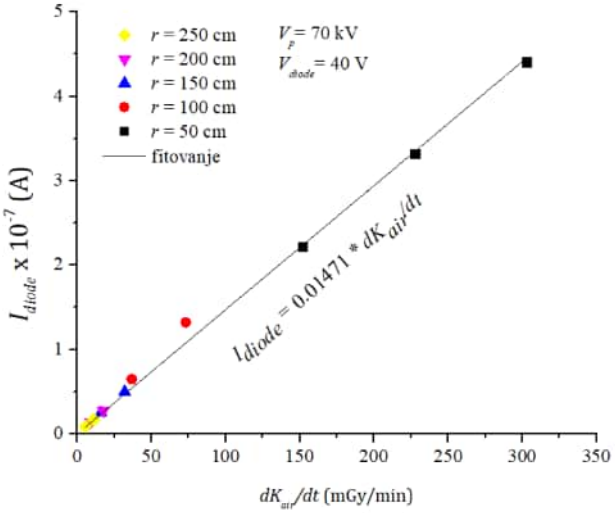
U drugom eksperimentu vršena je promena rastojanja između uzorka i izvora. Na grafiku predstavljen slikom 4 prikazana je zavisnost fotostruje, generisane pri polarizaciji od 40 V, od jačine kerme, za rastojanja 50, 100, 150, 200 i 250 cm. Korišćen je kvalitet snopa RQR5. Za dobijene rezultate izvršeno je fitovanje. Uočava se linearna zavisnost između indukovane fotostruje i jačine kerme u vazduhu, za sva rastojanja. Ova linearnost implicira da fotodioda reaguje konzistentno na različite nivoe zračenja na osnovu sledeće relacije:

$$I_{diode} = 0{,}01471 \cdot dK_{air}/dt \qquad (1)$$

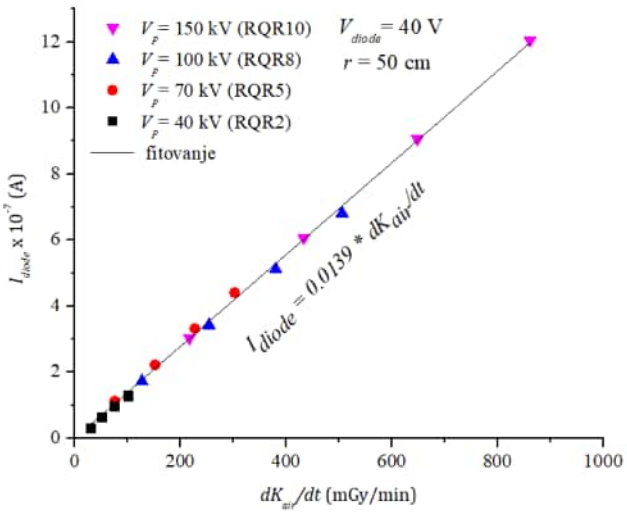
U trećem eksperimentu vršena je varijacija kvaliteta snopa X-zračenja. Za sve vrednosti napona cevi izmerena je vrednost jačine kerme u vazduhu. Izvršeno je fitovanje rezultata koji su grafički prikazani na slici 5. Uočava se da postoji jasna linearna zavisnost između brzine promene kerme u vazduhu i indukovane struje fotodiode, čija zavisnost je predstavljena izrazom 2:

$$I_{diode} = 0{,}0139 \cdot dK_{air}/dt \qquad (2)$$

Ovakvi rezultati ukazuju da je odgovor fotodiode proporcionalan količini zračenja koja stiže do nje, bez obzira na kvalitet samog zračenja. Osetljivost fotodiode ne zavisi od kvaliteta rendgenskog snopa, već samo od brzine kerme u vazduhu.



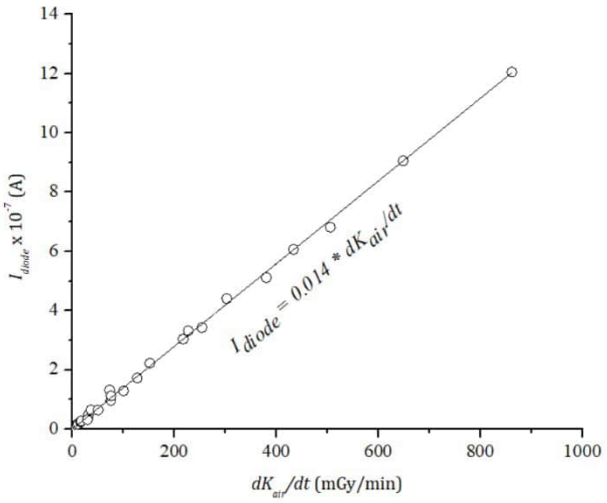
Slika 4. Fitovani rezultati zavisnosti fotostruja pri naponu polarizacije 40 V u funkciji jačine kerme na različitim rastojanjima od izvora za napon cevi 70 kV.



Slika 5. Fitovani rezultati zavisnosti fotostruja pri naponu polarizacije 40 V u funkciji jačine kerme za različite napone rendgenske cevi, na rastojanju 50 cm od izvora.

Za oba grafika koji pokazuju zavisnost inverzne struje fotodiode od jačine kerme (slika 4 i 5), dobijene su vrlo slične vrednosti nagiba karakterističnih prava (izraz 1 i 2). Ovo ukazuje na doslednost izmerenih vrednosti, čime se potvrđuje verodostojnost rezultata. Kombinovanjem podataka sa grafika 4 i 5, a zatim fitovanjem kompletnog skupa rezultata, dobijen je grafik prikazan na slici 6. Ovaj

grafik pokazuje linearnu zavisnost indukovane fotostruje od brzine kerme u vazduhu u celom opsegu ispitivanih vrednosti.



Slika 6. Zavisnost inverzne struje fotodiode od jačine kerme za ceo opseg merenih vrednosti.

IV. Zaključak

U ovom radu je proučavana osetljivost PIN fotodiode pri izlaganju rendgenskom zračenju, s fokusom na uticaj jačine kerme u vazduhu na njen odgovor. Eksperimentalni rezultati su pokazali linearnu zavisnost između indukovane fotostruje i brzine promene kerme, što potvrđuje da je fotodioda pouzdan detektor X-zračenja bez obzira na varijacije kvaliteta snopa. Ovi rezultati ukazuju na visoku osetljivost i preciznost PIN fotodiode, čime se opravdava njena primena u detekciji zračenja, posebno u dozimetriji i sličnim aplikacijama.

Zahvalnica

Najveću zahvalnost dugujem svom mentoru, profesoru dr Goranu Ristiću, na neizmernoj podršci, smernicama i pomoći tokom izrade rada. Iskreno se zahvaljujem kolegi Stefanu Iliću za dragocenu pomoć i saradnju tokom realizacije eksperimenta.

Literatura

[1] G. Ristić, *Dozimetrija i dozimetri*, predavanja, Elektronski fakultet u Nišu

[2] Institut za nuklearne nauke „Vinča“. Dostupno na: https://www.vin.bg.ac.rs/istrazivanja/laboratorije i centri/laboratorija-za-zastitu-od-zracenja-i-zastitu-zivotne-sredine.

[3] Rendgen aparat Hopewell Design Beam Irradiator X80-255. Dostupno na: https://www.hopewelldesigns.com/products/x-ray-irradiator-systems/.

[4] Elektrometra PTW Unidos Webline i jonizacione komore ExRadin A3. Dostupno na: http://www.seedos.co.uk/SeeDOS_Product_Manual-80360 00_EXRSPHERE.pdf.

[5] Datasheet FD80N, IHTM.

[6] GNU Octave. Dostupno na: https://octave.org/download.

[7] OriginLab. Dostupno na: https://www.originlab.com/.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.137DJ
Original scientific paper

Realizacija semafora korišćenjem Zybo Z7-10 FPGA razvojnog okruženja

Dunja Đorđević
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dunja.djordjevic@elfak.rs,
ORCID: N/A

Anđela Tanić
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
andjela.tanic@elfak.rs,
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom radu biće objašnjen princip rada Zybo Z7-10 FPGA razvojnog okruženja na primeru realizacije kontrolera saobraćajne raskrsnice, odnosno semafora. Pored implementacije osnovnih funkcionalnosti, detaljno su obrađeni i načini optimizacije i simulacije sistema kako bi se osigurala pouzdanost i efikasnost u realnim uslovima.**

Ključne reči—VHDL, FPGA razvojno okruženje, semafor

I. Uvod

U ovom projektu realizovan je kontroler saobraćajne raskrsnice za FPGA čip. Prekidačem na ploči vrši se izbor režima rada, implementirani su normalni režim rada i režim „treptuće žuto“. Pritiskom tastera omogućen je i asinhroni reset semafora. Dati sistem ima sledeće celine:

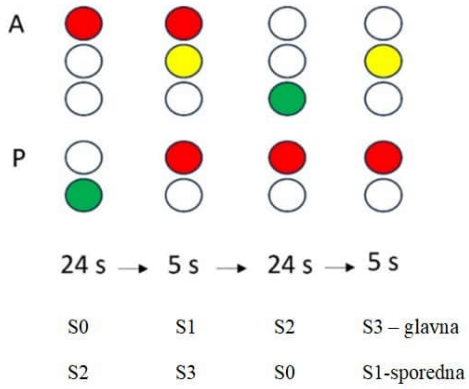
- Generator taktnog signala periode 1s,
- Brojač za 5s i 24s,
- Konačni automat za semafor sa „treptućim žutim“ svetlom.

Za praktičnu realizaciju korišćeno je Zybo Z7-10 razvojno okruženje [1].

II. Princip rada

Potrebno je projektovati semafore za vozače i pešake na glavnoj i sporednoj ulici. Semafor ima dva moda rada: normalni režim rada i „treptuće žuto“. Na slici 1 prikazan je normalan režim rada semafora. U ovom režimu rada u početnom stanju omogućen je prolaz automobila koji se nalaze u sporednoj ulici aktiviranjem zelenog svetla, dok je istovremeno za pešake onemogućen prelaz ulice, pa je na semaforu za pešake aktivno crveno svetlo. Istovremeno na glavnoj ulici na semaforu za automobile uključeno je crveno svetlo, a na semaforu za pešake je uključeno zeleno svetlo. Nakon 24 sekunde, treba preći u naredno stanje S1 u kome se vozači sporedne ulice upozoravaju da se zaustave aktiviranjem žutog svetla, i istovremeno vozači na glavnoj pripremaju za prolazak kroz raskrsnicu aktiviranjem pored crvenog i žutog svetla. Ovo stanje traje 5 sekunde, nakon kojih treba obezbediti prolazak kroz raskrsnicu automobila koji se nalaze na glavnoj ulici, odnosno pešaka na sporednoj.

Stanje gde je na semaforu za automobile uključeno zeleno svetlo, a na semaforu za pešake crveno svetlo na glavnoj ulici takođe traje 24 sekunde. U poslednjem stanju na glavnoj ulici na semaforu za automobile uključeno je žuto svetlo, za pešake crveno svetlo, a u sporednoj na semaforu za automobile se aktivira crveno i žuto svetlo, a za pešake crveno.



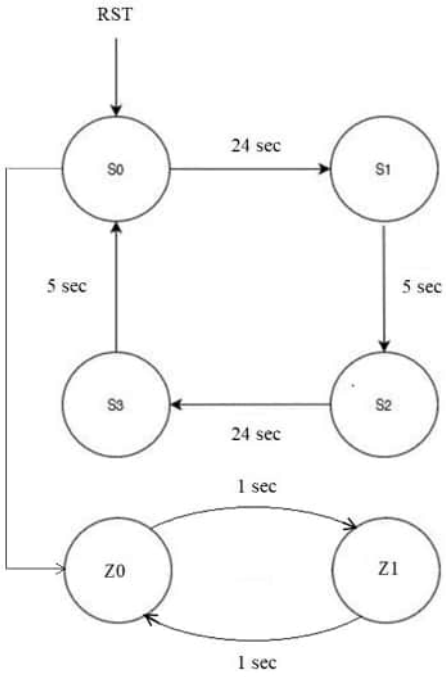
Slika 1. Normalni režim rada.

U režimu „treptuće žuto“, žuto svetlo se uključuje i isključuje na po 1 sekundu, odnosno promena se dešava sa nailaskom prednje ivice taktnog signala. Tada su semafori za pešake isključeni, i zelena i crvena svetla na semaforima za automobile su isključena.

Za svaki od ova dva moda potrebno je odrediti broj stanja koji se javlja. Pri normalnom režimu rada potrebno je definisati 4 stanja: S0, S1, S2, S3 (slika 1), dok kada je semafor u modu za „treptuće žuto“ definišu se dva stanja: Z0 - žuto svetlo je aktivno i Z1 - žuto svetlo je isključeno. Za realizaciju rada semafora biće korišćen automat Murovog tipa koji će menjati opisana stanja semafora (slika 2).

Promena režima rada se vrši menjanjem položaja prekidača na Zybo pločici. U režimu „treptuće žuto“ može se preći iz bilo kog stanja normalnog režima S0, S1, S2 ili S3. U cilju preglednijeg dijagrama na slici 2 prikazan je samo prelaz iz S0 u Z0. Prilikom prelaska iz režima „treptuće žuto“ u normalni režim rada, prelaz se dešava između stanja Z0 ili Z1 isključivo u stanje S0.

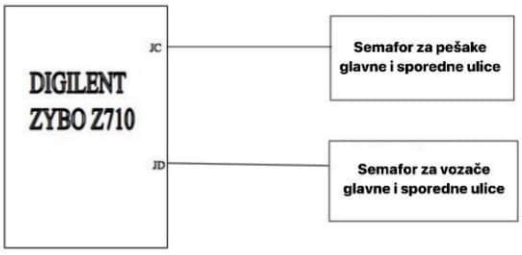
Sistem ima mogućnost asinhronog reseta koji je realizovan korišćenjem tastera na Zybo pločici. Pritiskom tastera se celokupni sistem vraća u početno stanje S0 normalnog režima rada.



Slika 2. Dijagram stanja konačnog automata.

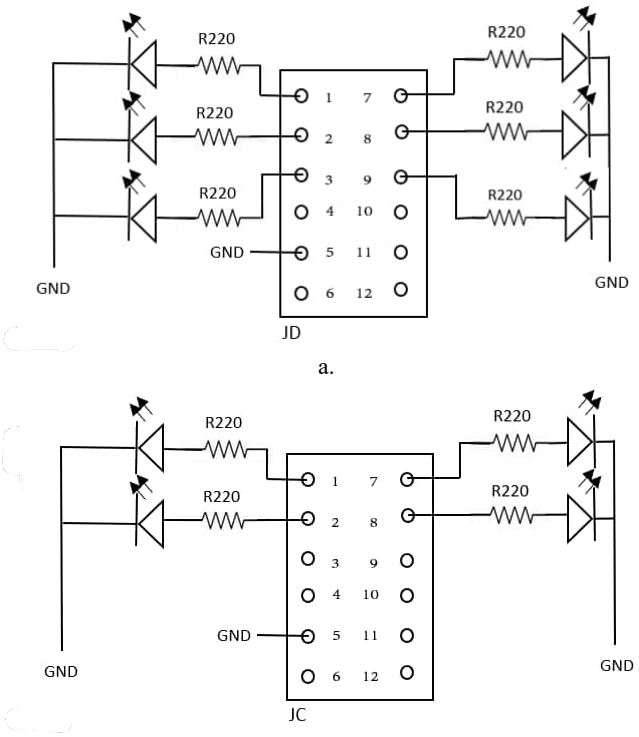
III. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Za praktičnu realizaciju korišćeno je Zybo Z7-10 razvojno okruženje. Semafori su realizovani korišćenjem LE *(Light Emitting)* dioda. Za semafor za vozače korišćene su crvena, žuta i zelena LE dioda, a za semafor za pešake crvena i zelena. Da bi se obezbedio siguran rad dioda, iskorišćeni su otpornici čija je otpornost 220 Ω. Otpornici se redno vezuju sa diodama, i na taj način ograničavaju struju koja teče kroz LE diodu, i sprečavaju pregorevanje istih. Treba obratiti pažnju na datasheet ZyboZ7 pločice [1], jer neki od pinova imaju ugrađene interne otpornike, pa u tom slučaju nije potrebno dodavati eksterni. Katode su povezane na masu, tako da se diode aktiviraju dovođenjem napona napajanja na portove Zybo pločice, odnosno na anodu diode. Na slici 3 data je blok šema praktično realizovanog sistema.

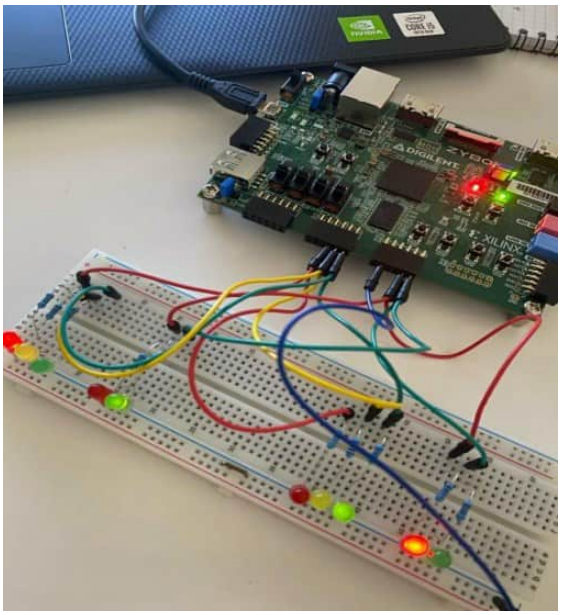


Slika 3. Blok dijagram.

Na slikama 4a i 4b data je električna šema sistema. Semafori za vozače glavne i sporedne ulice povezani su na portove JD Zybo-10 razvojnog okruženja (slika 4a), dok su semafori za pešake na glavnoj i sporednoj ulici povezani na portove JC (slika 4b). Na slici 5 se može videti praktično realizovan sistem, i to sa leve strane diode koje predstavljaju semafore na glavnoj ulici, a sa desne strane diode semafora na sporednoj ulici. Može se uočiti da je upaljeno crveno svetlo za vozače na glavnoj ulici, a zeleno za pešake (stanje S0), dok je istovremeno na sporednoj zeleno za vozače, a crveno za pešake (stanje S2).



Slika 4. Električna šema semafora za a. vozače, b. pešake.



Slika 5. Praktična realizacija sistema.

IV. VHDL OPIS KOLA

VHDL opis saobraćajnog kontrolera napisan je u softverskom okruženju Vivado. Kod obuhvata nekoliko celina, definisanje biblioteka neophodnih za rad, entitet digitalnog kola i arhitekturu kola. Arhitektura kola se sastoji od generatora internog taktnog signala periode 1 s, brojača za 5 s i 24 s i konačnog automata za rad semafora u normalnom režimu i za režim „treptuće žuto“.

Kolo ima dva ulazna signala, reset i prekidač, a na izlazu se generišu signali koji uključuju određene LE diode

semafora (3 signala za vozače na glavnoj ulici, 2 za pešake na glavnoj ulici, i isti broj signala za sporednu ulicu).

U arhitekturi ovog sistema najpre se generiše interni clock signal (slika 6). Vrednost frekvencije inicijalno je podešena na 500.000.000 Hz.

```
begin
    --Generator taktnog signala
    clk_gen_proc: process
    begin
            clk <= not clk;
            wait for 0.5 sec / real(frekvencija);
    end process clk_gen_proc;
```

Slika 6. Generator taktnog signala.

Vrednost periode biće 1 ns, zbog čega se koristi interni signal counter koji je osetljiv na prednju ivicu clock signala i broji do vrednosti poluperiode (frekvencija / 2) kako bi se dobila 1 sekunda. S obzirom da ceo sistem treba biti senzitivan na clock signal, logika je implementirana u okviru procesa, čiju listu senzitivnih signala čini clock signal [2].

Takođe postoji mogućnost asinhronog reseta, pa u listu senzitivnih signala dodaje se i reset [2]. Brojači su realizovani tako da se vrednost signala brojac5 i brojac24 inkrementira svake sekunde. Kada završe ciklus brojanja, vrednost se vraća na početnu (0) i može se započeti novi ciklus brojanja. Da bi se obezbedilo da stanja S0 i S2 traju 24 sekunde, a S1 i S3 5 sekundi koristi se pomoćna promenljiva fleg. U zavisnosti od položaja prekidača na ploči razlikuju se dva režima rada. Na početku treba definisati početna stanja. Za normalan režim rada početno stanje je stanje S0, dok je za „treptuće žuto“ Z0.

Stanja semafora opisana su konačnim automatom koji je realizovan korišćenjem naredbe *process* i *case* strukture. Deo koda prikazan je na slici 7.

Za ispravan rad, neophodno je podesiti izlazne pinove, prekidač i taster za reset na Zybo Z7 pločici. To se postiže izmenom Constrains fajla [3]. Treba obezbediti i rad clock signala što se postiže sledećom linijom koda

```
set_property CLOCK_DEDICATED_ROUTE FALSE [get_nets rst_IBUF]
```

V. Optimizacija

Sistem se može unaprediti dodavanjem sedmo-segmentnog displeja na koji će se ispisivati još koliko sekundi traje određeno stanje. Dalje može se dodati još jedno stanje „treptuće zeleno“ koje će nagoveštavati da će zeleno svetlo uskoro da se isključi, kako bi vozači usporili. Još jedna mogućnost optimizacije je dodavanje zvučnog signala za pešake kada je zeleno svetlo. U slučaju da je raskrsnica prometnija, može se dodati uslovno zeleno, radi bržeg prometa saobraćaja.

VI. Zaključak

Uspešnom implementacijom saobraćajnog kontrolera za FPGA čip, semafori su efikasno integrisani sa mogućnošću promene režima prema korisničkom izboru, omogućavajući normalan režim rada i režim "treptuće žuto". Ovaj projekat pruža stabilan i prilagodljiv sistem upravljanja saobraćajem na raskrsnici, što doprinosi efikasnosti i sigurnosti saobraćaja. Takođe integracija režima rada "treptuće žuto" omogućava dodatnu fleksibilnost, čime vozačima pruža jasne signale tokom tog režima.

```
process (trenutno_glavna)
begin
    case trenutno_glavna is
        when S0 =>
            glavna_vozaci <= "100";
            glavna_pesaci <= "01";
            naredno_glavna <= S1;
            sporedna_vozaci <= "001";
            sporedna_pesaci <= "10";
            naredno_sporedna <= S1;
        when S1 =>
            glavna_vozaci <= "110";
            glavna_pesaci <= "10";
            naredno_glavna <= S2;
            sporedna_vozaci <= "010";
            sporedna_pesaci <= "10";
            naredno_sporedna <= S2;
        when S2 =>
            glavna_vozaci <= "001";
            glavna_pesaci <= "10";
            naredno_glavna <= S3;
            sporedna_vozaci <= "100";
            sporedna_pesaci <= "01";
            naredno_sporedna <= S3;
        when S3 =>
            glavna_vozaci <= "010";
            glavna_pesaci <= "10";
            naredno_glavna <= S0;
            sporedna_vozaci <= "110";
            sporedna_pesaci <= "10";
            naredno_sporedna <= S0;
        when Z0 =>
            glavna_vozaci <= "000";
            glavna_pesaci <= "00";
            sporedna_vozaci <= "000";
            sporedna_pesaci <= "00";
            naredno_glavna <= Z1;
        when Z1 =>
            glavna_vozaci <= "010";
            glavna_pesaci <= "00";
            sporedna_vozaci <= "010";
            sporedna_pesaci <= "00";
            naredno_glavna <= Z0;
    end case;
end process;
```

Slika 7. Konačni automat.

Zahvalnica

Zahvaljujemo se profesoru dr Danijelu Dankoviću i predmetnom asistentu doc. dr Milošu Marjanoviću na pruženoj pomoći, podršci i izdvojenom vremenu prilikom realizacije ovog rada.

Literatura

[1] Zybo Z7 tehnička dokumentacija.

[2] Slajdovi sa predavanja iz predmeta Projektovanje programibilnih komponenata, 2023.

[3] Slajdovi sa vežbi iz predmeta Projektovanje programibilnih komponenata, 2023.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.141T
Original scientific paper

Projektovanje dimera sijalice korišćenjem STM32 ARM mikrokontrolera

Anđela Tanić
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
andjela.tanic@elfak.rs
ORCID:N/A

Dunja Đorđević
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
dunja.djordjevic@elfak.rs
ORCID:N/A

Veljko Cvetković
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
veljkozrza@elfak.rs
ORCID:N/A

***Sadržaj*—Ovaj projekat istražuje primenu fazne kontrole pomoću trijaka i STM32 razvojnog okruženja za preciznu regulaciju snage koristeći potenciometar za prilagođavanje ugla okidanja uz galvansku izolaciju radi povećane sigurnosti i pouzdanosti sistema.**

Ključne reči—dimer, ugao okidanja

I. Uvod

Dimer sijalice podrazumeva postepeno paljenje i gašenje sijalice okretanjem potenciometra. Sistem se sastoji iz dva dela kola za detekciju nule i kola za kontrolu faze.

Kolo za detekciju nule igra važnu ulogu u identifikaciji trenutka kada naizmenični (AC) signal prolazi kroz nulu tj. kada ulazni napon ima vrednost 0. Ovaj trenutak je ključan za sinhronizaciju fazne kontrole jer obezbeđuje da se sijalica uključi tačno u određenom trenutku svake poluperiode ulaznog signala [1].

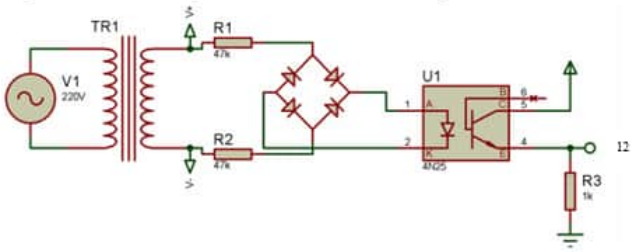
Za preciznu kontrolu uključivanja i isključivanja sijalice koristi se trijak BTA16. Trijak je prekidačka komponenta koja se koristi za kontrolu naizmenične struje potrošača u obe poluperiode naizmeničnog signala. Fazna kontrola funkcioniše tako što se reguliše ugao okidanja trijaka. Ugao okidanja predstavlja vremenski interval, izražen u stepenima, unutar jedne poluperiode naizmeničnog signala, nakon kojeg se trijak aktivira (okine) i počinje da provodi struju. Pomeranjem trenutka okidanja unutar poluperiode, moguće je regulisati količinu isporučene snage potrošaču, čime se intenzitet svetla sijalice prilagođava. Ugao okidanja zavisi od vrednosti potenciometra, omogućavajući korisniku da kontroliše intenzitet svetlosti sijalice [1].

Ceo sistem realizovan je korišćenjem STM32 ARM mikrokontrolera [2] zbog preciznije kontrole ugla okidanja i mogućnosti priključivanja na Wi-Fi ili Bluetooth modul. Sistem je najpre projektovan i simulacija rada urađena u programu *Proteus* nakon čega je praktično realizovan.

STM32 razvojni sistem je zasnovan na ARM Cortex-M arhitekturi, koja obezbeđuje visoku efikasnost i nisku potrošnju energije. Ovaj sistem nudi različite funkcionalnosti koje su ključne za rad u aplikacijama poput kontrole osvetljenja. Među najznačajnijim karakteristikama su višekanalni analogno-digitalni konvertori (ADC) koji omogućavaju precizno očitavanje analognih signala, kao što su vrednosti sa potenciometra za regulaciju svetlosti. Takođe, STM32 podržava različite perifernih interfejsa, uključujući UART, SPI i I2C, što omogućava lako povezivanje sa drugim komponentama i uređajima. Dodatno, integrisani tajmeri omogućavaju generisanje tačnih vremenskih intervala neophodnih za kontrolu okidanja trijaka, dok GPIO pinovi omogućavaju upravljanje izlazima prema potrebama aplikacije. Ova fleksibilnost i širok spektar funkcionalnosti čine STM32 izuzetno pogodnim za implementaciju sistema dimer sijalice.

II. Hardverska realizacija

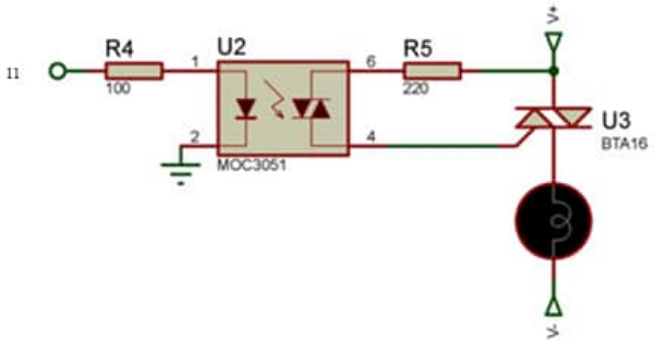
Prvo je izvršeno projektovanje kola za detekciju nule koje je prikazano na Slici 1 [3]. S obzirom da se sijalica i sistem napajaju iz mreže potrebno je smanjiti amplitudu i izvršiti ispravljanje ulaznog signala. U tu svrhu koristi se transformator koji spušta ulazni napon na 25 V, a potom se signal ispravlja korišćenjem integrisanog kola Grecovog spoja. Takav signal se dovodi do optokaplera koji je vezan na pin 12 mikrokontrolera. Koriste se dva otpornika od 47 kΩ za ograničenje struje kroz diodu optokaplera. Optokapler je iskorišćen da se izvrši galvanska izolacija izvora. Preko pull-down otpornika vrednosti 1 kΩ, mikrokontroler očitava napon sa emitora tranzistora koji se nalazi unutar optokaplera. Kada AC signal prođe kroz nulu LE (*Light Emitting*) dioda u optokapleru biće isključena, tako da tranzistor u optokapleru ne vodi, pa će na pinu 8 biti očitana vrednost 0 V. Tokom pozitivne ili negativne poluperiode ulaznog signala LE dioda je uključena, tranzistor vodi i napon koji stiže na pin mikrokontrolera je veći 0 V.



Slika 1. Električna šema kola za detekciju nule.

Drugi deo projeta podrazumevalo je projektovanje kola za kontrolu faze čija električna šema je prikazana na Slici 2 [3]. U zavisnosti od očitane vrednosti sa potenciometra određuje se kada će trijak biti okinut, pri čemu se čeka detekcija prolaska AC signala kroz nulu, tako da okidanje uvek bude u određenom trenutku u obe poluperiode. Kada trijak okine,

ostaje u prvodnom stanju dok ulazni signal ne prođe kroz nulu. Kako se trijak okida većim naponom, u kolo *gate*-a dodaje se dijak. U tu svrhu iskorišćen je opto-izolovani dijak MOC3051 koji pored okidanja trijaka obezbeđuje izolaciju između visokonaponskog signala (AC signal) i niskonaponskog signala (okidni signal).

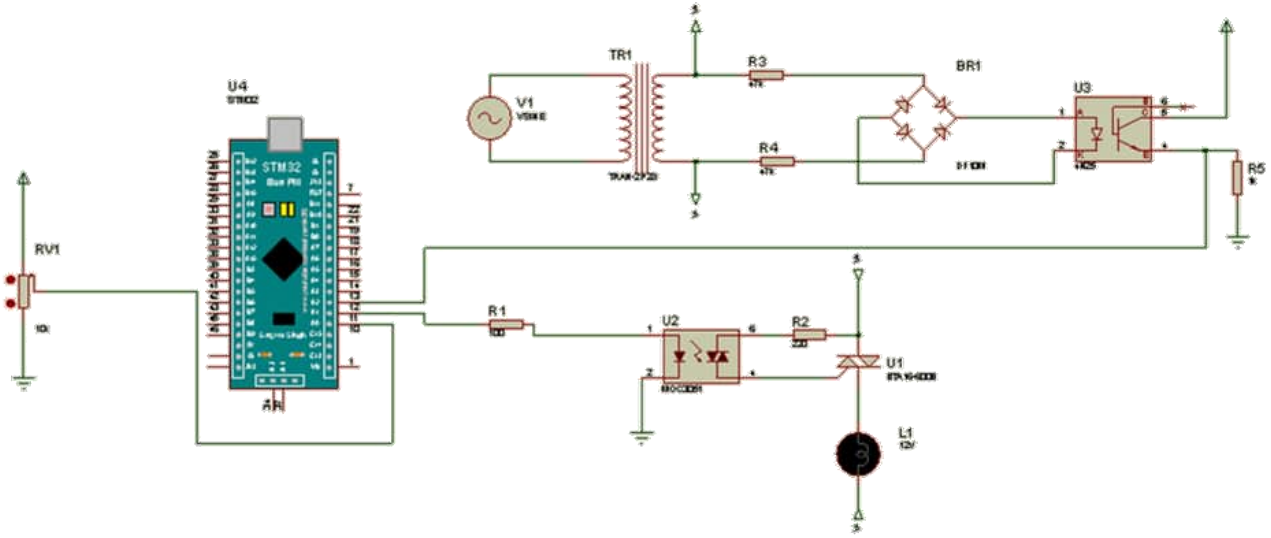


Slika 2. Električna šema kola za kontrolu faze.

Dijak se okida dovođenjem kratkotrajnog impulsa sa pina 11 mikrokontrolera. On, potom, aktivira trijak što omogućava da sijalica svetli. Iskorišćen je otpornik R_4 vrednosti 100 Ω u cilju ograničavanja struje koja protiče kroz diodu dijaka, dok otpornik R_5 ima vrednost 220 Ω i služi da ograniči struju koja protiče kroz dijak. Na odgovarajući pin mikrokontrolera (pin 10), na koji se aktivira AD konverzija, povezuje se potenciometar maksimalne vrednosti 10 kΩ. U zavisnosti od vrednosti potenciometra zavisiće ugao okidanja dijaka odnosno trijaka, a samim tim i snaga kojom svetli sijalica. Na slici 3 može se videti kompletna šema realizovanog sistema.

III. SOFTVER

Sistem je implementiran koristeći *CubeMX* okruženje, dok je kod pisan u *µVision* okruženju. Kod se sastoji od nekoliko delova: funkcije koja generiše kašnjenje u mikrosekundama, segmenta za detekciju nule i dela za potenciometar koji uključuje očitavanje vrednosti, AD konverziju očitane vrednosti i njeno skaliranje u opseg od 10 do 7200 µs.



Slika 3. Električna šema kola za kontrolu faze.

Na početku je potrebno u *CubeMX* okruženju aktivirati oba AD konvertora, jedan se koristi za konverziju vrednosti AC signala kako bi se detektovala nula, dok se drugi koristi za konverziju vrednosti potenciometra. Oba rade u *contionious* modu. Potrebno je obezbediti maksimalnu brzinu konverzije kako bi se detektovao prolazak signala kroz nulu. Da bi ste postigla najveća brzina konverzije, u *CubeMX*-u postavlja se vreme uzorkovanja (*sampling time*) na 1.5. Vreme konverzije određeno je brojem taknih ciklusa i to [1]:

$$N_{conv(cycles)} = sampling\ time\ +\ 12.5 \qquad (1)$$

Na taj način postiže se 14 taktnih ciklusa. Vreme za koje će se izvršiti AD konverzija pored broja taktnih ciklusa zavisi i od frekvencije taktnog signala *f*, i to:

$$T_{conv}(s) = \frac{1}{f} \cdot N_{conv(cycles)} \qquad (2)$$

Vrednost frekvencije internog clock-a podešena je na 4 MHz, pa se za vreme AD konverzije dobija 3.5 µs, odnosno na svakih 3.5 µs biće dostupni novi podaci iz AD konvertora i na taj način obezbediti sigurnu detekciju prolaska AC sginala kroz nulu.

S obzirom da se sistem napaja iz mreže čija je frekvencija signala 50 Hz, vrednost periode biće 20 ms, odnosno poluperiode 10 ms. Kako bi se izvršila kontrola svake poluperiode neophodno je generisanje kašnjenja izraženo u mikrosekundama. Da bi se uspešno implementirala ova funkcija potrebno je detaljno proučiti tehničku dokumentaciju mikrokontrolera. Na slici 4 prikazan je način na koji je izvršena realizacija. Prilikom poziva funkcije prosleđuje se vrednost koja označava trajanje kašnjenja u mikrosekundama. Na početku se vrši resetovanje brojača tako što se trenutna vrednost registra brojača CNT postavlja na nulu. Vrednost ARR (*Auto Reload Register*) predstavlja vrednost do koje će brojač brojati. Vrednost prosleđenog kašnjenja se umanjuje za 1, jer brojanje kreće od nule. Tajmer se pokreće tako što se pristupa CR1 (*Control Register 1*) registru tajmera gde se bit CEN (*Counter ENable pin*) postavlja na vrednost 1. Tajmer broji dok brojač ne dostigne vrednost upisanu u ARR registar i tada se vrednost UIF (*Update Interrupt Flag*) bita postavlja na 1. Tajmer će brojati dok UIF bit u statusnom registru SR ne bude 1. Nakon

toga se vrši deaktiviranje tajmera tako što se resetuje CEN bit (postavlja se na 0) u kontrolnom registru CR1 i UIF bit u SR registru [2].

```
void delay_us(uint16_t us)
{
  TIM4->CNT = 0;
  TIM4->ARR=us-1;
  TIM4->CR1 |= TIM_CR1_CEN;
  while (!(TIM4->SR & TIM_SR_UIF));

  TIM4->CR1 &= ~TIM_CR1_CEN;
  TIM4->SR &= ~TIM_SR_UIF;
}
```

Slika 4. Funkcija za generisanje kašnjenja u mikrosekundama.

U glavnoj programskoj petlji pokreće se AD konvertor koji vrši konverziju AC signala i čeka se da vrednost signala bude 0. Tada se *fleg*-u dodeljuje vrednost '*true*', očitava se vrednost potenciometra i AD konverzije se zaustavljaju. Najpre je potrebno izvršiti skaliranje vrednosti potenciometra. S obzirom da je AD konvertor mikrokontrolera 12-bitni [2] maksimalna vrednost biće 2^{12} = 4096, odnosno vrednost konverzije deli se sa 4095, jer se kreće od nule. Da bi se kontrolisale obe poluperiode vrši se skaliranje vrednosi potenciometra od 10 do 7200 µs kao što je prikazano na Slici 5. Za minimalnu očitanu vrednost sa potenciometra, ugao okidanja je maksimalni (najveće vreme kašnjenja pre slanja impulsa za okidanje = 7.200µs), odnosno pri maksimalnoj očitanoj vrednosti sa potenciometra, ugao okidanja je minimalni (najmanje vreme kašnjenja pre slanja impulsa za okidanje = 10 µs). Dijak se aktivira slanjem okidnog impulsa u trajanju od 100 µs. Po završetu procesa vrednost *fleg*-a se vraća na '*false*' tako da novi ciklus može početi.

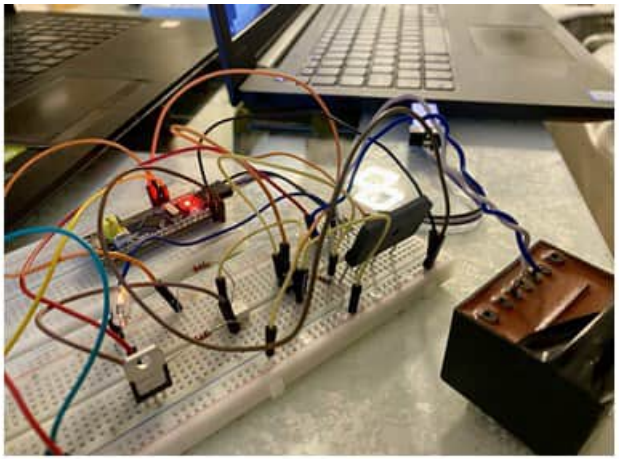
```
if(fleg==true)
{
  vr = (pot/4095.0) * 7190.0 + 10;
  ugao_okidanja=vr;
  delay_us(ugao_okidanja);
  HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, 1);
  delay_us(100);
  HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, 0);
  fleg=false;
}
```

Slika 5. Deo koda koji upravlja okidanjem dijaka.

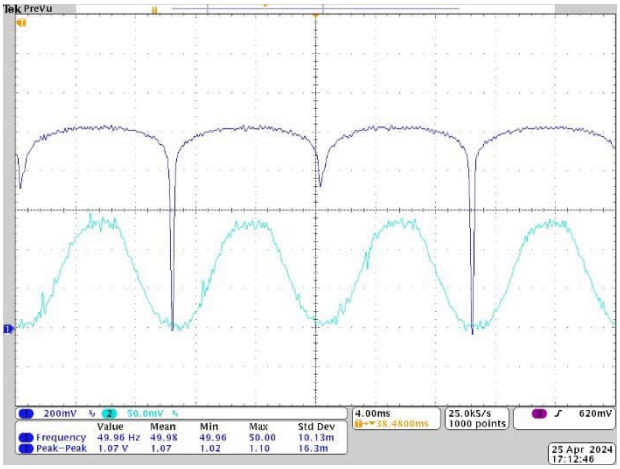
IV. Rezultati i diskusija

Na slici 6 prikazan je praktično realizovan sistem na proto ploči. Rad kola je potom testiran u laboratorisjkim uslovima. Povezivanjem na osciloskop posmatraju se signali dimera sijalice. Na slici 7 mogu se uočiti signali na izlazu Grecovog spoja označen tamno plavom bojom i napon na izlazu optokaplera predstavljen svetlo plavom bojom. S obzirom da je iskorišćen punotalasni ispravljač očekivano je da obe poluperiode budu usmerene, što se može videti na slici. Uočava se da je amplituda signala na izlazu Grecovog spoja 1 V, a na izlazu optokaplera 150 mV. Prati se trenutak kada signal na izlazu optokaplera odnosno na pull-down otporniku prolazi kroz nulu.

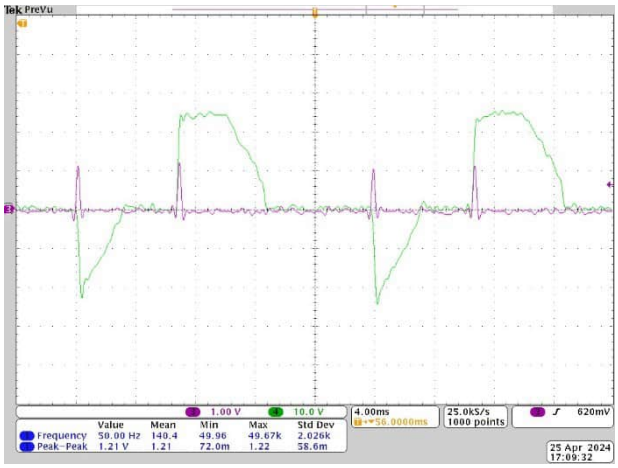
Kada signal na izlazu optokaplera prođe kroz nulu šalje se okidni impuls u trajanju od 100µs prikazan ljubičastom bojom na slici 8. Okidni impuls trigeruje optoizolovani dijak, koji pobuđuje trijak i sijalica se uključuje. Zelenim signalom prikazan je napon na sijalici nakon što se ona aktivira. Može se uočiti da se kontrola faze vrši i tokom negativne i tokom pozitivne poluperiode.



Slika 6. Praktična realizacija na proto ploči.



Slika 7. Signali kola za detekciju nule.



Slika 8. Signali kola za kontrolu faze.

V. Zaključak

Ovako projektovano kolo dimera sijalice omogućava preciznu kontrolu svetlosnog intenziteta pomoću fazne kontrole. Ovo rešenje nudi jednostavnost i fleksibilnost primene u različitim osvetljenjima i poboljšava energetsku efikasnost. Ceo sistem predstavlja veoma dobro rešenje za kontrolu osvetljenja u različitim aplikacijama.

Dimer sijalice se koristi za kontrolu intenziteta svetlosti. Ovako realizovan sistem se može dodatno optimizovati dodavanjem LED indikatora koji će prikazivati status sistema, nivo zatamljenja i slično. Dodatno sistem se može unaprediti korišćenjem Wi-Fi ili Bluetooth modula kako bi se omogućila daljinska kontrola dimera putem mobilnog telefona.

ZAHVALNICA

Ovaj projekat realizovan je u okviru predmeta Komponente i kola snage (8. semestar OAS na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi). Zahvaljujemo se predmetnim asistentima doc. dr Milošu Marjanoviću i mast. inž. Milanu Stojanoviću na pruženoj pomoći i podršci i izdvojenom vremenu prilikom realizacije ovog projekta.

LITERATURA

[1] Slajdovi sa računskih vežbi iz predmeta Komponente i kola snage. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/kiks-vezbe-nucleo.pdf

[2] STM32 Nucleo-64 boards (MB1136) - UM1724

[3] https://electronoobs.com/eng_circuitos_tut20

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.145DJ
Original scientific paper

Razvoj sistema za automatsko upravljanje staklenika u Altium Designer-u

Dunja Đorđević
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dunja.djordjevic@elfak.rs
ORCID: N/A

Anđela Tanić
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
andjela.tanic@elfak.rs
ORCID: N/A

Marija Petrović
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
marija.petrovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Luka Nešić
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
luka.nesic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Ovaj rad opisuje razvoj sistema za automatsko upravljanje staklenikom koristeći Altium Designer. Sistem obuhvata senzore za praćenje temperature, osvetljenosti, vlažnosti zemljišta i nivoa CO2, kao i kontrolne jedinice za automatsko upravljanje ventilacijom, navodnjavanjem, osvetljenjem i alarmnim sistemom. Elektronski sklopovi su projektovani u Altium-u kako bi se omogućila optimizacija PCB-a i njihova integracija u stakleniku.**

Ključne reči—PCB, Altium Designer

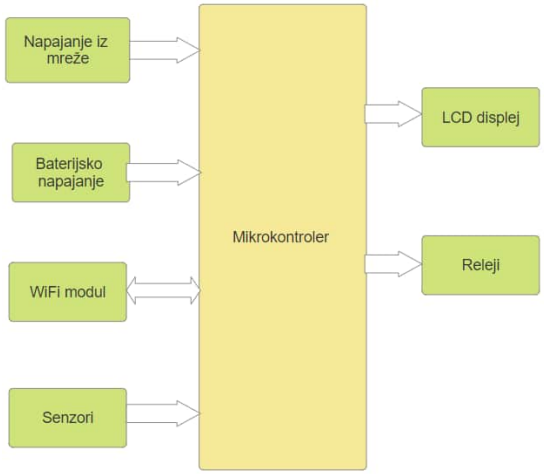
I. Uvod

Sistem za automatsko upravljanje staklenikom osmišljen je kao odgovor na potrebe korisnika da jednostavno i efikasno održavaju staklenike bez potrebe da korisnik stalno odlazi na lokaciju staklenika. Glavna ideja sistema je da prikuplja podatke o uslovima staklenika, kao što su temperatura, vlažnost, nivo svetlosti i koncentracija CO2, koristeći različite senzore. Na osnovu tih podataka, sistem automatski aktivira odgovarajuće kontrolne jedinice poput ventilacije, navodnjavanja i osvetljena. Informacije o uslovima unutar staklenika su takođe prikazane na LCD ekranu, a dodatno, Wi-Fi modul omogućava bežičnu komunikaciju i kontrolu sistema putem mobilnih uređaja.

Za dizajn i implementaciju ovog sistema korišćen je Altium Designer, koji omogućava PCB dizajn. Pored toga, simulacije su izvršene kako bi se optimizovale performanse sistema i osigurala pouzdanost u radu. Ovaj sistem pruža značajne prednosti u poljoprivredi, omogućavajući automatsko održavanje optimalnih uslova za rast biljaka uz minimalnu ljudsku intervenciju.

II. Princip rada

Sistem za automatsko upravljanje staklenikom funkcioniše tako što prikupja podatke o temperaturi, vlažnosti zemljišta, nivou osvetljenosti i koncentracije CO2 pomoću senzora postavljenih u stakleniku. Senzori su povezani sa centralnim mikrokontrolerom [1] (ATmega16A), koji obrađuje podatke i na osnovu njih upravlja relejima za kontrolu ventilacije, osvetljenja, navodnjavanja i alarmnog sistema.



Slika 1. Blok šema za automatsko upravljanje staklenikom.

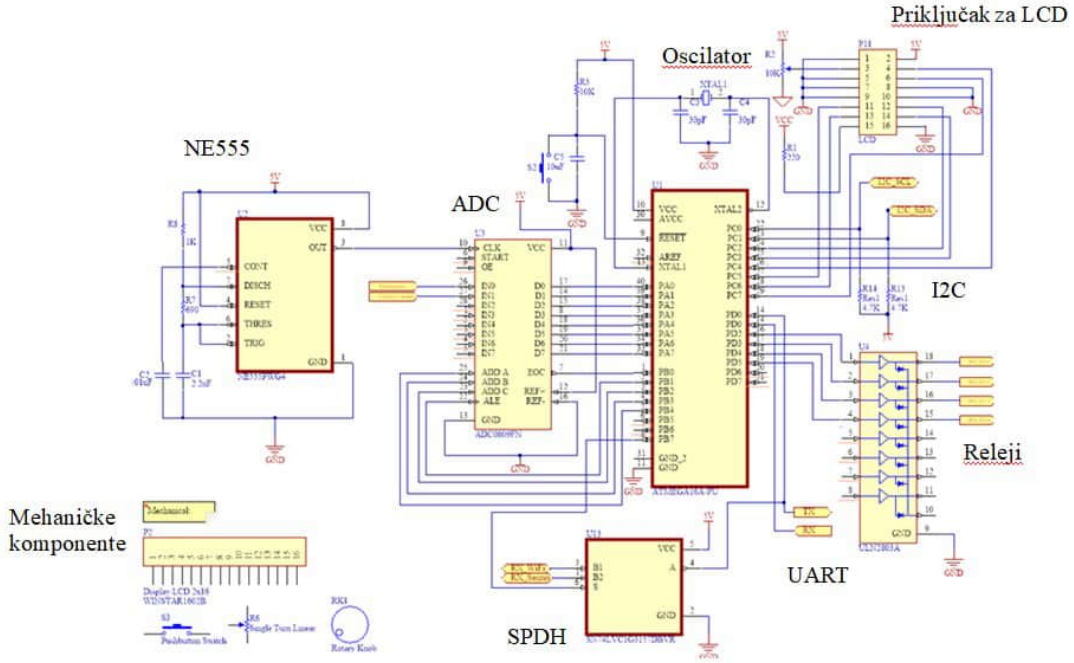
Informacije o trenutnim uslovima u stakleniku prikazuju se na LCD ekranu, čime korisnik dobija pregled u realnom vremenu. Dodatno, Wi-Fi modul [2] omogućava daljinsko praćenje i kontrolu sistema putem mobilnog uređaja (slika 1). Time se ostvaruje potpuna automatizacija ključnih procesa u stakleniku uz minimalnu potrebu za intervencijom korisnika.

Uloga tajmera NE555 je da generiše taktni signal koji pokreće i kontroliše rad AD konvertora. Izlazni pin tajmera je povezan na pin takta AD konvertora. Uloga konvertora je da prima analogne signale preko pinova direktno povezanih na senzore a zatim ih konvertuje u digitalne signale i šalje na mikrokontroler koji vrši njihovu dalju obradu. U ovom projektu je izabran ATMEGA16A-PU mikrokontroler jer ima radnu frekvenciju do 16MHz čime je omogućena velika brzina rada kola i izvršenje koda u realnom vremenu i zbog

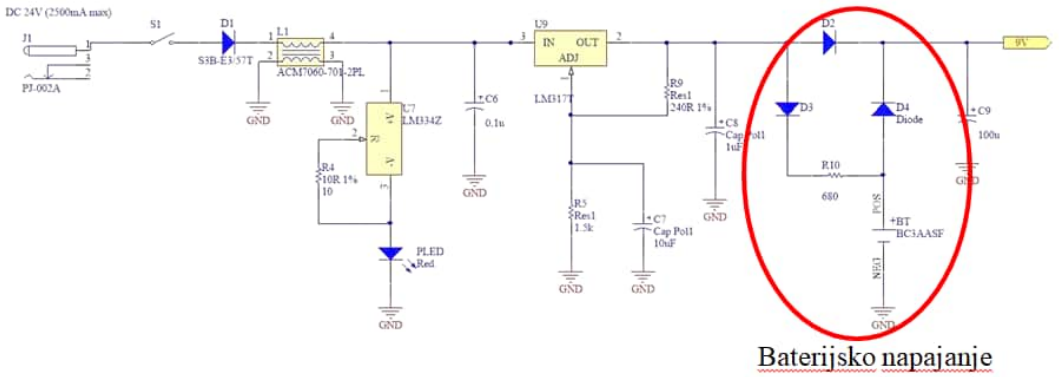
svojih performansi. Na slici 2 se nalazi i kolo ULN2803A-integrisano kolo [3] koje sadrži 8 Darlingtonovih tranzistorskih parova. Ovo kolo služi za kontrolu visokonaponskih uređaja pri čemu se malim ulaznim strujama kontrolišu velike struje (releji, motori…). Drugim rečima, omogućava upravljanje većim strujama i naponom nego što mikrokontroler može da podrži.

Na njegov izlaz su povezani releji za upravljanje sistemom za navodnavanje, ventilacijom, osvetljenjem i alarmnim sistemom. LCD 16X2 koristi se za prikazivanje odgovarajućih informacija prikupljenih sa senzora korisniku.

U ovom projektu preko UART komunikacije komuniciraju Wi-Fi modul sa mikrokontrolerom kao i jedan od senzora. Na šemi je komponenta SPDH koja ima ulogu da obezbedi višestruku UART komunikaciju. ATMEGA16A-PU ima mogućnost i za I2C komunikaciju, kao što je i obeleženo na slici. Na slici 2 je prikazana slika glavne šeme koja je implementirana u Altium Designer-u. Sistem je realizovan da se napaja iz mreže. Međutim, usled postojanja nekih smetnji, odnosno kada ne može da se napaja iz mreže, obezbeđeno je baterijsko napajanje. Kolo za napajanje je prikazano na slici 3.



Slika 2. Glavna šema.



Slika 3. Kolo za napajanje.

Na ulaz kola je DC konektor koji obezbeđuje 24 V i struju 2.5 A. Naredna komponenta u kolu za napajanje je on-off taster za uključivanje. Ova komponenta se postavlja na prednji panel, a žicama je preko priključka za konektor (kapice) vezana za sam konektor koji se nalazi na ploči. Zatim je potrebno dodati diodu koja služi za zaštitu od suprotne polarizacije. Iskorišćena je S3B-E3/57T dioda, jer može da provede maksimalnu struju 3 A, pri čemu je pad napona 1.15 V. U slučaju inverzne polarizacije može da podnese napon od 100 V (poželjno je da taj napon bude najmanje dva puta veći od napona pri direktnoj polarizaciji). Naredna komponenta u kolu za napjanje je feritna prigušnica koja ima ulogu da ukloni visokofrekventne signale sa linije za napajanje (power line). U kolu je takođe postavljena dioda koja služi za indikaciju - da li postoji napjanje iz mreže ili ne. I u ovom slučaju dioda se postavlja na prednji panel, kao što je urađeno kod on-off prekidača. Na štampanu ploču se postavlja konektor, a žicama je preko priključka za konektor (kapice) vezan za diodu. Da bi se obezbedilo da dioda uvek svetli konstantnim intenzitetom, neophodan je izvor konstantne struje. Izabran je LM334, koji obezbeđuje struju od nekoliko mA, što je dovoljno za pouzdan rad diode [4]. Naredna komponenta je regulator napona LM317T, koji služi za spuštanje napona sa 24 V na 9 V. Vrednosti otpornika sa

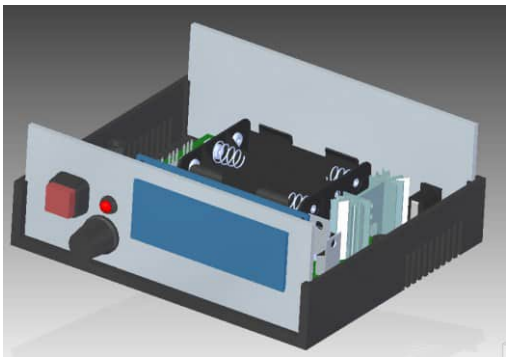
šeme su proračunati na osnovu tehničke dokumentacije [5], kao i vrednosti kondenzatora koji služe za filtriranje signala. S obzitom na veliku razliku između napona na ulazu i izlazu regulatora, disipira se velika količina toplote, pa je potrebno ugraditi hladnjak. Na kraju šeme je obeleženo baterijsko napajanje koje sa sastoji od tri diode. Diode su polarisane tako da kada postoji napajanje iz mreže baterija se dopunjuje, a u slučaju prekida napajanja, sistem se napaja preko baterije.

III. SOFTVERSKA IMPLEMENTACIJA

Kao što je bilo reči ranije u radu, za PCB dizajn korišćen je softver Altium Designer. Izgled pločice u 3D prikazan je na slici 4. Napravljena je kutija u kojoj je smeštena pločica kako bi sistem adekvatno bio zaštićen. Za dizajniranje kutije korišćen je softver SolidEdge. Izgled kutije prikazan je na slikama 5a i 5b. Sa gornnje strane kutije (slika 5a) se mogu videti otvori koji služe za žice koje su potrebne da se na releje povežu kontrolne jedinice kao i za povezivanje senzora. Na slici 5b se može videti prednji panjel gde se nalazi dugme za uključivanje/isključivanje, LE dioda za indikaciju, LCD displej i potenciometar pomoću koga se podešava njegova osvetljenost.



a.



b.

Slika 5. Izgled kutije u softveru SolidEdge.



Slika 4. 3D izgled ploče u Altium Designer.

IV. ZAKLJUČAK

Razvijeni sistem za automatsko upravljanje staklenikom nudi brojne prednosti u oblasti poljoprivrede. Ključna karakteristika sistema je njegova sposobnost da autonomno održava optimalne uslove za rast biljaka, koristeći senzore za praćenje temperature, vlažnosti, nivoa svetlosti i koncentracije CO2. Sistem automatski upravlja ventilacijom, navodnjavanjem, osvetljenjem i alarmnim sistemom, čime smanjuje potrebu za ljudskom intervencijom. Implementacija u Altium Designer-u omogućava visok nivo optimizacije i integracije elektronskih komponenti, dok dodatna Wi-Fi podrška omogućava daljinsko upravljanje putem mobilnih uređaja, što sistem čini još praktičnijim i efikasnijim.

ZAHVALNICA

Ovaj projekat realizovan je u okviru predmeta Projektovanje štampanih ploča (7. semestar OAS na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi). Zahvaljujemo se predmetnim profesorima prof. dr Danijelu Dankoviću i prof. dr Zoranu Prijiću i mast. inž. Aleksandri Stojković na pruženoj pomoći i podršci i izdvojenom vremenu prilikom realizacije ovog projekta.

LITERATURA

[1] https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/255662/ATMEL/ATMEGA16A-PU.html

[2] https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1179098/ETC2/ESP-01.html

[3] https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/12688/ONSEMI/ULN2803A.html

[4] https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/PROJEKTOVANJE-STAMPANIH-PLOCA-2017.pdf

[5] https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/447317/TGS/LM317T.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.149E
Original scientific paper

Senior SOS: Sistem za detekciju pada

Haris Emić
ETŠ "Mihajlo Pupin"
Futoška 17
Novi Sad, Srbija
harisemic038@gmail.com
ORCID: N/A

Marko Necin
ETŠ "Mihajlo Pupin"
Futoška 17
Novi Sad, Srbija
dusananja7@gmail.com
ORCID: N/A

Dušan Petrović
ETŠ "Mihajlo Pupin"
Futoška 17
Novi Sad, Srbija
marko384n@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U radu je opisan rad uređaja Senior SOS koji je zamišljen kao pomoć starijim osobama u slučaju pada, kada je potrebno uputiti poziv za pomoć. Pad se detektuje putem senzora, pa se poziv upućuje automatski, jer osoba pri padu može biti i bez svesti.**

Keywords—Detekcija pada, starije osobe, senzor MPU6050

I. Uvod

Prema istraživanja NSC (*National Safety Councili*) [1] jedna u 77 osoba godišnje završi sa smrtnim ishodom usled teških povreda [2], a jedan u 48 Amerikanaca je hospitalizovan usled povreda dobijenih prilikom nezgodnog pada. Ovi podaci upućuju na učestalost povreda koji mogu da zadese ljude u njihovom svakodnevnom životu; npr. prilikom silaženja niz stepenice, hodanja po klizavom podu ili zapinjanja za predmete u kući. Ove padovi nisu toliko često smrtonosni, ali uprkos tome mogu dovesti do težih telesnih povreda, pa čak i invaliditeta. Iako je ove povrede lako sprečiti raznim merama predostrožnosti, do njih i dalje često dolazi.



Slika 1. Osoba je zadobila povredu usled pada niz stepenice.

Prilikom povreda ključno je vreme, potrebno je što pre povređenoj osobi ukazati stručnu pomoć, čime su veće šanse da se izbegne fatalni ishod. Pomoć mogu pružiti ukućani, osobe koje se nalaze u neposrednoj blizini, osobe hitne pomoći ili lekari. Ljudi koji žive sami često nisu u stanju da pozovu nekoga u pomoć kada se povrede, a i ljudi koji žive sa nekim mogu da izgube svest prilikom pada, te isto nisu u stanju da dozovu nekoga. Posebno se mora ukazati na povrede osoba sa posebnim potrebama, odnosno slabije pokretnim i nepokretnim osobama.

II. Princip rada

U radu je predstavljen senzor u kojem se nalazi merač ubrzanja kao i tri-osni žiroskop, koji će prepoznati pad osobe koja nosi Senior SOS uređaj i poslati obaveštenje-upozorenje na željenu adresu.

Uređaj ima dva režima rada: automatski i manuelni. Automatski rezim rada se odvija ukoliko dođe do nagle promene brzine i položaja Senior SOS uređaja. Ako se detektuje pad, uređaj šalje obaveštenje-upozorenje na odgovarajući server. Signal se salje pomoću MQTT [3] brokera u vidu poruke. Za komunikaciju sa uređajem koristi se I2C [4] protokol.

Ručni režim rada ima dve opcije: slanje SOS signala i opozivanje SOS signala. Prilikom pritiska na dugme šalje se signal na server sa porukom iyabranoj osobi.

Opozivanje SOS signala se može izvršiti uz nekoliko uzastopnih pritisaka dugmeta u određenom vremenskom intervalu (u našem primeru se koristi četiri uzastopna pritiska u periodu od 10 sekundi).

III. Korišćene komponente

Komponente koje su korišćene:

- D1-MINI ESP8266 [5]
- MPU6050 (gyroscope i accelerometer) [6]



Slika 2. ESP 8266 D1-MINI.

D1-MINI je razvojna ploča sa sa ugrađenim ESP8266 WiFi čipom. ESP8266 sadrži Tensilica Xtensa 32-bitni LX106 RISC mikroprocesor radnog takta 80 do 160 MHz, sa 128 KB RAM-a i 4 MB flash programske memorije. ESP8266 ima integrisan 802.11b/g/n Wi-Fi i lako se povezuje na WiFi mrežu. D1-MINI napaja se i programira

preko USB konekcije, a za razvoj programa može se koristiti Arduino IDE razvojno okruženje.

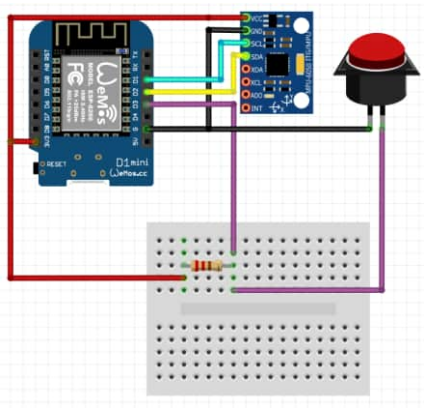


Slika 3. Senzor MPU6050.

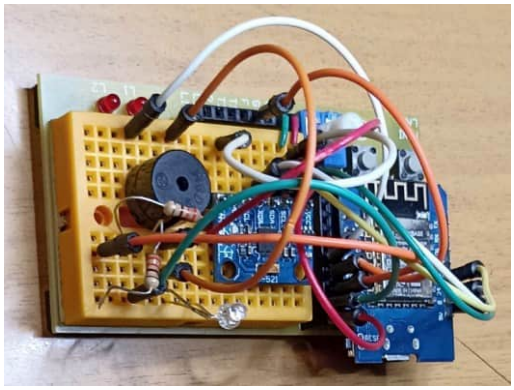
Kombinovane vrednosti MEMS 3-osnog akcelerometra i 3-osnog žiroskopa. Napajanje: 3-5 V. Komunikacija: I2C protokol. Ugrađeni 16-bitni ADC obezbeđuje visoku preciznost. Ugrađeni DMP obezbeđuje veliku računarsku snagu.Može se koristiti za povezivanje sa drugim IIC uređajima kao što je magnetometar. Konfigurabilna IIC adresa. Ugrađeni temperaturni senzor.

IV. Šema povezivanja

Prototip Senior SOS uređaja sa vezivanjem komponenata prikazan je na slikama 4 i 5. Osim D1-MINI razvojnog sistema potreban je još samo senzor MPU6050 i taster sa pull-up otpornikom (kasnije je dodata zujalica-buzzer za zvučnu indikaciju).



Slika 4. Povezivanje Senior SOS.



Slika 5. Izgled prototipa Senior SOS uređaja.

Komponente su montirane u kutiju malih dimenzija (80x 60x 21 mm) sa odgovarajućim logotipom, slika 6.



Slika 6. Senior SOS u kutiji.

Slika 7 prikazuje deo koda koji koristi MQTT protokol za komunikaciju.

```
const char *ssid = "..."; // Unesi naziv WiFi mreže
const char *password = "...";// Unesi lozinku WiFi mreže
const char *mqtt_broker = "broker.emqx.io"; // Naziv broker-a
const char *topic = "esp8266/test"; // Podaci za MQTT broker
const char *mqtt_username = "emqx";
const char *mqtt_password = "public";
const int mqtt_port = 1883;
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
```

Slika 7. Komunikacija preko MQTT protokola.

V. Implementacija

Kreiran je uređaj koji pri padu osobe šalje SOS signal – poziv koristeći dostupnu WiFi mrežu. Ima male dimenzije i težinu, pa može da se nosi u džepu ili na traci oko vrata. Namenjen je kao ispomoć slabije pokretnim starijim osobama i osobama koje žive same. Korišćene su lako dostupne komponente pristupačne cene.

VI. Zaključak

Postignuta je željena funkcionalnost sistema. Uređaj uspešno vrši merenja i prosleđuje podatake. Pogodan je za korišćenje u domovima za stara lica, bolnicama ili za individualnu upotrebu i može značajno doprineti smanjenju povreda usled pada sa fatalnim ishodom.

VII. Zahvalnica

Zahvaljujemo mentoru Nebojši Bogićeviću na usmeravanju i korisnim sugestijama pri izradi ovog rada. Zahvaljujemo i ostalim članovima sekcije na podršci.

Literatura

[1] Sajt NSC dostupan na: https://www.nsc.org/work-safety/safety-topics/slips-trips-and-falls

[2] Sajt CDC dostupan na: https://www.cdc.gov/nchs/fastats/deaths.htm

[3] Sajt MQTT dostupan na: https://mqtt.org/

[4] Osnove I2C dostupno na: https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/

[5] D1-MINI razvojni sistem dostupno na: https://www.wemos.cc/en/latest/_static/files/sch_d1_mini_v4.0.0.pdf.

[6] Podaci o senzoru MPU6050 dostupni na: https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu6050/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.151P
Original scientific paper

Edukativne pločice za realizaciju vežbi na Katedri za mikroelektroniku

Milica Petrović
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
milicap@elfak.rs
ORCID: N/A

Milica Mladenović
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
m.milica@elfak.rs
ORCID: N/A

Marina Đokić
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
djokic.marina@elfak.rs
ORCID: N/A

Ivana Nedeljković
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
ivananedeljkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Sadržaj*—U ovom radu realizovane su edukativne pločice za realizaciju vežbi na katedri za Mikroelektroniku. Cilj je olakšavanje studentima na nižim godinama savladavanje osnova elektronike. Realizovane su dve pločice. Prva pločica sadrži konfiguracije koje se odnose na klipere i klampere a druga pločica konfiguracije koje se odnose na operacione pojačavače. Takođe je projektovana kutija za smeštanje pločice. Na samoj kutiji se nalazi nacrtana šema koja je realizovana na pločici pa studenti jednostavnim postavljanjem kratkospojnika povezuju potrebne konfiguracije. Pločice su realizovane u programu *Altium Designer* dok je kutija realizovana u programu *Solid Edge.

Ključne reči—edukativne pločice, Altium Designer, Solid Edge.

I. Uvod

Prilikom realizacije vežbi na nižim godinama studija, studenti osnovnih studija nailaze na poteškoće prilikom povezivanja različitih konfiguracija zbog velikog broja žica i ograničenog vremena za samu realizaciju vežbe. Kako bi se studentima olakšala realizacija vežbi napravljene su makete koje pokrivaju konfiguracije koje se obrađuju na laboratorijskim vežbama iz predmeta Poluprovodničke komponente i Analogna mikroelektronika. Studenti umesto da povezuju sve komponente iznova, kao kada ne bi imali dostupne makete, dovoljno je da ubace kratkospojnike u maketu koja je napravljena. Lako mogu da očitavaju ulazne i izlazne signale jednostavnom zamenom pozicije kratkospojnika.

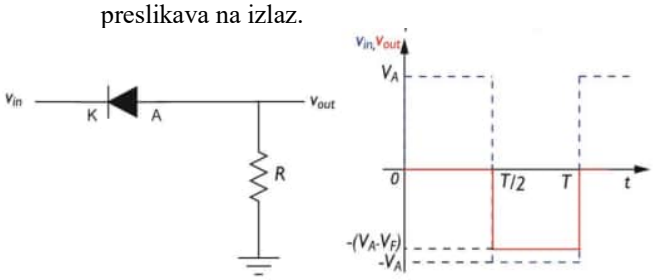
Realizovane su dve pločice. Prva pločica pokriva laboratorijske vežbe koje se odnose na klipere i klampere i sadrži interno napajanje. Dok druga pločica omogućava realizaciju laboratorijske vežbe koje se odnose na operacione pojačavače.

II. Princip rada

A. Kliperi i klamperi

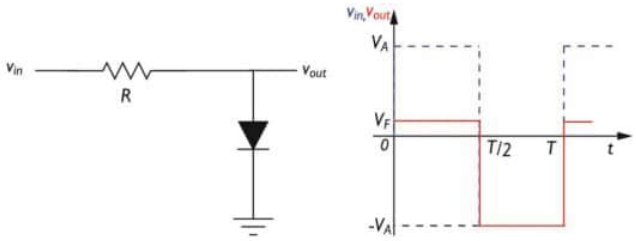
Kliperi su kola za ograničavanje (odsecanje) naponskog nivoa. Oni odsecaju deo ulaznog naponskog signala pri čemu talasni oblik ostatka signala ostaje neizmenjen. Dodavanjem *DC* izvora moze da se precizno definiše oblik izlaznog signala. Kliperi mogu biti:

- Serijski – dioda je vezana redno sa opterećenjem, primer serijskog klipera dat je na slici 1. Tokom negativne poluperiode izlazni signal je dat formulom 1. Tokom pozitivne poluperiode dioda ne vodi i izlazni signal je odsečen.
- Paralelni – dioda je vezana paralelno sa opterećenjem. Primer paralelnog klipera dat je na slici 2. Tokom pozitivne poluperiode kada je dioda direktno polarisana izlazni signal je dat formulom 2. Tokom negativne poluperiode signal sa ulaza se preslikava na izlaz.



Slika 1. Primer serijskog klipera.

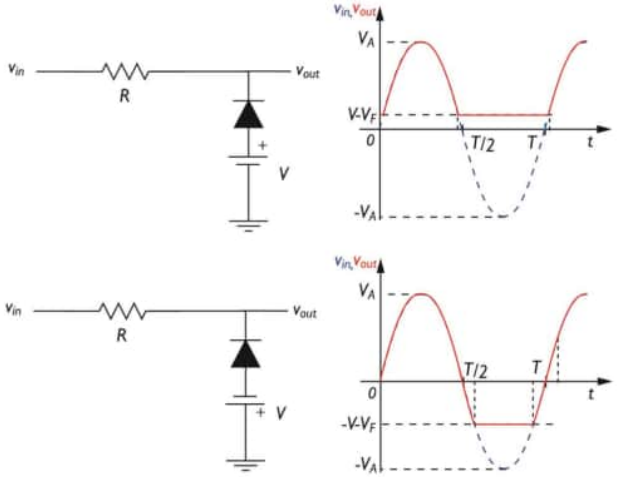
$$v_{out}=v_{in}-V_F \quad (1)$$



Slika 2. Primer paralelnog klipera.

$$v_{out}=V_F \tag{2}$$

Klamperi su kola za pomeranje naponskog nivoa. Oni pomeraju nivo ulaznog signala bez promene njegovog talasnog oblika. Sastoje se od kondenzatora redno vezanog između ulaznog i izlaznog signala i otpornika i diode. Moguće je i dodavanje DC izvora radi preciznog definisanja oblika signala [1]. Primer klampera sa dodatnim *DC* izvorom dat je na slici 3. Tokom negativne polarizacije dioda vodi i napon na izlazu je dat formulom 3. Tokom pozitivne polarizacije dioda je zakočena i napon na izlazu je dat formulom 4.



Slika 3. Primer klampera sa dodatnim DC izvorom.

$$v_{out}=-V_F \pm V_1 \tag{3}$$

$$v_{out}=v_{in}+V_C=2V_A-V_F \pm V_1 \tag{4}$$

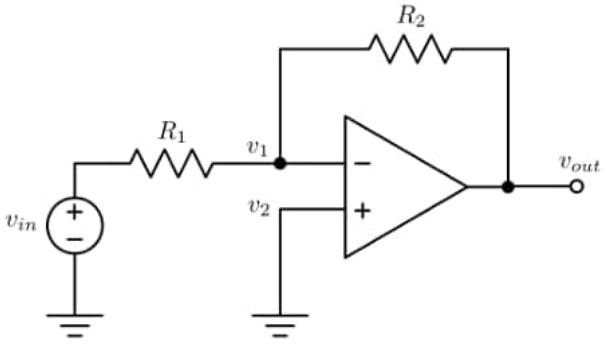
B. *Operacioni pojačavač*

U ovom radu obrađeno je 7 različitih konfiguracija i to: Invertujuća, Neinvertujuća, Sabirač, Integrator, Diferencijator, Logaritamski i Eksponencijalni pojačavač [2].

Operacioni pojačavač predstavlja jedno od osnovnih integrisanih kola u analognoj elektronici. Koristi se kao pojačavač napona. Integrisano kolo operacionog pojačavača ima pet pinova, pin za invertujuci ulaz (-), za neinvertujući ulaz (+), V+ pin (za pozitivno napajanje), V- pin (za negativno napajanje) i pin za izlaz kola.

Op amp (skraćeno od *Operational Amplifier*) je elektronsko kolo sa 2 ulaza i jednim izlazom, koje pojačava razliku napona na ulazima A puta i takav signal prosleđuje na izlaz.

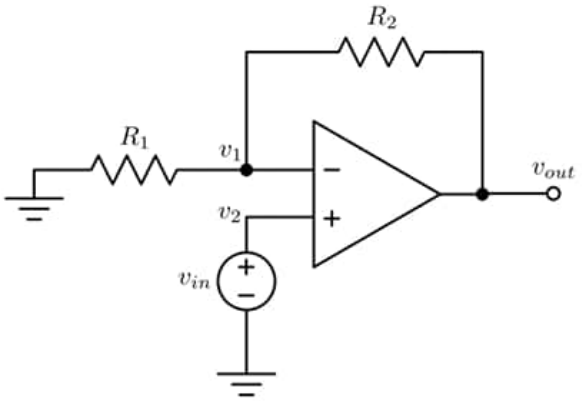
Invertujuća konfiguracija: tip povezivanja *op amp*-a prilikom koga se signal preko otpornika, dovodi samo na invertujući ulaz, dok je neinvertujući ulaz na masi. Signal se dovodi preko otpornika R_1, dok je otpornik R_2 povezan u grani povratne sprege između invertujućeg ulaza i izlaza pojačavača. Konfiguracija je prikazana na slici 4, a izlazni signal dat formulom 5.



Slika 4. Invertujuća konfiguracija *op amp*-a [2].

$$v_{out}=-\frac{R_2}{R_1}v_{in} \tag{5}$$

Neinvertujuća konfiguracija: tip povezivanja op amp-a prilikom koga se signal dovodi samo na neinvertujući ulaz. Povratna sprega je uspostavljena između izlaza i invertujućeg ulaza pojačavača preko otpornika R2, dok je preko otpornika R1 invertujući ulaz kratkospojen sa masom. Konfiguracija je prikazana na slici 5, a izlazni signal dat formulom 6.



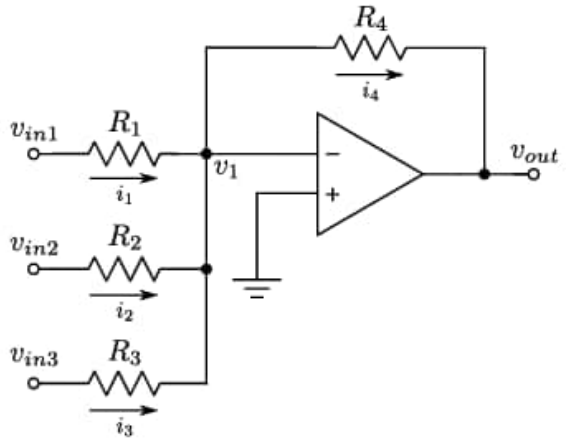
Slika 5. Neinvertujuća konfiguracija *op amp*-a [2].

$$v_{out}=\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)v_{in} \tag{6}$$

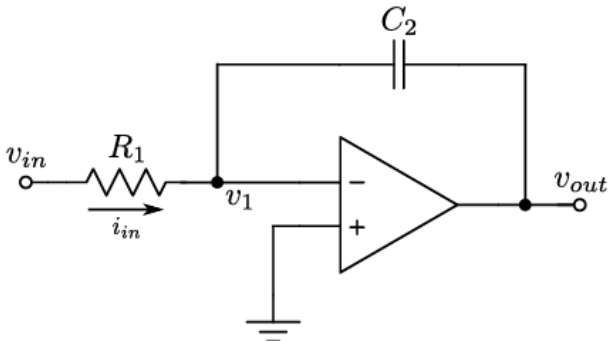
Sabirač predstavlja jednu od osnovnih primena operacionog pojačavača. Analiza ovog kola vrši se principom superpozicije. Kolo sabirača prikazano je na slici 6, a izlazni signal formulom 7.

$$v_{out}=-\frac{R_4}{R}(v_{in1}+v_{in2}+v_{in3}) \tag{7}$$

Integrator: poseban tip konfiguracije *op apm*-a koji na izlazu pojačavača generiše signal koji je integral signala koji je preko otpornika R_1 doveden na invertujući ulaz op amp-a. U grani povratne sprege povezan je kondenzator. Šema integratora prikazana je na slici 7, dok je izlazni signal određen formulom 8.



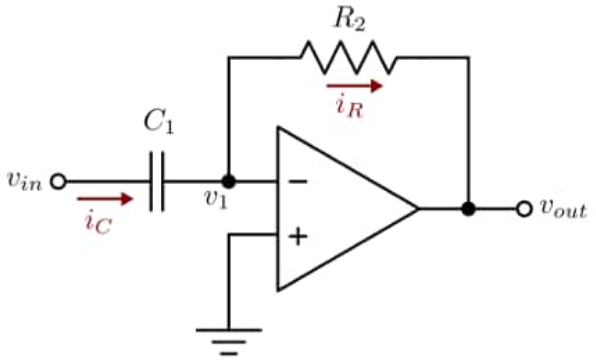
Slika 6. Konfiguracija sabirača *op amp*-a [2].



Slika 7. Konfiguracija integratora *op amp*-a [2].

$$v_{out=} -\frac{1}{R_1 C_2}\int_0^t v_{in}dt \tag{8}$$

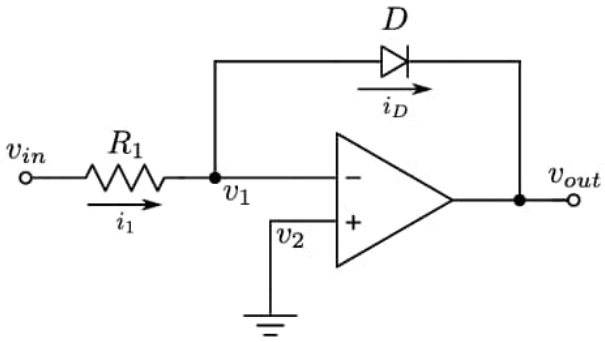
Diferencijator: poseban tip konfiguracije *op amp*-a koji na izlazu generiše signal koji je izvod signala koji je preko kondenzatora doveden na invertujući ulaz operacionog pojačavača. Šema diferencijatora prikazana je na slici 8, a izlazni signal izračunava se formulom 9.



Slika 8. Konfiguracija diferencijatora *op amp*-a [2].

$$v_{out=} -R_2 C_1 \frac{d(v_{in})}{d_t} \tag{9}$$

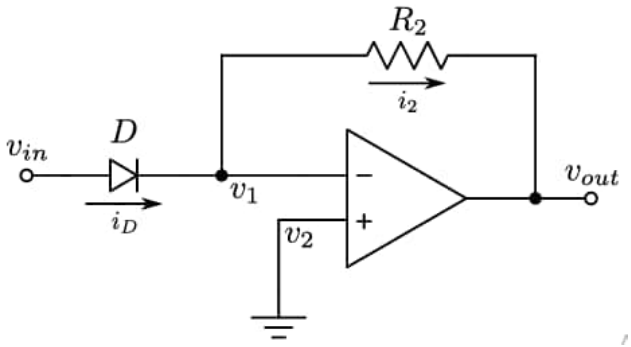
Logaritamski pojačavač**:** konfiguracija pojačavača koji na izlazu *op amp*-a generiše signal čija amplituda ima logaritmovanu vrednost amplitude signala koji se preko otpornika R_1 dovodi na ivertujući ulaz operacionog pojačavača. Konfiguracija logaritamskog pojačavača prikazana je na slici 9, a izlazni signal formulom 10.



Slika 9. Konfiguracija logaritamskog pojačavača *op amp*-a [2].

$$v_{out=} -v_T \ln\left(\frac{v_{in}}{R_1 I_S}\right) \tag{10}$$

Eksponencijalni pojačavač ili kako se još naziva antilogaritamski pojačavač, predstavlja poseban tip konfiguracije *op amp*-a koji na izlazu generiše signal čija je amplituda eksponencijalno pojačana amplituda signala koji se preko diode D dovodi na invertujući ulaz. Njegova šema prikazana je na slici 10, a izlazni signal dat formulom 11.



Slika 10. Konfiguracija eksponencijalnog pojačavača *op amp*-a [2].

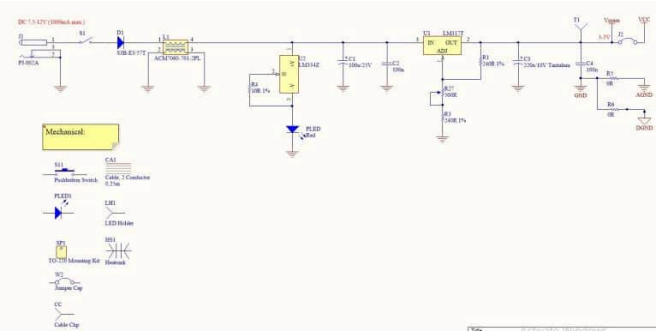
$$v_{out=} -R_2 I_s e^{\frac{v_{in}}{v_T}} \tag{11}$$

III. OPIS ŠEMA

Ovaj projekat se sastoji od pet šema a to su: Napajanje za pločicu 1; Kliperi i klamperi; Invertujući, neinvertujući operacioni pojačavač i sabirač; Integrator i diferencijator; i Logaritamski i eksponencijalni pojačavač.

A. Napajanje za klipere i klampere

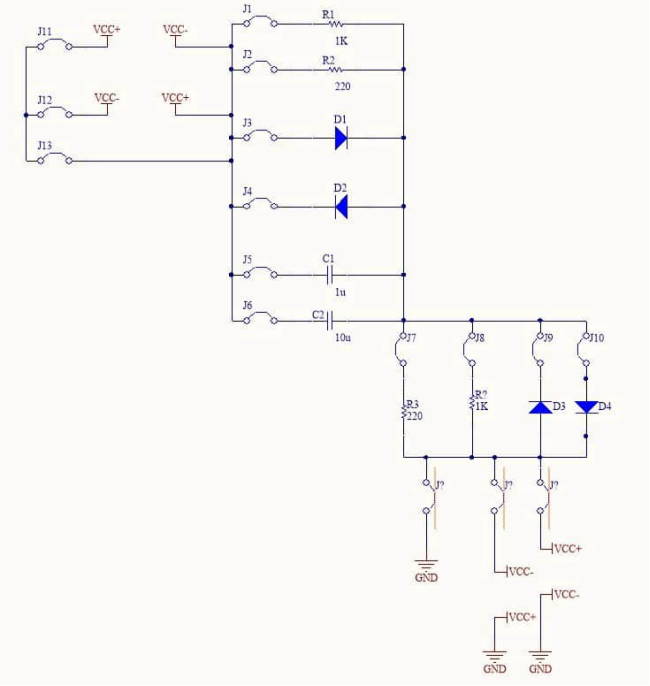
Na pločici 1. je postavljeno interno napajanje kako ne bi bilo potrebe za dovođenjem dodatnog eksternog napajanja. U slučaju da nemamo interno napajanje na pločici za realizaciju određenih konfiguracija bi bilo potrebno koristiti dva eksterna izvora napajanja. Sa internim napajanjem dovoljan je jedan eksterni izvor napajanja za realizaciju svih konfiguracija. Iskorišćena je već poznata šema za linearne izvore napajanja. Zadatak izvora napajanja je da naizmenični napon iz mreže pretvdori u jednosmerni, svodeći pri tome njegovu amplitudu na željeni nivo, kao i da takav jednosmerni napon učini dovoljno stabilnim u smislu imunosti na varijacije mrežnog napona i šumove [2]. Šema koja je realizovana prikazana je na slici 11.



Slika 11. Šema napajanja.

B. Kliperi i klamperi

Na slici 12. prikazano je univerzalno kolo klipera i klampera koje je dizajnirano na osnovu laboratorijskih vežbi koje se rade na predmetu Poluprovodničke komponente [3]. Izborom pozicije kratkospajača (*jumper*-a) obezbeđuje se odgovarajuća konfiguracija. Na pločici je jasno vidljiva napomena koji kratkospajači mogu biti upotrebljeni u svakom trenutku.

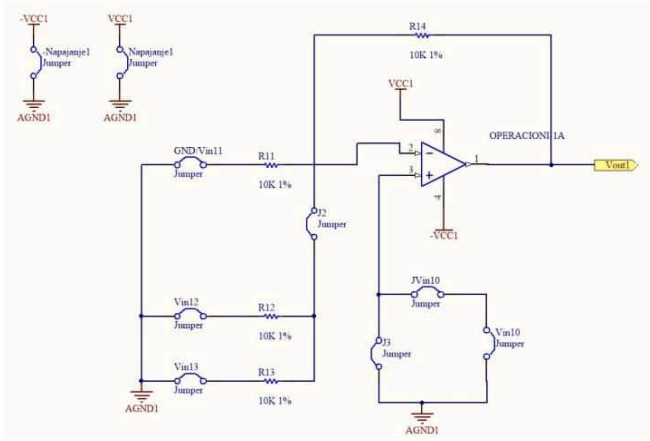


Slika 12. Šema klipera i klampera.

C. Invertujući, neinvertujući operacioni pojačavač i sabirač

Na slici 13. Prikazana je univerzalna šema 1 na pločici 2 koja objedinjuje 3 konfiguracije operacionog pojačavača.

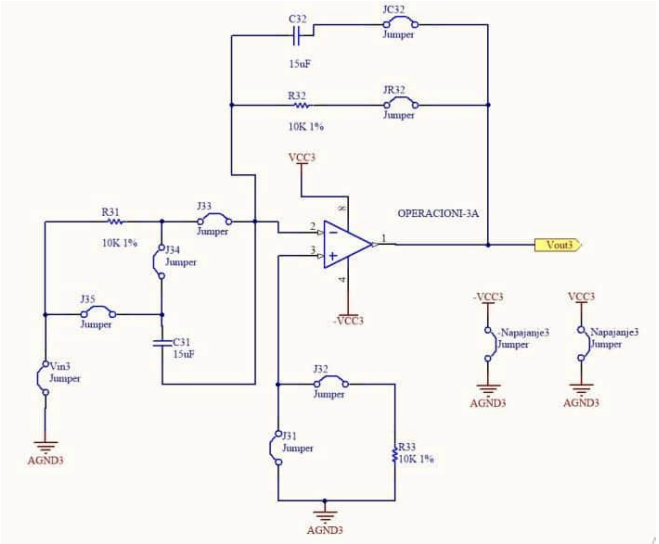
Konfiguracije koje se mogu realizovati su sabirač, invertujuća i neinvertujuća konfiguracija.



Slika 13. Univerzalna šema 1 na pločici 2.

D. Integrator i diferencijator

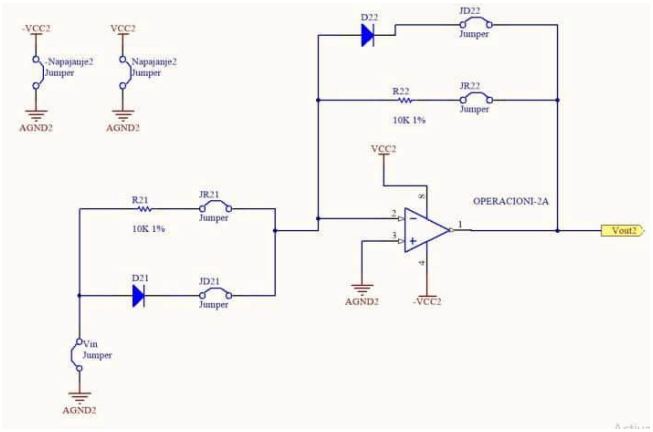
Integrator sadrži operacioni pojačavač sa kondenzatorom u povratnoj sprezi i otpornikom na ulazu, dok diferencijator sadrži operacioni pojačavač sa kondenzatorom na ulazu i otprnikom u povratnoj sprezi. Univerzalno kolo integratora i diferencijatora, odnosno univerzalna šema 2, koja je dizajnirana prikazano je na slici 14.



Slika 14. Univerzalna šema 2 na pločici 2.

E. Logaritamski i eksponencijalni pojačavač

Logaritamski pojačavač sadrži diodu u povratnoj sprezi i otpornik na ulazu, dok eksponencijalni sadrži otpornik u povratnoj sprezi i diodu na ulazu. Univerzalno kolo logaritamskog i eksponencijalnog pojačavača, odnosno univerzalna šema 3, prikazana je na slici 15.

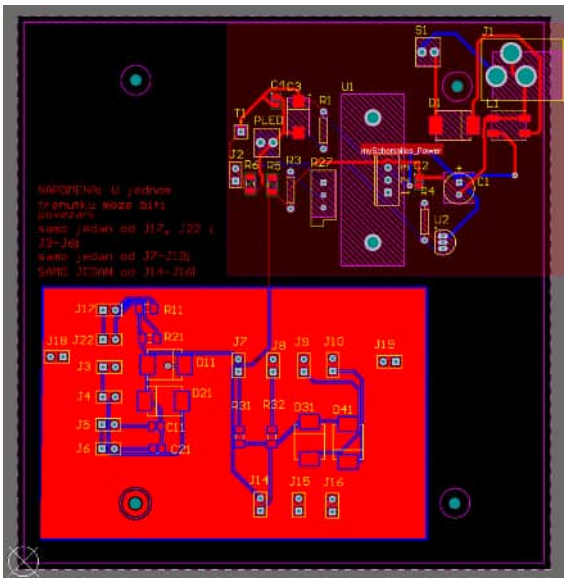


Slika 15. Univerzalna šema 3 na pločici 2.

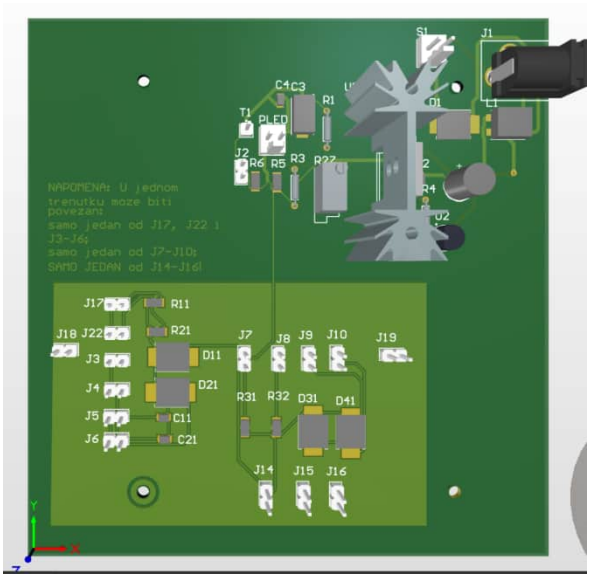
IV. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Praktična realizacija edukativnih pločica izvršena je u programu *Altium Designer*-u. *Altium Designer* je napredni program za dizajn štampanih ploča (*PCB*) i elektronskih sistema, koji omogućava kreiranje složenih *PCB*-ova sa više slojeva i automatsku proveru grešaka u dizajnu. Uključuje alate za crtanje šema, *3D* vizualizaciju i integraciju sa *CAM* sistemima za proizvodnju. Takođe, omogućava saradnju u timovima, praćenje verzija i rad u cloud-u. Obe pločice imaju rupe da se mogu jednostavno postaviti u kutiji pomoću šrafova.

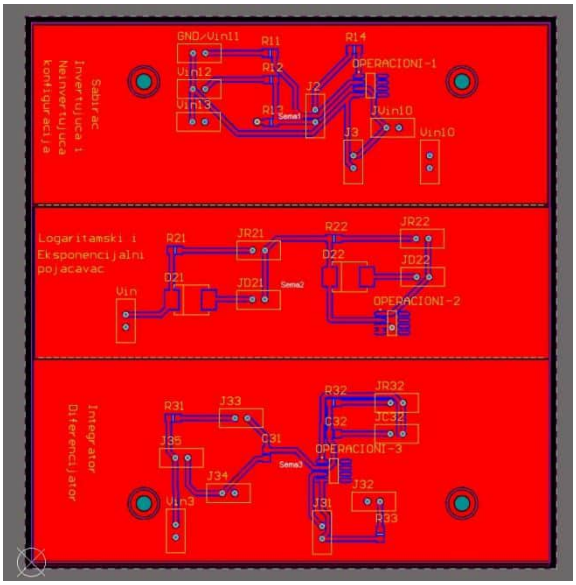
Edukativna pločica broj 1 u 2D formatu prikazana je na slici 15. Na slici se jasno vidi kako su odvojene sobe. Jedna za napajanje a jedna za šemu klipera i klampera. Sobe omogućavaju izolaciju pojedinačnih sklopova radi izbegavanja međusobnih smetnji. 3D model ove pločice prikazan na slici 16.



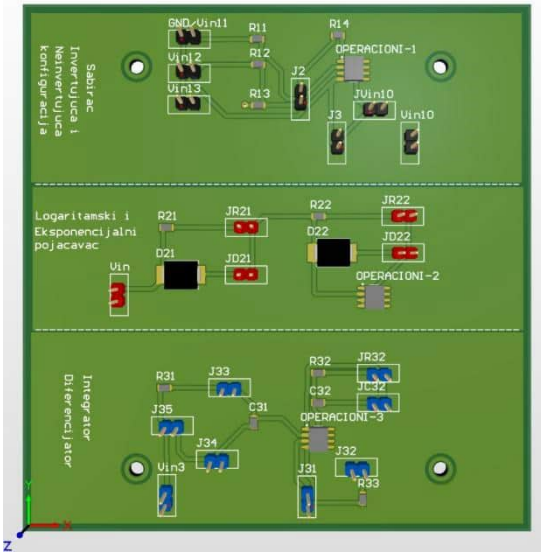
Slika 16. Šema pločice broj 1 u *Altium Designer*-u (2D).



Slika 17. 3D prikaz pločice broj 1 u *Altium Designer*-u.



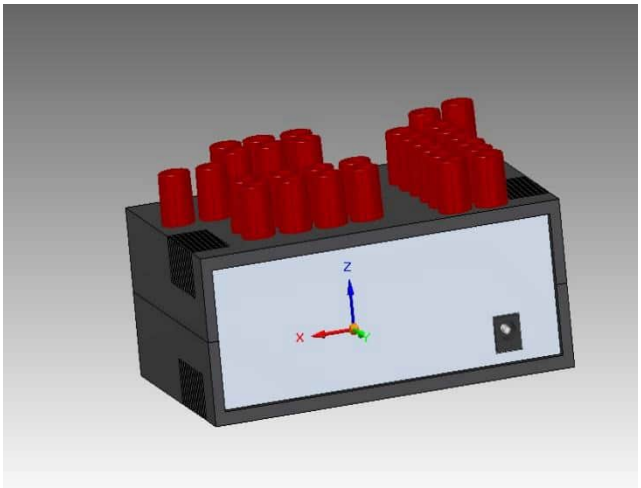
Slika 18. Šema pločice broj 2 u *Altium Designer*-u.



Slika 19. 3D prikaz pločice broj 2 u *Altium Designer*-u.

Prikaz realizacije pločice broj 2. čine slike u 2D i 3D prikazu, slike 18. i 19. Vide se 3 zasebne sobe, za 3 šeme. Kao i kod prethodne pločice sobe omogućavaju izolaciju pojedinačnih sklopova radi izbegavanja međusobnih smetnji.

Ove pločice je potrebno smestiti u kutiju. Na samoj kutiji se nalaze buksne u koje se postavljaju kratkospojnici. Svaka buksna je, unutar kutije, povezana sa određenim trnom na ploči. Na kutiji se pored buksni nalazi iscrtana šema ista kao u programu *Altium Designer,* takođe je jasno vidljiva i napomena da u jednom trenutku mogu biti povezani samo tačno određeni kratkospajači iz bezbednosnih razloga. Tako da jednostavnim postavljanjem kratkospajača biraju koju komponentu će povezati u određenoj grani. Kutija je dizajnirana u programu *Solid Edge* a slika kutije je data na slici 20.



Slika 20. Kutija realizovana u programu *Solid Edge.*

V. ZAKLJUČAK

Ovim projektom predstavljene su edukativne pločice koje omogućavaju praktičnu realizaciju osnovnih elektronskih kola, kao sto su kliperi, klamperi i operacioni pojačavači. Prednost upotrebe ovog rešenja jeste pojednostavljivanje povezivanja komponenti ali i ušteda vremena. Za kraće vreme moguće je realizovati veći broj konfiguracija. Nedostatak bi bio ako bi ovakve pločice zamenile tradicionalne vežbe u potpunosti. Jer je neophodno da studenti uče da praktično povezuju komponente sami i stiču veštine. Buduće unapređenje bi moglo da uključuje dodavanje drugih komponenti, smanjenje velicine pločice, uvođenje led dioda kao indikatora za signal ili struju u kolu. Takođe dobra ideja je pronaći manje buksne zbog boljeg izgleda same kutije.

ZAHVALNICA

Rad je realizovan kao deo projektnog zadatka iz predmeta Projektovanje štampanih ploča, na Katedri za mikroelektroniku. Autori se zahvaljuju profesoru Danijelu Dankoviću i profesoru Zoranu Prijiću na prenetom znanju i datim smernicama za izradu rada.

LITERATURA

[1] A. Prijić, “Poluprovodničke komponente”, Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/Poluprovodnicke-komponente-diode-2021.pdf, [Pristupljeno: 06-Sep-2024].

[2] N. Mitrović, D. Danković, Z. Prijić, “Laboratorijski praktikum sa zadacima za samostalni rad - Analogna mikroelektronika”, Edicija: Pomoćni udzbenici 2022.

[3] “Poluprovodničke komponente, Laboratorijske vežbe - Kola za odsecanje i postavljanje naponskog nivoa i regulaciju i umnožavanje napona”, Dostupno: POLUPROVODNICKE KOMPONENTE-Lab2, [Pristupljeno: 06-Sep-2024].

[4] D. Danković, “Projektovanje štampanih ploča - prateći materijal za predavanja i vežbe”, Dostupno: Microsoft Word - PROJEKTOVANJE STAMPANIH PLOCA 2017, [Pristupljeno: 06-Sep-2024].

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.157I
Original scientific paper

Detektor mobilne komunikacije

Nikola Ilić
Modul Elektronske komponente i mirkosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
nikkilic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Projektovati uređaj za detektovanje mobilne komunikacije, koji prima informacije o signalu sa RF antene. Signal sa antene se dovodi na invertujući ulaz operacionog pojačavača LM2902N radi pojačanja. Na izlazu pojačavača dobijeni signal se prosleđuje na bazu bipolarnog tranzistora BC548, koji služi za pojačavanje struje kroz tranzistor. Ovaj proces omogućava da se na kraju dobije odgovarajući svetlosni signal, što se manifestuje svetljenjem LE diode, čime se potvrđuje prisustvo.**

Ključne reči—detektor mobilnog uređaja, operacioni pojačavač, LED, bipolarni transistor.

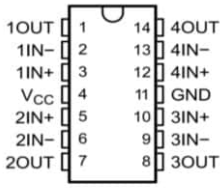
I. UVOD

U ovom radu biće predstavljeno projektovanje i realizacija uređaja za detekciju mobilnih komunikacija. Drugi deo sadrži opis komponenata koje su korišćene u izradi, među kojima su operacioni pojačavač, bipolaran tranzistor i LED. U trećem delu detaljno je objašnjen proces projektovanja električne šeme detektora, dok četvrti deo pokriva praktičnu realizaciju uređaja i rezultate merenja. Na kraju rada razmatrane su mogućnosti za unapređenje uređaja, uključujući poboljšanje tačnosti i smanjenje lažno detektovanih signala.

Mobilne komunikacije su tehnologije koje omogućavaju bežičnu razmenu podataka i glasa preko velikih razdaljina, koristeći radio-frekvencijske (*RF*) signale [1]. One su postale sastavni deo svakodnevnog života, sa širokom primenom u ličnim i poslovnim komunikacijama, kao i u sektorima bezbednosti, zdravstva i transporta. Zahvaljujući mobilnim komunikacijama, korisnici mogu da obavljaju telefonske pozive, razmenjuju poruke i pristupaju internetu u gotovo bilo kom trenutku i sa bilo koje lokacije. S obzirom na njihovu rasprostranjenost, postoji rastuća potreba za sistemima koji mogu da detektuju prisustvo mobilne komunikacije. Ovi sistemi su posebno korisni u osetljivim okruženjima, kao što su zatvori, škole, ispitni centri, bolnice i vladine institucije, gde je korišćenje mobilnih telefona zabranjeno ili može biti ometajuće. Takođe, oni su važni za zaštitu privatnosti i bezbednosti u prostorijama gde je zabranjeno snimanje ili odašiljanje podataka.Projektovanje detektora mobilne komunikacije omogućava nadzor nad aktivnostima mobilnih uređaja u određenom području. Ovaj uređaj funkcioniše tako što prihvata signale sa *RF* antene, pojačava ih, i na osnovu njihovog prisustva aktivira vizuelnu indikaciju putem svetlosnog signala. Na taj način, detektor omogućava pravovremenu reakciju na neovlašćeno korišćenje mobilnih telefona u kontrolisanim okruženjima [2].

II. KORIŠĆENE KOMPONENTE

Operacioni pojačavač (*Operational-amplifier*) [3] je višenamenska elektronska komponenta koja se koristi za pojačavanje razlike napona između dva ulaza. Njegova osnovna funkcija je pojačanje signala, ali zbog svoje visoke preciznosti, stabilnosti i fleksibilnosti, našao je široku primenu u različitim elektronskim i industrijskim aplikacijama. Naziv „operacioni" dolazi iz njegove prvobitne upotrebe u analognim računarima za izvođenje matematičkih operacija poput sabiranja, oduzimanja, integracije i diferencijacije.U osnovi, operacioni pojačavač ima dva ulaza – invertujći (-) i neinvertujući (+), kao i jedan izlaz. Pojačanje se postiže tako što pojačava razliku napona između ova dva ulaza i isporučuje taj signal na izlaz. Ključne karakteristike operacionog-pojačavača uključuju visoku ulaznu impedansu, nisko izlaznu impedansu i veliku pojačanje na izlazu.



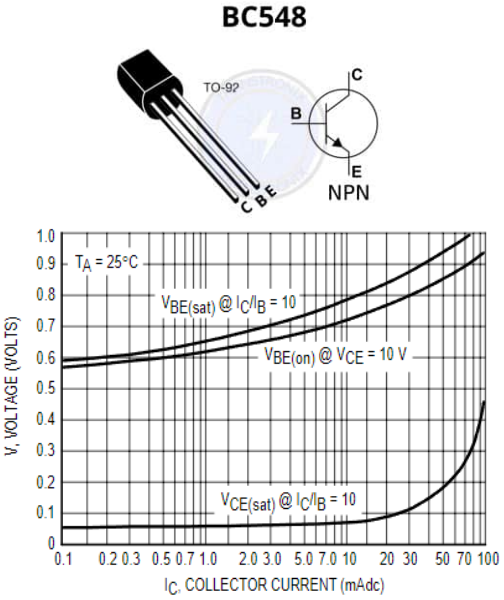
Slika 1. Primer operacionog pojačavača LM2902N [4].

Antena je elektronski uređaj koji se koristi za emitovanje ili prijem elektromagnetnih talasa, pretvarajući električne signale u radio talase i obrnuto. Antene su ključne komponente u komunikacionim sistemima jer omogućavaju bežični prenos informacija preko različitih frekvencijskih opsega, uključujući radio, televiziju, mobilnu telefoniju, *Wi-Fi* i satelitske komunikacije. Antene funkcionišu na principu elektromagnetne indukcije, gde električni signali stvaraju elektromagnetne talase koji se prenose kroz prostor, ili obrnuto, gde primljeni elektromagnetni talasi stvaraju električne signale u anteni [1].



Slika 2. Primer antene za mobilnu aplikaciju.

BC548 [5] je popularan niskosignalni NPN bipolaran tranzistor koji se koristi u različitim elektronskim aplikacijama, kao pojačavač signala i prekidač. Ovaj tranzistor je široko primenjen zbog svoje pouzdanosti, dostupnosti i jednostavnosti upotrebe. Karakteristike BC548 tranzistora uključuju maksimalnu struju kolektora (Ic) od 100 mA i maksimalni napon kolektor-emitor (Vce) od 30 V. Poseduje tri izvoda: bazu (B), kolektor (C) i emitor (E).

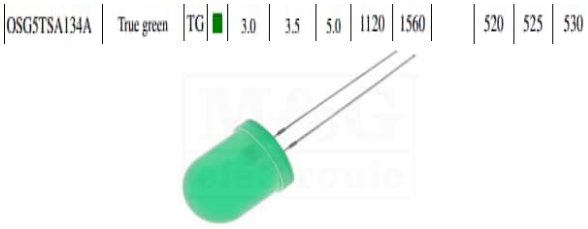


Slika 3 Bipolarni transistor iskorišćen u ovoj aplikaciji sa njegovim karakteristikama. [5].

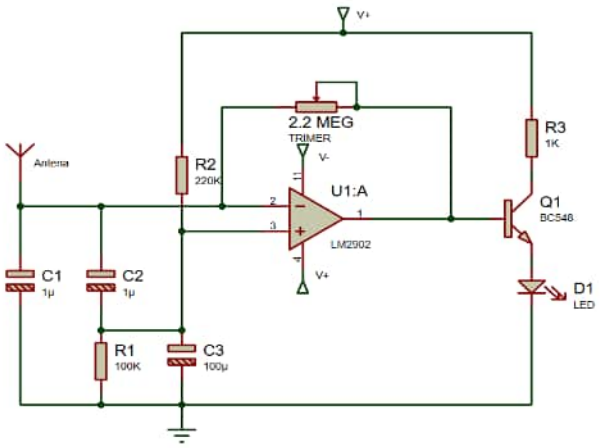
Zelena *LED (Light Emitting Diode)* [6] je vrsta svetleće diode koja emituje svetlost u zelenom spektru. zelena *LED* funkcioniše na principu elektroluminiscencije. Zelene *LED* diode su veoma energetski efikasne, imaju dug radni vek i često se koriste u raznim primenama, uključujući indikatore statusa, displeje, signalizaciju i osvetljenje. Njihova svetlost je oštra i jasno vidljiva čak i pri dnevnom svetlu, što ih čini pogodnim za razne tehničke i industrijske primene. Takođe su često deo *RGB* dioda, gde, zajedno sa crvenom i plavom diodom, omogućavaju dobijanje širokog spektra boja.

III. Projektovanje električne šeme detektora

Komponente koje su upotrebljene u realizaciji ovog uređaja su antena koja sakuplja *RF* signal iz okoline. Dati singal se preko dva kondenzatora od 1 µF koji služe za eliminaciju *DC* komponente signala i propuštaju *AC* komponentu *RF* signala. Otpornik R_1 od 100 kΩ zajedno sa kondenzatorom od 100 µF imaju ulogu da oblikuju signal koji stiže na operacioni pojačavač, tako što filtriraju šum i propuštaju niske frekvencije. Na operacionom pojačavaču LM2902N iskorišćena su oba ulaza, neinvertujući kraj je preko kondenzatora od 100 µF i otpornika od 100 kΩ povezan za masu. Preko otpornika R_2 od 220 kΩ zajedno sa otpornikom R_1 daje referentni napon, i tako omogućava da napon na neinvertujućem kraju bude stabilan. Na invertujućem kraju operacionog pojačavača dovodi se *RF* signal sa antene, u ovom slučaju antena ima vrlo malu otpornost od nekoliko Ω do nekoliko desetine Ω, zajedno sa trimerom/potenciometrom u povratnoj sprezi gradi invertujuću konfiguraciju. Uloga trimera/potenciometra sa vrednošću od 2,2 MΩ u ovom uređaju jeste da sa promenom vrednosti trimera/potenciometra dolazi do promene i pojačanja signala na izlazu. Signal na izlazu je invertovan i pojačan. Dalje se taj signal sa izlaza operaciong pojačavača vodi na BC548 (Bipolarni tranzistor), koji dodatno pojačava signal i u ulozi je prekidača. Prilikom detektovanja *GSM* signala ili mobilnog uređaja uključuje/isključuje *LE* diodu. Kao rezultat simulacije ovog uređaja sinusoidni signal na ulazu simulira signal koji antena dobije prilikom detektovanja mobilnog uređaja, dok signal V_{out} u V simulira izlaz na operacionom pojačavaču uključuje/isključuje BC548 i time kontroliše zelenu *LE* diodu, rezultati simulacije su zadovoljavajući i procesuiraju ono što uređaj treba da radi.



Slika 4. Zelena LE diode sa karakteristikama [7].

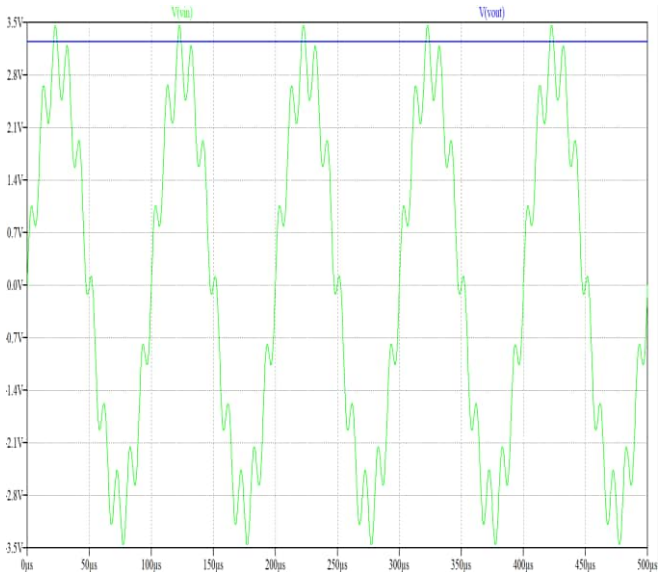


Slika 5. Simulacija uređaja u Proteus okruženju [8].

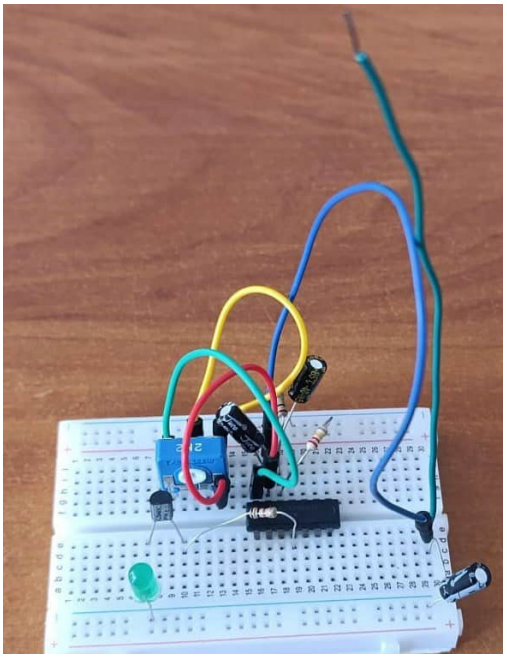
Nakon zadovoljavajućih rezultata simulacije koja je realizovana u softverskom okruženju *LTspice,* uređaj je realizovan i u laboratoriji [9].

IV. Praktična realizacija

Priklikom realizacije uređaja u laboratoriji su iskorišćena pored komponenata za realizaciju uređaja, još i dva izvora jednosmernog napajanja i četvorokanalni osciloskop RIGOL DS1000Z [10] kako bi uočili promene na ulazu i izlazu ovog uređaja. Na slici 7.0 dat je prikaz uređaja realizovanog fizički u laboratoriji.



Slika 6. Plavom bojom je označen izlazni napon, dok je zelenom bojom označen napon na ulazu.

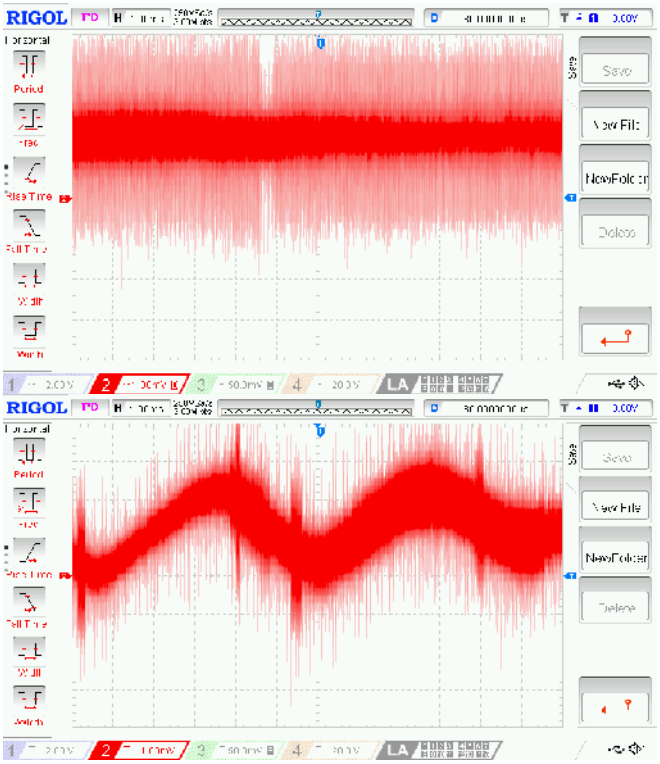


Slika 7. Praktična relizacija u laboratoriji.

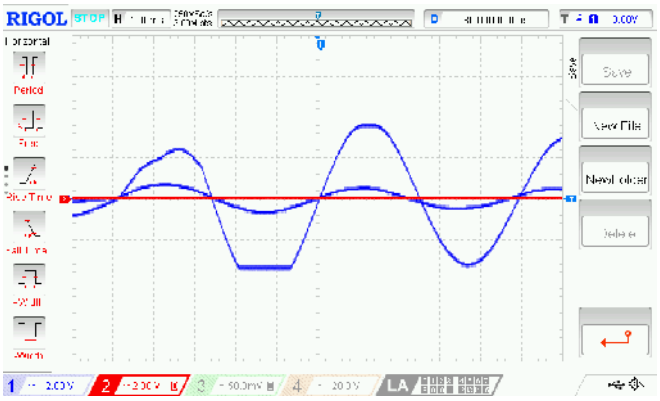
U prvom slučaju prikazanom na slici 8. crvenom bojom je označen signal sa ulaza, kada mobilni uređaj nije detektovan, tada je na osciloskopu ravna linija, međutim kada je uređaj detektovan na osciloskopu se vidi sinusoida. Ovo merenje je izvršeno na x10 uvećanju, jer je amplituda ulaznog signala vrlo mala.

Dok sa izlaza je očitano na x1, to je prikazano na slici 9 gde je crvenom bojom označen ulazni signal sa antene, kao što je već rečeno on je vrlo male amplitude tako da je na x1 praktično neuočljiv, dok je plavom bojom prikazan izlazni signal na operacionom pojačavaču i pri tom je *LE* dioda aktivirana tj. svetli.

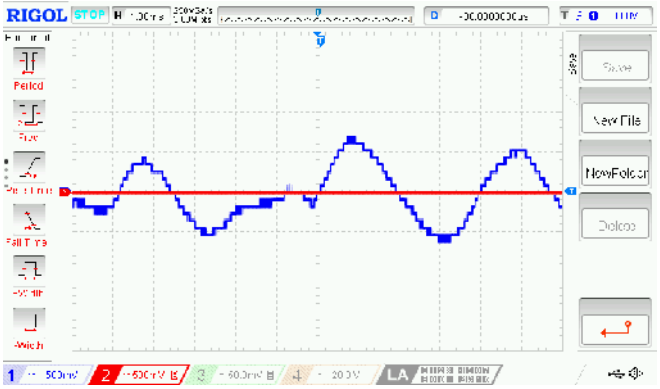
Na sledećoj slici 10 je prikazan slučaj kada se trimer/potenciometar nalazi na polovini. Tada je signal na izlazu operacionog pojačavača na polovini vrednosti one koje detektuje kada je u krajenjem levom položaju.



Slika 8. Signal koji se dobija sa antene kada je položaj trimera/potenciometra u krajnjem levom položaju.



Slika 9. Signal na izalzu kada je detektovano prisustvo uređaja i kada se uključila LE dioda.

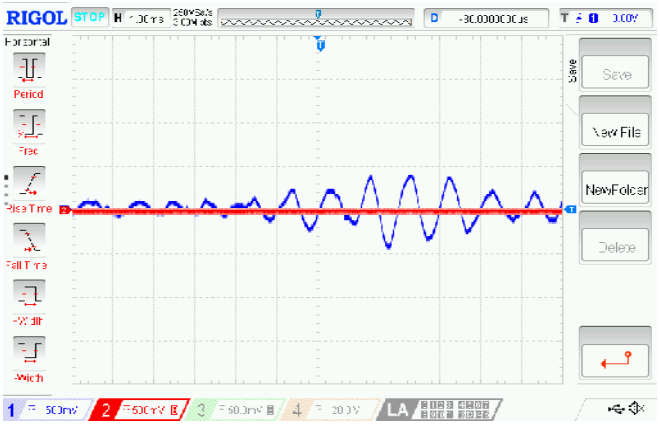


Slika 10. Pojačanje na izlazu operacionog pojačavača kada je položaj trimera/potenciometra na polovini.

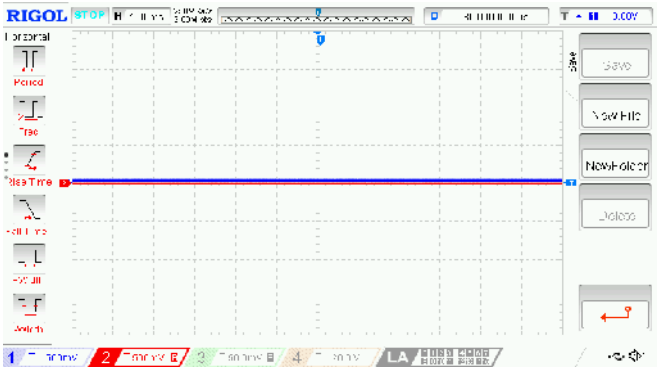
Kada se trimer/potenciometar nalazi u desnom položaju koji je manji od polovine pojačani signal sa ulaza je

nedovoljno velike amplitude kako bi se aktivirao BC548, a samim tim, kroz *LE* diodu ne protiče struja, tako da nema vizuelnog signala, da je mobilni uređaj prisutan, to se može videti na slici 11.

Dok se na slici 12 trimer/potenciometar, nalazi u krajnjem desnom položaju, tada je otpornost u povratnoj sprezi jednaka nuli. U tom slučaju nema pojačanja signala, i izlazni signal je jednak nuli.



Slika 11. Singla na osciloskopu kada signal na ulazu nije dovoljno pojačan kako bi se uključila zelena LE doda.



Slika 12. Trenutak kada antena ne detektuje uređaj.

V. Mogućnost unapređivanja uređaja

U uređaju koji je fizički realizovao korišćena je obična bakarna žica koja se ponaša kao antena, radi boljeg i preciznijeg detektovanja može se koristiti bolja antena. Sledeći predlog za unapređenje jeste korišćenje mikro-strip umesto diskretne izrade *RF*-filtra, takođe se podrazumeva da se ovaj uređaj izradi na *PCB*-u, modifikacija u uređaju može biti i da se umesto *LE* diode koristi mikrokontroler koji će detektovati signal sa operaciong pojačavača i zatim signilitzirati i ispisati odgovarajuću poruku na *LED display*. Još jedna od modifikacija je da umesto *LE* diode se stavi zujalica koja će dati odgovarajući zvučni signal kada se detektuje mobilni uređaj.

VI. Zaključak

Na osnovu zadovoljavajućih rezultata dobijenih analizom osciloskopa i ispravnog rada uređaja, možemo zaključiti da je zadatak uspešno realizovan. Sistem je dokazao svoju efikasnost u detekciji mobilnih uređaja, ali postoje mogućnosti za dalja poboljšanja, kao što je unapređenje tačnosti i smanjenje lažnih signala. Potencijalne nadogradnje uključuju optimizaciju detektora za različite vrste okruženja i uređaja. Ovaj uređaj ima široku praktičnu primenu, posebno u sigurnosnim zonama kao što su škole, fakulteti, i državne ustanove, gde je kontrola prisustva mobilnih uređaja od suštinskog značaja. Dalji rad na projektu mogao bi doprineti većoj sigurnosti i pouzdanosti u ovakvim okruženjima

Zahvalnica

Ovim putem bih se zahvalio asistentu Nikoli Mitroviću na ukazanoj pomoći pri izradi ovog rada.

Literatura

[1] D. Danković, „Laboratorijski praktikum sa zadacima za samostalni rad iz predmeta Komponente za telekomunikacije“, Elektronski fakukultet u Nišu, 2021.

[2] B. Razavi, „RF Microelectronics“, PRENTICE HALL, New York, 2011.

[3] Z. Prijić, D. Danković, N. Mitrović, „Laboratorijski pratikum sa zadacima za samostalni rad iz predmeta Analogna mikroelektronika“, Elektronski fakultet u Nišu, 2022.

[4] Tehnička specifikacija za LM2902. Dostupno na: https: //www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=6399.

[5] Tehnička specifikacija za BC548. Dostupno na: https://www.onsemi. com/download/data-sheet/pdf/bc550-d.pdf.

[6] A. Prijić, Z. Prijić, D. Danković, „Uvod u poluprovodničke kompone nt e i njihovu primenu, drugo“, izmenjeno i dopunjeno elektronsko izdanje, Elektronski fakultet u Nišu, 2020.

[7] Tehnička specifikacija za OSG5TSA134A. Dostupno na: https://www.mgelectronic.rs/ProductFilesDownload?Id=6251.

[8] Okruženje Proteus, dostupno na: https://www.labcenter.com.

[9] Okruženje Ltspice, dostupno na: https://www.analog.com/en/ resourc es/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html.

[10] Tehnička specifikacija za RIGOL DS1000Z. Dostupna na: https://int.rigol.com/Images/DS1000ZDataSheetEN_tcm7-3026_tcm7-3026.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.161N
Original scientific paper

Samonapajajući IoT sistem za praćenje popunjenosti kontejnera za smeće

Ivana Nedeljković
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
ivananedeljkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu opisuje se samonapajajući IoT sistem za praćenje popunjenosti kontejnera za smeće. Osnovna svrha ovog sistema je omogućavanje automatizovanog praćenja nivoa otpada u kontejnerima uz minimalno održavanje i korišćenje obnovljivih izvora energije. Cilj ovog projekta je da se razvije i implementira IoT sistem za praćenje popunjenosti kontejnera za smeće, koji se napaja iz dva izvora energije – fotonaponskog panela i generatora pokretanog energijom korisnika.**

Ključne reči*—*Internet of things, Energy harvesting, ESP32-cam.

I. UVOD

U urbanim sredinama, efikasno upravljanje otpadom je veliki izazov zbog sve veće količine smeća i potrebe za pametnijim iskorišćavanjem postojećih resursa. Iako se ne popunjavaju svi kontejneri istom brzinom, zbog različitih potreba, tradicionalni sistemi za prikupljanje otpada najčešće prikupljaju otpad po fiksnom rasporedu. Na ovaj način stvaraju se nepotrebni troškovi prilikom odvoženja kontejnera koji nisu u potpunosti puni, ali i zagađenje životne sredine usled povećane emisije ugljen-dioksida.

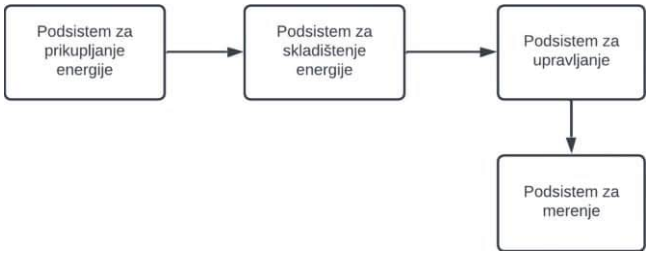
Ukoliko bi postojala informacija koji kontejneri su popunjeni do kraja a koji još uvek nisu, stvorila bi se mogućnost za pravljenje rute za izbacivanje otpada. Ideja je da se u kontejnere ubaci sistem koji meri koliko su popunjeni i te podatke šalje na internet. Moguće je razviti aplikaciju koja na osnovu popunjenosti kontejnera kreira rutu za odvoz otpada. Ovim principom je moguće optimizovati rutu prikupljanja otpada, smanjujući troškove goriva, radnu snagu ali i emisiju štetnih gasova. Takođe, samonapajajući sistemi, koji koriste energiju iz obnovljivih izvora kao što su fotonaponski paneli i generatori koji energiju generišu pokretom, dodatno doprinose smanjenju ekološkog otiska i poboljšanju održivosti ovog rešenja.

II. PRINCIP RADA

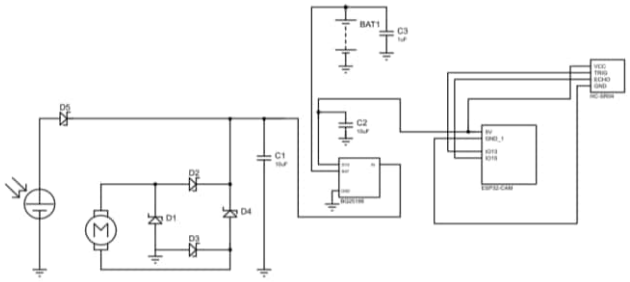
A. Šema sistema

Sistem se sastoji od četiri podsistema i to: podsistem za upravljanje, podsistem za merenje, podsistem za prikupljanje energije i podsistem za skladištenje energije. Šema podsistema data je na slici 1.

Podsistem za upravljanje se sastoji od modula *ESP32-cam* na kom se povezuje ultrazvučni senzor *HC-SR04,* ovaj senzor je glavna komponenta podsistema za merenje. Ultrazvučni senzor meri dubinu kontejnera odnosno meri popunjenost kontejnera. Podaci se postavljaju na internet pomoću protokola *MQTT*. Podsistem za prikupljanje energije je odgovoran za napajanje celog ovog sistema koji koristi *dual supply* odnosno napaja se iz dva izvora. Sistem se napaja pomoću fotonaponskog panela i generatora koji energiju koju potroši korisnik dok se otvara kontejner pretvara u napon. Podsistem za skladištenje energije ima funkciju da skladišti energiju koju sistem generiše iz izvora. Na slici 2. data je električna šema celog sistema.



Slika 1. Blok šema sistema.



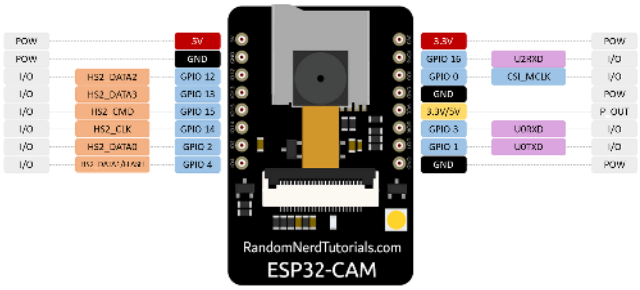
Slika 2. Električna šema realizovana u softverskom alatu Proteus.

B. Podsistem za upravljanje

Glavni element podsistema za upravljanje je modul *ESP32-cam. ESP32-cam* je razvojna ploča koja integriše *ESP32-S* čip, *OV2640* kameru, slot za *microSD* karticu i nekoliko *GPIO* (*General Purpose Input/Output*) pinova za povezivanje različitih perifernih uređaja [1].

Centralni deo *ESP32-cam* čini *ESP32-S* čip koji sadrži dvojezgarni (engl. *dual-core)* procesor sa ugrađenim *Wi-Fi* i *Bluetooth* modulima, što čini ovu razvojnu ploču idealnom za upotrebu u *IoT* sistemima. *OV2640* kamera omogućava

snimanje slika i video zapisa zadovoljavajuće rezolucije. *MicroSD* kartica je još jedan deo razvojne ploče *ESP32-cam* koja proširuje mogućnosti za skladištenje podataka, naročito kada su slike i video zapisi u pitanju. GPIO pinovi omogućavaju povezivanje dodatnih senzora, releja, LE dioda i drugih perifernih uređaja.



Slika 3. Raspored pinova na razvojnoj ploči ESP32-cam [1].

ESP32-cam podržava dva glavna režima uštede energije: *Light-sleep* i *Deep-sleep*, uz podređene režime spavanja koji zavise od aplikacije. Postoje i opcije isključivanja napajanja uz dodatno smanjenje potrošnje energije. Čip se može probuditi iz režima spavanja putem različitih izvora buđenja, koji se mogu kombinovati.

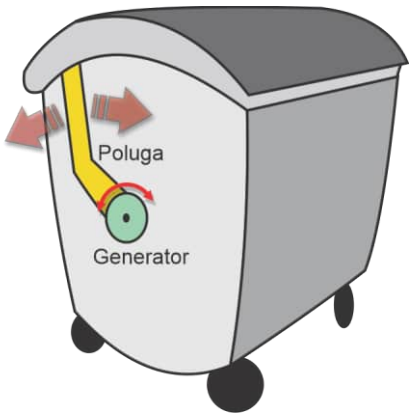
C. *Podsistem za merenje*

Osnovna funkcija je merenje dubine i popunjenosti kontejnera korišćenjem ultrazvučnog senzora *HC-SR04* [2]. Ovaj senzor emituje ultrazvučne talase, koji se odbijaju od površine otpada, a meri se vreme potrebno da se talasi vrate nazad. Zatim matematičkim formulama određuje rastojanje, i skaliranjem izračunava se popunjenost kontejnera. Na osnovu podataka o popunjenosti kontejnera donose se odluke o tome kada je potrebno isprazniti kontejner i šalju se obaveštenja na server.

D. *Podsistem za prikupljanje energije*

Fotonaponski panel prikuplja solarnu energiju, što je korisno u dnevnim uslovima kada je dostupna dovoljna količina svetlosti. Nakon fotonaponskog panela nalazi se šotki dioda koja ima ulogu da spreči povratak struje iz kola prema fotonaponskoj ćeliji, kako bi se fotonaponska ćelija zaštitila.

Drugi izvor energije je generator, koji se aktivira kada se kontejner otvara. Pozicioniranje generatora u kontejner se može videti na slici 4.



Slika 4. Pozicioniranje generatora u kontejner.

Ovaj generator pretvara mehaničku energiju korisnika u električnu energiju, čime se dopunjuje sistem kada je potrebna dodatna energija za rad sistema. Prilikom otvaranja kontejnera, sistem sa polugom, koji je jednim krajem pričvršćen za pokolopac a drugim krajem za generator, se pokreće i izaziva okretanje generatora što proizvodi električnu energiju.

Diodni most nakon motora sa reduktorom koji se u ovom sistemu koristi kao generator stavljen je kako bi se osiguralo da se energija prikuplja tokom oba procesa odnosno i kada se kontejner otvara i kada se zatvara. Bez obzira na smer kretanja napon je uvek pozitivan. Nakon diodnog mosta postavlja se kondenzator od 10 µF. Kondenzator C1 služi za filtriranje i stabilizaciju napona. Pomaže da se smanje šumovi i fluktacije napona koje dolaze od izvora napajanja. Eliminiše kratkotrajne smetnje.

Šotki diode imaju manji pad napona (oko 0.2 V) u poređenju sa standardnim silicijumskim diodama koje imaju pad napona od 0.6 V. Manji pad napona je glavni razlog zašto su upotrebljene šotki diode.

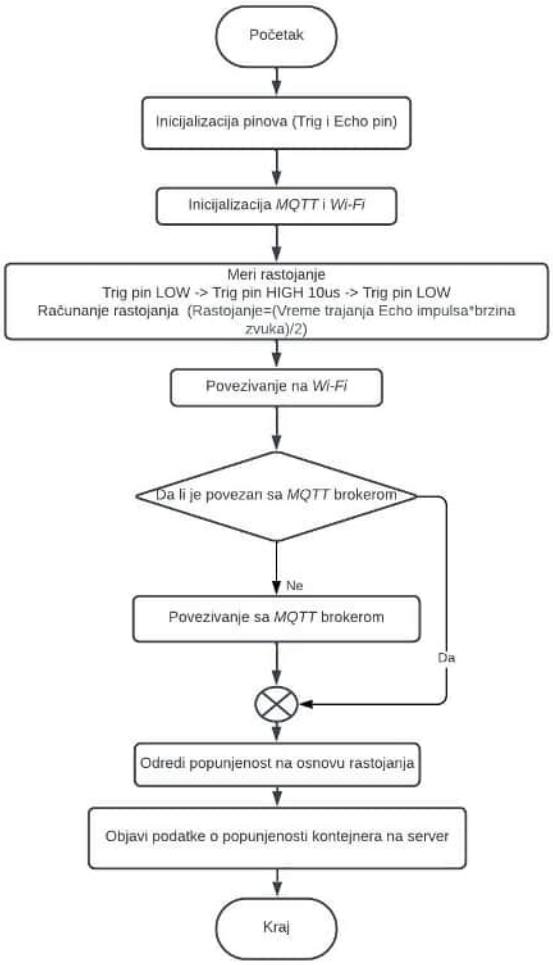
E. *Podsistem za skladištenje energije*

Podsistem za skladištenje energije ima funkciju da skladišti energiju koju sistem generiše iz izvora, obezbeđuje stabilno napajanje sistema i energetsku efikasnost sistema. Za punjenje baterije upotrebljeno je kolo *BQ25186* [3]. *BQ25186* je integrisano kolo dizajnirano za punjenje litijum jonskih baterija u niskonaponskim prenosivim uređajima. Omogućava istovremeno napajanje sistema preko *SYS* pina i punjnje baterija. Ima 10 pina. *SYS* pin je izlazni pin i obezbeđuje napajanje sistema iz baterije ili ulaznog napajanja. *IN* pin je ulazni pin za spoljno napajnje, koristi se za punjenje baterija. *BAT* pin je direktno vezan za bateriju. *GND* pin je povezan sa masom sistema. Ostali pinovi */PG/GPO, -CE, TS/MR, SCL* i *SDA* su pinovi za indikaciju, komunikaciju i kontrolu.Kada sistem prikuplja energiju *BQ25186* puni bateriju kontrolisanjem napona i struje. Istovremeno sistem može da se napaja preko *SYS* pina stabilnim naponom. Kada nema spoljnog napajnja, baterija napaja sistem.

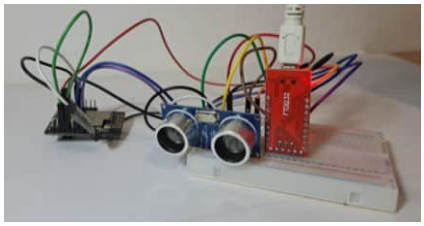
III. Praktična realizacija

Na slici 5. prikazan je algoritam sistema. Algoritam započinje inicijalizacijom svih potrebnih pinova. Prvi korak je pravilna postavka ultrazvučnog senzora *HC-SR04,* i to se *TRIG* pin inicijalizuje kao izlazni pin, a *ECHO* kao ulazni. Drugi korak jeste inicijalizacija *Wi-Fi* konekcije i *MQTT* konekcije. Najvažniji deo je merenje rastojanja i određivanje popunjenosti kontejnera. *TRIG* pin se na kratko postavlja na niski naponski nivo, zatim na visoki nivo od 10 milisekundi i potom ponovo na nizak nivo. *ECHO* pin zatim meri vreme koje je potrebno da se talas odbije od površine otpada i vrati nazad do senzora. Računa se rastojanje pomoću formule. Kasnije se ovo rastojanje koristi da bi se odredila trenutna popunjenost kontejnera. Što je manja udaljenost kontejner je popunjeniji. Uređaj se povezuje na lokalnu *Wi-Fi* mrežu koristeći prethodno definisane parametre *SSID* i lozinku. Ovo omogućava uređaju pristup internetu, što je neophodno za dalju komunikaciju sa *MQTT* brokerom, preko koga će se prenositi podaci. Nakon uspešne konekcije na internet, prelazi se na povezivanje sa brokerom. U ovoj fazi uređaj

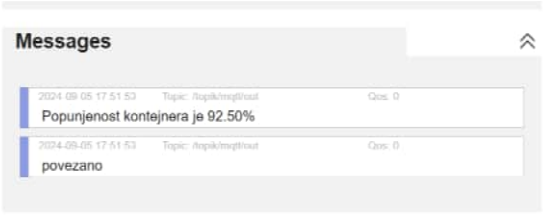
pokušava da se poveže sa brokerom, što je centralna tačka za prikupljanje i prosleđivanje podataka. Ako nije povezan sa brokerom uređaj pokušava povezivanje dok veza ne bude uspostavljena. Nakon što se izračuna popunjenost potrebno je da se podaci postave na server. Podaci se šalju preko *WiFi* mreže na server gde se mogu analizirati i prikazivati u aplikaciji za nadgledanje.



Slika 5. Algoritam.



Slika 6. Praktična realizacija podsistema za merenje.



Slika 7. Prikaz poslatih podataka na server.

Na slici 6. je prikazana praktična realizacija podsistema za merenje. A na slici 7. podaci o popunjenosti koji su poslati na server korišćenjem *MQTT* protokola. Korišćen je javno dostupni *MQTT* broker - *HiveMQ*.

IV. Optimizacija rešenja

Optimizacija je moguća na više načina. Jedna ideja jeste da se merenje vrši u dva slučaja. Prvi slučaj kada je potrebno vršiti merenje je kada se detektuje zatvaranje kontejnera, tako će se svaki put kada neko stavi otpad u kontejner sistem izmeriti i poslati podatke. Drugi slučaj je jednom u toku dana, ovo se vrši da bi bilo moguće detektovati kvar u sistemu. Ako tokom dana ni jednom nisu poslati podaci server će detektovati da sistem ne radi ispravno. Sistem je u režimu za spavanje sve vreme i troši minimalno energije. Sistem se aktivitra kada se detektuje zatvaranje kontejnera ili tajmerskim prekidom jednom dnevno, sve preostalo vreme sistem je u režimu za spavanje (*sleep mode*) i troši minimalno energije.

Druga ideja je da se podaci ne šalju na server prilikom svakog merenja, već samo ukoliko je popunjenost kontejnera više od 80%. Ovako se dodatno štedi energija koju sistem koristi za povezivanje na internet i povezivanje na *MQTT* broker, i samo slanje podataka.

Takođe u cilju smanjenja potrošnje energije može se koristi drugi senzor za merenje rastojanja koji radi na nižem naponu i troši manje energije. Jedan primer takvog senzora je *LV-MaxSonar-EZ0* [4].

V. Zaključak

Da bi se ovaj sistem efikasno koristio u praksi, neophodno je razviti sveobuhvatnu aplikaciju koja bi omogućila praćenje popunjenosti kontejnera u celom gradu ili određenim gradskim zonama. Ova aplikacija bi pružala uvid u stanje svih kontejnera. Na osnovu prikupljenih podataka, aplikacija bi primennjivala optimizacione algoritme kako bi izračunala najoptimalnije rute za vozila za odvoz otpada, čime bi se smanjili troškovi i emisija štetnih gasova.

Pažljiv izbor odgovarajućeg fotonaponskog panela je važan za efikasnost sistema. Integracija kvalitetnog panela bi osigurala stalan dotok energije iz obnovljivih izvora.

Zahvalnica

Rad je realizovan kao deo završnog rada na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi. Autor se zahvaljuje mentoru prof. dr Ljubomiru Vračaru na prenesenom znanju i pomoći.

Literatura

[1] "ESP32-cam AI-Thinker Pinout Guide: GPIOs Usage Explained", Dostupno: https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-ai-thinker-pinout/, [Pristupljeno: 25-Avg-2024].

[2] "HC-SR04 Ultrasonic Sensor", Dostupno: HC-SR04 Ultrasonic Sensor Working, Pinout, Features & Datasheet (components101.com), [Pristupljeno: 03-Sep-2024].

[3] „BQ25186 1-Cell, 1-A I²C Linear Battery Charger with Power Path, Ship Mode, Shutdown Mode, and Battery Tracking VINDPM",Dostupno: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq25186.pdf?ts=1725342731859&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FBQ25186, [Pristupljeno: 03-Sep-2024].

[4] „LV-MaxSonar-EZ Series Datasheet", Dostupno: https://maxbotix.com/pages/lv-maxsonar-ez-datasheet?srsltid=AfmBOopGa0IY8uBoTAoWjNQGAyepU1AM_0CvcfFgvlgDEBKBlsF0plRy , [Pristupljeno: 3-Sep-2024].

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.165G
Original scientific paper

Projektovanje signal generatora u programu *Altium Designer*

Milan Grčić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milan.grcic@elfak.rs
ORCID: N/A

Kristina Mišić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
kristina.misic@elfak.rs
ORCID: N/A

Vuk Zlatković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
vuk.zlatković@elfak.rs
ORCID: N/A

Dimitrije Marinković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dimitrije.m@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom radu biće prikazan postupak projektovanja signal generatora pomoću *Altium Designer*-a. Za ovaj projekat korišćena su integrisana kola: LM2902 [6] (Integrisano kolo sa četiri operaciona pojačavača), LM317T [7] (Regulator pozitivnog napona) i LM337 [8] (Regulator negativnog napona). Projektovani signal generator generiše pravougaoni, trougaoni i sinusni signal.**

Ključne reči—generator, oscilator, komparator

I. UVOD

Signal generator (slika 1) je elektronski uređaj koji služi za generisanje električnih signala određene frekvencije, amplitude i oblika. Koriste se u različitim aplikacijama:

- Testiranju i razvoju elektronike
- Telekomunikacijama
- Laboratorijskim istraživanjima
- Medicinskoj opremi
- Obrazovanju
- Popravci električnih uređaja

Signal generator se koristi za simulaciju signala [1] prilikom testiranja i verifikacije performansi elektronskih uređaja. U naučnim istraživanjima, signal generatori pomažu u proučavanju odgovora sistema na različite frekvencije i oblike signala. U dijagnostičkim uređajima, signal generatori pomažu u simulaciji bioloških signala. U školama i univerzitetima, koriste se za demonstracije i eksperimente. Za projektovanje signal generatora korišćen je *Altium Designer* [2]. Ovaj Softverski alat obezbeđuje integrisanu platformu prilagođenu korisniku koja uključuje sve, od šema i rasporeda komponenata do simulacije i analize.



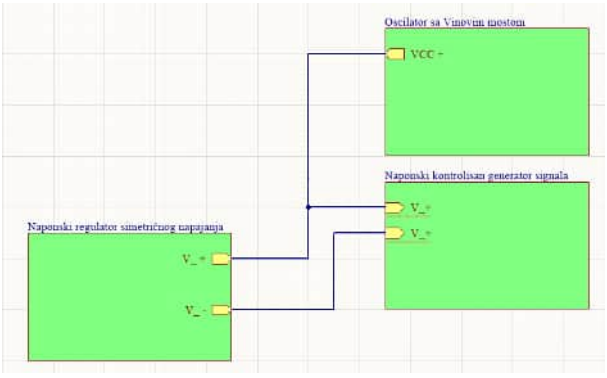
Slika 1. Signal generator.

II. PRINCIP RADA

Projektovani signal generator se sastoji od sledećih blokova (slika 2):

- Naponski regulator simetričnog napajanja
- Naponski kontrolisani generator signala
- Oscilator sa Vinovim mostom.

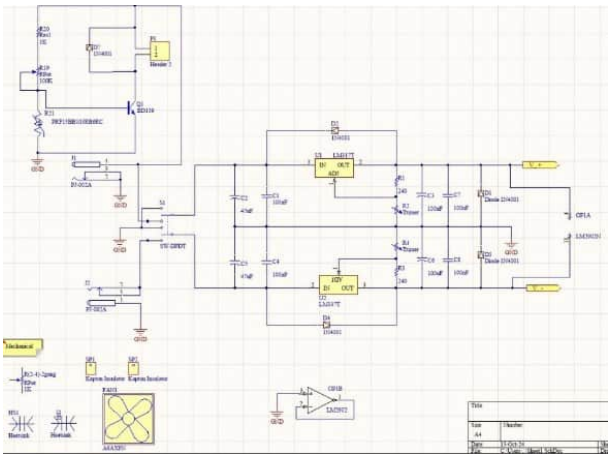
Najpre su izrađene električne šeme svakog bloka.



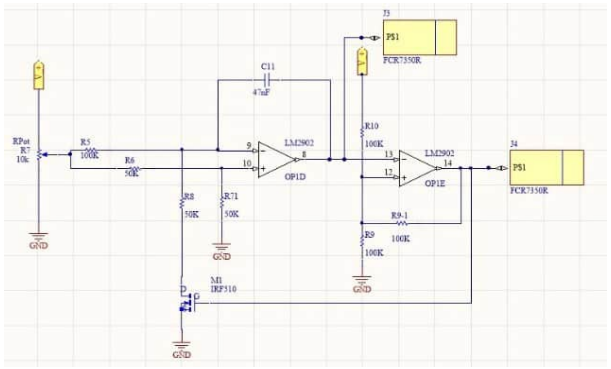
Slika 2. Blokovi signal generatora.

A. *Naponski regulator simetričnog napajanja*

Naponski regulator simetričnog napajanja (slika 3) omogućava regulisanje napona. Za regulisanje pozitivnog napona se koristi integrisano kolo LM317T, a za regulisanje negativnog napona koristi se LM337. U okviru ovog bloka nalaze se filtarski kondenzatori (C_1 i C_7) koji služe za eleminisanje šumova. Kondenzatori C_2 i C_3 su elektrolitski kondenzatori i služe za eliminisanje fluktuacija mrežnog napona. Diode D_1 i D_3 imaju zaštitnu ulogu, one su vezane između V+ i mase i V- i mase respektivno (slika 3) i štite regulatore napona od inverzne polarizacije koja može doći iz generatorskih celina signal generatora. Regulator LM337T između pina OUT i ADJ generiše referentni napon Vref. Njegova tipična vrednost je 1.25 V. Izlazni napon zavisi od referentnog napona, otpornika R_1 i R_2. Otpornici R_2 i R_4 su stereo potenciometri.



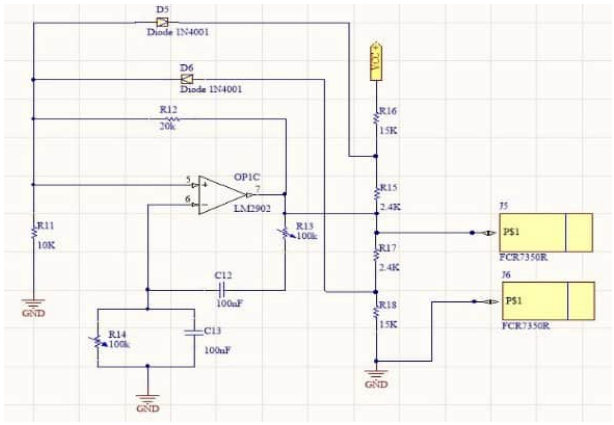
Slika 3. Naponski regulator simetričnog napajanja.



Slika 4. Naponski kontrolisan generator signala.

B. *Naponski kontrolisan generator signala*

Naponski kontrolisan generator signala (slika 4) koristi se za generisanje pravougaonog i trougaonog signala. U okviru ovog bloka nalazi se integrator, Šmitovo kolo i tranzistor M_1. Na izlaz integratora generiše se trougaoni signal. Dovođenjem pozitivnog napona preko otpornika R_5 od 100 kΩ, na invertujući ulaz operacionog pojačavača OP1D, puni kondenzator C_{11}. Na izlazu operacionog pojačavača OP1D se generiše padajuća ivica trougaonog signala. U tom slučaju se tranzistor M_1 ponaša kao zatvoreni prekidač. U narednom slučaju se kondenzator C_{11} prazni, tranzistor M_1 se ponaša kao otvoreni prekidač i na izlazu se generiše rastuća ivica trougaonog signala. Generisani trougaoni signal se dovodi na invertujući ulaz Šmitovog kola. U zavisnosti od napona na ulazu, na izlazu možemo imati napone zasićenja operacionog pojačavača V_{sat}+ ili V_{sat}-. Do promene stanja na izlazu dolazi kad se izjednači napon na invertujućem i neinvertujućem ulazu operacionog pojačavača OP1E i na taj način se obrazuje pravougaoni signal. Učestanost oscilacija se kontroliše ulaznim naponom..



Slika 5. Oscilator sa Vinovim mostom.

C. *Oscilator sa Vinovim mostom*

Oscilator sa Vinovim mostom (slika 5) se koristi za generisanje sinusnog signala. Oscilacije nastaju odmah nakon dovođenja napona. Kolo oscilatora sadrži pozitivnu i negativnu povratnu spregu. Da bi ovaj oscilator radio ispravno, prema definiciji, pojačanje (AB) treba da bude 1, a odnos otpornosti 2 (1). Time je ispunjen Barkhauzenov uslov oscilovanja.

$$\frac{R_2}{R_1} = 2 \qquad (1)$$

Pojačanje može da ima dve različite vrednosti:

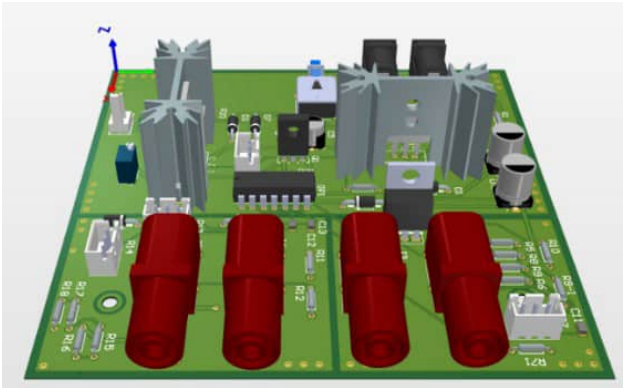
- Manju od 1, kada preovlađuje negativna povratna sprega koja će težiti da umanji amplitudu izlaznog signala.
- Veću od 1, kada dominira pozitivna povratna sprega koja će težiti da poveća amplitudu do napona zasićenja operacionong pojačavača.

Zbog toga je potrebno kontrolisati amplitudu, što se postiže dodavanjem trimera.

III. PROCES REALIZACIJE *PCB*-A U PROGRAMU *ALTIUM DESINGER*

Nakon crtanja električnih šema, uvezen je *PCB* (štampana ploča) u program *Altium Designer*. Dimenzije štampane ploče su 110 mm x 106 mm. Izbušeno je četiri rupe za fiksiranje kućišta. Potom se prelazi sa električnih šema na štampanu ploču. Svaka od komponenti ima 3D model, otisak i simbol. Kako bi se realizovao projekat, bilo je neophodno ubaciti dodatne simbole, otiske i 3D modele, kojih nema u standardnim bibliotekama. Zatim je bilo potrebno okvirno rasporediti komponente na štampanoj ploči (slika 6) tako da se poštuju pravila pri projektovanju. Takođe je bilo potrebno da se komponente nađu u okviru odvarajućeg *room*-a i da budu dovoljno razdvojene radi cirkulacije vazduha.

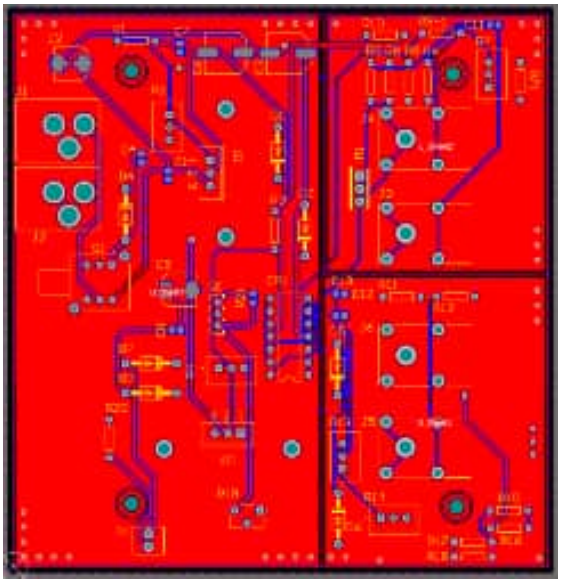
U sledećem procesnom koraku izvršeno je povezivanje komponenata u električnom smislu, tzv. *routing*. Korišćena je opcija auto routing (slika 7). U principu, bolje je da sve linije budu što šire, ako ima mesta na štampanoj ploči, ali to nije uvek moguće. Zbog toga je definisana klasa linija koje treba da budu deblje. U ovom slučaju su to linije za napajanje.



Slika 6. Štampana ploča sa okvirno raspoređenim komponentama.

Nakon rutiranja izvršeno je razlivanje mase. To se radi iz više razloga, a osnovni motiv je da se smanji električni šum, minimuzuju neželjene petlje koje mogu biti ostvarene preko zajedničke mase (*ground loops*) i preslušavanje između pojedinih veza na štampanoj ploči. Ovo naročito ima veliku važnost pri visokim učestanostima. Naime, na visokim učestanostima (ako dve linije idu paralelno, neposredno jedna pored druge) jedna linija može da prikupi deo signala iz druge linije. Razlivanjem mase minimizuje se ovo preslušavanje. Raspored *via* koje spajaju razlivene slojeve je takav da bi se smanjila neželjena induktivnost.

Potom je usledilo otklanjanje grešaka. Najčešće ispravljane greške su nastale zbog autorutiranja korišćenog tokom projektovanja kola. Naime funkcija autorutiranja je podložna stvaranju izolovanih oblasti mase koje mogu stvarati kapacitivne smetnje ostatku kola. Ovaj problem je rešen spajanjem izolovanih oblasti mase sa masom na drugoj stani ploče pomoću *via*. Osim toga tu je bilo grešaka oko rasporeda komponenata, veličina *via*, širine vodova itd.



Slika 7. *Routing* i razlivanje mase.

Rad u *Altium Designer*-u se završava generisanjem dokumentacije na osnovu koje će fabrika koju smo odabrali moći da izradi našu štampanu ploču. Tu dokumentaciju čine *Gerber* fajlovi koje mašine tumače pri izradi štampane ploče. Pored *gerber* fajlova generiše se i 3D model ploče koji će biti iskorišćen kasnije.

Međutim, *PCB* je sam po sebi beskoristan bez kućišta koje bi zaštitilo uređaj od spoljašnjih uslova i omogućilo adekvatno korišćenje. Kućište je izrađeno u *Solid Edge* progamskom alatu, a ovaj proces će biti opisan u narednom poglavlju.

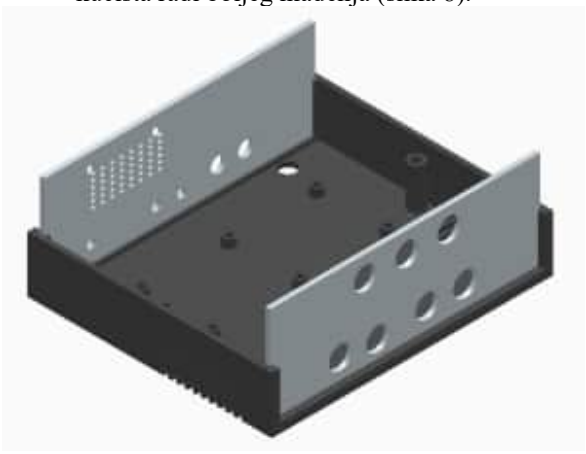
IV. Obrada kućišta u *Solid Edge*-u

Proces obrade kućišta počinje učitavanjem 3D modela *PCB*-a u *Solid Edge* i obradom istog radi usaglašavanja sa pločom koju bi dobili od proizvođača. Ovim smo prirpemili 3D model *PCB*-a za postavljanje u kućište.

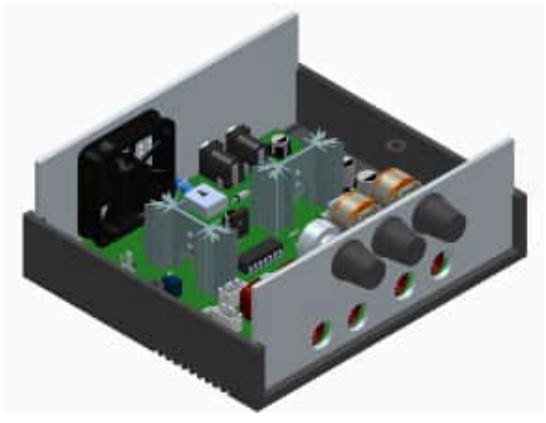
Prilikom odabira samog kućišta bilo je potrebno voditi računa o broju komponenata na štampanoj ploči i njihovom rasporedu. Takođe, bitno je usaglasiti dimenzije kućišta sa dimenzijama štampane ploče. Uzevši sve ovo u obzir odabrano je kućište KUSM-02. Kućište KUSM-02 je bilo potrebno modifikovati da bi se osigurala kompatibilnost sa *PCB*-om.

Te modifikacije su:

- Dodavanje otvora za pristup konektorima.
- Dodavanje otvora za pristup tasteru.
- Dodavanje otvora za montiranje potenciometra.
- Dodavanje zaštiženog otvora na zadnjoj strani kućišta radi boljeg hlađenja (slika 8).



Slika 8. Izmene na kutiji.



Slika 9. Kutija sa svim komponentama potrebnim za realizaciju signal generatora.

V. ZAKLJUČAK

Projektovani signal generator ima široku primenu. Lak je za korišćenje, pouzdan i lak za održavanje. Njegovoj pouzdanosti doprinosi i sistem aktivnog hlađenja koji se sastoji od kulera kontrolisanog NTC otpornikom [4] i trimerom, a napaja se preko bipolarnog tranzistora [3] kojim je moguće dodatno prilagoditi intenzitet hlađenja.

Ovaj projekat je moguće unaprediti dodavanjem prekidača za odabir izlaznog signala, čime bi bilo moguće eliminisanje dva konektora. Dodavanjem LED indikatora bi korisnik bio obavešten o trenutnom režimu rada signal generatora (sinusoida, testera, pravougaoni signal). Zamenom zaštitne diode kod kulera sa prekidačkom diodom bi se bolje zaštitilo kolo od inverzije polariteta kalema unutar kulera. Takođe je moguće dodati filtarske kondenzatore (100 nF) kod operacionog pojačavača radi dodatnog eliminisanja šumova. Proširenjem zaštićenog otvora na zadnjoj strani bi bio poboljšan protok vazduha kroz kućište i sam uređaj bi bio tiši. Dodavanjem osigurača bi dodatno zaštitili uređaj i/ili korisnika u slučaju kvara samog uređaja odnosno jednog od izvora napajanja. Blok napajanja je moguće projektovati tako da uređaj zahteva samo jedan izvor napajanja. U sam uređaj je moguće ugraditi izvor napajanja, čime bi bilo moguće eliminisati opasnost od nekompatibilnih izvora napajanja (pogrešan napon ili obrnuta polarizacija).

Zaključno sa ovim radom i radom „Praktična realizacija signal generatora pomoću analognih komponenata“ [5] ispraćen je celokupan proces projektovanja generatora signala od ideje do realizacije. Takođe, definisani su realni problemi i predložena njihova rešenja koja su primenljiva na sličnim projektima.

ZAHVALNICA

Autori ovog rada se srdačno zahvaljuju profesorima i asistentima sa Katedre za mikroelektroniku na Elektronskom fakultetu u Nišu. Posebnu zahvalnost dugujemo asistentu Aleksandri Stojković i profesorima Zoranu Prijiću i Danijelu Dankoviću, koji su nam obezbedili potreban materijal za izradu ovog projekta, kao i sugestije i savete upućene tokom izrade istog.

LITERATURA

[1] PWM signal generator, dostupno na: https://www.automatika.rs/baza-znanja/elektronika/pwm-signal-generator.html

[2] O programu *Altium Desinger,* dostupno na: https://www.altium.com/altium-designer?srsltid=AfmBOoquLh4Ph-

[3] BD135/137/139 – NPN Epitaxial Silicon Transistor Publication Order Number: BD139/D © 2007 Semiconductor Components Industries, LLC. November-2017, Rev. 2 BD135 / 137 / 139 NPN Epitaxial Silicon, dostupno na: Transistorhttps://www.onsemi.com/pdf/datasheet/bd139-d.pdf

[4] PRF15BB103RB6RC datasheet dostupno na: https://www.murata.com/en-us/api/pdfdownloadapi?cate=&partno=PRF15BB103RB6RC

[5] Praktična realizacija signal generatora pomoću analognih komponenata, IEEESTEC - 16th Student Projects Conference, Niš, 2023. Authors: Kristina Mišić, Vuk Zlatković dostupno na: https://ieee.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/2023/11/2023.pdf pp.303-306

[6] LM2902 Quadruple Operational Amplifier datasheet dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2902.pdf?ts=1728953787507

[7] LM317 3-Terminal Adjustable Regulator datasheet dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf?ts=1728986825473

[8] LMx37 3-Terminal Adjustable Regulators datasheet dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm337.pdf?ts=1728987529371

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.169T
Original scientific paper

Ispitivanje pouzdanosti elektrolitskog kondenzatora niske impedanse u kontrolisanim klimatskim uslovima

Lana Tasić
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
lana.tasic@elfak.rs;
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu ispitana je pouzdanost elektrolitskog kondenzatora niske impedanse kroz metodu termičkog cikliranja u kontrolisanim klimatskim uslovima pomoću *BINDER MKF 56* klimatske komore. Ubrzano starenje simulirano je ekstremnim temperaturnim promenama tokom sedmodnevnog cikliranja, pri čemu su kondenzatori bili u jednosmernom režimu rada. Uz ispitivanje pouzdanosti izvršena je i analiza uticaja temperature i frekvencije na osnovne parametre kondenzatora.**

Ključne reči—ispitivanje pouzdanosti, elektrolitski kondenzator, termičko cikliranje, klimatska komora

I. Uvod

Ispitivanje pouzdanosti elektronskih komponenata, pored njihove karakterizacije, predstavlja izuzetno značajan proces tokom njihove proizvodnje i primene. Elektronske komponente su ključne za rad velikog broja uređaja i sistema, pa je zbog toga važno osigurati njihovu efikasnu funkcionalnost za čitavo trajanje njihovog predviđenog životnog veka.

Pouzdanost definišemo kao verovatnoću da će elektronska komponenta pri određenim uslovima ispunjavati zadatu funkciju tokom određenog vremenskog perioda. S obzirom na činjenicu da pouzdanost direktno zavisi od vremena i uslova okoline, ispitivanje pouzdanosti svodi se upravo na pokušaj ubrzanog starenja komponente pod različitim uticajima stresova. Na ovaj način moguće je proceniti trenutak i uslov pod kojim će komponenta otkazati. Pod otkazom se podrazumeva izlazak bilo koje od karakteristika elektronske komponente iz unapred zadatog opsega [1].

Postoji više načina ispitivanja pouzdanosti elektronskih komponenata koji podrazumevaju korišćenje specijalizovanih uređaja za potrebe ubrzavanja životnog veka komponente odgovarajućim stresiranjem. Ovakav način testiranja zove se *HALT* (engl skr. *High Accelerated Life Testing*). Naprezanja se mogu realizovati pomoću različitih fizičkih faktora, kao što je primena povišene ili snižene temperature i vlažnosti vazduha, primena mehaničkih udaraca i vibracija, primena okruženja koje stimuliše hemijske reakcije kao što je korozija, primena povišenog električnog i magnetnog polja, primena elektromagnetnog i radioaktivnog zračenja itd.

Primenom različitih vrsta naprezanja komponente i uz korišćenje odgovarajućih modela može se proračunati njen stvarni životni vek pod normalnim uslovima eksploatacije. Modeli obuhvataju računanje faktora ubrzanja procesa starenja koji obuhvata sve korišćene stresove. Naime, testiranje pod normalnim uslovima bi trajalo veoma dugo, pa se zbog toga koriste gore navedeni uređaji čime se stvaraju rigorozni uslovi daleko iznad normalnih pod kojima će komponenta imati dosta kraći životni vek. Dobijeni rezultati ekstrapoliraju se na neki od matematičkih modela čime se vrši predviđanje stvarnog životnog veka [2], [3].

Čak i kada su neaktivne i isključene, elektronske komponente izložene su termičkim naprezanjima usled dnevnih varijacija temperature i različitosti temperaturnih koeficijenata linearnog širenja materijala od kojih su izrađene, što vremenom može dovesti do njihove degradacije. Zbog ovoga je za ispitivanje pouzdanosti elektronskih komponenata odabrana metoda termičkog cikliranja u komori *MKF 56* proizvođača *BINDER* [4] koja u svojoj unutrašnjosti obezbeđuje kontrolisane klimatske uslove - temperaturu i vlažnost vazduha. Za testiranu komponentu izabran je elektrolitski kondenzator [5], jedna od najznačajnih elektronskih komponenata koja se nalazi u gotovo svakom većem elektronskom sklopu.

II. Karakterizacija i testiranje parametara elektrolitskih kondenzatora

U svrhe testiranja i ispitivanja pojedinih parametara koji definišu kondenzatore korišćen je RLC metar kompanije *Agilent* [6]. RLC metri su povoljni za korišćenje zbog toga što mogu meriti do dva parametra istovremeno. Pomoću jednostavnog korisničkog interfejsa podešavaju se frekvencija, naponski nivo, opseg ispitivanja itd. Postoji mogućnost podešavanja niza diskretnih vrednosti frekvencije na kojima će se ispitivati komponenta. Na slici 1. je prikazano okruženje u laboratoriji za ispitivanje kondenzatora.



Slika 1. Okruženje u laboratoriji za testiranje kondenzatora.

Da bi se smanjile mogućnosti unošenja parazitnih kapacitivnosti ili induktivnosti koje bi dovele do grešaka u merenju, kondenzatori se u principu mere neposredno na izlazu na samom instrumentu. Međutim, ukoliko se kondenzatori mere daleko van instrumenta korišćenjem odgovarajućeg kabla, moguće je vršiti kompenzaciju u odnosu na dužinu kabla, s obzirom da kablovi imaju izuzetne parazitne vrednosti, najviše induktivnosti.

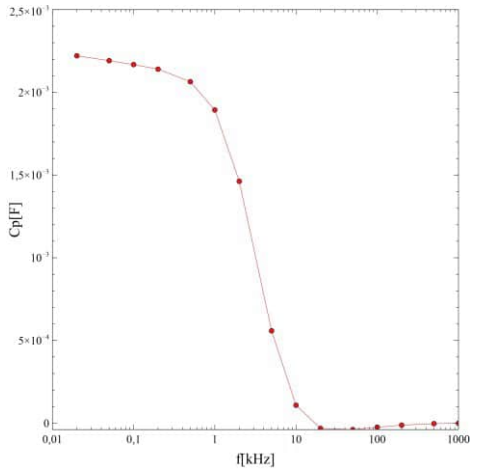
Kao komponente za testiranje odabrani su elektrolitski kondenzatori proizvođača *SAMWHA* niske impedanse (eng. *low impendance*) i dugog životnog veka. Navedeni proizvođač nudi široku paletu kondenzatora različitih osobina, ali je odabrana serija kondenzatora za opseg temperatura od -40 °C do +105 °C, nazivne kapacitivnosti od 2200 μF i maksimalnog radnog napona 25 V [5]. Prema specifikaciji proizvođača, ove komponente spadaju u visokopouzdane (eng. *high reliability*) sa životnim vekom od 5000 sati pri opterećenju na 105 °C. Radi kontrole reproduktivnosti efekata naprezanja, testirano je šest identičnih kondenzatora. Deklarisana tolerancija kapacitivnosti kondenzatora je ±20%, ali i drugi parametri imaju svoje tolerancije, pa se kondenzatori moraju označiti i mora se voditi računa o tome koji kondenzator se u datom trenutku ispituje, kako bi rezultati testiranja bili validni.

Preliminarna merenja karakteristika korišćenjem RLC metra izvršena su na sobnoj temperaturi. Pre svakog merenja, da ne bi došlo do oštećenja instrumenta, neophodno je isprazniti kondenzator, što je još važnije pri visokonaponskim testovima. Zatim, izvodi kondenzatora se ubacuju u odgovarajuće otvore na uređaju. Treba biti obazriv pri testiranju polarizovanih kondenzatora tako da se ne okrene polaritet.

U slučaju ovog istraživanja mereni su sledeći parametri: kapacitivnost C_p, ekvivalentna redna otpornost R_s, tangens ugla gubitaka $tan\delta$, impedansa Z i fazni ugao θ. Odabran je opseg od pet dekada diskretnih frekvencija gde su sledeće tačke merenja: 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz i 1 MHz. Iz tehničke dokumentacije ovih elektrolitskih kondenzatora preuzet je podatak o frekvenciji na kojoj su testirani, pa je ovaj opseg frekvencija povoljan za testiranje [5].

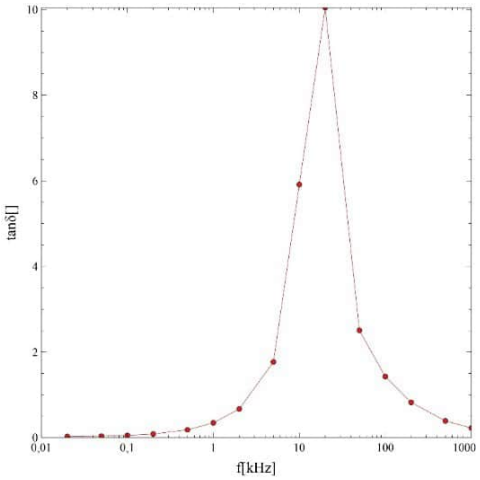
Nakon izvršenih merenja neophodno je adekvatno sortirati i obraditi podatke tako da bi potrebna izračunavanja i izrada grafika bili olakšani, a samim tim i analiza rezultata.

Sa slike 2 se vidi da funkcija zavisnosti kapacitivnosti od frekvencije ima identičan oblik kao tipična zavisnost dielektrične konstante od frekvencije [7]. Kapacitivnost u ovom slučaju kreće naglo da opada pri frekvenciji od 1 kHz, a pri frekvenciji od oko 20 kHz kapacitivnost je jednaka nuli i posle toga kreće lagano da raste, ali je i dalje u blizini nulte vrednosti. Ove vrednosti frekvencija su važne zbog toga što će naredni grafici pokazati promenu pri sličnim vrednostima.



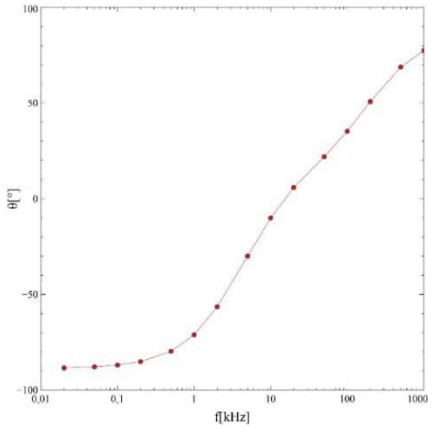
Slika 2. Zavisnost kapacitivnosti kondenzatora od frekvencije na sobnoj temperaturi.

Zavisnost tangensa ugla gubitaka od frekvencije prikazana je na slici 3. Izgled dobijene funkcije identičan je tipičnoj zavisnosti tangensa ugla gubitaka od frekvencije [7]. Sa grafika se jasno vidi da su gubici najveći pri frekvenciji od 20 kHz Gubici su u ovom trenutku najveći najverovatnije zbog prelaska iz kapacitivnog u induktivni karakter komponente. Iz ove zavisnosti se može dobiti i opseg frekvencija pri kome se ovakav elektrolitski kondenzator može koristiti. Uzima se da je granična vrednost tangensa ugla gubitaka $tan\delta = 1$, pa se traži frekvencija koja odgovara ovoj tački kao gornja granična frekvencija pri kojoj može da se koristi kondenzator. Upravo ova vrednost tangensa ugla gubitaka se uzima, jer je tada fazni ugao jednak 45°, a otporni i kapacitivni karakter impedanse su jednaki. Prema standardima je ova vrednost faznog ugla sasvim zadovoljavajuća i kondenzator može da se koristi. Sa grafika se jasno vidi da je granična frekvencija korišćenja ovih elektrolitskih kondenzatora 3 kHz. Ovo će biti važno u kasnijim eksperimentima pri odabiru odgovarajućih frekvencija za prikazivanje rezultata termičkog cikliranja.



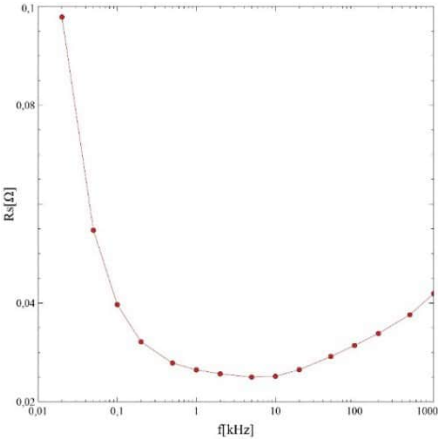
Slika 3. Zavisnost tangensa ugla gubitaka od frekvencije na sobnoj temperaturi.

Na slici 4 data je zavisnost faznog ugla od frekvencije. Sa ovog grafika se tačno vidi trenutak prelaska kondenzatora iz kapacitivnog karaktera u induktivni. Ovaj prelazak dešava se pri faznom uglu od 0°, odnosno na frekvenciji od oko 10 kHz. Naime, u slučaju idealnog kondenzatora struja prednjači naponu za 90°, a kod realnog kondenzatora fazni ugao je manji od 90° i to za ugao gubitaka, ali je negativan. U slučaju idealnog kalema napon prednjači struji za 90°, dok je kod realnih induktivnih impedansi fazni ugao pozitivan i manji od 90°.



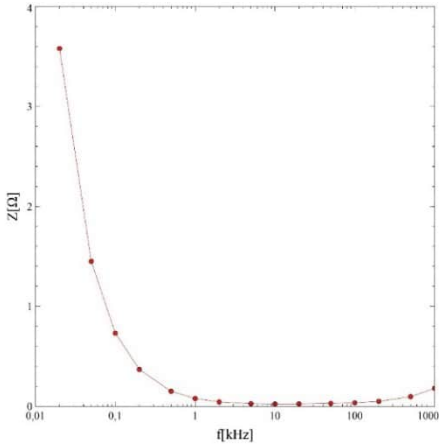
Slika 4. Zavisnost faznog ugla od frekvencije na sobnoj temperaturi.

Zavisnost ekvivalentne redne otpornosti ESR (eng. *Equivalent Serial Resistance*) od frekvencije prikazana je na slici 5. Ova zavisnost pokazuje da je redna otpornost najviša na nižim frekvencijama i opada sa porastom frekvencije sve do oko 10 kHz, kada kreće da raste. Na nižim frekvencijama dominantni su gubici u elektrolitu i otpornost izvoda. Što je frekvencija viša dolazi do povećanja redne otpornosti zbog toga što joni u elektrolitu ne mogu da isprate ovako velike promene čime opada provodnost elektrolita, odnosno raste otpornost.



Slika 5. Zavisnost ekvivalentne redne otpornosti od frekvencije na sobnoj temperaturi.

Na slici 6 prikazana je zavisnost impedanse kondenzatora od frekvencije. Impedansa se ponaša slično kao redna otpornost. Pri nižim frekvencijama je visoka, ali kreće naglo da opada sve do granične frekvencije, koja predstavlja rezonantnu frekvenciju. U ovom slučaju ona iznosi oko 10 kHz, što je u saglasnosti sa prethodnim zavisnostima. Nakon rezonantne frekvencije impedansa kreće da raste. Pri rezonantnoj frekvenciji i oko nje, impedansa je približno jednaka nuli tako da kondenzator predstavlja kratak spoj.



Slika 6. Zavisnost impedanse od frekvencije na sobnoj temperaturi.

Grafički prikazane zavisnosti pokazuju da će predviđena funkcionalnost ovih kondenzatora biti najbolja do frekvencija od 1 kHz, a u potpunosti se gubi na frekvenciji od 10 kHz. Ovo se može zaključiti na osnovu opadanja kapacitivnosti pri tim frekvencijama, kao i na osnovu promene faznog ugla i impedanse koji pokazuju da li je komponenta induktivnog ili kapacitivnog karaktera. Takođe, gubici su najveći upravo na frekvenciji od 10 kHz kada kondenzator menja svoju ulogu i kreće da preovladava njegov induktivni karakter.

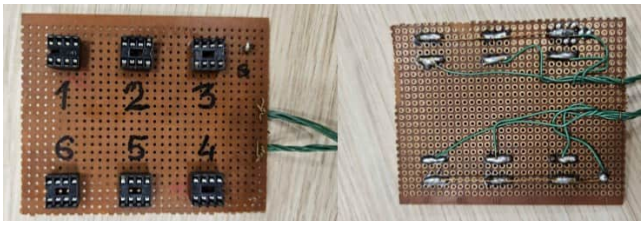
III. Eksperimentalno ispitivanje pouzdanosti elektrolitskog kondenzatora

Kako bi eksperimentalno ispitivanje pouzdanosti elektrolitskog kondenzatora bilo uspešno neophodno je obezbediti instrument kojim će biti moguće izvršiti merenja određenih parametara kondenzatora, kao i uređaj koji može biti korišćen za neku vrstu stresiranja komponente. U ovu svrhu korišćeni su *Agilent 4284* RLC metar [6] i *BINDER MKF 56* komora [4]. Ispitivani su elektrolitski kondenzatori iz prethodnog poglavlja nazivne kapacitivnosti 2200 μF maksimalnog radnog napona 25 V. Mereni su sledeći parametri ovih elektrolitskih kondenzatora: kapacitivnost C_p, ekvivalentna redna otpornost R_s, tangens ugla gubitaka $tan\delta$, impedansa Z i fazni ugao θ. Ova merenja izvršena su za deset različitih vrednosti frekvencije. Eksperimenti su vršeni u Laboratoriji za primenjenu fiziku na Elektronskom fakultetu u Nišu.

A. Priprema za eksperimente

Kako bi bilo moguće povezati elektrolitske kondenzatore na bilo koji instrument dok se oni nalaze u komori bilo je neophodno izvršiti pripremu za eksperimente. Upotrebljeni elementi su raster ploča, šest DIP 8 podnožja, žice i lemilica. DIP 8 podnožje korišćeno je kako se kondenzatori ne bi fiksno lemili za ploču, već se mogu stavljati i uklanjati po potrebi. Na raster ploču zalemljena su DIP 8 podnožja. Sa dve spoljašnje strane ploče zalemljena je linija za masu žicama sa kojih je ručno skinuta izolacija, tako da svako DIP 8 podnožje ima jednu stranu predviđenu za masu. Za obe strane predviđene za masu zalemljene su žice dugačke tačno 1 m. Druga strana svakog DIP 8 podnožja predviđena je za po jednu žicu dužine 1 m koje će predstavljati pozitivan kraj.

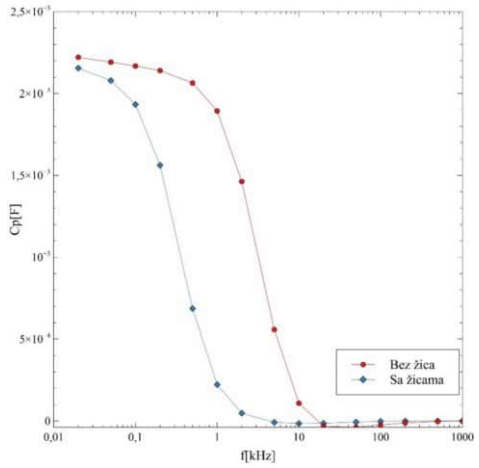
Žice su zatim upredene kako bi se smanjio uticaj šumova i elektromagnetne interferencije. Svaka od žica je obeležena. Na slici 7 prikazane su prednja i zadnja strana raster ploče.



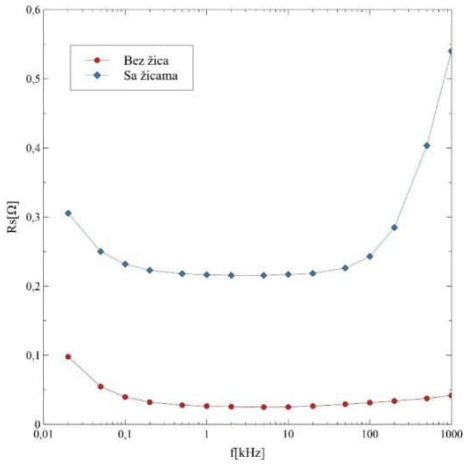
Slika 7. Prednja i zadnja strana raster ploče.

Potrebno je naglasiti da se na osnovu analize podataka došlo do zaključka da su izvezene žice za potrebe merenja dodale parazitnu otpornost, kapacitivnost i induktivnost, čime rezultati koji će biti prikazani kasnije ne pokazuju tačne vrednosti iako je na samom RLC metru uključena korekcija na 1 m dužine kabla. Međutim, za potrebe ovog istraživanja bitnija je promena parametara nego njihove tačne vrednosti.

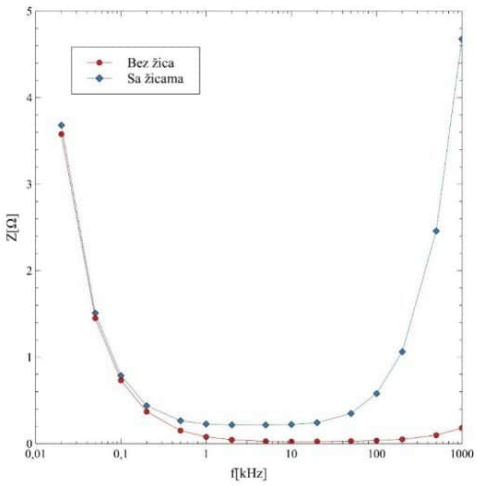
Parametri kondenzatora koji su ispitivani mereni su na sobnoj temperaturi sa žicama i bez njih. Na slikama 8, 9 i 10 prikazane su zavisnosti nekih od parametara od frekvencije sa korišćenim žicama i bez njih.



Slika 8. Zavisnost kapacitivnosti od frekvencije sa izvezenim žicama i bez njih.



Slika 9. Zavisnost redne otpornosti od frekvencije sa izvezenim žicama i bez njih.



Slika 10. Zavisnost impedanse od frekvencije sa izvezenim žicama i bez njih.

Redna otpornost povećala se usled dodate redno vezane parazitne otpornosti žica. Niža kapacitivnost posledica je rednog vezivanja dve impedanse, impedanse merenog kondenzatora i parazitne impedanse od žica. Svaka impedansa sadrži kapacitivnost, što daje manju ukupnu kapacitivnost. Zavisnost impedanse od frekvencije pokazuje i da u slučaju kondenzatora sa dodatim žicama njegov induktivni karakter počinje da dominira na nižoj frekvenciji, zbog unete parazitne induktivnosti. Tangens ugla gubitaka i fazni ugao su se takođe povećali.

B. Ispitivanje parametara elektrolitskih kodenzatora na različitim temperaturama

Prvi eksperiment podrazumeva ispitivanje parametara kondenzatora na različitim temperaturama. Ovo ispitivanje je značajno zbog pokazivanja uticaja temperature na način funkcionisanja elektrolitskog kondenzatora. Šest istih kondenzatora ispitano je na sledećim temperaturama: -30 °C, -10 °C, 10 °C, 30 °C, 50 °C, 70 °C, 90 °C, 110 °C i 130 °C. Za svrhe podešavanja fiksne vrednosti temperature korišćena je BINDER MKF 56 komora. Sa bočne strane komore nalazi se otvor za kablove. Na slici 11 prikazano je okruženje u laboratoriji za testiranje kondenzatora na različitim temperaturama.



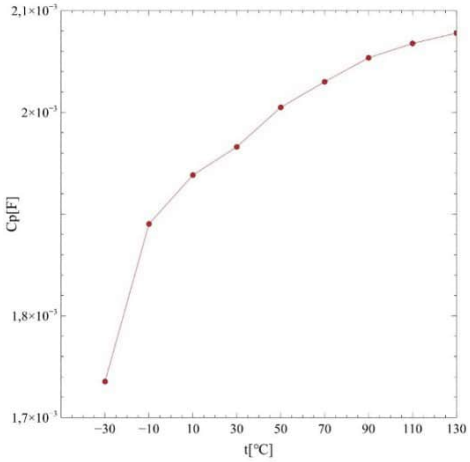
Slika 11. Okruženje u laboratoriji za testiranje kondenzatora na različitim temperaturama.

Ove žice se dovode do konektora RLC metra tako da se vodi računa o polarizaciji. Elektrolitski kondenzatori ubacuju se u DIP 8 podnožja, a zatim u komoru. Komora se podešava

na navedene fiksne vrednosti temperature. Važno je naglasiti da treba vremena da komora dostigne određenu zadatu vrednost temperature, ali i da komponente unutar nje postignu tu istu temperaturu. Zbog toga je poželjno sačekati određeni vremenski period pre izvršavanja merenja.

Dobijeni podaci testiranja elektrolitskih kondenzatora na različitim temperaturama obrađeni su uz izračunavanje srednje vrednosti navedenih parametara za svih šest kondenzatora. Svi parametri koji opisuju kondenzator menjali su se sa promenom temperature. Na neke parametre temperatura utiče značajno, dok na neke druge ne utiče. U nastavku biće data analiza promena vrednosti parametara u odnosu na temperaturu pri frekvenciji od 100 Hz.

Na slici 12 prikazana je zavisnost kapacitivnosti od temperature na frekvenciji od 100 Hz. U ovom opsegu temperatura kapacitivnost raste sa porastom temperature, što odgovara tipičnoj zavisnosti dielektrične konstante od temperature [7].



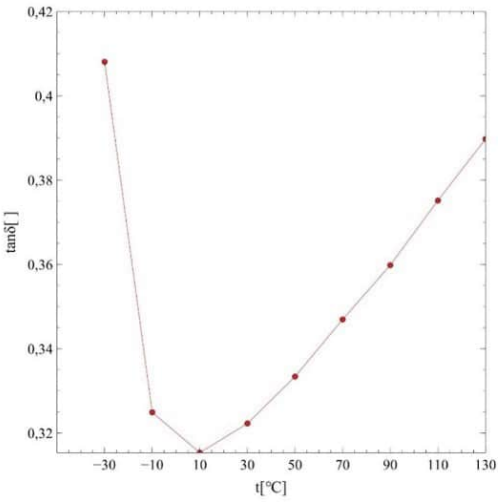
Slika 12. Zavisnost kapacitivnosti od temperature na frekvenciji od 100 Hz.

Naredne tri zavisnosti od temperature imaju vrlo interesantan oblik. Zavisnosti tangensa ugla gubitaka, faznog ugla i ekvivalentne redne otpornosti od temperature pri frekvenciji od 100 Hz prikazane su redom na slikama 13, 14 i 15. Razlog istog oblika zavisnosti jeste povezanost između ovih veličina. Očigledna je veza između tangensa ugla gubitaka i faznog ugla, pri čemu ugao gubitaka δ dopunjuje fazni ugao do 90°. Obratiti pažnju da su na *y*-osi zavisnosti faznog ugla od temperature vrednosti ugla negativne. Veza između tangensa ugla gubitaka i ekvivalentne redne otpornosti sledi iz formule za tangens ugla gubitaka:

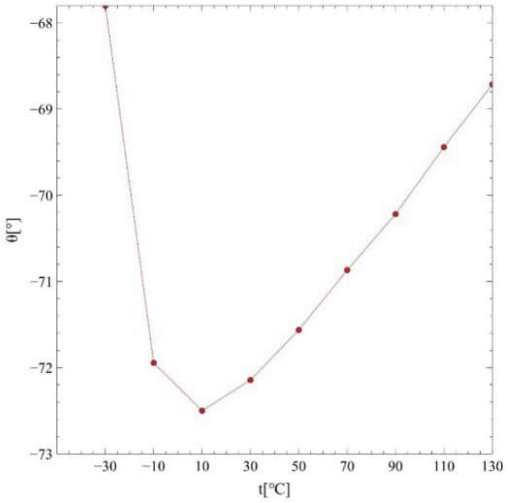
$$tan\delta = \omega rC + \frac{1}{\omega RC} \qquad (1)$$

gde je jasno da su ove dve veličine direktno srazmerne. Veći nagib zavisnosti tangensa ugla gubitaka pri višim temperaturama je zbog činjenice da ova veličina zavisi i od kapacitivnosti, koja raste sa porastom temperature. Najmanji gubici su na temperaturama oko sobne, dakle na 10 °C i 30 °C. Takođe, treba naglasiti da se i ova zavisnost poklapa sa tipičnom zavisnošću za ovaj opseg temperatura [7].

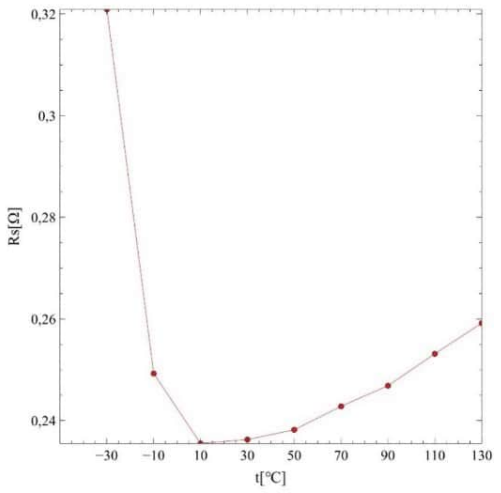
Ekvivalentna redna otpornost prvobitno naglo opada sa porastom temperature pri niskim temperaturama, zatim počev od sobne temperature počinje lagano da raste.



Slika 13. Zavisnost tangensa ugla gubitaka od temperature na frekvenciji od 100 Hz.

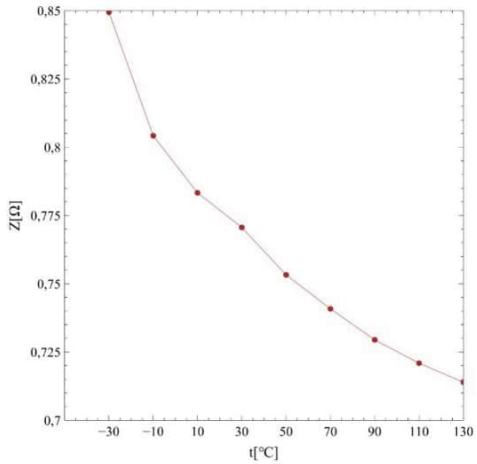


Slika 14. Zavisnost faznog ugla od temperature na frekvenciji od 100 Hz.



Slika 15. Zavisnost ekvivalentne redne otpornosti od temperature na frekvenciji od 100 Hz.

Zavisnost impedanse od temperature na frekvenciji od 100 Hz prikazana je na slici 16. Jasno je da je impedansa obrnuto srazmerna temperaturi na ovoj frekvenciji.



Slika 16. Zavisnost impedanse od temperature na frekvenciji od 100 Hz.

Jasno je da na neke parametre temperatura utiče manje, a na neke više i često se preklapaju uticaji frekvencije i temperature, pa se ne može intuitivno odrediti tačna zavisnost. Potrebno je voditi računa o ovome pri korišćenju elektrolitskih kondenzatora i projektovanju sistema čiji su oni sastavni deo.

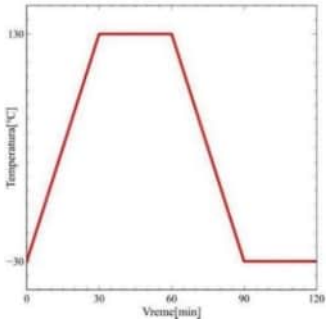
C. Termičko cikliranje elektrolitskih kondenzatora

Najbitniji deo ovog istraživanja predstavlja termičko cikliranje elektrolitskih kondenzatora koje se vrši radi ispitivanja njihove pouzdanosti. Termičko cikliranje vršeno je uz pomoć komore BINDER MKF 56. Kako bi se proces ispitivanja pouzdanosti izvršio korektno, bilo je neophodno dovesti kondenzatore u aktivan režim rada i u ovom istraživanju je test termičkog cikliranja izveden uz primenu jednosmernog napona, odnosno dve njegove vrednosti. Tri elektrolitska kondenzatora ispitivana su pod naponom od 10 V, a tri pod naponom od 20 V. Treba se podsetiti da je nazivni radni napon ovih kondenzatora 25 V, pa su zbog toga odabrane ove dve vrednosti napona u tom opsegu. Izvezene žice koje su korišćene prilikom merenja na različitim temperaturama korišćene su i ovde za povezivanje jednosmernog izvora napajanja, preko proto-ploče. Korišćeni su i otpornici od 1 kΩ, redno vezani sa kondenzatorom, kako bi zaštitili izvor napajanja ukoliko bi došlo do otkaza, odnosno kratkog spoja, a da pri tome ostali kondenzatori koji su u paraleli to ne osete. Okruženje u laboratoriji prikazano na slici 17.



Slika 17. Okruženje u laboratoriji za termičko cikliranje.

Podešavanje termičkog cikliranja komore vršeno je pomoću vremenskog programa. Iskorišćen je *ramp* tip tranzicije temperature za svaki od odeljaka [4]. U jednom ciklusu definisana su četiri odeljka tako da svaki traje po 30 minuta. Temperatura se kreće od -30 °C do 130 °C na način prikazan na slici 18.



Slika 18. Jedan ciklus termičkog cikliranja.

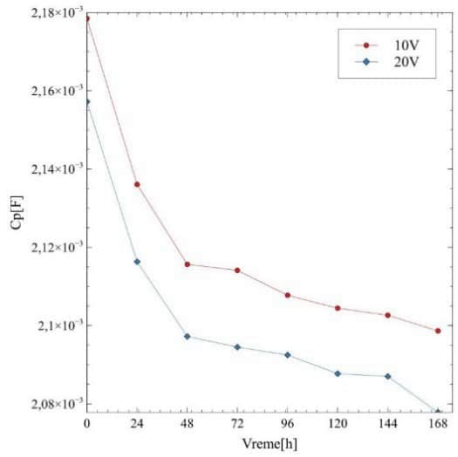
Dakle, u jednom ciklusu temperatura se kreće od -30 °C do 130 °C u roku od 30 minuta, zatim ostaje na 130 °C 30 minuta, kreće da opada od 130 °C do -30 °C u roku od 30 minuta, pa ostaje na toj temperaturi 30 minuta. Ciklus se zatim ponavlja. Bitno je napomenuti da su ovo setovane temperature, a da stvarne vrednosti temperature prate ove vrednosti tokom čitavog procesa brzinom koju određuje komora.

Termičko cikliranje vršeno je u roku od sedam dana, odnosno ukupno 168 sati. U jednom danu izvršeno je 12 ciklusa, odnosno 84 ciklusa u roku od 7 dana. Broj ciklusa definiše se u poslednjem odeljku programa. Na svakih 12 ciklusa, odnosno na svaka 24 sata vršeno je merenje parametara kondenzatora na sobnoj temperaturi. Dakle, nakon vađenja kondenzatora iz komore čekalo se da oni dostignu sobnu temperaturu, nakon čega je vršeno merenje. Nakon izvršenog merenja, kondenzatori se vraćaju u komoru i termičko cikliranje može da se nastavi. Ovo se radilo kako bi mogla da se dobije zavisnost promene parametara od vremena. U okviru termičkog cikliranja nije bitna zavisnost parametara od temperature, već njihove promene koje su se desile usled termičkog naprezanja komponenata.

D. Analiza rezultata termičkog cikliranja

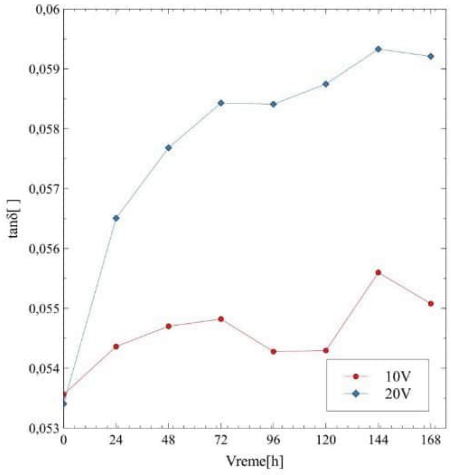
Za dobijanje kompletnih rezultata bilo je potrebno izvršiti izračunavanja srednjih vrednosti za tri kondenzatora koja su bila pod jednosmernim naponom od 10 V, kao i za tri kondenzatora koja su bila pod jednosmernim naponom od 20 V. Grafičke zavisnosti su odrađene za nekoliko frekvencija u radnom opsegu kondenzatora, ali je odabrana frekvencija od 100 Hz, kao najpogodnija frekvencija na kojoj impedansa još uvek ima kapacitivni karakter.

Na slici 19 prikazana je zavisnost kapacitivnosti od vremena trajanja termičkog cikliranja na frekvenciji od 100 Hz. Prikazane su zavisnosti kondenzatora koji su bili pod naponom od 10 V, kao i zavisnosti kondenzatora koji su bili pod naponom od 20 V. Sa grafika je očigledno opadanje kapacitivnosti nastalo usled temperaturnih stresova komponente koje je izraženije za kondenzatore koji su bili povezani na jednosmerni napon od 20 V. Kapacitivnost je opala za oko 4% početne vrednosti pri ovoj frekvenciji za obe grupe kondenzatora. Ova promena nije velika i ne bi trebalo da utiče na upotrebu ovih kondenzatora. Međutim, s obzirom na opadanje kapacitivnosti, može se zaključiti da bi sigurno došlo do otkaza kondenzatora po kriterijumu opadanja kapacitivnosti pri dužem termičkom cikliranju.

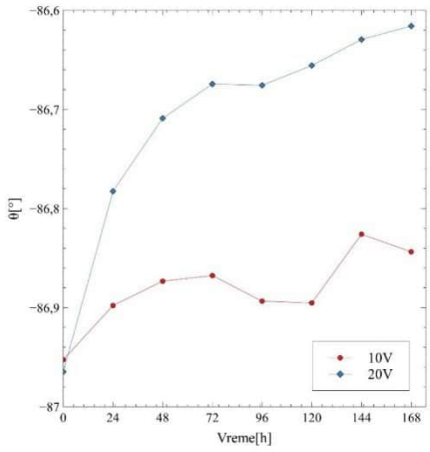


Slika 19. Zavisnost kapacitivnosti od vremena na frekvenciji od 100 Hz.

Na slikama 20 i 21 prikazane su zavisnosti tangensa ugla gubitaka i faznog ugla od vremena na frekvenciji od 100 Hz, respektivno. Primećuje se isti oblik zavisnosti, što je i očekivano, s obzirom na vezu između ove dve veličine. Za drugu grupu kondenzatora očigledan je porast gubitaka. Gubici rastu i kod druge grupe kondenzatora, ali ovaj porast ima određena odstupanja. Tangens ugla gubitaka za drugu grupu kondenzatora povećan je za 10% od početne vrednosti.

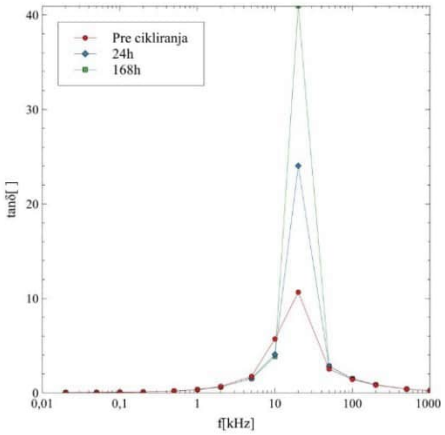


Slika 20. Zavisnost tangensa ugla gubitaka od vremena na frekvenciji od 100 Hz.



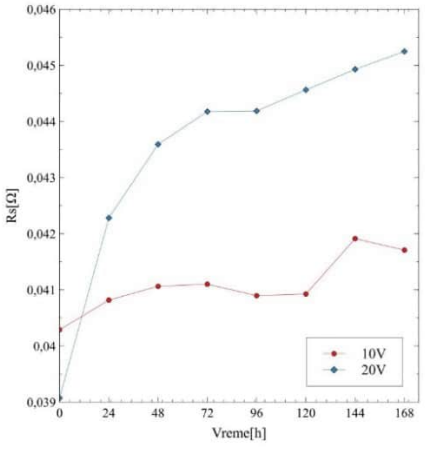
Slika 21. Zavisnost faznog ugla od vremena na frekvenciji od 100 Hz.

Na slici 22 prikazan je grafik zavisnosti tangensa ugla gubitaka od frekvencije za različite periode termičkog cikliranja za kondenzatore koji su bili pod jednosmernim naponom od 20 V. Ova zavisnost data je zbog velikog povećanja gubitaka pri frekvenciji od 20 kHz i to za čak četiri puta. Iako se ovi kondenzatori u realnosti ne bi koristili na ovoj frekvenciji, zavisnost je data kao ilustracija očigledne promene koja je nastala usled termičkog cikliranja ove komponente.



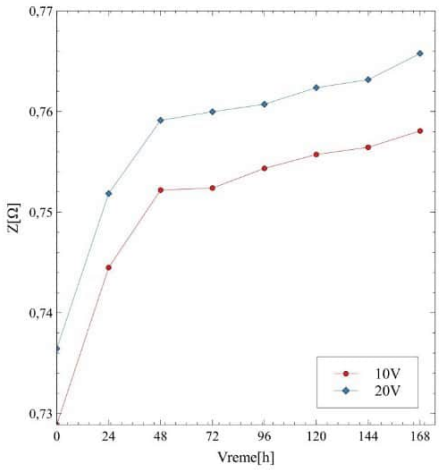
Slika 22. Zavisnost tangensa ugla gubitaka od frekvencije tokom različitih perioda termičkog cikliranja za drugu grupu kondenzatora.

Zavisnost ekvivalentne redne otpornosti od vremena na frekvenciji od 100 Hz prikazana je na slici 23. Ekvivalentna redna otpornost ima sličnu zavisnost kao i tangens ugla gubitaka na frekvenciji od 100 Hz. Kao što je ranije napomenuto, razlog ovome je veza između te dve veličine. Ekvivalentna redna otpornost rasla je sa vremenom u toku cikliranja, a jasno je da je druga grupa kondenzatora pretrpela veće promene ekvivalentne redne otpornosti i to za čak 15% od početne vrednosti.



Slika 23. Zavisnost ekvivalentne redne otpornosti od vremena na frekvenciji od 100 Hz.

Na slici 24 prikazana je zavisnost impedanse od vremena na frekvenciji od 100 Hz. Impedansa kondenzatora je tokom termičkog cikliranja porasla i to više u slučaju kondenzatora na koje je bio primenjen napon od 20 V. Impedansa se povećala za oko 4% u slučaju obe grupe kondenzatora.



Slika 24. Zavisnost impedanse od vremena na frekvenciji od 100 Hz.

Očigledno je da je eksperiment termičkog cikliranja uticao na promene unutar strukture elektrolitskog kondenzatora iako su te promene male. Dobijeni rezultati mogli bi da se ekstrapoliraju na duži vremenski period, ali ta zavisnost ne bi bila zadovoljavajuće precizna. Zbog toga se preporučuje duži period termičkog cikliranja uzorka ovih elektrolitskih kondenzatora, kako bi došlo do njihovog otkaza čime bi mogao da se proceni životni vek ovih komponenata.

Eksperiment termičkog cikliranja takođe je pokazao da su promene parametara kondenzatora sa vremenom izraženije pri većim naponima, odnosno naponski su zavisne. S druge strane, izražena vremenska zavisnost tokom cikliranja ukazuje na uvećanje intenziteta otkaza, odnosno njegovu zavisnost od raspona temperature $\Delta T_{test} = T_{max} - T_{min}$. Objedinjavajući naponsku i temperaturnu zavisnost, za faktor ubrzanja otkaza *AF,* kao odnos intenziteta otkaza na testu pod pooštrenim uslovima i u praktičnim primenama, može se predložiti oblik:

$$AF = \frac{\lambda_{test}}{\lambda_{use}} = a \cdot \left(\frac{\Delta T_{test}}{\Delta T_{use}}\right)^m \left(\frac{V}{V_{ref}}\right)^n \qquad (2)$$

gde su a, m, n i V_{ref} parametri koje bi trebalo odrediti. U poslednjem predloženom izrazu uvođenjem parametra a ostavljena je mogućnost da se modelira i uračuna i neka druga zavisnost (zavisnost od npr. magnetnog polja, zračenja, vibracija i dr.) koja simultanim delovanjem dodatno povećava intenzitet otkaza. U slučaju da ovih dodatnih degradirajućih faktora nema, uzima se da je $a = 1$.

IV. Zaključak

Iako je ovo istraživanje uspešno izvršeno, postoji prostor za unapređenja i optimizaciju, tako da se dobiju još bolji i interesantniji rezultati. Prvenstveno, može se izvršiti korekcija vrednosti parametara u odnosu na unete parazitne veličine zbog korišćenja žica.

Broj sati termičkog cikliranja bi mogao biti povećan čime bi komponente sigurno došle do granice otkaza i na taj način bi ispitivanje pouzdanosti bilo kompletno uz izvršavanje adekvatnog proračuna korišćenjem matematičkih modela čime se zaista može proceniti životni vek komponente. U termičko cikliranje se može dodati i kontrola vlažnosti vazduha. Predloženi model za faktor ubrzanja *AF* trebalo bi dodatno precizno definisati i to određivanjem parametara *m*, *n* i V_{ref}, što znači da treba fiksirati i izolovati druge uticaje.

Za buduća istraživanja se mogu koristiti i druge elektronske komponente kako bi se analizirala njihova temperaturna zavisnost i ispitala pouzdanost termičkim cikliranjem. Pored pojedinačnih elektronskih komponenata, ovakvo ispitivanje se može vršiti i na integrisanim kolima ili čak štampanim pločama, gde se mogu analizirati uticaji varijacija temperature na linije veza čime se mogu unaprediti pravila rutiranja i postavljanja komponenata.

Iako ima nekoliko nedostataka, prvenstveno uslovljenih ograničenim vremenom testiranja, ovaj projekat pokreće niz budućih istraživanja koja mogu doprineti razvoju mikroelektronike i poboljšanju pouzdanosti elektronskih komponenata. Uz niz različitih eksperimenata, analize otkaza, dekapsuliranjem komponenata i analizom različitih električnih karakteristika i parametara mogu se postići razni zaključci kojima se mogu unaprediti proizvodni procesi komponenata i time produžiti stabilan, kvalitetan i pre svega funkcionalan rad komponenata, a samim tim i uređaja i čitavih sistema.

Elektrolitski kondenzator bio je samo primer ispitivanja pouzdanosti, a ovakvo i slično istraživanje može se sprovesti na svakom elektronskom sklopu.

Zahvalnica

Volela bih da se zahvalim svim članovima Katedre za mikroelektroniku na pružanju teorijskih i praktičnih znanja tokom studiranja, ali i na ogromnoj inspiraciji koja je doprinela mom ličnom i profesionalnom razvoju. Posebno bih se zahvalila svom mentoru doc. dr Vojkanu Davidoviću na izdvojenom vremenu i prenesenoj ogromnoj količini znanja koje će me pratiti tokom čitave moje karijere.

Literatura

[1] R. Ramović, Pouzdanost elektronskih, telekomunikacionih i informacionih sistema, Katedraza Mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd 2005.

[2] V. Davidović, Pouzdanost elektronskih komponenata, prezentacije sa predavanja, Elektronski fakultet, Niš 2023.

[3] S. Ilić, HALT, seminarski rad iz predmeta Pouzdanost elektronskih komponenata, Elektronski fakultet, Niš 2018.

[4] BINDER MKF 56 chamber Operating manual, Dostupno na: https://www.binder-world.com/int-en/products/environmental-testing/dynamic-climate-chambers/product/asset/1825388J.

[5] WL SAMWHA Miniature Electrolytic capacitors, Dostupno na: http://210.123.70.236/electric/product/list_pdf2/WL.pdf.

[6] Agilent 4284A Precision LCR meter, Dostupno na: https://www.unifr.ch/med/fr/assets/public/professoren/rainerg/Documents/Manuals/AGILENT_4284A.pdf.

[7] M. Marjanović, V. Paunović, S. Veljković, Materijali za elektroniku, praktikum laboratorijskih vežbi, Elektronski fakultet, Niš 2022.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.177S
Original scientific paper

Analiza funkcionisanja MEMS kapacitivnog senzora pritiska primenom softverskog paketa ANSYS

Marta Stamenković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi, Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
marta.stamenkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

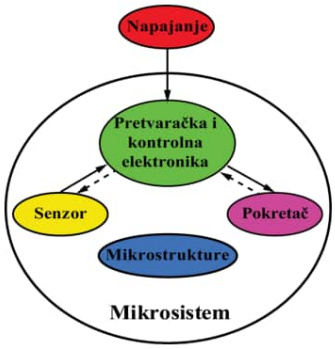
***Sadržaj*— Kapacitivni senzori pritiska se sastoje od dve provodne elektrode koje su međusobno odvojene tankim dielektričnim slojem. U MEMS tehnologiji, jedna od elektroda je fiksirana dok se druga nalazi na membrani koja se lako ugiba. Kada se primeni pritisak na senzor, razdaljina između elektroda se menja, što rezultira promenom kapacitivnosti senzora. Analiza funkcionisanja ovog senzora je izvršena putem simulacija u softveru ANSYS Workbench Multiphysics u okviru domena Static Structural. Simulacije omogućavaju da se odrede promene međuelektrodnog rastojanja i maksimalno naprezanje u strukturi pod dejstvom pritiska. Cilj rada je da se na osnovu vrednosti ugibanja pri promeni dimenzija gornje elektrode i rastojanja između elektroda utvrdi geometrija senzora koja je najosetljivija na primenjeni pritisak od 100 MPa.**

Ključne reči*—MEMS kapacitivni senzor pritiska, ANSYS simulacije, relativna promena kapacitivnosti, maksimalno naprezanje

I. Uvod

Mikrosistem (MEMS - *Micro-Electro-Mechanical System*) je minijaturni integrisani sistem u kome su senzori, elektronika, aktuatori i/ili mikrostrukture integrisani na jednom čipu (monolitna integracija) ili više čipova (hibridna integracija) korišćenjem mikroelektronskih tehnologija. Osnovne komponente koje se nalaze u MEMS-u su mikrostrukture, aktuatori, različiti mikroelektronski sklopovi i mikrosenzori. Komponente mikrosistema prikazane su na slici 1. Pomoću mikrosenzora vrši se pretvaranje fizičko-hemijskih veličina u električne signale. Mikroaktuatori imaju ulogu da pretvaraju električnu energiju u mehanički pokret ili silu na mikroskopskom nivou [1]. Mikroelektronika prima podatke od mikrosenzora u obliku električnih signala, obrađuje ih i na osnovu obrađenih podataka donosi odgovarajuće odluke.

Prvi korak u projektovanju mikrosistema je definicija sistema. Razmatraju se osnovne funkcije koje će krajnji sistem vršiti i koja će biti njegova uloga kada se završi proizvodnja. Kada se definiše sistem, onda prelazimo na početno razmatranje dizajna. Razmatranje dizajna obuhvata: ograničenja dizajna; izbor materijala za supstrat, komponente i pakovanje; izbor tehnologije i procesa izrade; način pretvaranja signala; uključene elektronske sisteme; spajanje, pakovanje i testiranje. Najkorišćeniji materijal za supstrat je silicijum jer je najdostupniji i na njemu se najlakše mogu primeniti standardne postojeće mikroelektronske tehnologije. Izbor tehnologija i procesa izrade predstavlja odabir između tri tehnologije izrade mikrosistema. Tu spadaju zapreminsko (dubinsko) mikromašinstvo, površinsko mikromašinstvo i LIGA proces [2]. Ovaj izbor zavisi od uslova koji su prvobitno postavljeni prilikom ograničenja proizvoda. Koristi se više vrsta tehnoloških procesa tokom izrade mikro-elektro-mehaničkih sistema a tri osnovna su: depozicija, ecovanje i litografija.



Slika 1. Komponente mikrosistema.

Usled različitosti i složenosti mikrosistema njihovo projektovanje je nekada trajalo i do 5 godina. Sredinom devedesetih godina, CAD (Computer-Aided Design) softveri za modelovanje i simulaciju mikrosistema su postali komercijalno dostupni. Zahvaljujući tome, proces projektovanja mikrosistema od koncepta do izlaska na tržište se skratio na period od 3 do 6 meseci. Virtuelni prototipovi mikrosistema su omogućili simulaciju funkcionisanja stvarnih mikrosistema. Samim tim, projektnim inženjerima je omogućeno razmatranje izmena u dizajnu i proizvodnom procesu.

CAD paketi za mikrosisteme sadrže 3 osnovne baze podataka koje mogu da interaguju sa modulima CAD paketa:

- Baza materijala (osobine tankih slojeva materijala i specifičnih materijala u vidu tabela i tenzora)
- Baza tehnoloških procesa (simulacioni moduli proizvodnih procesa i postupaka obrade pločica, vrednosti zaostalog naprezanja)
- Baza elektromehaničkog dizajna (alati i informacije o ograničenjima i mogućnostima dizajna, kodovi numeričkih metoda)

Do zadovoljavajućeg dizajna dolazi se kroz iterativne postupke sa izmenjenim geometrijskim parametrima i

uslovima opterećenja. Ovi paketi sadrže grafičko okruženje za prikaz rezultata analize i mogućnosti animacije kinematičkih i dinamičkih efekata kod dizajniranog proizvoda. U ovom radu korišćen je program ANSYS [3].

II. KAPACITIVNI SENZORI PRITISKA

Kapacitivni senzori pritiska [4] su senzori koji koriste promenu kapacitivnosti kako bi merili pritisak. Oni se sastoje iz dva provodna sloja koji su međusobno odvojeni tankim vazdušnim ili dielektričnim slojem. Kada se primeni pritisak na senzor, razdaljina između provodnih slojeva se menja, što rezultira promenom kapacitivnosti senzora. Ova promena kapacitivnosti se zatim može meriti i koristiti za određivanje pritiska.

Postoji nekoliko različitih vrsta kapacitivnih senzora pritiska i svi oni imaju različite i specifične karakteristike i primene. Odabir odgovarajuće vrste senzora zavisi od specifičnih zahteva aplikacije.

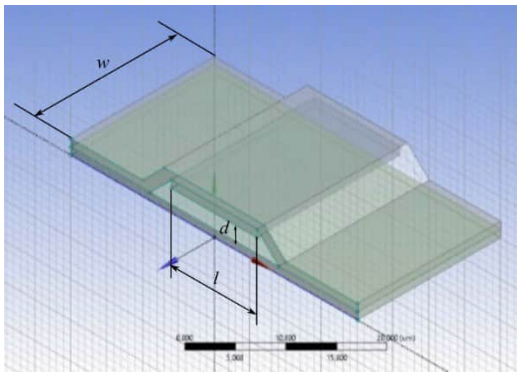
- Površinski kapacitivni senzori pritiska koriste kapacitivne senzore sa pločastom konfiguracijom. Kada se primeni pritisak na površinu senzora, menja se rastojanje između ploča senzora, što se koristi za merenje pritiska.
- Mikromehanički kapacitivni senzor pritiska koriste mikromehaničke strukture, kao što su membrane. Kada se primeni pritisak na membranu senzora, menja se razdaljina između pokretnog i fiksiranog provodnog sloja, što rezultira promenom kapaciteta senzora.
- Piezoelektrični kapacitivni senzori pritiska koriste piezoelektrične materijale koji generišu električni napon kada su izloženi mehaničkom pritisku. Ovaj električni napon se zatim koristi za merenje pritiska. Iako nisu čisto kapacitivni, često su povezani sa kapacitivnim senzorima.

Zbog svoje preciznosti, kapacitivni senzori pritiska su široko korišćeni u mnogim industrijama i aplikacijama. Za početak, često su korišćeni u medicinskim uređajima. Najviše se koriste u respiratorima, monitorima vitalnih funkcija, injekcionim pumpama i mnogim drugim uređajima za praćenje i kontrolu pacijenta. Pored medicinske tu je i automobilska industrija, gde se kapacitivni senzori koriste za merenje pritiska u sistemima za naduvavanje vazdušnih jastuka, sistemima za kontrolu pritiska u pneumaticima, sistemu za dotok ulja, sistem za nadzor pritiska goriva i drugim aplikacijama. U domaćinstvu, kapacitivnih senzora najviše ima u aparatima kao što su aparati za espreso, uređaji za pranje veša, za pranje posuđa kao i u sistemima za kontrolu klime. Pored uređaja u kući koje svakodnevno koristimo, kapacitivne senzore možemo pronaći i u mobilnim telefonima i tabletima. Koriste se za merenje pritiska na ekranu ili za detekciju sila pritiska natasterima i senzitivnim površinama.

III. SIMULACIJA MEMS KAPACITIVNOG SENZORA PRITISKA

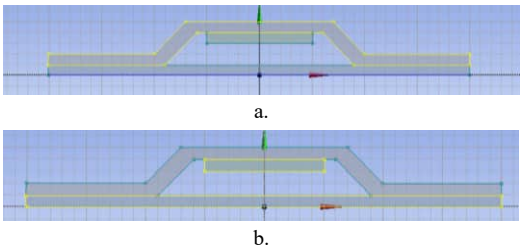
Razmatrani MEMS kapacitivni senzor pritiska predstavlja sklop gde se na osnovnoj bakarnoj pločici, koja predstavlja nepokretnu elektrodu, nalazi silicijumska membrana u obliku mosta na čijoj se donjoj površini nalazi druga (pokretna) bakarna elektroda. Između elektroda je vazduh. Pod dejstvom pritiska na gornju stranu membrane, ona se ugiba zajedno sa bakarnom elektrodom čime se menja međuelektrodno rastojanje i kapacitivnost strukture. Simulacija je izvršena za slučaj kada na senzor deluje pritisak od 100 MPa.

Cilj simulacija je odrediti koja geometrija senzora je najosetljivija, odnosno kako se njegova kapacitivnost menja sa promenom dimenzija gornje elektrode i rastojanja između elektroda. Početna razmatrana struktura ima dužinu osnove 40 μm, dužinu pokretne bakarne pločice l = 12 μm, širinu pokretne bakarne pločice i same strukture w = 20 μm a rastojanje između dve bakarne pločice kada ne deluje pritisak d = 2 μm. Geometrija ove strukture senzora prikazana je na slici 2.



Slika 2. Geometrija početne razmatrane strukture senzora pritiska.

Tip analize koji odgovara razmatranom problemu je StaticStructural. Definisanje parametara materijala izvršeno je u kartici Engineering Data, gde smo definisali dva materijala: silicijum koji ima Jungov modul elastičnosti E = 130 GPa i Poasonov koeficijent koji iznosi 0,1; bakar koji ima Jungov modul elastičnosti E = 140 GPa i Poasonov koeficijent 0,34. Nakon definisanja materijala sledi postupak kreiranja geometrije strukture. U kartici Geometry otvaramo Design Modeler, podešavamo jedinicu mere na μm i započinjemo crtanje strukture. Obzirom na to da se senzor sastoji od silicijumskog nosećeg mosta i dve bakarne ploče, za realizaciju njegove geometrije potrebna su dva odvojena crteža. Prvi crtež predstavlja poprečni presek nosećeg mosta (slika 3a) a drugi poprečne preseke bakarnih ploča (slika 3b). Nakon što smo strukturu skicirali, potrebno je da od nje načinimo 3D model. Za dobijanje potpune 3D geometirje koristićemo opciju Extrude kojom ćemo pojedinačno za obe skice (silicijumska membrana u obliku mosta i bakarne elektrode) postaviti w = 20 μm i klikom na Generate dobijamo potpunu 3D geometriju koja je prikazana na slici 2. Moramo voditi računa da u delu Modeling naznačimo da se radi o dva odvojena tela a to radimo tako što umesto Add Material koristimo opciju Add Frozen. Za smer u kome će se komanda Extrude izvršiti biramo Reversed umesto Normal kako bi se geometrija strukture formirala u pravcu suprotnom od pavca Z ose.



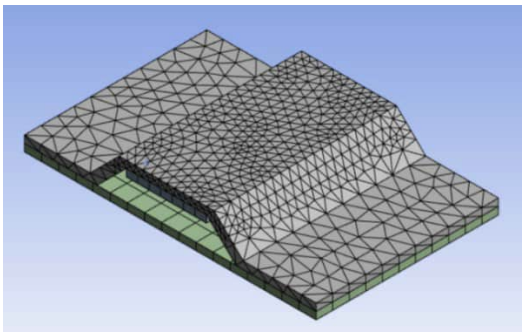
a.

b.

Slika 3. Naznačena geometrija a. nosećeg mosta, b. bakarnih pločica.

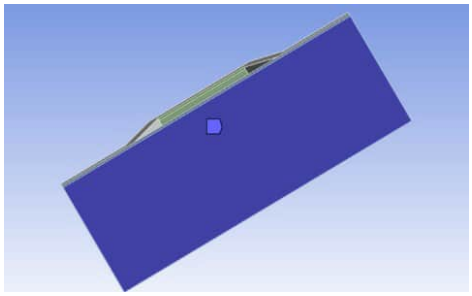
Nakon što smo završili sa projektovanjem u Design Modeler-u otvaramo deo programa koji se odnosi na simulaciju. U Modeler delu, prethodno definisane materijale

dodeljujemo strukturi i generišemo mrežu na strukturi. Prilikom generisanja mreže moramo obratiti pažnju na deo strukture na koji se primenjuje pritisak, odnosno na gornju površinu mosta i samu gornju pločicu. Taj deo strukture se ugiba i deformisanje geometrije zahteva da mreža na tom delu strukture mora biti gušća i finija kako bi se dobili tačniji rezultati simulacije. Simulaciona mreža prikazana je na slici 4.



Slika 4. Prikaz gustine simulacione mreže.

U kartici Analysis Settings se zadaju opšti uslovi simulacije, tj. temperatura pri kojoj se vrši simulacija. U razmatranom slučaju ostavljena je podrazumevana vrednost od 25°C. Granični uslov simulacije zahteva fiksiranje donje osnove cele strukture jer se senzor oslanja na nju. To radimo selektovanjem donjeg dela strukture, biranjem kartice Support i klikom na Fixed Support. Fiksiranje osnove strukture je prikazano na slici 5.

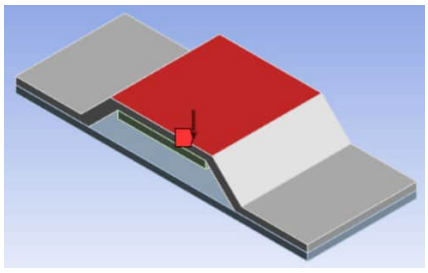


Slika 5. Fiksiranje donjeg dela strukture.

Primenjeno opterećenje na strukturu predstavlja dejstvo pritiska na gornji deo nosećeg mosta. Selektovanjem ove površine, biranjem kartice Load i klikom na Pressure postavljamo pritisak kao opterećenje (slika 6a) a u odgovarajućem prozoru podešavamo njegovu vrednost na 100 MPa (slika 6b).

IV. Rezultati i analiza

Kada smo podesili sve parametre simulacije, klikom na Solve pokrećemo simulaciju. Parametri kojima menjamo vrednosti prilikom simulacija su: rastojanje između gornje i donje bakarne pločice (originalna je d = 2 μm a u simulaciji biće korišćena i d = 3 μm), dužina gornje bakarne pločice (originalna je l = 12 μm a u simulaciji biće korišćena l = 10 μm kao i širina celokupne strukture (početna vrednost je w = 20 μm a korišćene su i w = 15 μm i 25 μm). Rezultati simulacije koji su od interesa za analizu su totalna deformacija, odnosno ugibanje gornje bakarne pločice i maksimalno naprezanje koje se javlja u strukturi. Ugibanje pločice omogućava određivanje relativne promene kapacitivnosti senzora. Vrednost maksimalnog naprezanja u strukturi predstavlja parametar kojim se proverava strukturna celovitost senzora pri primenjenom pritisku. Na slikama 7a i 7b prikazani su rezultati simulacije za originalnu strukturu. Na slici 8 prikazana je simulacija gredice sa izmenjenim parametrima w = 15 μm i d = 3 μm. Primenjena je ista jačina pritiska, 100 MPa. Struktura sa ovim parametrima ima najmanje ugibanje. Najveće ugibanje ima struktura sa slike 9 sa parametrima l = 12 μm, w = 25 μm i d = 3 μm.



a.

Details of "Pressure"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Pressure
Define By	Normal To
Applied By	Surface Effect
Loaded Area	Deformed
Magnitude	1,e+008 Pa (ramped)
Suppressed	No

b.

Slika 6. a. Primena pritiska na strukturu, b. Podešavanje vrednosti pritiska.

Kada su simulacije izvršene, potrebno je analitički odrediti promenu kapacitivnosti koja se dogodila nakon primene sile na gredicu. Treba napomenuti da ovi proračuni podrazumevaju aproksimaciju ravnomernog ugibanja gornje bakarne pločice celom dužinom. Relativna promena kapacitivnosti računa se pomoću formule:

$$\sigma C = \frac{C - Co}{C_0} \tag{1}$$

Kapavitivnost pre primenjenog pritiska C_0 računa se:

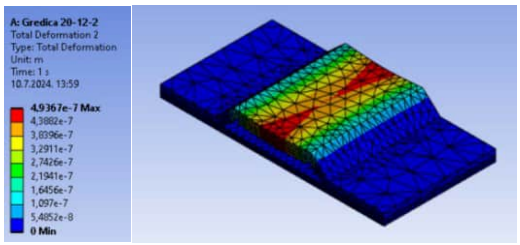
$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \tag{2}$$

U izrazu (2), ε_0 je dielektrična konstanta vakuuma i iznosi $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m, a A=l·w predstavlja površinu pokretne bakarne pločice i parametri l, w i d označeni na slici 2. Kapacitivnost senzora nakon primenjenog pritiska računa se:

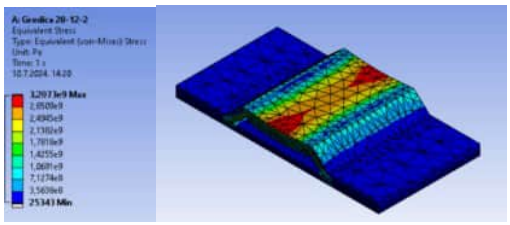
$$C = \varepsilon \frac{A}{d-x} \tag{3}$$

U izrazu (3), x predstavnja ugibanje gredice nakon što je na nju primenjen pritisak i taj parametar očitavamo iz rezultata simulacije.

Kapacitivnost pre primene pritiska za početnu strukturu iznosi: $1{,}062 \cdot 10^{-15}$ F. Parametar x očitan iz simulacije iznosi 0,49 μm tako da je kapacitivnost posle primene pritiska $1{,}406 \cdot 10^{-15}$ F. Relativna promena kapacitivnosti gredice čija je širina 20 μm, razmak između bakarnih pločica 2 μm, a dužina gornje bakarne pločice je 12 μm iznosi 32%. U tabeli I su dati rezultati simulacije i odgovarajući proračuni na osnovu izraza (1)-(3) za sve razmatrane strukture.

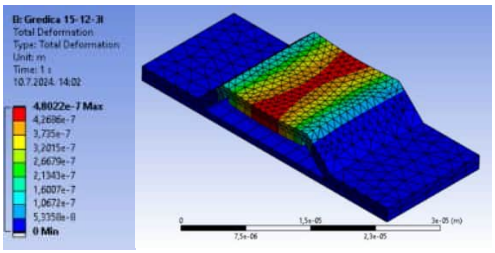


a.

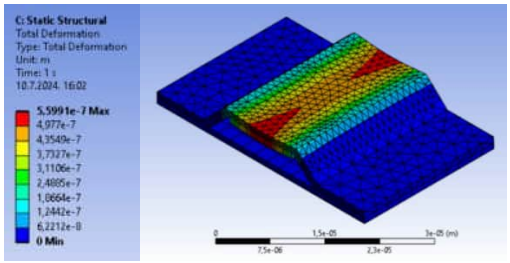


b.

Slika 7. Rezulati za originalnu strukturu: a. deformacija, b. naprezanje.



Slika 8. Rezultati simulacije za struktura sa najmanjim ugibanjem (l = 12 µm, w = 15 µm, d = 3 µm).



Slika 9. Rezultati simulacije za struktura sa najvećim ugibanjem (l = 12 µm, w = 25 µm, d = 3 µm).

Iz rezultata simulacije možemo videti da najmanje ugibanje ima senzor sa parametrima l = 12 µm, w = 15 µm, d = 3 µm a najveće ugibanje ima senzor sa parametrima l = 12 µm, w = 25 µm, d = 3 µm. Relativna promena kapacitivnosti najveća je kod strukture sa parametrima l = 10 µm, w = 15 µm, d = 2 µm a najmanja kod senzora sa parametrima l = 12 µm, w = 15 µm, d = 3 µm. Možemo zaključiti da je najosetljivija struktura senzora sa parametrima l = 10 µm, w = 15 µm, d = 2 µm jer pokazuje najveću relativnu promenu kapacitivnosti po dejstvom zadatog pritiska. Maksimalno naprezanje očitano iz simulacije je najveće kod senzora sa parametrima l = 12 µm, w = 25 µm, d = 3 µm i locirano je na silicijumskoj membrani. Vrednost ovog naprezanja iznosi 3,5 GPa a to je značajno ispod granice elastičnosti definisane za silicijum koja iznosi 5 GPa. Time je potvrđena strukturna stabilnost membrane pod dejstvom date vrednosti pritiska od 100 MPa.

TABELA I. REZULTATI SIMULACIJE RAZMATRANIH STRUKTURA SENZORA

Dimenzije senzora	Maksimalno ugibanje x (µm)	Relativna promena kapacitivnosti σC (%)	Maksimalno naprezanje u strukturi (GPa)
l = 12 µm, w = 20 µm, d = 2 µm	0,49	32	3,20
l = 12 µm, w = 15 µm, d = 3 µm	0,48	19	3,10
l = 12 µm, w = 25 µm, d = 3 µm	0,56	23	3,5
l = 10 µm, w = 25 µm, d = 2 µm	0,513	34	3,34
l = 10 µm, w = 15 µm, d = 2 µm	0,515	35	3,41
l = 10 µm, w = 15 µm, d = 3 µm	0,53	21	3,20

V. ZAKLJUČAK

Simulacija MEMS kapacitivnog senzora pritiska korišćenjem softvera ANSYS Workbench Multiphysics omogućava određivanje promene međuelektrodnog rastojanja i maksimalnog naprezanja u ovoj strukturi pod dejstvom pritiska. Realizacijom simulacija za strukture sa izmenjenim vrednostima geometrijskih parametara moguće je utvrditi optimalan dizajn ovakvog senzora. Osim toga, moguće je proveriti da li pri mehaničkom naprezanju usled dejstva pritiska senzor zadržava strukturnu celovitost, odnosno funkcionalnost nakon prestanka delovanja opterećenja.

LITERATURA

[1] Aneta Prijić, „Projektovanje mikrosistema – Slajdovi sa predavanja“, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet 2024.

[2] Vesna Paunović, “Tehnologije mikrosistema – Literatura”, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, 2024.

[3] ANSYS Workbench – Dostupno na: https://www.ansys.com/products/ansys-workbench

[4] Kapacitivni sezori pritiska – Dostupno na: https://www.automatika.rs/baza-znanja/senzori/kapacitivni-senzor.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.181T
Original scientific paper

Analiza temperaturne zavisnosti rada kola za regulaciju napona sa Zenerovom diodom

Anđela Tanić
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
andjela.tanic@elfak.rs
ORICD: N/A

***Sadržaj*—Ovaj projekat istražuje uticaj temperature na promenu parametara Zenerove diode. Pri promeni temperature dolazi do promene mnogih faktora. U ovom radu je opisano kako se menja Zenerov napon, kao i maksimalna snaga koja se disipira na diodi. Izvršena je analiza rada kola za regulaciju napona sa Zenerovom diodom iz familije BZX55C sa nazivnim naponom V_Z=6,8 V na sobnoj temperaturi i temperaturi od 75 °C.**

Ključne reči—Zenerova dioda, LTSpice, kolo za regulaciju napona

I. UVOD

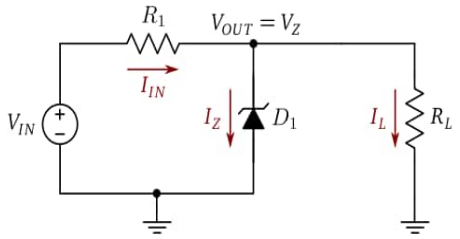
Zenerove diode svoju funkcionalnost obavljaju prvenstveno pri inverznoj polarizaciji, u oblasti proboja, kada kroz njih protiče značajna struja, ali se napon održava konstantnim. Karakteristika Zenerovih dioda je da se vrednost Zenerovog napona značajno menja sa promenom temperature. Pri tome, u zavisnosti od tipa diode, temperaturni koeficijent može da ima i pozitivnu i negativnu vrednost. Ova osobina ograničava primenu Zenerovih dioda u kolima gde treba da obezbede stabilnu vrednost napona u širem temperaturnom opsegu. Zenerove diode sa nazivnim naponom manjim od 5 V imaju negativan temperaturni koeficijent, dok Zenerove diode sa nazivnim naponom većim od 5 V imaju pozitivan temperaturni koeficijent.

Kola za regulaciju napona sa Zenerovom diodom održavaju stabilnu vrednost izlaznog napona nezavisno od promene ulaznog napona ili opterećenja. Samo opterećenje je paralelno vezano sa Zenerovom diodom tako da varijacije Zenerovog napona direktno utiču na vrednost napona na njemu. Za pravilan rad kola za regulaciju je neophodno da vrednosti ulaznog napona i opterećenja budu u okviru određenih granica. Ove granice su definisane vrednostima otpornih elemenata u kolu, ali i promenama Zenerovog napona i maksimalne dozvoljene snage disipacije diode sa promenama temperature [1].

II. PRINCIP RADA KOLA ZA REGULACIJU NAPONA

Kolo za regulaciju napona sa Zenerovom diodom koristi se za održavanje stabilnog izlaznog napona, nezavisno od promene ulaznog napona ili opterećenja. Ovo kolo je ilustrovano na slici 1.

Katoda Zenerove diode je povezana sa pozitivnim polom DC napajanja V_{IN}, čime je inverzno polarisana i postavljena u stanje proboja. Dioda je paraleleno vezana sa opterećenjem R_L tako da je napon na njemu jednak Zenerovom naponu $V_{OUT}=V_Z$ kada dioda radi u oblasti proboja. Maksimalna struja koja može da prolazi kroz kolo je ograničena izborom otpornika R_1 [2].



Slika 1. Kolo za regulaciju napona sa Zenerovom diodom.

Kako bi Zenerova dioda stalno regulisala napon, odnosno bila u provodnom stanju, a u okviru dozvoljene disipacije, postoje ograničenja vezana za vrednost izvora napona ili vrednost otpornosti opterećenja. Ova ograničenja su po pitanju minimalnih vrednosti R_L i V_{IN} definisana naponskim razdelnikom koji čine otpornici R_L i R_1. Maksimalne vrednodti R_L i V_{IN} su određene maksimalnom snagom disipacije Zenerove diode. Naime, ne sme se dozvoliti da proizvod VZ·IZ u bilo kom trenutku premaši PZM=Ptot [3].

Za fiksno V_{IN}, minimalna vrednost otpornosti R_{Lmin} je određena iz izraza (1):

$$R_{L\min} = \frac{R_1 \cdot V_Z}{V_{IN} - V_Z} \tag{1}$$

Maksimalna vrednost R_{Lmax} se određuje na osnovu uslova $I_Z=I_{IN}-I_L=P_{ZM}/V_Z$, odnosno:

$$\frac{V_{IN} - V_Z}{R_1} - \frac{V_Z}{R_{L\max}} = \frac{P_{ZM}}{V_Z}$$

$$R_{L\max} = \frac{V_Z}{\frac{V_{IN} - V_Z}{R_1} - \frac{P_{ZM}}{V_Z}} \tag{2}$$

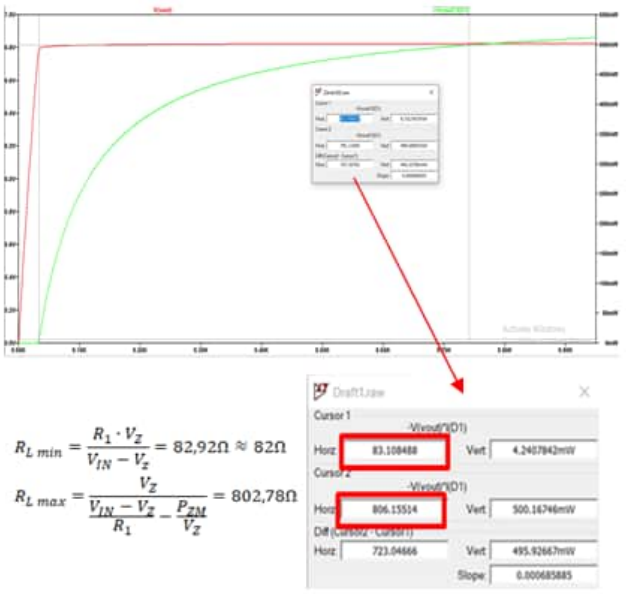
Za fiksno R_L minimalna vrednost izvora V_{INmin} je određena izrazom (3):

$$V_{IN\min} = \frac{(R_L + R_1) \cdot V_Z}{R_L} \quad (3)$$

Maksimalna vrednost V_{INmax} se određuje na osnovu uslova $I_Z = P_{ZM}/V_Z$ i $V_{INmax} = R_1 \cdot I_{INmax} + V_Z$, odnosno:

$$V_{IN\max} = R_1 \cdot (\frac{V_Z}{R_L} + \frac{P_{ZM}}{V_Z}) + V_Z \quad (4)$$

Analitičkim proračunom i kroz simulacije koje su izvršene u simulatoru LTSpice određeni su uslovi pod kojima bi kolo ispravno radilo na dve razmatrane temperature. Razmatrana su dva slučaja: prvo se razmatra opseg vrednosti R_L za koje kolo pravilno funkcioniše pri fiksnoj vrednosti ulaznog napona V_{IN}=15 V; drugi slučaj se odnosi na dozvoljeni opseg vrednosti V_{IN} ako je R_L=500 Ω. U oba slučaja otpornik za ograničenje ulazne struje ima vrednost R_1=100 Ω.



Slika 2. Opseg vrednosti R_L pri fiksnoj vrednosti V_{IN} na T_0=27 °C.

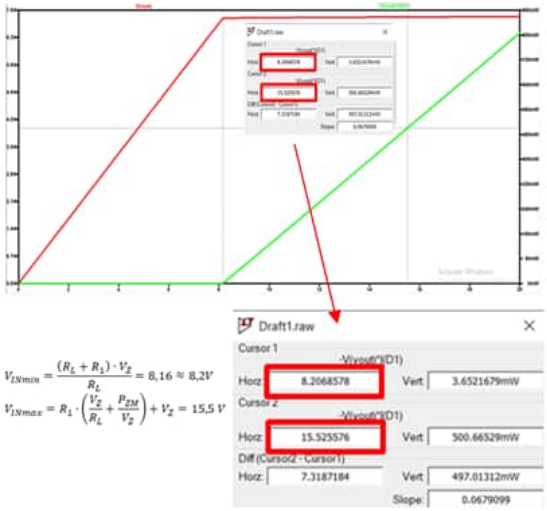
Promena Zenerovog napona na temperaturi od 75°C iznosi, na osnovu formule za izračunavanje temperaturnog koeficijenta:

$$\Delta V_Z = \frac{T_{CZ}}{100} \cdot \Delta T \cdot V_Z = \frac{0.05 \frac{\%}{°C}}{100\%} \cdot (75 - 25)\,°C \cdot 6.8\,V = 1.7V \quad (5)$$

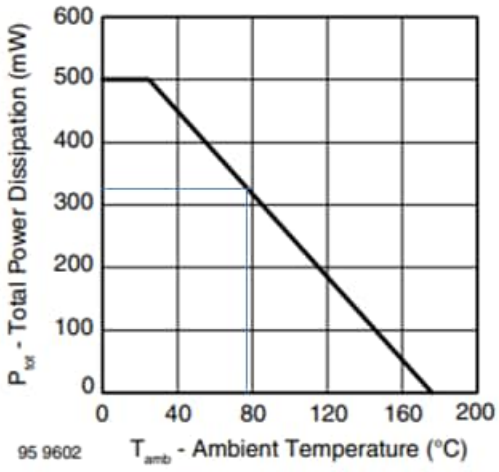
tako da se za Zenerov napon dobija:

$$V_Z(75\,°C) = 6.8\,V + 0.17\,V = 6.97\,V \quad (6)$$

Prilikom određivanja maksimalnih vrednosti otpornosti potrošača i ulaznog napona potrebno je voditi računa o maksimalnoj snazi koja sme da se disipira na diodi pri temperaturi od 75 °C. Zavisnost maksimalne snage disipacije u funkciji temperature na osnovu tehničke specifikacije je data na slici 4. Na temperaturi od 75 °C je P_{ZM}=P_{tot}=325 mW.

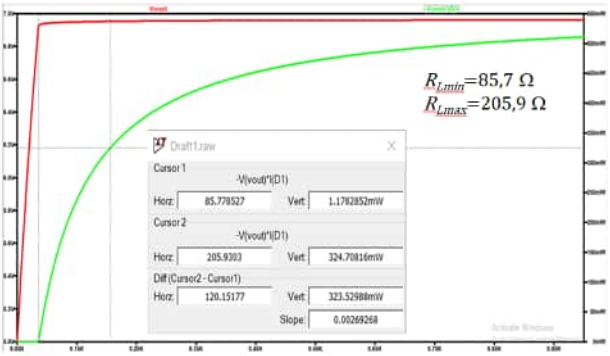


Slika 3. Opseg vrednosti V_{IN} pri fiksnoj vrednosti V_{IN} na T_0=27 °C.



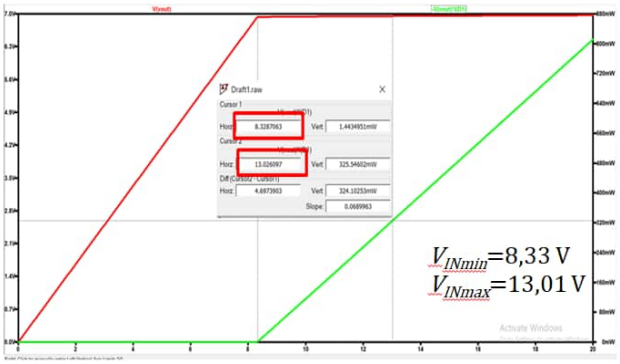
Slika 4. Maksimalna snaga disipacije Zenerove diode u funkciji temperature [4].

$R_{L\,min} = 86{,}8\Omega \approx 87\Omega$
$R_{L\,max} = 206{,}99\Omega \approx 207\Omega$



Slika 5. Opseg vrednosti R_L pri fiksnoj vrednosti V_{IN} na T_0=75 °C.

$V_{INmin} = 8{,}364 \approx 8{,}4V$
$V_{INmax} = 13{,}03\ V$



Slika 6. Opseg vrednosti V_{IN} pri fiksnoj vrednosti R_L na T_0=75 °C.

U radu je izvršeno određivanje temperaturnog koeficijenta Zenerove diode, odnosno određeno je kako se menja Zenerov napon sa promenom temperature za diodu sa nazivnim naponom od 6,8 V.

Formula za određivanje temperaturnog koeficijenta data je izrazom (7):

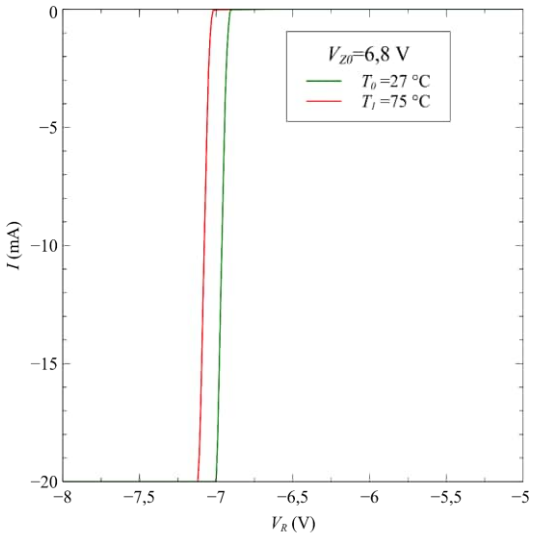
$$T_{CZ} = \frac{\Delta V_Z / V_Z}{T - T_0} \cdot 100\,[\%/^\circ C] \qquad (7)$$

gde je V_Z nominalni Zenerov napon na sobnoj temperaturi, a ΔV_Z promena Zenerovog napona usleg promene temperature. U radu je eksperimentalno određen temperaturni koeficijent Zenerove diode sa nazivnim naponom 6,8 V. Eksperimentalno određivanje temperaturnog koeficijenta Zenerove diode je izvršeno na osnovu njenih strujno-naponskih karakteristika pri inverznoj polarizaciji snimljenih na T_0=27°C i T_1=75°C. Snimanje karakteristika je izvršeno automatski, na računarom vođenom analizatoru oznake Agilent 4156C. Određivanje T_{CZ} izvršeno je pomoću izraza (5) pri testnoj struji od I_{ZT}=3 mA. Ova vrednost testne struje je izabrana kao srednja vrednost na osnovu podataka iz tehničke dokumentacije.

Iz merenih podataka za I=3 mA preuzimamo vrednosti veličina neophodnih za proračun temperaturnog koeficijenta ove diode. Vrednosti su: V_Z(27 °C)=6,94 V i V_Z(75 °C)=7,05 V. Za T_{CZ} se dobija:

$$T_{CZ} = \frac{\frac{7.05\ V - 6.94\ V}{6.8\ V}}{75\ ^\circ C - 25\ ^\circ C} \cdot 100 = 0.034\ \%/^\circ C \qquad (8)$$

Na slici 7 je prikazana strujno-naponska karakteristika Zenerove diode pri inverznoj polarzaciji na dve različite temperature. Sa strujno-naponske karakteristike se može videti da sa porastom temperature raste i Zenerov napon, odnosno da Zenerove diode sa nazivnim naponom većim od 5 V imaju pozitivan temperaturni koeficijent.



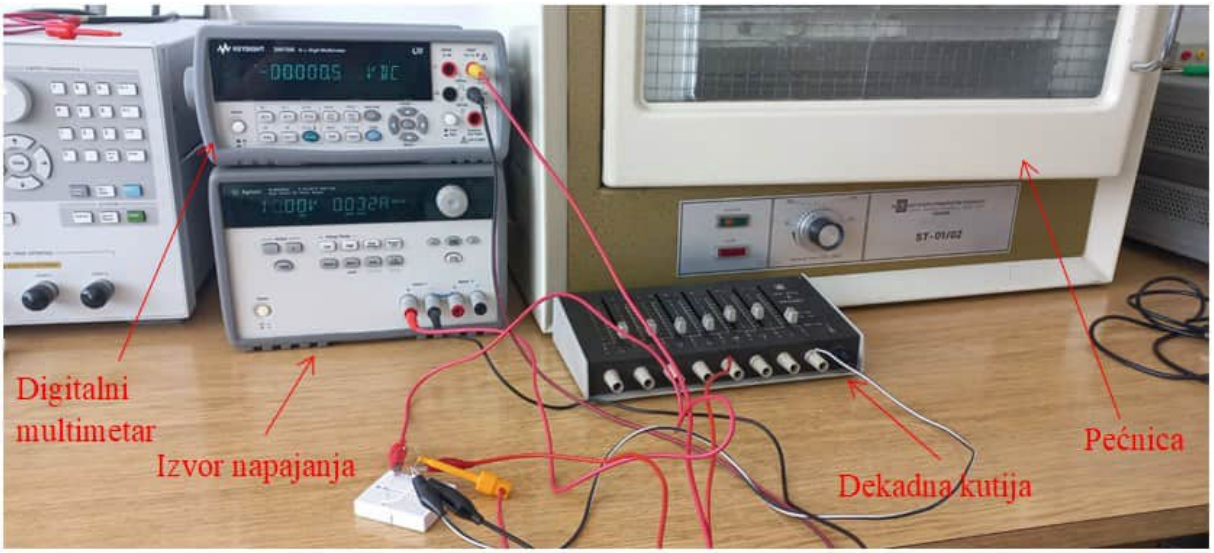
Slika 7. Strujno-naponska karakteristika Zenerove diode pri inverznoj polarizaciji na dve razmatrane temperature.

III. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA RADA KOLA ZA REGULACIJU NAPONA

Rad kola za regulaciju napona sa Zenerovom diodom je testiran u kontrolisanim laboratorijskim uslovima. Korišćena je Zenerova dioda sa nominalnim Zenerovim naponom V_Z=6,8 V, izvor napajanja, digitalni multimetar i dekadna otporna kutija kao opterećenje promenljive vrednosti. Za testiranje na temperaturi od 75 °C korišćena je pećnica kako bi se postigla željena temperatura. Na slici 8 je prikazano okruženje gde je eksperiment sproveden.

Prvo je postavljena vrednost napona DC izvora V_{IN}=0 V, a zatim se lagano povećava vrednost napona do 12 V. Pomoću digitalnog voltmetra su očitane vrednosti izlaznog napona V_{OUT} pri fiksnoj vrednosti otpornosti opterećenja. Naredni korak u eksperimentu bio je postavljanje vrednosti ulazog napona na fiksnu vrednost od V_{IN}=10 V, a umesto otpornika R_L je postavljena dekadna kutija. Vrednost V_{IN} je postavljena na 10 V umesto 15 V zbog ograničenja vezanog za disipaciju snage na otporniku R_1. Menjanjem vrednosti otpornika R_L određen je izlazni napon V_{OUT}.

Da bi se postigla temperatura od 75°C, kolo sa Zenerovom diodom je ubačeno u pećnicu. I postupak određivanja uslova pri kojima kolo radi ispravno je ponovljen kao na sobnoj temperaturi.



Slika 8. Postavka eksperimenta.

Vrednosti koje su dobijene eksperimentalnim putem se poklapaju sa vrednostima koje su dobijene analitičkim proračunom, kao i sa vrednostima dobijenim kroz simulaciju, kao što je prikazano na slici 9. Rad kola za regulaciju napona sa Zener diodom pri različitim temperaturama se najbolje može analizirati poređenjem R_{Lmin} i V_{INmin} vrednosti datih na slici 9. Prikazane su vrednosti minimalne vrednosti opterećenja i ulaznog napona pri kojima kolo radi kao ragulator napona. Prikazane su vrednosti dobijenje analitičkim putem, simulacijom i eksperimentalno. Odatle se vidi da bi kolo ispravno radilo potrebne su veće vrednosti otpornosti otpornika i ulaznog napona.

	T=27°C		T=75°C	
Parametar	R_{Lmin} (Ω)	V_{INmin} (V)	R_{Lmin} (Ω)	V_{INmin} (V)
analitika	82	8,2	87	8,4
simulacija	83	8,2	86	8,3
eksperiment	220 (V=10 V)	8,3	240 (V=10 V)	8,5

Slika 9. Poređene vrednosti R_{Lmin} i V_{INmin} na dve razmatrane temperature.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je analiza uticaja temperature na promenu parametara Zenerove diode. Teorijski obrađeni parametri su zatim kroz analitički proračun, simulacije i eksperiment potvrđeni. Odnosno, došlo se do zaključka da će se sa promenom temperature promeniti i Zenerov napon. Takođe, prilikom projektovanja kola za regulaciju napona potrebno je voditi računa o tome da se sa povećanjem temperature snaga koju dioda disipira takođe menja.

U industrijskim uslovima, gde se temperature značajno menjaju, potrebno je uzeti u obzir te varijacije kako bi se obezbedila stabilnost napona i rada kola u širokom temperaturnom opsegu. Na primer, u sistemima za napajanje u telekomunikacijama ili u preciznim instrumentima kao što su osciloskopi ili računarski serveri, gde je stabilnost napona kritična za rad uređaja. Temperaturne varijacije mogu uticati na preciznost Zenerove diode, što može izazvati greške u radu uređaja.

ZAHVALNICA

Najveću zahvalnost dugujem svom mentoru, prof. dr Aneti Prijić, na neizmernoj podršci, smernicama i pomoći tokom izrade rada.

LITERATURA

[1] A. Prijić, D. Danković, Z. Prijić, "Uvod u poluprovodničke komponente i njihovu primenu", Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, 2020.

[2] J. Gurjar, M. Gurjar, S. Nitharwal, "Theory & Application of Zener Diode in Electrical & Electronics Circuits", International Journal of Research, vol. 04, no 14, pp. 83-87, Nov. 2017.

[3] A. Prijić, "Poluprovodničke komponente"- izvodi sa predavanja, Dostupno on-line: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/Poluprovodnicke-komponente-diode-2021.pdf

[4] https://www.vishay.com/docs/85604/bzx55.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.185U
Original scientific paper

Kalibracija fotootpornika

Jovan Urošević
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
jovan.urosevic@elfak.rs
ORCID: N/A

David Hristov
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
david.hristov@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* – Ovaj rad opisuje jednu varijaciju kola za kalibraciju fotootpornika korišćenjem *Arduino Uno* mikrokontrolera. Dalji tekst će pokriti funkcionalnost upotrebljenih komponenata, konstrukciju kola, kod unet u *Arduino Uno* okruženje, i proces kalibracije**.

Ključne reči—fotootpornik, kalibracija, Arduino Uno, osetljivost.

I. Uvod

Fotootpornik (Slika 1) je pasivna komponenta koju karakteriše njena električna otpornost. Za razliku od običnog otpornika, otpornost fotootpornika je inverzno proporcionalna sa intenzitetom osvetljenosti koja obasjava fotoosetljivu površinu fotootpornika. Fotootpornik je izrađen od fotoosetljivog materijala koji apsorbuje fotone, čija energija je dovoljna da broj elektrona pređe u provodnu zonu, time povećavši provodnost, tj. smanjivši otpornost fotootpornika. Otpornost fotootpornika može varirati od nekoliko megaoma do svega par stotina oma i menja se nelinearno sa osvetljenošću.

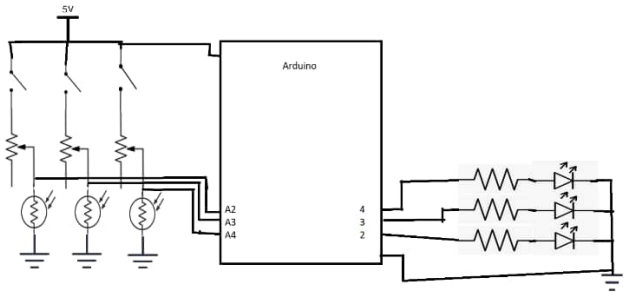


Slika 1. Primer fotootpornika.

Na to koliki će efekat imati osvetljenost na otpornost fotootpornika utiče dužina krive linije koja predstavlja prostor između elektroda na površini fotootpornika. Što je ta linija duža, to će fotootpornik biti osetljiviji na osvetljenost.

II. Princip rada i realizacija

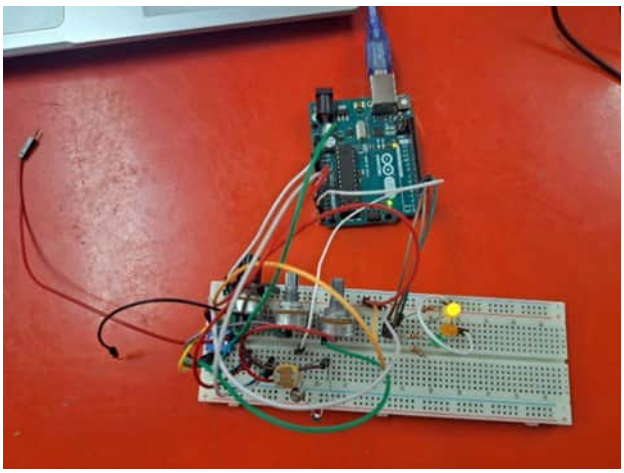
Za kalibraciju fotootpornika se koristi kolo na Slici 2. Sastoji se iz *Arduino Uno* mikrokontrolera, prekidača, napajanja, 3 potenciometra, 3 fotootpornika, 3 otpornika od 220 Ω i 3 LE diode.



Slika 2. Kolo za kalibraciju fotootpornika.

Potenciometri služe za regulisanje naponskog razdelnika, otpornici služe za ograničavanje struje kroz LE diode koje služe kao indikatori. Svi fotootpornici su različitih modela: PGM5549 [1], PGM5539-MP [2] i PCD20 [3]. Prekidačem se selektuje koji fotootpornik se kalibriše. Potenciometar i fotootpornik formiraju naponski razdelnik, promenom otpornosti potenciometra se menja i napon na fotootporniku. Napon na fotootporniku se očitava preko analognih pinova *Arduino Uno* mikrokontrolera A2, A3 i A4. Realizovana je i vizuelna indikacija napona na fotootpornicima, i to pomoću LE dioda, tako što se putem digitalnih pinova 2, 3 i 4 *Arduino Uno* mikrokontrolera dovodi visok naponski nivo na anodu određene LE diode. Za napon između 3,9 V i 4,1 V, svetlost će emitovati srednja LE dioda, dok će za napone manje od 3,9 V i veće od 4,1 V svetlost emitovati leva i desna LE dioda, respektivno. Zatim se za napone na fotootporniku u opsegu od 3,7 V do 5 V, sa korakom od 0,1 V, meri i beleži otpornost potenciometra. Uređaj za kalibraciju fotootpornika je prikazan na Slici 3.

Usled velike svetlosne osetljivosti fotootpornika i neadekvatne maksimalne otpornosti potenciometara, opseg merenja je ograničen. Ovaj postupak se ponavlja za sva 3 modela fotootpornika. Neophodno je držati osvetljenost prostorije u kojoj se vrši kalibracija konstantnom, kao i rastojanje fotootpornika od izvora svetlosti, kako bi rešenja bila pouzdana.



Slika 3. Uređaj za kalibraciju fotootpornika.

Primena *Arduino Uno* mikrokontrolera u uređaju je sledeća: očitava napon na fotootpornicima preko pinova A2, A3 ili A4. Softverski se vrši A/D konverzija očitane vrednosti i ona se ispisuje. Zatim, u skladu sa tom vrednošću se na pin 2, 3 ili 4 dovodi *High* naponski nivo, kako bi odgovarajuća LE dioda emitovala svetlost. Ove diode služe samo kao dodatni vizuelni indikator i nemaju uticaj na kalibraciju fotootpornika. Unutar *Arduino* okruženja je unet sledeći kod:

```
#define LED1 2
#define LED2 3
#define LED3 4
#define napon1 A2
#define napon2 A3
#define napon3 A4
#define lowLimit 0.3
#define lowThreshold 3.9
#define highThreshold 4.1
int digNap1, digNap2, digNap3;
float anaNap1, anaNap2, anaNap3;
void setup() {
pinMode(LED1, OUTPUT);
pinMode(LED2, OUTPUT);
pinMode(LED3, OUTPUT);
pinMode(napon1, INPUT);
pinMode(napon2, INPUT);
pinMode(napon3, INPUT);
digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
Serial.begin(9600);
}
```

```
void loop() {
  digNap1 = analogRead(napon1);
  digNap2 = analogRead(napon2);
  digNap3 = analogRead(napon3);
  anaNap1 = digNap1*0.00489;
  anaNap2 = digNap2*0.00489;
  anaNap3 = digNap3*0.00489;

  if(anaNap1>2){
    Serial.print("Napon1 je ");
    Serial.println(anaNap1);
    if(anaNap1<lowThreshold){
      levo();
    } else if(anaNap1>highThreshold){
      desno();
    }else{
      centar();
    }
  }
if(anaNap2>2){
  Serial.print("Napon2 je ");
  Serial.println(anaNap2);
  if(anaNap2<lowThreshold){
  levo();
}else if(anaNap2>highThreshold){
  desno();
}else{
  centar();
}
  }
if(anaNap3>2){
  Serial.print("Napon3 je ");
  Serial.println(anaNap3);
  if(anaNap3<lowThreshold){
levo();
}else if(anaNap3>highThreshold){
  desno();
}else{
centar();
}
}
delay(1000);
  }
```

```
void levo () {
  digitalWrite(LED1, HIGH);
  digitalWrite(LED2, LOW);
  digitalWrite(LED3, LOW);
}
void desno () {
  digitalWrite(LED1, LOW);
  digitalWrite(LED2, LOW);
  digitalWrite(LED3, HIGH);
}
void centar () {
  digitalWrite(LED1, LOW);
  digitalWrite(LED2, HIGH);
  digitalWrite(LED3, LOW);
}
```

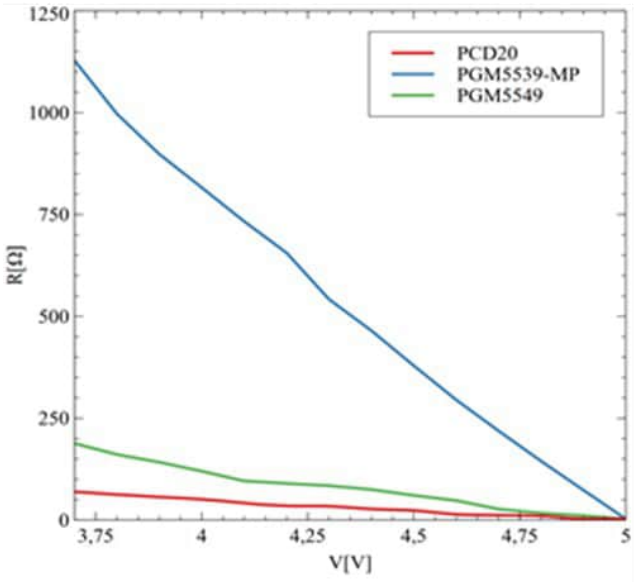
III. Analiza

Pri standardnom dnevnom podnevnom osvetljenju je vršena kalibracija fotootpornika, u gore navedenom opsegu. Izmerene vrednosti potenciometara su zabeležene u Tabeli I.

Tabela I. Otpornosti različitih potenciometara sa naponom

	PGM5549	PGM5539-MP	PCD20
3,7V	188 Ω	1128 Ω	69,4 Ω
3,8V	161 Ω	997 Ω	62,7 Ω
3,9V	142 Ω	898 Ω	56,7 Ω
4V	120 Ω	816 Ω	51 Ω
4,1V	96 Ω	733 Ω	41,8 Ω
4,2V	90 Ω	656 Ω	35 Ω
4,3V	84,5 Ω	542 Ω	34 Ω
4,4V	75 Ω	465 Ω	27,2 Ω
4,5V	60,6 Ω	379 Ω	23,5 Ω
4,6V	48 Ω	295 Ω	14,2 Ω
4,7V	27 Ω	219 Ω	12 Ω
4,8V	17,4 Ω	145 Ω	10,3 Ω
4,9V	11,2 Ω	73,5 Ω	3,2 Ω
5V	2,9 Ω	2,9 Ω	2,9 Ω

Velike varijacije vrednosti otpornosti potenciometra ukazuju na različite osetljivosti fotootpornika. Model PCD20 ima najveću fotoosetljivu površinu, pa se i očekuje najveća osetljivost, što je i evidentno iz tabele I. Zavisnost napona na fotootporniku od otpornosti potenciometra je grafički prikazana na Slici 4.



Slika 4. Grafički prikaz odnosa napona fotootpornika i otpornosti potenciometra.

IV. Zaključak

Upotreba ovakve konfiguracije za kalibraciju fotootpornika jeste relativno jeftino i prosto rešenje za realizaciju, ali je neophodno najpre osigurati konstantan intenzitet osvetljenosti radi preciznih merenja. Model PGM5539-MP ima hermetičko kućište, dok su PGM5549 i PCD20 zaliveni epoxy smolom.

Literatura

[1] Specifikacije komponente PGM5549, Dostupno na: https://www.micros.com.pl/mediaserver/info-orrpgm5549.pdf

[2] Specifikacije komponente PGM5539-MP, Dostupno na: https://www.datasheet4u.com/datasheet-pdf/Token/PGM5539-MP/pdf.php?id=711177

[3] Specifikacije komponente PCD20, Dostupno na: https://www.wtsensor.com/data/upload/20220802/62e8aecb0bc8f.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.189R
Original scientific paper

Uređaj za podešavanje ambijentalnih uslova prostorije

Nenad Radivojević
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nenad.radivojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu obrađen je postupak od početne ideje do krajnje realizacije sistema u obliku uređaja za podešavanje ambijentalnih uslova prostorije. Uređaj ima svrhu u obezbeđivanju automatskog uključivanja i isključivanja osvetljenja i ventilatora, kao i mogućnost njihovog manuelnog korišćenja uz pomoć tastera. Korisnički interfejs je integrisan na OLED displeju i prikazuje vrednosti temperature i relativne vlažnosti vazduha, stanje u kome se sistem nalazi i informaciju o tome da li je uključen automatski mod. Svi ulazni podaci od kojih zavisi stanje sistema se očitavaju sa senzora temperature i vlažnosti vazduha, kao i konfiguracije fotootpornika, uz pomoć koje se očitava trenutni nivo osvetljenosti u prostoriji.**

Ključne reči—ambijentalni uslovi, temperatura, vlažnost, osvetljenje, uređaj.

I. UVOD

Cilj ovog rada jeste razvoj i sama implementacija sistema za automatsko podešavanje ambijentalnih uslova prostorije, koji je baziran na STM32F103C8T6 *ARM Cortex-M3* [1] procesorskoj arhitekturi integrisanoj na razvojnom okruženju koje se popularno zove *STM32 Blue Pill*, u kombinaciji sa nizom senzora i izvršnih uređaja. Kao senzorski blokovi sistema se mogu izdvojiti senzor temperature i vlažnosti vazduha DHT11 [2] i konfiguracija fotootpornika koja detektuje nivo osvetljenosti prostorije. Na osnovu prikupljenih podataka, sistem automatski upravlja relejom, koji uključuje ili isključuje ventilator tako simulirajući klima uređaj i dva TLC5925 drajvera [3] za uključivanje odgovarajućeg broja LED svetiljki u zavisnosti od spoljašnjeg osvetljenja. U okviru sistema takođe postoji SSD1306 OLED ekran [4] uz pomoć koga korisnici mogu u realnom vremenu pratiti trenutne vrednosti podataka očitanih sa senzora i status sistema. Na kraju, da bi sistem zadovoljio sve moguće zahteve korisnika, postoje tri tastera za upravljanje sistemom preko kojih se mogu definisati stanja u kojima se sistem može nalaziti, pa samim tim pretvaraju sistem u konačni automat.

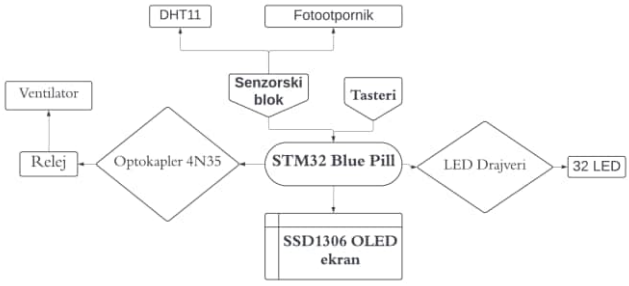
Za programiranje ovog sistema korišćena su dva softverska alata koja su u potpunosti kompatibilna sa *STM32 Blue Pill* razvojnim okruženjem: *STM32CubeMX [5]* i *Keil uVision* [6].

Zatim je dalja implementacija sistema nastavljena projektovanjem odgovarajuće štampane ploče uz pomoć softverskog alata *Altium Designer* [7], dok je na kraju, za kreiranje odgovarajuće kutije koja će na najbolji način zaštititi i predstaviti štampanu ploču, korišćen je softverski alat S*olid Edge 202*2 [8].

II. IDEJA FUNKCIONISANJA SISTEMA

A. Povezivanje svih komponenti

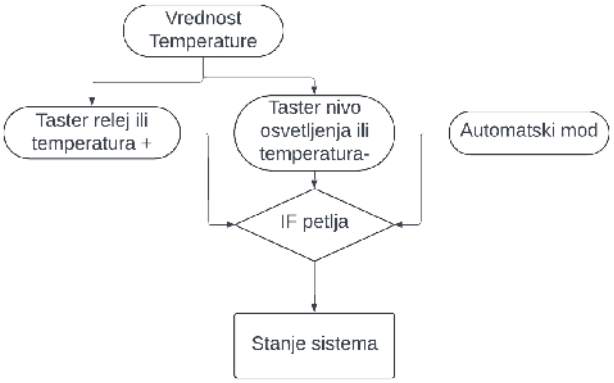
Na početku je bilo potrebno sve delove sistema spojiti preko STM32 Blue Pill-a i proto-ploče. Blok šema svih povezanih delova sistema data je na slici 1.



Slika 1. Strukturna šema sistema.

B. Logika o funkcionisanju tastera

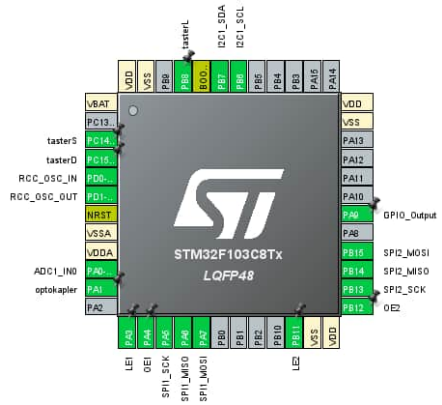
Realizovanje logike koja je povezana sa pravljenjem automata koji se kontroliše uz pomoć tastera, vođeno je idejom o jednostavnosti i pouzdanosti korisničkog interfejsa. U početnom trenutku, kada je sistem bio uključen, taster koji se nalazio levo služio je za manuelno uključivanje i isključivanje ventilatora, taster u sredini za manuelno podešavanje broja uključenih svetiljki, dok je taster desno služio kao taster za uključivanje i isključivanje automatskog moda sistema, od kojeg su zavisili levi i srednji taster. Kada je desni taster bio pritisnut i kada se ušlo u automatski mod, levi i srednji taster su dobijali ulogu tastera za podešavanje željene vrednosti temperature, a ventilator se pokretao u zavisnosti od te vrednosti, dok je uključivanje svetiljki bilo potpuno automatizovano. Strukturni dijagram logike tastera dat je na slici 2.



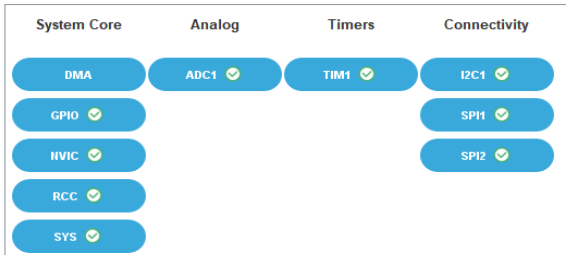
Slika 2. Dijagram logike o tasterima.

III. PODEŠAVANJA U OKVIRU PROGRAMA *STM32CUBEMX*

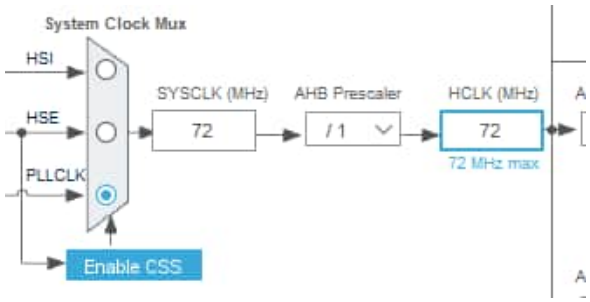
Programiranje sistema prvenstveno je obavljeno u alatu *STM32CubeMX* i to uz pomoć tehničke dokumentacije *STM32 Blue Pill-a* radi odabira svih pinova koji imaju mogućnost obavljanja potrebnih funkcija. Za komunikaciju sa TLC5925 drajverima i OLED SSD1306 displejem su korišćeni SPI i I2C protokoli, redom. Frekvencija taktnog signala postavljena je na 72 MHz radi obezbeđivanja pravilnog rada sistema i osiguravanja pouzdane komunikacije sa DHT11 senzorom čija se komunikacija sa mikrokontrolerom obavlja preko jednog pina. Slanje informacija se u toj komunikaciji ogleda u različitom trajanju logičke jedinice podatka i to u vremenskom intervalu koji je reda µS. Na slici 3. prikazan je izgled izabranih izlaznih pinova na STM32F103C8T6 mikrokontroleru. Konfiguracija svih korišćenih periferijskih komunikacionih jedinica i eksternih pinova se može videti na slici 4. Krucijalni deo konfiguracije taktnog signala se može videti na slici 5.



Slika 3. *Pinout* u okviru programa STM32CubeMX.



Slika 4. Konfiguracija periferijskih jedinica STM32CubeMX.



Slika 5. Deo iz prozora za kofiguraciju taktnog signala u okviru softverskog alata *STM32CubeMX.*

Nakon izvršenja ovih podešavanja, uz pomoć ovog alata je odrađen je postupak generisanja odgovarajućeg koda je dalje razvijen u okviru programa *Keil uVision.*

IV. KEIL UVISION PROGRAMIRANJE

Keil uVision je integrisano razvojno okruženje koje se koristi za razvoj softvera za mikrokontrolere zasnovane na ARM (*Advanced Risc Machine*) arhitekturi, među kojima je i ranije pomenuta *ARM-Cortex-M3* koja je integrisana u okviru STM32F103C8T6 mikrokontrolera.

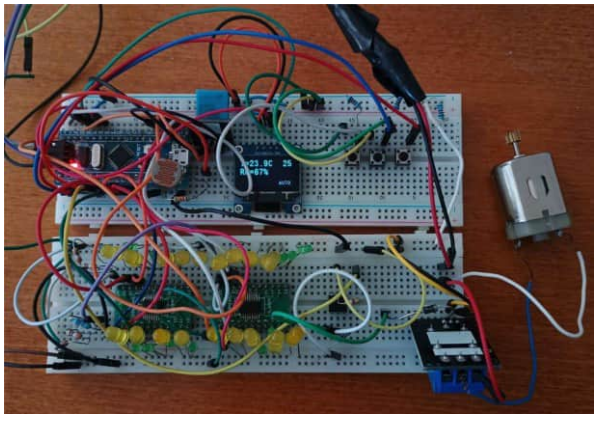
Sve funkcije napisane u okviru ovog dela softverske realizacije predstavljaju obrasce za načine komunikacija i slanje podataka delovima sistema i njihove karakteristike su preuzete iz tehničkih dokumentacija korišćenih komponenata.

Glavni deo koda predstavlja sklop *IF* petlji od kojih zavisi izlazno stanje sistema. Jedina dodatno potrebna stvar koju je bilo potrebno omogućiti jeste postojanje praćenja realnog vremena u toku rada uređaja. Ovo je odrađeno uz pomoć funkcije HAL_GetTick( ) koja uvek kada se izvrši kao povratnu informaciju prosledi trenutno vreme sistema. Ona je iskorišćena radi otklanjanja *bouncing* efekta prilikom pritiskanja tastera i određivanja trajanja naponske jedinice prilikom komunikacije sa DHT11 senzorom temperature i vlažnosti vazduha.

V. EKSPERIMENTALNO TESTIRANJE RADA SISTEMA

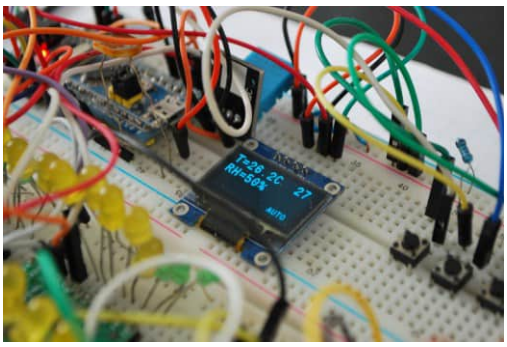
Glavni cilj testiranja sistema podrazumevao je višestruku proveru funkcionalnosti periferija, uključujući softversku implementaciju, tehničku ispravnost konfiguracije povezanih komponenata na proto ploči, kao i električnu izdržljivost sistema u pogledu napajanja.

Prvenstveno, prilikom testiranja sistema izvršeno je fizičko povezivanje svih njegovih delova na proto ploči slika 6.



Slika 6. Sistem povezan na proto ploči.

Na slici 7. se može videti izgled korisničkog interfejsa dok se sistem nalazi u automatskom modu predstavljen na SSD1306 OLED displeju.



Slika 7. Izgled korisničkog interfejsa na SSD1306 OLED displeju.

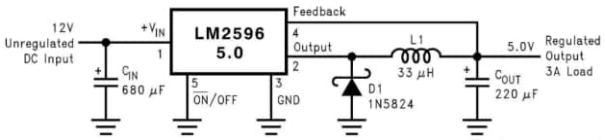
Zatim je izvršeno testiranje softverske implementacije i to kroz detaljnu proveru svakog pojedinačnog dela sistema, paralelno sa praktičnim ispitivanjem povezanih komponenata na proto ploči. Ovim pristupom rešeni su pojedinačni problemi vezani za ispravnost povezivanja i potvrđena uspešnost komunikacije između mikrokontrolera i svih periferijskih jedinica.

Jedini problem koji ovim načinom nije bilo moguće rešiti predstavljalo je nedovoljno snažno napajanje iz razloga što sistem treba da uključi 32 LE diode i DC motor koji je korišćen u simulativne svrhe umesto eksternog ventilatora. Taj problem je kasnije rešen dodavanjem još jednog ulaznog izvora napajanja od 5 V radi stabilizacije napona. Ovime se došlo do zaključka da je prilikom projektovanja štampane ploče za ovaj uređaj potrebno još konstruisati napajanje koje će biti dovoljno stabilno da obezbedi pouzdan i stabilan rad čitavog sistema, kao i kreirati dovoljno široke linije veza između kritičnih delova sistema.

VI. Projektovanje napajanja

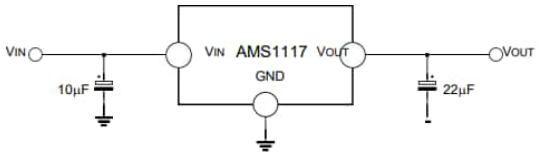
Da bi se osiguralo stabilno napajanje za svaku komponentu uređaja, potrebno je konstruisati elektroniku koja će to omogućiti. Za početak se za izvorno napajanje koristi gotov adapter koji ispravlja napon sa 220 V, 60 Hz, na 12 V DC. Pošto se u ovom projektu koriste tri naponska nivoa: od 3.3 V, za mikrokontroler i senzore, 5 V, za aktuatorske delove sistema, i 12 V, za ventilator, potrebno je taj ulazni napon stabilizovati na još 2 naponska nivoa i to počevši od naponskog nivoa od 5 V.

Najpogodniji način za rešenje ovog problema jeste postavljanje odgovarajućeg prekidačkog izvora napajanja koje je u ovom slučaju realizovano kao *step-down* (Buck) konvertor. Nakon istraživanja tehničkih dokumentacija nekoliko ovakvih konvertora zaključeno je da je najpogodniji za ovu aplikaciju konvertor LM2596 [9]. Ovaj konvertor poseduje mogućnost napajanja opterećenja od 3 A, a radi na osnovu unutrašnjeg oscilatora koji poseduje fiksnu frekvenciju od 150 kHz. Prilikom projektovanja štampane ploče korišćena je varijanta sa fiksnim naponom od 5 V u kućištu TO-263-5 (SMD varijanti), koje poseduje 5 pinova. Još jedan od razloga zbog kojeg je korišćena ova vrsta konvertora jeste izbegavanje prevelike disipacije toplote i potreba za pravljenjem dodatnog hladnjaka. Tipična konfiguracija ovog konvertora data je na slici 8.



Slika 8. Tipična konfiguracija LM2596 naponskog regulatora.

Na ovaj način je realizovan napon od 5 V koji je sada potrebno dodatno regulisati da bi se zadovoljili zahtevi rada mikrokontolera STM32F103C8T6, koji se isključivo napaja naponom od 3.3 V. Da bi se to postiglo iskorišćen je linearni izvor napajanja (LDO) AMS1117-3.3 [10], koji praktično već postoji na razvojnom okruženju *STM32 Blue PIll* pa je zbog toga iskorišćen. Tipičan način povezivanja ovog naponskog regulatora može se videti na slici 9.



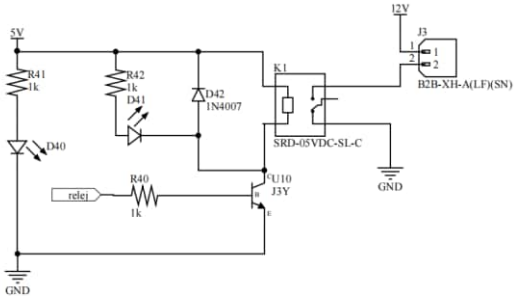
Slika 9. Tipična konfiguracija AMS1117 naponskog regulatora.

VII. Projektovanje štampane ploče u okviru programa Altium Designer

A. Crtanje šema

Da bi se moglo pristupiti samom projektovanju štampane ploče prvenstveno je potrebno nacrtati električne šeme. Za crtanje šema u okviru programa Altium Designer korišćene su tehničke dokumentacije komponenata i mikrokontrolera, ali prvenstveno je korišćeno iskustvo stečeno prilikom eksperimentalnog istraživanja i realizovanja sistema na proto ploči. Celokupna električna šema je data na slici 10. koja se nalazi na sledećoj strani, dok će u vidu šeme date u nastavku biti obrađena konfiguracija releja.

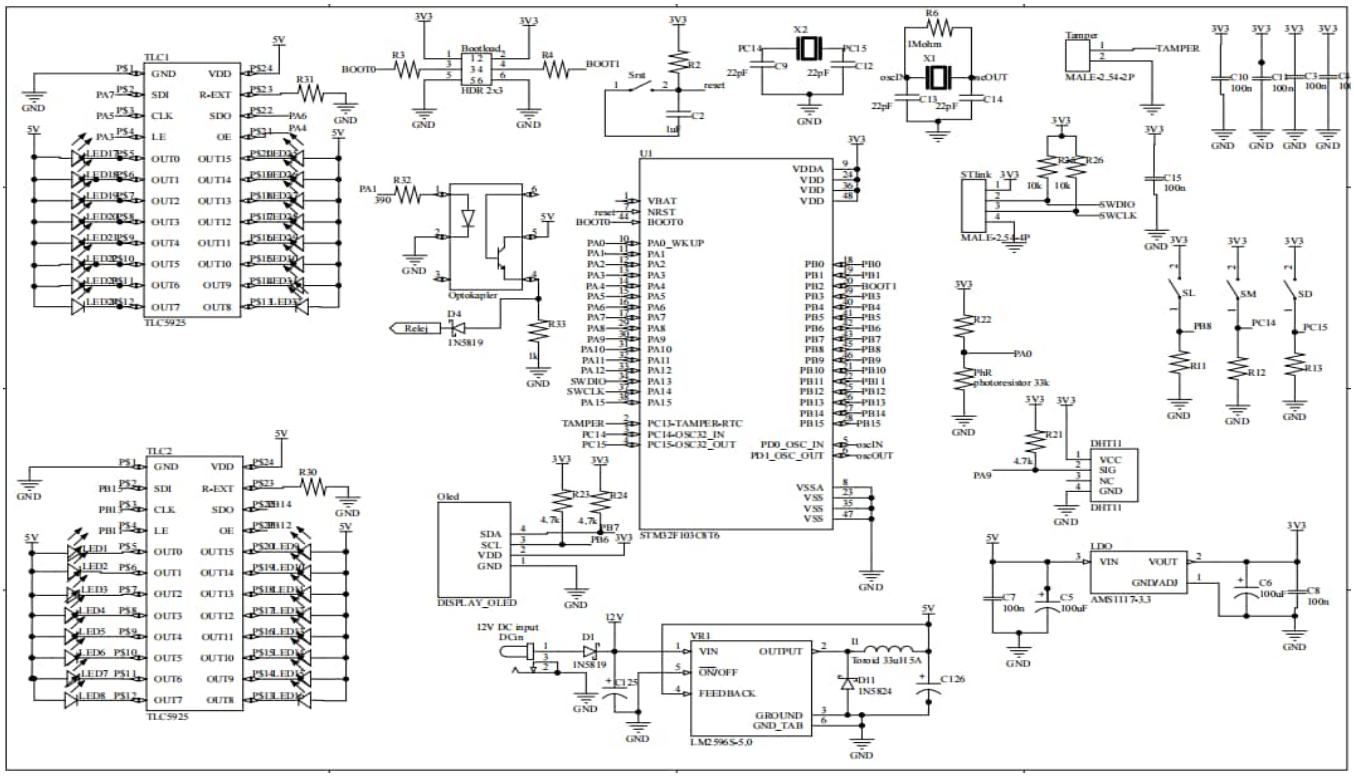
Relej koji je korišćen prilikom realizacije sistema na proto ploči, integrisan je na posebnoj štampanoj ploči da bi bio kompatibilan sa *Arduino* razvojnim okruženjima. Na toj ploči se osim releja nalazi konfiguracija zaštitnih i indikatorskih dioda, bipolarni tranzistor i otpornici da bi ograničili struju. Šema ove konfiguracije, koja je takođe integrisana na samoj štampanoj ploči, preuzeta je sa *Arduino* foruma [11], slika 11.



Slika 11. Šema konfiguracije releja iz programa *Altium Designer*.

Ova konfiguracija releja je povezana sa mikrokontrolerom preko optokaplera 4N35 i direktno polarisane 1N5819 šotki diode, da bi se osigurala dobra galvanska izolacija i sprečila mogućnost dovođenja signala inverzne polarizacije.

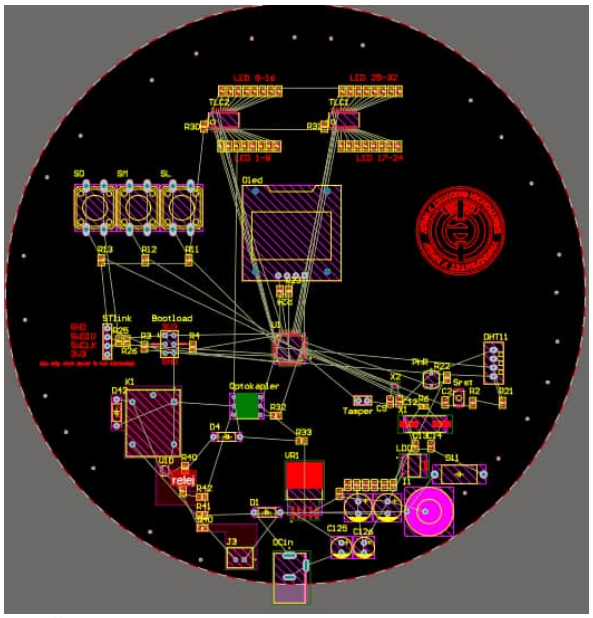
Na ovaj način završeno je crtanje šema pa se moglo pristupiti pravljenju štampane ploče.



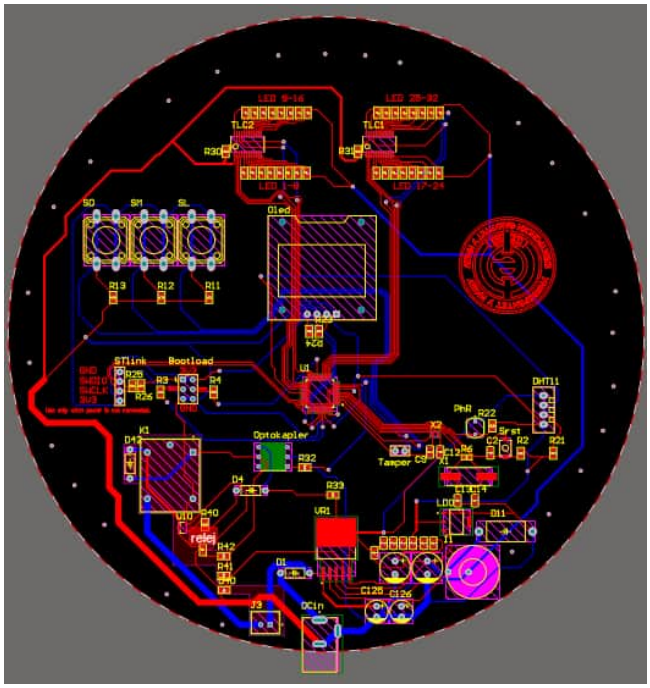
Slika 10. Šema svih periferijskih jedinica i mikrokontorera.

B. Postavljanje komponenata na ploču i razlivanje mase

Sve komponente su postavljene na štampanu ploču u skladu ideje o projektovanju odgovarajućeg napajanja i osiguranju pouzdanog funkcionisanja mikrokontrolera, kao i posvećivanju prostora komunikacionim linijama na samoj ploči radi smanjivanja mogućnosti za međusobnu interferenciju signala. Izgled štampane ploče pre izvršenog rutiranja dat je na slici 12, dok je izgled štampane ploče posle izvršenog rutiranja dat na slici 13. Linije koje su na slici 13. obojene plavom bojom predstavljaju linije veze koje se nalaze sa donje strane štampane ploče (*Bottom Layer*), dok su one koje su obeležene crvenom bojom realizovane sa gornje strane ploče (*Top Layer*).



Slika 12. Štampana ploče pre izvršenog rutiranja.

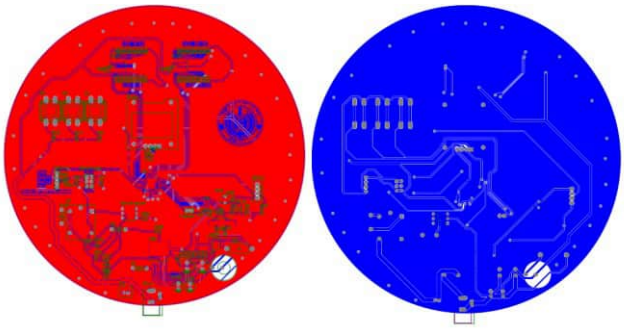


Slika 13. Štampana ploča nakon izvršenog rutiranja.

Poslednji deo obavljen pre razlivanja mase preko čitave štampane ploče jeste postavljanje vija, to jest rupa koje prespajaju gornji i donji deo ploče na kojima je posebno razlivena masa. One su postavljene na više mesta uz ivicu ploče. Uvek kada se vrši postavljanje vija potrebno je postaviti što više njih jer se na taj način smanjuje parazitna otpornost između gornje i donje razlivene mase.

Razlivanje mase predstavlja veoma bitan aspekt prilikom projektovanja štampanih ploča zbog više faktora koji utiču na performanse i stabilnost sistema. Jedan od ključnih razloga je smanjenje elektromagnetnih smetnji (EMI). Naime, kada je masa pravilno razlivena po ploči, ona stvara

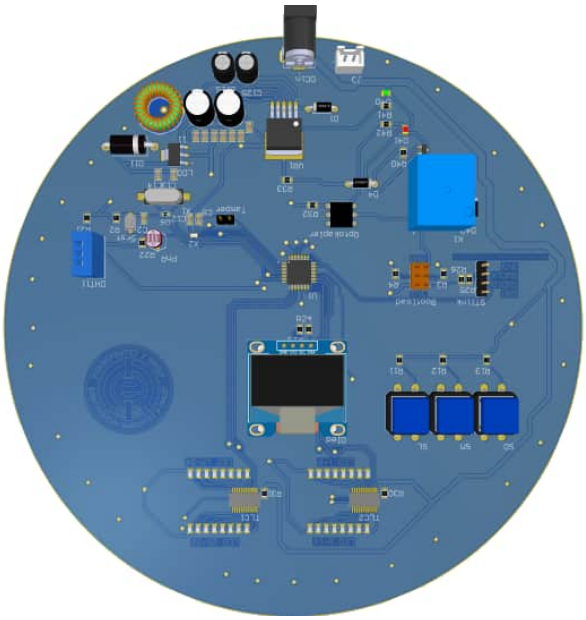
veliki bakarni „štit“ koji pomaže u suzbijanju šuma i elektromagnetnih interferencija koje mogu uticati na osetljive signale i komponente. Masa omogućava da se struje vraćaju kroz nju, čime se sprečava širenje smetnji i poboljšava integritet signala. Pored toga, razlivanje mase doprinosi poboljšanju sistema uzemljenja jer veći bakarni slojevi omogućavaju bolji protok struje kroz zajedničku referentnu tačku. Još jedna prednost razlivanja mase jeste smanjenje induktivnosti povratnih staza. Ukoliko povratne linije nemaju odgovarajući sloj mase ispod sebe, induktivnost se može povećati, što može dovesti do problema u funkcionisanju uređaja, posebno kod viših frekvencija. Razlivena masa pomaže da se ova induktivnost minimizira i time se održava stabilnost signala. Takođe, razlivanje mase poboljšava disipaciju toplote. Bakar je dobar provodnik toplote, pa veći slojevi bakra na ploči omogućavaju efikasnije odvođenje toplote sa komponenti koje se zagrevaju, kao što su naponski regulatori koji su korišćeni u ovom uređaju. Na slici 14. se može videti izgled štampane ploče sa gornje i sa donje strane nakon razlivanja mase.



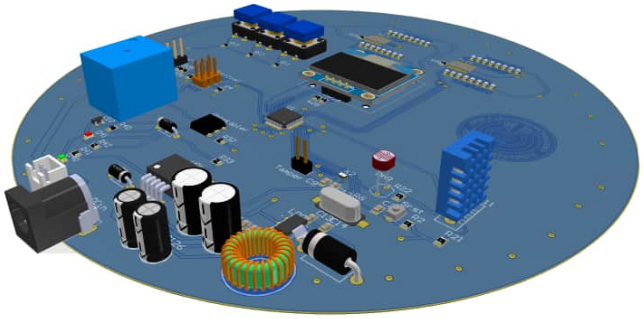
Slika 14. Izgled razlivene mase sa gornje i donje strane ploče.

C. Izgled štampane ploče u 3D

Na slikama 15. i 16. prikazan je 3D izgled štampane ploče.



Slika 15. Izgled 3D modela štampane ploče pogledom odozgo.

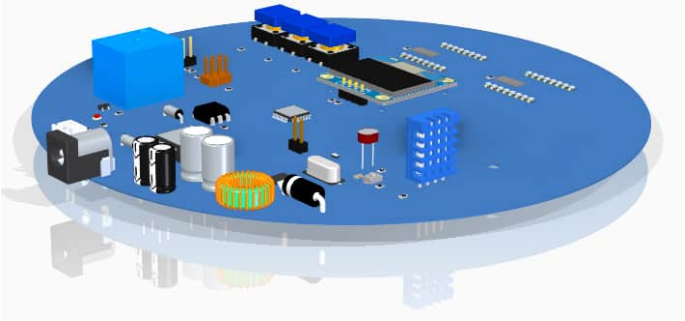


Slika 16. Izgled 3D modela štampane ploče pogledom sa strane.

VIII. PROJEKTOVANJE KUTIJE U OKVIRU ALATA SOLID EDGE

Solid Edge predstavlja složen softverski alat koji može služiti za najrazličitije vrste inženjerskih rešenja, ali sa stanovišta elektronike se koristi za 3D modelovanje elektronskih kućišta, kreiranje nosača za štampane ploče i dizajn elektromehaničkih komponenti. U okviru izrade ovog uređaja dizajnirano kućište je najviše imalo svoj reprezentativni i zaštitni katatkter, kako bi izrađena štampana ploča najbolje bila predstavljena.

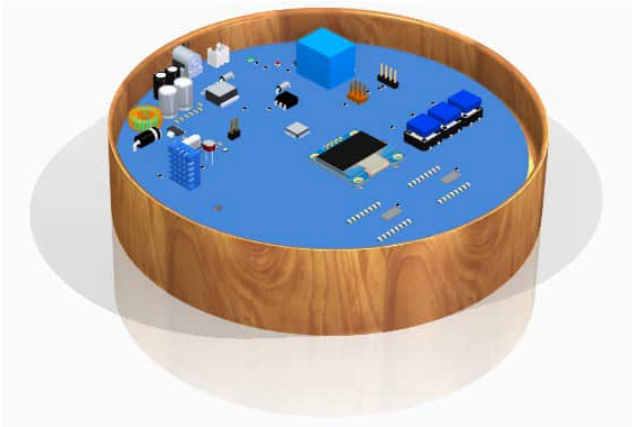
Na slici 18. se može videti izgled štampane ploče u okviru alata Solid Edge 2022. Na slici 17. se može videti izgled napravljene odgovarajuće kutije. Na slici 19. se može videti izgled gotovog proizvoda.



Slika 17. Izgled štampane ploče u alatu Solid Edge 2022.

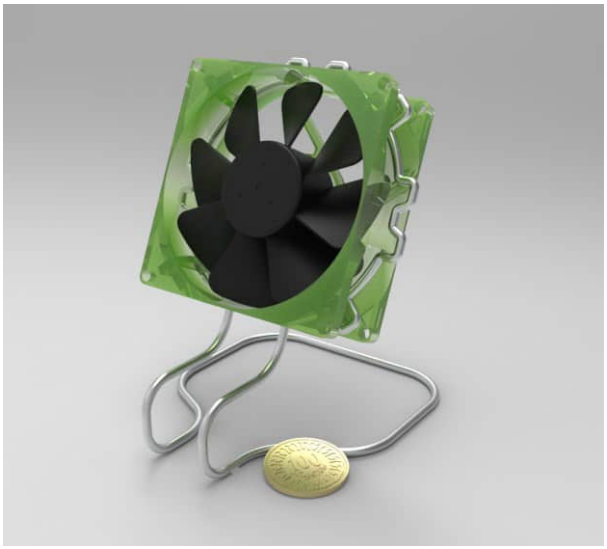


Slika 18. Izgled kutije u alatu Solid Edge 2022.



Slika 19. Izgled gotovog proizvoda u alatu Solid Edge 2022.

Jedina stvar koja nedostaje ovom uređaju jeste ventilator koji je zamišljen da bude realizovan eksterno, to jest da se na priključi na konektor koji je rezervisan za njega pa da se može ručno podešavati njegov položaj. Na slici 20. prikazan je izgled eksternog ventilatora.



Slika 20. Eksterni ventilator.

IX. Zaključak

U okviru ovog rada obrađen je kompletan proces razvoja projekta, od početne ideje do finalne realizacije. Razmatrani su svi bitni aspekti, uključujući odabir i analizu komponenti, programiranje mikrokontrolera, fizičku integraciju sistema i eksperimentalno testiranje. Tokom ovog procesa, rad je ukazao na značaj pravilne primene komunikacionih protokola i programiranja u integraciji različitih modula i senzora, kao i važnost optimalnog dizajna štampanih ploča za pouzdanost i funkcionalnost uređaja. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja potvrdili su uspešnost predloženih rešenja i otkrili oblasti koje mogu biti unapređene u budućim verzijama projekta. Izrada odgovarajuće reprezentativne i zaštitne kutije doprinela je kako zaštiti uređaja, tako i njegovoj estetskoj i funkcionalnoj vrednosti.

Što se tiče eventualnih unapređenja sistema moguće je dodavanje senzora za detekciju prisutnosti korisnika, ili senzora za detekciju pokreta. Ovi senzori bi omogućili sistemu da automatski detektuje prisustvo korisnika u prostoriji i tome prilagodi parametre rada uređaja. Pored toga, integracija senzora za detekciju pokreta može omogućiti preciznije upravljanje sistemom, gde bi uređaj reagovao na kretanje, pa bi se time moglo automatski uključiti osvetljenje. Takođe, umesto korišćenja klasičnih ventilatora, moguće je integrisati invertor klima uređaj. Ovaj dodatak bi pružio širi opseg mogućnosti kontrole temperature u prostoriji, omogućavajući ne samo hlađenje, već i zagrevanje. Sa invertorom, sistem bi mogao automatski podešavati temperaturu prostorije na osnovu unetih želja korisnika i aktuelnih uslova u prostoriji, čime bi se obezbedilo konstantno održavanje optimalne temperature, bilo da je potrebno hlađenje leti ili grejanje zimi.

Zahvalnica

Posebnu zahvalnost izražavam prof. dr Danijelu Dankoviću pod čijim je mentorstvom ovaj uređaj realizovan, kao i mast. inž. Nikoli Mitroviću i doc. dr Milošu Marjanoviću za pomoć prilikom realizacije projekta kao i prilikom realizacije ovog pisanog rada.

Literatura

[1] STM32F103 Datasheet. Dostupno na: https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00161566.pdf

[2] Tehnička specifikacija za DHT11. Dostupno na: https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf

[3] Tehnička specifikacija za TLC5925 LED driver. Dostupno na: https://www.ti.com/product/TLC5925

[4] Tehnička specifikacija za SSD1306, DigiKey Electronics. Dostupno na:https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/2047793/0/0/1/ssd1306.html

[5] Softverski alat *STM32CubeMX*, STMicroelectronics. Dostupno na: https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html

[6] Softverski alat Keil Microvision. Dostupno na: https://www.keil.com/download/product/

[7] Softverski alat *Altium designer 24.* Dostupno na: https://www.altium.com/altium-designer

[8] Softverski alat *Solid edge*, Siemens. Dostupno na: | https://solidedge.siemens.com/en/

[9] Tehnička specifikacija za LM2596 PDF. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf

[10] Tehnička specifikacija za AMS1117-3.3. http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf

[11] Uputstvo za korišćenje releja. Dostupno na: Arduino forum. https://forum.arduino.cc/t/5v-relay-activation/1075858

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.195R
Original scientific paper

Projektovanje luksmetra

Teodora Radovanović
Elektronski fakultet Niš
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
radovanovict@elfak.rs
ORCID: N/A

Ana Cvetanović
Elektronski fakultet Niš
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
anacvetanovic@elfak.rs
ORCID: N/A

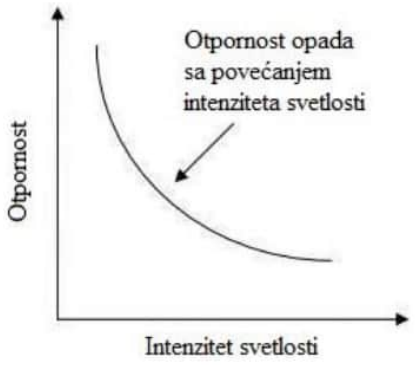
***Sadržaj* - U ovom istraživačkom radu, prikazaćemo da li je luxmetar, napravljen pomoću fotootpornika i programiran u Arduino razvojnom okruženju, dovoljno ili nedovoljno precizan da se koristi kao i komercijalni luxmetar. Takođe, videćemo koliko je ovakav luxmetar precizan u merenju osvetljenosti.**

Ključne reči—fotootpornik, luksmetar, Arduino, osvetljenost

I. UVOD

Fotootpornici su poluprovodnički otpornici kod kojih se otpornost smanjuje pod uticajem svetlosti.

Kada fotoni upadne svetlosti prodru u materijal svoju energiju predaju elektronima tog materijala. Elektroni raskidaju kovalentne veze sa matičnim atomima i postaju slobodni. Višak slobodnih elektrona rezultuje smanjenjem specifične električne otpornosti materijala. [1]



Slika 1. Zavisnost otpornosti u odnosu na intgenzitet svetlosti.

Rad poluprovodničkih fotootpornika zasnovan je na efektu fotoprovodnosti (unutrašnjem fotoelektričnom efektu). Na taj način se mogu realizovati različite vrste senzora gde se zavisno od otpornosti, na osnovu boje predmeta sa kog se očitava, ili intenziteta osvetljenosti određuje boja.

Energija fotona mora biti veća ili jednaka aktivacionoj energiji *Ea* odgovarajućeg prelaza:

$$hf > Ea \quad (1)$$

gde je $h = 6{,}67 \cdot 10\text{-}34\ Js$ – Plankova konstanta, a *f* učestanost elektromagnetnog zračenja (svetlosti).



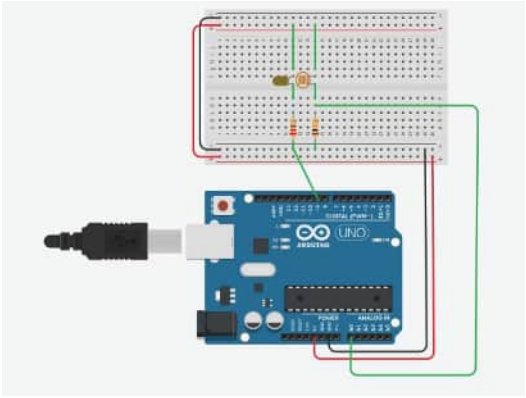
Slika 2. Fotootpornik.

Unutrašnji fotoefekat predstavlja pojavu da pod dejstvom elektromagnetnog zračenja dolazi do prelaska elektrona unutar poluprovodnika ili dielektrika, iz vezanih stanja u slobodna, bez njihovog izletanja van ovih materijala. Kao rezultat toga, koncentracija nosilaca struje (elektrona) unutar materijala raste, što dovodi do pojave fotoprovodljivosti (povećanja elektroprovodnosti poluprovodnika ili dielektrika pri njihovom osvetljavanju), tj. do pojave elektromotorne sile. [2]

II. POVEZIVANJE ŠEME

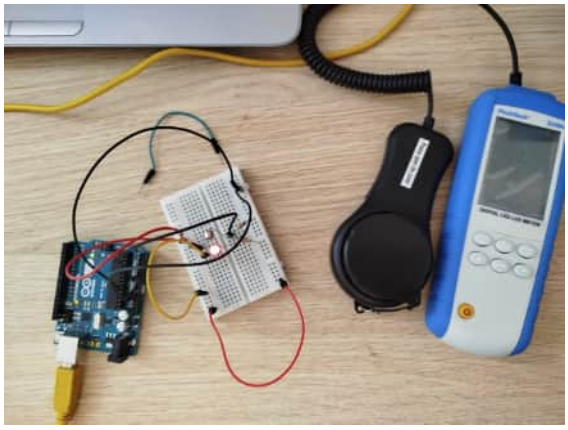
Zadatak projekta je bio da projektujemo luksmetar. Nakon projektovanja luksmetra potrebno je da se izvrše određena merenja u cilju poređenja vrednosti izmerenih projektovanim luksmetrom i vrednosti izmerenih fabričkim luksmetrom. Te vrednosti treba uporediti.

Na slici 3 su prikazana 2 fotootpornika (*Rf1 i Rf2*) koji sa otpornicima *R1* i *R2* formiraju 2 razdelnika napona. Razdelnik napona koga sačinjavaju otpornici *R1* i *Rf1* povezan je na pin A4 *Arduino* okruženja, dok je razdelnik napona koga čine otpornici *R2* i *Rf2* povezan na pin A5. Oba fotootpornika su jednim svojim izvodom povezana na masu.

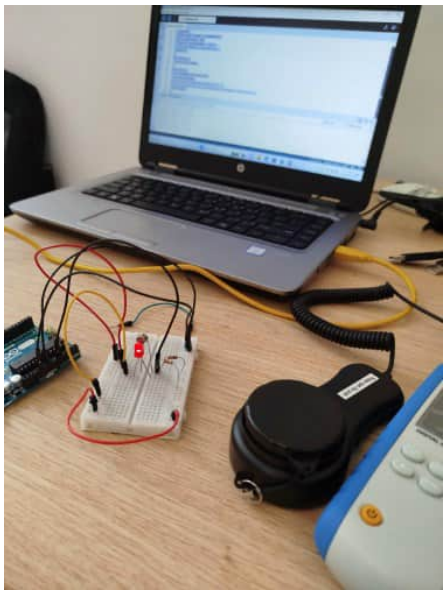


Slika 3. Šema koja se povezuje.

Potrebno je izvršiti merenje korišćenjem *Arduino* okruženja. Nakon toga izvršava se provera dobijenih rezultata korišćenjem komercijalnog luxmetra. [3]



Slika 4. Uređaji koji se povezuju.



Slika 5. Šema povezana sa računarom.

III. KOD U ARDUINO OKRUŽENJU

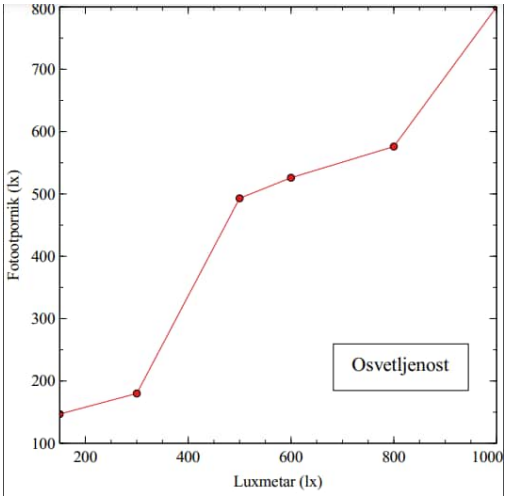
U nastavku prikazan je kod u Arduinu.

```
double intenzitetSvetlosti (int AnVal, int
Resistor) {
  float Rf;
  double Vout = AnVal * 0.0048828125;
  Rf = (10*5)/Vout - 10;
  float E = pow((Rf/100), -1.62);
  //int E=((2500/Vout-500)/Resistor);
  return E;
}
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int analogVal=analogRead(A0);
  int Resistance=10;
  Serial.print("Intenzitet svetlosti je: ");
  Serial.println(float(intenzitetSvetlosti
(analogVal, Resistance)));
  delay(2000);
}
```

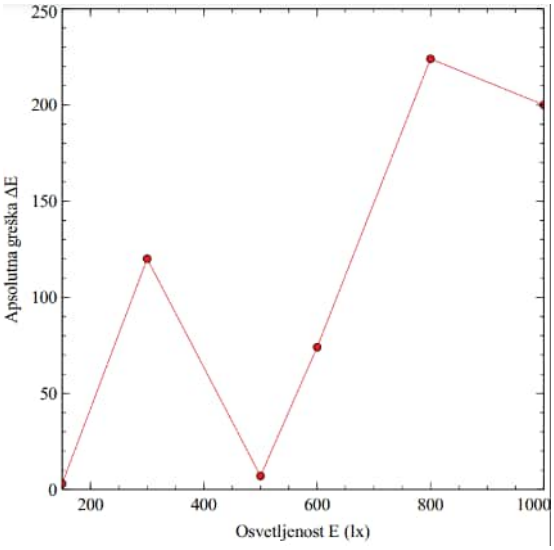
U prvom delu koda množimo vrednost osvetljenosti (dobijene sa fotootpornika) sa datim brojem kako bismo dobili izlazni napon u voltima. Zatim vrednost otpornika Rf dobijamo iz naponskog razdelnika sa fotootpornikom. Pomoću promenljive E dobijamo osvetljenost datom računicom. Sa pina A0 čitamo izlazni napon i pomoću serial.print funkcije prikazujemo osvetljenost u lux-ima [4].

TABELA I. VREDNOSTI IZMERENE UNIMEROM I VREDNOSTI IZMERENE LUKSMETROM

LUXMETAR[LX]	150	300	500	600	800	1000
FOTOOTPORNIK[LX]	147	180	493	526	576	800



Slika 6. Grafički prikaz vrednosti izmeren luksmetrom i fotootpornikom.



Slika 7. Apsolutna vrednost razlike rezultata merenih preko projektovanog luxmetra i komercijalnog luxmetra.

Na prvom grafiku, vidimo zavisnost izmerene vrednosti osvetljenosti pomoću luxmetra (x-osa) i pomoću fotootpornika, tj projektovanog luxmetra (y-osa). Kao što vidimo, ne postoji linearnost i dosta je veliko odstupanje od tačnih vrednosti. Na drugom grafiku, prikazali smo apsolutnu grešku merenja fotootpornikom.Ovaj grafik pokazuje nam kolika je razlika između merenih i tačnih vrednosti, što samo potvrđuje prethodni grafik.

IV. ZAKLJUČAK

Za različite vrednosti osvetljenosti projektovani luksmetar daje različite vrednosti apsolutne greške. Za pojedine vrednosti odstupanja su veoma velika. Tokom merenja može se videti da vrednosti koje su izmerene projektovanim luxmetrom odstupaju od vrednosti izmerenih komercijalnim luxmetrom i da nije dovoljno precizan za korišćenje.

Obzirom da kod fotootpornika otpornost opada eksonencijalno u odnosu na osvetljenost, bolje rešenje bila bi neka komponenta sa linearnijom karakteristikom.

LITERATURA

[1] Optokomponente. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/Lec_13_Optokomponente_2018.pdf

[2] Fotootpornik. Dostupno na: https://sh.wikipedia.org/wiki/Fotootpornik

[3] Luksmetar. Dostupno na: https://www.digikey.com/en/maker/projects/design-a-luxmeter-with-an-ldr-and-an-arduino/623aeee0f93e427bb57e02c4592567d1

[4] Dizajniranje luksmetra pomoću Arduina. Dostupno na: https://forum.arduino.cc/t/designing-a-lux-meter-using-a-ldr/379151/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.199DJ
Original scientific paper

Spektralni odziv fotootpornika

Anastasija Đorđević
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
anastasijadjo@elfak.rs
ORCID: N/A

Iva Cvetanović
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
iva.cvetanovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Teodora Popović
Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
teodora.popovic@elfak.rs
ORCID: N/A

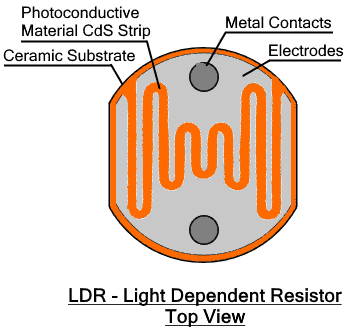
***Sadržaj* – Cilj ovog projekta je projektovanje i realizacija sistema za testiranje spektralnog odziva fotootpornika korišćenjem RGB diode i ispitivanje karakteristika ulaznog signala i zavisnosti izlaznog napona kola od faktora ispune signala. Rad prikazuje detaljan postupak, korišćene komponente i praktičnu realizaciju samog rešenja. Detaljan opis korišćenih komponenata i demonstracija primene će biti detaljnije objašnjeni u nastavku rada.**

Ključne reči—fotootpornik, RGB dioda, spektralni odziv, intenzitet svetlosti

I. Uvod

Na samom početku, važno je dobro se upoznati sa komponentom čije se karakteristike ispituju.

Fotootpornik je poluprovodnička komponenta čija se otpornost menja inverzno sa porastom intenziteta svetlosti koja pada na njega. Na Slici 1 moguće je uočiti tanak sloj fotoosetljivog poluprovodničkog materijala koji se nanosi u obliku dugačke cik-cak linije preko deformisane keramičke osnove sa zaštitnim stranama. Radi dodatne zaštite koristi se stakleno sočivo ili plastični poklopac. Preko fotoosetljivog sloja postavljene su elektrode, a dva kraja trake izvode se preko metalnih kontakata na spoljne izvode ispod osnove.



Slika 1. Prikaz strukture fotootpornika.

Otpornost poluprovodnika u fotootporniku zavisi od broja slobodnih nosilaca naelektrisanja unutar njega. Kada fotosenzitivni materijal nije osvetljen, broj nosilaca naelektrisanja je mali, dok je njegova otpornost velika [1]. Nasuprot tome, kada svetlost u vidu fotona padne na površinu materijala, svaki foton isporučuje energiju elektronima unutar materijala [2].

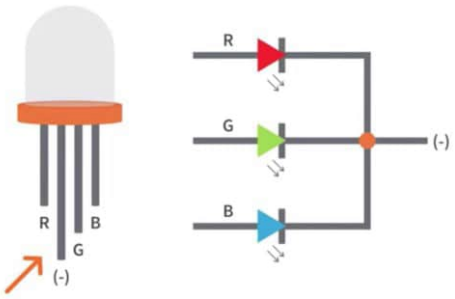
Elektroni raskidaju kovalentne veze sa matičnim atomima i postaju slobodni, ukoliko je energija fotona dovoljna da se savlada zabranjena zona poluprovodnika. Kao rezultat tog procesa, specifična električna otpornost materijala se smanjuje, a samim tim i njegova otpornost. Dati efekat se najjednostavnije postiže impulsno-širinskom modulacijom (*Pulse Width Modulation – PWM*) [3].

Kroz sam projekat ispituju se električni parametri fotootpornika, a neki od osnovnih su:

1) Struja mraka – jednosmerna struja koja teče kroz neosvetljeni fotootpornik. Zbog velike otpornosti neosvetljenog fotootpornika, ova struja je malog intenziteta.
2) Fotostruja – predstavlja razliku između struje koja protiče kroz fotootpornik dok je osvetljen i struje mraka; sa povećanjem osvetljenosti fotosenzitivnog materijala na površini fotootpornika ova struja raste.
3) Otpornost u mraku/pri osvetljenju – ovi parametri intuitivnog naziva odnose se na otpornost osvetljenog i neosvetljenog fotootpornika; otpornost ove komponente je velike vrednosti u mraku, dok sa povećanjem osvetljenosti njena vrednost opada.
4) Napon na fotootporniku – ujedno i izlazni napon ovog kola.
5) Osvetljenost – odnos svetlosnog fluksa koji pada na datu površinu i osvetljene površine izražena u luksima [4].

Spektralni odziv je karakteristika fotoosetljivih komponenti koja prikazuje koliko efikasno komponenta reaguje na svetlost različitih talasnih dužina.

U ovom projektu spektralni odziv fotootpornika testira se korišćenjem RGB diode (RGB – *Red, Green, Blue*). RGB dioda (Slika 2) je poluprovodnička komponenta sa 4 izvoda, pri čemu 3 izvoda predstavljaju diode različitih boja, dok četvrti predstavlja katodu. Komponenta se može zamisliti kao kućište koje sadrži 3 LE diode [5]. Kombinovanjem pomenute tri boje i promenom intenziteta svetlosti istih, RGB dioda je u stanju da proizvede preko 16 miliona nijansi različitih boja, što se postiže softverskim putem [6].



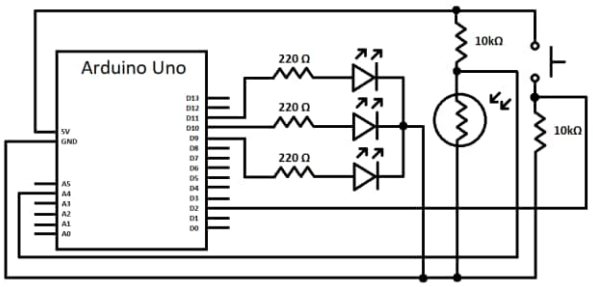
Slika 2. RGB dioda.

Kada je RGB dioda direktno polarisana, kroz nju teče struja i dolazi do rekombinacije parova elektron-šupljina, pri čemu se emituju fotoni svetlosti.

II. HARDVERSKA REALIZACIJA

Na Slici 3 prikazana je električna šema, neophodna za hardversku realizaciju projekta, sačinjena od sledećih komponenata:

- Protoploča
- Žice
- *Arduino Uno* i kabl
- Taster
- Fotootpornik *PCD20* [1]
- 2 otpornika od po 10 kΩ; jedan od njih potreban je za razdelnik, dok se drugi vezuje za taster (prilagođava se graničnim vrednostima osvetljenosti)
- 3 otpornika od po 220 Ω
- RGB dioda.



Slika 3. Električna šema kola.

Na datoj protoploči, sa leve strane redno je povezan fotootpornik sa otpornikom od 10 kΩ. Slobodan izvod fotootpornika vezuje se za masu, dok se drugi slobodni izvod otpornika od 10 kΩ vezuje na naponski izvor od 5 V. Naponski izvor se dovodi preko mikrokontrolerske ploče *Arduino Uno*, čime se omogućava korišćenje izvora napajanja bez dodatnog uređaja.

U kolo se zatim vezuje RGB dioda, čija se 3 kraća izvoda redno vezuju sa otpornicima od po 220 Ω, koji se potom vezuju na 3 odgovarajuća pina *Arduino Uno* ploče. Izvod crvene diode je vezan na pin broj 11, izvod zelene diode na pin broj 10, a izvod plave diode na pin 9. Četvrti i najduži izvod RGB diode vezuje se na masu, pošto je u pitanju dioda sa konfiguracijom zajedničke katode.

Nakon toga, na krajnjoj desnoj strani protoploče redno se vezuje taster sa drugim otpornikom od 10 kΩ. Slobodni izvod otpornika se zatim vezuje na masu. Drugi izvod tastera sa donje strane se vezuje na izvor napajanja, posle čega se sa gornje strane, u liniji izvoda koji je redno vezan za otpornik, taster povezuje na pin broj 2 *Arduino Uno* mikrokontrolerske ploče.

Arduino Uno se naposletku kablom vezuje za računar, gde se uz pomoć koda napisanog u *Arduino* okruženju ostvaruje softverska realizacija projekta.

III. SOFTVERSKA REALIZACIJA

Kako bi se uspešno postigla softverska realizacija, neophodno je najpre definisati promenljive koje će se upotrebiti u ostatku koda (Slika 4):

1) Pinove na koje su povezani izvodi RGB diode, fotootpornik, taster,
2) Brojače,
3) Korak za koji se menja faktor ispune signala,
4) Stanje tastera,
5) Izlazni napon,
6) Promenljivu za analogno-digitalnu konverziju i
7) Faktor ispune.

```
1   #define photoresistor A4
2   float adc;
3   float voltage;
4   int ledRed = 11;
5   int ledGreen = 10;
6   int ledBlue = 9;
7   int step = 10;
8   int button = 2;
9   bool buttonState = 0;
10  int num1 = 0;
11  int num2 = 0;
12  float dtc = 0;
```

Slika 4. Definisanje promenljivih.

Pored toga, definiše se funkcija *voltagePrint* koja vrši računanje i ispisivanje izlaznog napona na serijskom monitoru (na fotootporniku), koja se kasnije samo poziva (Slika 5).

```
14  void voltagePrint() {
15    adc = analogRead(photoresistor);
16    Serial.println(adc);
17    voltage = adc * 0.00489;
18    Serial.println("Vrednost izlaznog napona je: ");
19    Serial.print(voltage);
20  }
```

Slika 5. Definisanje funkcije za ispisivanje izlaznog napona.

U delu *void setup* (Slika 6) pinovi RGB diode proglašavaju se za izlazne, dok su fotootpornik i taster na ulaznim pinovima. Naredbom *Serial.begin* postavlja se brzina prenosa bitova po sekundi na 9600, nakon čega se naredbom *analogWrite* postavlja početna vrednost faktora ispune signala svake od tri boje (crvene, zelene i plave) na nulu.

```
22  void setup() {
23
24    pinMode(ledRed, OUTPUT);
25    pinMode(ledGreen, OUTPUT);
26    pinMode(ledBlue, OUTPUT);
27    pinMode(button, INPUT);
28    pinMode(photoresistor, INPUT);
29    Serial.begin(9600);
30
31    analogWrite(ledRed, 0);
32    analogWrite(ledGreen, 0);
33    analogWrite(ledBlue, 0);
34  }
```

Slika 6. Postavke unutar odeljka *void setup*.

Funkcija *void loop* (Slika 7) na početku proverava stanje tastera naredbom *digitalRead*. Potom se ispituje da li je taster pritisnut. Ukoliko jeste, dolazi do promene faktora ispune na sledeći način: menja se u opsegu od 0 do 100 sa korakom 10 za crvenu, nakon toga za zelenu i konačno za plavu. Nakon dostizanja maksimalne vrednosti za svaku od boja, sledi korak tokom koga dioda prestaje da svetli.

Brojač *num1* služi za brojanje koraka za promenu intenziteta jedne od boja. Kada faktor ispune signala neke od boja prođe svih 10 koraka, ta boja se gasi i uključuje naredna nakon jednog koraka pauze između njih. Naredbom *map* vrši se preslikavanje jednog opsega na drugi – u datom slučaju,

opseg vrednosti faktora ispune signala (od 0 do 100) slika se na vrednost opsega intenziteta boje (od 0 do 255).

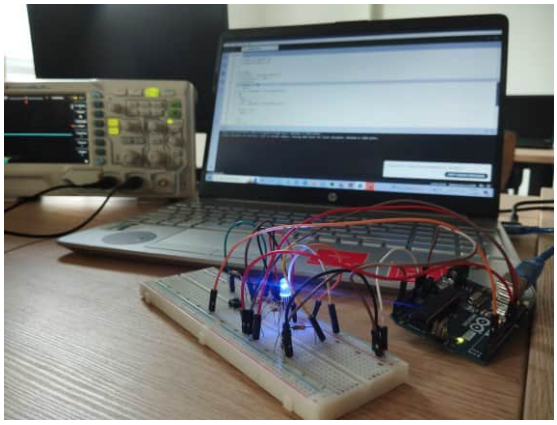
```
36  void loop()  {
37    buttonState = digitalRead(button);
38    if (buttonState == HIGH) {
39      delay(300);
40      if(num1 < 10) {
41        num1++;
42        dtc = map(num1 * step,0,100,0,255);
43      }
44      else {
45        num1 = 0;
46        dtc = map(num1 * step,0,100,0,255);
47      }
48      if(num2 < 32) {
49        num2++;
50      }
51      else {
52      num2 = 0;
53      }
54      if(num2 < 11 ) {
55        analogWrite(ledRed, dtc);
56        analogWrite(ledGreen, 0);
57        analogWrite(ledBlue, 0);
58      }
59      if(num2 >= 11 && num2 < 22 ) {
60        analogWrite(ledRed, 0);
61        analogWrite(ledGreen, dtc);
62        analogWrite(ledBlue, 0);
63      }
64      if(num2 >= 22 && num2 < 33) {
65        analogWrite(ledRed, 0);
66        analogWrite(ledGreen, 0);
67        analogWrite(ledBlue, dtc);
68      }
69    delay(300);
70    voltagePrint();
71    }
72  }
```

Slika 7. Funkcija *void loop*.

Ukoliko je prošlo 11 koraka, što je podatak koji beleži brojač *num2*, menja se faktor ispune (samim tim i intenzitet svetlosti) signala crvene boje. Tokom 11. koraka dioda ne svetli. Isti postupak se ponavlja za opseg od 11 do 22 za zelenu, i opseg od 22 do 33 za plavu boju, pri čemu tokom 22. koraka ne svetli nijedna boja, a nakon 32 izvršena koraka dolazi do resetovanja svih vrednosti na nulu. Naposletku se poziva prethodno pomenuta funkcija kako bi prikazala vrednost izlaznog napona.

IV. Praktična realizacija

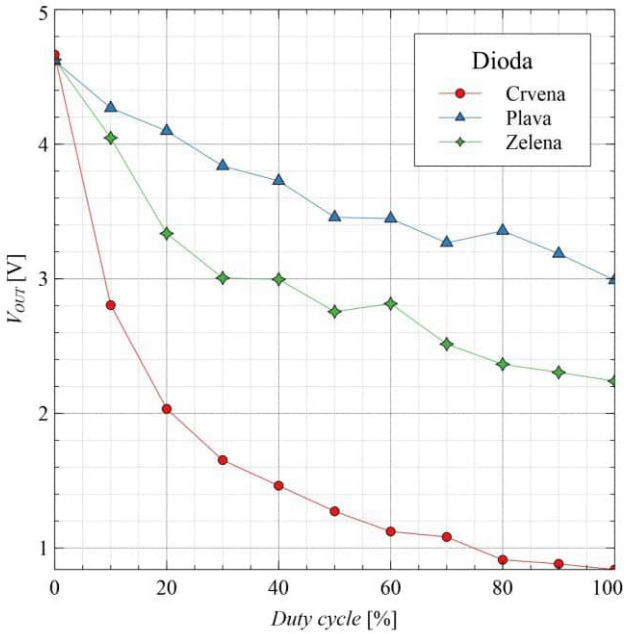
Nakon što je kolo hardverski i softverski osmišljeno, prelazi se na povezivanje projektovane šeme (Slika 8).



Slika 8. Priprema radnog okruženja.

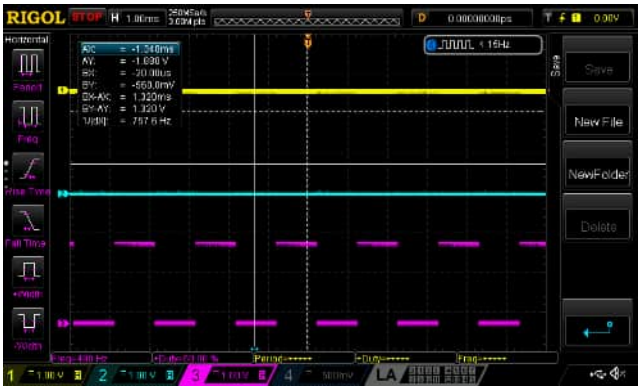
Uz praćenje koraka potrebnih za hardversku i softversku realizaciju, prilikom povezivanja je potrebno postaviti RGB diodu tako da direktno osvetljava fotootpornik. Projektovano kolo se tokom merenja stavlja u mračnu komoru sa ciljem da svetlost RGB diode bude jedina svetlost koja osvetljava fotootpornik. Pritiskom tastera, u koracima od po 10, menja se faktor ispune svake od dioda crvene, zelene i plave svetlosti. Faktor ispune kretaće se u rasponu od 0 do 100 prvo za crvenu svetlost RGB diode, potom za zelenu i plavu, pri čemu je u toku jednog raspona aktivna samo jedna od boja.

Nakon pripreme kola, potrebno je snimiti vrednost izlaznog napona od vrednosti faktora ispune za svaku od boja kojom će svetleti RGB dioda. Rezultati ovog merenja grafički su prikazani na Slici 9.

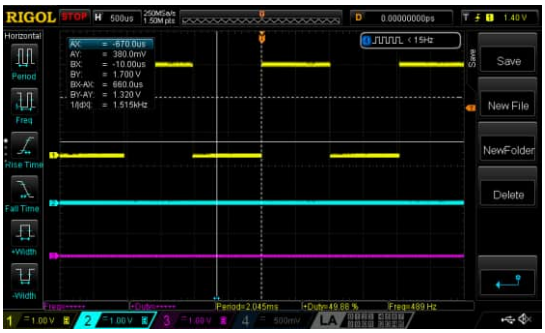


Slika 9. Grafički prikaz zavisnosti izlaznog napona na fotootporniku od faktora ispune signala.

Za kraj, kolo se povezuje na osciloskop, kako bi se ispitali i prikazali signali koji pobuđuju samu RGB diodu. Sonda osciloskopa povezana je tako da meri napon koji se dovodi na odgovarajuće pinove RGB diode. Na Slikama 10, 11 i 12 prikazani su signali koji respektivno pobuđuju crvenu, zelenu i plavu svetlost RGB diode. Sa slika se može uočiti da je u svakom trenutku aktivna samo jedna od dioda.



Slika 10. Signal koji pobuđuje crvenu svetlost RGB diode.



Slika 11. Signal koji pobuđuje zelenu svetlost RGB diode.



Slika 12. Signal koji pobuđuje plavu svetlost RGB diode.

V. ZAKLJUČAK

Ovaj rad obuhvata ispitivanje i testiranje spektralnog odziva fotootpornika korišćenjem RGB diode, ispitivanje karakteristika ulaznog signala i zavisnosti izlaznog napona kola od faktora ispune signala. Nakon hardverske i softverske realizacije, kolo se i praktično povezuje, nakon čega se vrše odgovarajuća merenja.

Iz rada se može izvući zaključak da spektralni odziv u velikoj meri zavisi od talasne dužine svetlosti i da će se sa promenom talasne dužine upadnog zračenja na površinu fotootpornika menjati i efikasnost reagovanja komponente na upadnu svetlost. Sa porastom talasne dužine biće veći i pad izlaznog napona na fotootporniku u odnosu na početnu vrednost, sa promenom faktora ispune u rasponu od 0 do 100.

ZAHVALNICA

Autori ovog rada se srdačno zahvaljuju profesorima i saradnicima sa Katedre za mikroelektroniku na Elektronskom fakultetu, Univerziteta u Nišu. Posebna zahvalnost prof. dr Emiliji Živanović i asistentu Nikoli Mitroviću koji su obezbedili sav potreban materijal za izradu ovog projekta, kao i sugestije koje su uputili tokom izrade istog.

LITERATURA

[1] Tehnička specifikacija za *PCD20*. Dostupno na: https://www.wtsensor.com/data/upload/20220802/62e8aecb0bc8f.pdf
[2] "Chapter 53 Opto Electronic Devices Book Report". Dostupno na: https://www.studypool.com/documents/1543976/chapter-53-opto-electronic-devices-book-report
[3] Prezentacija sa laboratorijskih vežbi na temu "Određivanje i upoređivanje karakteristika fotootpornika". Dostupno na: https://shorturl.at/74lh5
[4] "What is LDR – Light Dependent Resistor? Construction, Working, Types & Applications". Dostupno na: https://www.electricaltechnology.org/2022/08/ldr-light-dependent-resistor.html
[5] "How RGB LEDs work and how to control color". Dostupno na: https://www.circuitbread.com/tutorials/how-rgb-leds-work-and-how-to-control-color
[6] "RGB LED" Dostupno na: https://docs.sunfounder.com/projects/sf-components/en/latest/component_rgb_led.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.203P
Original scientific paper

Sistem za daljinsko upravljanje realizovan korišćenjem infracrvene komunikacije

Marija Petrović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
marija.petrovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu je opisan sistem za daljinsko upravljanje realizovan korišćenjem infracrvene komunikacije. Pre svega, dat je teorijski uvod u infracrvenu komunikaciju i NEC protokol. Realizovani sistem demonstrira daljinsku kontrolu uređaja pomoću infracrvenog daljinskog upravljača i mikrokontrolera. U zavisnosti od pritisnutih tastera na upravljaču, mikrokontroler aktivira odgovarajuću komponentu: DC motor, sijalicu ili neku od LE dioda različitih boja.**

Ključne reči—infracrvena komunikacija, daljinsko upravljanje, STM32, NEC protokol

I. UVOD

Daljinsko upravljanje je postalo nezaobilazni deo našeg svakodnevnog života, budući da je potreba čoveka za komforom i olakšanim rešavanjem problema sve veća. Prvi sistem za daljinsko upravljanje je patentirao Nikola Tesla još 1898. godine a zatim se s pojavom prvih televizora javila potreba za daljinskim upravljačem koji će upravljati njegovim radom. Prvi daljinski upravljač baziran na infracrvenoj komunikaciji je izašao na tržište početkom osamdesetih godina dvadesetog veka, i zanimljivo je to da se njegov dizajn i princip rada suštinski nije promenio do danas. Takođe, i pored mnogo naprednijih tehnologija poput WiFi-a, ovi daljinski upravljači se i dalje široko primenjuju. Razlog za to je jeftina implementacija ovih sistema, pouzdanost prilikom prenosa podataka i niska potrošnja energije.

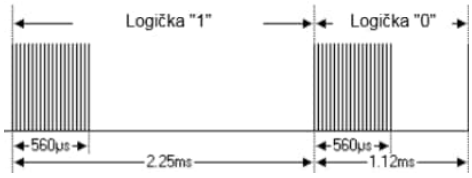
U ovom radu, prvo je dat kratak teorijski uvod u princip infracrvene komunikacije i malo je detaljnije opisan NEC protokol. Zatim je opisana funkcionalnost sistema za daljinsko upravljanje i data njegova električna šema. Opisan je algoritam koji dekodira signale poslate putem NEC protokola. Na kraju rada, sistem je testiran i prikazana je njegova praktična realizacija. U zaključku su navedene primene i način na koji bi sistem mogao da se optimizuje.

II. INFRACRVENA KOMUNIKACIJA I NEC PROTOKOL

Infracrvena komunikacija je najjednostavniji oblik bežične komunikacije. Najčešće se koristi za povezivanje uređaja na malim udaljenostima, obično u istoj prostoriji. Zasniva se na prenosu podataka putem infracrvenog zračenja, pri čemu se koristi samo deo spektra infracrvenog zračenja, sa talasnom dužinom od oko 950 nm. Ono što je karakteristično za IC komunikaciju je to što zahteva optičku vidljivost između prijemnika i predajnika, što znači da svaka fizička prepreka između njih može da naruši komunikaciju. Za ovaj vid bežične komunikacije potrebni su predajnik, prijemnik i odgovarajući protokol [1].

Protokol je skup pravila koji definišu način komunikacije između dva ili više uređaja u mreži ili sistemu. On određuje formate podataka, načine prenosa, sinhronizaciju, kontrolu grešaka i mehanizme potvrde prijema, kako bi se osigurala pravilna i pouzdana razmena informacija između uređaja. U infracrvenoj komunikaciji koriste se različiti protokoli od kojih su najpoznatiji RC5, RC6, Sony SIRC, R-Step, IIT, JVC, NEC, Sharp, X-Sat, RECS80, Panasonic, Daewoo, RCA, RC-MM i Nokia NRC17.

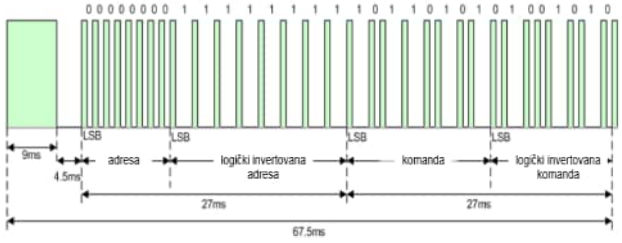
Kako je u ovom radu fokus na NEC protokolu, on je opisan detaljnije u nastavku. NEC protokol istoimene kompanije koristi tehniku kodiranja na osnovu udaljenosti između impulsa (od engleskog izraza *Pulse Distance Encoding*) za razlikovanje dva logička stanja. Standardni NEC protokol koristi frekvenciju nosioca od 38 kHz i svaki impuls traje 560 µs. Kao što se vidi sa slike 1., logička "0" se predstavlja povorkom impulsa u trajanju od 560 µs nakon koje sledi impuls niskog naponskog nivoa trajanja 560 µs pri čemu je ukupno vreme prenosa bita 1,125 ms. Kod bita logičke "1", nakon povorke impulsa u trajanju od 560 µs usledиće signal niskog naponskog nivoa trajanja 1,687 ms, tako da je ukupno vreme prenosa bita logičke "1" 2,25 ms.



Slika 1. Način kodiranja logičke "1" i logičke "0" u NEC protokolu.

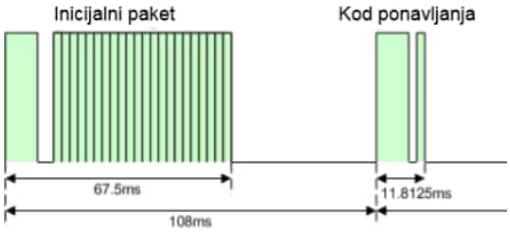
Paket koji se prenosi se sastoji od 32 bita. Na početku paketa se nalazi bit starta koji nam ukazuje na to da će naredna 32 bita prenositi informaciju, i on je neophodan jer je reč o asinhronoj komunikaciji. Startni bit je impulsni signal u trajanju od 9 ms koga prati pauza od 4,5 ms nakon čega slede adrese i komanda koji se šalju u 8-bitnom formatu. Adresa i komanda se šalju dva puta tako da se drugi put šalju njihove logički invertovane vrednosti koje se koriste za verifikaciju primljene poruke. Završni impuls od

560 µs determiniše kraj paketa. Primer paketa koji se prenosi NEC protokolom je dat na slici 2.



Slika 2. Izgled paketa NEC protokola.

U slučaju da se taster drži pritisnutim duži vremenski period, biće poslat kod obično oko 40 ms nakon završetka impulsa koji označava kraj poruke (slika 3.). Kod ponavljanja se zatim šalje u intervalima od 108 ms sve dok se taster ne pusti. Na početku koda ponavljanja se generiše impulsni signal u trajanju od 9 ms, nakon čega sledi pauza od 2,25 ms i na samom kraju poruke impulsni signal od 560 µs koji će označiti kraj prenetog koda ponavljanja [2].

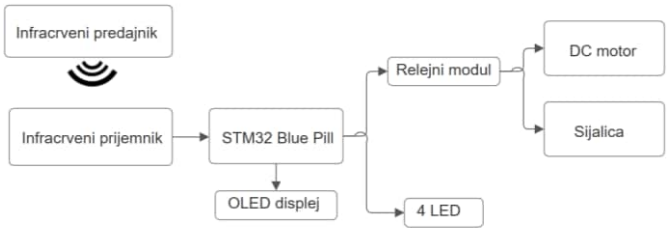


Slika 3. Izgled paketa u slučaju dužeg pritiska taster.

III. Opis sistema i njegove funkcionalnosti

Sistem za daljinsko upravljanje realizovan korišćenjem infracrvene komunikacije predstavlja prototip koji demonstrira mogućnosti daljinske kontrole različitih uređaja pomoću infracrvenog daljinskog upravljača i mikrokontrolera. Sistem koristi STM32 Blue Pill razvojno okruženje, koji je isprogramiran da prepozna šest komandi sa daljinskog upravljača tako što dekodira primljeni signal, i u zavisnosti od dekodiranih paketa signala kontroliše periferijske uređaje.

U ovom sistemu kontrolišu se DC motor, sijalica i LE diode različitih boja. Svaki od šest tastera izvršava određenu funkciju: prvim tasterom se uključuje/isključuje DC motor, drugim tasterom se upravlja sijalicom, dok se tasterima od trećeg do šestog upravlja LE diodama različitih boja. Svakim novim pritiskom se menja stanje uređaja u odnosu na prethodno. Istovremeno se na OLED displeju prikazuju adresa i naredba poslednjeg primljenog paketa sa IC prijemnika u heksadesimalnom formatu Na slici 4. je dat blok dijagram sistema.



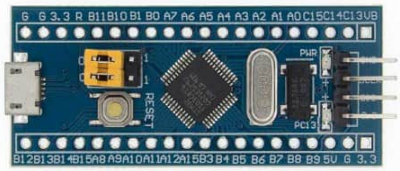
Slika 4. Blok dijagram sistema za daljinsko upravljanje.

U radu je korišćen dvokanalni relejni modul za upravljanje većim potrošačima poput sijalice i motora. Ovaj sistem je pogodan za dalju modifikaciju i proširenje, gde bi, na primer, DC motor mogao predstavljati ventilator ili klimatizacijski uređaj, a sijalica neki složeniji sistem za osvetljenje.

IV. Korišćene komponente

A. STM32F103 Blue Pill

STM32 Blue Pill je razvojno okruženje prozivođača *STMicroelectronics* zasnovano na mikrokontroleru STM32F103C8T6. STM32F103C8T6 je visoko-performansni 32-bitni mikrokontroler sa ARM Cortex-M3 jezgrom maksimalne radne frekvencijom od 72 MHz. Ima širok spektar unapređenih ulazno/izlaznih interfejsa i periferijskih jedinica, i to 37 GPIO (*General Purpose Input Output*) pinova koji mogu biti ulazni i izlazni i 12 PWM (*Pulse Width Modulation*) pinova koji služe za modulaciju signala. Sa periferijskim jedinicama komunicira preko sledećih komunikacijskih interfejsa: I^2C (*Inter-Integer Circuit*), SPI (*Serial Peripheral Interface*), CAN 2.0 (*Control Area Network*) i UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) interfejsa [3].



Slika 5. Blue Pill razvojno okruženje [3].

B. AX-1838HS

AX-1838HS je infracrveni prijemnik koji se često upotrebljava kao optički prekidač ili kao fotodetektor u infracrvenoj komunikaciji. Integrisan je u epoksidno kućište koje sadrži specijalni IC filter koji omogućava visoku otpornost na smetnje i ambijentalno svetlo. Sadrži PIN diodu u ulozi fotodetektora. Najosetljiviji je na signale frekvencije 38 kHz i talasne dužine 940 nm. Maksimalna udaljenost predajnika od prijemnika na kojoj se može izvršiti detekcija u slučaju kada je predajnik usmeren direktno prema prijemniku (pod uglom 0 ° u odnosu na prijemnik) je 17 m, a kada je predajnik pod uglom od 45 ° u odnosu na osu prijemnika, maksimalna distanca je 8 m. [4]. Prikazan je na slici 6.



Slika 6. Infracrveni prijemnik AX-1838HS.

C. OLED displej SSD1306

OLED displej SSD1306 je displej koji koristi LED tehnologiju i sloj organskog materijala koji emituje svetlost bez potrebe za pozadinskim osvetljenjem. Izgled ovog displeja dat je na slici 7. Karakterišu ga visok kontrast, širok ugao gledanja, velika brzina odziva i niska potrošnja energije. Rezolucija ovog displeja je 128x64 piksela. Koristi

I2C komunikacioni interfejs za povezivanje sa mikrokontrolerom [5].



Slika 7. OLED displej SSD1306.

D. *Daljinski upravljač*

Daljinski upravljač korišćen u radu je prikazan na slici 8. Ima 17 tastera pri čemu svaki taster generiše jedinstveni kodirani signal frekvencija 38 kHz. Koristi NEC protokol za IC komunikaciju sa uređajima. Može prenositi signale do 8 m udaljenost [4].



Slika 8. Daljinski upravljač.

E. *Dvokanalni relejni modul*

Dvokanalni relejni modul omogućava jednostavno upravljanje uređajima putem mikrokontrolera koristeći releje visokog kapaciteta. Maksimalni izlazni napon koji relej može da podnese je 250 V naizmeničnog napona i 30 V jednosmernog napona. Modul je dizajniran da radi na napajanju od 5 V, što ga čini kompatibilnim sa različitim platformama [6].

F. *DC motor*

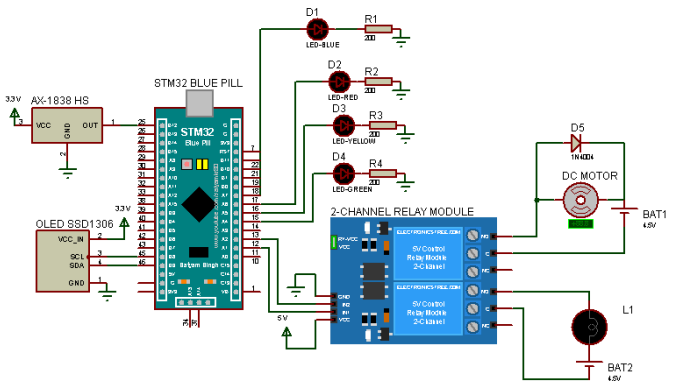
Jednosmerni (*DC — Dirrect Current*) motor je motor koji pretvara električnu energiju iz jednosmerne struje u mehaničku energiju. Njegove osnovne komponente su stator (fiksni deo) i rotor (pokretni deo). DC motor koji je korišćen u ovom projektu može raditi na naponu između 3 V i 9 V. Pri naponu od 6 V, kroz motor protiče struja od 90 mA. Brzina obrtaja u minuti koju korišćeni motor može postići pri optimalnom naponu je 10000 obrtaja u minuti.

G. *Ostale komponente*

Od ostalih komponenti, korišćene su crvena, žuta, zelena i plava LE dioda, zatim 4 otpornika od 200 Ω, flyback dioda 1N4004 čija je uloga u ovom kolu data u nastavku i sijalica koja radi na napajanju od 5 V.

V. ELEKTRIČNA ŠEMA SISTEMA

Na slici 9 je prikazana električna šema sistema. Što se tiče napajanja, OLED displej i infracrveni prijemnik se napajaju naponom od 3,3 V sa pina za napajanje mikrokontrolera. DC motor i sijalica se napajaju preko baterije od 4,5 V. Mikrokontroler sa OLED displejem komunicira preko I2C interfejsa i to preko linija veze SCL i SDA koje su povezane na pinove B8 i B9, redom.



Slika 9. Električna šema sistema realizovana pomoću softverskog alata Proteus.

Paralelno sa DC motorom je povezana flyback dioda 1N4004 koja ima ulogu zaštite releja od uticaja induktivnog opterećenja (u ovom slučaju DC motora).

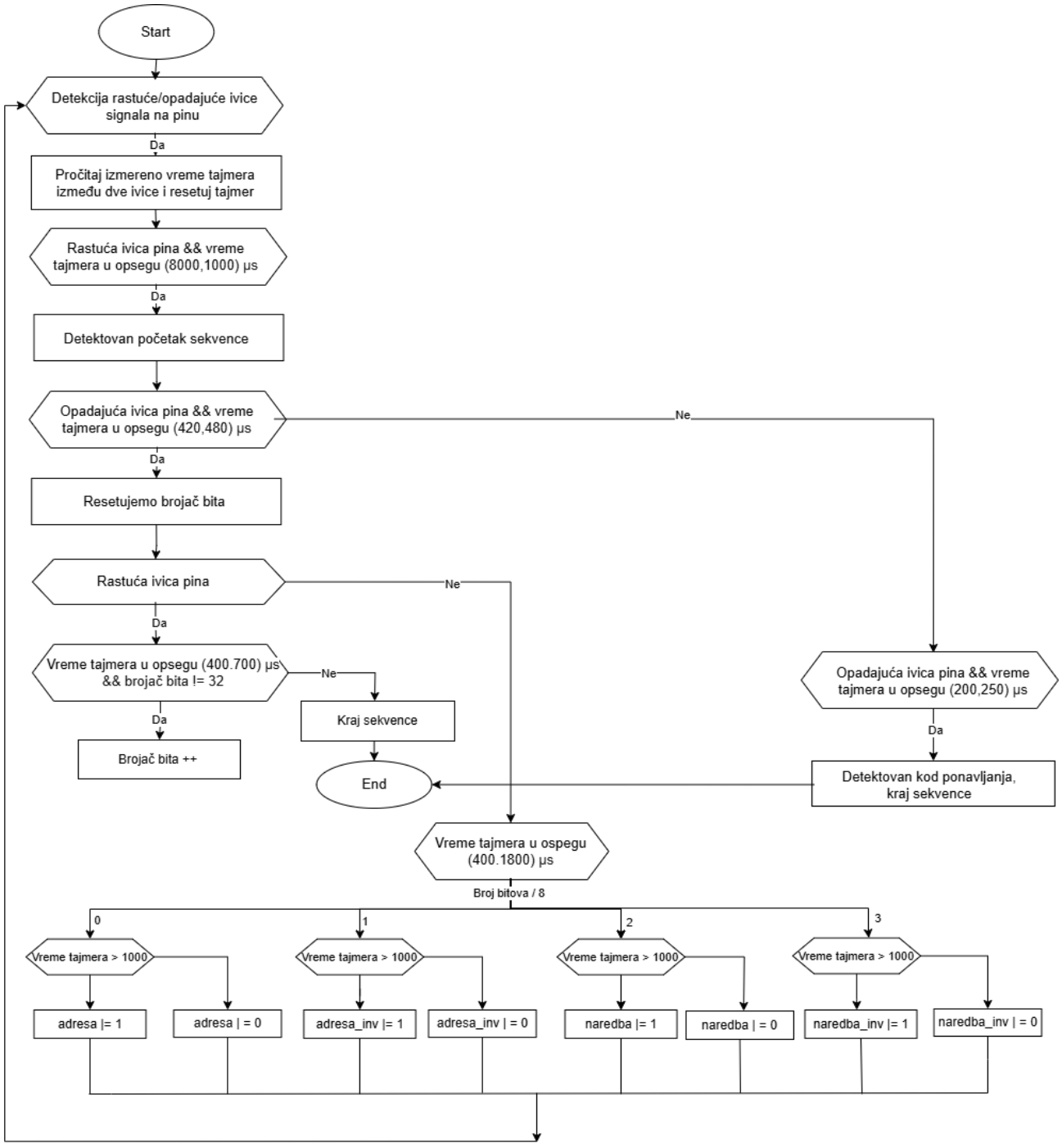
VI. ALGORITAM KODA ZA DEKODIRANJE NEC PROTOKOLA

Algoritam prikazan na dijagramu (slika 10) predstavlja detaljan proces dekodiranja infracrvenog signala poslatog preko NEC protokola koji dolazi sa prijemnika AX-1838HS na mikrokontroler. Signal na izlazu iz prijemnika je snimljen na osciloskopu na slici 11. i uočeno je da je njegovo podrazumevano stanje visok naponski nivo. Kada detektuje paket, menja se stanje signala na nizak naponski nivo i tako dalje.

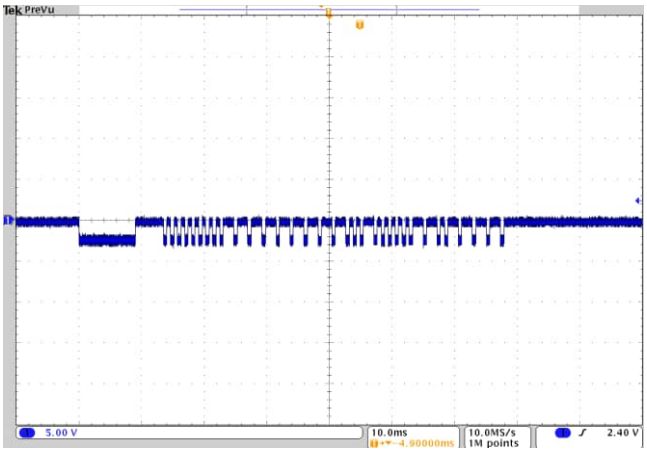
Naredni impuls od 4,5 ms (420-480 µs) označava početak paketa, dok impuls od 2,25 ms (200-250 µs) prepoznaje impuls ponavljanja i kraj sekvence.

Bitovi se detektuju na osnovu trajanja impulsa koji slede nakon startnog bita: 560 µs za logičku "0" i 1687 µs za logičku "1". Ako je impuls duži od 1000 µs, beleži se "1", a ako je kraći, beleži se "0". NEC paket sadrži 32 bita, grupisanih u 8-bitne grupe (adresa, invertovana adresa, naredba i invertovana naredba). Kada brojač dostigne 32 bita, označava se kraj paketa, a poslednji 33. bit označava kraj sekvence.

Algoritam počinje detekcijom promene stanja signala na pinu (rastuća ili opadajuća ivica). Kada se detektuje promena, tajmer meri vreme između dve prethodno detektovane ivice. Ako je detektovana rastuća ivica i prethodni impuls je trajao 9 ms (opseg 8000-10000 µs), prepoznaje se početak signala. Opseg je postavljen od 8000 do 10000 µs zbog moguće varijacije u trajanju impulsa i obrade samog prekida. Trajanje narednog impulsa označiće da li je zaista početak sekvence podataka ili je dugme pritisnuto duže nego što je potrebno pa je došlo do impulsa koji se ponavlja.



Slika 10. Algoritam dekodiranja NEC protokola.

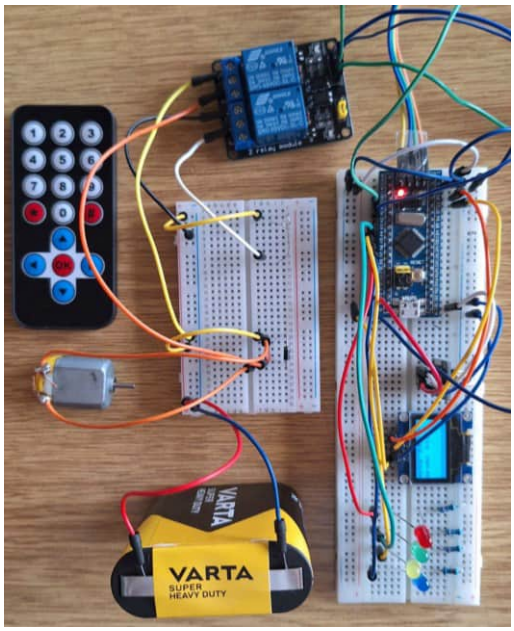


Slika 11. Paket NEC protokola snimljen sa prijemnika na osciloskopu Tektronix DPO 4034 [7].

VII. PRAKTIČNA REALIZACIJA I TESTIRANJE SISTEMA

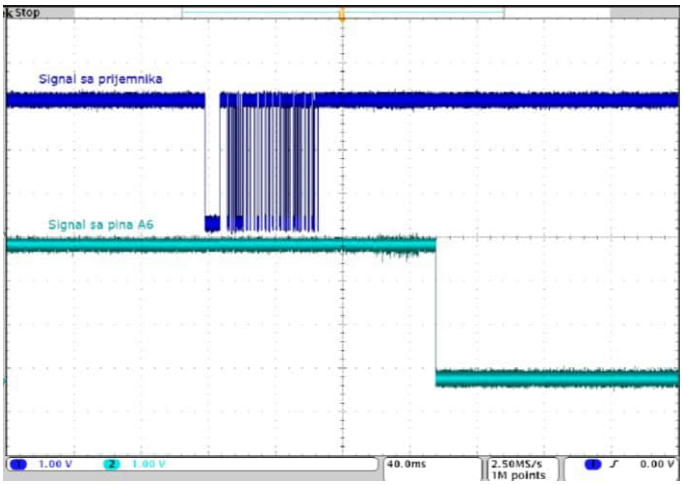
Sistem za daljinsko upravljanje baziran na infracrvenoj komunikaciji je uspešno realizovan i praktična realizacija sistema je prikazana na slici 12. Sistem je zatim testiran i pokazalo se da pravilno reaguje na komande koje mu se zadaju preko daljinskog upravljača.

U okviru testiranja, posmatrano je ponašanje sistema kada se daljinski upravljač nalazi na udaljenostima do 3 m od prijemnika i pokazalo se da radi vrlo pouzdano na udaljenostima do 2 m, sa brzom i ispravnom reakcijom na komande. Na udaljenostima većim od 2 m, uočene su poteškoće u prijemu signala i neretko je dolazilo do propuštenih komandi.



Slika 12. Praktična realizacija sistema za daljinsko upravljanje.

Izvršena je i analiza signala sa prijemnika i signala sa pina na mikrokontroleru koji aktivira crvenu LED kada se pritisne taster 3. Usnimljeni signali sa osciloskopa se mogu videti na slici 13. Pri pritisku tastera, ubrzo nakon što signal stigne na prijemnik, stanje signala koji se šalje na crvenu LE diodu se menja sa visokog naponskog nivoa na niski. Od prijema poslednjeg bita na prijemniku do reakcije mikrokontrolera prođe približno 80 ms što ostavlja prostor za dalju optimizaciju sistema.



Slika 13. Usnimljeni signal sa prijemnika i signal sa pina A6 na osciloskopu Tektronix DPO4034 [19].

VIII. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je uspešno demonstrirao daljinsku kontrolu uređaja putem infracrvene komunikacije koristeći NEC protokol. Razvijeni sistem je pokazao visoku efikasnost i pouzdanost u prenosu signala između daljinskog upravljača i mikrokontrolera na udaljenostima do 2 m, a takođe i zadovoljavajuću brzinu reakcije na poslatu naredbu.

Potencijalna primena rezultata ovog istraživanja obuhvata širok spektar oblasti, uključujući pametne kućne sisteme, gde se može koristiti za upravljanje rasvetom, klima uređajima, multimedijalnim uređajima i drugim pametnim aparatima. Zatim, u industrijskoj automatizaciji, ovakvi sistemi mogu biti korišćeni za daljinsku kontrolu mašina, povećavajući produktivnost i smanjujući potrebu za fizičkim prisustvom. Sistemi za daljinsku kontrolu primenu mogu pronaći i u poljoprivredi, za automatizaciju navodnjavanja ili upravljanje poljoprivrednim mašinama. Sistem može biti integrisan u postojeće proizvode ili korišćen kao osnova za razvoj novih rešenja koja olakšavaju svakodnevno korišćenje električnih uređaja.

Budući radovi mogli bi se fokusirati na poboljšanje otpornosti sistema na smetnje iz ambijentalnih uslova, kao i na proširenje dometa IC komunikacije kako bi se omogućila precizna kontrola i na većim udaljenostima. Poboljšanje otpornosti sistema na smetnje može se ostvariti razvojem algoritma za filtriranje šumova, a proširenje dometa korišćenjem predajnika sa većom snagom emisije i prijemnika veće osetljivosti. Vrlo bitan faktor daljinske kontrole je i brzina reakcije na zadatu naredbu i to može da se unapredi optimizacijom programskog koda ili izborom mikrokontrolera veće radne frekvencije takta. Još jedna mogućnost za unapređenje sistema je programiranje mikrokontrolera da dekodira veći broj protokola i da prilikom prijema signala automatski prepozna kojim protokolom je signal poslat. Na ovaj način, dobija se univerzalniji i fleksibilniji sistem daljinske kontrole koji može raditi sa različitim uređajima nezavisno od proizvođača. Dalja istraživanja bazirana na ovom radu mogu se usmeriti i ka poboljšanju energetske efikasnosti sistema, što je posebno značajno kod baterijski napajanih sistema.

ZAHVALNICA

Rad je realizovan kao deo diplomskog rada na smeru Elektronske komponente i mikrosistemi. Autor se posebno zahvaljuje mentoru, prof. dr Danijelu Dankoviću, na svim savetima, strpljenju i podršci tokom izrade diplomskog rada, a takođe i asistentu Nikoli Mitroviću, čija pomoć prilikom tehničke realizacije ovog sistema je bila neprocenjiva.

LITERATURA

[1] Joseph M. Kahn and John R. Barry, "Wireless Infrared Communications" Poceedings of the IEEE, vol. 85, pp. 265 – 298, Aug. 2002

[2] "NEC Protocol". Dostupno na: https://www.sbprojects.net/knowledge/ir/nec.php. [Pristupljeno 29-sep-2024].

[3] Tehnicka dokumentacija za STM32F103x8. Dostupno na: https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00161566.pdf, [Pristupljeno 29-sep-2024].

[4] Tehnička dokumentacija IC prijemnika AX-1838HS. Dostupno na: 8739.pdf (farnell.com), [Pristupljeno 29-sep-2024].

[5] Tehnička dokumentacija za OLED SSD1306 modul. Dostupno na: oled128o064dbpp3n00000.pdf (vishay.com), [Pristupljeno 29-sep-2024].

[6] Tehnička dokumentacija dvokanalnog relejnog modula. Dostupno na: https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/B300/ME114.pdf, [Pristupljeno 29-sep-2024].

[7] Tehnička dokumentacija osciloskopa Tektronix DPO4034.. Dostupno na: https://octopart.com/datasheet/dpo3034-tektronix-7743544, [Pristupljeno 29-sep-2024].

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.209T
Original scientific paper

Transportna linija za brojanje i sortiranje uz korišćenje IoT tehnologija

Andrej Tetkić
ETŠ "Mihajlo Pupin", Futoška 17
Novi Sad, Srbija
andrej.tetkic@gmail.com; ORCID: N/A

Dimitrije Sakan
ETŠ "Mihajlo Pupin", Futoška 17
Novi Sad, Srbija
dimitrijes007@gmail.com; ORCID: N/A

Bogdan Lucić
ETŠ "Mihajlo Pupin", Futoška 17
Novi Sad, Srbija
bogdanlucic17@gmail.com; ORCID: N/A

Aleksandar Balanesko
ETŠ "Mihajlo Pupin", Futoška 17
Novi Sad, Srbija
aleksa9b@gmail.com; ORCID: N/A

Kalina Vukelić
ETŠ "Mihajlo Pupin", Futoška 17
Novi Sad, Srbija
kalinavukelic@gmail.com; ORCID: N/A

Vuk Maksimov
ETŠ "Mihajlo Pupin", Futoška 17
Novi Sad, Srbija
vukmaksimov@gmail.com, ORCID: N/A

***Sadržaj*— Ovaj rad opisuje razvoj IoT sistema za brojanje i sortiranje objekata na pokretnoj traci korišćenjem kamere i mikrokontrolera. OpenCV algoritam prepoznaje boje i oblike objekata, dok korisnici mogu upravljati parametrima sortiranja preko veb interfejsa.**

Ključne reči—pokretna traka, computer vision, IoT, automatizacija, sortiranje objekata

I. UVOD

Efikasan i fleksibilan sistem za sortiranje bez ljudske intervencije je ključan u industrijama koje zahtevaju brzo i jeftino raspoređivaje objekata. Proizvodna linija za brojanje i sortiranje uz korišćenje IoT (*Internet of Things*; srp. Internet Stvari) predstavlja projekat koji ovaj problem pokušava da reši. Ova traka poseduje sposobnost sortiranja objekata prema boji i obliku, pružajući personalizovanu i jednostavnu kontrolu korisnicima. Sastoji se od kamere koja snima traku, pokretne trake čiji su delovi motor koji radi na jednosmernu struju i servo motor, i mikrokontrolera koji obrađuje objekte i upravlja motorima. Ova konfiguracija je veoma energetski efikasna i jeftina za implementirati. Takođe je povoljna za proizvesti u velikim količinama, a obuka za rad na njoj je veoma prosta tako da je široka i laka primena moguća. Ovaj sistem proizvodne trake omogućava korisniku da ima statistički pregled o broju objekata koji su prošli trakom, kao i koji su prethodno sortirani. Ovo će se izvesti pomoću lokalnog veb sajta kom će obližnji korisnik moći da pristupi, i izabere tačne parametre sortiranja na pokretnoj traci, kao i odredišta objekata koji ispunjavaju i neispunjavaju uslove prethodno zadate od strane korisnika.

II. PRINCIP RADA

Sistem za brojanje i sortiranje objekata na transportnoj traci zasniva se na integraciji IoT tehnologija sa mehaničkim komponentama kako bi se omogućila automatizovana identifikacija, praćenje i raspodela različitih predmeta bez potrebe za ljudskom intervencijom. Ključni elementi principa rada ovog sistema uključuju pokretnu traku, senzore za detekciju, mikrokoprocesor, te mehanizam za sortiranje.

A. Detekcija i prepoznavanje objekata

Proces rada sistema započinje pokretanjem transportne trake pomoću DC motora, koji osigurava konstantan i kontrolisan protok objekata preko trake. Postavljena veb kamera snima slike objekata na traci i prenosi ih mikrokoprocesoru (Raspberry Pi 3 [1]) putem USB veze.

Mikroprocesor koristi OpenCV [2] biblioteku u Python programskom jeziku za obradu primljenih slika, primenjujući algoritme "*Computer Vision*" za identifikaciju karakteristika objekata.

B. Analiza i klasifikacija

Kroz proces obrade, sistem detektuje konture objekata, određuje njihove boje i broj stranica, što omogućava preciznu klasifikaciju svakog objekta. Ovi parametri služe kao osnova za odlučivanje o daljem postupanju sa detektovanim predmetima. Na osnovu definisanih kriterijuma, sistem automatski kategorizuje objekte u unapred određene grupe, omogućavajući njihovo pravilno sortiranje.

C. Sortiranje objekata

Nakon klasifikacije, mikrokontroler šalje odgovarajuće komande mehanizmu za sortiranje, koji se sastoji od servo motora sposoban da rotira deo trake pod različitim uglovima (-45°, 0°, 45°). Ova rotacija omogućava preusmeravanje objekata u željene smerove, u zavisnosti od njihove klasifikacije. Dva od tri definisana smera mogu biti rezervisana za poznate kategorije objekata, dok treći moze služiti za neprepoznate ili neprerađene predmete, čime se obezbeđuje fleksibilnost i skalabilnost sistema.

D. Interakcija sa korisnikom

Korisnici imaju mogućnost interakcije sa sistemom putem veb interfejsa, koji omogućava personalizaciju parametara sortiranja i praćenje statistike prolaska objekata kroz traku. Ova funkcionalnost omogućava prilagođavanje sistema specifičnim potrebama korisnika, kao i kontinuirano praćenje performansi sistema u realnom vremenu.

E. *Energetska efikasnost i skalabilnost*

Dizajn sistema je optimizovan za energetsku efikasnost, koristeći komponente koje zahtevaju minimalnu potrošnju energije bez kompromisa u performansama. Modularna konstrukcija omogućava lako skaliranje sistema za različite industrijske potrebe, čineći ga pogodnim za širok spektar primena od malih do velikih proizvodnih linija.

Kombinacijom naprednih senzora, efikasnog procesiranja podataka i preciznih mehaničkih komponenti, princip rada ovog sistema omogućava pouzdano i efikasno brojanje i sortiranje objekata, pružajući značajne koristi u pogledu brzine, tačnosti i smanjenja operativnih troškova.

III. HARDVERSKA IMPLEMENTACIJA

Hardverska komponenta sistema obuhvata pokretnu traku pokretanu DC motorom, Raspberry Pi 3 mikroračunar, ESP32[3] mikrokontroler, servo motore za sortiranje, veb kameru za detekciju objekata i napajanje za sve komponente.

A. *Pokretna traka i DC motor*

Pokretna traka (slika 1) je centralni deo sistema koji se koristi za prenos objekata kroz sistem za sortiranje. DC motor je zadužen za pokretanje trake konstantnom brzinom, koja se može podešavati u zavisnosti od potrebe. DC motor je povezan sa Raspberry Pi 3 putem H-most sklopa, koji omogućava kontrolu pravca i brzine rotacije motora.

B. *Raspberry Pi 3*

Raspberry Pi 3 [4] je centralni procesorski modul sistema, koji obrađuje slike sa veb kamere i upravlja komunikacijom sa ESP32 za kontrolu sortiranja objekata. Kamera je povezana putem USB-a sa Raspberry Pi uređajem, a motor i senzori su povezani preko GPIO (general-purpose input-output) pinova kao na slici 1. Raspberry Pi šalje rezultate analize slike (detekciju boje i oblika) na ESP32 putem serijske komunikacije (UART [5]).



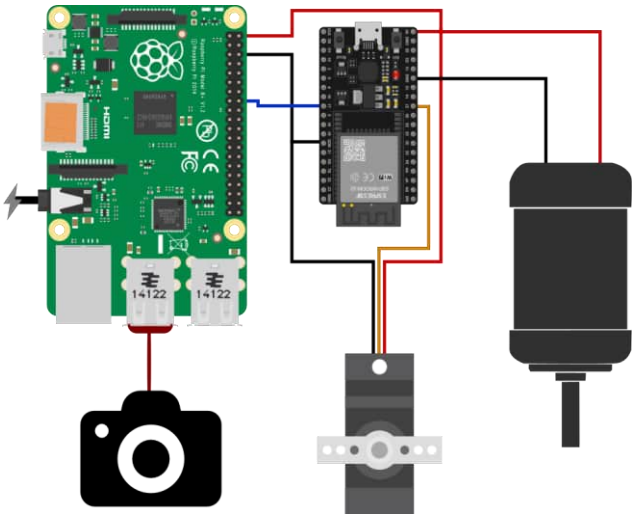
Slika 1. Transportna traka.

C. *ESP32 mikrokontroler*

ESP32 je zadužen za kontrolu servo motora koji upravljaju mehanizmom za sortiranje. Nakon što Raspberry Pi analizira podatke i identifikuje objekat, šalje signal na ESP32 koji kontroliše rotaciju serva, pomerajući deo trake pod uglovima od -45°, 0° ili 45°, u zavisnosti od kategorije objekta. ESP32 mikrokontroler je povezan sa servo motorima pomoću PWM signala, omogućavajući preciznu kontrolu rotacije.

D. *Šema povezivanja*

Kompletna šema (slika 2) povezuje Raspberry Pi, ESP32, veb kameru, DC motor i servo motor. Sve komponente su napajane iz stabilizovanog izvora napajanja, dok Raspberry Pi i ESP32 međusobno komuniciraju putem serijske komunikacije, omogućavajući sinhronizaciju podataka o prepoznatim objektima i komandama za sortiranje.



Slika 2. Šema prikazuje način povezivanja delova sistema.: Raspberry Pi, ESP32, veb kamera, servo i DC motor.

IV. SOFTVERSKA IMPLEMENTACIJA

Za obradu slika koristi se OpenCV, koji omogućava prepoznavanje objekata i analizu njihovih karakteristika. Proces obrade slike obuhvata nekoliko koraka:

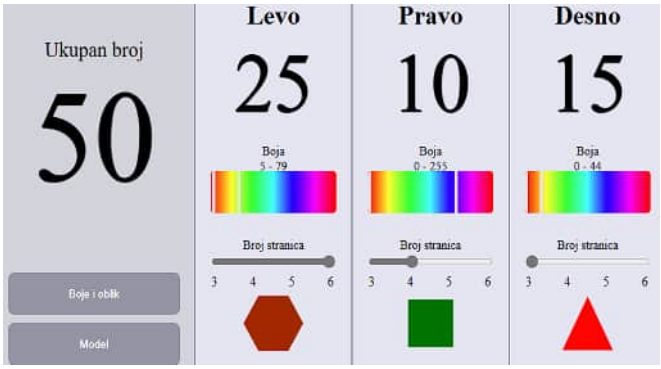
1) Snimanje slike putem kamere;

2) Pretvaranje slike iz BGR u HSV format za jednostavniju analizu boje;

3) Pronalaženje kontura objekata i određivanje oblika;

4) Na osnovu boje i oblika donosi se odluka o sortiranju.

Veb interfejs (slika 3.) je razvijen korišćenjem Flask [6] frameworka. Omogućen jednostavan pristup sistemu preko bilo kog uređaja koji ima pristup internetu. Na stranici, korisnik može da postavlja kriterijume sortiranja, kao i da prati statistike o tome koliko je objekata prošlo kroz traku.



Slika 3. Dizajn veb stranice za praćenje i kontrolu sistema.

V. ZAKLJUČAK

Pokretna traka može imati primene u pošti, kompanijama za dostavu, ličnim potrebama, i drugo. Dalji planovi su da se doda mogućnost prepoznavanja specifičnih objekata, kao i senzor za merenje težine, temperature kao i komunikacija sa centralizovanim serverom sa kog se može pristupati podacima svih povezanih traka.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo mentoru Jovi Pavloviću na usmeravanju i korisnim sugestijama pri izradi ovog rada. Zahvaljujemo i ostalim članovima sekcije PiLab na podršci.

LITERATURA

[1] Raspberry Pi Dokumentacija. Dostupno na: https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/getting-started.html.

[2] OpenCV Open Computer Vision library. Dostupno na: https://opencv.org/.

[3] ESP32. Dostupno na: https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32.

[4] Raspberry Pi Datasheet– Getting Started. Dostupno na: https://datasheets.raspberrypi.com/rpi3/raspberry-pi-3-b-plus-product-brief.pdf.

[5] Universal asynchronous receiver-transmitter. Dostupno na: https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html.

[6] Flask. Dostupno na: https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.213J
Original scientific paper

Testiranje hibridnog modula za kontrolu LED lampi i napajanja iz kategorije „SLOIN slim“

Ana Janaćković
Katedra za Elektroniku
Elektronski fakultet Niš – Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
anajanackovic000@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Glavni cilj ovog rada je analiza ključnih procesa i aspekata testiranja elektronskih komponenti i uređaja, s posebnim osvrtom na značaj testiranja u identifikaciji i otklanjanju defekata, u proceni njihove efikasnosti i pouzdanosti. Poseban naglasak biće stavljen na opis tehnika i metoda analize rada LED lampi iz kategorije „SLOIN slim“ u različitim uslovima, s fokusom na EMC, ENV, SAF i termalno testiranje. U okviru ovog rada biće istražen uticaj defekata na rad elektronskih komponenti, kao i posledice prisustva defekata u elektronskim uređajima na krajnje korisnike. Da bi se osigurala potpuna funkcionalnost nekog elektronskog kola, i garantovala njegova pouzdanost i bezbedna upotreba u različitim radnim uslovima, važno je sagledati sveobuhvatan proces testiranja, kroz identifikaciju i analizu problema koji se mogu javiti.**

Ključne reči*— *defekt, termalni test, EMC, ENV, SAF, pouzdanost, temperaturna stabilnost

I. UVOD

U okviru projektovanja i proizvodnje elektronskih kola, testiranje zauzima jedno od najznačajnijih mesta. Svako odstupanje stvarne električne šeme kola od one koja je potrebna da bi njegova funkcija bila ispravna možemo smatrati defektom [1].

Zadatak testiranja je da utvrdi da li je projekat, proces, tehnologija, komponenta ili sistem ispravan kako bi se identifikovali i otklonili defekti [3].

Svaki elektronski uređaj predstavlja složeni sistem sastavljen od velikog broja komponenti i kola, zbog čega postoji značajan rizik od mogućih kvarova ili neispravnosti tokom rada. Kako bi se ovi kvarovi predupredili i osigurala visoka pouzdanost proizvoda, neophodno je sprovesti sistematsko testiranje tokom različitih faza proizvodnje i razvoja. Testiranje se vrši tokom proizvodnje u fabrikama, kao i tokom eksploatacije u laboratorijama ili servisima.

Dobijeni rezultati testiranja mogu da omoguće razvoj robusnijih i pouzdanijih elektronskih uređaja, poboljšanje industrijskih standarda testiranja i optimizaciju proizvodnih procesa. Ovi rezultati mogu značajno doprineti povećanju kvaliteta proizvoda i smanjenju troškova povezanih sa kvarovima.

II. SLOIN SLIM B 840 LDE L1000 PC/PCO

Moderne lampe su inteligentne i upravljive. One omogućavaju podešavanje intenziteta i boje koju korisnik preferira. Kao rezultat toga, pametni sistemi upravljanja osvetljenjem sada se široko koriste u unutrašnjim i spoljašnjim osvetljenjima u stambenim, komercijalnim i industrijskim prostorima. Ovi sistemi upravljanja osvetljenjem obezbeđuju jednostavno i praktično bežično upravljanje svetiljkama putem Wi-Fi veze.

A. Glavne komponente lampe

Testovi koji će biti opisani u nastavku, primenjeni su na modelu lampe SLOIN slim b 840 lde l1000 pc/pco. Glavne komponente SLOIN slim b 840 lde l1000 pc/pco lampe su:

• *Drajver* ključna komponenta LED lampe koja se koristi za napajanje LED dioda. Glavna uloga drajvera je konvertovanje ulaznog napona (obično iz mrežnog napajanja) u odgovarajući napon i struju potrebnu za rad LED dioda, kao i pružanje prenaponske zaštite. Drajver takođe može pružiti podršku za kontrolu intenziteta svetlosti, tzv. diming *(eng. dimming)*. To zavisi od specifične konfiguracije drajvera. Drajver može podržavati različite metode diminga: analogni diming (npr. 0-10V) ili digitalni diming putem protokola kao što je DALI *(eng. Digital Addressable Lighting Interface)*.

• *Modul* može predstavljati dodatnu elektronsku komponentu ili sklop unutar lampe koji obavlja specifičnu funkciju. Na primer, modul može biti deo kontrolnog sistema za upravljanje osvetljenjem, kao što je DALI modul za digitalnu komunikaciju ili senzorski modul za detekciju pokreta ili ambijentalnog svetla.

• *LED diode* su svetlosni izvori u lampi koji emituju svetlost kada kroz njih prolazi struja. Ove diode su glavna komponenta LED svetala i osiguravaju ekonomično i dugotrajno osvetljenje. Novije lampe obično koriste kombinaciju žutih i belih dioda kako bi se dobila što prirodnija boja svetla. U nekim situacijama, korisnik može podešavati nivo osvetljenosti žutih i belih dioda zasebno.

• *Vodovi* su električne veze koje povezuju različite komponente unutar lampe. Vodovi prenose električnu energiju iz drajvera do LED dioda i drugih komponenti u lampi.

• *Kućište* predstavlja fizički oivičen prostor ili okvir lampe koji štiti unutrašnje komponente od spoljašnjih uticaja kao što su prašina, vlaga i mehanička oštećenja. Ono takođe daje estetski izgled i doprinosi odvođenju toplote, što je važno za efikasnost i trajnost LED osvetljenja.

• *Optički elementi* uključuju reflektore i sočiva koji se koriste za usmeravanje svetlosti i oblikovanje snopa svetlosti iz LED dioda.



Slika 1. SLOIN slim b 840 lde l1000 pc/pco model lampe.

B. Vrste sistema upravljanja osvetljenjem

Kao što je već rečeno, dve glavne vrste sistema upravljanja osvetljenjem su analogni i digitalni sistem upravljanja.

• *Sistem 0-10V* služi za kontrolu osvetljenja koje koristi naponski opseg od 0 do 10V za podešavanje nivoa osvetljenja, pri čemu 10V odgovara maksimalnom intenzitetu osvetljenja. Ovaj sistem može koristiti analogne ili digitalne signale za kontrolu osvetljenja.

• *DALI sistemi* omogućavaju pojedinačnu adresabilnost i kontrolu svake svetiljke ili uređaja sa DALI interfejsom. DALI sistem je povezan sa napajanjem preko jednog para provodnika, dok se digitalni signal za kontrolu šalje svetiljkama preko drugog para provodnika. Ova struktura omogućava odvojenu kontrolu napajanja i digitalne komunikacije. Svakom DALI sistemu dodeljuje se jedinstvena adresa unutar mreže. Ove adrese omogućavaju da se uređaji pojedinačno identifikuju i adresiraju pri kontroli i upravljanju. Adrese se obično dodeljuju pomoću DALI kontrolera ili specijalnih uređaja za konfiguraciju mreže. Komunikacija se u DALI sistemu odvija putem digitalnih signala koji sadrže informacije o željenim parametrima osvetljenja (npr. intenzitet, boja).

DALI takođe omogućava diming, ali putem digitalnih komandi koje se šalju direktno do svake svetiljke ili uređaja na mreži. To omogućava precizniju kontrolu intenziteta svetla i dodatne funkcije kao što su promena boje ili temperaturne karakteristike svetla. Kontrolna jedinica upravlja funkcijama DALI sistema, pri čemu svakom sistemu dodeljuje jedinstvenu adresu - DALI adresu. DALI adresa predstavlja jedinstvenu reč od osam bitova koja se koristi prilikom slanja poruka sa kontrolne jedinice odgovarajućem DALI sistemu. DALI poruka je komanda sa kontrolne jedinice ili odgovor od sistema. Format poruke čine jedan startni bit, osmo-bitna adresa, osmo-bitna poruka i dva stop bita. Odgovor na poruku se sastoji od jednog start bita, osam bitova podataka i dva stop bita.

C. Testiranje hibridnog modula

Testiranje hibridnog drajvera/modula za kontrolu LED lampi i napajanja obuhvata sledeći niz koraka:

• Električna ispravnost: Prvo se vrši provera električne ispravnosti modula. Proverava se da li su izlazni napon i struja u zadatim granicama.

• Funkcionalno testiranje: Pomoću funkcionalnog testiranja proverava se da li modul funkcioniše prema specifikacijama. Testiraju se različiti načini rada, kao što su podešavanje intenziteta svetla, promene boja ili druge karakteristike koje modul treba da podrži.

• Testiranje efikasnosti: Stepen korisnog dejstva modula je važna karakteristika, posebno kod modula za LED osvetljenje. Merenjima se utvrđuje koliki deo električne energije se pretvara u svetlost, a koliko se gubi kao toplota.

• Testiranje temperaturne stabilnosti: LED moduli mogu generisati značajnu količinu toplote, stoga se vrši testiranje kako bi se osiguralo da se modul može efikasno hladiti i funkcionisati stabilno u različitim okruženjima.

LED drajver sadrži analogne i digitalne komponente. Analogni deo LED drajvera može imati komponente kao što su analogni regulatori napona ili struje, analogne senzore za kontrolu temperature ili struje, kao i analogne filtre za smanjenje elektromagnetnih interferencija. Digitalni deo LED drajvera obično podrazumeva mikrokontroler ili digitalne procesore koji upravljaju funkcijama kao što su PWM (Pulse Width Modulation) za kontrolu osvetljenja, komunikacija preko serijskih interfejsa (kao što su SPI ili I2C) za podešavanje parametara i dijagnostiku, kao i digitalne zaštite od preopterećenja ili prenapona. Digitalni deo u kontekstu LED drajvera ili modula za osvetljenje obično se odnosi na „pametni" deo uređaja koji obavlja složenije funkcije kontrole osvetljenja i komunikacije.

III. PRIMENA TESTOVA ZA DETEKCIJU DEFEKATA

Za testiranje, istraživanje, detaljnu analizu i razumevanje funkcija sistema se koriste prototipi uređaja. Testovi se mogu izvoditi u svakoj fazi razvoja.

Glavne kategorije testova su:

Test elektromagnetne kompatibilnosti *(eng. EMC - electromagnetic compatibility)* omogućava predviđanje da li je sistem u stanju da funkcioniše u predviđenom radnom okruženju bez izazivanja elektromagnetne interferencije i da li zadržava svoje performanse u prisustvu spoljnih EMI [6]. Tu spadaju testovi kao što su:

- merenje spektra zračenja *(eng. radiated disturbance)*
- merenje osetljivosti sistema na promene napona napajanja *(eng. voltage disturbance)*.

Test uticaja meteoroloških uslova *(eng. ENV - environmental)* pokazuje da li dolazi do oštećenja uređaja koji radi u spoljašnjim uslovima. U ovu kategoriju spada testiranje slanim rastvorom *(eng. salt-spray test)*. Ovim testom se ispituje otpornost materijala na koroziju.

Sigurnosni testovi *(eng. SAF - safety)* obezbeđuju stabilnost i ispravnost uređaja kroz proveru postojanosti oznaka *(eng. marking)*, izdržljivosti vodova *(eng. external and internal wiring)*, uzemljenja *(eng. provision for earthing)*, zagrevanja uređaja *(eng. thermal test)* itd.

IV. EMI

Elektromagnetna interferencija *(eng. Electromagnetic interference - EMI)* je pojava koja se javlja usled razmene elektromagnetne energije između uređaja tokom njihovog rada. Ona može uticati na performance uređaja, koji ne emituje već prima energiju, uzrokujući njegov neispravan odziv ili potpuni otkaz [7].

Sve je veća potreba da elektronski uređaji različitih namena rade u neposrednoj blizini jedni drugima. Tako raspoređena kola često izazivaju negativne međusobne uticaje. EMI su postale veliki problem za projektante kola. Tendencija je da će ovi problemi u budućnosti biti još

ozbiljniji. Kako su kola postala manja i sofisticiranija, složeniji delovi elektronskih sistema moraju biti smešteni u sve manji prostor, što povećava verovatnoću pojave smetnji. Pored toga, taktne frekvencije su se dramatično povećale tokom godina — u mnogim slučajevima na preko reda GHz-a [7].

Svi elektronski uređaji su podložni greškama ili kvarovima izazvanim EMI. Složeniji uređaji su po pravilu podložniji takvim kvarovima. Pored prirodnih izvora EMI, i sami električni i elektronski uređaji mogu biti njihov izvor. Veliki broj modernih uređaja uzrokuje veće nivoe EMI u okruženju. Smanjenje silicijumskih čipova i smanjenje radnih napona smanjuje imunitet integrisanih kola na EMI.
EMI se mogu prenositi od izvora do prijemnika na različite načine. EMI se mogu prenositi kroz zajednički provodni put, međusobnu induktivnost ili kapacitivnost, kao i kroz vazduh ili vakuum.

Testovi na EMI se obično sprovode kako bi se procenila otpornost sistema na napone koji prelaze dozvoljene granice ili mogu izazvati neželjene efekte u drugim delovima sistema, kao i za merenje i analizu elektromagnetnog zračenja koje generišu električni sistemi ili uređaji. Primeri testova ove kategorije su: merenje spektra zračenja *(eng. radiated disturbance)* i merenje osetljivosti sistema na promene napona napajanja *(eng. voltage disturbance).*

A. Merenje osetljivosti sistema na promene napona napajanja

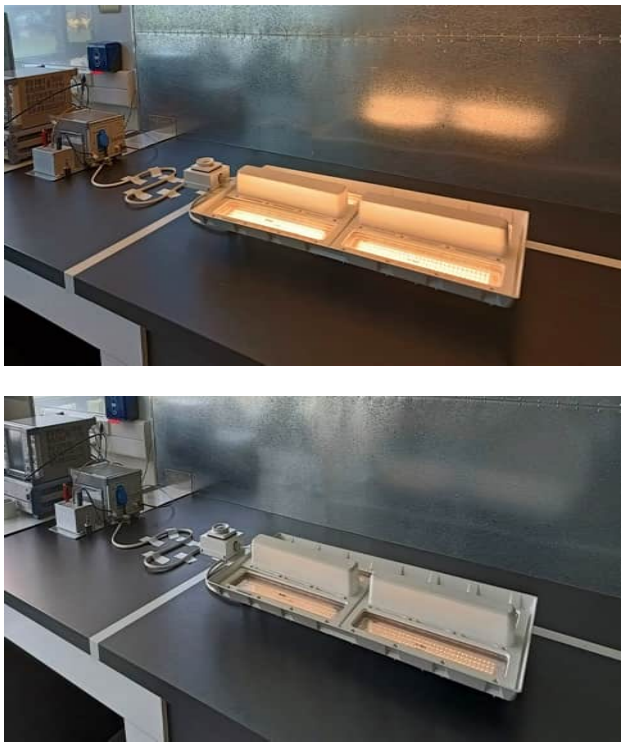
EMI koja se prenosi kroz provodni put *(eng. conducted emission)* je neželjena pojava pri aktivnom radu uređaja, koja se manifestuje naglim skokom napona ili struje u kolu. Uobičajeni putevi ove interferencije uključuju provodne puteve za napajanje i međusobne veze. Može se javiti i kroz parazitsku kapacitivnost.
Neki od najčešćih izvora ovakve interferencije su:

- električni motori;
- napajanja u prekidačkom režimu;
- DC/DC pretvarači;
- termostatski kontrolisani uređaji;
- mikrokontroleri itd.

Test merenja osetljivosti sistema na promene napona napajanja ima za cilj da utvrdi da li su ovi nagli skokovi napona unutar zadanih granica kako bi se osiguralo da ne poremete performanse uređaja.

Kada je nivo osvetljenja minimalan ili maksimalan, to može rezultirati različitim opterećenjem na električni sistem. Na primer:

- Minimalan nivo osvetljenja: Kada je nivo osvetljenja minimalan, može se desiti da su drugi delovi električnog sistema manje opterećeni ili imaju manju potrošnju. To može dovesti do veće osetljivosti na EMI, jer manje opterećeni delovi sistema mogu reagovati intenzivnije na promene napona.
- Maksimalan nivo osvetljenja: Kada je nivo osvetljenja maksimalan, električni sistem može biti pod većim opterećenjem, što može uticati na veću stabilnost napona u sistemu, tj. sistem je otporniji na EMI.

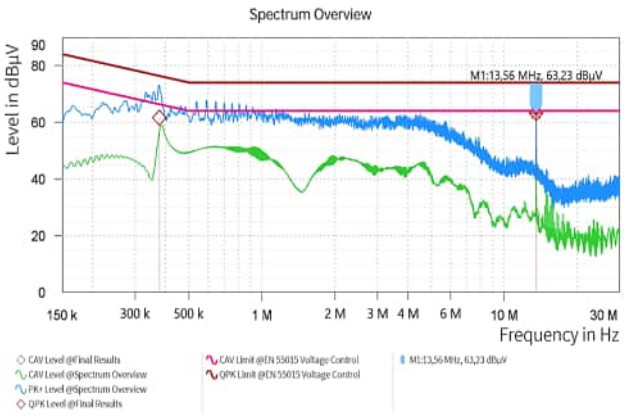


Slika 2. Lampa tokom *Voltage disturbance* testa pri maksimalnom i minimalnom nivou osvetljenja.

Na Slika 3 prikazana je promena napona napajanja u zavisnosti od frekvencije tokom rada lampe. Tokom testiranja vrši se spektralna analiza parametara kao što su:

- CAV (*Continuous Average*): CAV predstavlja prosečnu vrednost amplitude signala u zavisnosti od frekvencije [9].
- QPK (*Quasi-Peak*): QPK predstavlja maksimalnu vrednost amplitude signala u zavisnosti od frekvencije [9].

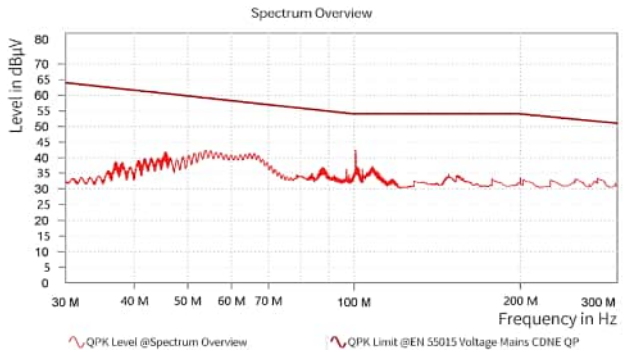
Linije koje predstavljaju dozvoljene granične vrednosti označene su roze i crvenom bojom. Kada vrednost merenog napona pređe ove zadate vrednosti, to nam pokazuje da je napon premašio dozvoljene vrednosti, što može prouzrokovati dalje probleme.



Slika 3. Promena napona napajanja u zavisnosti od frekvencije tokom *Voltage disturbance* testa.

B. *Merenje spektra zračenja*

U ovom testu meri se uticaj elektromagnetnog zračenja na napon napajanja lampe. Na Slika 4 prikazane su izmerene vrednosti napona napajanja u zavisnosti od frekvencije.



Slika 4. Promena napona napajanja tokom *Radiated disturbance* testa.

V. ENV

A. *Testiranje slanim rastvorom*

Testiranje slanim rastvorom je laboratorijski test koji se koristi za procenu otpornosti metala i premaza na vlažnost i salinitet vazduha. Ovaj test simulira agresivne uslove kao što su morska sredina ili vremenski uslovi u kojima je pojačana izloženost soli, kako bi se procenila trajnost i pouzdanost materijala i premaza. Ovaj test je neophodan kod lampi koje se koriste u spoljašnjem okruženju.

Testiranje slanim rastvorom podrazumeva sledeće korake:

- Priprema uzoraka: Metalni uzorci ili uzorci premaza se pripremaju za testiranje. Ovi uzorci se pripremaju tako da imaju standardne dimenzije i čistu površinu.
- Simulacija slane sredine: Uzorci se postavljaju u komoru za testiranje koja simulira slanu sredinu. Ova komora raspršuje finu maglu slanog rastvora na uzorke i simulira agresivne uslove.



Slika 5. Izgled komore za testiranje slanom maglom.

- Izlaganje uzoraka: Uzorci se izlažu slanoj magli u određenom vremenskom periodu, obično između 24 i 100 sati, u zavisnosti od specifičnih zahteva testa.
- Procena korozije: Uzorci se nakon izlaganja vade iz komore i pažljivo procenjuju. Koristi se vizuelna inspekcija kako bi se utvrdila pojava korozije, oštećenja premaza ili drugih promena na površini uzoraka.

VI. SAF

A. *Suspensions and fixing*

Suspension and Fixing je test koji se obično sprovodi na svetiljkama ili drugim električnim uređajima kako bi se proverila stabilnost i sigurnost veza pri montaži i fiksiranju tj. kako bi se osiguralo da svetiljke ili drugi uređaji mogu sigurno da se montiraju i da ostanu čvrsto fiksirani na svoje postavljene pozicije tokom normalne upotrebe.

Test se izvodi tako što se svetiljka koja visi optereti četiri puta većom težinom tokom perioda jednog sata. Prvi korak u testiranju je merenje mase lampe kako bi se matematički izračunala odgovarajuća težina tegova. U laboratorijama za testiranje dostupni su tegovi različitih masa, a ukoliko nije moguće dobiti tačnu vrednost, koristi se kombinacija tegova sa najbližom većom vrednošću tražene mase. Tokom ili nakon opterećivanja, ne sme biti nikakvog savijanja ili deformacije koja bi smanjila električne razmake ili ugrozila bezbednost.

Smatra se da je lampa prošla test ako su ispunjeni određeni kriterijumi, i to:

• Fizička stabilnost: Lampa koja se nije rasklopila ili deformisala tokom testiranja,

• Merenje rastojanja u zadatim granicama: Ako su merena rastojanja (na primer, električni razmaci ili geometrijske dimenzije) unutar zadatih granica ili specifikacija.



Slika 6. Priprema testiranja opterećenjem tegovima.

B. *Provera postojanosti oznaka*

Test provere postojanosti oznaka služi za proveru trajnosti labela tj. oznaka na lampi. Trajnost se proverava laganim pritiskom date oznake 15 sekundi komadom tkanine natopljenim vodom, a zatim, nakon sušenja, još 15 sekundi komadom tkanine natopljenim petrolejem.

Ova metoda se koristi da bi se proverilo koliko je trajno označavanje i da li se lako uklanja nakon izlaganja ovim supstancama. Rezultati se utvrđuju vizuelnom inspekcijom.

Vizuelna inspekcija obuhvata pregled i proveru označenih elemenata kako bi se utvrdilo da li su oznake jasno vidljive nakon testiranja.



Slika 7. Priprema *Marking* testa.

C. *Testiranje uzemljenja*

Ovaj test ima za cilj da osigura ispravno uzemljenje da bi električni sistem bio bezbedan. Struja od najmanje 10A dobija se iz izvora konstantne struje, pri čemu je napon praznog hoda *(eng. no-load voltage)* u kolu ograničen na 12V. Ova struje se propušta između terminala ili kontakta za uzemljenje i svakog od dostupnih metalnih delova naizmenično i simulira scenario kada bi uzemljenje moralo da prihvati značajnu struju u slučaju kvara ili prenapona. Otpor između priključka ili kontakta za uzemljenje i pristupačnog metalnog dela ne sme biti veći od 0,5 Ω. Prilikom ispitivanja se primenjuje struja u periodu od najmanje 60 s.





Slika 8. Praćenje parametara testne tačke.

VII. TERMALNI TEST

Termalno testiranje je metoda ispitivanja sposobnosti uređaja da bezbedno radi na različitim temperaturama. Podaci prikupljeni termalnim testovima omogućavaju inženjerima projektantima razumevanje bezbedne radne granice rada uređaja prilikom njegovog projektovanja, dobijanje informacija o opštim karakteristikama materijala i potencijalnom veku trajanja uređaja.

Lampa se uključuje i ostavlja da se stabilizuje tokom 3 sata pre početka merenja temperatura. Temperature se beleže svakih 10 minuta sve dok se ne postigne stabilno stanje, a zatim se beleže trenutne vrednosti temperatura kritičnih tačaka. Kritične tačke na lampi predstavljaju merna mesta na kojima se povezuju termopari radi merenja temperature tokom testiranja. Ove tačke su definisane u specifikaciji uređaja.

Prvi korak pri termalnom testiranju je priprema lampe. Lampa se povezuje na spoljašnji izvor napajanja, zatim se proveravaju merene vrednosti struje, napona, snage, frekvenije itd. sa standardnim vrednostima na labeli. Ukoliko se vrednosti poklapaju, sledeći korak je povezivanje termopara.

Termopar je temperaturni senzor koji radi na principu Zebekovog efekta. Zebekov termoelektrični efekt je fizička pojava nastajanja elektromotorne sile u električnom kolu dva provodnika od različitih metala ili legura, čiji se spojevi nalaze na različitim temperaturama. Jedan spoj se naziva merni spoj termopara i predstavlja spoj dve termoelektrode termopara koji je izložen temperaturi koja se meri *(eng. hot junction)*. Drugi spoj je referentni spoj termopara i predstavlja spoj dve termoelektrode koji se stavlja na poznatu - referentnu temperaturu od 0°C *(eng. cold junction)* sa kojom se poredi merena temperatura.

Važno je pravilno postaviti termopare na ključne tačke za različite vrste svetiljki. Merni spoj termopara treba fiksirati specijalnom trakom koja je otporna na visoke temperature. Za bolje rezultate merenja, preporučuje se postavljanje trake na drajveru, ispod termopara zbog njegovog dodatnog zagrevanja, kao i iznad termopara zbog samog fiksiranja.

Pored specijalne trake, takođe se mogu koristiti različite vrste folija koje su otporne na visoke temperature i obično se koriste na optičkim komponentama.

Sledeći korak pri termalnom testiranju je provera radnih uslova. Testni inženjeri moraju pažljivo i kritički analizirati rezultate testiranja jer čak i mala greška može dovesti do netačnih rezultata. Tačnost rezultata može biti narušena zbog elektromagnetne interferencije, loše kalibrisanih instrumenata, pogrešno podešenih opsega instrumenata te izvođenja merenja u neadekvatnim uslovima.

Pre puštanja lampe u rad, potrebno je proveriti sledeće parametre u vezi sa okruženjem i uslovima:

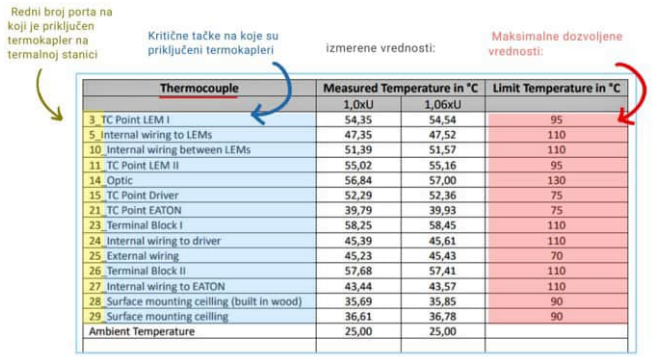
- Vlažnost: Proveriti nivo vlage u okruženju kako bi se osiguralo da je vlaga u okruženju u kome se lampa testira u skladu sa preporučenim vrednostima proizvođača. Prevelika ili premala vlažnost može uticati na performanse lampe ili uzrokovati probleme kao što su korozija ili električni kvarovi.
- Trajanje testa: Podesiti trajanje testa u zavisnosti od specifičnih zahteva proizvođača.
- Ambijentalna temperatura: Podesiti ambijentalnu temperaturu u prostoriji u kojoj se lampa testira u zavisnosti od specifičnih zahteva proizvođača.

Nakon proverenih uslova i priključenih termopara, lampa se pušta u rad. Nakon 3 sata očitavaju se rezultati sledećih ključnih parametara:

- Temperatura: Merenje temperature na različitim tačkama unutar lampe i oko nje kako bi se utvrdila

kontinualnost propisane radne temperature i da li su termalni uslovi prihvatljivi.

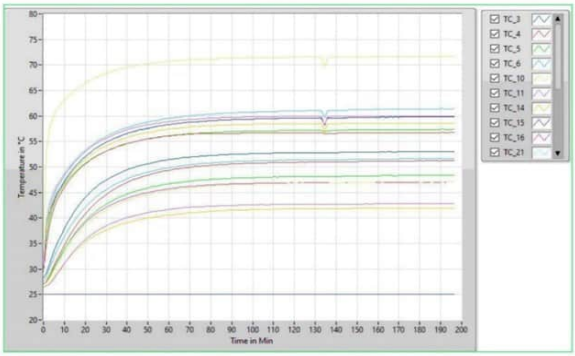
- Električni parametri: Provera ovih parametara obezbeđuje da napon i struja koji prolaze kroz lampu ne izazivaju oštećenja.
- Stabilnost rada: Ocena stabilnosti rada lampe tokom perioda od 3 sata kako bismo utvrdili da li postoji bilo kakvo fluktuiranje temperature kritičnih tačaka i izlaznog napona i struje ili nepravilnosti u radu.



Thermocouple	Measured Temperature in °C		Limit Temperature in °C
	1,0xU	1,06xU	
3_TC Point LEM I	54,35	54,54	95
5_Internal wiring to LEMs	47,35	47,52	110
10_Internal wiring between LEMs	51,39	51,57	110
11_TC Point LEM II	55,02	55,16	95
14_Optic	56,84	57,00	130
15_TC Point Driver	52,29	52,36	75
21_TC Point EATON	39,79	39,93	75
23_Terminal Block I	58,25	58,45	110
24_Internal wiring to driver	45,39	45,61	110
25_External wiring	45,23	45,43	70
26_Terminal Block II	57,68	57,41	110
27_Internal wiring to EATON	43,44	43,57	110
28_Surface mounting ceilling (built in wood)	35,69	35,85	90
29_Surface mounting ceilling	36,61	36,78	90
Ambient Temperature	25,00	25,00	

Slika 9. Tablerani prikaz rezultata termalnog testa.

Na slici 10 je prikazana zavisnost temperature od vremena za svaku kritičnu tačku. Temperatura u početku naglo raste, dok se ne uspostavi temperaturna stabilnost. Kod temperature kritičnih tačaka, ne bi trebalo da postoje nagle promene u vrednosti.



Slika 10. Grafički prikaz rezultata termalnog testa.

Nakon prikupljenih rezultata sledi kreiranje izveštaja. Izveštaj se zatim šalje nadležnim osobama na dalju proveru kako bi se potvrdila ispravnost testiranja i rezultata pre puštanja lampe u dalju proizvodnju ili distribuciju. Ovaj proces obezbeđuje dokumentovanje i validaciju rezultata testiranja prema standardima kvaliteta i omogućava dalju analizu ili akcije koje su potrebne na osnovu dobijenih informacija. Ukoliko lampa nije prošla test, tim inženjera projektanata će napraviti izmene u modelu i vratiti novi model na ponovno testiranje.

Ako test treba ponoviti nakon nekoliko dana, na termin narednog testiranja utiču sledeći faktori:

- Dostupnost laboratorije za tu vrstu testiranja u datom trenutku;
- Vremena potrebnom projektantu da napravi modifikaciju u modelu;
- Kompleksnosti modela;
- Procedura drugih odeljenja;
- Hitnosti isporuke proizvoda itd.

VIII. Zaključak

Testiranje proizvoda obuhvata različite metode i pristupe. Bilo da je reč o softverskom testiranju ili specifičnim vrstama fizičkih testova kao što su testiranje elektromagnetne interferencije i naponskih smetnji, ono ima ključnu ulogu u osiguranju kvaliteta, bezbednosti i pouzdanosti elektronskih uređenja.

Razumevanje koncepta testiranja proizvoda je ključno na današnjem konkurentnom tržištu. Preventivnim testiranjem smanjuje se mogućnost pojave reklamacija u industriji, potencijalni nedostaci se uočavaju i otklanjaju na vreme, što doprinosi poboljšanju proizvoda i procesa, stvaranju inovacija, i na kraju, ostvarivanju većih poslovnih prihoda.

Integracija novih tehnologija, kao što su veštačka inteligencija i mašinsko učenje, može dodatno poboljšati preciznost i efikasnost testiranja.

Na kraju, kontinuirano unapređenje standarda i procedura testiranja ostaje ključno za održavanje visokog nivoa kvaliteta i pouzdanosti proizvoda na tržištu.

Zahvalnica

Ovim putem želim da izrazim svoju duboku zahvalnost inženjerima Bojanu Glavšiću, Dunji Đorđević, i Tijani Ristić za nesebično pruženo praktično znanje i stručne savete. Njihova pomoć i iskustvo bili su od neprocenjive važnosti za moj rad.

Posebno se zahvaljujem Prof. dr Miljani Milić, koja mi je pružila teorijsku podlogu koja je bila neizostavna za razumevanje i uspešnu realizaciju ovog projekta. Njena posvećenost i podrška tokom celog procesa bili su od velike pomoći.

Literatura

[1] V. Litovski, "Projektovanje elektronskih kola", Vranje: Nova Jugoslavija, 2000.
[2] M. Milić, "Praktikum laboratorijskih vežbi iz testiranja elektronskih kola", Niš: Elektronski fakultet u Nišu, 2019.
[3] V. Litovski, "Osnovi testiranja elektronskih kola", Niš: Elektronski fakultet, 2009.
[4] M. Milić, M. A. Stošović i V. Litovski, "Praktikum laboratorijskih vežbi iz testiranja i dijagnostike elektronskih kola", Niš: Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Edicija: Pomoćni udžbenici, 2009.
[5] S. Azam, N. Dall'Ora, E. Fraccaroli, R. Gillon i F. Fummi, "Analog Defect Injection and Fault Simulation Techniques: A Systematic Literature Review", Vol. 43, No. 1, 2024.
[6] H. W. Ott, "Electromagnetic Compatibility Engineering", John Wiley & Sons, 2009.
[7] P. Mathur, S. Raman, "Electromagnetic Interference (EMI): Measurement and Reduction Techniques", Journal of Electronic Materials, IEEE, Vol. 49, No. 5, 2020.
[8] M. S. Sokolović, "Projektovanje testabilnih hibridnih integrisanih kola specifične namene", Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet Niš, 2005.
[9] L. Alrahis, J. Knechte, F. Klemme, H. Amro, "GNN4REL: Graph Neural Networks for Predicting Circuit Reliability Degradation", IEEE, 2022.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.219A
Original scientific paper

Realizacija i testiranje radio identifikacionog sistema korišćenjem MFRC522

Lazar Arsić
Elektronika i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
lazar.arsic@elfak.rs
ORCID: N/A

Sadržaj- **U ovom radu je opisan postupak realizacije i testiranje radio identifikacionog sistema koji može imati velike praktične primene kao što su identifikacija osoba prilikom ulaska ili izlaska iz prostorija.**

Ključne reči- MFRC522, RFID, Arduino

I. Uvod

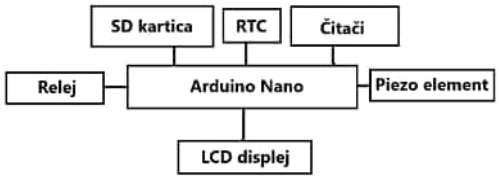
U prvom delu rada je opisan RFID, njegova istorija, vrste kao i osnovni delovi svakog RFID sistema. Nakon toga je opisana realizacija sistema kao i komponente od kojih se sistem sastoji. U nastavku rada je opisano testiranje uticaja prepreka od različitih materijala. Na početku je urađeno testiranje uticaja plastike na uspešnost očitavanje podataka sa taga. Nakon toga je to isto ponovljeno i za drvo, tkaninu i metal. Urađeno je i testitanje uticaja taga drugog frekventnog opsega na uspešnost očitavanja podataka sa taga. Na kraju je dat kratak zaključak i analiza dobijenih podataka.

II. RFID

RFID (*Radio Frequency Identification*) je sistem daljinskog slanja i prijema podataka pomoću RFID kartica/odašiljača [1]. RFID kartica je dosta mali objekat koji se može zalepiti ili ugraditi u željeni proizvod i uređaj. RFID kartice sadrže u sebi antenu koja im omogućava prijem i slanje radio-talasa od RFID čitača. Aplikacije gde je potrebna sigurna i jedinstvena identifikacija te dugotrajnost i izuzetna otpornost identifikatora na razne specifične uticaje okoline, a nije potrebna direktna vidljivost, idealne su za primenu RFID tehnologije. U većini okruženja, RFID postiže 99,5 % do 100 % očitanja u prvom skeniranju. Takođe RFID je bez pokretnih delova ili optičkih komponenti, održavanje je daleko jednostavnije. Osnovni delovi RFID sistema jesu čitač i tag (još se zove transponder). Čitači su elektronski sklopovi koji emituju radio talase kojima se prenose informacije između čitača i taga. Pored toga što se radio talasima prenose informacije pomoću njih se prenosi i energija za napajanje elektronike unutar taga. Reč transponder izvedena je od termina *transmitter/responder*, prema funkciji tog uređaja koji na transmisiju čitača odgovara (*respond*) podatkom. Osnovne komponente transpondera su mikročip i antena, zaliveni u kućište otporno na uticaj okoline.

III. Realizacija sistema

Kako bi smo testirali uticaj prepreka na očitavanje podataka kreiran je sistem koji bi se inače koristio u praksi za očitavanje podataka sa taga. Na slici 1 je data blok šema sistema.



Slika 1. Blok šema sistema.

A. Arduino Nano

Glavna komponenta sistema je Arduino Nano [2] koji zapravo predstavlja razvojno okruženje za mikrokontroler ATmega328p [3]. Ovaj mikrokontroler radi na 16 MHz frekvencije, ima 32 kB flash memorije, 2 kB radne memorije (RAM), periferiju za UART komunikaciju, kao i periferije za I2C i SPI komunikacije ima i 3 tajmera kao i ADC. Na razvojnom okruženju se pored mikrokontrolera nalazi još i FTDI čip (USB na UART) za komunikaciju sa računarem, USB konektor, kvarcni kristal oscilator, kao i naponski regulatori za 3,3 V i 5 V tu je i nekoliko LED kao i taster za reset. Na slici 2 prikazan je Arduino Nano.

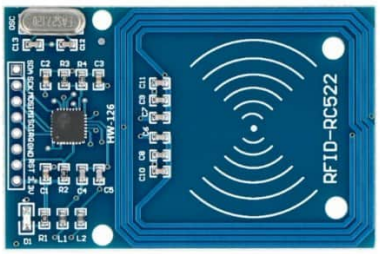


Slika 2. Arduino Nano.

B. Čitač

Čitač je baziran na čipu MFRC522 [4]. MFRC522 je visoko integrisani čitač IC za beskontaktnu komunikaciju na 13,56 MHz. Čitač MFRC522 podržava ISO/IEC 14443 A/MIFARE režim. Interni predajnik MFRC522 je u stanju da pokreće antenu čitača dizajniranu da komunicira sa ISO/IEC 14443 A/MIFARE karticama i transponderima bez dodatnih aktivnih kola. Modul prijemnika pruža robusnu i efikasnu implementaciju za demodulaciju i dekodiranje signala sa ISO/IEC 14443

A/MIFARE kompatibilnih kartica i transpondera. Digitalni modul upravlja kompletnom funkcijom ISO/IEC 14443 A kadriranja i detekcije grešaka (paritet i CRC). MFRC522 podržava MF1xxS20, MF1xxS70 i MF1xxS50 tagove. MFRC522 podržava beskontaktnu komunikaciju i koristi MIFARE veće brzine prenosa do 848 kBd u oba smera. Na slici 3 prikazan je modul čitača [5].



Slika 3. Modul čitača.

C. SD Kartica

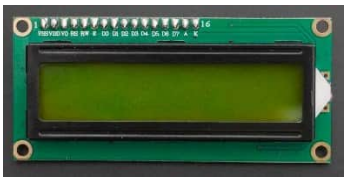
Na SD kartici se beleže podaci o tome ko je i kada ušao ili izašao iz prostorije ili objekta koji je obezbeđen pomoću ovog sistema. Kako bi kartica mogla da se poveže sa mokrokontrolerom potreban je adapter za SD karticu [6] koji je prikazan na slici 4.



Slika 4. Adapter za SD karticu.

D. LCD displej

Na displeju se prikazuju uputstva šta treba raditi kao i ID broj taga koji je očitan. Za potrebe ovog sistema iskorišćen je LCD displej [7] na bazi Hitachi HD44780 drajvera [8]. Na slici 5 je prikazan LCD displej.



Slika 5. LCD displej.

E. RTC (Real Time Clock)

Kako mikrokontroler ATmega328p nema ugrađen RTC tajmer, ako je nama potrebno da znamo tačno vreme kada je tag očitan, sistemu je dodat eksterni RTC tajmer na bazi DS1307 [9]. Ovaj RTC tajmer pored vremena čuva i datum. Na PCB poči se pored RTC čipa nalazi i EEPROM memorija i baterija kako bi tajmer nastavio rad i kad nestane napajanje. Na slici 6 je prikazan modul RTC tajmera [10].



Slika 6. RTC modul.

F. Piezo element

Piezo element koristimo da bi smo imali zvučnu signalizaciju da možemo otvoriti vrata prostorije ili objekta. Na slici 7 je prikazan piezo element [11]. Ovaj piezo element napravljen je od piezo otporne keramike i emituje zvuk kada se na njegove priključke dovede signal. Signal koji se dovodi je PWM signal različite frekvencije.



Slika 7. Piezo element.

G. Relej

Pomoću ovog releja se uključuje i isključuje elektromagnet koji drži vrata zatvorena. Na slici 8 je prikazan modul releja iskorišćen pri realizaciji sistema [12].



Slika 8. Relej.

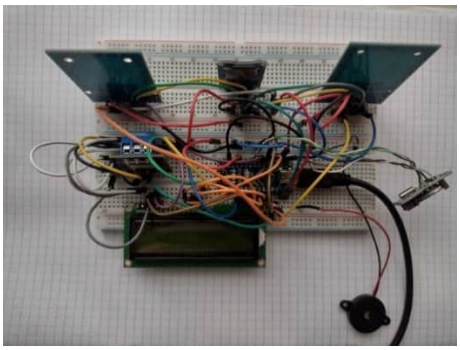
H. Kako sistem funkcioniše

Displej koji se nalazi sa ulazne strane i na njemu se ispisuje poruka u znak dobrodošlice, u našem slučaju je to poruka „DOBRODOŠLI NA POSAO“ kao i tačno vreme. Kada osoba prisloni karticu na displeju se ispisuje ID broj kartice, zatim se uključuje relej kako bi se otvorila vrata i emituje se određeni zvuk. To je ono što korisnik može da vidi i čuje. U pozadini svega toga mikrokontroler na SD karticu upisuje informaciju o

tome ko je ušao i kada je ušao. Sa druge, unutrašnje strane nema displeja već samo čitač. Kada se prisloni kartica uključuje se relej i emituje se zvuk. Osoba ima 5,5 s da otvori vrata pre nego što ih sistem zaključa.

I. Praktična realizacija sistema

Na slici 9 prikazana je praktična realizacija sistema.

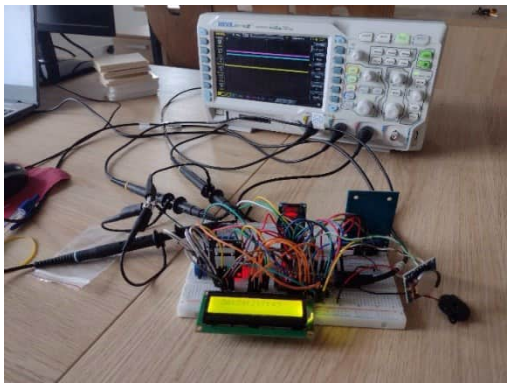


Slika 9. Praktična realizacija sistema.

IV. TESTIRANJE

A. Povezivanje sistema sa osciloskopom

Na slici 10 prikazan je sistem koji je povezan sa osciloskopom. Prilikom testiranja iz sistema je isključen jedan čitač kao i SD kartica kako bi se sistem mogao povezati sa osciloskopom. Na osciloskopu se prikazuju signali komunikacije između mikrokontrolera i RFID čitača (SPI komunikacija). Testiranje je urađeno uz pomoć osciloskopa RIGOL DS1104 [13].



Slika 10. Povezivanje sa osciloskopom.

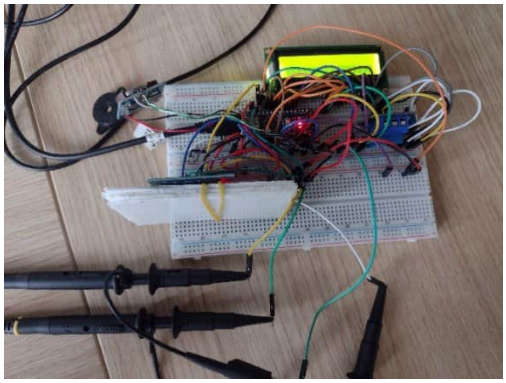
Iako je jedan čitač otkačen od sistema to nema uticaja na efikasnost testiranja kao i na rezultate testiranja. Sonde osciloskopa su povezane na MOSI, MISO i SCK liniju komunikacije između mikrokontrolera i čitača. Na slici 11 prikazan je način komunikacije kada između čitača i taga nema nikakvih prepreka. Ovaj način komunikacije je uzet kao referenca za dalje testiranje uticaja prepreka od različitih materijala na uspešnost očitavanja podataka sa taga.



Slika 11. Izgled komunikacije kada nema prepreka-signali sa osciloskopa.

B. Uticaj prepreka od plastike

Tokom testiranja poredićemo komunikaciju datu na slici 11 i komunikaciju trenutnog testiranja. Ovim utvrđujemo uspešnost očitavanja podataka sa taga. Testiranje je započeto sa 5 plastičnih pločica debljine 1.3 mm svaka tako da je ukupna debljina prepreke 6,5 mm. Na slici 12 je prikazan izgled sistema tokom testiranja. Na slici 13 je prikazana komunikacija između čitača i mikrokontrolera. Ako se ovo uporedi sa prikazom na slici 11 može se uočiti da ne postoji razlika u komunikaciji, što dovodi do zaključka da ova debljina plastike ne utiče na uspešnost očitavanja podataka sa RFID taga.



Slika 12. 5 plastičnih pločica.



Slika 13. 5 plastičnih pločica - signali sa osciloskopa.

Testiranje je nastavljeno sa 10 plastičnih pločica gde je način komunikacije dat je na slici 14. Može se uočiti da se komunikacija razlikuje u odnosu na onu koja je prikazana na slici 11.



Slika 14. 10 plastičnih pločica – signali sa osciloskopa.

Testiranje je nastavljeno sa 15 plastičnih pločica čiji je način komunikacije dat je na slici 15. Može se uočiti da se komunikacija razlikuje u odnosu na onu koja je prikazana na slici 11.



Slika 15. 15 plastičnih pločica – signali sa osciloskopa.

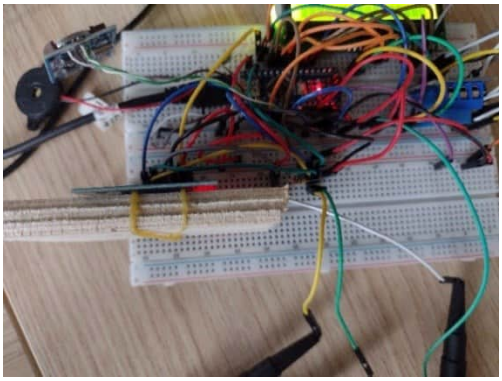
Testiranje sa plastičnim preprekama je završeno sa 19 pločica koje su postavljene između taga i čitača. Komunikacija je prikazana na slici 16 i kao što se da primetiti ona se znatno razlikuje od one prikazane na slici 11.



Slika 16. 19 plastičnih pločica – signali sa osciloskopa.

C. Uticaj prepreka od drveta

I ovde kao u predhodnom slučaju poredimo komunikaciju na slici 11 i komunikaciju trenutnog testiranja kako bi utvrdili uspešnost očitavanja. U ovom slučaju je za testiranje, između čitača i taga postavljene su 3 drvene pločice debljine 3,1 mm svaka tako da je ukupna debljina prepreka od drveta 9,3 mm. Na slici 17 je prikazan sistem za vreme testiranja u ovom slučaju. Na slici 18 je prikazan način komunikacije čitača i mikrokontrolera.



Slika 17. 3 drvene pločice



Slika 18. 3 drvene pločice – signali sa osciloskopa.

Komunikacija se neznatno razlikuje od one na slici 11 ali je očitavanje bilo uspešno u potpunosti zbog nekih korekcija koje sam čip radi.

Testiranje je nastavljeno sa 6 drvenih pločica a nakon toga i sa 8 drvenih pločica. Komunikacije su prikazane na slikama 19 i 20 respektivno. U oba slučaja je bilo potrebno po nekoliko pokušaja da se uspostavi potpuna komunikacija, jer se dešavalo da se komunikacija prekine na pola. Poređenjem komunikacija u ovim slučajevima i komunikacije sa slike 11, može se zaključiti da se one razlikuju i da očitavanje podataka nije upotpunosti uspešno.



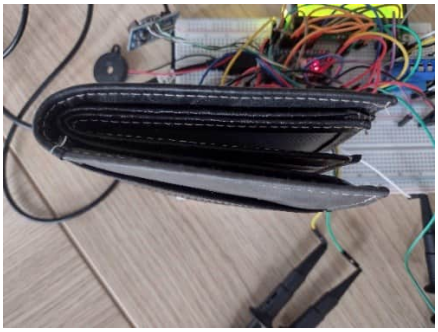
Slika 19. 6 drvenih pločica – signali sa osciloskopa.



Slika 20. 8 drvenih pločica – signali sa osciloskopa.

D. Uticaj prepreka od tkanine

Za ovo testiranje je iskorišćen novčanik kao što je prikazano na slici 21. U ovom slučaju nije bilo uticaja na komunikaciju.



Slika 21. Novčanik kao prepreka.

E. Uticaj metalnih prepreka

U ovom slučaju komunikacija zavisi od oblika metalne prepreke. Ako metalna prepreka prekrije antenu čitača u potpunosti onda ne postoji nikakva komunikacija, jer dolazi do toga da se energija emitovana radio talasima čitača apsorbuje u samoj pločici odnosno dolazi do elektromagnetne indukcije. Međutim, ukoliko prepreka ne prekrije čitavu antenu onda postoji šansa da dođe do komunikacije što je potvrđeno testiranjem sa ključevima.

F. Uticaj tagova drugog frekventnog opsega

Ovde je testirana još jedna situacija koja se može desiti u praksi kada se između čitača i taga nađe tag iz drugog frekventnog opsega. Na slici 22 je prikazana komunikacija između čitača i taga u ovom slučaju. Može se primetiti da komunikacija nije kompletna. Razlog je postojanje antene. Iako je ona projektovana za druge frekventne opsege, od metala je, pa se u njoj indukuje deo energije koja se prenosi radio talasima.



Slika 22. Tag drugo opsega – signali sa osciloskopa.

V. Zaključak

Ono što se može zaključiti iz testiranja jeste da tkanina nema nikakav uticaj na uspešnost očitavanja podataka sa taga. Uticaj plastike i drveta zavisi od njihove debljine. Uticaj metala zavisi od oblika prepreke, pri čemu potpuno prekrivanje antene onemogućava komunikaciju, dok delimično prekrivanje antene pogoršava komunikaciju, ali je ona ipak moguća U svim slučajevima kada dođe do komunikacije između taga i čitača prvo što se očita je UID broj taga i on se očita u svakom slučaju što je sasvim dovoljno za neke primene ovog sistema.

Zahvalnica

Autor se zahvaljuje prof. dr Danijelu Dankoviću na korisnim savetima i instrukcijama tokom pisanja rada, kao i asistentu Nikoli Mitroviću na pomoći tokom testiranja sistema.

Literatura

[1] RFID. Dostupno na: https://www.automatika.rs/baza-znanja/obrada-signala/uvod-u-rfid-tehnologiju.html

[2] Arduino Nano. Dostupno na: https://store.arduino.cc/products/arduino-nano?srsltid=AfmBOorqxD0Hiq0fTNeQMmyQx92-lPqslz7cd2K1aJOGSP_rBAD69TV7

[3] Tehnička dokumentacija za Atmega328p. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/313656/ATMEL/ATmega328P.html

[4] Tehnička dokumentacija za MFRC522. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/310021/NXP/MFRC522.html

[5] Modul čitača. Dostupno na: https://www.proelectronic.rs/Arduino%20razvojni%20sistemi/18817-%20%20%20RFID-RC522%20MODUL%20

[6] Modul za MicroSD karticu. Dostupno na: https://www.kupujemprodajem.com/elektronika-i-komponente/moduli-za-samoizgradnju/arduino-microsd-card-modul/oglas/137246355

[7] LCD displej. Dostupno na: https://www.proelectronic.rs/Optoelementi/Displeji/Lcd/14844-LCD%20DISPLEJ%202X16%20%281602A%29

[8] Tehnička dokumentacija za HD44780. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/63673/HITACHI/HD44780.html

[9] Tehnička dukumentacija za DS1307. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/226599/MAXIM/DS1307.html

[10] RTC modul. Dostupno na: https://www.proelectronic.rs/Arduino%20razvojni%20sistemi/17150-DS1307%20RTC%20MODUL

[11] Modul piezo elementa. Dostupno na: https://www.proelectronic.rs/Zvucnici/Piezo%20elementi/3093-BUZER%20PT2728WQ

[12] Modul releja. Dostupno na: https://www.proelectronic.rs/Arduino%20razvojni%20sistemi/17145-MODUL%20-1%20RELE

[13] Osciloskop RIGOL DS1104. Dostupno na: https://rigolshop.eu/product-oscilloscope-ds1000z-ds1104z%20plus-1.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.225C
Original scientific paper

Design and Practical Realization of The Snake Game Using Arduino Nano

Iva Cvetanović
Dept. of Microelectronics
Faculty of Electronic Engineering
Niš, Serbia
iva.cvetanovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Petar Nikolić
Dept. of Microelectronics
Faculty of Electronic Engineering
Niš, Serbia
nikolicpetar@elfak.rs
ORCID: N/A

***Abstract* — This project is based on the world-famous *Snake game,* which was first introduced to the public in 1997, with its fairly simple premise: the player controls the movements of the snake, leading it towards the apple – a single pixel on the screen – which, after being eaten, causes the snake's body to elongate. After pressing a button, the player exits the pre-game state (including a welcome screen and, if second button is pressed, the leaderboard is shown on a 16*2 Liquid Crystal Display, i.e. LCD) and enters the in-game state, with the LCD now showing the player's current score determined by the number of eaten apples, and both the snake and the apple being shown on two LED (Light Emitting Diode) matrices daisy-chained together. In case of the snake colliding with its own body, the LCD shows the game-over screen, updating the leaderboard according to the data stored in the EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) to show the three highest scores and the names entered by the players who achieved them.**

Keywords—snake game, microcontroller, EEPROM, interrupt, LCD.

I. Introduction

In the 1990s, mobile phones were used almost entirely for communication purposes, in other words – for texting and calling. After the release of Nokia's [1] 6110 phones in 1997, they found themselves expanding their target audience, as their phones now included a game, which attracted younger users as well and presented a stepping stone towards today's smartphones. Developed by the company's Taneli Armanto [2] and inspired by his interest and lifelong passion for board and arcade games, *Snake* was a rather simple game with some limitations, such as the number of keys used to control the game, a limited display and a small amount of memory available on the devices at the time. Although mobile gaming has come a long way since then, the simplicity and engaging premise have allowed this game to withstand the passage of time and remain a fond memory to some people and an inspiration to others [3].

With all this taken into consideration, the aim of this paper is to recreate a classic *Snake* game by implementing a circuit with a microcontroller unit i.e. MCU which controls the matrix comprised of LEDs.

II. Practical Realization

The snake game was realised on a breadboard with the components connected to an Arduino Nano [4] board, with SPI (Serial Peripheral Interface) signals being monitored on the oscilloscope, as shown in Fig. 1. The code was written in Arduino IDE [5]. Functionality of the schematic was simulated in Proteus simulator [6].

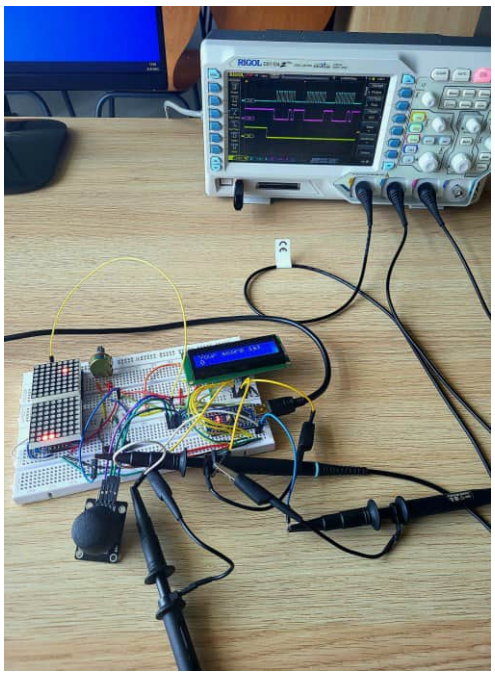


Fig. 1. Game circuit realised on a breadboard in a laboratory.

The circuit is shown in Fig. 2. User interface consists of an LCD, two interrupt buttons in pull-down configurations (connected to D2 and D3 pins of Arduino Nano) and a joystick. Register Select, Enable and Data pins (4-7) of the LCD are connected to pins D4-D9 on the Arduino Nano board, respectfully. Analog pins of the joystick are connected to A0 and A1 pins (joystick is simulated as a pair of potentiometers in Proteus). MAX7219 [7] drivers for LED matrices use SPI communication protocol with their Clock pin connected to D13, Chip Select/Load pin connected to D10 and Data Input pin connected to D11. When more LED

matrices are in a daisy-chain, the Data Output pin of the first matrix is connected to Data Input pin of the next matrix. This way, more than one matrix can be used for display purposes.

Virtual serial communication terminal is only included in the simulation (and connected to D0 and D1 pins).

It is important to notice that when this circuit is connected on a real breadboard, one extra resistor (value is typically 220 Ω) is used for limiting the current through Backlight pins of the LCD and also one 10 kΩ potentiometer is needed for the regulation of brightness of the LCD.

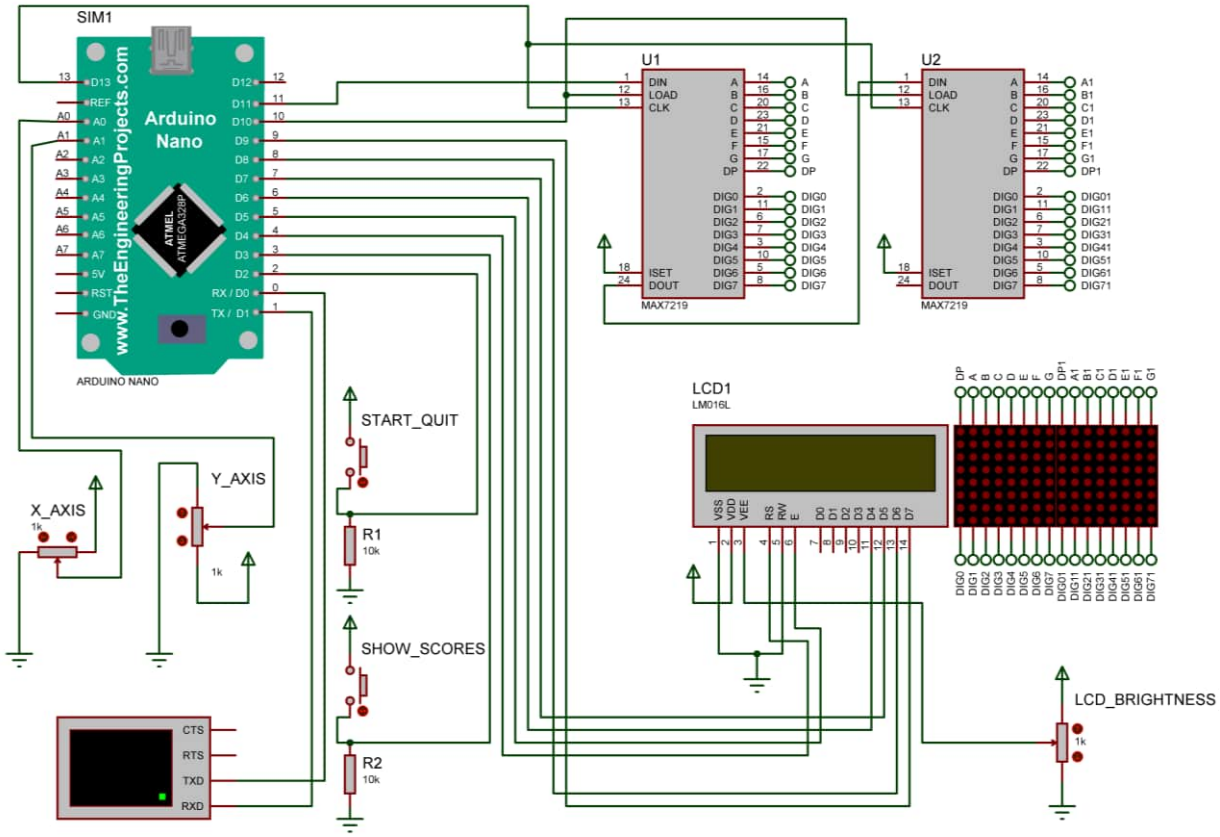


Fig. 2. Proteus schematic for the snake game.

III. Components Used

Following is the list of all the components that were used in the making of the snake game:

- Arduino Nano [4].
- 8*8 LED matrix with MAX7219 [7] driver (code was written for an arbitrary number of matrices, so their number may vary).
- Joystick.
- 16*2 LCD display with Hitachi HD44780 [8] driver.
- EEPROM (internal to ATmega328P [9]).
- 2*buttons (one for start or quit and second for showing the scores using the interrupts).
- 1*potentiometer (for LCD brightness control).
- 2*10 kΩ resistors (for pull-down configuration of the buttons).
- 220 Ω resistor (limiting the current through the backlight of the LCD).
- wires for connections.
- breadboard.

IV. LED Matrix

An 8x8 LED Display consists of 64 LE diodes arranged in rows and columns, forming a grid shown in Fig. 3. Internally, the cathodes of each diode are interconnected within a column, while the same is true for the anodes of each row; the aforementioned configuration is known as Column Common Cathode, which is the case with the model used for this project, and the reversed setup is referred to as Row Common Cathode. Both the row and column of a specific diode have to be polarized in order for it to be lit up: in this particular case, the appropriate row should be connected to the power supply, meanwhile the corresponding column ought to be grounded – this way a current pathway is created and the LED lights [10].

By controlling either an entire row or column at a given time, utilizing a method called scanning, it is possible to control the LED Display, allowing the display of any image without the accidental activation of diodes not needed for the intended result. It occurs in 8 iterations, as many as the number of rows/columns is [10].

In order to establish communication with the LED Display, it is required to include a driver. The MAX7219/MAX7221 are serial input/ output common-cathode display drivers that interface microprocessors to 7-segment displays, bar-graph displays or 64 individual LE

diodes and are compatible with SPI. Pictured below is a table showing the register address map [7].

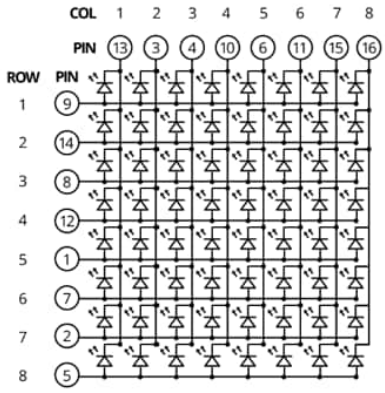


Fig. 3. Arrangement of LEDs in an LED matrix.

Registers of interest in this project are the shutdown register (operating normally), the display test register (set to operate normally as well), the decode mode register (in no decode mode), the scan limit register (which displays digits 0-7), and the intensity register (intensity established at medium) [7]. The addresses of these registers are shown in Fig. 4.

REGISTER	ADDRESS					HEX CODE
	D15–D12	D11	D10	D9	D8	
No-Op	X	0	0	0	0	0xX0
Digit 0	X	0	0	0	1	0xX1
Digit 1	X	0	0	1	0	0xX2
Digit 2	X	0	0	1	1	0xX3
Digit 3	X	0	1	0	0	0xX4
Digit 4	X	0	1	0	1	0xX5
Digit 5	X	0	1	1	0	0xX6
Digit 6	X	0	1	1	1	0xX7
Digit 7	X	1	0	0	0	0xX8
Decode Mode	X	1	0	0	1	0xX9
Intensity	X	1	0	1	0	0xXA
Scan Limit	X	1	0	1	1	0xXB
Shutdown	X	1	1	0	0	0xXC
Display Test	X	1	1	1	1	0xXF

Fig. 4. MAX7219 registers.

V. SPI Interface

For the MAX7219, 16-bit packets of serial data are shifted into the internal 16-bit shift register at Din with each rising edge of the clock, regardless of the LOAD state. SPI is a synchronous, full duplex main-subnode-based interface and, due to the previously mentioned, the data from the main (the device which generates the clock signal) or the subnode is synchronized on the rising clock edge [7][11].

To initiate SPI communication, the master (main) has to provide the clock signal and select the slave (subnode) by activating the CS signal; for the MAX7219, CS must be low in order for data to be transferred in or out. Due to its full-duplex nature, both the main and the subnode can send data simultaneously, which means that the data is transmitted and received at the same time [11].

Communication protocols are used with the intention of establishing communication between electronic devices, with SPI being one of the most common ones, aside from I2C and UART. The advantages of using SPI include the data being streamed continuously and without interruption, no complicated slave addressing system (unlike I2C), higher data transfer rate than I2C which makes it almost twice as fast, and separate Master Input/Slave Output and Master Output/Slave input lines, making it capable of sending and receiving data at the same time [12].

As previously described, the protocol operates on the principle of using a master device and one or multiple slave devices: in order for the communication to begin, the clock signal synchronizes the output of data bits from the master (in this case, the ATmega328P MCU) to the sampling of bits by the slave (namely, the MAX7219 driver), with one bit of data being transferred during each clock cycle [12].

After outputting the clock signal, the Arduino Nano microcontroller switches the CS (Chip Select) pin to a low voltage state during which communication is enabled – in case of a high voltage level, communication is disabled and the devices enter a non-transmitting state. This is shown in Fig. 5.

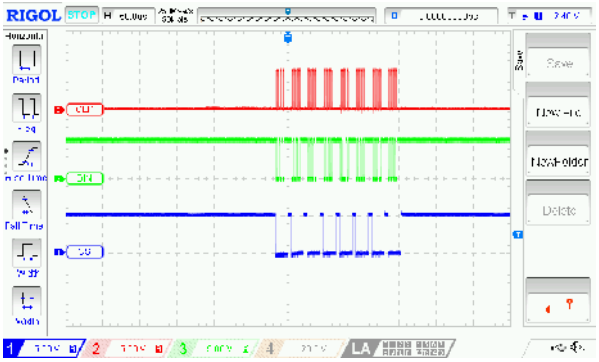


Fig. 5. Role of CLK and CS signals in SPI transmissions.

The data is sent and read one bit at a time, and in this particular case, the first row of the first matrix's address and data and the first row of the second matrix's address and data are sent first, in a singular transaction and in that exact order, since the registers of the first rows have the same address, they just belong to different matrices. The event occurs a total of eight times during each cycle of transmission, meaning that all eight rows of both matrices have had their addresses and data sent. These bits are included in the DIN signal shown in Fig. 6.



Fig. 6. DIN signal in SPI transmissions.

In order to light up a single pixel on an LED matrix via SPI, it is crucial to understand that the MAX7219 driver expects data to be sent in two bytes, with the first one specifying the row address, and the second specifying the column data; the former bearing the address of the row, and the latter containing the binary value representing the number of the column intended to turn on (prefaced by 0b, which indicates that the following value is in binary code, as well as a 0 indicating an unlit pixel and a 1 placed in the position of the pixel supposed to be lit up). After setting the CS pin to low and initializing SPI, as well as sending the data – with the two bytes serving as x and y coordinates of the pixel, respectively – the CS pin is set to high in order to store the data that was previously sent. The most convenient way to send the data and control the CS pin is by using a void type function, where the first variable being passed corresponds to the row, and the second indicates the column.

If, however, the aim was lighting up an entire row, considering the data is sent by calling the same function as before, the first byte would indicate the position of the row, while the second would be 0b11111111 (or, rather, 255 in decimal and 0xFF in hexadecimal). Nevertheless, lighting up an entire column is not as simple. It includes manipulating multiple rows at once, ideally using a *for* loop which passes through every single row, in which the function is called once again by sending the value of the current iteration's row as the first variable and the same binary number corresponding to the intended column for every iteration. That way the pixels within the same column, but in different rows, are all lit up.

VI. Code and Function Diagrams

The code written for the snake game consists of two C++ libraries called "GameBase" and "SnakeGame" that are then included in the main code written in Arduino IDE. "GameBase" defines the "Snake" class, the "Dot" structure and other constants regarding the dimensions of the game screen, which may vary depending on the number of matrices that are daisy-chained. The "GameBase" library is included in the "SnakeGame" library which defines all the functions and variables needed for creating the game frame and showing it on the matrices. Also "SnakeGame" includes EEPROM functions for reading and writing best scores achieved by players.

The Snake game can be portrayed as an FSM (Finite State Machine), since there are three different game states ("preGame", "inGame" and "gameOver"). Transitions between these states are shown in Fig. 7. In the "preGame" state, the player can press the interrupt button for showing the best scores on the LCD, while in the "gameOver" state the current player score can be written to EEPROM along with a three character player name, but only when that score is greater than the last score written in EEPROM.

The most important function that is included in „SnakeGame" is the „updateFrame" function which is responsible for creating the next frame to be shown on the LED matrix. The diagram for this function is shown in Fig. 8. Based on the snake's head coordinates in the next frame and the data about the previous frame that was shown, the next frame data is formed. Since this function is running in the „inGame" state, when the snake's next frame head coordinates match any part of the snake's body coordinates, the snake hit itself, so the game transitions to the „gameOver" state. Transition to the „gameOver" state also happens when the maximum snake's body length is reached.

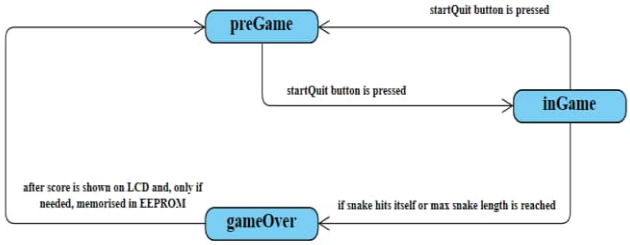


Fig. 7. Snake game as an FSM.

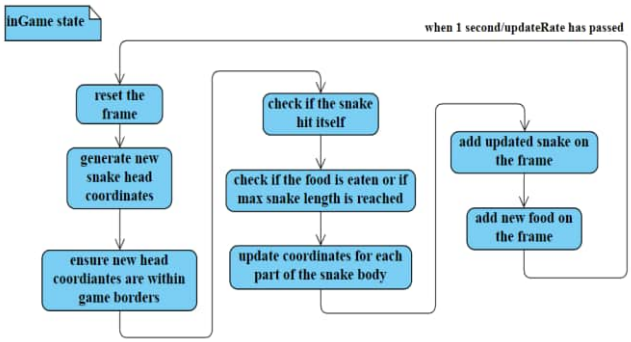


Fig. 8. Diagram for function updateFrame.

As stated before, player scores can be written to EEPROM, when the game is in „gameOver" state. The diagram for the function responsible for this process is shown in Fig. 9. An important notice is that the external hardware interrupts are disabled when writing to or reading from the EEPROM. This is done so that the content of the memory won't be corrupted.

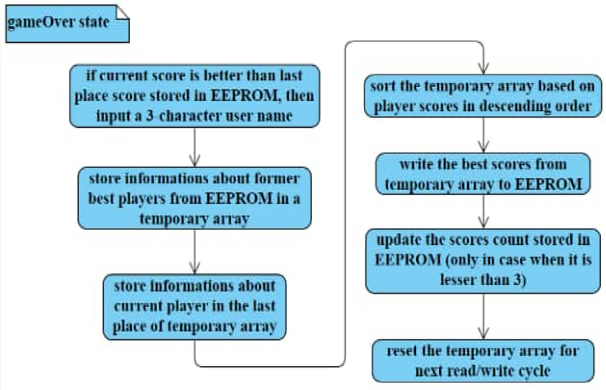


Fig. 9. Diagram for function EEPROMputPlayerInfoInMemory.

VII. Game Demonstration

In this chapter, the reader will get a better understanding of the playthrough of the game. Different game stages are shown in the upcoming figures. In this case, only one LED matrix was used.

Starting screen, button function explanation screen and the screen when there are no scores written in EEPROM are shown in Fig. 10. These screens are shown on the LCD, while the LED matrix is inactive.



Fig. 10. Starting screen, pre-game screen and „no scores in memory“ screen.

When the game is in motion, the LED matrix is showing the snake and the apple, while the LCD is showing the current score. When the game ends, the LCD is showing the final score, as shown in Fig. 11.

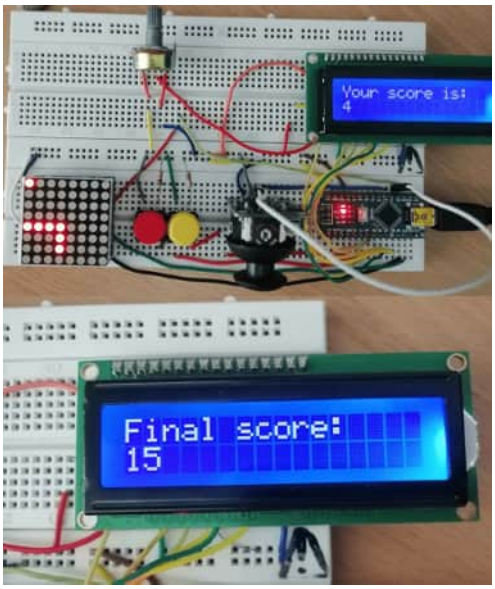


Fig. 11. In-game and game-over state.

After the game is over, the player can input their three-character name via serial communication. After memorising this data, a message is shown on the LCD indicating a successful score save. These screens are shown in Fig. 12.

If a user wants to see the best scores that are memorised, after pressing the yellow button, a sequence of screens will be shown on the LCD. This is shown in Fig. 13.

VIII. Conclussion

This solution for the *Snake* game was tested and its functionality was confirmed, although some improvements can be added.

Firstly, the whole schematic can be realised on a PCB (Printed Circuit Board), with it occupying less space and making the whole game circuit more compact.



Fig. 12. Score memorising via serial communication.

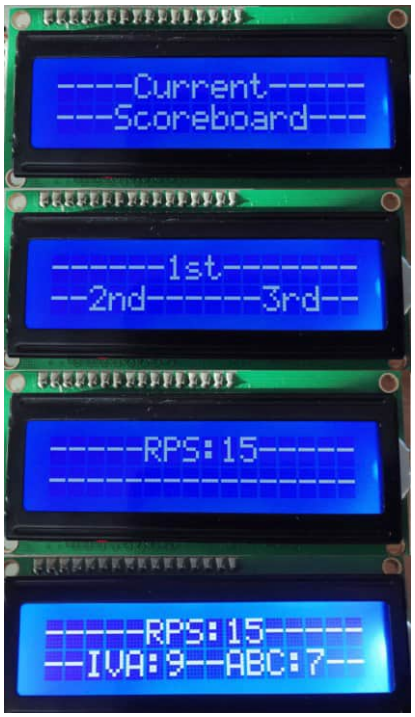


Fig. 13. Score showing sequence, for one and multiple memorised scores.

Another improvement pertains to the joystick connection; when the joystick is connected via wires, some complications may occur, such as unplugging of the wires from the breadboard. Wireless connection may be a more suitable option.

In this version of the *Snake,* only one game mode is available. The game code and user interface can be expanded so that they contain different game modes.

Lastly, a piezo-buzzer can be added to the circuit, for the in-game sound effects.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank m. eng. Nikola Mitrović for supplying the needed components and devices, practical help in the laboratory, and suggestions in the making of this paper.

REFERENCES

[1] Nokia website. Available at: https://www.nokia.com/

[2] Taneli Armanto's Linkedin profile. Available at: https://fi.linkedin.com/in/taneli-armanto-4242145

[3] About the Snake game. Available at: https://www.itsnicethat.com/features/taneli-armanto-the-history-of-snake-design-legacies-230221/

[4] Arduino Nano datasheet. Available at: https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf

[5] Arduino IDE. Available at: https://www.arduino.cc/en/software

[6] Proteus simulator. Available at: https://www.labcenter.com/downloads/

[7] MAX7219 datasheet. Available at: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX7219-MAX7221.pdf

[8] LCM1602C datasheet. Available at: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1221278/ETC2/LCM1602C.html

[9] ATmega328P datasheet. Available at: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf

[10] About LED matrix. Available at: https://softwareparticles.com/learn-how-an-8x8-led-display-works-and-how-to-control-it-using-an-arduino/

[11] About SPI. Available at: https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html

[12] More about SPI. Available at: https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-spi-communication-protocol/

IEEESTEC-17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.231N
Original Scientific Paper

Kalibracija fotodiode

Nikolija Nikolić
Modul elektronske komponente i mikrostitemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
nikolijanikolic@elfak.rs
ORCID: N/A

Luka Jeremić
Modul elektronske komponente i mikrostitemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
lukajeremic@elfak.rs
ORCID: N/A

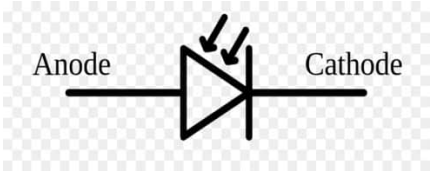
Nikola Šipić
Modul elektronske komponente i mikrostitemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
nikolasipic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Zadatak ovog rada bio je projektovanje kola sa dva različita modela fotodioda, dva potenciometra i tri LED diode. Okretanjem potenciometara, ostvariti identičan izlazni napon od 2.5 V sa svake od fotodioda. Kada je napon ostvaren na prvoj fotodiodi, uključuje se srednja LED dioda. Dok je napon manji, uključuje se leva LED dioda, a dok je veći, uključuje se desna. Promenom digitalnog pina na mikrokontroleru prelazi se na kalibraciju naredne fotoodiode, dok se sva tri ne kalibrišu. Napon podešavati od 0 V do 1 V, sa korakom od 0.1 V. Vrednosti sa oba potenciometra su zapisivane za svaku vrednost napona i dat je grafički prikaz rezultata.**

***Ključne reči*— fotodioda, fotonaponski režim, operacioni pojačavač, kalibracija.**

I. Uvod

Fotodiode pripadaju grupi optoelektronskih komponenata. Osnovna karakteristika je da se inverzna struja zasićenja kod ovih komponenata menja sa promenom intenziteta upadne svetlosti. Električni simbol fotodiode prikazan je na Slici 1. Kućišta fotodioda mogu da budu prozirna ili da se na njima nalazi otvor koji omogućava svetlosti da dopre do samog čipa.



Slika 1. Električni simbol fotodiode.

Neki od osvnovnih električnih parametra fotodiode su: visoka osetljivost na talasnoj dužini koju emituje optički izvor,nizak nivo šuma, brz odziv (veliki frekvencijski opseg), niska osetljivost na promene temperature i druge ambijentalne uslove, razumna cena u odnosu na druge komponente senzorskog sistema idug radni vek.

Postoje dve struje koje teku kroz fotodiodu. Inverzna struja zasićenja I_0 ili struja mraka (eng. *dark current*) koja teče kroz fotodiodu kada ona nije osvetljena. Struja osvetljenja ili fotostruja I_p, koja postoji zbog dejstva upadne svetlosti, postiže da se tada stvaraju parovi elektron-šupljina. Struja usled dejstva upadne svetlosti se naziva struja osvetljaja (eng. *light current*) ili fotostruja I_p i superponira se na struju diode I_D [1].

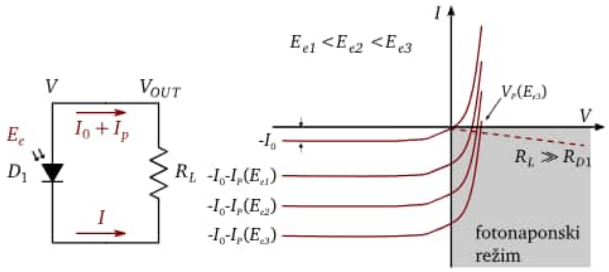
Ova struja diode je data u jednačini 1:

$$I_D = I_0 \left(\exp\left(\frac{V}{V_t}\right) - 1\right) \tag{1}$$

Pri čemu je V napon na fotodiodi.

Osnovno kolo fotodiode ne uključuje primenu napona polarizacije, kao što je prikazano na Slici 2. Struja I_p se menja u zavisnosti od iradijanse E_e upadne svetlosti, tako da je pad napona na otporniku prikazan u jednačini (2):

$$V_{out} = V = (I_0 + I_p)R_L \tag{2}$$



Slika 2. Fotodioda u fotonaponskom režimu.

U ovom slučaju pad napona V_{out} teži da pozitivno polariše diodu. Zato kroz diodu počinje da teče struja suprotnog smera od smera fotostruje. Kada struja I postane jednaka nuli, dolazi do fizičkog mehanizma kojim se ostvaruje promena napona na fotodiodi V_P ekvivalentna jednačini 3:

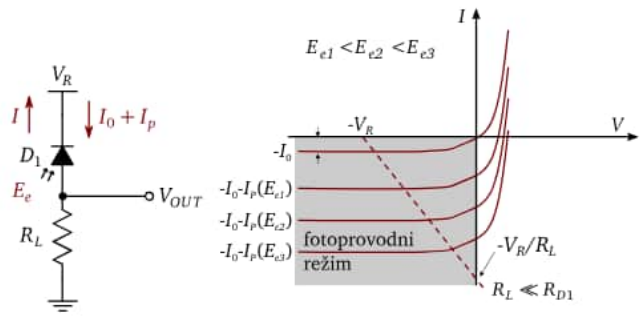
$$V_{p(E_e)} = V_t \ln\left(\frac{I_p(E_e)}{I_0} + 1\right) \tag{3}$$

konkrektno kao što se u ovom projektnom zadatku promena napona na fotodiodi u smislu fizičkog mehanizma vrši pomoću potenciometra.

Fotonaponski efekat je pojava kada se fotodioda ponaša kao izvor jednosmernog napona, samim tim fotodioda radi u fotonaponskom režimu. Napon $V_p(E_e)$ naziva se fotonapon

[1]. Slično, struja $I_p(E_e)$ koja odgovara uslovu V = 0 naziva se fotostruja [1].

Takođe fotodioda se može iskoristiti i u režimu inverzne polarizacije Slika 3.



Slika 3. Fotodioda u fotoprovodnom režimu.

Sada će izlazni napon biti dat u jednačini 4:

$$V_{out} = (I_o + I_p)R_L = -IR_L \qquad (4)$$

Onda će odziv fotodiode na upadnu svetlost biti linearan, pod uslovom da se vrednost napona inverzne polarizacije izabere tako da je uvek ispunjen uslov $V_R > V_{out}$ [1].

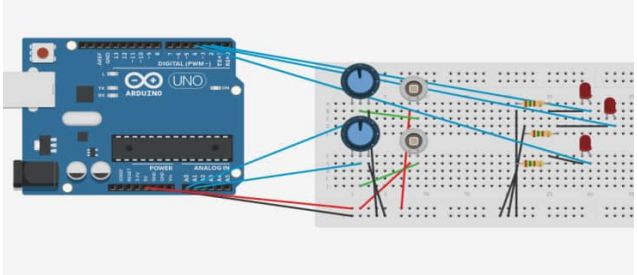
Dakle mehanizmi kojima se ostvaruje promena napona na fotodiodi, pored fotonaponskog efekta i fotoprovodnog efekta mogu da budu i unutrašnje pojačanje, kao i rekombionacija.

II. Praktična realizacija

Za praktičnu realizaciju potrebne su sledeće komponente:

- Protoploča,
- Žice,
- Arduino Uno i kabl,
- Fotodioda BPW34,
- Fotodioda SFH213FA,
- Potenciometrizarazdelnike (prilagoditi graničnim vrednostima osvetljenosti),
- 3 otpornika otpornosti 220 Ω,
- 3 jednobojne LED diode.

Kolo za praktičnu realizaciju predstavljeno je u programu Tinkercad na Slici 4.

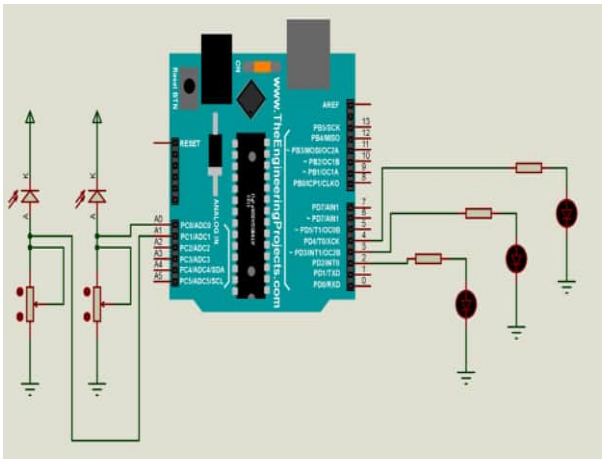


Slika 4. Pokazna ilustacija povezivanja kola u programu *Tinkercad.*

Što se praktične realizacije tiče koristi se mikrokontroler sa Arduino okruženjem. Sa mikrokontrolera koriste se digitalni pinovi 2, 3 i 4, dok za potenciometre analogni ulazi A0 i A1. Zapravo pinovi A0 i A1 se povezuju na zajedničke tačke jednog i drugog potenciometra sa različitim fotodiodama. Konkretno pin A1 se dovodi na donji potenciometar (videti sliku 4.) koji povezan sa donjom fotodiodom. Isti princip važi i za gornji potenciometar i gornju fotodiodu samo što je gornji potenciometar povezan na pin A0. Digitalni pinovi 2, 3 i 4 su dovedeni na anode LE dioda. Sa slike se može uočiti da je digitalni pin 2 vezan za gornju LE diodu, treći pin za srednju LE diodu, a pin broj 4 za donju LE diodu. Katode jednobojnih LE dioda su povezane na otpornike od 220 Ω kako bi proticala struja. Odnosno za adekvatan napon na diodi samo jedna od tri diode će svetleti. Takođe samo kolo se napaja vrednošću od 5 V.

Cilj projekta je da za određeni napon svetli odgovarajuća dioda. Za napon manji od 2.45 V svetli gornja dioda, za napon izemeđu 2.45 V – 2.55 V svetli srednja dioda, a za napon veći od 2.55 V svetli donja dioda. Promenu napona, a samim tim i kalibraciju fotodiode vršimo preko potenciometra. Preko potenciometra se kalibriše potreban napon u zavisnosti koja LE dioda će svetleti. Što se tiče same kalibracije fotodiode bolje rezultate će pružati ona fotodioda koja ima širi spektralni opseg.

Da bi se olakšala sama praktična realzacija, odnosno povezivanje, kolo je takođe urađeno i u programu *Proteus*. Kolo je prikazano na Slici 5.



Slika 5. Šema kola u program *Proteus.*

U programu Proteusdigitalni pin 2 je vezan za donju LE diodu, dok je gornja LE diodavezana za pin broj 4.

Prilikom realizacije projekta u programima *Tinkercad* i *Proteus* dolazi do problema u pokretanju same simulacije. Naime da bi vežba radila u *Tinkercad*-u, potrebni su potenciometri vrednosti od 2 MΩ. Naravno to u praktičnoj realizaciji nije moguće, jer takvi potenciometri ne postoje. Zato se prilikom praktične realizacije projekta dodaje operacioni pojačavač. Izlalz sa fotodide mora da se pojača korišćenjem opamp-a invertujuće konfiguracije kako bi merenje moglo da se izvrši.

Kako bi kolo izvršavalo funkciju za koju je projektovano neophodno je ispisivanje koda u softverskom programu

Arduino IDE koji je dat u nastavku. Kod je napisan po instukcijama koje slede.

```
const int fotodioda1Pin = A0;
const int fotodioda2Pin = A1;
const int ledLevaPin = 2;
const int ledSrednjaPin = 3;
const int ledDesnaPin = 4;

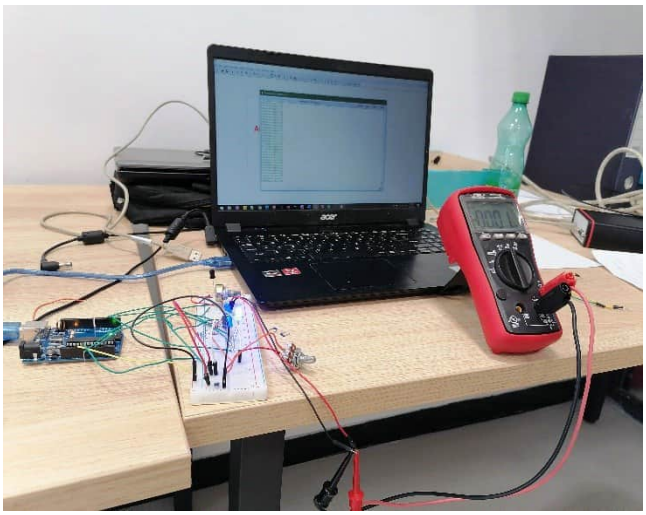
void setup() {
  pinMode(ledLevaPin, OUTPUT);
  pinMode(ledSrednjaPin, OUTPUT);
  pinMode(ledDesnaPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int vrednostFotodioda1 =
analogRead(fotodioda1Pin);
  int vrednostFotodioda2 =
analogRead(fotodioda2Pin);
  float naponFotodioda1 = vrednostFotodioda1 *
(5.0 / 1023.0);
  float naponFotodioda2 = vrednostFotodioda2 *
(5.0 / 1023.0);
  if (naponFotodioda1 > 2.45 &&
naponFotodioda1 < 2.55) {
    digitalWrite(ledSrednjaPin, HIGH);
    digitalWrite(ledLevaPin, LOW);
    digitalWrite(ledDesnaPin, LOW);
  } else if (naponFotodioda1 < 2.45) {
    digitalWrite(ledSrednjaPin, LOW);
    digitalWrite(ledLevaPin, HIGH);
    digitalWrite(ledDesnaPin, LOW);
  } else {
    digitalWrite(ledSrednjaPin, LOW);
    digitalWrite(ledLevaPin, LOW);
    digitalWrite(ledDesnaPin, HIGH);
  }

  if (naponFotodioda2 > 2.45 &&
naponFotodioda2 < 2.55) {
    digitalWrite(ledSrednjaPin, HIGH);
    digitalWrite(ledLevaPin, LOW);
    digitalWrite(ledDesnaPin, LOW);
  } else if (naponFotodioda2 < 2.45) {
    digitalWrite(ledSrednjaPin, LOW);
    digitalWrite(ledLevaPin, HIGH);
    digitalWrite(ledDesnaPin, LOW);
  } else {
    digitalWrite(ledSrednjaPin, LOW);
    digitalWrite(ledLevaPin, LOW);
    digitalWrite(ledDesnaPin, HIGH);
  }
```

III. POVEZIVANJE U LABORATORIJI

Prilikom realizacije kola sa slike 6 bile su neophodne određene korekcije pripovezivanju u odnosu našemu sa slike 5. Problem koji se javio pri inicijalnom povezivanju je bila vrlo mala fotoosetljivost fotodiode SFH213FA kao i BPW34 fotodiode, odnosno nemogućnost uočavanja promene izlaznog napona pri promenama odgovarajućeg potenciometra.



Slika 6. Praktična realizacija projekta.

Kao što je već rečeno izlaz fotodiode je morao da se pojača korišćenjem invertujuće konfiguracije operacionog pojačavača.

U samoj realizaciji eksperimenta u laboratoriji korišćen je unimer za merenje otpornosti potenciometra na odgovarajućim naponima fotodioda SFH213FA i BPW34. Vrednosti potenciometra u ovom projektu su iznosile 100 kΩ.

Za očitavanje napona na fotodiodi korišćeno je Arduino okruženje i odgovarajući kod za realizaciju projekta koji pri pomeranju potenciometra na laptopu ispisivao vrednosti napona za fotodiode. Sam Arduino mikrontroler je povezan kablom za laptop.

Odgovarajuće vrednosti napona fotodioda i otpornosti potenciometra dati su u tabelama.

TABELA I. FOTODIODA SFH213FA

$V_{fot}[V]$	1.20	1.6	2.28	3.03	3.15	3.5
$R_{pot}[\Omega]$	35k	290	53	12	8	4

TABELA II. FOTODIODA BPW34

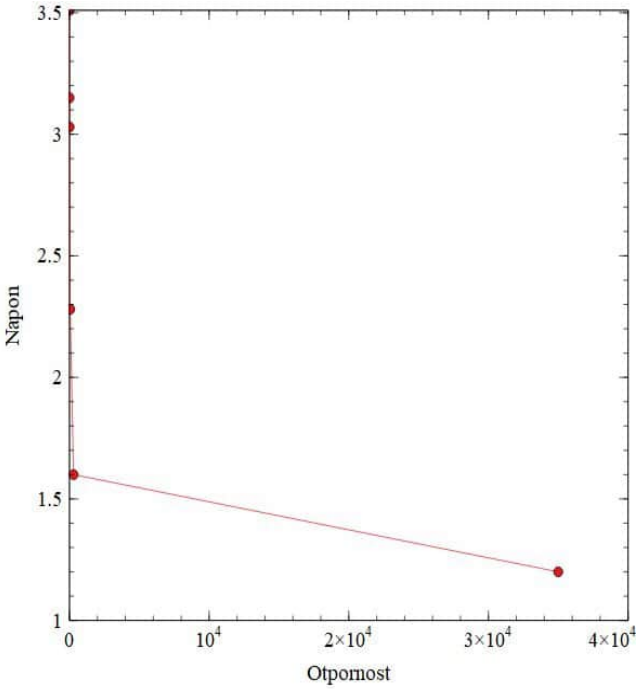
$V_{fot}[V]$	1.1	1.2	1.3	1.4	2.5	3
$R_{pot}[\Omega]$	103 k	36 k	9 k	540	16	10,6

Za odgovarajuće tabele fotodioda dati su i odgovarajući grafici na Slikama 7 i 8. Slike 7 i 8 predstavljaju zavisnost napona fotodioda i otpornosti potenciometra. Sa slika se zaključuje da kriva i na jednoj i na drugoj slici ekstremno opada, dakle ima eksponencijalnu zavisnost.

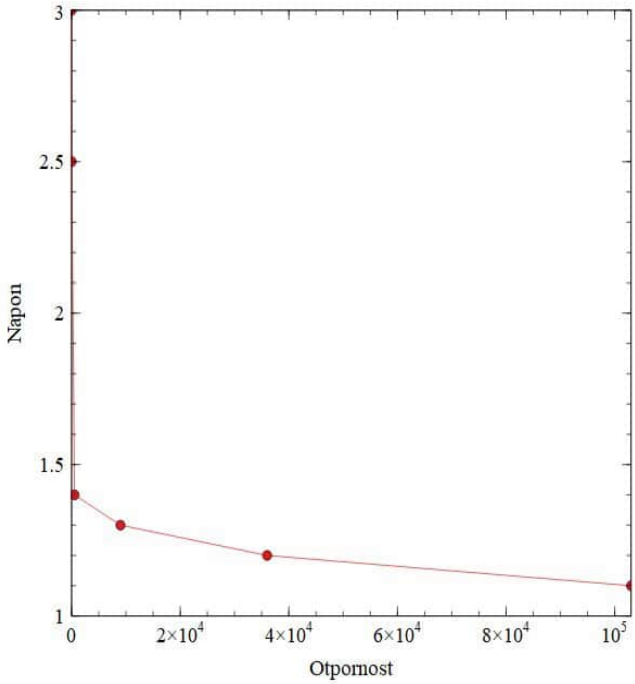
IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli, dolazi se do zaključka da je mnogo lakše „manevrisanje", odnosno kontrola napona bila moguća prilikom merenja napona na

fotodiodi BPW34. Tu je promenom otpornosti potenciometra mnogo jednostavnije mogao da se izmeri napon i pokaže skoro linearan rast napona na fotodiodi, što i pokazuju prve četiri vrednosti napona fotodiode BPW34. Tokom promene otpornosti kada se merio napon na fotodiodi SFH213FA da bi se dospelo do stabilnog prikaza rezultata na unimeru morala je vrednost otpornosti potenciometra da bude nešto niža u odnosu kada se vršilo merenje napona na fotodiodi BPW34. Same karakteristike fotodioda se razlikuju što se primećuje po krivama na graficima. Ono što se zaključuje na osnovu merenja, a i grafika je da dioda BPW34 pruža bolje rezultate jer ima širi spektralni opseg.



Slika 7. Grafik SFH213FA fotodiode.



Slika 8. Grafik BPW34 fotodiode.

ZAHVALNICA

Velika nam je čast što su pri praktičnoj izradi zadatka, a takođe i pripremi ovog teksta bili mentori profesroka Emilija Živanović i asistent Nikola Mitrović koji su nam mnogo pomogli. Ovom prilikom bi želili da im se srdačno zahvalimo.

LITERATURA

[1] Aneta Prijić Danijel Danković Zoran Prijić, UVOD U POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE I NJIHOVU PRIMENU drugo, izmenjeno i dopunjeno elektronsko izdanje, Univerzitet u Nišu Elektronski fakultet Edicija: Osnovni udžbenici

[2] BPW34 Datasheet.

[3] SFH213FA Datasheet.

[4] Mohamed FEZARI and Ali Al Dahoud, Amman, Jordan; Integrated Development Environment “IDE” For Arduino.

[5] Xun Li, McMaster Universitz, Ontario; Optoelecronic Devices.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.235M
Original scientific paper

3D skener pomoću senzora udaljenosti zasnovan na Arduino platformi

Marko Mladenović
Elektrotehničar automatike
Školski centar „Nikola Tesla“
Vršac, Srbija
mladenovicmarko624@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu prikazana je realizacija 3D skenera pomoću VL53L0X senzora udaljenosti i Arduino razvojne platforme.**

Ključne reči—3D skener, Arduino, senzor udaljenosti.

I. UVOD

3D skeniranje je proces digitalnog beleženja objekata u trodimenzionalnom prostoru. Ova napredna tehnologija omogućava visoku preciznost merenja, brzu analizu i beskontaktno merenje objekata. Sa sve većim zahtevima za tačnim merenjem u industriji, 3D skeneri su postali neophodni alat za različite primene. Shodno tome 3D skeneri su bitni alati u industriji i imaju široku primenu u različitim industrijama. U inžinjeringu i proizvodnji se koristi za kontrolu kvaliteta, merenje delova i dizajn proizvoda. U građevini se koristi za precizno merenje objekta i planiranje prostora. U areheologiji i restauraciji omogućava digitalnu dokumentaciju kulturnih artefakata i restauraciju spomenika. U medicini se koristi za izradu ortopedskih pomagala i prilagođenih implanata.

Prilikom projektovanja 3D skenera važno je obratiti pažnju na tačnost i rezoluciju skeniranja (nizak kvalitet skeniranja može rezultirati gubitkom detalja), kao i na brzinu skeniranja (prespor sistem će povećati vreme obrade, ali će zato prebrz sistem smanjiti kvalitet obrade). Kalibracija senzora i smanjenje šuma su ključni za precizno skeniranje objekata, dok je optimizacija algoritama za obradu podataka neophodna za smanjenje grešaka u detekciji površina i oblika.

II. KORIŠĆENE KOMPONENTE U PROJEKTU

A. Arduino Uno

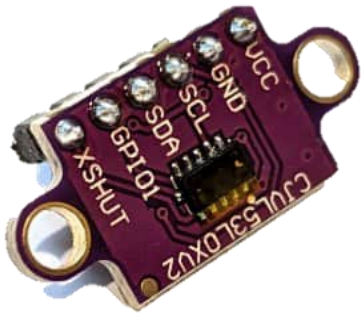
Arduino je otvorena platforma za elektroniku zasnovana na lako upotrebljivom hardveru i softveru. Namenjena je svima koji žele da prave interaktivne projekte. Arduino opaža okolinu primanjem ulaza sa mnogih senzora i utiče na svoju okolinu kontrolisanjem svetala, motora i drugih aktuatora. Svom Arduinu možete reći šta da radi pisanjem koda na bazi C++ programskog jezika, u Arduino IDE razvojnom programu [1].

Arduino Uno (slika 1) je mikrokontrolerska ploča, opremljena je procesorom ATmega328P, sa 14 digitalnih ulazno/izlaznih pinova, 6 analognih ulaza, USB konekcijom, ICSP header-om i dugmetom za resetovanje [2].



Slika 1. Arduino Uno R3.

B. VL53L0X senzor udaljenosti



Slika 2. VL53L0X senzor udaljenosti.

VL53L0X (slika 2) je senzor udaljenosti koji koristi tehnologiju Time of Flight (ToF) i ima jedinstvene karakteristike. Merenjem „vremena putovanja“ svetlosti do objekta i nazad, senzor može da odredi koliko je objekat udaljen od senzora. Zbog uskog snopa svetlosti, idealan je za merenje udaljenosti samo površina neposredno ispred njega. U poređenju sa ultrazvučnim senzorima, koji odbijaju zvučne talase, VL53L0X nudi preciznija merenja bez problema sa linearnošću ili "duplim prikazivanjem", gde se ne može razlikovati da li je objekat blizu ili daleko.

Merni opseg senzora je između 50 i 1200 mm, a idealna razdaljina za rad VL53L0X senzora je između 50 mm i 600 mm, gde pruža najpreciznije rezultate. Iako može meriti

udaljenosti do 1,2 metra, performanse zavise od faktora kao što su refleksija površine i ambijentalni uslovi.

Senzor je jednostavan za povezivanje, za njegovo povezivanje se koriste četiri pina. Dva pina se koriste za napajanje (VCC i GND), dok se preostala dva pina koriste za komunikaciju putem I2C protokola (SCL i SDA) [3].

C. NEMA-17

Koračni motori su motori koji se rotiraju u preciznim koracima i omogućavaju preciznu kontrolu pozicije i brzine. Ovi motori se zbog svojih karakteristika koriste za zadatke gde je potrebna visoka preciznost, kao što su 3D štampači i skeneri, CNC mašine, roboti…

U ovom radu su upotrebljena 2 koračna motora, koji se mogu videti na slici 3.



Slika 3. NEMA-17 koračni motor.

D. Drajver A4988

Kako bi pokrenuli motor potreban nam je drajver. Drajver je elektronsko kolo koje služi za upravljanje i kontrolu motora.

U ovom radu korišćen je drajver A4988 (slika 4). To je drajver dizajniran za rad sa bipolarnim koračnim motorima. Jednostavan je za korišćenje i ima pet mogućih rezolucija koraka[4].

Upravljanje drajverom se obavlja pomoću dva signala, jedan je za određivanje smera okretanja motora (DIR), a drugi za vreme trajanja koraka (STEP).



Slika 4. Drajver A4988.

III. REALIZACIJA PROJEKTA

A. Opis načina rada

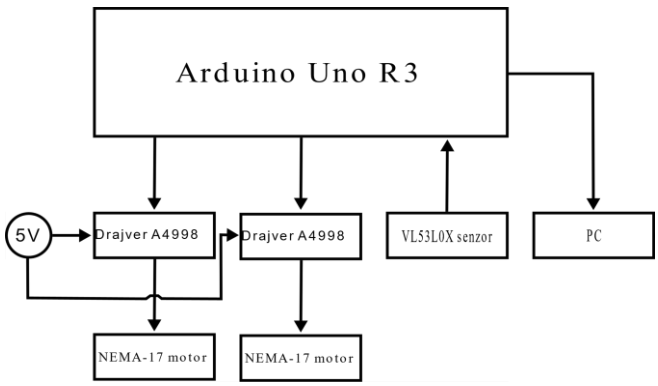
Kada započnemo proces skeniranja nekog objekta, senzor meri udaljenost do objekta. Nakon što se merenje izvrši motor pomera objekat za određeni ugao, i taj proces se ponavlja nekoliko puta, sve dok objekat ne napravi pun krug. Nakon toga drugi motor podiže senzor na određenu visinu, zatim se opet ponavlja proces merenja. Skeniranje se sastoji od nekoliko takvih ciklusa, što je veći broj ciklusa merenja, krajnji rezultati će biti precizniji. Nakon završetka skeniranja objekta mikrokontroler u vidu tačaka (koordinata) šalje podatke u računar, gde se skladište i spremaju za dalju obradu. Zatim se pokreće softver MeshLab koji služi za obradu i prikaz 3D objekata, u njega se „ubacuju“ podaci skeniranja, zatim on na osnovu tih tačaka, odnosno koordinata iscrtava skenirani objekat.

MeshLab je sistem otvorenog koda za obradu i uređivanje 3D mreža. Nudi funkcije za obradu neobrađenih podataka proizvedenih alatima/uređajima za 3D digitalizaciju i za pripremu modela za 3D štampanje [5].

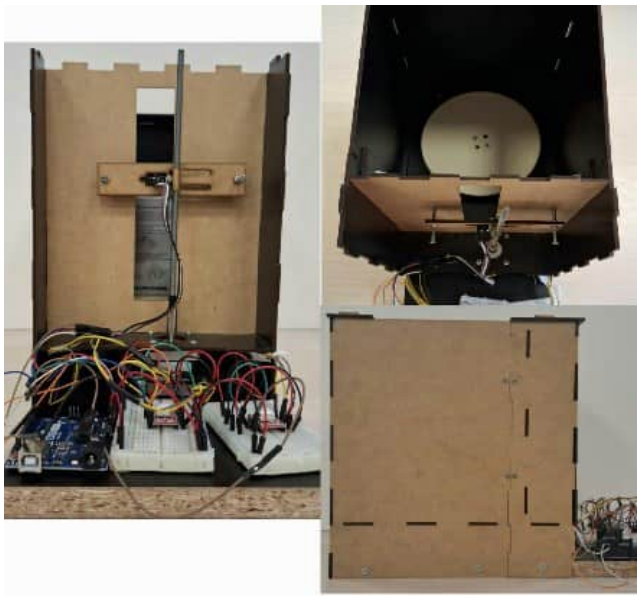
B. Povezivanje komponenti

Projekat je prvobitno bio povezan preko proto ploče pomoću džamper žica, kako bi najlakše mogli da testiramo rad samog uređaja i da otklonimo greške. Kada smo sve testirali i otklonili greške, sve komponente smo povezali preko štampane pločice.

Povezivanje smo izvršili na sledeći način: na štampanu ploču smo direktno iz mikrokontrolera doveli GND i napajanje sa izlaza 5 V. SCL pin senzora je povezan na pin A5 Arduina, a SDA na pin A4. Motori su povezani preko drajvera, a drajveri su povezani sa Arduinom. Motor koji okreće objekat se upravlja samo pomoću takta (okreće se uvek u istom smeru), dok se za motor koji pomera senzor koristi i komanda za smer (kako bi mogli da podižemo i spuštamo senzor).Takođe na drajvere je potrebno da se dovede napajanje kako bi oni mogli da rade, kao i napajanje koje „puštaju“ na motore. Na slici 5 nalazi se blok šema, koja prikazuje vezu između komponenti. Slika 6.prikazuje kako je rad realizovan, odnosno proces realizacije projekta. Na slici se može videti izgled skenera spolja, ali i kako on izgleda iznutra. Takođe se vidi i kako je realizovan sistem za pomeranje senzora, a prikazana je i elektronika povezana na proto ploči.



Slika 5. Blok šema.



Slika 6. Prikaz realizacije rada.

C. *Program korišćen u projektu*

Program korišćen u projektu se može podeliti na nekoliko delova. Jedan deo programa se odnosi na senzor, odnosno merenje, dok se drugi deo odnosi na mehanički deo, odnosno na pokretanje motora.

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_VL53L0X.h"
```

Slika 7. Uključivanje biblioteka za komunikaciju.

Prvo je potrebno uključiti biblioteke za komunikaciju preko I2C protokola i za rad sa VL53L0X senzorom. (Slika 7).

```
int ugao;
long mereno =0;
int mereno2;
int razlika;
int Centar = 135;
int ponavljanja=100;
int x;
int y ;
int vreme=5;
```

Slika 8. Definisanje promenljivih.

Zatim je potrebno da se definišu promenljive za ugao, merenje, razliku i druge parametre.(Slika 8)

```
// Serijska komunikacija sa racunarom
Serial.begin(115200);
while (! Serial)
{
  delay(1);
}

//inicijalizacija senzora
Serial.println("Adafruit VL53L0X test");
if (!lox.begin()) {
  Serial.println(F("Failed to boot VL53L0X"));
  while(1);
}
```

Slika 9. Pokretanje komunikacije i inicijalizacija senzora.

Sada se pokreće serijska komunikacija i inicijalizuje se senzor, ako inicijalizacija ne uspe program se zaustavlja. (Slika 9).

```
for (int i =0; i<200;i++)
{
   VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;
   mereno =0;
   motorX();
   motorStoji();
   ugao=i*1,8;
   for (int i = 0; i< ponavljanja;i++)
    {
     lox.rangingTest(&measure, false);
     if (measure.RangeStatus != 4)
       {
         mereno = mereno + measure.RangeMilliMeter;
       }
     }
   razlika = abs( Centar -  mereno/ponavljanja );
   x = razlika * cos(ugao*3.14/180);
   y = razlika * sin(ugao*3.14/180);
   Serial.print( razlika);
   Serial.print(",       ");
   Serial.print( x);
   Serial.print(",");
   Serial.print( y);
   Serial.println(",");
   Serial.print( z);
  }
```

Slika 10. Tok programa.

Proces se ponavlja 200 puta (1 korak motora pomera rotor za 1,8°, 1,8*200=360). U svakoj interakciji pokreće se motor, meri udaljenost i izračunava se udaljenost tačke koja se meri od centra rotacije, a zatim se računaju koordinate te tačke u pravougaonom koordinatnom sistemu. Kada se završi merenje prvog nivoa, senzor se podiže i postupak se ponavlja. (Slika 10.).

IV. ZAKLJUČAK

Ovaj projekat konkretno služi za prikaz jedne od mogućih primena senzora udaljenosti, konkretno Vl53L0X senzora.

Primećujemo da su greške prilično velike (1-4mm). S obzirom na to rad se može unaprediti na više načina, kako bi rezultati bili što precizniji. Na primer da smo koristili neki od LIDAR senzora rezultati bi bili mnogo precizniji, iz tog razloga zato što LIDAR senzori imaju veću rezoluciji i preciznost od ToF senzora. Na rezultate takođe deluju i uticaj spoljašnje sredine, iz tog razloga samo napravili kutiju kako bi smanjili uticaj svetlosti. Osim toga na rezultate direktno utiče i mehanički deo, u tom smislu da se motor prilikom pokretanja naglo pomeri, pa se iz tog razloga dešava da se i sam objekat pomeri.

Jedna od ključnih ideja za poboljšanje preciznosti sistema jeste korišćenje naprednijih senzora kao i motora koji imaju manji trzaj prilikom pokretanja. Ove promene mogle bi značajno doprineti tačnosti rezultata. Ipak, važno je napomenuti da bi, čak i u takvim uslovima, određene greške i dalje bile neizbežne, jer je teško potpuno eliminisati sve faktore koji ih izazivaju. Pored toga, postoji mnogo drugih aspekata koji mogu negativno uticati na rezultate, što otvara prostor za dalja unapređenja i optimizaciju procesa kako bi se postigla što veća preciznost.

Iako je navedeno da bi primenom preciznijih senzora kao i motora sa manjim trzajem rezultati bili tačniji, u izradi projekta su korišćene ranije navedene komponente. Glavni

razlog za to jeste cena jer precizniji senzori poput LIDAR senzora koštaju i nekoliko desetina evra.

ZAHVALNICA

Autor se zahvaljuje nastavniku-mentoru Milanu Njegomiru na pruženim savetima i pomoći prilikom realizacije.

LITERATURA

[1] https://www.arduino.cc/
[2] https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf
[3] https://www.adafruit.com/product/3317
[4] https://www.pololu.com/product/1182
[5] https://www.meshlab.net

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.239M
Original scientific paper

Interaktivni peščani sat – inovativna interpretacija vremena kroz Arduino tehnologiju

Una Manesku
Elektrotehničar računara 3. razred
Školski Centar:"Nikola Tesla"
Vršac, Srbija
unamanesku2007@gmail.com
ORCID: N/A

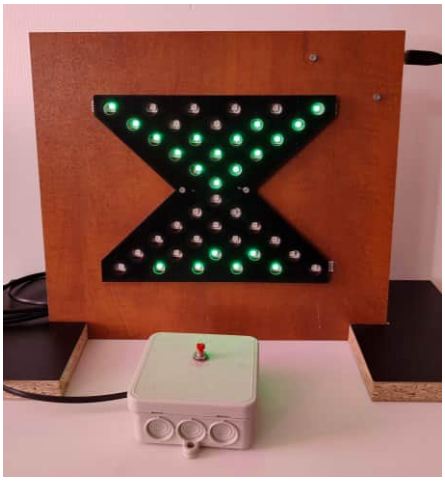
Jakov Ljaljić
Elektrotehničar računara 3. razred
Školski Centar:"Nikola Tesla"
Vršac, Srbija
jakovljaljic@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*–U ovom radu su predstavljene funkcionalnosti digitalnog peščanog sata koji koristi Arduino platformu za vizuelno prikazivanje vremena. Detaljno je opisana interakcija između Arduina i korisnika kroz podešavanje trajanja, kao i način na koji se svetlosni efekti generišu u skladu sa postavljenim vremenom.**

Ključne reči- Arduino, taster, LED traka

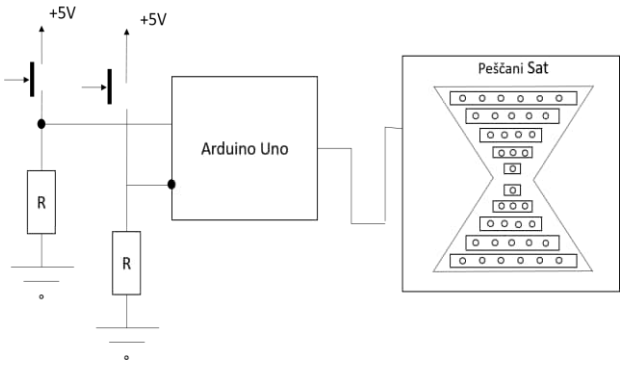
I. UVOD

U savremenom svetu, tehnologija zauzima sve značajnije mesto u našem svakodnevnom životu, a inovacije u obliku digitalnih uređaja postaju sve prisutnije. Peščani sat, kao tradicionalni simbol prolaznosti vremena, može biti reinterpretiran kroz savremene tehnologije. Ovaj rad istražuje koncept digitalnog peščanog sata (slika 1) zasnovanog na Arduino platformi, gde se LED trake koriste za vizuelno prikazivanje zrnaca peska koja padaju.



Slika 1. Digitalni peščani sat.

Sistem omogućava korisnicima da prilagode trajanje protoka vremena, čime se stvara interaktivan element koji ga čini korisnim alatom za različite aktivnosti. Prikaz šeme rada dat je na slici 2. U ovom projektu, fokusiraćemo se na proces izrade, korišćene komponente i funkcionalnosti ovog digitalnog peščanog sata. Rad se sastoji od četiri poglavlja: uvoda, prikaza korišćenih komponenti, principa rada i zaključka, sa ciljem da pruži dublje razumevanje inovacija u merenju vremena.

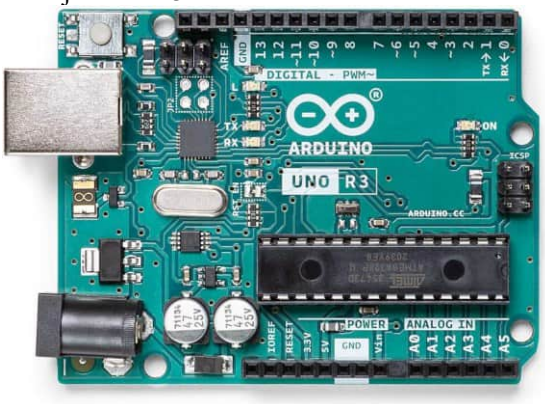


Slika 2. Prikaz šeme rada.

II. KORIŠĆENE KOMPONENTE

Arduino Uno R3 [1] je ključni element digitalnog peščanog sata. Ovaj mikrokontroler, koji je prvi put predstavljen 2006. godine u Italiji, postao je popularan zbog svoje otvorene arhitekture, koja omogućava svakome da ga koristi i prilagođava u raznim projektima. Ova fleksibilnost je od posebne važnosti za naš rad. U ovom radu je korišćena Arduino Uno ploča sa ATMEGA328P procesorom.

Arduino Uno ploča sa ATMEGA328P procesorom prikazana je na slici 3.



Slika 3. Arduino UNO R3 mikrokontroler.

Programiranje se vrši u Arduino IDE razvojnog okruženja, gde se koriste modifikacije C++ jezika. Ova jednostavnost omogućava brzo razvijanje funkcionalnosti potrebnih za upravljanje LED trakama, koje simuliraju padajuća zrnca peska.

Tasteri u peščanom satu igraju ključnu ulogu, jer se koriste za resetovanje vremena ili promenu režima rada LED traka. Oni su povezani na mikrokontroler, pri čemu jedan kraj ide na GPIO pin i preko otpornika se povezuje na napajanje (+5 V), a drugi na uzemljenje (GND). Kada pritisnemo taster, napon na GPIO pinu opada, što mikrokontroler detektuje kao logičku nulu, a kada taster nije pritisnut, mikrokontroler detektuje logičku jedinicu.

Taster u peščanom satu funkcioniše tako što omogućava korisniku da interaktivno upravlja njegovim radom. Kada pritisnemo taster, on šalje signal mikrokontroleru, koji potom može izvršiti određenu akciju, kao što je resetovanje peščanog sata (taster1) ili promena režima rada (taster2). Promena režima rada se ogleda u promeni dužine merenja vremena od 0.5, 1, 2, 3, 4 i 5 minuta.

U kontekstu peščanog sata, taster se koristi za resetovanje LED trake. Kada korisnik pritisne taster, mikrokontroler prima signal i vraća LED trake na početni položaj, simulirajući tako ponovno pokretanje peščanog sata.



Slika 4. Taster.

Za povezivanje tastera se koristi jedan pin na mikrokontroleru kao ulazni pin. Jedna strana tastera se povezuje na ovaj pin i preko otpornika na pozitivno napajanje, dok se druga strana povezuje na uzemljenje (GND). Kada se taster pritisne, pin mikrokontrolera registruje pad napona, što mikrokontroler tumači kao signal pritiska tastera.

Na slici 4 se nalazi mali crveni taster, poznat kao "push-button switch". Ima dva metalna priključka (pina) za povezivanje sa električnim kolom. Ovaj tip tastera se obično koristi za kratkotrajno prekidanje ili zatvaranje strujnog kola prilikom pritiska. Taster je montiran u plastično kućište sa navojem, što omogućava jednostavno postavljanje u panele ili uređaje.

Funkcionalnost tastera uključuje vraćanje LED traka na početni položaj, čime se simulira ponovno pokretanje peščanog sata.

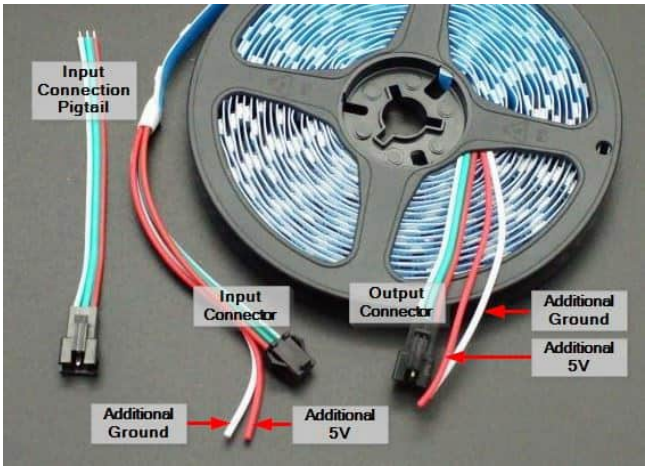
Takođe, taster može promeniti različite režime osvetljenja ili boje LED traka. Da bi se izbeglo višestruko registrovanje jednog pritiska, koristi se *debounce* tehnika [2] u kodu.

Debounce tehnika je metoda koja se koristi u elektronici da osigura da pritisak tastera bude registrovan samo jednom. Kada pritisnemo taster, metalni kontakti unutar tastera mogu da "odskakuju", što može izazvati višestruko registrovanje pritiska dok je taster zapravo samo jednom pritisnut. Da bi se to izbeglo, možemo primeniti debounce tehniku. Jedan od načina je da u kodu dodamo kratko kašnjenje nakon prvog očitavanja stanja tastera.

Na primer, nakon što mikrokontroler detektuje pritisak, možemo sačekati 0,3 sekunde pre nego što ponovo pročitamo stanje tastera. Ovo će pomoći da se osigura da je pritisak stvarno izvršen, a ne rezultat "odskakanja" kontakata.

Možemo primeniti hardverski pristup dodavanjem kondenzatora između kontakata tastera, što će fizički smanjiti efekat "odskakanja". U ovom projektu je korišćena prva – softverska varijanta.

LED traka (slika 5) koju koristimo u svom peščanom satu opremljena je ugrađenim WS2812B IC kolom unutar svake svetleće diode. Ova specifična vrsta LED trake omogućava individualno upravljanje svakom diodom, što znači da možemo programirati svaku diodu pojedinačno da svetli različitim vremenskim intervalima, bojama i intenzitetima.



Slika 5. Prikaz LED trake sa konektorima. Traka ima ulazne i izlazne konektore (koji imaju dva provodnika za napajanje i jedan za prenos signala) i konektore za dodatno napajanje, ako se spajaju duži nizovi LED traka.

Svaka svetleća dioda na traci koristi RGB model boje, što podrazumeva da se svetlost generiše kombinovanjem crvene, zelene i plave svetlosti. Ova sposobnost mešanja osnovnih boja omogućava stvaranje širokog spektra nijansi, što čini LED traku izuzetno fleksibilnom za različite aplikacije i svetlosne efekte.

Jedna od ključnih karakteristika WS2812B trake je to što koristi samo jedan signalni pin za komunikaciju, što pojednostavljuje proces povezivanja sa mikrokontrolerom. To znači da je potrebna samo jedna žica za prenos podataka, dok su napajanje i uzemljenje povezani na standardan način. Integracija sa mikrokontrolerima kao što je Arduino je jednostavna, zahvaljujući dostupnosti biblioteka kao što je Adafruit NeoPixel [4]. Ove biblioteke omogućavaju lako upravljanje svetlosnim efektima i animacijama.

LED trake sa WS2812B IC kolima obično rade na naponu od 5 V, što ih čini pogodnim za korišćenje sa različitim razvojnim platformama. U kontekstu peščanog sata, WS2812B LED traka omogućava kreativno osvetljavanje, pa možemo koristiti različite boje da označimo različite faze vremena ili da kreiramo vizuelne efekte koji doprinose estetskom doživljaju proizvoda.

One se mogu seći na određene dužine, što omogućava lako prilagođavanje dužini trake prema potrebama projekta. Ova mogućnost sečenja čini ih idealnim za različite primene, jer možemo prilagoditi dužinu trake tako da savršeno odgovara prostoru ili obliku.

Pored toga, RGB LED trake su poznate po tome da troše relativno malo struje, što ih čini energetski efikasnim rešenjem za osvetljavanje. Ova karakteristika je posebno korisna kada se koristi više traka ili kada se planira dugotrajno korišćenje bez brige o visokoj potrošnji energije. Ove LED trake emituju jak i živopisan intenzitet svetlosti. Jak svetlosni nivo omogućava da se boje jasno istaknu, a efekti svetla budu dinamični i privlačni.

Sve u svemu, RGB LED trake su odličan izbor za projekte, jer nude fleksibilnost, efikasnost i visoku svetlosnu moć.

III. Princip rada

Princip rada peščanog sata zasniva se na simulaciji proticanja vremena pomoću osvetljenja LED trake koja imitira kretanje peska kroz klasičan peščani sat. Kada se peščani sat pokrene, LED traka prikazuje kako "pesak" polako ispunjava donji deo sata, dok se gornji deo prazni.

Mikrokontroler upravlja radom LED trake. Mikrokontroler uključuje diode od vrha prema dnu trake, prikazujući kako pesak "pada". Kada donji deo „peščanog sata“ bude popunjen, to označava kraj merenja vremena. Taster omogućava interakciju sa peščanim satom. Kada se pritisne taster, mikrokontroler resetuje LED traku, isključujući sve diode i vraćajući ih u početni položaj, čime simulira ponovno okretanje peščanog sata.

Taster omogućava interakciju sa peščanim satom. Kada se pritisne taster, mikrokontroler resetuje LED traku, isključujući sve diode i vraćajući ih u početni položaj, čime simulira ponovno okretanje peščanog sata. Na ovaj način, sat je spreman za novo merenje vremena.

```
//////////////////////////
int vreme = 857;
            int jacina = 20;
int slika0[]={1,1,1,1,1,1,
                1,1,1,1,1,
                  1,1,1,1,
                    1,1,1,
                      1,1,
                        1};
```

Slika 6. Prikaz dela koda kontrole LED trake koji definiše osnovne parametre za kontrolu LED trake, postavljajući vreme između promena, jačinu svetlosti i inicijalni obrazac koji uključuje sve LED diode.

Tokom rada, LED traka može menjati boje kako bi se vizualizovale različite faze vremena, što pruža dodatni vizuelni efekat i funkcionalnost. Brzina rada se može programirati da odgovara željenom intervalu vremena, na primer, jedan minut ili duži period.

Deo koda (slika 6) definiše osnovne parametre za kontrolu LED trake, postavljajući vreme između promena, jačinu svetlosti i inicijalni obrazac koji uključuje sve LED diode.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  NeoPixel.begin();
pinMode(2, INPUT_PULLUP);
pinMode(13, OUTPUT);
for (int i=0; i<brPiksela/2; i++){    slika[0][i]=slika0[i];  }
for (int i=0; i<brPiksela/2; i++){  slika[1][i]=slika[0][i];  }
 slika[1][2]=0;
for (int i=0; i<brPiksela/2; i++){  slika[2][i]=slika[1][i];   }
slika[2][3]=0;
for (int i=0; i<brPiksela/2; i++){  slika[3][i]=slika[2][i];   }
slika[3][8]=0;
```

Slika 7. Deo koda za "pravljenje slika" koje se koriste za prikaz proteklog vremena.

Ovaj deo koda (slika 7) inicijalizuje serijsku komunikaciju, postavlja pinove i kreira niz slika sa inicijalnim vrednostima za LED traku.

```
for(int j=0; j<= brPiksela/2; j++)
{

  for (int pixel = 0; pixel < brPiksela/2; pixel++)
      {
        zaIspis[pixel] = slika[j][pixel]    ;
        zaIspis[brPiksela/2 + pixel] = !slika[j][brPiksela/2-pixel-1]; //
      }
```

Slika 8. Deo koda koji pravi sliku u donjoj polovini sata kao negaciju gornje polovine.

Ovaj deo koda (slika 8) prolazi kroz svaki red u nizu „slika“ i kopira njegove vrednosti u niz „zaIspis“. Prva polovina „zaIspis“ preuzima iz „slika“, dok druga polovina sadrži inverzovane vrednosti iz iste linije „slika“, tako da se prikazuje obrnuta slika.

IV. Zaključak

Digitalni peščani sat smo napravili u drugom razredu kao izazov koji nam je profesor dao povodom takmičenja „Galaksija kup“ koje je organizovano u našoj školi. Trebalo je da napravimo uređaj koji će meriti vreme trajanja prezentacije i to vreme prikazati takmičarima i publici. Prilikom njegove izrade smo se prvi put susreli sa mikrokontrolerom.

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju profesoru-mentoru Milanu Njegomiru na savetima i sugestijama u toku izrade rada, kao i kolegama iz odeljenja Ivanu Bavanskom i Marku Brujiću koji su nam pomogli da rad ima lepši izgled.

Literatura

[1] Arduino Uno. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno.

[2] Debounce tehnika. Dostupno na: https://www.vehidtrtak.com/ba/blog/javascript-debounce-and-throttle-explained.

[3] LED trake. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/LED_strip_light.

[4] Biblioteka za rad sa LED trakom sa WS2812B IC kolima. Dostupno na: https://adafruit.github.io/Adafruit_NeoPixel/html/class_adafruit__neo_pixel.html.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.243S
Original scientific paper

Pametni sistem za praćenje kvaliteta vazduha i kontrolu okruženja

Valentina Stojanović
Katedra za automatiku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
valentinas@elfak.rs
ORCID: N/A

Boris Jevtić
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
borisjevtic@elfak.rs
ORICD: N/A

***Sadržaj* — U ovom radu je prikazana realizacija sistema za praćenje kvaliteta vazduha sa odzivom u realnom vremenu. Na osnovu vrednosti indeksa kvaliteta vazduha ovaj sistem preduzima radnje u cilju zaštite zdravlja korisnika.**

Ključne reči— AQI, zagađenje, mikrokontroler, biblioteka, kod, PCB, regulator, GSM, UART

I. Uvod

U današnjem svetu zagađenje vazduha predstavlja ozbiljan problem koji utiče na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Ovaj projekat ima za cilj da razvije pametni sistem za praćenje kvaliteta vazduha i kontrolu okruženja koristeći Arduino Uno razvojno okruženje. Sistem koristi različite senzore za merenje parametara kao što su PM2,5 i PM10 čestice, temperatura i vlažnost vazduha, i omogućava automatsko uključivanje prečišćivača vazduha i zatvaranje prozora. Pored toga, sistem je opremljen GSM modulom za slanje upozorenja putem SMS-a i LCD ekranom za prikazivanje trenutnih podataka.

II. Princip rada

Za ovaj projekat koristili smo ATMEGA308P-AU mikrokontroler koji je povezan sa senzorom za temperaturu i vlažnost vazduha DHT11, senzorom kvaliteta vazduha PMS7003, GSM komunikacionim modulom SIM800L i LCD-om. Na LCD-u u realnom vremenu prikazujemo očitane podatke sa senzora, dok GSM modul koristimo kako bi obavestili korisnika da, kada indeks kvaliteta vazduha pređe određenu granicu, ostane kod kuće. Takođe ovaj modul poseduje integrisan RTC (engl. Real Time Clock) koji koristimo kako bi pribavili podatke o trenutnom vremenu i iste prikazali na LCD-u.

Indeks kvaliteta vazduha (AQI) se izračunava na osnovu koncentracija nekoliko ključnih zagađivača u vazduhu: PM2,5 i PM10 čestica (čije vrednosti očitavamo putem senzora PMS7003), ozona (O_3), azot-dioksida (NO_2), sumpor-dioksida (SO_2) i ugljen-monoksida (CO) [1]. Za svaki zagađivač se izračunava podindeks koristeći specifične formule koje uzimaju u obzir koncentraciju zagađivača i njegove zdravstvene efekte.

Najviši podindeks među svim zagađivačima postaje ukupni AQI za taj period. Zatim se AQI kategorizuje u različite nivoe kvaliteta vazduha. Nivoi su prikazani u tabeli 1.

Formula po kojoj izačunavamo indeks kvaliteta vazduha je:

$$AQI = \left(\frac{IHI - ILO}{BPHI - BPLO}\right) \cdot (Cp - BPLO) + ILO \quad (1)$$

gde su: IHI – Gornja granica AQI kategroije, ILO – Donja granica AQI kategorije, BPHI – Gornja granica koncentracije zagađivača za tu AQI kategoriju, BPLO – Donja granica koncentracije zagađivača za tu AQI kategoriju, Cp – Izmerena koncentracija zagađivača.

TABELA I. Kvalitet vazduha

Vrednost indeksa	*Opis kvaliteta vazduha*
0 do 50	Kvalitet vazduha je zadovoljavajuć, i zagađenje vazduha ne predstavlja rizik.
51 do 100	Kvalitet vazduha je prihvatljiv. Svakako postoji mali rizik za osetljivu grupu ljudi.
101 do 150	Kod pripadnika osetljivih grupa mogu se javiti zdravstvene tegobe. Opšta javnost je u manjoj meri pogođena kvalitetom vazduha.
151 do 200	Neki pripadnici opšte javnosti mogu osetiti zdravstvene tegobe, dok pripadnici osetljivih grupa mogu imati ozbiljnije posledice po zdravlje.
201 do 300	Upozorenje: rizik od mogućih negativnih efekata po zdravlje za celokupnu populaciju.
301 i više	Zdravstveno upozorenje o vanrednim uslovima: celokupna populacija će imati posledice po zdravlje.

Kada indeks kvaliteta vazduha pređe prvu kritičnu vrednost naš sistem zatvara prozore koristeći DC motore i uključuje prečišćivač vazduha. U trenutku kada indeks kvaliteta vazduha po prvi put pređe i drugu kritičnu vrednost uključuje se buzzer i korisniku stiže SMS poruka “Ostanite kod kuće, zagađenost vazduha je previsoka!”.

III. Hardver

U cilju bolje preglednosti, električna šema je podeljena na blokove.

A. Blok napajanja

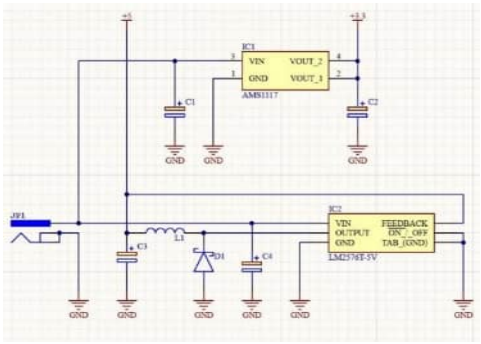
Blok napajanja čine DC konektor PJ-036AH-SMT-TR, regulator napona AMS1117, regulator napona LM2576T-5V i njima pripadajuće komponente. Zadatak komponenata bloka napajanja je da obezbede jednosmerne napone vrednosti 3,3 V i 5 V, neophodne za normalno funkcionisanje komponenata u ostatku kola. Na DC konektor dovodi se jednosmerni napon 12 V.

Sve komponente bloka napajanja odlikuje SMD način montaže na štampanu ploču čime se smanjuju dimenzije i cena štampane ploče.

Primenjena su oba tipa regulacije napona, linearni i prekidački. Linearni tip regulacije napona korišćen je da bi

se obezbedio napon vrednosti 3,3 V neophodan za UART komunikaciju sa senzorom koncentracije čestica. Razlog upotrebe prekidačkog izvora napajanja leži u činjenici da modul za GSM komunikaciju SIM800L u kratkim vremenskim intervalima, kada otpočinje komunikaciju sa najbližom GSM baznom stanicom, potrebuje struju jačine 2 A, što bi, ako uzmemo u obzir princip rada linearnih izvora napajanja, značajno povećalo potrošnju i disipaciju uređaja kao i značajno povećanje dimenzija uređaja zbog upotrebe mrežnih transformatora dovoljnih dimenzija [2]. Pored napajanja GSM modula, prekidački izvor napajanja obezbeđuje napon vrednosti 5V za normalno funkcionisanje mikrokontrolera ATMEGA328P-AU, LC displeja 1602 i releja ALE14B05.

Električna šema bloka napajanja prikazana je na slici 1.



Slika 1. Električna šema bloka napajanja.

B. *Blok mikrokontrolera*

Blok mikrokontrolera čine mikrokontroler ATMEGA328P-AU, taster za reset koji mikrokontroler deli sa GSM modulom, pull-up otpornik R_1 vrednosti otpornosti 10 kΩ i prateće komponente.

Zadatak mikrokontrolera je da u zavisnosti od očitanih podataka obaveštava korisnika o kvalitetu vazduha, zvučno i vizualno. Ukoliko je vrednost indeksa kvaliteta vazduha veća od dozvoljene (vazduh je prekomerno zagađen), mikrokontroler će, postavljanjem odgovarajućih pinova opšte namene na nivo logičke jedinice, zatvoriti prozore u stanu/kući i uključiti prečišćivač vazduha. Na pinu PD2 povezan je DHT11 senzor, na pinu PB0 prečišćivač vazduha i pin PB1 je povezan na *buzzer*. Osnovni pinovi za UART komunikaciju preko kojih je povezan senzor PMS7003 su PD0 (RX) i PD1 (TX). Pinovi za drugi kanal potreban za UART komunikaciju aktiviraju se korišćenjem biblioteke SoftwareSerial.h i nalaze se na pinovima PB2 (RX) i PB3 (TX). Pinovi vezani na motore 1 i 2 su PD4 i PD5, dok su tasteri 1 i 2 vezani na PD6 i PD7.

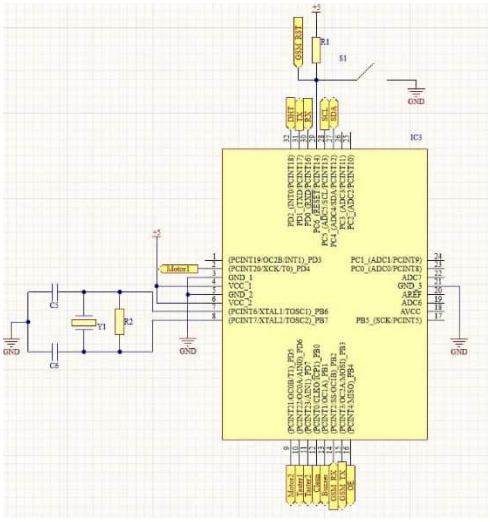
U situacijama kada je vrednost indeksa kvaliteta vazduha ekstremno visoka, mikrokontroler će dati instrukciju GSM komunikacionom modulu da na unapred definisan broj telefona pošalje SMS poruku koja će alarmirati korisnika.

Električna šema bloka mikrokontrolera prikazana je na slici 2.

C. *Ulazno-izlazni blok*

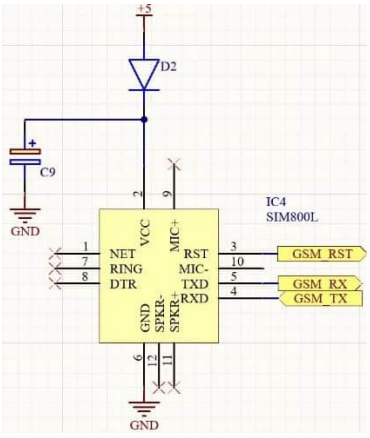
Ulazno-izlazni blok najsloženiji je blok ovog uređaja. Zadatak komponenata ulazno-izlaznog bloka je da obezbede ulazne informacije za mikrokontroler i izlazne informacije za korisnika.

Ulazno-izlazni blok čine GSM komunikacioni modul SIM800L, tri releja ALE14B05, *buzzer* za obaveštavanje korisnika o prekomernom zagađenju vazduha, senzor temperature i relativne vlažnosti vazduha DHT11, dva dvopinska *molex* konektora čiji je zadatak da povežu tastere sa štampanom pločom, četvoropinski *molex* konektor za povezivanje LCD-a sa štampanom pločom, četvoropinski *molex* konektor za povezivanje senzora kvaliteta vazduha PMS7003 sa štampanom pločom i translator napona TXB0102.



Slika 2. Električna šema bloka mikrokontrolera.

Kolo modula SIM800L prikazano je na slici 3.

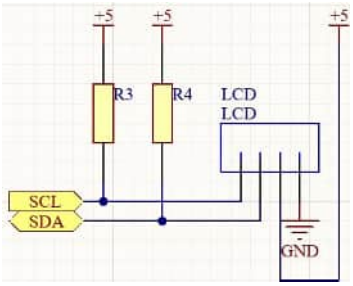


Slika 3. Električna šema kola modula SIM800L.

Između naponskog izvora i samog modula, nalazi se dioda 1N5408. Uloga ove diode je da obezbedi pad napona od 1 V. Naime, GSM modul SIM800L radi na naponima vrednosti od 3,4 V do 4,4 V (proizvođač preporučuje vrednost napona od 4 V). Smanjenje vrednosti napona sa 5 V na 4 V zahtevalo bi upotrebu još jednog prekidačkog regulatora čime bi došlo do povećanja složenosti uređaja. S druge strane, mikrokontroler bi mogao da funkcioniše i sa napajanjem od 4 V ali to sa LCD-om ne bi bio slučaj. Osim toga, bilo bi potrebno koristiti releje napona uključenja 4 V kojih nema mnogo i možda ne bi bili odgovarajući u pogledu maksimalne struje. Upotreba diode predstavlja jednostavno ali ne i najoptimalnije rešenje. Kondenzator C_9 ima ulogu *reservoir* kondenzatora i služi da napaja integrisani RTC kada je uređaj isključen. Činjenica da korišćeni GSM modul

ima integrisan RTC doprinela je smanjenju složenosti štampane ploče.

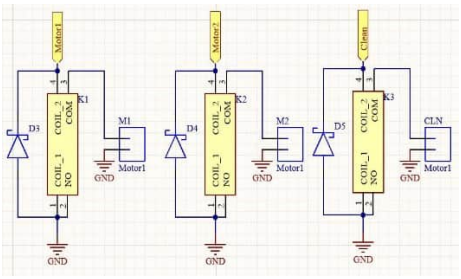
Kolo za LCD prikazano je na slici 4.



Slika 4. Električna šema kola za LCD.

Pinovi SDA i SCL su, shodno pravilima I²C komunikacije povezani na napon logičke jedinice pull-up otpornicima R_3 i R_4 vrednosti otpornosti 4,7 kΩ. Važno je napomenuti da se LCD ne nalazi na samoj štampanoj ploči već je sa njom povezan četvoropinskim *molex* konektorom.

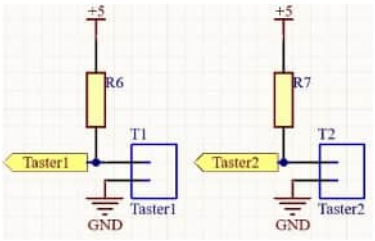
Kolo releja prikazano je na slici 5.



Slika 5. Električna šema kola releja.

Pored samog releja, vrednosti napona uključivanja 5 V, kolo čine i Šotki dioda $D_{3\text{-}5}$ za zaštitu releja od negativnih naponskih pikova kao i dvopinski *molex* konektor za povezivanje DC motora na štampanu ploču. Kolo releja sastoji se od 3 identično konfigurisana releja s tim da releji K_1 i K_2 kontrolišu zatvaranje prozora zatvaranjem strujnog kola DC motora dok relej K_3 uključuje prečišćivač vazduha koji se takođe može aproskimirati kao DC motor.

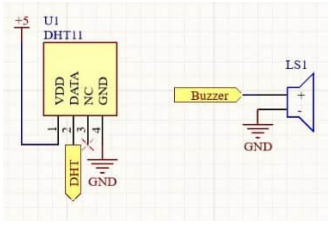
Kolo tastera prikazano je na slici 6.



Slika 6. Električna šema kola tastera.

Kolo tastera sastoji se od dva dvopinska *molex* konektora T_1 i T_2 i pull-up otpornika R_6 i R_7 vrednosti otpornosti 10 kΩ. Tasteri imaju ulogu senzora položaja prozora. Ako je prozor zatvoren, taster je pritisnut i mikrokontroler će očitati logičku nulu dok će, ako je prozor otvoren i taster nije pritisnut, mikrokontroler očitati logičku jedinicu.

Kolo temperaturnog senzora i *buzzera* prikazano je na slici 7. Kolo senzora kvaliteta vazduha biće detaljno pojašnjeno u narednim odeljcima. Preostale dve komponente ulazno-izlaznog bloka su kondenzatori C_7 i C_8 koji imaju ulogu *bypass* kondenzatora i nalaze se u blizini pinova za napajanje mikrokontrolera i translatora napona.



Slika 7. Elekrična šema kola temperaturnog senzora i *buzzera*.

Postavljanje *bypass* kondenzatora blizu pina za napajanje GSM modula nije bilo potrebno jer se on već nalazi na modulu.

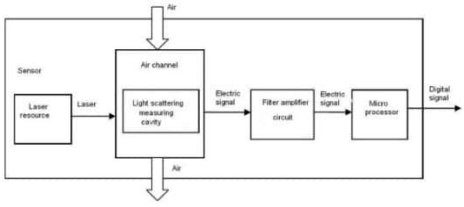
IV. Senzor koncentracije čestica PMS7003

PMS7003 je senzor za merenje koncentracije čestica PM1,0, PM2,5 i PM10. Radi na principu laserske difuzije svetlosti da bi detektovao koncentracije suspendovanih čestica u vazduhu. Unutar senzora se nalazi laserski modul koji emituje uski snop svetlosti. Kada čestice iz vazduha uđu u komoru za merenje, svetlosni snop se raspršuje kada udari u njih. Ova raspršena svetlost se zatim detektuje pomoću fotodetektora. Na osnovu intenziteta difuzije, senzor može da odredi veličinu i koncentraciju čestica u vazduhu. Interni mikrokontroler obrađuje signale sa fotodetektora i koristi ih da izračuna koncentraciju PM1,0, PM2,5 i PM10 u μg/m³ [3]. Sa mikrokontrolerom komunicira korišćenjem UART-a, inicijalizacijom odgovorajuće biblioteke.

PMS7003 odlikuje preciznost u detekciji sitnih čestica, kao što su PM2,5, koje su opasne za zdravlje, brzo reagovanje na promene u kvalitetu vazduha i dug životni vek, zahvaljujući laserskoj tehnologiji.

Jedna od interesantnih osobina senzora PMS7003 je da napon logične jedinice UART-a iznosi 3,3 V dok je vrednost napona napajanja 5 V. Imajući u vidu da napon logičke jedinice odabranog mikrokontrolera iznosi 5 V, jasno je da je neophodna upotreba translatora napona.

Blok šema senzora PMS7003 prikazana je na slici 8.



Slika 8. Blok šema senzora PMS7003, preuzeto iz [3].

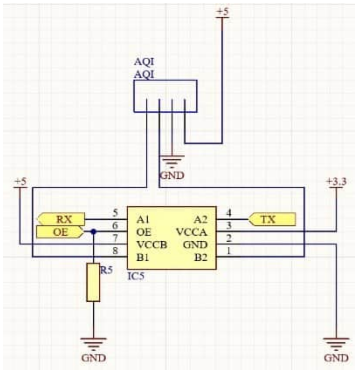
V. Translator napona TXB0102

Translator napona TXB0102 pripada porodici dvobitnih, bidirekcionih, neinvertujućih translatora napona. Koristi dva nezavisna naponska izvora (A i B). Port A dizajniran je da prati V_{CCA} i radi na naponima od 1,2 V do 3,6 V. Port B dizajniran je da prati V_{CCB} i radi na naponima od 1,65 V do 5,5 V. Napon V_{CCA} mora uvek biti manji od napona V_{CCB}. Kada je pin OE postavljen na stanje logičke nule svi izlazi nalaze se u stanju visoke impedanse. Kada se na pin OE dovede logička jedinica, translator napona počinje sa radom. Pin OE povezuje se na masu odgovarajućim pull-down otpornikom [4].

Translator napona TXB0102 poseduje sledeće pinove :

- A1 – I/O pin, referencira se na V_{CCA}
- A2 – I/O pin, referencira se na V_{CCA}
- B1 – I/O pin, referencira se na V_{CCB}
- B2 – I/O pin, referencira se na V_{CCB}
- OE – pin za uključenje/isključenje translatora napona
- GND – pin za masu
- V_{CCA} – referentni napon A
- V_{CCB} – referentni napon B

Primena translatora napona u ovom projektu prikazana je na električnoj šemi kola senzora koncentracije čestica i translatora napona, na slici 9.

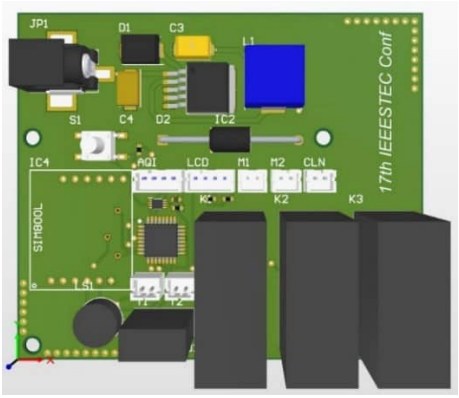


Slika 9. Električna šema kola senzora koncentracije čestica i translatora napona.

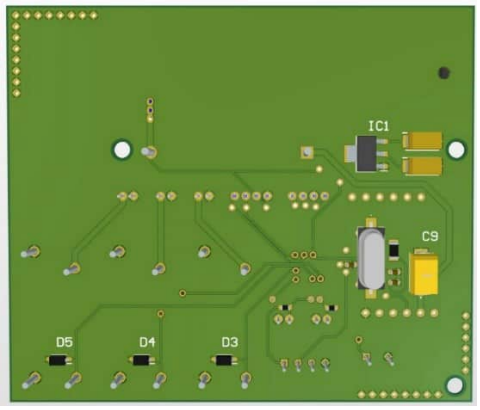
VI. Projektovanje štampane ploče

Projektovanje štampane ploče uređaja izvršeno je u programu Altium Designer 23. Uređaj odlikuje ranije pojašnjena blokovska podela. Dvoslojna štampana ploča dimenzija je 73 mm × 85 mm. Pravila projektovanja prilagođena su mogućnostima proizvođača JLCPCB [5]. Debljina *keep-out* linija iznosi 0,5 mm. Na ploči se nalaze 3 rupe za pričvršćivanje uređaja za kućište. Debljina linija za napajanje od 5 V iznosi 1 mm dok debljina linija za napajanje od 3,3 V i svih ostalih linija iznosi 0,254 mm. Debljine linija su, u skladu sa predviđenom jačinom struje i debljinom bakra na štampanoj ploči, izračunate korišćenjem PCB *trace width* kalkulatora. Sa gornje i donje strane štampane ploče razlivena je masa i izvršeno je njihovo povezivanje tehnikom *via stiching*.

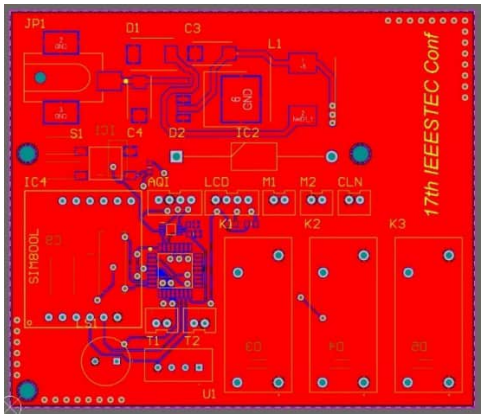
Gornja strana štampane ploče prikazana je na slici 10. Donja strana štampane ploče prikazana je na slici 11. Top layer štampane ploče prikazan je slici 12. Bottom layer štampane ploče prikazan je na slici 13.



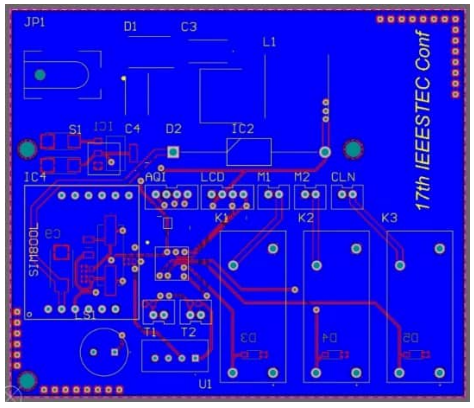
Slika 10. Gornja strana štampane ploče.



Slika 11. Donja strana štampane ploče.



Slika 12. *Top layer* štampane ploče.



Slika 13. *Bottom layer* štampane ploče.

VII. Softver

Programski kod napisan je u Arduino razvojnom okruženju. Na samom početku koda incijalizovali smo biblioteke što je i prikazano na slici 14.

```
#include <PMS.h>
#include <Sim800L.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>
```

Slika 14. Biblioteke korišćene u kodu.

Biblioteke korišćene u kodu su: PMS.h koja se koristi za čitanje podataka o kvalitetu vazduha sa PMS senzora, Sim800L.h koja omogucava komunikaciju sa GSM modulom za slanje SMS poruka, LiquidCrystal_I2C.h koja se koristi za upravljanje LCD ekranom, DHT.h korišćena za očitavanje

temperature i relativne vlažnosti vazduha sa DHT11 senzora i SoftwareSerial.h biblioteku koja omogućava serijsku komunikaciju sa više uređaja. Pomoću SoftwareSerial.h biblioteke smo inicijalizovali dodatna 2 pina za UART komunikaciju koji su nam potrebni zato što mikrokontroler ima samo jedan podrazumevani UART port.

```
#define dhtpin 2          // pin za DHT senzor
#define prozor1pin 4      // pin za motor za prozor1
#define prozor2pin 5      // pin za motor za prozor2
#define prozor1taster 6   // taster za prozor1
#define prozor2taster 7   // taster za prozor2
#define preciscavac 8     // pin za preciscavac vazduha
#define buzzer 9          // povezujemo biper na pin 9
#define RX 10             // RX pin za SIM800L
#define TX 11             // TX pin za SIM800L
#define gp 12
Sim800L GSM(RX, TX);
DHT dht11(dhtpin, DHT11);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
const int kr1 = 101;  // AQI vrednost nepodobna za osetljive
const int kr2 = 151;  // AQI vrednost nepodobna za ljude
int poslato = 0;
```

Slika 15. definisanje pinova i deklarisanje promenljivih na globalnom nivou.

Na globalnom nivou (slika 15) smo deklarisali neophodne pinove za prečišćavač vazduha, *buzzer*, senzore, tastere za prozore kao i pinove za kontrolu motora koji zatvaraju prozore. Takođe bilo je neophodno deklarisati prethodno pomenute pinove za UART komunikaciju (RX-10, TX-11) sa GSM modulom kao i granične vrednosti indeksa kvaliteta vazduha.

```
void setup() {
  pinMode(prozor1taster, INPUT);
  pinMode(prozor2taster, INPUT);
  pinMode(prozor1pin, OUTPUT);
  pinMode(prozor2pin, OUTPUT);
  pinMode(preciscavac, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);

  Serial1.begin(9600);
  GSM.begin(4800); // inicijalizacija SIM800L
  Serial.begin(9600); // serijska inicijalizacija za pms
  dht11.begin(); // inicijalizacija za dht senzor
  lcd.init(); // inicijalizacija za lcd
  lcd.backlight(); // ukljucivanje pozadinskog svetla za lcd
}
```

Slika 16. *Setup* funkcija.

U *setup* funkciji koja je na slici 16 inicijalizujemo sve potrebne pinove i module. Funkcija *pinMode()* postavlja pinove za tastere, motore prozora, prečišćavač vazduha i *buzzer*. Funkcije *Serial.begin()* i *Serial1.begin()* inicijalizuju serijske komunikacije za PMS7003 senzor i GSM modul dok funkcija *dht11.begin()* inicijalizuje DHT senzor. Funkcije *lcd.init()* i *lcd.backlight()* koriste se za inicijalizaciju i uključivanje pozadinskog osvetljenja za LCD, respektivno.

```
void loop() {
  int day, month, year, hour, minute, second;
  GSM.RTCtime(&day, &month, &year, &hour, &minute, &second);
  // dobijanje vremena od gsm modula

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0); // stavljamo kursor na prvu poziciju
  lcd.print(day);
  lcd.print(".");
  lcd.print(month);
  lcd.print(".");
  lcd.print(year);
  lcd.print(" ");
  lcd.print(hour);
  lcd.print(":");
  lcd.print(minute);
  delay(5000);
  lcd.clear();
```

Slika 17. Prikaz vremena na LCD-u.

Na samom početku *loop* funkcije očitavaju se podaci sa RTC-a koji je integrisan u GSM modulu i zatim se prikazuju na LCD-u. To je prikazano na slici 17. Očitavanje sa PMS senzora i izračunavanje AQI prikazani su na slici 18.

```
digitalWrite(gp, HIGH); //gen purp pin ukljucen kada vrsi ko
if (pms.read(data)) {
  int pm25 = data.PM_AE_UG_2_5;
  int pm10 = data.PM_AE_UG_10_0;
}
digitalWrite(gp, LOW); //iskljucen
int aqi_pm25 = calculateAQI(pm25, 12, 35.4, 51, 100);
int aqi_pm10 = calculateAQI(pm10, 54, 154, 51, 100);
int final_aqi = max(aqi_pm25, aqi_pm10);
```

Slika 18. Očitavanje sa PMS senzora i izračunavanje AQI.

Pin opšte namene obeležen kao gp (engl. General Purpose) postavljamo na HIGH pre očitavanja podataka sa PMS senzora jer ovim pinom zapravo uključujemo translator napona koji nam je potreban jer je napon logičke jedinice za UART komunikaciju PMS7003 senzora 3,3 V dok je napon logičke jedinice mikrokontrolera 5 V. Podatke sa PMS7003 senzora dobijamo uz pomoć funkcija već definisanih u biblioteci PMS.h. Kada dobijemo podatke pozivamo funkciju *calculateAQI* i posebno računamo AQI za PM2,5 i PM10 čestice. Svaki opseg koncentracije PM2,5 i PM10 je mapiran na određeni AQI opseg, osiguravajući da AQI vrednost tačno odražava kvalitet vazduha. Odnos između koncentracija PM i AQI vrednosti nije linearan i varira u različitim opsezima. Mapiranje nam pomaže u prevođenju vrednosti koncentracije PM u standardizovanu AQI skalu koja nam olakšava uvid u stanje kvaliteta vazduha i njegovih potencijalnih uticaja na zdravlje. Kao što smo pomenuli, najviši podindeks među svim zagađivačima postaje ukupni AQI za taj period. Naša funkcija calculateAQI se zasniva na obrascu (1).

```
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("AQI: ");
lcd.print(final_aqi);
delay(5000);
lcd.clear();
float temperature = dht11.readTemperature();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temperature);
lcd.print("C");
float humidity = dht11.readHumidity();
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Humidity: ");
lcd.print(humidity);
lcd.print("%");
delay(5000);
lcd.clear();
```

Slika 19. Prikaz AQI, temperature i relativne vlažnosti vazduha.

Nakon što na LCD-u prikažemo konačnu vrednost indeksa kvaliteta vazduha, koriteći funkcije za senzor DHT11 iz njegove biblioteke očitavamo temperaturu i relativnu vlažnost vazduha i takođe ih prikazujemo na LCD-u (slika 19).

U kodu prikazanom na slici 20 proveravamo da li se pinovi prozor1taster i prozor2taster nalaze na stanju logičke jedinice. Taster je pritisnut samo kada je prozor zatvoren odnosno kada je pin na stanju logičke nule. Ako je pin tastera na stanju logičke jedinice ulazimo u *while* petlju i na pin za motore prozora 1 i 2 šaljemo logičku jedinicu sve dok taster ne bude pritisnut, to jest prozor ne bude zatvoren. Pri ispunjenom uslovu da je vrednost AQI-a veća od prve kritične vrednosti uključujemo prečišćivač vazduha. Ispitivanjem uslova da li je konačna vrednost indeksa kvaliteta vazduha veća od prve kritične vrednosti uzimamo u

obzir da to obuhvata sve vrednosti indeksa od 102 do 300 i više, što znači da taj uslov može da bude tačan i za drugu kritičnu vrednost. Nakon što ispitamo odnos AQI-a i druge kritične vrednosti proveravamo vreme učitano sa GSM modula. Ukoliko je vreme u okviru zadatih parametara, što je u našem primeru između 6 i 22, *buzzer* se oglasi tri puta. Ako je unutar ovog uslova ispunjen i uslov da promenljiva „poslato“ ima vrednost 0, šaljemo korisniku SMS poruku koja glasi: „Ostanite kod kuće, zagađenost vazduha je previsoka!“ i zatim promeljivu „poslato“ inkrementiramo. Jedino što uslov, kojim ispitujemo konačnu vrednosti AQI-a u odnosu na prvu kritičnu vrednost, isključuje jeste da je kvalitet vazduha zadovoljavajuć. U tom slučaju samo isključujemo prečišćivač vazduha (slika 21).

```
if (final_aqi > kr1) {
  if (digitalRead(prozor1taster) == HIGH) {
    while (prozor1taster == HIGH) {
      digitalWrite(prozor1pin, HIGH);
    }
  }
  if (digitalRead(prozor2taster) == HIGH) {
    while (prozor2taster == HIGH) {
      digitalWrite(prozor2pin, HIGH);
    }
  }
  digitalWrite(preciscavac, HIGH);
  if (final_aqi > kr2) {
    if (hour > 6 && hour < 22 && minute > 1) {
      for (int i = 0; i < 3; i++) {
        tone(buzzer, 1000);
        delay(1000);
        noTone(buzzer);
      }
      if (poslato == 0) {
        GSM.sendSms("+381601623775", "Ostanite kod kuce, zagadjenost
        poslato++;
      }
    } else {
      poslato = 0;
    }
  }
} // zatvaramo uslov u kome proveravamo da li je AQI veci od kr1
```

Slika 20. Zatvaranje prozora, uključivanje prečišćavača vazduha i *buzzera* i slanje SMS poruke.

```
  else if (final_aqi < kr1) {
    digitalWrite(preciscavac, LOW);
  }
}
```

Slika 21. Slučaj kada je AQI manji od prve kritčne vrednosti.

VIII. ZAKLJUČAK

Iako planirana, fizička realizacija uređaja neće biti sprovedena do datuma održavanja konferencije zbog vremena potrebnog da gotove štampane ploče, kao i pojedine elektronske komponente, stignu iz Kine.

Zaštita od zagađenog vazduha postaje sve važnija zbog sveprisutnih zagađivača u urbanim sredinama i industrijskim zonama. Zagađenje vazduha može ozbiljno ugroziti zdravlje ljudi, uzrokujući respiratorne bolesti, alergije i pogoršanje stanja poput astme i bronhitisa. Projekat možemo unaprediti korišćenjem temperaturnih senzora većeg opsega merenja, implementacijom mikrokontrolera sa više UART portova (ESP32 i ST porodica mikrokontrolera), zamenom mehaničkih releja *solid state* relejima, implementacijom uređaja na četvoroslojnoj štampanoj ploči čime bi se dodatno smanjile njegove dimenzije.

LITERATURA

[1] Daniel A. Vallero, “Fundamentals of Air Pollution”, Academic Press, avgust 2014.

[2] Tehnička dokumentacija za GSM modul SIM800L. Dostupno na : https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1741389/SIMCOM/SIM800L.html

[3] Tehnička dokumentacija za senzor koncentracije čestica PMS7003 Dostupno na : https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf

[4] Tehnička dokumentacija za translator napona TXB0102. Dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/txb0102.pdf?ts=1728741281703

[5] Standardi za projektovanje štampane ploče proizvođača JLCPCB. Dostupno na : https://jlcpcb.com/capabilities/pcb-capabilities

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.249S
Original scientific paper

ERASMUS+ program mobilnosti između Univerziteta u Nišu i Univerziteta u Haenu

Jovan Senić
Elektronski Fakultet u Nišu
Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
senic.jovan@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* – U ovom radu je opisano kako izgleda boravak i studiranje u malom gradu u Španiji po imenu Jaén u trajanju od 5 meseci. Sličnosti i razlike u samom životu i premošćavanje prepreka.**

Ključne reči – ERASMUS, mobilnost, Španija

I. Uvod

Universidad de Jaén je relativno mlad univerzitet u Španiji, koji kao samostalna institucija postoji od 1993. godine, a ranije je pripadao Univerzitetu u Granadi (grad koji se nlazi na oko 80 km od Haena). Sam univerzitet i dalje raste, pa su tako samo ove godine osposobljene 2 nove zgrade u kojima će se odvijati nastava, a ove godine su po prvi put na ovom univerzitetu upisani i prvi studenti na medicinskom programu.



Slika 1. Univerzitet u Haenu.

Univerzitet (prikazan na slici 1) je organizovan u dva kampusa – *Las Lagunillas* u samom gradu Haenu, gde su smeštani fakulteti iz skoro svih oblasi i *Campus Cientifico-Tcnologico de Linares* u obližnjem malom mestu Linares, gde se nalazi Politehnički fakultet. Broj studenata na ovom univerzitetu broji oko 18.000 studenata koji studiraju jedan od 28 ponuđenih programa.

Sama ustanova ima odličnu saradnju sa univerzitetima iz celog sveta, samim tim je i brojka od skoro 800 studenata na razmeni po semestru sasvim opravdana.

Nastava se uglavnom izvodi na španskom jeziku, ali postoje i programi koji su kompletno organizovani i na engleskom jeziku.

II. Grad

Jaén je najmanji grad u Andaluziji, koji se nalazi na severu istoimene pokrajine i broji oko 130.000 stanovnika. Sam grad je izuzetno "pun" u toku školske godine, jer univerzitet ima veliki broj studenata koji ne žive u samom gradu. Zbog svoje klime i samog tla, stanovništvo ovog grada se najviše bavi proizvodnjom maslina i njegovog ulja. Naravno, ova klima ujedno ima i negativan uticaj, jer u letnjim mesecima temperatura vrlo lako premašuje 42 stepena Celzijusove skale.

Grad je okružen brdima i planinama, pa je odličan za ljubitelje planinarenja. Poseduje veliki sportski centri, kao i klubovi u kojima se možete oprobati u plesu. Poseduje i 2 velika bazena, a iako ne izlazi na more, nedaleko od centra se nalaze kanjoni, gde se nalazi reka koja je leti idealna za rashlađivanje.

Sam centar (slika 2) grada odiše spojem arapske i evropske kulture. Pored ovoga postoji i noviji deo grada, gde se i nalazi sam univerzitet (slika 1), kao i tržni centar i sama industrijska zona, što nam govori da će se ovaj grad i dalje širiti.



Slika 2. Katedrala u centru grada.

Iako se ubraja u manje gradove, ovaj grad poseduje apsolutno sve što je potrebno za svakodnevni život. Postoji puno autobuskih linija ka većim gradovima, a uz studentske popuste, vrlo se lako može doći do jeftinijh karata. Pored autobuskih linija, postoje i vozovi, za koje se mogu kupiti bonovi od samo 20 evra po destinaciji, i sa ovim bonom se ostvaruje mogućnost od čak 16 putovanja po destinaciji.

Važno je napomenuti da i u samom gradu, postoje i usluge iznajmljivanja automobila, pa se zahvaljujući ovoj usluzi mogu obići raznorazna okolna mesta koja su bogata prelepom prirodom. Na nešto manje od 70 kilometara se nalazi prelepi nacionalni park Kazorla (slika 3), a pored mesta bogatih prirodom tu su i mesta pod UNESCO zaštitom pod imenom Ubeda i Baeza.



Slika 3. Nacionalni park Kazorla.

Naravno, ono što najviše privlači ljude da dođu u Španiju, jeste more, a dobra stvar kod Haena, jeste što se nalazi na samo sat ipo vremena od prve plaže. Zahvaljujući velikom broju autobuskih i voznih linija, odlazak na plažu je lako izvodiv.

III. STUDENTSKI ŽIVOT

Univerzitet u Haenu ne nudi mogućnost studentima sa razmene da budu u državnom domu, međutim postoji mogućnost odsedanja u privatnom domu, koji nije u sklopu univerziteta. Ova opcija je znatno skuplja i neisplativa. Prilikom pronalaženja smeštaja i samog prilagođavanja na grad, može vam pomoći student-domaćin, preko programa Buddy. Studentu koji dolazi na razmenu u Haen, biće dodeljen student-domaćin, koji mu može pružiti sve neophodne informacije. Sam smeštaj je najbolje tražiti preko agencije, ali je važno napomenuti da agencija uzima proviziju od 100 evra po osobi, koja je jednokratna.

Stipendija koja se dobija je u visini od 4250 evra, međutim potrebno je na početku, dok ne bude uplaćena na račun, izdvojiti dovolju sumu novca za prve dve nedelje. Isplaćuje se u 2 dela, odnosno prvi deo od 80% u toku prve dve nedelje po dolasku i ostalih 20% po završetku programa. Neophodno je da student ima otvoren devizni račun u Srbiji, kako bi mogao da dobije stipendiju, a podizanje novca u Španiji je moguće na bilo kom bankomatu uz proviziju od 5 evra po transakciji. Transakcije ostvarene u marketima i drugim objektima pomoću kartice, ne prave dodatnu proviziju. Za troškove života, putovanja, džeparac i hranu, može se reći da je stipendija relativno dovoljna.

Iako univerzitet nudi mogućnost ishrane u kafeterijama, po povalšćenijim cenama u odnosu na klasične restorane, najeftinija i najbolja vraijnta jeste kupovina hrane u marketima i priprema hrane u smeštaju. Moguće je izvadati karticu za gradski prevoz, sa kojom jedna vožnja košta nešto malo više od 25 centi, dok je bez nje 1 evro.

Studenti sa razmene i regularni studenti su u potpunosti izjednačeni, pa se i od studenata sa razmene očekuje maksimalna posvećenost na predavanjima, vežabama i samom ispitu.

Kako je već napomenuto, Haen je mali grad, pa stanovništvo koje živi u njemu je mahom lokalno, stoga jako mali broj ljudi govori engleski. Zbog ovoga, je inostranim studentima omogućeno da uzimaju besplatne časove španskog jezika od A1.1 do C1.2.

Inostrani studenti su dobrodošli u svakom trenutku i da se obrate i studentskoj organizaciji ESN *(Erasmus student Network),* pored pomoći i informacija koje pruža ova organizacija, ona je zadužena i za organizaciju raličitih događaja. Od internacionalnih večeri, žurki, putovanja, kvizova pa sve do oformljavanja grupi za raznorazne sportove. Na ovaj način se studneti brže i bolje upoznaju i sprijatelje, a baš na ovakvim okupljanjima su se rađala i najveća prijateljstva, koja ostaju za ceo život.

IV. AKADEMSKE AKTIVNOSTI

Nastava u letnjem semestru počinje krajem januara i traje sve do sredine maja. Predvanja i vežbe su organizovani mahom tako da petak po mogućnosti bude rastrećeniji dan, ako ne i slobodan. Postoji puno dana u toku semestra, koji su rezrevisani za obeležavanje državnih praznika ili praznika pokrajine. Ovim danima studenti nemaju obaveze na fakultetima, a isti je slučaj i u nedelji pred Vaskrs (*esp. Semana Santa*).

Po završetku semestra, studentima je omogućeno da izađu dva puta na ispite u vidu Majskog i Junskog roka. U ovim rokovima je moguće polagati ispite iz cele godine, ne samo one iz tekućeg semestra. Prolazna ocena po španskom sistemu ocenjivanja je 5.0, a maksimalna ocena je 10.0. Sistem ocenjivanja je drugačiji, jer većina predmeta ne zahteva da na finalnom ispitu bude ostvaren broj poena većih od 50%. Ocena se dobija sabiranjem svih poena/prethodnih ocena u jednu jedinstvenu. Poeni i prethodne ocene se ostvaruju preko domaćih zadatak, malih testova, prezentacija i završnog ispita.

Literatura i materijali su dostupni za svaki predmet na zajedničkoj platformi *Platea,* a pristup ovoj platformi je omogućen pri dolasku na razmenu. Sama platforma ima mogućnost odabira za engleski jezik.

V. ZAKLJUČAK

Studentska razmena je jedinstveno iskustvo, koje omogućava upoznavanje ne samo kulture i običaje drugog naroda, već i pruža određene izazove koji su od izuzetnog značaja za samo razvijanje osobe. Mogućnost rada u multinacionalnim timovima, učenje jezika na licu mesta, kao i putovanja, sve je to nešto što na ovom programu postaje svakodnevnica i nikada nije dosadna. Samopouzdanje je nešto što definitivno postaje dosta unapređeno nakon ovog programa, i baš nam i pomaže da sutradan naučimo da cenimo i sebe i druge na bolji način.

LITERATURA

[1] https://www.ujaen.es/en

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Ja%C3%A9n,_Spain

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.251J
Original scientific paper

Primenjena statistika u ORACLE bazama podataka

Miljan G. Jeremić
Knjaževačka gimnazija
Knjaževac, Srbija
miljan.jeremic@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Primenjena statistika je danas jako važna za veštačku inteligenciju (AI), naročito kod mašinskog učenja. Čak i izvan AI, statistika se intenzivno primenjuje, i to na velikim količinama podataka, smeštenim u (različite) baze podataka. Često se koriste specijalizovani alati / jezici za statistiku, neki su komercijalni, kao SPSS, MATLAB, a neki besplatni, kao jezik Python i statistički jezik R. Postoji jedna varijanta –korišćenje skoro 300 SQL statističkih funkcija, od kojih je većinu moguće koristiti u svim edicijama Oracle baze, pa i onoj besplatnoj (XE edicija).**

Ključne reči—baza podataka, data mining, statističke funkcije, R

I. Uvod

Primena statistike u Oracle bazama podataka predstavlja ključni aspekt analize i upravljanja podacima, omogućavajući korisnicima da izvode složene analize i donose informisane odluke. Oracle, kao jedna od vodećih platformi za upravljanje relacionim bazama podataka, nudi širok spektar alata i funkcionalnosti koje olakšavaju primenu statističkih metoda.

A. Oracle Advanced Analytics (OAA)

Oracle Advanced Analitytics (OAA) postoji od verzije ORACLE baze podataka 11g i sastoji se od dva dela: Oracle Data Mining (koji je postojao i u prethodnim verzijama baze, 9i i 10g) i Oracle R Enterprise (koji je uveden u 11g).

Oracle Data Mining se može ukratko opisati kao skup SQL funkcija i PL/SQL paketa, koji služi za data mining unutar baze podataka (in-database data mining). Naravno, tu su i grafički alati, npr. Oracle Data Miner Workflow GUI (ekstenzija Oracle SQL Developer alata).
Oracle R Enterprise integriše programski jezik R (koji je open source) unutar Oracle baze podataka.



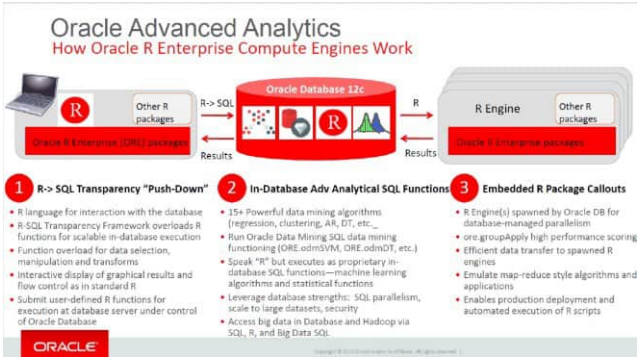
Slika 1. Prikaz mogućnosti OOA opcije.

B. Oracle R i Oracle R Enterprise

Kako je već rečeno, OAA opciju, uz Oracle Data Mining, čini i Oracle R Enterprise (uveden u 11g).
R programski jezik se može koristiti nad Oracle bazom i **bez** OOA opcije, ako se R jezik koristi (samo) na klijentskoj strani.

Postoji besplatni Oracle R Distribution (Oracle-supported redistribution of open source R). Omogućuje bolju skalabilnost i bolje performance kada se (kao klijent) koristi sa Oracle R Enterprise (ORE) (koji se izvršava na bazi). Osim toga, omogućuje dinamičko učitavanje biblioteka za linearnu algebru (npr. Intelovu Math Kernel Library) koje omogućuju da se neke R funkcije izvršavaju u režimu na više nivoa.

Oracle R Enterprise integriše programski jezik R unutar Oracle baze podataka. Sledeća slika pokazuje na koji način radi Oracle R Enterprise engine.



Slika 2. Način rada Oracle R Enterprise engine.

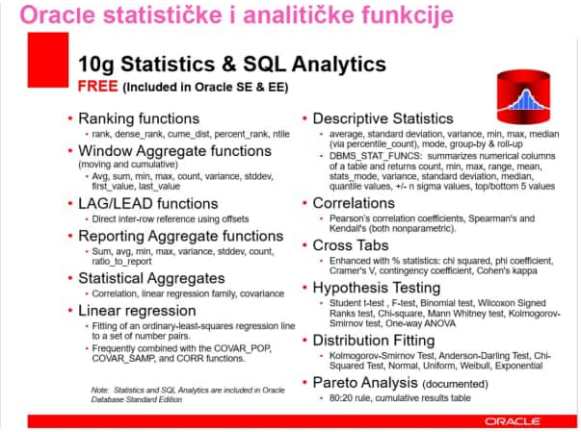
C. Kako radi OracleR Enterprise Compute Engine

R na klijentskom računaru presreće R funkcije i prosleđuje ih serveru. Rezultate dobijene sa baze prikazuje grafički. Može raditi i transformacije podataka i koristiti statističke funkcije i napredne analitičke funkcije.

R unutar Oracle baze omogućuje obradu velikih količina podataka direktno u bazi, i može koristiti SQL paralelizam (koji ima Enterprice Edition (EE baza). Koristi postojeće statističke i data miningSQL funkcije / PL/SQL pakete koji se nalaze u Oracle bazi.

R Engine (uključujući Oracle R Enterprise pakete) je R sistem prilagođen od strane Oracle-a. Moguće je istovremeno startati više takvih R sistema, tj. koristiti paralelizam i na R strani.

Ukratko, Oracle R Enterprise Engine (ORE) eliminiše problem ograničenja memorije na klijentskom računaru, omogućuje paralelizam i optimizaciju upita na bazi, ali i paralelizam na R strani.



Slika 3. Oracle statističke i analitičke funkcije.

D. Shema Human Resource (HR) u Oracle bazi za testiranje

Šema baze podataka HR ima 7 tabela (međusobno povezanih). Jedna od njih je tabela EMPLOYEES. Zamislimo da ona sadrži samo uzorak iz nekog (velikog) osnovnog skupa. Prikaz Sledi SQL upit za prikaz nekih podataka iz te tabele:

```
SELECT employee_id, first_name, last_name, salary
FROM employees
ORDER BY employee_id;
```

EMPLOYEE_ID	FIRST_NAME	LAST_NAME	SALARY
100	Steven	King	24000
101	Neena	Kochhar	17000
102	Lex	De Haan	17000
...			
204	Hermann	Baer	10000
205	Shelley	Higgins	12008
206	William	Gietz	8300

Slika 4. SQL upit u Oracle tabeli Employees.

Minimalna i maksimalna vrednost, medijan, mod i aritmetička sredina za vrednosti u redu SALARY tabele EMPLOYEES:

Sledi SQL upit za prikaz nekih podataka iz te tabele:

```
SELECT min(salary), max(salary), median(salary),
stats_mode(salary), avg(salary)
FROM employees;
```

MIN(SALARY)	MAX(SALARY)	MEDIAN(SALARY)	STATS_MODE(SALARY)	AVG(SALARY)
2100	24000	6200	2500	6461.83178

Slika 5. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa funkcijama.

Procena varijanse i standardne devijacije (koren od varijanse) na temelju uzorka (deli se sa N –1; razlika između STDDEV / STDDEV_SAMP je u tome što vraćaju 0 / NULL ako postoji samo jedan red), i standardna devijacija populacije (ako podaci sadrže celu populaciju; deli se sa N) za vrednosti u koloni SALARY tabele EMPLOYEES:

```
SELECT variance(salary), stddev(salary),
stddev_samp(salary), stddev_pop(salary)
FROM employees;
```

VARIANCE(SALARY)	STDDEV(SALARY)	STDDEV_SAMP(SALARY)	STDDEV_POP(SALARY)
15284813.7	3909.57973	3909.57973	3891.26778

Slika 6. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa funkcijama.

II. TESTIRANJE STATISTIČKIH HIPOTEZA

Funkcije (gustine) verovatnoće slučajne promenljive x zavise od parametrima, npr. parametri nejedinične normalne razpodele su matematičko očekivanje i standardna devijacija.

Ako jedan nepoznati parametar posmatramo kao promenljivu, a ostale kao konstantu, onda možemo postaviti hipotezu H0 da je vrednost tog parametra npr. P0, a kao alternativnu hipotezu H1, da je vrednost parametra P1 (moguće su i drugačije varijante postavljanja hipoteza).

Odluku o tome da li prihvatamo hipotezu H0 ili H1 donosimo na osnovu testiranja uzorka, koji je uvek konačan. Kod testiranja,uobičajeno su moguće četiri situacije, dve u kojima smo doneli ispravnu odluku i dve u kojima smo doneli pogrešnu odluku.

Manja greška α rezultuje većom greškom β (i obrnuto), ali ne kaže da je $\alpha+\beta=1$.

Uobičajeno se zadaje (mali) α (5% ili 1%),dok β ne znamo unaprijed. Jačina testa $p = 1 - \beta$.

Oracle baza podataka ima nekoliko parametarskih testova i nekoliko neparametarskih testova. Parametarski testovi imaju neke pretpostavke, a tipična je da su podaci u osnovnom skupu distribuirani po normalnoj raspodeli.

Parametarski testovi mogu biti T-test, F-test, One i WayANOVA

Neparametarski testovi mogu biti Binomial test, Wilcoxon Signed Ranks test, Mann-Whitney test i Kolmogorov-Smirnov test

A. T-test

T-test se najčešće koristi za merenje signifikacije razlika aritmetičke sredine uzorka i zadate vrednosti,ili razlika aritmetičkih sredina neka dva uzoraka. Postoje 4 funkcije s prefiksom STATS_T_TEST_*. U primeru koji sledi videćemo primenu T-testa. T-test hipoteze o signifikaciji razlike između aritmetičke sredine uzorka i zadate vrednosti 6500:

```
SELECT avg(salary),
STATS_T_TEST_ONE(salary, 6500, 'STATISTIC') t_statistic,
STATS_T_TEST_ONE(salary, 6500, 'TWO_SIDED_SIG') t_sig
FROM employees;
```

AVG(SALARY)	T_STATISTIC	T_SIG
6461.83178	-.1009866	.919751863

Slika 7. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa T-testkom.

T-test hipoteze o (ne)jednakosti aritmetičkih sredina dva uzoraka –upoređuju se prosečne plate zaposlenih u sektorima 50 i 80:

```
SELECT avg(decode(department_id, '50', salary, null)) avg_dept50,
    avg(decode(department_id, '80', salary, null)) avg_dept80,
    STATS_T_TEST_PAIRED(department_id, salary, 'STATISTIC') t_stat,
    STATS_T_TEST_PAIRED(department_id, salary, 'TWO_SIDED_SIG')t_sig
    FROM employees
    WHERE department_idin ('50', '80');
```

AVG_DEPT50	AVG_DEPT80	T_STAT	T_SIG
3475.55556	8955.88235	-15.925636	3.1440E-26

Slika 8. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa T-testkom.

B. F_TEST

F-test hipoteze o (ne)jednakosti između varijanse dva uzoraka – upoređuju se varijanse plata zaposlenih u sektorima 50 i 80:

```
SELECT variance(decode(department_id, '50', salary, null)) var_dept50,
    variance(decode(department_id, '80', salary, null)) var_dept80,
    STATS_F_TEST(department_id, salary, 'STATISTIC', 50) f_stat,
    STATS_F_TEST(department_id, salary, 'TWO_SIDED_SIG') f_sig
    FROM employees
    WHERE department_id in ('50', '80');
```

VAR_DEPT50	VAR_DEPT80	F_STATISTIC	F_SIG
2214161.62	4135873.44	.535355264	.053026341

Slika 9. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa F-testkom.

C. One-Way ANOVA

Analiza varijanse s jednim promenljivim faktorom gde se analiziraju plate po različitim poslovima (job_id), za svaki sektor posebno (group by department_id), ali samo za sektore koji imaju više od 5 zaposlenih:

```
SELECT department_id,
    STATS_ONE_WAY_ANOVA(job_id, salary, 'F_RATIO') f_ratio,
    STATS_ONE_WAY_ANOVA(job_id, salary, 'SIG') p_value,
    avg(salary), count(1)
    FROM employees
    GROUP BY department_id
    HAVING count(1) > 5
    ORDER BY 1;
```

DEPARTMENT_ID	F_RATIO	P_VALUE	AVG(SALARY)	COUNT(1)
30	987.842105	6.1073E-06	4150	6
50	123.493632	2.5691E-18	3475.55556	45
80	26.3968778	.00001331	8955.88235	34
100	23.7247927	.008214884	8601.33333	6

Slika 10. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa ANOVA-testkom.

D. Neparametarska statistika-koeficijent korelacije

Sledi primer koeficijenta korelacije između trajanja zaposlenosti (u danima) i plate:

```
SELECT CORR_S(sysdate-hire_date, salary) coefficient,
    CORR_S(sysdate-hire_date,salary, 'TWO_SIDED_SIG') p_value
    FROM employees;
```

COEFFICIENT	P_VALUE
.126235719	.195097794

Slika 11. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa prikazom koeficijenta kolerelacije.

E. Linearna regresija

To je statistička metoda za modelovanje odnosa između zavisne promenljive i jedne ili više nezavisnih promenljivih. Osnovna ideja koja stoji iza linearne regresije je da se pronađe linija koja se najbolje uklapa kroz dati skup tačaka podataka, tj. Koja najbolje opisuje odnos između posmatranih promenljivih skupa.

Linearna regresija između trajanja zaposlenosti (u danima) i plate. Rezultati su nagib pravca i odsečak na osi y:

```
SELECT REGR_SLOPE(sysdate-hire_date, salary) reg_slope,
    REGR_INTERCEPT(sysdate-hire_date, salary) reg_intercept
    FROM employees;
```

REG_SLOPE	REG_INTERCEPT
.063023539	4079.37252

Slika 12. SQL upit u Oracle tabeli Employees sa prikazom koeficijenta regresione prave.

F. Sekvencijalno testiranje hipoteza

Sekvencijalno testiranje hipoteza (ili sekvencijalna analiza) je posebna statistička metoda testiranja. Smatra se da ju je prvi kreirao Abraham Wald, dok je bio u američkoj vojsci za vreme drugog svetskog rata.

Njena specifičnost sastoji se u tome da rezultat (jednog koraka) testa može biti trojak:

-hipoteza H0 se može prihvatiti

-ili se može se odbaciti

-ili (za razliku od uobičajenih statističkih testova) rezultat može biti neodlučan, pa se odabire još jedan element u uzorak, i tako se nastavlja dok se hipoteza H0 ne prihvati ili odbaci.

Dalje, kod sekvencijalnog testiranja hipoteza, moguće je unapred zadati (barem približno) verovatnoće greške 1. i 2. vrste (α i β).

Oracle baza (za sada) nema sekvencijalno testiranje hipoteza kroz SQL funkcije. Ipak, za tu namenu postoji više R paketa, koji se mogu koristiti bilo na R klijentu, bilo na Oracle R sistemu.

III. Zaključak

Oracle baza podataka još od verzije 9i ima Oracle Data Mining (ODM) opciju, a u verziji 11g je dodan Oracle R Enterprise (ORE), što zajedno čini Oracle Advanced Analytics (OAA) opciju. Statistički jezik R se u Oracle bazi podataka može koristiti i bez ORE, ali se tada podaci iz baze moraju prebaciti na R klijent, a rezultati se (ako je potrebno) vraćaju u bazu. Time se smanjuje mogućnost obrade vrlo velikih količina podataka, i paralelizam (koji omogućuje baza podataka). Ta je varijanta jeftinija, pa i besplatna (može raditi i s XE bazom). Postoji još jedna varijanta primene statistike u Oracle bazi. Od baze 10g na raspolaganju je skoro 300 SQL statističkih funkcija, od kojih je većinu moguće koristiti u svim edicijama Oracle baze, pa i besplatnoj XE ediciji.

Zahvalnica

Na kraju ovoga rada autor se zahvaljuju Knjaževačkoj gimnaziji na razumevanju i pružanju potrebne podrške da istrajemo do kraja. Autor je zahvalan i profesorima Elektronskog fakulteta u Nišu koji su nas naučili da razmišljamo o problemima, i da ih rešavamo na jedan kreativni način, podarili nam dovoljno znanja o programiranju i primeni novih IT tehnologija.

Literatura

[1] DeCoursey, W.J. (2003): Statistics and Probability for Engineering Applications, Newnes, Woburn Massachusetts

[2] Iličić, K. Matematičke osnove statistike,Element, Zagreb, 2017

[3] Pavlić, I. Statistička teorija i primjena (2. izdanje), Tehnička knjiga, Zagreb, 1977

[4] Russell, S.J. & Norvig, P., Artificial Intelligence –A Modern Approach (3. izdanje),Prentice Hall -Pearson Education, New Jersey, 2010

[5] Oracle priručnici za bazu 12c Release 1, 2013

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.255B
Original scientific paper

Program za rešavanje Hanojskih kula u programskom jeziku Python

Luka Bogosavljević
Elektrotehničar informacionih tehnologija
Tehnička škola Zaječar
Zaječar, Srbija
lukaabogosavljevic@gmail.com
ORCID: N/A

Dušan Đorđević
Elektrotehničar informacionih tehnologija
Tehnička škola Zaječar
Zaječar, Srbija
zajecarweb@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj* —Ovaj rad ima za cilj da predstavi program za rešavanje problema Hanojskih kula pomoću rekurzivne funkcije. Hanojska kula je matematička igra ili slagalica. Cilj igre je da se poređaju diskovi u rastućem redosledu na jednom stubu, gde je najmanji na vrhu a najveći na dnu stuba. Svi diskovi sa jednog stuba treba da se premeste na drugi stub, poštujući određena pravila. Program je napisan u programskom jeziku Python. Programiranje se vrši u softveru Visual Studio Code.**

Ključne reči —Rekurzivna funkcija, Hanojske kule, Algoritam, Python, Visual Studio Code.

I. UVOD

U ovom radu je prikazan program koji simulira rešenje problema Hanojskih kula. Program je pisan u programskom jeziku *Python*, uz korišćenje biblioteke *Pygame.* Korisnik unosi željeni broj diskova, a zatim program vizuelno prikazuje korisniku rešenje. Kroz ovaj rad biće objašnjena implementacija algoritma, primena datih funkcija i korišćeni alati u izradi programa.

II. MATERIJAL I METOD RADA

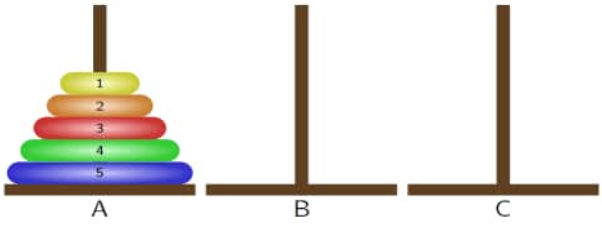
Hanojska kula [1] (takođe se naziva Brahma kula ili Lukasova kula, ili kule) je matematička igra ili slagalica. Sastoji se od tri stuba i velikog broja diskova različitih veličina koji mogu da se stave na bilo koji stub. Cilj je da se premeste diskovi u rastućem redosledu sa jednog stuba na drugi stub, uz pomoć trećeg, pri čemu, na kraju, najmanji disk treba da bude na vrhu, a najveći na dnu tog stuba.

A. Pravila igre

- Samo jedan disk može da se pomera istovremeno.
- Svaki potez se sastoji od uzimanja gornjeg diska sa jednog stuba i premeštanja tog istog diska na vrh drugog stuba, odnosno disk može da se pomera samo ako je na vrhu stuba.
- Nijedan disk ne sme biti smešten na manji disk na stubu.

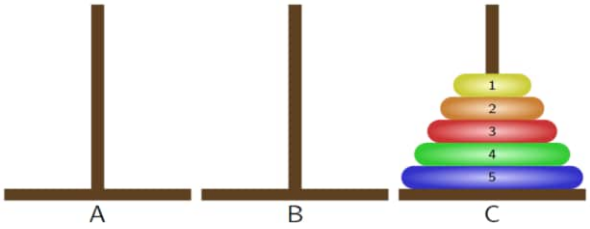
B. Princip igre

Zagonetka se može igrati sa bilo kojim brojem diskova, iako mnoge verzije ove igre najčešće koriste od sedam do devet diskova. Minimalan broj poteza potrebnih da se reši ovaj problem je $2^n - 1$, gde je n broj diskova. Dakle, sa tri diska ovaj problem može da se reši u sedam koraka. Na slici 1 prikazan je model Hanojske kule sa pet diskova sa početnim položajem diskova [2].



Slika 1. Model Hanojske kule sa pet diskova sa početnim položajem diskova.

Na slici 2 prikazan je model Hanojske kule sa pet diskova sa konačnim položajem.



Slika 2. Model Hanojske kule sa pet diskova sa konačnim položajem diskova.

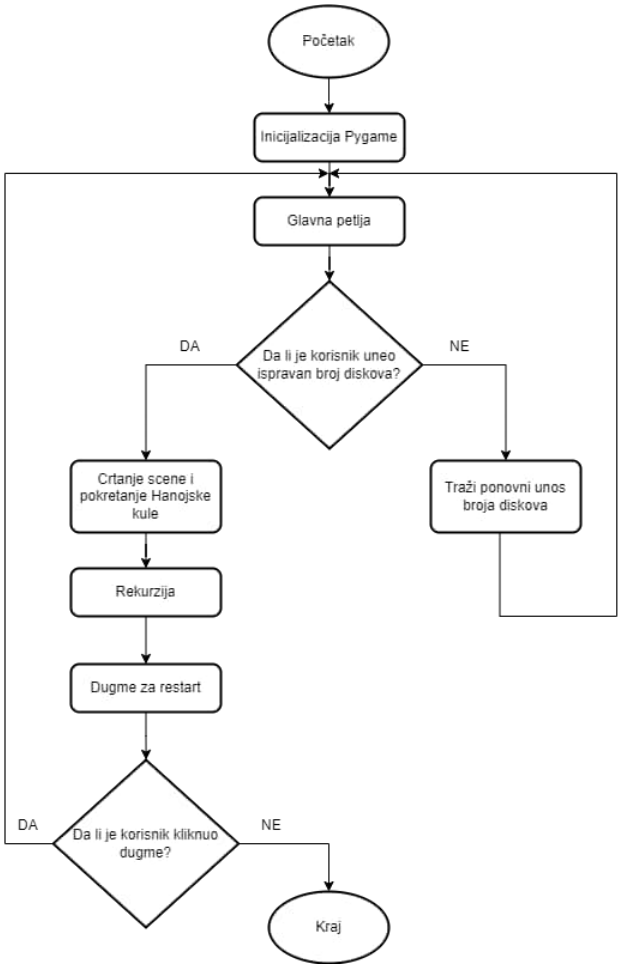
C. Progamski jezik korišćen u implementaciji

Program je pisan na računaru u programskom jeziku *Python* [3]. *Python* je programski jezik visokog nivoa opšte namene. Podržava objektno-orijentisan i funkcionalni stil programiranja. Sintaksa jezika je jednostavna i čitljiva, što olakšava učenje i korišćenje. Programi pisani u jeziku *Python* se najčešće interpretiraju. Uz interpreter se obično isporučuje i veoma razvijena standardna biblioteka modula.

D. Algoritam programa

Na početku programa se vrši inicijalizacija Pygame-a , to podrazumeva podešavanje ekrana, fonta, boje, pozicije stubova i diskova. Nakon toga u glavnoj petlji korisnik

unosi broj diskova i vrši se provera da li je unet ispravan broj. Ukoliko unet broj nije ispravan korisnik će morati da ponovo unese broj. U slučaju da je unet ispravan broj izvršiće se crtanje scene i pokreće se funkcija za rešavanje Hanojskih kula. Po završetku funkcije iscrtava se dugme za ponvno pokretanje. Ukoliko korisnik pritisne dugme program će se ponovo pokrenuto, a u slučaju da ne pritisne program će se zatvoriti.



Slika 3. Alogritam programa.

III. Princip rada programa

U narednom delu biće prikazane korišćene biblioteke i funkcije koje su korišćene u izradi programa.

A. *Korišćene biblioteke u izradi programa*

U izradi ovog porgrama korišćene su biblioteke *pygame* [4] i *sys* [5]. Biblioteka *pygame* se u programu koristi za crtanje programa i ostalih neophodnih vizuelnih elemenata. Biblioteka *sys* se koristi za interakciju sa *Python* interpreterom.

B. *Inicijalizacija i podešavanje atributa*

U ovom delu programa se deklarišu sve osnovne vrednosti i atributi koji su nužni za funkcionisanje programa.
Deklarišu se dimenzije prozora, boje, fontovi, dimenzije diskova i stubova, pozicije stubova kao i promenljive za upravljanje logikom programa.

C. *Funckija za iscrtavanje polja za unos*

Funkcija *draw_input_box* ima za cilj da u prozoru programa iscrta polje za unos u kome korisnik može da unese željeni broj diskova između 3 i 10.

D. *Funkcije za iscrtavanje osnove, stuba, diskova i scene*

Naredne funkcije *draw_base, draw_peg, draw_disk* i *draw_scene* se koriste za iscrtavanje osnove, stuba, diskova i scene u prozoru programa.

E. *Funkcija za pomeranje diskova*

Funkcija *move_disk* služi da pomeri potrebne diskove sa jednog stuba na drugi.

F. *Rekurzivna funkcija Hanojske kule*

Funkcija *hanoi* pomoću rekurzije [6] sprovodi logiku za rešavanje Hanojske kule.

```
# Rekurzivna funkcija Hanojske kule
def hanoi(n, from_peg, to_peg, aux_peg):
    if n == 1:
        move_disk(from_peg, to_peg)
    else:
        hanoi(n - 1, from_peg, aux_peg, to_peg)
        move_disk(from_peg, to_peg)
        hanoi(n - 1, aux_peg, to_peg, from_peg)
```

Slika 4. Funkcija *hanoi.*

G. *Funkcija za iscrtavanje dugmeta za ponovno pokretanje*

Funkcija *draw_restart_button* se koristi kako bi se po završetku programa pojavilo dugme, kojim se omogućava ponovo pokretanje programa.

H. *Glavna funkcija programa*

Funkcija *main* je glavna funkcija programa u kojoj se vrši obrada unetih podataka, pokretanje funkcije *hanoi* za rešavanje Hanojkse kule i na kraju omogućava ponovno pokretanje programa.

IV. Zaključak

Celokupan projekat je osmišljen od strane učenika, a realizovan uz pomoć profesora-mentora Dejana Nikolića. Bilo je potrebno primeniti znanje ne samo iz informatike već i iz matematike i programiranja i praktičnog rada na računaru. Autori rada zadovoljni su krajnjim proizvodom. Ovaj projekat pruža i mogućnost za dalja istraživanja kao i da služi kao primer za izradu aplikacije – igricu za računar ili mobilne telefone.

Literatura

[1] Hanojsla kula - https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Ханојска_кула

[2] Prof. dr Branimir M. Trenkić, “Dizajn i analiza algoritama” (https://megatrend.edu.rs/student/wp-content/uploads/2020/03/Lekcija8.pdf

[3] Python - https://www.python.org/

[4] Biblioteka pygame - https://www.pygame.org/docs/

[5] Biblioteka sys - https://docs.python.org/3/library/sys.html

[6] Pojam rekurzivne funkcije https://petlja.org/biblioteka/r/lekcije/uvod-u-programiranje/nedelja_0

```python
# Glavna petlja
def main():
    global input_active, user_input, num_disks, pegs, run_visualization, show_restart_button

    while input_active:  # Obrada unosa
        draw_input_box()
        for event in pygame.event.get():
            if event.type == pygame.QUIT:
                pygame.quit()
                sys.exit()

            if event.type == pygame.KEYDOWN:
                if event.key == pygame.K_RETURN:
                    try:
                        num_disks = int(user_input)
                        if 3 <= num_disks <= 10:
                            input_active = False
                            run_visualization = True
                            pegs = [[i for i in range(num_disks, 0, -1)], [], []]
                        else:
                            user_input = ""
                    except ValueError:
                        user_input = ""
                elif event.key == pygame.K_BACKSPACE:
                    user_input = user_input[:-1]
                else:
                    user_input += event.unicode

    while run_visualization:
        draw_scene()

        # Pokreni algoritam Hanojske kule
        hanoi(num_disks, 0, 2, 1)

        # Nakon završetka, prikaži dugme za ponovno pokretanje
        show_restart_button = True
        run_visualization = False

    if show_restart_button:
        button_rect = draw_restart_button()

        while True:
            for event in pygame.event.get():
                if event.type == pygame.QUIT:
                    pygame.quit()
                    sys.exit()

                if event.type == pygame.MOUSEBUTTONDOWN:
                    if button_rect.collidepoint(event.pos):
                        input_active = True
                        user_input = ""
                        show_restart_button = False
                        main()

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Slika 5. Funkcija *main.*

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.259A
Original scientific paper

Bluetooth kosilica

Aleksa Arsić
ETŠ Mihajlo Pupin
Novi Sad, Srbija
aleksaarsic270@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Ovaj rad objašnjava princip rada električne kosilice za održavanje travnjaka kojom se upravlja putem mobilnog telefona uz pomoć Bluetooth 2.0 tehnologije.**

Ključne reči—Daljinsko upravljanje kosilicom, Bluetooth, ultrazvučni senzor.

I. Uvod

Glavne komponente zaslužne za realizaciju ove kosilice su Arduino nano [1] i Bluetooth modul HC-05 [2]. Taj modul je potreban iz razloga što sam Arduino nano ne poseduje Bluetooth komunikaciju. Zbog zaštite od oštećenja na prednjem delu postavljen je ultrazvučni senzor HC-SR04 [3] koji se u skladu sa kretanjem celog sklopa okreće oko svoje ose uz pomoć servo motora. Prilikom približavanja prepreci oglašava se zvučni signal.

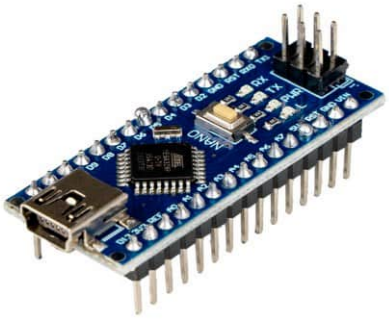
II. Princip rada

HC-05 modul komunicira sa mikrokontrolerom uz pomoć serijske komunikacije tako da se komande mikrokontrolera svode na proste tekstualne. Uz pomoć aplikacija za mobilne telefone te tekstualne komande je moguće slati pritiskom na dugme kome odredimo određenu naredbu [2]. Nakon primljene naredbe Arduino šalje signal L298N H mostu [4]. L298N je upravljačka jedinica za motore jednosmerne struje koja ujedno štiti mikrokontroler od indukovaog napona koji takvi motori mogu da proizvedu, nakon čega motori reaguju u zavisnosti od naredbe. Za motor elise, koja seče travu, nije potrebna neka detaljnija kontrola pa se on kontroliše preko tranzistora. Servo motori se proizvode tako da za njih nije potrebna nikakva dodatna zaštita i samim tim spajaju se direktno na Arduino. Principska šema data je na slici 6.

III. Implementacija

A. Arduino

Arduino mikrokontroler je centralna komponenta ovog kola, (slika 1) njegov radni napon je 5 V. On ima 14 digitalnih ulazno izlaznih pinova koji imaju mogućnost strujnog opterećenja do 40 mA [1], od toga 6 pinova ima mogućnost slanja Pulse Width Modulation signala. Takođe na njemu se nalaze 8 ulaznih analognih pinova. Njegov radni takt je 16 MHz [1]. Program se piše u C++ programskom jeziku.

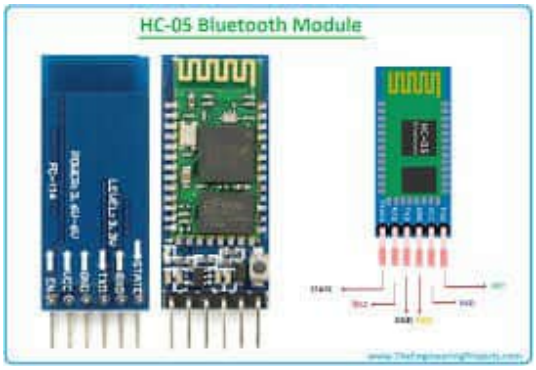


Slika 1. Primer Arduino nano razvojne ploče.

B. HC-05

HC-05 Bluetooth modul ima brzinu od 2.1 Mbps tj. radi u Bluetooth 2.0 [2] tehnologiji. Ima domet oko 10 metara i može raditi na 2 načina, kao master i kao slejv. Na sebi ima 6 pinova (slika 2):

1. STATE – Služi za obaveštenje o tome da li je uparen sa nekim uređajem (daje signal visoko) ili nije (signal je nisko);
2. RX- Pin koji prima signal od mikrokontrolera, jedini koji radi na 3,3 V;
3. TX- Ovaj pin šalje serijski signal na mikrokontroler;
4. GND- Uzemljenje;
5. +5V- Napajanje;
6. EN- Pin koji služi za isključenje modula.

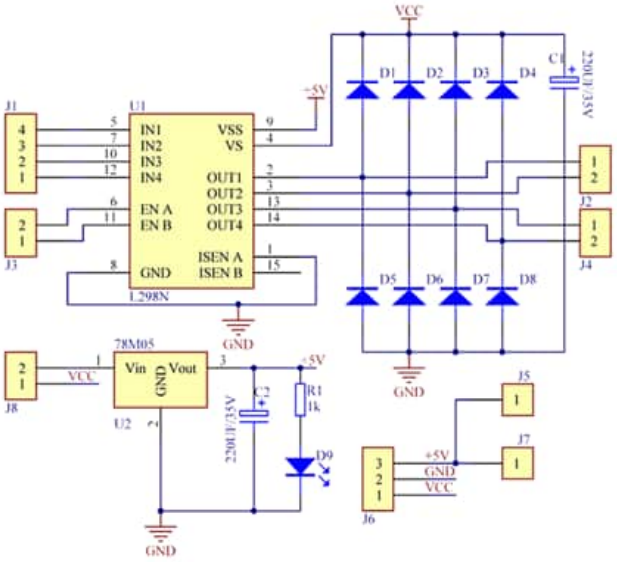


Slika 2. HC-05 I njegovi pinovi.

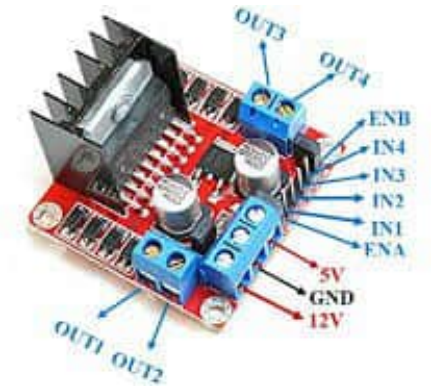
C. L298N

Ovaj modul je popularan zbog činjenice da se veoma prosto koristi, za njega ne postoji i nije potrebna dodatna biblioteka [4]. Pored običnih mogu se upravljati i koračni motori.

Koračni motori su precizni motori koji se upravljaju uz pomoć digitalnih signala. Upravljanje 2 motora se vrši uz pomoć 4 žice povezane na digitalne pinove mikrokontrolera (slika 4). Modul je napravljen uz mogućnost da se koristi posebno napajanje za motore a posebno za Arduino (slika 3). Štampana ploča pruža mogućnost isključenja individualnih motora uklanjanjem kratkospojnika (džampera).



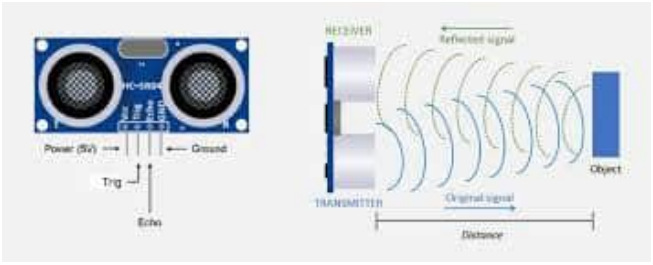
Slika 3. Šema L298N štampane ploče.



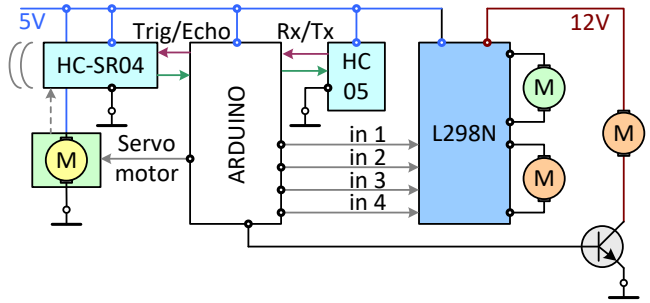
Slika 4. Povezivanje L298N.

D. HC-SR04

Ultrazvučni senzor funkcioniše tako što pusti zvuk visoke frekvecnije, koji ljudsko uvo ne može da čuje, tom zvuku treba vremena do nekog objekta od kog se delimično odbija i vraća nazad ka senzoru [3]. Na osnovu tog vremena se određuje udaljenost. Princip rada senzora je sličan ponašanju slepih miševa koji se na sličan način orjentišu u prostoru.



Slika 5. HC-SR04 i princip rada.



Slika 6. Blok šema celog sklopa.

IV. Zaključak

Razvojem tehnologije čovek teži da sebi olakša naporan i težak posao. Ovakvim uređajem održavanje travnjaka može da se vrši iz hlada u stolici. Ne postoji ništa lakše od toga.

Zahvalnica

Zahvaljujem se profesorima Skala Vladimiru, Radović Kseniji i Ušan Branislavu na usmeravanju i sugestijama prilikom izrade ovog rada.

Literatura

[1] Sajt Arduino platforme. Dostupno na: https://www.arduino.cc/.

[2] Objašnjenje rada HC05. Dostupno na: https://www.youtube.com/watch?v=NXlyo0goBrU&t=1240s&pp=ygUFaGMgMDU%3D.

[3] Objašnjenje rada HC SR04. Dostupno na: https://www.youtube.com/watch?v=0Lhgd8PQmn0&pp=ygUHaGMgc3IwNA%3D%3D.

[4] Tehnička dokumentacija za L298N. Dostupna na: https://www.handsontec.com/dataspecs/L298N%20Motor%20Driver.pdf.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.261S
Original scientific paper

Kalibracija RF oslabljivača

Andrej Smirnov
ETŠ Mihajlo Pupin
Novi Sad, Srbija
andreg44087@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U radu je opisana konstrukcija RF oslabljivača (atenuatora) sa promenljivim slabljenjem. Prikazan je postupak kalibracije, kojim se eliminiše uticaj frekvencije na tačnost podešenog slabljenja. Osnovni parametri (slabljenje, uneto slabljenje, radna frekvencija) prikazuju se na displeju.**

Ključne reči—RF oslabljivač, promenljivo slabljenje, kalibracija.

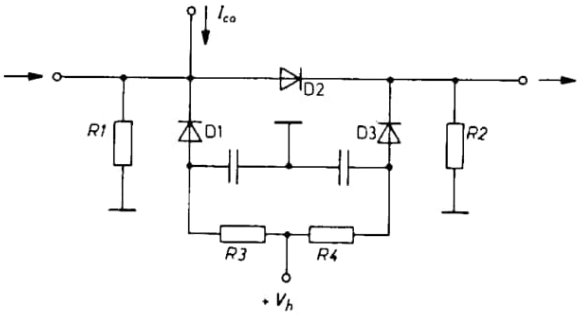
I. Uvod

Oslabljivači (atenuatori) koriste se u kolima radio tehnike radi podešavanja nivoa signala, regulaciju pojačanja i sl. Izrađuju se kao oslabljivači sa fiksnim ili sa promenjivim slabljenjem. U ovom radu prikazana je konstrukcija oslabljivača sa promenljivim slabljenjem koji koristi integrisano kolo TDA1053 koje sadrži 3 PIN diode u π konfiguraciji. Frekventni opseg TDA1053 je 40 MHz – 1 GHz, sa kontinualnom regulacijom slabljenja od preko 40 dB. Iako se TDA1053 više ne proizvodi, ovo kolo je odabrano zbog raspoložive opreme za merenja i kalibraciju i zbog izražene nelinearnosti karakteristike slabljenja, radi ilustracije postupka kalibracije.

II. Princip rada

A. Oslabljivač sa PIN diodama u π konfiguraciji

Slika 1 prikazuje povezivanje PIN dioda oslabljivača u π konfiguraciji, pri čemu je $R_1 = R_2$ i $R_3 = R_4$. Kontrolna struja I_{co} jednaka je nuli. Zbog simetrije, pomoćni napon V_h kroz diode D_1 i D_3 proizvodi jednake struje i napon na otporniku R1 jednak je naponu na otporniku R_2, pa dioda D_2 ne provodi struju. Rezultat je da dioda D_2 ima veliku otpornost, a diode D_1 i D_3 koje provode imaju malu otpornost, pa oslabljivač ima maksimalno slabljenje.

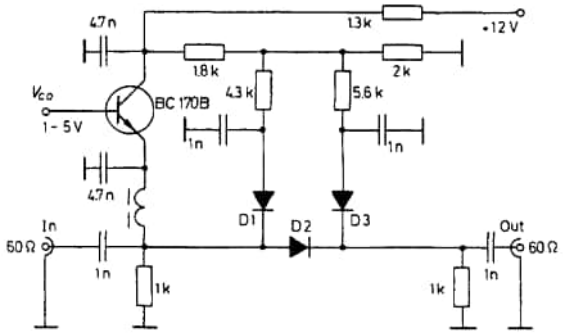


Slika 1. Oslabljivač sa PIN diodama.

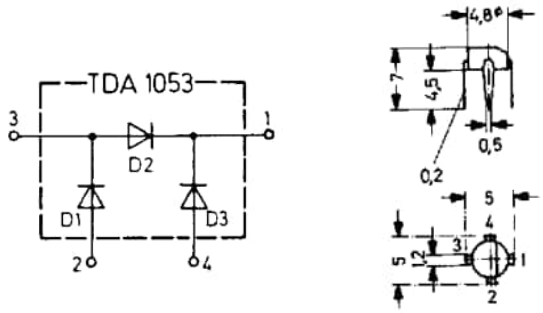
Povećanjem kontrolne struje I_{co} smanjuje se direktna struja kroz D_1 i D_3, a povećava struja kroz D_2. Za dovoljno veliku struju I_{co} dobiće se obrnuta situacija: diode D_1 i D_3 ne provode struju (visoka otpornost), dok će dioda D_2 provoditi (mala otpornost), pa oslabljivač ima minimalno slabljenje.

B. Realizacija oslabljivača

Oslabljivač je realizovan prema preporukama proizvođača [2], slika 2.

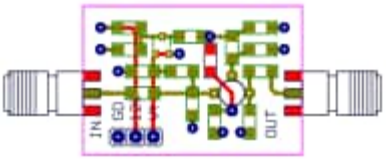


Slika 2. Realizacija oslabljivača.



Slika 3. Interna šema TDA1053 i izgled kućišta.

Slika 4 prikazuje izgled štampane ploče (radi preglednosti prikazane su samo veze sa gornje i donje strane: Top i Bottom Layer).

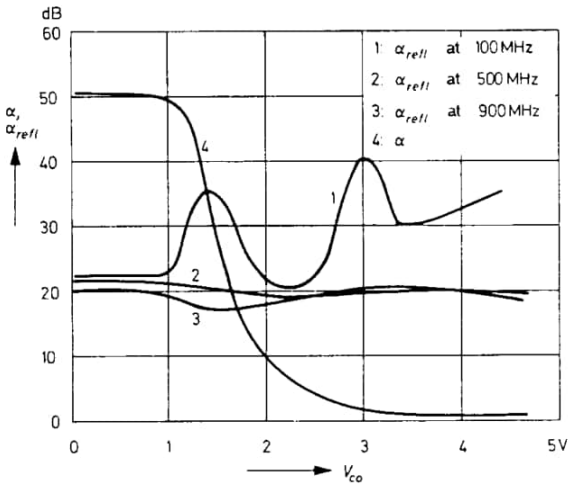


Slika 4. Štampana ploča oslabljivača.

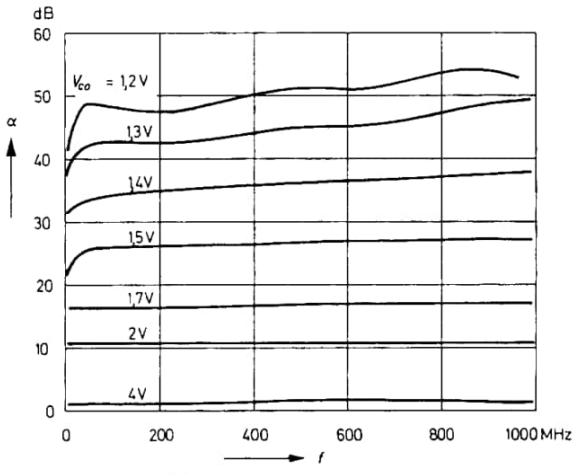
Izuzev TDA1053 (kućište 50B4), preostale komponente su u smd varijanti, što daje bolje osobine kola na visokim frekvencijama. Oslabljivač je potrebno ugraditi u metalno kućište, radi zaštite od smetnji. Za izradu štampane ploče je korišćen materijal FR-4. Za izradu štampane ploče korišćen je program Protel.

III. Karakteristike oslabljivača

Oslabljivač realizovan prema slici 2 ima nelinearnu karakteristiku (slika 5, kriva 4) i slabljenje takođe zavisi od radne frekvencije (slika 6), pa je potrebno ovo uzeti u obzir. Karakteristike oslabljivača zavise u velikoj meri od upotrebljenih komponenata, rasporeda istih na štampanoj ploči, kvaliteta zaštite od smetnji i sl. Iz tih razloga najbolje je merenje karakteristika izvršiti na konkretnom (sagrađenom) modelu oslabljivača, a zatim napraviti korekciju (kalibraciju) kojom se nedostaci i nesavršenost komponenata i konstrukcije mogu kompenzovati.



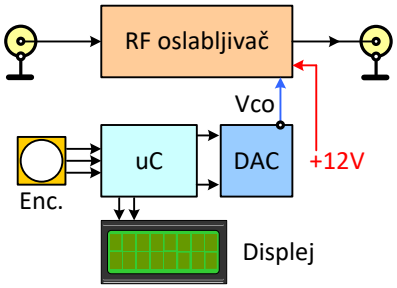
Slika 5. Zavisnost slabljenja od kontrolnog napona V_{co}, kriva 4.



Slika 6. Zavisnost slabljenja od radne frekvencije.

IV. Upravljačko kolo

Slika 7 prikazuje kolo za upravljanje radom RF oslabljivača: potreban je napon od 12 V i kontrolni napon V_{co} (koji se menja u rasponu od 1 V do 5 V), kako je i navedeno na slici 2. Ovaj kontrolni napon dobija se iz D/A konvertora (DAC MCP4725 12-bit) kojim upravlja mikrokontroler RP2040-Zero (uC). Komande se zadaju optičkim enkoderom (Enc.), a za prikaz se koristi displej.



Slika 7. RF oslabljivač sa kolom za upravljanje.

V. Postupak kalibracije

Za merenje i kalibraciju na raspolaganju je bila prilično stara oprema: HP 8656B RF Signal generator (0.1 do 990 MHz) i HP 432A Power Meter sa analognom skalom, što svakako utiče na tačnost merenja, slika 8. Prvo je formirana tabela vrednosti slabljenja za promenu napona V_{co} u rasponu od 1 V do 5 V (slika 5, kriva 4). Zatim se na osnovu unete radne frekvencije vrši korekcija slabljenja prema slici 6. Merenja su vršena na svakih 10 MHz, što se pokazalo kao dovoljno. Posebna tabela postoji i za uneto slabljenje (Insertion Loss), koje se takođe prikazuje na displeju. Rezultati merenja i tabele faktora za korekciju čuvaju se u EEPROM memoriji.



Slika 8. Oprema za merenje i kalibraciju.

Zahvalnica

Autor zahvaljuje mentoru Vukobrat Milanu na podršci prilikom izrade rada.

Literatura

[1] Ulrich L. Rohde and David P. Newkirk, RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications, pp. 135 – 153, John Wiley & Sons, Inc. 2000.

[2] Telefunken: TDA1053 datasheet. Dostupno na: https://www.box73.de/file_dl/bauelemente/TDA1053.pdf.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.263S
Original scientific paper

Stabilizacija drona pomoću MPU6050

Andrej Smirnov
ETŠ Mihajlo Pupin
Novi Sad, Srbija
andreg44087@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom radu je opisan problem "Stabilizacija drona pomoću žiroskopa sa MPU6050", kao i komponente i alati korišćeni za njegovu izradu.**

Ključne reči—stabilizacija drona, žiroskop, MPU6050

I. Uvod

Projekat je razvijen sa ciljem da pokaže kako se stabilizuje dron pomoću žiroskopa MPU6050. Prikazane su metode za rešavanje problema sa stabilizaciju drona.

Glavne komponente, korišćene za izradu ovog projekta su: mikrokontroler ESP32 [1], Žiroskopski modul MPU6050 [2], Bluetooth modul HC-05 [3].

II. Korišćene komponente

A. Mikrokontroler

ESP32(Slika 1) ima 32-bit procesor sa dva jezgra koji obezbeđuje visoku efikasnost i brzinu obrade podataka, sa radnom frekvencijom do 240 MHz koja omogućava izvršavanje složenih operacija u realnom vremenu. Ugrađena flash memorija, obično od 4 MB, uz podršku za spoljnu memoriju koja dodatno proširuje ove mogućnosti. ESP32, osim velikog broja GPIO linija ima i podršku za različite protokole (I2C, SPI, UART).

B. MPU6050

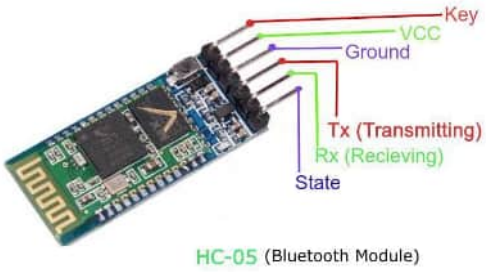
Žiroskop MPU6050 ima 16-bitni ADC, što obezbeđuje visoku preciznost merenja. Sposoban je da izvrši do 1000 merenja u sekundi. Ovaj senzor uključuje tri-osni žiroskop koji meri ugaonu brzinu po tri ose (X, Y, Z) i tri-osni akcelerometar koji meri ubrzanje po istim osama. Pored toga, MPU6050 koristi I2C interfejs, što omogućava lako povezivanje sa mikrokontrolerima. Na slici 2 prikazan je fizički izgled i raspored pinova MPU6050.



Slika 1. Razvojna ploča sa mikrokontrolerom ESP32.



Slika 2. Žiroskopski modul sa MPU6050.

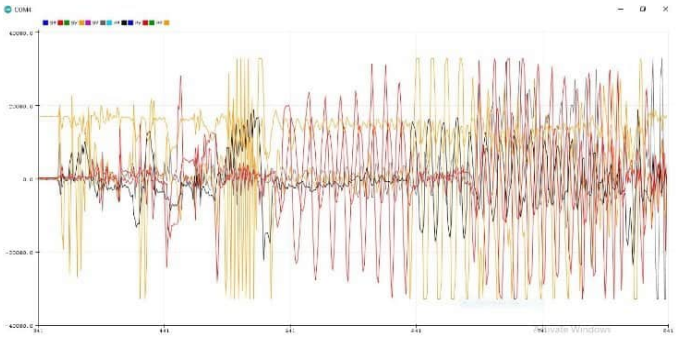


Slika 3. HC-05 Bluetooth module.

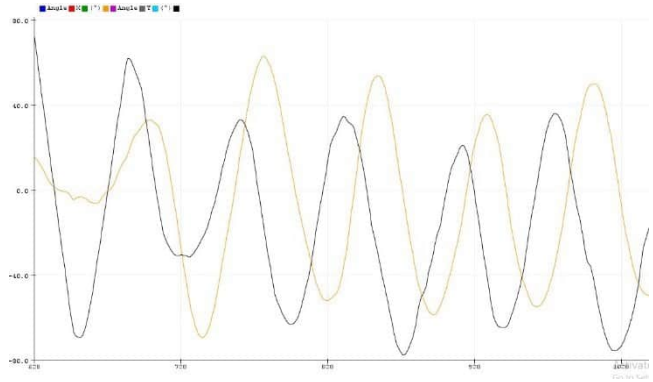
III. Princip rada

Sada, kada smo se upoznali sa karakteristikama ključnih komponenti projekta, možemo preći na detaljno objašnjenje principa rada sistema. U nastavku ćemo opisati kako se svaka od ovih komponenti koristi u procesu stabilizacije drona i kako međusobno deluju da bi omogućile efikasan rad.

Mikrokontroler ESP32 se inicijalizuje i putem protokola I2C povezije sa modulom žiroskopa. Žiroskop dobija podatke sa svih osa, ali ćemo koristiti samo dve: X i Y. Tokom testiranja otkriveno je da žiroskop čita brojeve u mirnom položaju, iako bi trebao da pokazuje nulu, kao što je prikazano na slici 4. Rešenje je bilo dodati koeficijent za konverziju u ugaonu brzinu, a za bolji rad žiroskopa dodat je komplementarni filter kako bi se približili nuli (Slika 5).



Slika 4. Snimljeni podaci bez koeficijenata i filtra.

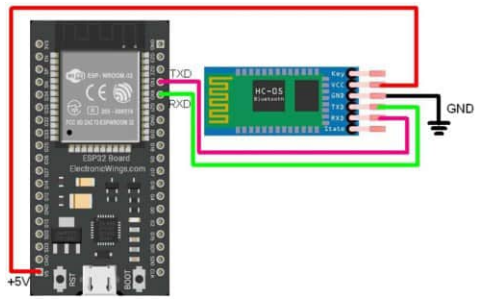


Slika 5. Podaci sa koeficijentima i komplementarnim filtrom.

U konzoli za upravljanje nalazi se ESP32 koji šalje komande koristeći UART protokol na HC-05 Bluetooth modul.

U dronu se nalazi drugi ESP32 sa HC-05 modulom. Na taj način ostvarena je bežična komunikacija i veza između konzole i drona.

Treba napomenuti da ESP ima i svoj vlastiti Bluetooth modul za komunikaciju. Razlog za korišćenje eksternog HC-05 modula je praktične prirode – ušteda memorijskog prostora u ESP32.



Slika 6. Komunikacija između ESP32 i HC-05 preko UART protokola.

Modul sa MPU6050 ima funkciju kalibracije na početku rada, čime obezbeđujemo precizan rad u vazduhu pre nego što započnemo sa aktivnostima. Kalibracija se vrši tako što se dron postavi u horizontalni položaj mirovanja, što omogućava detekciju i ispravljanje sistematskih grešaka i grešaka offset-a u kasnijim merenjima.

Ovaj proces uključuje prikupljanje podataka sa svih osa i izračunavanje prosečnih vrednosti koje se koriste za podešavanje očitavanja tokom rada. Time se postiže veća tačnost i pouzdanost u merenjima, što je ključno za stabilizaciju drona u realnim uslovima letenja. Kod za kalibraciju je prikazan na slici 7.

```
void calibrateGyroscope() {
  const int numReadings = 100; // Количество измерений для калибровки
  float sumX = 0.0, sumY = 0.0, sumZ = 0.0;

  Serial.println("Calibrating gyroscope, please keep the sensor still...");

  for (int i = 0; i < numReadings; i++) {
    int16_t gx, gy, gz;
    Gyroscope.getRotation(&gx, &gy, &gz);

    sumX += gx;
    sumY += gy;
    sumZ += gz;

    delay(10); // Задержка для сбора данных
  }

  gyroOffsetX = sumX / numReadings;
  gyroOffsetY = sumY / numReadings;
  gyroOffsetZ = sumZ / numReadings;

  Serial.print("Gyroscope calibration complete.");
  Serial.print(" Offset X: "); Serial.print(gyroOffsetX);
  Serial.print(" Offset Y: "); Serial.print(gyroOffsetY);
  Serial.print(" Offset Z: "); Serial.println(gyroOffsetZ);
}
```

Slika 7. Kod za kalibraciju žiroskopa.

IV. Implementacija

U ovoj sekciji detaljno ćemo opisati korake implementacije projekta "Stabilizacija drona pomoću žiroskopa MPU6050". Proces se sastoji od nekoliko ključnih faza: postavljanje hardverskih komponenti, implementacija softvera i testiranje sistema.

Prvo, potrebno je povezati sve komponente sistema:

Mikrokontroler ESP32 sa žyroskopom MPU6050 putem I2C protokola (Slika 8). Za ovo koristimo SDA i SCL pinovena ESP32, koji omogućavaju komunikaciju sa MPU6050. Koriste se sledeće pin konekcije:

SDA - Pin za podatke

SCL - Pin za takt

Žiroskop MPU6050: Ovaj modul se povezuje sa ESP32 i dobija napajanje (VCC i GND). Sva merenja se vrše putem I2C interfejsa, što omogućava jednostavnu integraciju.

HC-05 Bluetooth modul: HC-05 se povezujesa ESP32 putem UART komunikacije. Ovo omogućava bežičnu komunikaciju sa drugim uređajima. Pinovi za povezivanje su:

TX (transmit) - povezuje se na RX pin ESP32

RX (receive) - povezuje se na TX pin ESP32



Slika 8. Povezivanje ESP32 sa žiroskopom MPU6050.

Nakon što su komponente povezane, potrebno je napisati softver koji će upravljati stabilizacijom drona. Korišćenje Arduino IDE olakšava razvoj.

Prvi korak je inicializacija I2C komunikacije i povezivanje sa MPU6050 (Slika 9).

```
#include <Wire.h>
#include <MPU6050.h>

MPU6050 mpu;

void setup()
{
 Wire.begin(); // inicializacija I2C protocola

 mpu.initialize(); // inicializacija Gyroscop-a

 Serial.begin(115200); // Brzina prenosa podataka u Serial Monitor

}
```

Slika 9. Inicializacija preko I2C protokola.

Drugi korak je očitavanje podataka sa MPU6050 (Slika 10).

```
void loop() {
    int16_t ax, ay, az;
    int16_t gx, gy, gz;
    mpu.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);

    // Implementacija filtra i konverzije podataka
    float angleX = gx * 0.1; // Primer konverzije
    // Šaljemo podatke preko Bluetooth modula
    Serial.println(angleX);
}
```

Slika 10. Ocitavanje podataka sa MPU6050.

Treći korak je kalibracija MPU6050. Pomoću toga postižemo precizan rad na početku (Slika 11).

```
void calibrateGyroscope() {
  const int numReadings = 100;
  float sumX = 0.0, sumY = 0.0, sumZ = 0.0;

  Serial.println("Calibrating gyroscope, please keep the sensor still...");

  for (int i = 0; i < numReadings; i++) {
    int16_t gx, gy, gz;
    Gyroscope.getRotation(&gx, &gy, &gz);

    sumX += gx;
    sumY += gy;
    sumZ += gz;

    delay(10);
  }

  gyroOffsetX = sumX / numReadings;
  gyroOffsetY = sumY / numReadings;
  gyroOffsetZ = sumZ / numReadings;

  Serial.print("Gyroscope calibration complete.");
  Serial.print(" Offset X: "); Serial.print(gyroOffsetX);
  Serial.print(" Offset Y: "); Serial.print(gyroOffsetY);
  Serial.print(" Offset Z: "); Serial.println(gyroOffsetZ);
}
```

Slika 11. Kalibracija MPU6050.

Nakon što je implementacija završena, potrebno je testirati stabilizaciju drona u realnim uslovima:

Testiranje u mirovanju: Proverava se kako sistem reaguje na promene u položaju. Podaci iz žiroskopa se analiziraju i proverava se da li se stabilizacija pravilno primenjuje.

Testiranje u letu: Druga faza testiranja se vrši tokom leta drona. Prate se reakcije sistema na promene u položaju i u brzini.

Prilagođavanje parametara: Na osnovu rezultata testiranja, mogu se prilagoditi parametri kao što su koeficijenti u filtrima za bolju stabilizaciju.

```
 angleX = alpha * (angleX + gx_dps * dt) + (1 - alpha) * angleAccX;
 angleY = alpha * (angleY + gy_dps * dt) + (1 - alpha) * angleAccY;
```

Slika 12. Deo koda za komplementarni filtar.

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikupljenih podataka MPU6050 i sa snažnim mikrokontrolerom ESP32 može da se uradi stabilizacija drona sa manjim troskovima i stabilnim radom.

Potreban je dodatni rad i napor da se problem optimizuje, obzirom da je u pitanju sistem koji se u realnom vremenu kreće u prostoru.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se mentorima Vukobrat Milanu, Hajder Radmili i Radišić Slobodanu.

LITERATURA

[1] ESP32: Get Started - ESP32 - — ESP-IDF Programming Guide latest documentation. Dostupno na: www.espressif.com

[2] Gyroscope Mpu6050 : ESP32 MPU-6050 Accelerometer and Gyroscope (Arduino) | Random Nerd Tutorials. Dostupno na: www.randomnerdtutorials.com

[3] HC-05 bluetooth module : HC-05 Bluetooth module Interfacing with ESP32 | ESP32 (electronicwings.com). Dostupno na: www.electronicwings.com

[4] C Program language. Dostupno na: https://is.gd/utTv1i

[5] The C Programming Language - 2nd Edition. Dostupno na: www.atariverse.com

[6] UART protocol: ESP32 UART Communication Pins Explained with Example. Dostupno na: www.microcontrollerslab.com

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.267R
Original scientific paper

TerraTrack – terenski lokator i informator

Uroš Rodić
ETŠ Mihajlo Pupin
Novi Sad, Srbija
urosrodić337gmail.com
ORCID: N/A

Srđan Tutuš
ETŠ Mihajlo Pupin
Novi Sad, Srbija
tutus.srdjan@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadraj*—Ovaj rad predstavlja uređaj koji služi kao moderno pomagalo za istraživače, avanturiste, terence i ljude koji su skloni boravku u prirodi. TerraTrack pruža funkcionalnosti potrebno za efikasno orijentisanje u prirodi i praćenje meteoroloških promena.**

Ključne reči—orijentacija, praćenje, lokacija, GPS

I. UVOD

Najbitnija stvar tokom preživljavanja u prirodi jeste imati sposobnost da precizno i brzo saznamo informacije o našem okruženju. Uvek treba da budemo dobro opremljeni kako bi bili sigurni i uspešno realizovali svrhu svoje putanje. Težnju da budemo dobro opremljeni osiguravamo korišćenjem TerraTrack (logo, Slika 1) terenskog uređaja. Uređaj koristi napredne tehnologije za korisničku orijentaciju, praćenja lokacije i evidenciju pređenog puta. Meri i prikazuje trenutno meteorološko stanje čime omogućava korisnicima da budu informisani o uslovima okoline. Takođe stvara statistike o pređenom putu i ostalim podacima koje se tiču samog korisnika tokom istraživanja, koje su zabeležene i lako dostupne korisniku na uvid. Dizajniran je za jednostavnu upotrebu, sa mogućnošću pričvršćivanja putem klipa (potencijalno na kaiš, torbu, jaknu itd.), čime se omogućava udobno nošenje tokom dana (Slika 2). Sve informacije su prikazane na displeju, koji se kontroliše putem tastera.



Slika 1. TerraTrack logo dizajn.

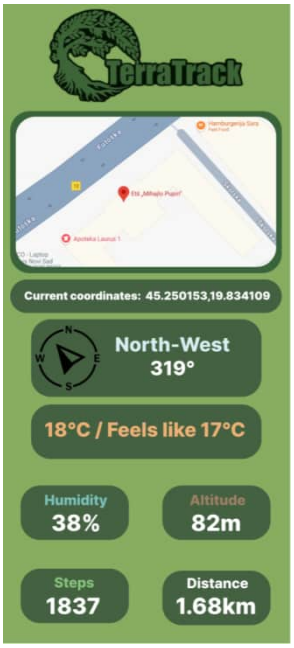


Slika 2. Kućište projekta.

II. LISTA KOMPONENTI I PRINCIP RADA

A. Princip rada

TerraTrack uređaj pomoću svojih senzora meri temperature, vazdušni pritisak, vlažnost vaduha i nadmorsku visinu. Poseduje ugrađen GPS modul za određivanje geografskih koordinata, MPU modul za praćenje fizičke aktivnosti korisnika i kompas. TerraTrack će generisati svoju Wi-Fi konekciju i kreirati web server gde će svi podaci biti prikazani na jednom mestu. Webserver je zasnovan na CSS, HTML i Bootstrap tehnologijama. Korisnik putem bilo kog uređaja sa web pretraživačem može pristupiti web server. Sve komponente biće prikazane su na elektronskoj šemi (Slike 4,5 i 6) za koju je projektovana odgovarajuća štampana ploča (PCB).

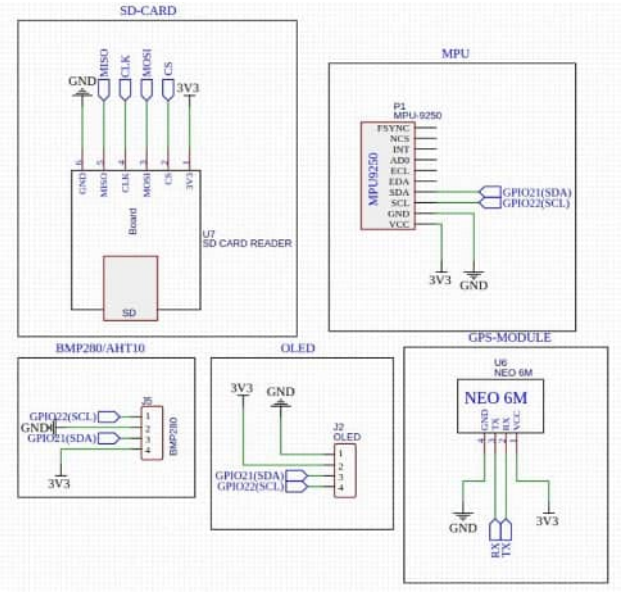


Slika 3. Prikaz webservera putem Figma tehnologije.

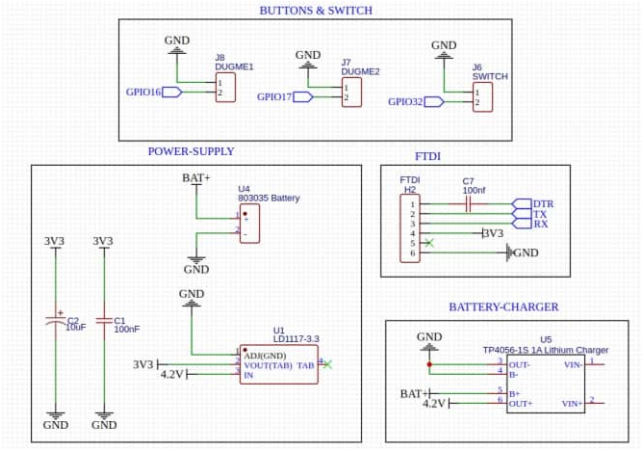
Svi rezultati merenja senzora, GPS podaci o lokaciji i kretanju tokom rada uređaja snimaju se na MicroSD karticu i postaju dostupni on-line čim se uspostavi konekcija.

Ukoliko zbog terenskih uslova nema mogućnosti za Wi-Fi konekciju, podaci se mogu očitavati direktno sa MicroSD kartice u nekom od dostupnih formata (.csv na primer) i analizirati u nekoj od standardnih aplikacija, kao što je (Excel i sl.).

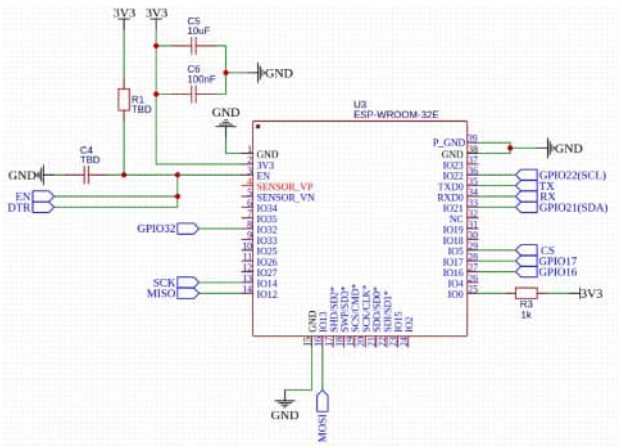
Za upis koda u mikrokontroler koristi se Arduino razvojno okruženje, program EasyEDA za izradu električne šeme i projektovanje štampane ploče, program Figma za pomoć oko vizuelnog dizajniranja web servera i podaci sa OpenWeather/NTP/Google Maps API za precizan prikaz informacija kada TerraTrack ima Internet pristup.



Slika 4. Korišćeni senzori i I2C konekcija.



Slika 5. Napajanje i kontrole.



Slika 6. Mikrokontroler ESP32-WROOM32E.

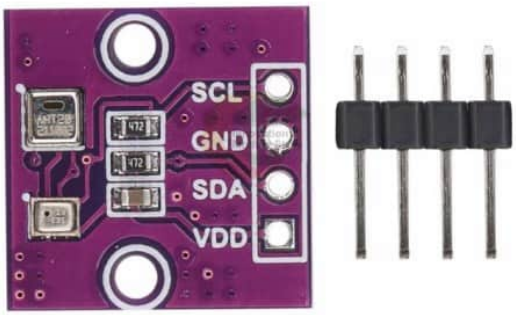
B. Komponente

ESP32-WROOM32E (Slika 7) je programabilan Wi-Fi i Bluetooth mikrokontroler. Ima 32 ulazno/izlazna pina za povezivanje sa senzorima i interfejsima, pruža dvojezgarnu procesorsku snagu i energetsku efikasnost.



Slika 7. Modul ESP32-WROOM32E.

Za merenje potrebnih parametara koristi se mini modul sa dva integrisana senzora. Prvi integrisani sensor je BMP280 i on je zadužen za merenje temperature i barometarskog pritiska. Drugi integrisani sensor je AHT20 i on meri vlažnost vazduha i temperaturu (Slika 8).



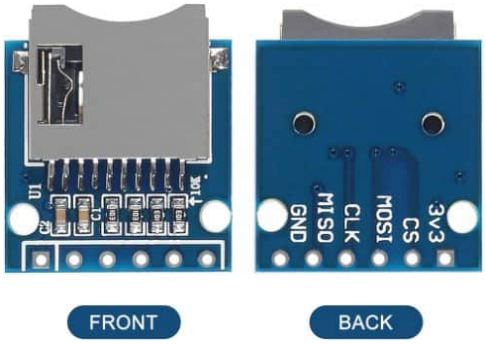
Slika 8. BMP280 i AHT20 senzor.

OLED Displej SSD1306 (Slika 9) pruža prikaz podataka na rezoluciji od 128x64 piksela. Poseduje visok stepen prilagodljivosti u odnosu na korisničke standard i sadrži kvalitetan nivo preglednosti.



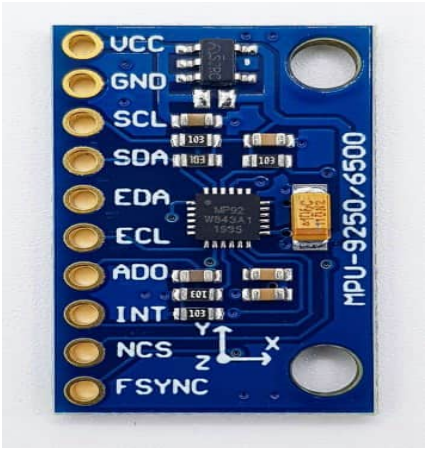
Slika 9. OLED Displej SSD1306.

Mini MicroSD Card reader (Slika 10) je modul za čitanje i upis na MicroSD karticu koji omogućava skladištenje i prenos podataka.



Slika 10. Modul MicroSD Card reader.

MPU-9250 (Slika 11) je multifunkcionalni sensor koji kombinuje akcelerometar, žiroskop i magnetometer za merenje pokreta u tri dimenzije, osiguravajući precizno praćenje kretanja.



Slika 11. Multifunkcionalni senzor MPU-9250.

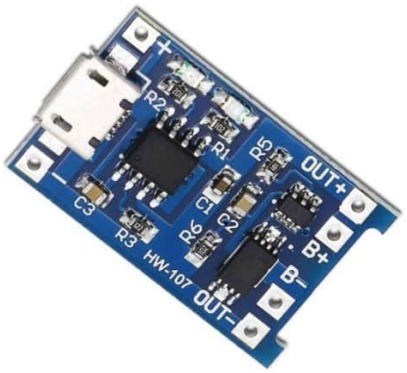
LiPo 803035 (Slika 12) je jednoćelijska litijum-polimerska baterija kapaciteta od 900mAh što omogućava dugotrajnu autonomiju uređaja.



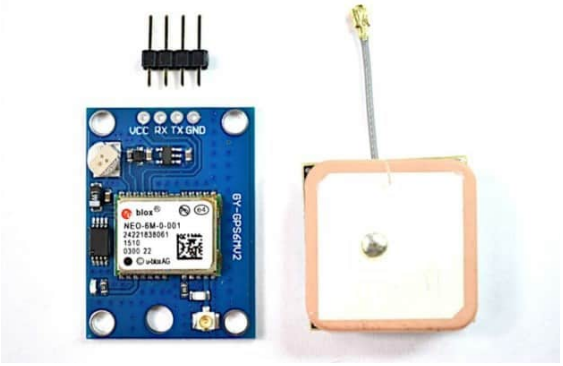
Slika 12. Litijum-polimerska baterija 803035.

TP4056 (Slika 13) punjač za jednoćelijske LiPo baterije osigurava sigurno i efikasno punjenje što produžava rok baterije.

NEO-6M GPS modul (Slika 14) koristi NEO-6 seriju GNSS (Globalno Navigacioni Satelitski Sistem) čipova. Karakterističan je po njegovoj visokoj preciznosti, jednostavnoj integraciji i antenskom konektoru.



Slika 13. Punjač baterije TP4056.



Slika 14. GPS modul NEO-6M i antena sa konektorom.

III. Moguća proširenja

TerraTrack ima mogućnost proširenja funkcionalnosti koje neće za sada biti implementirane u projektu, poput:

1) Slanja SOS poruke putem radio talasa koristeći RF modul
2) Merenje koncentracije ugljen-dioksida u okruženju koristeći CO2 senzor.
3) Merenje UV zračenja koristeći senzor za UV svetlost.

Trenutno razvijeni uređaj predstavlja osnovu, ali postoji veliki potencijal za nadogradnju zahvaljujući jednostavnom dodavanju novih komponenti i funkcionalnosti.

Zaključak

TerraTrack se pokazuje kao veoma koristan uređaj za sve istraživače i ljubitelje prirode. Pomoću njega boravak na otvorenom je više siguran i opušten, dok praktičnost i lakoća nošenja osigurava prijatno iskustvo. Zbog mogućnosti unapređenja i lake implementacije, TerraTrack je veoma prilagodljiv u odnosu na zahtev korisnika što uređaju daje veliku komercijalnu vrednost. S obzirom na navedene karakteristike, TerraTrack je inovativni alat koji može značajno obogatiti iskustva istraživanja i avanture.

Zahvalnica

Zahvaljujemo se našem mentoru Milanu Vukobratu za pomoć prilikom biranja komponenti i na tome što nam je pružio priliku da učestvujemo na ovoj konferenciji. Takođe se zahvaljujemo studentima FTN-a Nikoli Bojinoviću i Đorđu Kostiću za podršku tokom pravljenja šeme i PCB ploče.

LITERATURA

[1] DigiKey deskripcija ESP32-WROOM32E dostupno na: https://www.digikey.com/en/products/detail/espressif-systems/ESP32-WROOM-32E-N4/11613125

[2] Bosch Sensortec datasheet za BMP280 dostupno na: https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/

[3] Adafruit opis proizvoda AHT20 dostupno na: https://www.adafruit.com/product/4566

[4] ESPHome SSD1306 dokumentacija dostupno na: https://www.esphome.io/components/display/ssd1306.html

[5] InvenSense dokumentacija za MPU9250 dostupno na: https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/

[6] Tehnicka dokumentacija TP4056 punjaca dostupno na: https://www.dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf

[7] U-blox specifikacije NEO-6M dostupno na:
https://www.u-blox.com/en/product/neo-6-series

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.271D
Original scientific paper

Hiding MBR Formatted Storage Medium's Partition on Linux-based Operating Systems

Vukadin Drašković
Department of Computer Science
Faculty of Electronic Engineering
Nis, Serbia
vukadin.draskovic@elfak.ni.ac.rs
ORCID: 0009-0007-5582-3855

***Abstract*—Digital forensics is a cybersecurity discipline that aims to reconstruct events that occur on digital devices. As such, it plays a key role in suppressing cybercrime. This paper examines digital forensics of storage mediums, focusing on Hard Disk Drives (HDDs), Solid State Drives (SSDs), and partitioning formats like Master Boot Record (MBR) and GUID Partition Table (GPT). Partition hiding is a common activity cybercriminals can use to hide their actions, which is handled by subtype of digital forensics called storage medium forensics. Two different approaches to hiding disk partitions on Linux-based operating systems, followed by methods for detecting and recovering hidden partitions are proposed in this paper.**

Keywords—digital forensics, cybersecurity, storage medium, HDD, SSD, partition, MBR, GPT, Linux

I. Introduction

Nowadays, the development of technology and its presence in almost every aspect of daily life brings numerous challenges that computer science engineers have to face. Almost all data are digitized, and a lot of it contain information about citizens of country, client accounts in banks, patient health records, etc. Because of this, cybercriminals are even more motivated in their malicious attempts to compromise data of certain institutions due to information's value. This is the reason why there needs to be a discipline, called digital forensics, that deals with the reconstruction of events that happened on digital devices, in order to detect the activity of malicious user. Digital forensics definition was given at the first Digital Forensics Research Workshop (DFRWS) in 2001 [1]. Some sources even describe this discipline simultaneously as art and science [2].

The process of digital forensics can be broken into three categories of activity: acquisition, analysis and presentation [2]. In acquisition phase the examiner is identifying devices that can be considered for investigation and is creating a duplicate of the original data from device (the working copy), that will be examined later. It is crucial to investigate the working copy instead of original device to save an evidence if an unwanted situation occurs with data during the investigation. The examiner is trying to detect, find, recover or conclude something from working copy in analysis phase. In presentation phase, the results of forensics are shared with parties who asked for initial investigation service.

Digital forensics is complex discipline which consists of several subdisciplines: file system forensics, mobile devices forensics, networks forensics, forensics of social networks and email traffic, steganography, etc. One of the most popular types of digital forensics is storage medium forensics that includes forensics of hard disk drive, solid state drive (these two are the most common types of storage mediums), flash drive, optical disk or even magnetic tape [3].

Cybercriminals can use computers for malicious activities and hide programs and data that they use on part of hard disk drive, called partition, that is not accessible by operating system. Other users who also use that computer, even with the same user account, are not aware of this because they cannot access these data and programs.

This paper describes implementation and evaluation of partition hiding methods on Linux-based operating systems by modifying partition entry in MBR. Python scripts were written for these purposes, where one script hides partition partially and the other one completely. The goal is not just to hide a partition, but to detect and recover hidden partition based on level of its hiddenness. It will be shown that minor changes in the way a partition is hidden can lead to large differences when examining a disk and its data. Virtual machines were used for the purposes of these experiments.

The paper is organized as follows: Section 2 gives a theoretical background and details of how hard disk drives work and organize data. Also, two main formats of disk partitioning will be described with focus on MBR. In Section 3 are given implementation details about scripts that are used to storage medium's partition. Section 4 is reserved for the discussion of results and how the examiner could discover if there is some hidden partition on disk. Conclusion of the paper is given in Section 5.

II. Background

Digital forensics is a complex discipline that requires knowledge of how systems and devices work. An examiner of storage devices should know how storage devices are structured and organized, how they work and how they store data.

A. Hard disk drive (HDD)

Hard disk drive is a hardware component used to store user data on computer, as well as instructions for starting the operating system. HDD can be divided in multiple parts (partitions) that are used for organizing different information in logically independent units. One or more partitions are later formatted so they can be used as a file system. This set of partitions on which a file system is located is called a volume. In a file system, data is organized in files that store data, and directories that are a special type of files capable of storing other files. The abstraction model of HDD [2] is illustrated in Fig. 1.

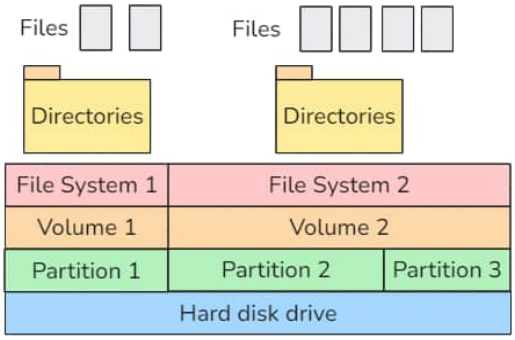


Fig. 1. Abstraction model of HDD.

Hard disk drive consists of multiple magnetic plates, stacked one on top of the other, that store data in an analog form using both sides of plate, with the first and the last one as exceptions because of using only inner side for that purpose. Conversion between analog and digital form of data is done by the HDD head, which is responsible for executing read and write operations. The plate is divided into concentric circles with distinct diameter called tracks, and tracks of all stacked plates with identical diameter make up a cylinder. Tracks are later divided into sectors, as shown in Fig. 2, which are the smallest units of data operating system can address on disk. Size of sectors used to be 512 bytes, but nowadays it can be up to 4096 bytes [4].

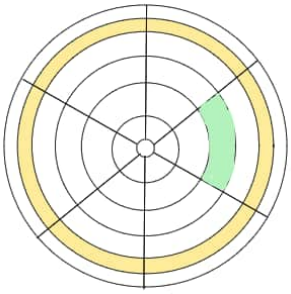


Fig. 2. Track (yellow) and sector (green) of the HDD plate.

On HDD, information is addressed by the cylinder, head and sector (CHS) address on which data are located [5], where indexing of cylinder and head starts from zero, but indexing of sectors starts from one. HDD is a completely analog device, so its damage or fall can result in data loss.

B. Solid state drive (SSD)

Solid state drive is along with HDD, one of the most popular devices used for persisting data. The main difference between SSD and HDD is that SSD is a completely digital device. On SSD, data is accessed by controller which locates memory cells and measures electricity stored in them to retrieve a binary value. Controller is filling the memory cells with electrons in case of writing. This process is much faster than the process of reading from and writing to a HDD, which is one of the biggest advantages of using SSD. Price of solid state drives used to be quite expensive when they arrived on the market, but nowadays it is cheaper and available to almost everyone [6].

C. Formats of Disk Partitioning

The most important thing when disk gets partitioned is to keep track of its partitions. Starting and ending addresses of each partition should be persisted so operating system knows its borders. This information is stored in partition table that is also located on the disk, and that is one of the reasons why users cannot use all disk capacity. There are two main formats of storing partition table – one is Master Boot Record (MBR) which will be described in this paper, and the other is GUID Partition Table (GPT), where GUID stands for Globally Unique Identifiers.

MBR is older than GPT and it's located at the first sector of HDD, with CHS address C = 0, H = 0 and S = 1. It is 512 bytes in size and consists of 3 parts [7] represented in Fig. 3:

- Master Boot Code (MBC) – first 446 bytes of MBR are reserved for MBC and hold program whose responsibility is to locate and load an active partition the operating system is located on. The Active partition is described later in this chapter.
- Partition Table (PT) – next 64 bytes hold information about partitions on disk. The partition table consists of four 16 byte records, or entries. This means that with using MBR format it is possible to store at most four primary partitions. There are also logical partitions alongside primary partitions that are created with one special primary partition called extended partition [7].
- Identification Code – remaining 2 bytes have a static hexadecimal value of 0x55AA, which represents the end of MBR.

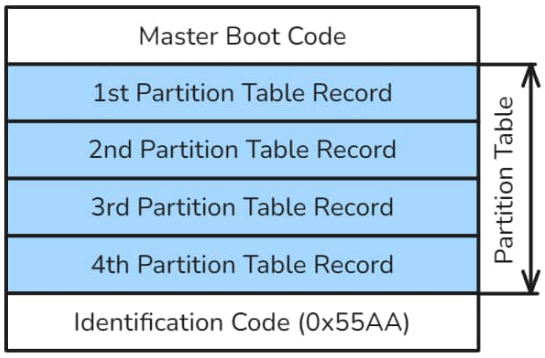


Fig. 3. Organization of Master Boot Record.

MBR has a key role in computer's boot time [8]. First thing that is executing on computer startup is Basic Input/Output System (BIOS) located on the motherboard ROM chip. BIOS contains the program whose job is to locate MBR so the operating system can be started. Locating is done by loading the first sector (512 bytes) of device marked as BOOT in memory at physical RAM address 0x7C00. If the last 2 bytes have value 0x55AA, BIOS is convinced that MBR is located. Then, MBC is executed,

with the goal to locate and load partition with program that boots operating system, after which operating system continues its execution.

Part of MBR that is the most important for topic of this paper is partition table. Every record in the partition table is 16 bytes in size where every byte is responsible for storing some information [5]:

- Byte with index 0 represents if the partition is active, i.e. whether it is possible to boot. If it is, the value of the first byte is 0x80. Otherwise, partition is used for storing data and this byte has value 0x00.
- Next three bytes, with indices 1, 2 and 3, are representing starting CHS address. First byte indicates head, next 6 bits represent sector , and last 10 bits cylinder from which partition starts.
- Byte with index 4 represents partition type used for partition formatting. Some of the most popular values and their meanings are: 0x00 for empty partition, 0x07 for NTFS formatting, 0x0B representing FAT32 formatting, 0x83 Linux formatting, etc.
- Bytes with indices 5, 6 and 7 represent CHS ending address.
- Relative sector starts from index 8 and occupies four bytes.
- The last four bytes represent the number of partition sectors. This field, along with the previous one, is used mostly for metadata about extended and logical partitions.

By using MBR, it is not possible to create more than four primary disk partitions. Another drawback of MBR is that it cannot be used for disks with capacity of more than 2TB, due to its addressing scheme. However, its main advantage is its simplicity, which in special situations can prevail over the competing GPT [9].

GPT disk partitioning format uses Globally Unique Identifiers (GUID) for disk partitions identification. Instead of CHS addressing scheme, GPT uses Logical Block Addressing (LBA). In the first LBA (with index 0) protected MBR is located, to make GPT compatible with MBR. LBA 1 is reserved for GPT header that contains pointer to partition table that is located in LBA 2. Every partition table record, of possible 128 (meaning that 128 partitions can be created with GPT), is 128 bytes in size. To conclude, GPT is more complex than MBR, but gives a lot of flexibility to user [9].

III. Implementation

In this paper, hiding the partition of MBR formatted disk is achieved by modifying record of partition in partition table. In the provided examples, one partition will be used for one volume, which means that hiding the partition results in volume hiding. For simplicity, all actions will be done on primary partitions.

Implementation of partition hiding in Linux-based operating systems is done by scripts, written in Python programming language. In Linux, everything is considered a file [10], including hardware devices, storage mediums, processes, directories, regular files, etc. While MBR is located on disk, modifying it results in modifying the file that abstracts the hard disk drive. This is what makes Linux user-friendly for writing this type of scripts.

In this paper, the partition hiding is achieved by two different approaches. The first approach is based on modifying only the partition type of partition's entry in Master Boot Record's partition table. As described earlier, partition type, in Linux terminology known as System ID, stores information about the partition format and is located in the fifth byte (with index 4) of partition entry. Partition type of partition entry that will be hidden should be set to 0x00 as shown in Fig. 4, which means that there is no data on partition. When operating system reads that value, it will not load the corresponding partition.

First approach has some drawbacks that will be discussed in Section 4. This is the reason why the second approach is also implemented, where every byte of the partition entry is set to 0x00 hexadecimal value as shown in pseudocode in Fig. 4.

```
1) partition_entry[4] = 0x00
2) for i in range(0, 16):
       partition_entry[i] = 0x00
```

Fig. 4. Modification of partition table entries used in first (1) and second (2) approach. The complete source code of Python scripts has been uploaded to public GitHub repository [11].

Scripts also print all 16 bytes from partition table entry, in hexadecimal value, before its modification, so the user can later recover it. These two scripts can be run in two modes: one mode for hiding the partition, where scripts put 0x00 value at specific fields of partition entry depending on approach, and recovery mode, where user is expected to enter values that should be written to the partition table entry.

IV. Results and Discussion

Experiments regarding any storage medium forensics should be done on virtual machines instead of real machines, because some modifications may result in the machine not being able to start. Interestingly, the virtual machine is represented as one folder on the host operating system, which contains files about virtual machine settings and virtual disk the machine is using. If something goes wrong during the experiments, only these files will be corrupted, while the real hardware remains intact. The virtualization platform used for these experiments is Oracle VirtualBox [12].

For a representative of Linux-based operating system in these experiments Xubuntu 23.10 is used [13]. It is essentially a lightweight Ubuntu, as it uses Xfce desktop environment instead of GNOME.

In Linux, persistent medium is represented as */dev/sdX*, where *X* can be changed for *a* in case of first medium that exists, with *b* for the second, etc. Partitions inside, e.g. */dev/sda* disk in Linux are enumerated from 1, and can be */dev/sda1*, */dev/sda2*, etc. The goal of these experiments is to hide and recover */dev/sda4* partition. On this volume one folder called *secret_folder* was created, along with one file inside it called *secret_file*. Also, the scripts should be run with super user (su) privileges, because of accessing the raw data on disk.

The execution of first script, which modifies only partition type in partition entry, is shown in Fig. 5. User selected fourth partition for hiding. It is shown that the difference between partition table entry before and after the

script execution is only in the fifth byte which represents System ID. After execution, the volume and data stored on it are not accessible, and the user can think the partition is successfully hidden. But in reality, it is not. Linux command *fdisk* is used for retrieving information about disk partitions. In Fig. 5 is shown that executing this command lists the */dev/sda4* partition too, with Id field set to 0. If examiner sets System ID field to 0x83 (he can assume that value because the disk is being used by Linux operating system), the partition will be accessible again.

```
vukadin@vukadin:~/DF$ sudo python3 app.py
[sudo] password for vukadin:
Which partition do You want to modify on '/dev/sda' (1-4)? 4
In which mode do you want to run script?
1 - Partition hiding
2 - Partition recovering
1
Partition entry before changes:
00 FE FF FF 83 FE FF FF 00 F8 1F 03 00 00 A0 00
Partition entry after changes:
00 FE FF FF 00 FE FF FF 00 F8 1F 03 00 00 A0 00
Sytem ID of hidden partition is 83.
vukadin@vukadin:~/DF$ sudo fdisk -l /dev/sda
Disk /dev/sda: 30 GiB, 32212254720 bytes, 62914560 sectors
Disk model: VBOX HARDDISK
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0x00000000

Device     Boot    Start      End  Sectors  Size Id Type
/dev/sda1           2048     4095     2048    1M ef EFI (FAT-12/16/32)
/dev/sda2           4096  1054719  1050624  513M ef EFI (FAT-12/16/32)
/dev/sda3        1054720 52426751 51372032 24,5G 83 Linux
/dev/sda4       52426752 62912511 10485760    5G  0 Empty
```

Fig. 5. Results of the first approach.

Problem with the first approach is that operating system sees information about partition, such as size, starting address, ending address, but it does not load it due to System ID being set to 0. The second approach deals with this situation. In Fig. 6 is shown that after executing the second script, the partition entry is completely overwritten. As shown in Fig. 6, running *fdisk* command shows that there is no */dev/sda4* partition, meaning that the partition is successfully hidden. Examiner can assume that some hidden partition exists if he succeeds in retrieval of data in part of disk that is not allocated to operating system. But to recover it, he needs to set each byte to the appropriate value of partition entry before its modification, which is possible by calculating the starting and ending address of hidden partition based on available ones. In that situation, value of every byte from partition record can be considered as a key which makes partition available again.

```
vukadin@vukadin:~/DF$ sudo python3 app2.py
Which partition do You want to change on '/dev/sda' (1-4)? 4
In which mode do You want to run sript?
1 - Partition hiding
2 - Partition recovering
1
Partition entry before changes:
00 FE FF FF 83 FE FF FF 00 F8 1F 03 00 00 A0 00
Partition entry after changes:
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
vukadin@vukadin:~/DF$ sudo fdisk -l /dev/sda
Disk /dev/sda: 30 GiB, 32212254720 bytes, 62914560 sectors
Disk model: VBOX HARDDISK
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0x00000000

Device     Boot   Start      End  Sectors  Size Id Type
/dev/sda1           2048     4095     2048    1M ef EFI (FAT-12/16/32)
/dev/sda2           4096  1054719  1050624  513M ef EFI (FAT-12/16/32)
/dev/sda3        1054720 52426751 51372032 24,5G 83 Linux
```

Fig. 6. Results of the second approach.

V. CONCSLUSION

It can be concluded that digital forensics is a discipline that requires a lot of knowledge about the structure and organization of systems and devices. Examiner needs to know the meaning of every bit to be able to examine device or system in a right way. The goal of Section 2 is to represent the important theoretical details about different types of storage mediums and their formatting, that are crucial for storage medium forensics.

In this paper, partition hiding is proposed through scripts that manipulate disk data instead of using and installing some external software on computer. Two ways of partition hiding are proposed, where the second approach deals with the problems that the first one has. The scripts are based on modifying disk that is formatted with MBR format. They can be expanded so they provide support for GPT format also. All actions are done on Linux-based operating system. While Windows does not have a concept of "everything is considered a file", it can be said that these scripts will not work on it, meaning that a different approach is required to this problem on Windows operating system, which can additionally extend the work.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank Prof. Dr. Bratislav Predić who introduced me to digital forensics and got me interested in this field.

REFERENCES

[1] A Road Map for Digital Forensic Research, Digital Forensics Research Workshop, 2001.

[2] Altheide C. & Carvey H., "Digital Forensics with Open Source Tools", Syngress, 2011.

[3] What is a storage device? Available at: https://www.lenovo.com/us/en/glossary/storage-device/

[4] Dillon S., "Hide and Seek: Concealing and Recovering Hard Disk Data", JMU-INFOSEC-TR-2006-002, 2006.

[5] Partition Tables Explained. Available at: https://www.codeproject.com/Articles/488296/Partition-Tables-Explained

[6] How SSDs work guide. Available at: https://www.ssstc.com/knowledge-detail/how-ssds-work-guide/

[7] Akbal E., Yakut O. E., Dogan S., Tuncer T. & Ertam F., "A Digital Forensics Approach for Lost Secondary Partition Analysis using Master Boot Record Structured Hard Disk Drives", Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences

[8] Master Boot Record. Available at: https://www.techtarget.com/whatis/definition/Master-Boot-Record-MBR

[9] Difference between MBR and GPT. Available at: https://productkeysbuzz.co/difference-between-mbr-and-gpt/

[10] Linux basic concepts. Available at: https://microsoft.github.io/WhatTheHack/020-LinuxFundamentals/Student/resources/concepts.html

[11] GitHub repository of Python scripts source code. Available at: https://github.com/vukadindraskovic/DF

[12] Oracle VirtualBox. Available at: https://www.virtualbox.org/

[13] Xubuntu. Available at: https://xubuntu.org/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.275V
Original scientific paper

Razvoj sistema za praćenje i kontrolu bezbednosti u Industriji 4.0

Nikola Veljković
smer Upravljanje sistemima
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
vnikola@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* - Ovaj rad se bavi analizom primene Raspberry Pi uređaja za implementaciju sistema za detekciju pokreta, kontrolu pristupa, upravljanje alarmima i drugih funkcija koje poboljšavaju bezbednost u industrijskom okruženju.**

Ključne reči - Raspberry Pi Pico, automatizacija procesa, Industrija 4.0

I. UVOD

Moderna industrijska okruženja suočavaju se sa sve većim izazovima u pogledu bezbednosti, usled brzog napretka tehnologije i sve veće povezanosti sistema putem Internet stvari (*IoT*) i mreža. Industrija 4.0 predstavlja četvrtu industrijsku revoluciju, koja integriše napredne tehnologije kao što su veštačka inteligencija (*AI*), mašinsko učenje (*ML*) i IoT, čime omogućava autonomnu kontrolu i praćenje proizvodnih procesa [1]. Navedene tehnologije omogućavaju neprekidno praćenje i analiziranje podataka iz industrijskih postrojenja, ali ujedno otvaraju i nova bezbednosna pitanja. Zbog toga je razvoj pouzdanih sistema za praćenje i kontrolu bezbednosti od suštinskog značaja za savremene industrijske prostore. Cilj rada je razvoj praktičnog sistema koji obuhvata detekciju pokreta, autentifikaciju pristupa i upravljanje aktuatorima putem mikrokontrolera *Raspberry Pi Pico*, uz upotrebu tehnologija kao što su PIR senzori i servo motori. U radu su prikazane ključne komponente sistema, uključujući povezivanje senzora pokreta sa diodama radi signalizacije neovlašćenog pristupa, upotreba 4x3 *keypad* tastature za unos šifre i upravljanje pristupom putem servo motora, kao i prikaz odgovarajućih poruka putem ST7735 ekrana. Pored toga, rad analizira razlike između *Raspberry Pi Pico W* modela, koji je korišćen za realizaciju praktičnog dela, i *Raspberry Pi 3 modela B+*. Prednosti *Pico W* modela, kao što su jednostavnija implementacija, manja potrošnja energije i kompaktnost, čine ga pogodnijim za konkretne zadatke kontrole pristupa i sigurnosti [2]. Sa druge strane, *Raspberry Pi 3 model B+* nudi veću procesorsku snagu i mogućnost za povezivanje sa većim brojem uređaja, što ga čini prikladnim za složene industrijske aplikacije [3]. Korišćenje mikrokontrolera i senzorskih tehnologija omogućava decentralizovanu kontrolu i reagovanje u realnom vremenu na potencijalne bezbednosne pretnje. Implementacija je izvedena u *MicroPython* okruženju putem *Thonny* softvera, što je omogućilo jednostavniju i efikasniju realizaciju sistema.

II. KORIŠĆENE KOMPONENTE U SISTEMU

A. PIR senzor

Na slici 1 prikazan je PIR senzor, koji omogućava detekciju pokreta u industrijskim zonama gde je pristup ograničen. PIR senzor reaguje na promenu infracrvene svetlosti u svojoj okolini, detektujući promenu temperature kada neko uđe u zonu detekcije. Ovi senzori su idealni za industrijsku primenu zbog svoje pouzdanosti i niske potrošnje energije [4].



Slika 1. PIR sensor.

B. Kepad 4x3 za unos šifre

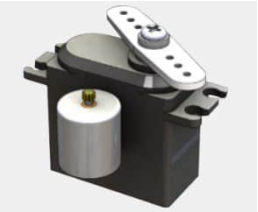
Na slici 2 prikazan je *keypad* koji omogućava unos šifre za kontrolu pristupa. Koristi se za autentifikaciju korisnika, čime se omogućava otključavanje ili zaključavanje vrata. Ovaj model tastature obezbeđuje siguran unos šifre, a može se koristiti i za aktiviranje ili deaktiviranje drugih bezbednosnih funkcija sistema.



Slika 2. Keypad.

C. *RC servo motor*

Na slici 3 prikazan je RC servo motor, koji služi za kontrolu fizičkog otvaranja i zatvaranja vrata. Servo motor pruža preciznu kontrolu pozicije, omogućavajući kontrolu otvaranja vrata do određenog ugla, što je bitno za aplikacije u industriji gde se zahteva visok nivo bezbednosti i kontrolisanog pristupa.



Slika 3. Izgled servo motora.

D. *ST7735 ekran za prikaz poruka*

Na slici 4 prikazan je ST7735 ekran koji se koristi za prikaz poruka i signalizaciju stanja sistema. Ovaj ekran omogućava jasnu vizuelnu komunikaciju sa korisnikom, što je ključno u industrijskim okruženjima gde vizuelni *feedback* pomaže u brzom prepoznavanju grešaka i drugih stanja sistema.



Slika 4. Izgled ST7735 ekrana.

E. *LE dioda (plava)*

Na slici 5 prikazana je plava LE dioda koja se koristi za vizuelno upozorenje u slučaju pogrešnog unosa šifre ili neovlašćenog pokušaja pristupa. LE diode su česta signalizacija u industriji zbog njihove pouzdanosti i jednostavnosti upotrebe.



Slika 5. Plava LED.

F. *Dodatno napajanje za servo motor*

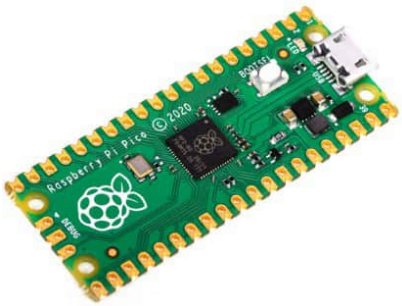
Na slici 6 prikazano je dodatno DC napajanje koje omogućava stabilan rad servo motora. Servo motor zahteva minimalno 5V, a ovo napajanje omogućava da motor radi optimalno, dok mikrokontroler obezbeđuje samo 3.3V.



Slika 6. DC Supply.

G. *Raspberry Pi Pico model*

Na slici 7 prikazan je *Raspberry Pi Pico* mikrokontroler, koji je ključna komponenta sistema. Pico je poznat po svojoj niskoj potrošnji energije, kompaktnosti i jednostavnosti korišćenja u realnim industrijskim aplikacijama gde su stabilnost i pouzdanost ključni.

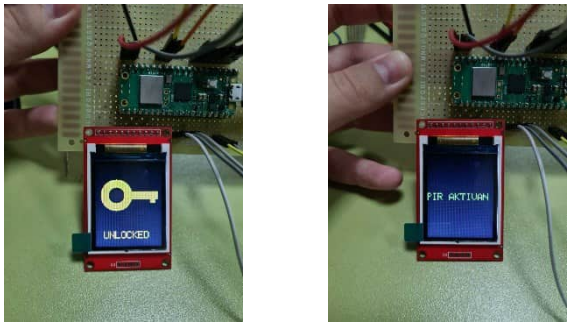


Slika 7. RPI Pico.

III. REALIZACIJA SISTEMA ZA DETEKCIJU POKRETA I AUTENTIFIKACIJU PRISTUPA INDUSTRIJSKOM POSTROJENJU



Slika 8. Izgled realizovanog sistema.



Slika 9. Ispis rezultata na TFT ekranu.

Na samom početku, vrši se inicijalizacija SPI protokola i TFT ekrana. To omogućava prikazivanje informacija korisnicima na ekranu, kao što su statusi sistema i poruke poput "UNLOCKED" ili "ERROR". SPI protokol omogućava brzu i pouzdanu komunikaciju između *Raspberry Pi Pico* i ekrana.

```
spi = SPI(0, baudrate=20000000, polarity=0, phase=0)
tft = TFT(spi, 16, 20, 17)
```

Servo motor se koristi za fizičko otvaranje i zatvaranje vrata. Implementirana je PWM kontrola kako bi bilo moguće precizno podešavanje ugla za otvaranja vrata. Ova funkcija omogućava da servo motor bude postavljen na odgovarajući ugao u zavisnosti od toga koliko vrata treba da budu otvorena.

```
pwm = PWM(Pin(15))
pwm.freq(50)
def angle(ugao):
    return MIN + ((ugao - 30) / 120) * (MAX - MIN)
```

Keypad predstavlja glavni unos šifre za otključavanje vrata. Potrebno je definisati matricu tastera, gde svaka vrsta i kolona odgovara jednom tasteru na keypad-u. GPIO pinovi su postavljeni kao input i output kako bi sistem mogao da detektuje pritisnute tastere. Kada korisnik unese šifru, sistem proverava da li je šifra tačna. Ako je uneta šifra ispravna, vrata se otključavaju.

```
key_pad = [
    ['1', '2', '3'],
    ['4', '5', '6'],
    ['7', '8', '9'],
    ['*', '0', '#']
]
```

Za prikaz informacija na ekranu napravljena je funkcija *ispisi_poruku*. Ova funkcija omogućava dinamički prikaz poruka na TFT ekranu, u zavisnosti od trenutnog stanja sistema. Koristi se za prikazivanje važnih poruka poput "Pogresan kod!" kada je šifra pogrešno uneta, ili "UNLOCKED" kada je ispravna.

```
def ispisi_poruku(text, color=TFTColor(255, 255, 255), clear=True, size=1):
    if clear:
        tft.fill(TFT.BLACK)
    screen_width = 128
    screen_height = 160
    text_width = len(text) * 6 * size
    text_height = 8 * size
    x = (screen_width - text_width) // 2
    y = (screen_height - text_height) // 2
    tft.text((x, y), text, color, sysfont, size)
```

Nakon uspešnog unosa šifre, vrši se iscrtavanje ključa na ekranu kao vizuelna potvrda da su vrata otključana. Funkcija *crtaj_kljuc* omogućava da se grafički prikaže ključ i doda tekst "UNLOCKED" na ekranu.

```
def crtaj_kljuc():
    tft.fill(TFT.BLACK)
    tft.fillcircle((40, 60), 30, TFT.YELLOW)
    tft.fillcircle((40, 60), 15, TFT.BLACK)
    tft.fillrect((70, 53), (50, 15), TFT.YELLOW)
    tft.fillrect((105, 65), (10, 10), TFT.YELLOW)

    # Ispis "UNLOCKED"
    screen_width = 128
    text_width = len("UNLOCKED") * 12
    x = (screen_width - text_width) // 2
    y = 130
    tft.text((x, y), "UNLOCKED", TFT.YELLOW, sysfont, 2)
```

Zujalica predstavlja alarmni sistem. Kada PIR senzor detektuje pokret, zujalica se aktivira. Takođe, zujalica se koristi da se signaliziraju greške, na primer kada je šifra pogrešno uneta tri puta. Zujalica se kontroliše pomoću funkcija *ukljuci_zujalicu* i *iskljuci_zujalicu*, koje aktiviraju i deaktiviraju zujalicu na osnovu stanja sistema.

```
def ukljuci_zujalicu():
    global buzzer_active, error_flag
    if zujalica_aktivna or error_flag:
        buzzer.value(1)
        buzzer_active = True
```

```
def iskljuci_zujalicu():
    global buzzer_active
    buzzer.value(0)
    buzzer_active = False
```

Funkcija *skeniraj_keypad* omogućava čitanje pritisnutih tastera na *keypad*-u i određuje da li je šifra tačna. Ako je šifra ispravna, servo motor se pomera i vrata se otključavaju. Ako šifra nije tačna, povećava se broj pokušaja i, nakon tri neuspela pokušaja, aktiviraće se alarm.

```
# Funkcija za skeniranje keypad-a
def skeniraj_keypad():
global unos_koda, broj_pokusaja, error_mode, unlocked_mode, buzzer_active, vrata_otvorena,
zujalica_aktivna, pir_aktivan, error_flag
if unlocked_mode and vrata_otvorena:
time.sleep(2)
pwm.duty_ns(int(angle(30))) # Zatvaranje vrata
led.value(0) # LED dioda se gasi kada se vrata zatvore
tft.fill(TFT.BLACK)
unos_koda = ""
vrata_otvorena = False
unlocked_mode = False
return
elif error_mode:
for x in range(4):
vrsta[x].high()
for y in range(3):
if kolona[y].value() == 1 and key_pad[x][y] == '#':
tft.fill(TFT.BLACK)
unos_koda = ""
broj_pokusaja = 0
error_mode = False
buzzer_active = False # Resetuj zujalicu na # nakon errora
error_flag = False # Resetuj flag za error
return
vrsta[x].low()
else:
for x in range(4):
vrsta[x].high()
for y in range(3):
if kolona[y].value() == 1:
pritisnuti_taster = key_pad[x][y]
unos_koda += pritisnuti_taster
ispisi_poruku(unos_koda, TFTColor(255, 255, 255), clear=True, size=2)
# Provera unosa "123*" za isključivanje zujalice
if unos_koda.endswith("123*"):
iskljuci_zujalicu()
pir_aktivan = False # Deaktiviraj PIR senzor
ispisi_poruku("LED OFF", TFTColor(0, 255, 0), size=2)
time.sleep(2)
tft.fill(TFT.BLACK)
unos_koda = ""
return
# Provera unosa "#789*" za ponovno aktiviranje PIR senzora
if unos_koda.endswith("#789*"):
pir_aktivan = True
zujalica_aktivna = True
ispisi_poruku("PIR AKTIVAN", TFTColor(0, 255, 0), size=2)
time.sleep(2)
tft.fill(TFT.BLACK)
unos_koda = ""
return
if len(unos_koda) == 5:
if unos_koda == tacan_kod:
crtaj_kljuc()
pwm.duty_ns(int(angle(150)))
led.value(1) # Uključi LED kada su vrata otvorena
vrata_otvorena = True
unlocked_mode = True
else:
broj_pokusaja += 1
if broj_pokusaja >= 3:
error_flag = True # Aktiviraj flag za error
prikazi_error()
error_mode = True
else:
ispisi_poruku("Pogresan kod!", TFTColor(255, 0, 0), size=1.5)
time.sleep(2)
tft.fill(TFT.BLACK)
unos_koda = ""
time.sleep(0.5)
vrsta[x].low()
```

Kod je pisan u razvojnom okruženju *Thonny. Thonny* je jednostavno i intuitivno integrisano razvojno okruženje (IDE) dizajnirano za rad sa Python programskim jezikom. Njegov minimalistički interfejs i korisnički orijentisane funkcionalnosti olakšavaju učenje programiranja, jer omogućava korak-po-korak praćenje izvršavanja koda, jednostavno otkrivanje grešaka, i detaljno praćenje promenljivih. Jedna od posebnih prednosti *Thonny*-ja je njegova podrška za *MicroPython*, što ga čini idealnim alatom za rad sa mikrokontrolerima sa ograničenim resursima. Sa *Thonny*-jem, korisnici mogu lako programirati mikrokontrolere, testirati kod i odmah videti rezultate na uređaju. Ono što ga čini dodatno korisnim za rad sa *MicroPython*-om je njegova integracija sa serijskim monitorom, što omogućava korisnicima da prate izlaze iz svojih programa u realnom vremenu.

IV. ZAKLJUČAK

Razvoj sigurnosnih sistema u industrijskim postrojenjima donosi brojne prednosti koje osiguravaju bezbednost, efikasnost i stabilnost procesa. Pre svega, takvi sistemi omogućavaju konstantno praćenje različitih aspekata rada, detekciju problema u ranoj fazi i automatsko reagovanje na pretnje, što značajno smanjuje rizik od nesreća i kvarova. Pravovremena reakcija na nepravilnosti omogućava smanjenje troškova održavanja i sprečavanje dugotrajnih prekida u radu. Uvođenje automatizovanih rešenja za bezbednost omogućava industrijskim postrojenjima da funkcionišu uz minimalno ljudsko učešće, što smanjuje mogućnost greške i povećava ukupnu efikasnost. Upotrebom tehnologija koje analiziraju prikupljene podatke u realnom vremenu, olakšava se donošenje odluka o preventivnim merama, čime se smanjuje rizik od ozbiljnih incidenata. Bezbednosni sistemi koji integrišu senzore, mikrokontrolere i pametne algoritme omogućavaju prilagodljivost u radu, lako upravljanje različitim vrstama opreme i efikasno upravljanje resursima. Decentralizovana kontrola omogućava lokalnu obradu podataka i autonomno reagovanje na specifične situacije, bez potrebe za stalnim nadzorom centralnog sistema, čime se dodatno optimizuje rad postrojenja. U vremenu kada su sajber pretnje sve prisutnije, implementacija naprednih bezbednosnih rešenja osigurava zaštitu industrijskih sistema od spoljašnjih napada, krađe podataka i sabotaže. Korišćenjem analiza i prediktivnih algoritama, sistemi postaju otporniji na sajber napade, a unapređena zaštita doprinosi dugoročnoj stabilnosti i sigurnosti industrijskih operacija. Sigurnosni sistemi predstavljaju neophodan deo modernih industrijskih postrojenja, jer omogućavaju kako zaštitu od fizičkih pretnji, tako i od digitalnih napada, stvarajući stabilnije, efikasnije i sigurnije radno okruženje.

LITERATURA

[1] Chu, Y. B., Yap, W. K.. Raspberry Pi Based Wireless Interface System for Automated Microfabrication in the Context of Industry 4.0. Lecture Notes in Electrical Engineering 741. Springer, 2021. Dostupno na: https://link.springer.com

[2] Raspberry Pi Documentation - Raspberry Pi Pico W. Dostupno na: https://www.raspberrypi.org/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico

[3] Raspberry Pi Documentation - Raspberry Pi 3 Model B+. Dostupno na: https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/README.md

[4] Smart Microcontroller Architecture for IoT Systems. Sensors 2020, 20, 1821. Dostupno na: https://www.mdpi.com/journal/sensors

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.279M
Original scientific paper

Sistem za kontrolu semafora na raskrsnici implementiran uz pomoć VHDL jezika za opis hardvera

Sandra Miljković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
sandra.miljkovic201@gmail.com;
ORCID: N/A

Aleksandar Đorđević
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
aleksandardj6301@gmail.com;
ORCID: N/A

Milica Danković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
milica.dankovic@elfak.rs;
ORCID: N/A

Bogdan Krstić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
bogdankrstic2014@gmail.com;
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom radu opisan je sistem za kontrolu semafora na raskrsnici uz pomoć VHDL jezika za opis hardvera. Sistem je implementiran na nivou simulacije, korišćenjem Vivado Xlinx softvera, ali i na protoploči, korišćenjem standardnih komponenata poput dioda i otpornika, uz korišćenje razvojnog okruženja Zybo Z7.**

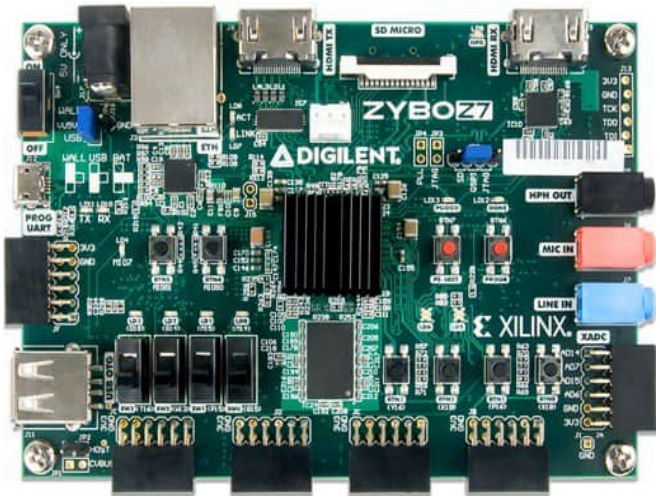
Ključne reči—FPGA, VHDL, semafor

I. UVOD

Alat Vivado Design Suite predstavlja integrisano razvojno okruženje namenjeno implementaciji digitalnih elektronskih sistema pomoću FPGA komponenti kompanije Xilinx [1]. Ovo razvojno okruženje zapravo predstavlja čitav skup odvojenih alata, kojima se može pristupati preko jednog, zajedničkog grafičkog okruženja. Korišćenjem Vivado Design Suite alata moguće je proći kroz sve korake prilikom dizajna i verifikacije digitalnog elektronskog sistema. Glavno razvojno okruženje Zybo Z7 je ploča za razvoj ugrađenog softvera i digitalnih kola koja je bogata funkcijama (Sllika 1), na okruženju se nalazi 6 tastera, 4 prekidača, 5 LED-ova, 2 RGB LED a i 6 dodatnih port konektora [2]. Napajanje okruženja čine USB ili 5 V eksterno. Ploča takođe sadrži integrisani 12-bitni analogno-digitalni konvertor brzine 1 MSPS, priključak za microSD kartice (podržava Linux fajl sistem), audio kodek sa izlazom za slušalice, kao i mikrofonskim i linijskim ulazom kao i mnoge druge funkcionalnosti.

U radu je projektovan kontroler saobraćajne raskrsnice za FPGA čip. Na slici 2 data je skica raskrsnice za koju se projektuje saobraćajni kontroler, a na slici 3 prikazan je način rada semafora pri čemu A predstavlja rad semafora za automobile dok je P pravilo za kretanje pešaka. Glavna i sporedna ulica imaju po dva semafora za automobile (slika 2), pri čemu G1 i S1 imaju uslovno zeleno svetlo za skretanje desno. Uslovno zeleno svetlo za skretanje desno uključuje se samo kada je na semaforu crveno svetlo za pravo. Dok su plavom i crvenom označeni sporedni (plavi) i glavni (crveni) pešački prelazi.

Ova pravila definisana su Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji [3].



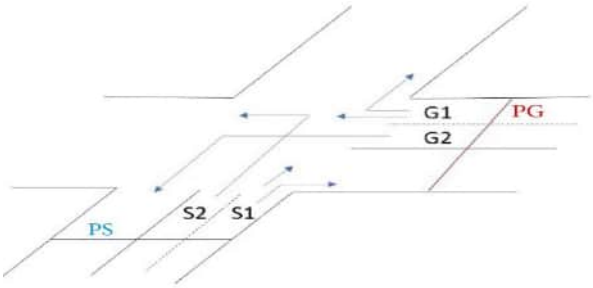
Slika 1. Razvojno okruženje Zybo Z7.

Korišćene komponente za izradu ovog projekta su: crvene, zelene i žute LED, 2 otporne mreže 4116r lf 1-221, otpornici od 10 kΩ i otpornici od 390 Ω.

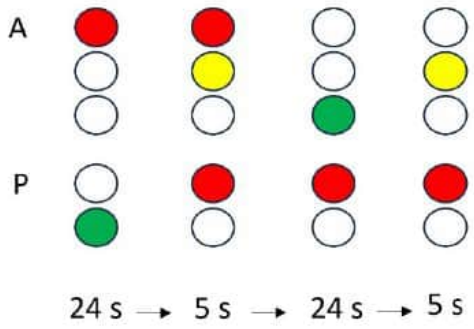
II. REALIZACIJA KONTROLERA SEMAFORA

Prilikom praktične realizacije projekta, prvobitno je formiran konačni automat sa aktivnim izlazima, koji su

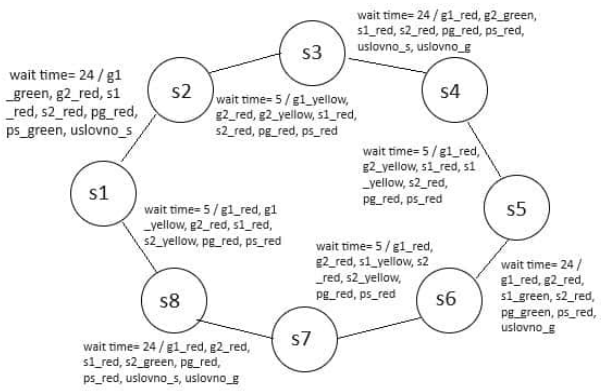
korišćeni za pobuđivanje dioda koje predstavljaju svetla na semaforu. Konačni automat korišćen pri izradi ovog zadatka prikazan je na slici 4.



Slika 2. Skica raskrsnice za koju se projektuje semafor.



Slika 3. Princip rada semafora.



Slika 4. Konačni automat kontrolera semafora na raskrsnici.

Funkcionalnost automata opisana je uz pomoć VHDL jezika, a korišćen je Vivado Xlinx softver [4]. Izlazi iz konačnog automata su izlazi koji su korišćeni i u entitetu koda:

```
ENTITY Semafor IS
PORT (
 reset: IN STD_LOGIC;
 -- Ulazi za kontrolu semafora
gl_red, gl_yellow, gl_green: OUT STD_LOGIC;
 --semafor 1 na glavnoj ulici
g2_red, g2_yellow, g2_green: OUT STD_LOGIC;
 --semafor 2 na glavnoj ulici
s1_red, s1_yellow, s1_green: OUT STD_LOGIC;
 --semafor 1 na sporednoj ulici
s2_red, s2_yellow, s2_green: OUT STD_LOGIC;
 --semafor 2 na sporednoj ulici
 uslovno_s: OUT STD_LOGIC;
 -- uslovno zeleno svetlo na sporednoj ulici
uslovno_g: OUT STD_LOGIC;
 -- uslovno zeleno svetlo na glavnoj ulici
 uslovno_z: OUT STD_LOGIC
; -- pešački prelaz na glavnoj ulici
 ps_red, ps_green: OUT STD_LOGIC;
 -- pešački prelaz na sporednoj ulici);
 END Semafor;
```

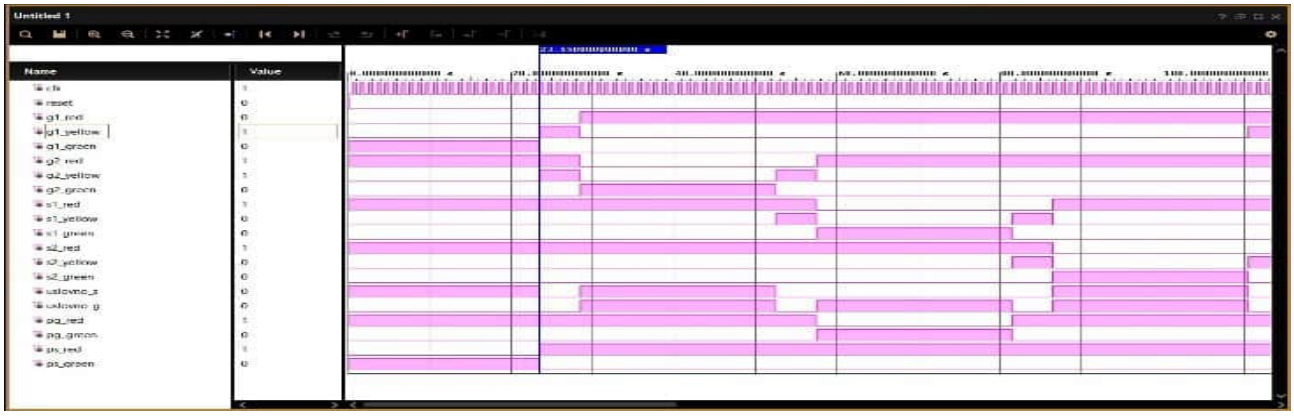
Ceo VHDL kod napisan je kroz tri procesa, proces za generisanje clock signala, proces za promenu stanja, i proces koji zavisi od trenutnog stanja i na osnovu kog se dešavaju promene na izlazima (slika 6). Naredba case kao uslov za selekciju koristi tekuće stanje (trenutno). Svakom stanju automata odgovara jedna when grana naredbe case u kojoj je opisano sve šta se dešava u tom stanju, tj. u koje sledeće stanje automat treba da pređe (sledeće) i koju vrednost treba da dobiju izlazi, a sve u zavisnosti od trenutnog stanja. Procesi za generisanje taktnog signala i promenu stanja dati su u nastavku:

```
BEGIN clk_gen_proc: PROCESS
 BEGIN
clk <= NOT clk;
 WAIT FOR 0.05 sec/real(frekvencija);
 END PROCESS clk_gen_proc;
 proces_za_promenu_stanja: PROCESS (clk)
BEGIN
 IF rising_edge(clk) THEN
 counter1 <= counter1 + 1;
 -- inkrementira se za svakom rastucom ivicom
clk signala
 IF counter1 = poluperioda - 1 THEN
 counter1 <= 0; -- na brojaci semaphorcounter
IF semaphorcouneter = waittime THEN
 -- ako je isteklo trenutno vreme čekanja(5
ili 24 sekunde)
 semaphorcouneter <= 0; -- preći u sledeće
stanje
 IF waittime = waittime5 THEN
 -- uzmi i čekaj ono drugo vreme
 waittime <= waittime24;
 ELSE
 waittime <= waittime5;
 END IF;
 ELSE
 semaphorcouneter <= semaphorcouneter + 1;
 -- resetovanje brojača
END IF;
END IF;
 -- broji i dalje
 END IF;
 END PROCESS proces_za_promenu_stanja;
```

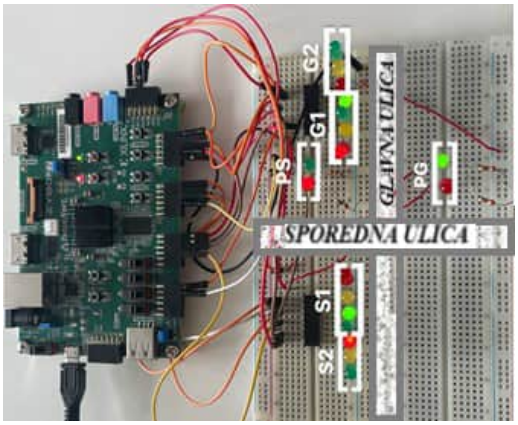
Proces za promenu stanja sastoji se iz dve petlje. Brojač counter1 broji rastuće ivice taktnog signala, Uslov da brojač dostigne polovinu periode koristi se da uspori proces, čeka se da prođe toliko vremena da bi ušao u drugu petlju, koja uz pomoć semaphorcounter broji koliko je trenutno vremena prošlo od početka brojanja. U zavinosti od toga koliko je semaphorcounter izbrojao, da li je ta vrednost jednaka waittime5 ili waittime24 (5 sekunde za prelazna stanja i 24 sekunde za glavna stanja) menjaju se stanja na izlazu. VHDL opis ovog procesa dat je u nastavku:

```
-- Kombinaciona logika za automat
PROCESS (trenutno)
BEGIN
CASE trenutno IS
WHEN S1 =>
 g1_green <= '1';
g1_red <= '0';
 g1_yellow <= '0';
 g2_red <= '1';
 g2_yellow <= '0';
 g2_green <= '0';
 s1_yellow <= '0';
 s1_red <= '1';
 s1_green <= '0';
 s2_red <= '1';
 s2_yellow <= '0';
 s2_green <= '0';
 PB_red <= '1';
 PB_green <= '0';
 ps_red <= '1';
 ps_green <= '0';
 uslovno_s <= '1';
 uslovno_g <= '0';
 sledece <= S2;
 END CASE;
 END PROCESS;
```

Funkcionalnost koda prvobitno je proverena uz pomoć smulacije, čiji se rezultati mogu videti na slici 5. Nakon završene simulacije, postupkom sinteze a zatim i implementacije započet je postupak programiranja pločice Zybo Z7. Nakon što je bitstream izgenerisan, pločica je isprogramirana tako da izvršava kod i menja stanja na semaforu. Na slici 6 prikazana je praktična realizacija ovog projekta.



Slika 5. Rezultati simulacije.



Slika 6. Praktična realizacija.

III. ZAKLJUČAK

U ovom radu projektovan je i implementiran sistem za kontrolu semafora na raskrsnici koristeći VHDL jezik i FPGA tehnologiju. Prikazani sistem koristi Vivado Xilinx softver za simulaciju i realizaciju digitalnih kola, a validacija funkcionalnosti je izvršena na Zybo Z7 razvojnoj ploči. Razvijeni kontroler uspešno menja stanja na semaforima u skladu sa definisanim pravilima saobraćajne signalizacije, pružajući precizno upravljanje protokom saobraćaja na raskrsnici.Sistem je uspešno testiran kroz simulaciju i fizičku realizaciju, pokazujući stabilnost i tačnost u radu, pri čemu je prikazano i stanje pešačkih prelaza i semafora za automobile na glavnoj i sporednoj ulici.

Predlozi za unapređenje sistema: Uvesti mogućnost prilagođavanja vremena trajanja semaforskih signala u zavisnosti od trenutnog saobraćajnog opterećenja (pomoću senzora za detekciju saobraćaja), omogućiti komunikaciju semafora sa centralizovanim sistemima za upravljanje saobraćajem radi optimizacije protoka u većim gradovima, proširiti simulaciju sistema kako bi se testiralo ponašanje u različitim scenarijima, poput noćnog režima, hitnih slučajeva ili kvarova na opremi.

ZAHVALNICA

Rad je realizovan kao projektni zadatka iz predmeta Projektovanje programabilnih komponenata, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi. Autori se zahvaljuju mentoru Milošu Marjanoviću i prof. Danijelu Dankoviću na pruženom znanju i pomoći.

LITERATURA

[1] Vivado. Dostupno na: https://www.xilinx.com/support/download.html

[2] Zybo Z7 razvojno okruženje. Dostupno na: https://digilent.com/reference/programmable-logic/zybo-z7/start

[3] Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji. Dostupno na: https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-o-saobracajnoj-signalizaciji.html

[4] D. Danković, M. Marjanović, Predavanja i vežbe iz predmeta Projektovanje programabilnih komponenata, Elektronski fakultet Niš, 2024.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.283R
Original scientific paper

Enigma Machine on an FPGA Board

Petar Ristić
Department of Electronics
Faculty of Electronic Engineering, University of Niš
Niš, Serbia
petar35r@gmail.com
ORCID: N/A

***Abstract*−This paper details the functional realisation of the Enigma machine, based on the model Enigma I, first introduced in 1930 on an FPGA(Field-Programmable Gate Array) using VHDL as the hardware description language of choice. The hardware of choice for this paper was Altera Cyclone V. The paper demonstrates ability of digital technology to emulate old encryption techniques.**

Keywords−FPGA, Enigma, reflector

I. Introduction

The Enigma machine, a marvel of its time, was an electro-mechanical device used for encryption during World War II. It wasn't just a simple substitution cipher, but rather a complex system with multiple rotating wheels wired together. Each wheel had unique electrical connections, and as they spun together, they scrambled the message letter by letter.[1]

The electrical signals from these wheels would then determine the final encrypted word output. This combination of electrical pathways through the rotating wheels made the code quite difficult to decipher by hand.

II. Background

The Enigma machine employed a polyalphabetic substitution cipher implemented through a complex electromechanical design. This algorithm relied on the interaction of several key components:

Plugboard: This optional component paired specific letters, swapping their electrical connections before entering the rotor core. This introduced an initial layer of non-reciprocal (two-way) substitution, meaning a letter encrypted as another wouldn't necessarily decrypt back to the original when sent back through the machine.[6]

Rotors: The core of the Enigma algorithm was a set of wired rotors (typically three or four) arranged sequentially. Each rotor had a unique internal wiring scheme that mapped one input alphabet position to another. These rotors also possessed a notch that could interact with the rotor to its left, causing it to advance one position with each complete revolution of the rightmost rotor. This rotor stepping mechanism introduced a key element of polyalphabetic substitution, where the substitution mapping changed periodically as the rotors turned.[2]

Reflector: After passing through the rotor core, the signal reached the reflector, a rotor wired to reflect the signal back through the rotors in a different path. This ensured the cipher was not self-reciprocal, a crucial feature for secure two-way communication.[6]

Keyboard and Lampboard: The user typed a message on the Enigma keyboard, and a corresponding electrical signal representing the pressed letter was sent into the machine. After passing through the rotors, reflector, and back through the rotors, the final output signal lit up a lamp on the lampboard, indicating the encrypted letter.

The entire algorithm of the enigma machine is shown on Figure 1:

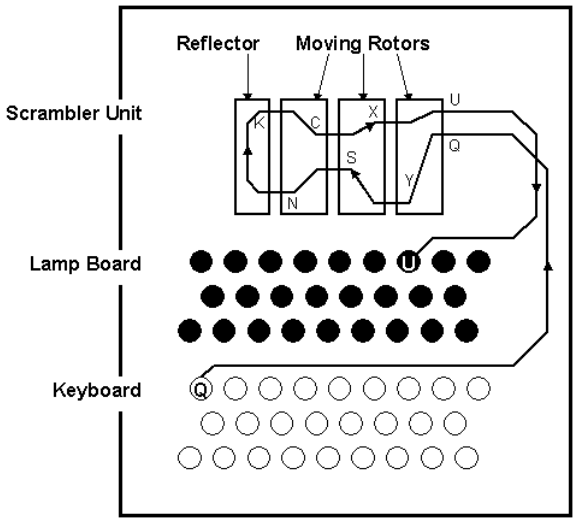


Fig. 1. The encryption algorithm [2].

With this knowledge we can now derive some calculations about the possible number of letter encryption.
To start we first have 5 possible Rotor options

$$C_3^5 = 10 \quad (1)$$

Because the rotors are interchangeable we have

$$C_r = 3! = 6 \quad (2)$$

and because the Rotors have 26 letters each

$$C_{ra} = 26 \cdot 26 \cdot 26 = 17{,}576 \quad (3)$$

The cryptographic complexity of the Rotors is:

$$C_s = C_3 \cdot C_r \cdot C_{ra} = 10 \cdot 6 \cdot 17{,}576 = 1{,}054{,}560 \quad (4)$$

The Steckerboard's contribution to the cryptographic complexity of the machine depended on the amount of wires used to connect the pairs of letters. Let n be the number of cables and therefore number of pairs where

$$0 \leqslant n \leqslant 13 \quad (5)$$

We would have:

$$C_p = \frac{26!}{n!\,(26-2n)!\,2^n} \quad (6)$$

Note that the computation tracks the sequence of letter pairs (1st, 2nd, 3rd, etc.), but the specific order of these pairs is irrelevant. For instance, the sets of swapped letters (AB, CD, EF, YZ) and (CD, YZ, EF, AB) are identical because they

contain the same pairs. Therefore, to determine the actual number of ways to encipher messages using the Steckerboard, we must divide the result by n! to account for the redundancy caused by the different possible orders of the pairs

Using software, we can calculate the number of posible combinations for the number of n pairs:

TABLE I.

Cryptographic complexity in regards to n

n	combinations
1	325
2	44850
3	3453450
4	164038875
5	5019589.58
6	100391791500
7	1305093289500
8	10767019638375
9	53835098191875
10	150738274937250
11	205552193096250
12	102776096548125
13	7905853580625

As you can see, the largest number is achieved when 11 wires are used. However, in practice, 10 is the most commonly used number of wires cause the saturation that comes with the increase of combinations.

The total number of ways of enciphering a plaintext message by the combined effects of the scramblers and plugboard is:

$$1{,}054{,}560 \times 150{,}738{,}274{,}937{,}250 = 158{,}962{,}555{,}217{,}826{,}360{,}000 \quad (7)$$

III. IMPLEMENTATION

Fig. 6 shows the complete block diagram of the Enigma with the Altera FPGA board. The Enigma machine consists of three Rotors (labelled “RotorR”, “RotorM”, and “RotorL”), two Steckers (labelled “Stecker” and “inverse_Stecker”), a Reflector, a Finite State Machine (labelled “rotor_stepper_fsm”), two Comparators (labelled “ComparatorR” and “ComparatorM”), and a 7 Segment Decoder.

The 7 Segment Decoder takes a 5 bit input representing a letter (with “A” being of value 0 to “Z” of value 25) and converts it to a 7 bit output representing the input visually according to Fig. 2.

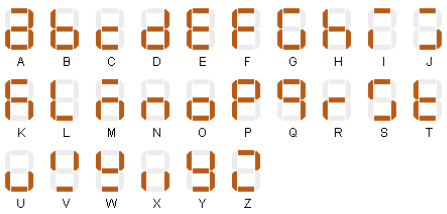


Fig. 2. Translation of the English alphabet to a 7 segment display by Alexander Fakoo [8].

The Reflector circuit takes as input a 1 bit signal “reflector_type” which chooses one of two reflectors, and a 5 bit “input_code” and outputs a 5 bit “output_code”. The function of the Reflector is to pair two letters together such that when one is received in the input, the other becomes the output. The “reflector_type” chooses “Reflector B” when 0 and “Reflector C” when 1. The pairs for each reflector type is shown below in Fig. 4.

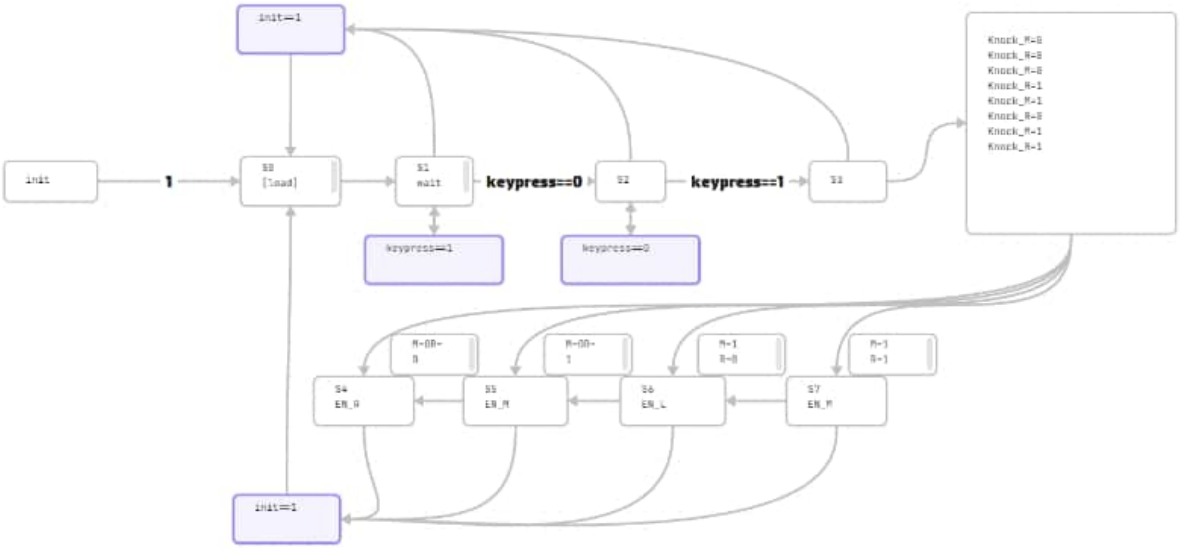


Fig. 3. FSM Diagram.

reflector B	(AY) (BR) (CU) (DH) (EQ) (FS) (GL) (IP) (JX) (KN) (MO) (TZ) (VW)
reflector C	(AF) (BV) (CP) (DJ) (EI) (GO) (HY) (KR) (LZ) (MX) (NW) (TQ) (SU)

Fig. 4. Displays the pairs set in reflector B and reflector C (i.e In reflector B, A maps to Y and Y maps to A).

The Stecker (and inv_Stecker) takes a 5 bit input "input_code" and generates a 5 bit output "output_code". The purpose of the Stecker is similar to the reflector, where it takes a letter as an input, potentially pairs it with another letter, and assigns the pair to the output. The Stecker mapping we have chosen is seen in Fig. 5.

The Rotor Stepper FSM's function is to rotate the rotors at specific times to increase complexity. It has 1 bit inputs "Clock", "Keypress", "init", "Knock_M", "Knock_R", and 1 bit outputs "en_l", "en_m", "en_r", and "load". The Rotor Stepper FSM has 8 states shown in Fig. 3.

Input	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K - Z
Output	B	A	D	C	F	E	H	G	J	I	Input

Fig. 5. Above is the Stecker we have chosen to implement. Only inputs A-J are effected by the Stecker.Inputs K-Z are ignored and assigned immediately to the output. Pair choice is not really important cause it is only the number of pairs that impact the cryptographic complexity, so some letters are left without a pair cause of the saturation point.

The functionality of the Rotor Stepper FSM is as following, The outputs "en_l", "en_m", "en_r" are passed into the input of RotorL, RotorM, RotorR respectively. Depending on which "Notch_M" or "Notch_R" are high, the appropriate enable signal will be high, thus shifting a rotor, greatly increasing complexity thus improving the overall encryption of the Enigma machine. To determine when the notch values are high two 5 bit comparator circuits will be used (one for Notch_M and another for Notch_R). The input to "ComparatorR" will be a 5 bit input "Notch_R" which represents the letter at which the "RotorR" will rotate, and the current letter of the same rotor. "ComparatorM" will be used in the same manner. The output of the comparators is a 1 bit signal which maps to the appropriate knock value in the Rotor Stepper FSM.

Fig. 7 shows the inputs and outputs of one rotor. The inputs direction_0, direction_1, direction_2, direction_3, ring_setting, and rotor_type_value all contribute to the encryption and must match the values of the recipient side. For every component within the Rotor, there is a matching inverse component to account for the portion of the enigma machine after the reflector.

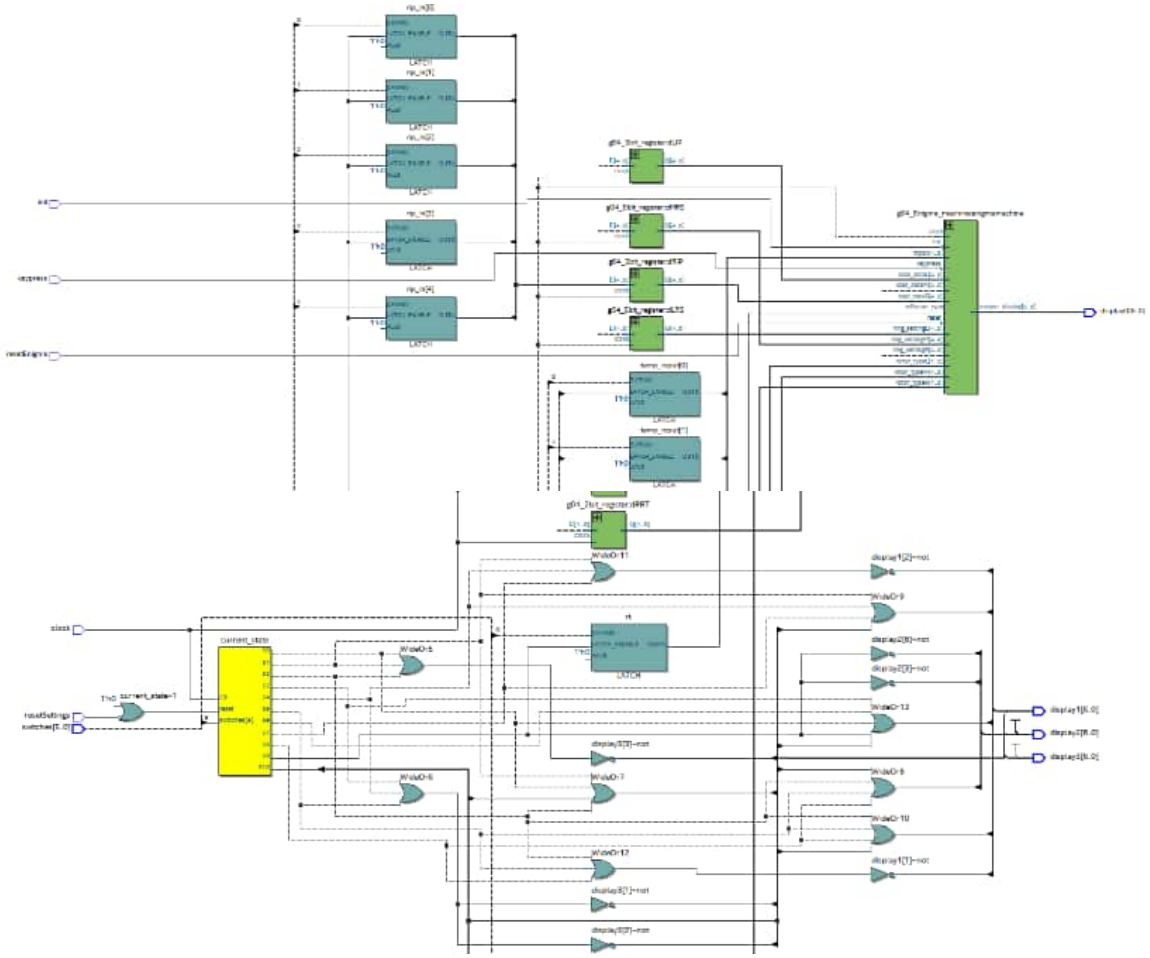


Fig. 6. Simplified RTL view of the schematic. The whole schematic has only additional Flip flops and latches to keep data.

The function of the rotor is to implement the permutation circuit based off of the chosen rotor_type. The permutation circuit in the rotors is a more complex mechanism compared to the reflector circuit. Unlike the reflector, which pairs letters directly with each other, the permutation circuit maps each letter to another letter in a one-to-one correspondence that is

not restricted to pairs. This means that each letter is substituted by another letter according to a specific pattern defined by the rotor's configuration.

```
entity Rotor is
port(input_code, inv_input_code, data, ring_setting: in std_logic_vector(4 downto 0);
     clock,
     enable,
     load,
     direction_0, direction_1, direction_2,
     direction_3,reset : in std_logic;
     rotor_type_value: in std_logic_vector(1 downto 0);
     output_code, inv_output_code, count_output: out std_logic_vector(4 downto 0));
end Rotor;
```

Fig. 7. Inputs and outputs of a Rotor.

For detailed mapping information, refer to Fig. 8, which illustrates the permutation mapping based on the 2-bit 'rotor_type' setting. The entire enigma machine is then mapped to match Fig.6, thus completing the circuit. When the user gives an input letter, it will be scrambled 9 times before it generates an output. In order for users to choose different settings (e.g. ring setting for each rotor), we implemented a finite state machine with 11 states (shown in Fig. 3). State s0 to s9 are reserved for machine settings, including ring settings, rotor type and initial position for each rotor and reflector type. We used D flip flop as registers to store those setting. Settings in different states are stored in independent registers for use in state s10. After all settings have been declared, the system will stay at state s10 unless a reset signal is received. At state s10, input from the board will be assigned to the input of component "enigmamachine". Corresponding output will then be displayed.

INPUT	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Rotor I	E	K	M	F	L	G	D	Q	V	Z	N	T	O	W	Y	H	X	U	S	P	A	I	B	R	C	J
Rotor II	A	J	D	K	S	I	R	U	X	B	L	H	W	T	M	C	Q	G	Z	N	P	Y	F	V	O	E
Rotor III	B	D	F	H	J	L	C	P	R	T	X	V	Z	N	Y	E	I	W	G	A	K	M	U	S	Q	O
Rotor IV	E	S	O	V	P	Z	J	A	Y	Q	U	I	R	H	X	L	N	F	T	G	K	D	C	M	W	B

Fig. 8. Letter mapping of the rotors which is decided upon during the fabrication of the rotors.

IV. Conclusion

Our results, demonstrated through the calculated cryptographic complexities, show that the highest number of combinations is achieved with 11 wires. However, practical considerations often limit the usage to 10 wires, balancing complexity and usability. The system's state machine and permutation circuits ensure robust encryption, effectively simulating the historical Enigma's functionality.

The following section is the summary of FPGA resource utilization and timing analysis. Since we are given the floor plan of the completed enigma machine, the implementation part is fairly straightforward. The challenging part was to understand how the circuit should behave. Outputs are scrambled multiple times and often the encoding process is time sensitive (e.g. rotor behaviour is linked to the counter).

Analysis & Synthesis Resource Usage Summary

<<Filter>>

	Resource	Usage
1	Estimate of Logic utilization (ALMs needed)	2551
2		
3	▾ Combinational ALUT usage for logic	3257
1	-- 7 input functions	1
2	-- 6 input functions	1842
3	-- 5 input functions	555
4	-- 4 input functions	170
5	-- <=3 input functions	689
4		
5	Dedicated logic registers	70
6		
7	I/O pins	43
8		
9	Total DSP Blocks	0
10		
11	Maximum fan-out node	g04_Enigma_machine:e...oad:counter|count[0]
12	Maximum fan-out	191
13	Total fan-out	16742
14	Average fan-out	4.91

Fig. 9. The machine's resource usage.

Future works could try to improve upon the design and try to decrease the amount of logic gates needed to encrypt data. Further research is needed to assess the security of polyalphabetic substitution encryption when implemented in hardware.

Acknowledgements

The author would like to thank Miljana Milić and Milica Jovanović for their continued help and support during the rendition of this paper and all friends who helped proof-reading this paper.

References

[1] Enigma museum, [online], last accessed: 21/10/2024, available on: https://enigmamuseum.com

[2] Enigma background , [online], last accessed: 21/10/2024, available on: https://user.engineering.uiowa.edu/~ie181/Documents/EnigmaBackground.htm

[3] Scott R. Ellis,Chapter 2 - A Cryptography Primer, Computer and Information Security Handbook (Second Edition),Morgan Kaufmann,2013,Pages 25-46,

[4] Dr. A. Ray Miller, The Cryptographic Mathematics of Enigma NSA. Center for Cryptologic History. USA. 1996. 3rd edition 2002.Revised version 2019.

[5] Smart, N.P. (2016). The Enigma Machine. In: Cryptography Made Simple. Information Security and Cryptography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21936-3_8

[6] Enigma machine wikispeedia, [online], last accessed:21/10/2024, available on: https://dlab.epfl.ch/wikispeedia/wpcd/wp/e/Enigma_machine.htm

[7] The Siekoo Alphabet [online], last accessed: 21/10/2024, available on: https://fakoo.de/en/siekoo.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.287S
Original scientific paper

Šmitov komparator sa operacionim pojačavačima

Nikola Stanković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
nikola.stankoviccc@elfak.rs
ORCID: N/A

Lena Savković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
lena.savkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* — Komparatorska kola služe za upoređivanje kontinualnih, odnosno analognih, i/ili digitalnih signala. Šmitovo kolo je vrsta elektronskog prekidača koje okida zavisno od vrednosti praga okidanja. Analiziran je i testiran rad Šmitovog kola korišćenjem komponente LM324N [3] u primerima koji slede. Obrađena je kako invertujuća, tako i neinvertujuća konfiguracija operacionog pojačavača, kao i njihova kombinacija. Rad Šmit triger kola je takođe i softverski proveren u LT Spice-u.**

Ključne reči - Šmitovo kolo, operacioni pojačavač, histerezis.

I. Uvod

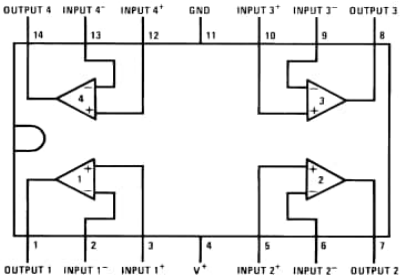
Histerezis je pojam koji pokazuje da se signal na izlazu kola menja na drugačiji način kada se signal na ulazu smanjuje u odnosu na povećavanje ulaznog signala. To znači da ako je sistem histeretičan ne možemo reći da određena ulazna vrednost uvek proizvodi određenu izlaznu vrednost. Umesto toga, odnos ulaz-izlaz zavisi od istorije sistema – zavisi od puta promene [1]. U kontekstu naponskog komparatora, histerezis znači da će se izlaz promeniti kada se ulaz poveća na jedan nivo, ali se neće vratiti sve dok ulaz ne opadne ispod *drugog* nivoa. U nekim aplikacijama, histerezis je poželjna karakteristika jer sprečava komparator od prelaska iz jednog u drugo stanje, kao odgovor na nasumične fluktuacije šuma na ulazu. Ako se ulazni napon menja u opsegu od ± 1 mV onda će napon šuma na granici od 1 mV izazvati nasumičnu promenu stanja na izlazu komparatora.

II. Karakteristike LM324N

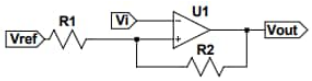
Komponenta LM324N [3] je integrisano kolo koje se sastoji od 4 operaciona pojačavača dizajniranih da rade sa jednim napajanjem širokog opsega. Moguć je i rad sa odvojenim napajanjem. Oblast primene uključuje pojačavače sa pretvaračem, DC pojačavačke blokove i sva konvencionalna kola operacionih pojačavača koji se sada mogu lakše implementirati u jednom sistemu napajanja. LM324N [3] može direktno da radi sa standarnim napajanjem od 5 V koji se koristi u digitalnim sistemima. Raspored pinova prikazan je na slici 1.

III. Invertujuća konfiguracija Šmit triger kola

Šema sa slike 2 prikazuje invertujuću konfiguraciju Šmit triger kola. U ovom slučaju, ulazni napon je povezan na invertujući ulaz operacionog pojačavača, a razdelnik napona je povezan preko neinvertujućeg ulaza operacionog pojačavača između izlaznog pina v_0 i referentnog napona fiksne vrednosti V_{REF} (u nekim slučajevima može biti 0 V). Slika 3 pokazuje rezultujuću prenosnu karakteristiku (koja se naziva histerezisna petlja). Ova karakteristika nam pokazuje da izlaz pređe na V_H kada v_i padne ispod donjeg nivoa okidanja (V_{LT}), ali se neće prebaciti na V_L sve dok v_i ne poraste iznad gornjeg nivoa okidanja (V_{UT}). Strelica pokazuje delove karakteristika koje su praćene kada ulaz raste (gornja linija) i kada opada (donja linija). Komparator koji ima ove karakteristike naziva se Šmit triger.



Slika 1. LM324N J Package 14-Pin CDIP Top View.



Slika 2. Kolo invertujućeg pojačavača.

Možemo da izvedemo izraze za V_{UT} i V_{LT} uz pomoć teoreme superpozicije. Pretpostavimo prvo da je izlaz komparatora kratkospojen za masu:

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1+R_2}V_{REF},\ (V_0 = 0\ \text{V}) \tag{1}$$

Kada je V_{REF}=0, tada dobijamo:

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1+R_2}V_0,\ (V_{REF} = 0\ \text{V}) \tag{2}$$

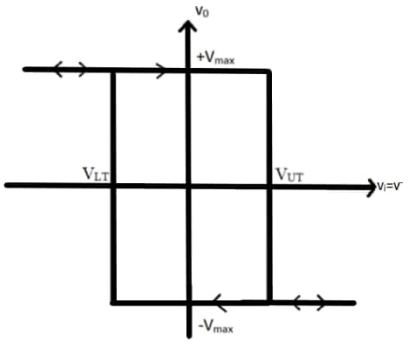
Dakle,

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1+R_2}V_{REF} + \frac{R_1}{R_1+R_2}V_0 \tag{3}$$

Pošto V_0 ima dve moguće vrednosti, V_H i V_L, tako ima i v^+ dve moguće vrednosti. Ove dve vrednosti za v^+ uspostavljaju dva nivoa okidanja V_{UT} i V_{LT}:

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1+R_2}V_{REF} + \frac{R_1}{R_1+R_2}(V_L) \tag{4}$$

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{REF} + \frac{R_1}{R_1+R_2}(V_H) \quad (5)$$



Slika 3. Prenosna karakteristika Šmit triger kola.

Kvantitativno, histerezisni napon (V_{hys}) iz Šmitovog triger-a se definiše kao razlika između ulaznih nivoa okidanja:

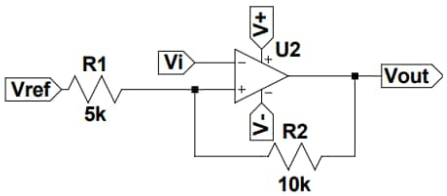
$$V_{hys}=V_{UT} - V_{LT} \quad (6)$$

Oduzimanjem jednačine (4) od jednačine (5), dobijamo:

$$V_{UT} - V_{LT} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) V_H - \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) V_L \quad (7)$$

$$V_{hys} = \frac{R_1}{R_1+R_2}(V_H - V_L) \quad (8)$$

Posmatramo najpre rad prethodno analiziranog kola korišćenjem otpornika R_1 =4.7 kΩ i R_2=10 kΩ (slika 4). Izlazni napon menja se kao ±15 V, jer je to napajanje operacionog pojačavača. Ovaj napon dovodimo iz generatora napajanja AGILENT E3646A [5].



Slika 4. Primer invertujuće konfiguracije.

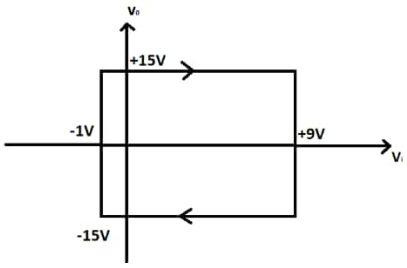
Kada je V_{REF}=6 V, za kolo se dobija:

$$V_{LT} = \left(\frac{10\ \text{k}\Omega}{4{,}7\ \text{k}\Omega+10\ \text{k}\Omega}\right) 6\ \text{V} + \frac{4{,}7\ \text{k}\Omega}{4{,}7\ \text{k}\Omega+10\ \text{k}\Omega}(-15\ \text{V}) = -1\ \text{V} \quad (9)$$

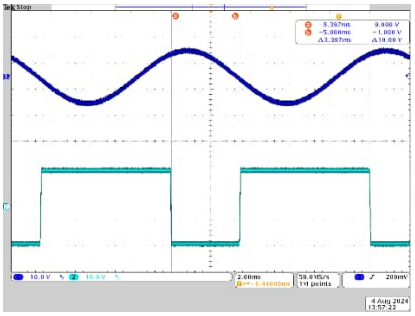
$$V_{UT} = \left(\frac{10\ \text{k}\Omega}{4{,}7\ \text{k}\Omega+10\ \text{k}\Omega}\right) 6\ \text{V} + \frac{4{,}7\ \text{k}\Omega}{4{,}7\ \text{k}\Omega+10\ \text{k}\Omega} 15\ \text{V} = +9\ \text{V} \quad (10)$$

$$V_{hys} = (9\ \text{V}) - (-1) = 10\ \text{V} \quad (11)$$

Na slici 5 prikazana je histerezisna petlja za kolo koje se analizira. Funkcionalnost kola proverena je u laboratorijskim uslovima, formiranjem kola sa slike 4 na proto ploči. Na slici 6 prikazani su talasni oblici ulaznog napona v_i i izlaznog napona v_o. Ulazni i izlazni signal snimili smo na osciloskopu Tektronix DPO4034 [4] i analizom rezultata se pokazuje da je napon na izlazu -15 V kada napon na ulazu dostigne 9 V. Izlazni napon zatim zadržava datu vrednost sve dok napon na ulazu ne padne na -1 V, kada na izlazu dobijamo 15 V. Zaključujemo da dato kolo radi na željeni način.



Slika 5. Histerezisna petlja – V_{REF}=6 V.



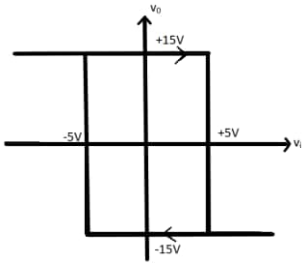
Slika 6. Ulazni i izlazni napon snimljeni na osciloskopu - V_{REF}=6 V.

Kada je V_{REF}=0 V, za kolo se dobija:

$$V_{LT} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) V_L = \left(\frac{4{,}7\ \text{k}\Omega}{4{,}7\ \text{k}\Omega+10\ \text{k}\Omega}\right)(-15\ \text{V}) = -5\ \text{V} \quad (12)$$

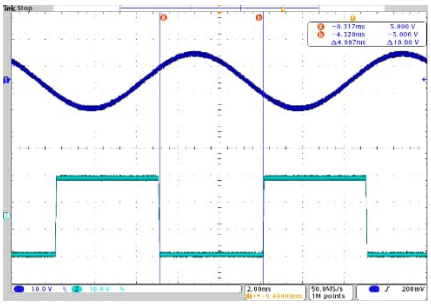
$$V_{UT} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) V_H = \left(\frac{4{,}7\ \text{k}\Omega}{4{,}7\ \text{k}\Omega+10\ \text{k}\Omega}\right)(+15\ \text{V}) = +5\ \text{V} \quad (13)$$

Slika 8 prikazuje promenu ulaznog i izlaznog signala u vremenu. Vidimo da je ulazni napon od 5 V napon okidanja i da kada dostigne ovu vrednost, izlazni signal postaje -15 V. Ovu vrednost zadržava sve dok se ulazni napon ne spusti na -5 V. Od ovog trenutka izlazni signal skače na vrednost od 15 V i opisani ciklus se ponavlja. U ovom slučaju, kao što vidimo na slici 7, histerezisna petlja je simetrična u odnosu na y-osu, za razliku od slike 5. Ova razlika javlja se usled promene V_{REF}.



Slika 7. Histerezisna petlja – V_{REF}=0 V.

Komparator o kome smo diskutovali naziva se *invertujuće* Šmit triger kolo zato što je napon na izlazu logička jedinica kada je ulaz logička nula, i obrnuto, kao što se može videti na prenosnim karakteristikama i signalima snimljenim na osciloskopu.



Slika 8. Ulazni i izlazni napon snimljeni na osciloskopu - V_{REF}=0 V.

Kao detektor naponskog nivoa Šmit triger kolo često nalazi primenu u mikrokontrolerima. Na primer, mikrokontroler MSP430G2553 [6] koristi Šmit triger kolo na ulazu svakog pina kako bi odredio da li napon predstavlja logičku nulu ili jedinicu.

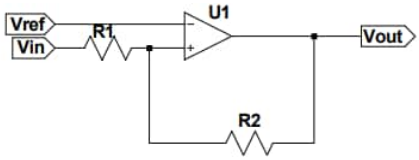
IV. NEINVERTUJUĆA KONFIGURACIJA

Na slici 9 data je šema neinvertujuće konfiguracije Šmit triger kola.

Za ovo kolo, visok i nizak napon okidanja računaju se :

$$V_{LT} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{REF} - \frac{R_1}{R_1} V_H \tag{14}$$

$$V_{hys} = \frac{R_1}{R_2}(V_H - V_L) \tag{15}$$



Slika 9. Neinvertujuće Šmit triger kolo.

V. FINALNI DIZAJN ŠMIT TRIGER KOLA

Histerezis može sprečiti višestruke tranzicije ili variranja signala na izlazu kada je u ulaznom signalu prisutan šum. Ovo se postiže računanjem R_1 i R_2 tako da je napon histerezisa V_{hys} nešto veći od maksimuma očekivanog peak-to-peak napona šuma. Margine šuma od 20% ili 25% su adekvatne [2].

Projektujemo detektor naponskog nivoa sa imunošću na šum koji indikuje kada ulazni signal prelazi nominalnu vrednost napona od -2.5 V.

Za rešavanje ovog problema neophodna je invertujuća konfiguracija. Precizirajmo napon histerezisa kao 20% veći od maksimuma peak-to-peak napona šuma. Ako je očekivani maksimum napona šuma 100 mV sledi da će V_{hys} biti 0.24 V. Visok i nizak naponski nivo okidanja će onda biti -2.5 V±0.12 V, odnosno V_{UT}=-2.38 V i V_{LT}=2.62 V:

$$\frac{V_H - V_L}{V_{hys}} V_{LT} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \tag{16}$$

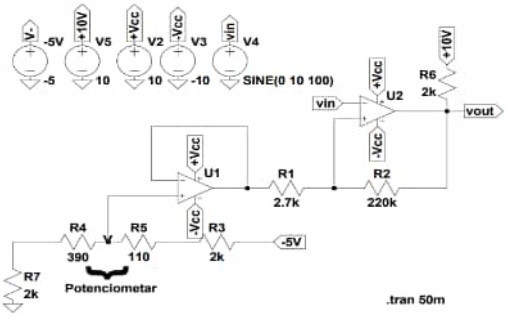
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{10-(-10)}{0{,}24} - 1 = 82{,}33 \tag{17}$$

Za V_L=-10 V računamo V_{REF} kao:

$$V_{hys} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{LT} = \left(1 + \frac{1}{82{,}33}\right)(-2{,}62\ \text{V}) = -2{,}65\ \text{V} \tag{18}$$

Bilo koje vrednosti R_2 i R_1 koje zadovoljavaju odnos od 82 bile bi zadovoljavajuće za potrebe ovog kola. Dobra je praksa izabrati vrednosti takve da R_1 i R_2 u zbiru daju više od 100 Ω i 1 kΩ do 3 kΩ za pull-up otpornik na izlazu [2]. Kompletna šema projektovanog kola prikazana je na slici 10.

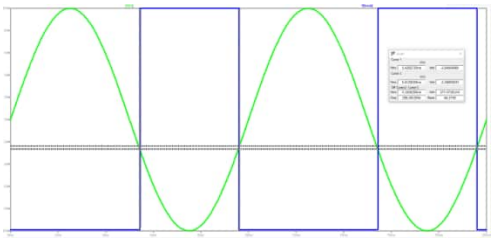
Slika 10 predstavlja šemu varijante Šmit triger kola za čije elemente smo prethodno računali potrebne vrednosti. Vrednosti otpornika R_1 i R_2 izabrane su tako da izveden uslov bude zadovoljen.



Slika 10. Finalni dizajn Šmit triger kola.

Referentni napon V_{REF}=-2.65 V podešava se korišćenjem potenciometra u kolu razdelnika napona, a taj napon se do Šmitovog kola dovodi preko operacionog pojačavača U_1 koji je u konfiguraciji naponskog bafera.

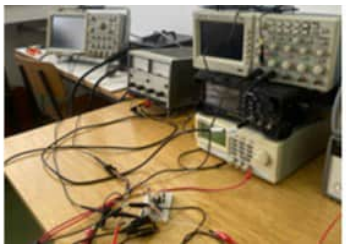
Slika 11 prikazuje izgled ulaznog i izlaznog signala u vremenu pokretanjem LT Spice vremenske simulacije. Vrednosti V_{LT} i V_{UT}, koje smo predhodno dobili računicom, možemo proveriti softverski – kursorima. Kako su to vrednosti -2.63 V i -2.37 V redom, zaključujemo da kolo ispunjuje unapred definisane zahteve.



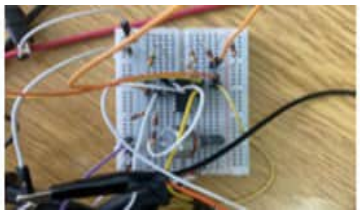
Slika 11. Ulazni i izlazni signal – LT Spice.

VI. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Kolo analizirano u prethodnom poglavlju projektovali smo na proto ploči. Proveru rada kola uspeli smo da izvršimo pomoću osciloskopa Tektronix DPO4034 [4] kojim smo snimili ulazni i izlazni signal.

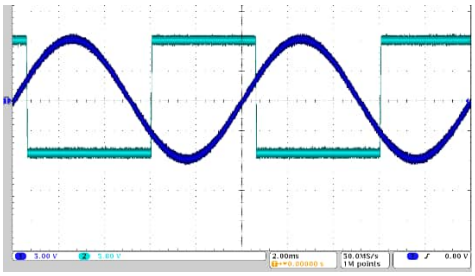


Slika 12. Korišćena aparatura pri praktičnoj realizaciji Šmit triger kola.



Slika 13. Šmit triger kolo realizovano na proto ploči.

Analizom rezultata vidimo da se signal na izlazu kola ponaša na očekivan način tako da zaključujemo da je uspešna praktična realizacija. Neznatna odstupanja javljaju se jer za razliku od simulacije u softveru, korišćene komponente u praksi nisu idealnih karakteristika.



Slika 14. Ulazni i izlazni signal – osciloskop.

VII. ZAKLJUČAK

Praktičnom realizacijom, kao i softverski, projektovan je Šmitov prekidač. Cilj je bio konstruisati kolo takvo da je njegov izlaz imun na smetnje – šumove koji se u praksi često javljaju na ulazu. Ovakav sistem je uspešno realizovan pomoću operacionog pojačavača invertujućom konfiguracijom istog. Varijanta kola koju smo projektovali kao rešenje zadatog problema samo je jedna od mogućih realizacija. Umesto direktno vezanog referentnog napona V_{REF} koristili smo neinvertujuće konfigurisan operacioni pojačavač kao naponski bafer, kako bismo izolovali izlaz od ulaza. Funkcionalnost kola pokazana je simulacijom i praktičnim merenjem u laboratoriji.

ZAHVALNICA

Autori rada se srdačno zahvaljuju profesorima i saradnicima sa Katedre za mikroelekroelektroniku na Elektronskom fakultetu u Nišu.

Posebno bismo se zahvalili prof. dr Emiliji Živanović i doc. dr Milošu Marjanoviću koji nam je obezbedio sve neophodno za izradu ovog projekta i uputio sugestije prilikom projektovanja.

LITERATURA

[1] Pojam histerezisa. Dostupno na: https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/what-is-hysteresis-an-introduction-for-electrical-engineers/T. F. Bogart, J. S. Beasley, G. Rico, Electronic Devices and Circuits, Pearson Education International, 2004.

[2] LM324N – datasheet. Dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm324-n-mil.pdf?ts=1728730501267

[3] Tektronix DPO4034 – datasheet. Dostupno na: https://www.testequipmenthq.com/datasheets/TEKTRONIX-DPO4034-Datasheet.pdf

[4] AGILENT E3646A – datasheet. Dostupno na: https://www.testequipmenthq.com/datasheets/Agilent-E3646A-Datasheet.pdf

[5] MSP430G2553 – datasheet. Dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf?ts=1729232481325&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FMSP430G2553

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.291S
Original scientific paper

Pomagalo za slepe ljude

Uroš Smadulović
II razred, elektrotehničar informacionih tehnologija
Tehnička škola Zaječar
Zaječar, Srbija
smadulovicuros@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj* — Oštećenje vida predstavlja izazov koji utiče na svakodnevni život osoba koje se s' njim suočavaju, ograničavajući njihovu nezavisnost i sposobnost percepcije okoline. U svetlu tehnoloških inovacija, istraživanja su sve više usmerena na razvoj sistema koji bi mogli poboljšati kvalitet života osoba sa oštećenjem vida. Jedan od takvih pristupa je upotreba naprednih tehnologija veštačke inteligencije u kombinaciji s mikroprocesorskim platformama radi stvaranja sistema koji omogućava slepim osobama da dobiju informacije o okolini u realnom vremenu. Ovaj rad istražuje implementaciju takvog sistema, s fokusom na razvoj i evaluaciju tehnološkog rešenja koje omogućava prepoznavanje objekata i emitovanje *audio* informacija o njima. Kroz opis dizajna, implementacije i evaluacije ovog sistema, istražujemo njegov potencijalni doprinos unapređenju kvaliteta života osoba sa oštećenjem vida.**

Kljucne reči — Veštačka inteligencija, pomagalo za slepe, mikroprocesorska platforma, emitovanje audio informacija

I. Uvod

Projekat se fokusira na razvoj inovativnog sistema koji pruža podršku osobama sa oštećenim vidom korišćenjem tehnologije zasnovane na primeni veštačke inteligencije [1]. Projekat se zasniva na upotrebi *Raspberry Pi* [2] platforme u kombinaciji sa *Raspberry* kamerom [3] i *TensorFlow* [4] bibliotekom za prepoznavanje objekata. Ceo projekat pisan je u programskom jeziku *Python* [5]. Glavni cilj projekta je omogućiti slepim osobama da dobiju realno vremenske informacije o objektima koji se nalaze ispred njih putem audio poruka. Integracija *TensorFlow*-a [4] omogućava precizno prepoznavanje objekata, dok se *Raspberry Pi* [2] koristi za obradu podataka i generisanje audio izlaza. Projekat je dizajniran tako da kamera bude zakačena za naočare, a *Raspberry Pi* [2] sakriven u posebnoj kapi. Ova tehnološka rešenja imaju potencijal da značajno unaprede kvalitet života osoba sa oštećenim vidom, pružajući im veću nezavisnost i sigurnost u svakodnevnim aktivnostima. Na slici 1. prikazan je model.



Slika 1. Model projekta.

II. Tehnička dokumentacija

A. Raspberry Pi

Raspberry Pi [2] 3 Model B+ je mikro računar koji pokreće 64-bitni *quad-core ARM Cortex-A53* procesor na 1.4 GHz i 1 GB *LPDDR2 SDRAM* memorije.

Na njemu su integrisani 802.11ac *Wi-Fi* i *Bluetooth* 4.2 čipovi koji olakšavaju bežično povezivanje. Na slici 2. prikazan je *Raspberry Pi*.



Slika 2. Raspberry pi 3 model B+.

B. Raspberry Pi kamera

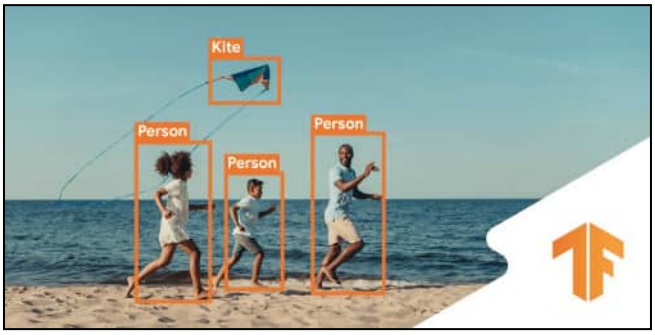
Raspberry Pi V2 kamera [3] je visokokvalitetna kamera dizajnirana za *Raspberry Pi* ploče. Sa 8-megapikselnim senzorom, daje slike i snima video zapise u 1080 p pri 30 fps. Kamera je malih dimenzija, idealna je za ugradnju u razne projekte poput nadzora i robotike. Kamera se povezuje preko CSI porta, što je čini jednostavnom za integraciju. Na slici 3. je pikazana *Raspberry Pi* kamera.



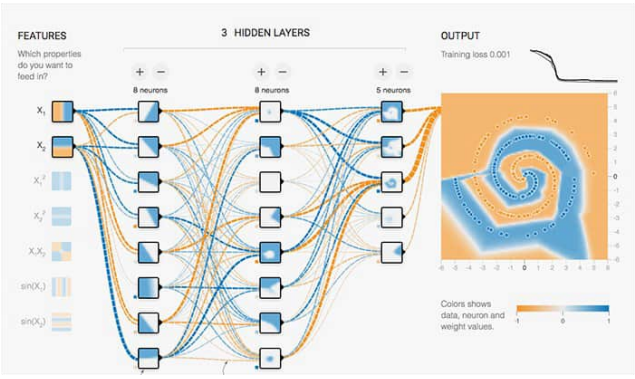
Slika 3. Raspberry Pi camera.

C. *Tensorflow*

TensorFlow [4] je otvorena biblioteka za veštačku inteligenciju [1] koju je razvila kompanija *Google*. Ona omogućava izradu, treniranje i primenu raznih vrsta neuronskih mreža i modela dubokog učenja. Sadrži set alata za vizualizaciju, evaluaciju i optimizaciju modela. Ovaj projekat konkretno koristi *TensorFlow lite* [4] u kombinaciji sa *SSD_MobileNet_V2* modelom koji dolazi sa oko 70 početnih objekata za moguću detekciju. Na 4. slici prikazana je detekcija objekata pomoću *Tensorflow* softvera, a na 5. slici je prikazan primer *Tensorflow* neuronske mreže.



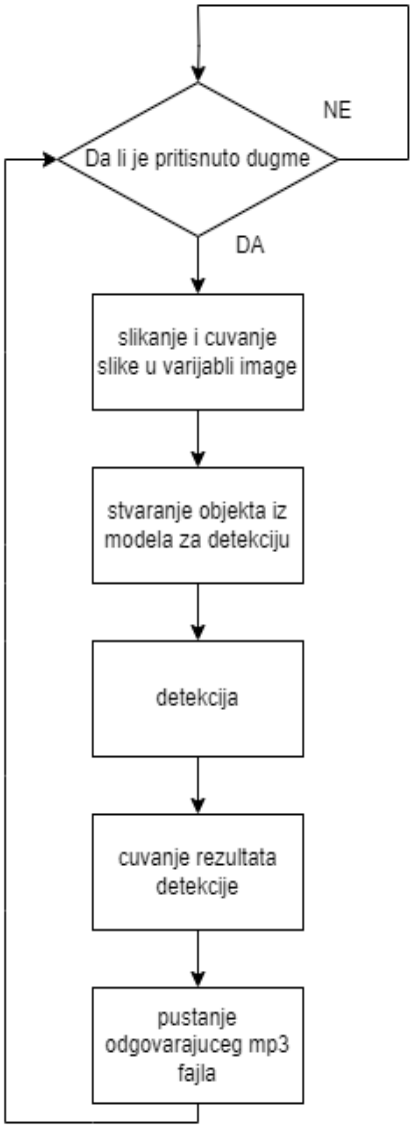
Slika 4. Detekcija objekata pomoću *Tensorflow* softvera.



Slika 5. Primer *Tensorflow* neuronske mreže.

III. PRINCIP RADA

Projekat je osmišljen da kada korisnik pritisne dugme na naočarama, počinje korišćenje kamere radi analize okoline. *Raspberry Pi* [1] koristi se za detektciju objekta i puštanje odgovarajućih *mp3* fajlova, samim tim, korisnik putem slušalica dobija obaveštenje o identifikovanim objektima koji se nalaze ispred njega. Varijabla *AUDIO* je *Python* [5] rečnik koji se sastoji od ključeva i vrednosti. Ova struktura podataka omogućava mapiranje naziva detektovanih objekata sa nazivima *audio* fajlova za reprodukciju. Korišćenjem ovog rečnika, možemo pristupiti odgovarajućem *audio* fajlu na osnovu izlaznih podataka iz detekcije objekata, pomoću ključeva za pretragu.



Slika 6. Šema funkcije detektuj().

Za puštanje fajlova kao ulazni parametar koristi se biblioteka *playsound* koja uzima putanju do *mp3* fajla. Deo koda odgovoran za puštanje zvučnih fajlova

```
AUDIO = {
      "person": "person.mp3",
      "bicycle": "bicycle.mp3",
                  ...
      "hair drier": "hair_drier.mp3",
      "toothbrush": "toothbrush.mp3",
      }
if object_name in AUDIO:
         ime_fajla = AUDIO[object_name]
          playsound(os.path.join(CWD_PATH,\
         "audio_za_objekte",ime_fajla))
else:
          print("Nije pronađena odgovarajuća vrednost")
```



Slika 7. Šema algoritma.

Glavna funkcija pod nazivom detektuj() izvršava sam proces detekcije i puštanja *mp3* fajlova.

Sistem počinje sa preuzimanjem slike sa kamere tako što pokreće pregled okoline da bi izvršila stabilizaciju senzora u kratkom vremenskom intervalu.

Na taj način slika se čuva i kreira varijabla koja sadrzi njenu putanju, zatim se slika obrađuje pomoću *opencv* i *numpy* biblioteke. Deo koda odgovoran za proces preuzimanja slike:

```
camera.start_preview()
sleep(3)
camera.capture(os.path.join(CWD_PATH,"image.jpg"))
camera.stop_preview()
PATH_TO_IMAGE =
os.path.join(CWD_PATH,"image.jpg")
image_path = glob.glob(PATH_TO_IMAGE)
```

Nakon toga stvara se objekat *interpreter* koji sadrži model veštačke inteligencije i koristi za samu detekciju, sa njim se stvaraju i varijable sa potrebnim podacima o modelu. Deo koda za kreiranje objekta *interpreter*-a:

```
interpreter = Interpreter(model_path=PATH_TO_CKPT)
interpreter.allocate_tensors()
input_details = interpreter.get_input_details()
output_details = interpreter.get_output_details()
```

U tom trenutku se pokreće sama detekcija, izlazni podaci se čuvaju u varijablama: *boxes* koja čuva njihovu lokaciju, *classes* čuva ime objekta i *scores* predstavlja sigurnost veštačke inteligencije u postojanje tog objekta. Deo koda sa detekcijom i izlaznim podacima:

```
interpreter.set_tensor(input_details[0]['index'],input_data)
interpreter.invoke()

boxes =
interpreter.get_tensor(output_details[boxes_idx]['index'])[0
]

classes =
interpreter.get_tensor(output_details[classes_idx]['index'])[
0]

scores =
interpreter.get_tensor(output_details[scores_idx]['index'])[
0]
```

Nakon toga se pokreće *for* petlja koja za svako ime pokreće *mp3* fajl.

IV. Rezultat

Implementacija projekta pokazala se izuzetno uspešnom, pružajući značajne uvide i inspiraciju za dalji razvoj. Kroz rad na projektu, stečena su dragocena znanja i veštine iz oblasti informatike, programiranja i elektronike, što je omogućilo uspešno kreiranje sistema koji pruža podršku osobama sa oštećenjem vida. Kroz sve ove procese, projekat je dokazao svoju vrednost kao platforma za istraživanje i inovacije u domenu tehnoloških rešenja za osobe sa oštećenjem vida. Na slici 8. prikazan je realizovan projekat.


Slika 8. Realizovan projekat.

V. Zaključak

Ovaj projekat je značajan doprinos oblasti tehnološke podrške osobama sa oštećenjem vida. U trenutku kada se ova oblast tek razvija, projekat predstavlja primer kako tehnologija može biti ključna za poboljšanje kvaliteta života osoba sa invaliditetom. Verujemo da će ova inovativna ideja doneti bolje sutra i značajno olakšati orijentaciju i razumevanje okoline za slepe ljude. Iako je trenutno samo prototip, projekat jasno pokazuje da ostvarivanje ove ideje nije samo san, već je ostvarivo u današnjici. Rad na projektu otvorio je nove perspektive i podstakao nas na razmišljanje o daljim unapređenjima. Neke od ključnih ideja koje smo razmatrali jesu implementacija *cloud computing* tehnologije i upotreba kamere sa bežičnom komunikacijom, čime bismo poboljšali performanse sistema u pogledu veličine, brzine i tačnosti prepoznavanja objekata.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se gospodinu Dejanu Nikoliću na izuzetnom mentorstvu koje mi je pružio tokom izrade ovog naučnog rada. Takođe, želim da se zahvalim školi na pružanju materijalnih resursa i podršci.

LITERATURA

[1] Termin veštačka inteligencija. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence

[2] Tehnička specifikacija za *Raspberry Pi*. Dostupno na: https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html

[3] Tehnička specifikacija za *Raspberry Pi* kameru. Dostupno na: https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html

[4] Platforma *Tensorflow*. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/TensorFlow

[5] Programski jezik *Python*. Dostupno na: https://docs.python.org/3/tutorial/index.html

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.295M
Original scientific paper

Merenje i prikaz rastojanja korišćenjem FPGA tehnologije

Miloš Milojević
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski Fakultet Niš
Niš, Srbija
mikimilojevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Ovaj rad predstavlja proceduru za čitanje i prikazivanje rastojanja od predmeta do ultrazvučnog senzora. Za realizaciju projekta koristi se FPGA razvojno okruženje. Cilj rada je da predstavi UART serijsku komunikaciju.**

Ključne reči—FPGA, merenje rastojanja, ultrazvučni senzor, UART serijska komunikacija

I. Uvod

Cilj projekta, osim realizacije sistema za čitanje i prosleđivanje podataka na virtuelni port na računaru, je želja za bližim upoznavanjem rada HC-SR04 senzora kao i UART serijskog protokola. Ovo je moguće upravo realizacijom projekta putem FPGA ploče gledajući kako se u VHDL-u karakterišu konkretni signali koji se prosleđuju na ploču/senzor.

II. Korišćene komponente

A. Zybo Z7-10 FPGA razvojno okruženje

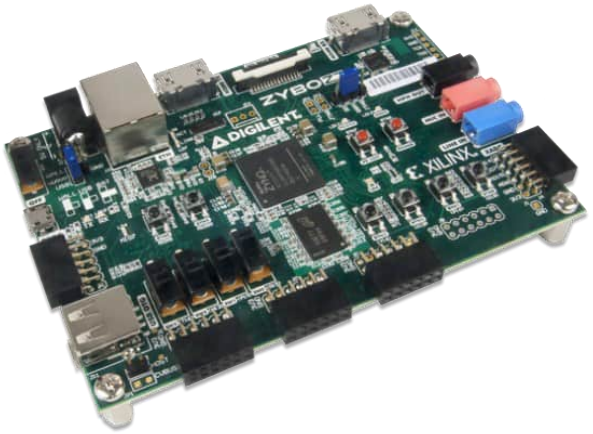
Osnovna jedinica na kojoj je ralizovan projekat. Zybo Z7-10 [3] je razvojno okruženje kompatibilno za embeded i digitalni softverski dizajn. Sadrži ZYNQ procesor, 270 KB blok RAM-a, 40 standardnih ulaz/izlaz pinova, prekidače, LE i RGB LE diode, kao i periferije koje omogućavaju rad sa kamerama, zvukom i HDMI. Izgled razvojnog okruženja dat je na slici 1.

Ploču je moguće programirati putem softvera Vivado, pomoću koga su takođe omogućene sve periferije koristeći .XDC datoteku sa ograničenjima. Osim periferija, unutar datoteke definisana je i perioda taktnog signala koji se uzima direktno sa ploče. U ovom projektu korišćen je taktni signal frekvencije 1 MHz kako bi se merila 1µs po taktu.

B. HC-SR04 ultrazvučni senzor za merenje rastojanja

Ovaj senzorski modul [4] predstavlja glavnu periferijsku komponentu projekta. Koristi ultrazvučne talase kako bi odredio razdaljinu od predmeta ispred sebe. Na slici 2 prikazan je izgled komponente. Kao što je rečeno, senzor koristi ultrazvučne talase koji su nečujni za ljudsko uvo. Inicijalnim impulsom na ulazni *Trig* pin, aktivira se senzor. Taj signal daje znak senzoru da treba da pošalje talase iz zvučnika, predajnika. Ti talasi se odbijaju od prepreke ispred sebe i vraćaju nazad do prijemnika. Kao posledica toga, na izlaznom *Echo* pinu senzora javlja se visok napon u određenom intervalu. Na slici 3 ilustrovani su signali senzorskog modula. Upravo od razdaljine prepreke zavisi njegovo trajanje. Mereći vreme t [µs] trajanja impulsa na *Echo* pinu, i imajući u vidu brzinu zvuka kroz vazduh (343 m/s), kao i činjenicu da je potrebno vreme da se talasi vrate do senzora, moguće je odrediti rastojanje S predmeta od senzora po datoj formuli:

$$S = (t \cdot 0{,}343) / 2 \text{ [cm]} \quad (1)$$



Slika 1. Razvojno okruženje Zybo Z7-10.

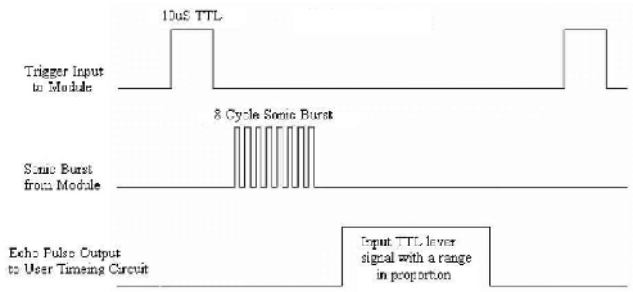


Slika 2. Senzorski modul HC-SR04.

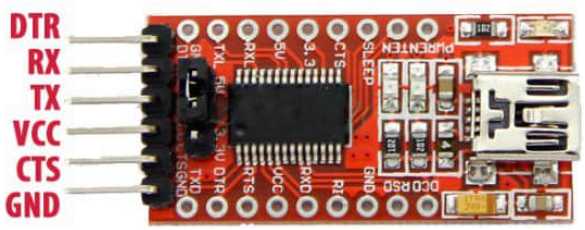
C. FTDI 232 konverter

FTDI 232 [5] predstavlja USB u serijski UART interfejs. U projektu je korišćen sa ciljem finalnog prenosa obrađenih podataka na virtuelni port na računaru. Izlaz glavnog kola, koji je mapiran na običan izlazni pin ploče sadrži podatke

koji se šalju računaru. Taj izlaz se povezuje na RX ulazni pin konvertera, koji putem USB kabla šalje adekvatnu poruku do računara.



Slika 3. Signali modula HC-SR04.



Slika 4. FTDI 232 konverter.

III. Realizacija rešenja

Kao što je pomenuto, za konačan prenos podataka koristi se UART (*Universal Asynchronus reciever/transmitter*) protokol [1]. UART predstavlja jedan od najstarijih serijskih protokola, i kao takav, njegova popularnost opada tokom godina zbog sve češće upotrebe protokola kao što su I2C ili SPI, ali UART i dalje nalazi primenu u prostijim sistemima gde brzina prenosa podataka nije najbitniji faktor. Prednost UART-a jeste u njegovoj jednostavnosti, kao i u činjenici da strane koje primaju, odnosno, šalju podatke ne moraju da dele taktni signal. Ovo znači da je potrebno da postoji dogovor između dve strane o brzini prenosa podataka kako bi poruka imala značenje koje je namenila strana koja šalje podatke. Neke od standarnih brzina koje se primenjuju su: 4800, 9600, 19200, 57600, 115200 [b/s].

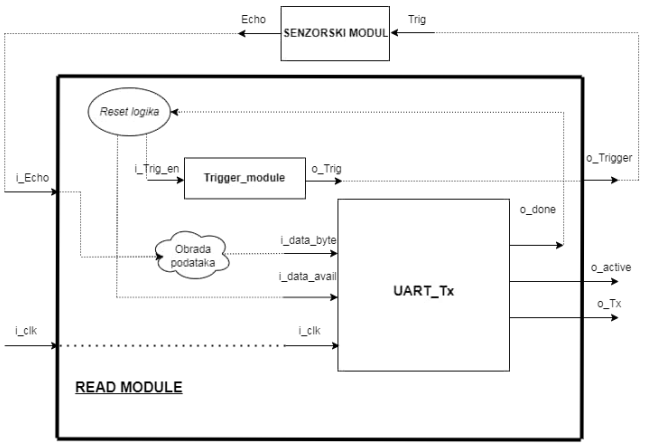
Za slanje podataka putem UART-a potrebna je jedna žica na kojoj će se karakteri slati jedan po jedan. Na slici 5 prikazan je primer takve transmisije, a konkretni primeri primenjeni u ovom projektu, kao i metodologija kojom sam protokol radi biće prikazani kasnije kroz VHDL kod kojim je opisan protokol.



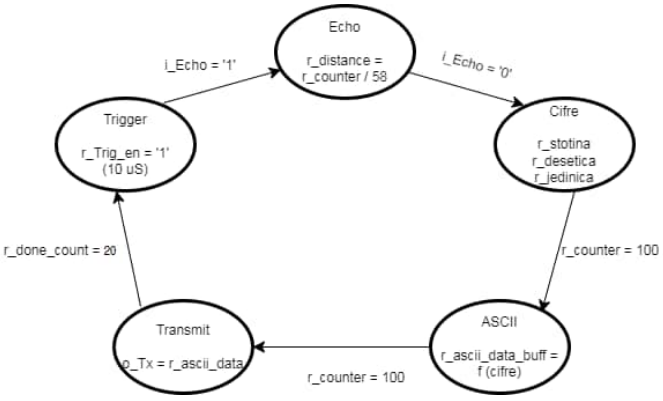
Slika 5. Primer UART protokola.

A. Glavni (Top) modul

Na slici 6. prikazana je blok šema glavnog modula, dok je na slici 7. prikazana šema konačnog automata po kome je projektovan isti. Pri uključenju sistema, stanje mašine je *Trigger*, pri kome se sa ploče na senzor šalje visoki naponski nivo u trajanju od 10 µs koji je dovoljan za pobudu sistema. Ovim je omogućen rad senzora koji sada šalje ultrazvučne talase iz zvučnika. U sledeće stanje mašina prelazi nakon što primeti logičku jedinicu na ulaznom *Echo* pinu ploče. U *Echo* stanju brojač *r_counter* meri vreme trajanja impulsa na pinu senzora, i u skladu sa jednačinom (1) se računa rastojanje od predmeta ispred senzora. Dalje, prelazak u stanje *Cifre* vrši se nakon utvrđivanja da se impuls na *Echo* pinu vratio na logičku nulu. U ovom stanju dobijena razdaljina razdvaja se u cifre radi kasnijeg serijskog slanja. Nakon 100 µs po izvršenju, mašina prelazi u stanje ASCII, gde se vrši konverzija dobijenih cifara u adekvatne podatke po ASCII standardu [2]. Informacije se smeštaju u registar *r_ascii_data_buff*.



Slika 6. Blok šema glavnog modula.



Slika 7. Konačni automat glavnog modula.

Konačno, prelazak u stanje *Transmit* označava početak prosleđivanja podataka na virtuelni port. Poruka koja se prikazuje glasi: “Razdaljina (cm): <izvučene cifre> <novi red>”. Povratak u inicijalno *Trigger* stanje sledi nakon što se pošalju svi karakteri, odnosno, čeka se izvršenje 20 transmisija za ukupno 20 karaktera (*r_done_count* = 20). Odavde se proces ponavlja do isključenja sistema.

B. UART Tx modul

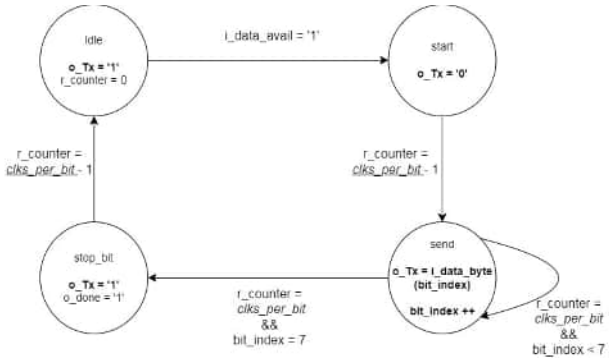
Kako bi se adekvatni podaci slali, tako da poruka na računaru bude smislena i vremenski saglasna sa primaocem, potrebno je precizno kontrolisati izlaz ploče *o_Tx* koji šalje podatke na konverter. U tom cilju napisana je zasebna komponenta UART_Tx kao deo već opisanog glavnog modula.

Kodom je opisan UART protokol veličine podatka 8 bitova, sa stop i bez parity bita. U inicijalnom *Idle* stanju na izlaz *o_Tx* šalje se logička jedinica. Da bi krenuo prenos

samih podataka čeka se visok napon na ulazu *i_data_avail* kojim se označava da je podatak stigao, i da je spreman za transmisiju. U stanju *Start* šalje se logička nula. Ovim se prekida dosadašnja monotonija jedinice i primaocu se signalizira da sledi prenos osmobitnog podatka. Na slici 8 podvučen je parametar *clks_per_bit*. On predstavlja *generic* parametar koji se menja za svaku posebno pozvanu instancu ove komponente i predstavlja broj rastućih ivica taktnog signala po jednom prenešenom bitu. Svrha mu je da omogući vremenski pravilan protok podataka, i zavisi od dogovorene brzine slanja podataka, kao i frekvencije taktnog signala sistema. Shodno jednačini:

$$clks_per_bit = f / baud\ rate, \quad (2)$$

clks_per_bit pri instanci komponente u glavnom modulu ima vrednost 104, imajući na umu da je dogovorena brzina 9600 b/s. Kada brojač *r_counter* dostigne tu vrednost automat prelazi u sledeće stanje *Send*, i u njemu ostaje dok se ne pošalju svih 8 bitova poruke. Nakon osmog bita automat ponovo broji do 104 i prelazi u stanje *Stop_bit*. Za vreme tog stanja na izlaz se šalje logička jedinica kao znak primaocu da je završen prenos tog paketa podataka. Takođe se javlja impuls visokog napona na izlazu *o_done*, čiji je značaj opisan u daljoj analizi.



Slika 8. Konačni automat UART Tx modula.

IV. SIMULACIJA I REZULTATI

Osim praktične realizacije koja je postignuta komponentama i metodama pomenutim u prethodnim poglavljima, pre svega je izvršena analiza koda i provera njegove ispravnosti u softveru ModelSim. Kako bi se pokrenula simulacija u programu, osim datoteka koje opisuju ponašanje kola, potrebno je i napisati testbench datoteku koja će simulirati ulaze kola, i na osnovu datog opisa, dati odgovarajuće izlaze. Sa slike 9 vidi se da su implementirani signali koji se povezuju na ulaze/izlaze glavne komponente *Read_module*, kao i da je uvedena naredba kojom se simulira ponašanje taktnog signala, odnosno proces kojim se oponaša impuls na *Echo* ulazu u trajanju od 8970 ns. Treba napomenuti da su nanosekunde iskorišćene samo radi efikasnije simulacije, a da su u praktičnoj realizaciji iskorišćene mikrosekunde (frekvencija 1MHz).

Na slici 10 prikazan je rad glavnog kola u skladu sa datim ulazima iz testbench-a. Prvobitno se pojavljuje impuls na *Trigger* izlazu dovoljno dugog trajanja da pokrene rad kola. Kao posledica, na senzoru javlja se *Echo* impuls koji traje do poziije označene žutom linijom na slici 10. Ukoliko se posmatra signal "trenutno" koji opisuje stanje u kome je glavni automat, primetiće se dva relativno kratka stanja između *Echo* i *Transmit*. U pitanju su stanja ASCII i Cifre u kojima se izvršava adekvatna konverzija podataka. Takođe se vidi da je rastojanje izračunato na 77 cm, odakle se dobija da je cifra stotina jednaka nuli, odnosno da su cifre desetice i jedinice jednake sedmici. Ovim podacima puni se registar *r_ascii_data_buff* koji služi za kasniji prenos. Dalje se uočava niz podataka predstavljenih u heksadecimalnom kodu (signal *r_ascii_data*) koji se zapravo šalju na virtuelni port, počev od 52 (simbol "R") i završavajući se sa 0D (simbol za novi red).

Neposredno pre zadnjeg poslatog karaktera uočava se prenos po redu: 00, 37, 37. Ovaj niz karaktera predstavlja podatke iz pomenutog *r_ascii_data_buff* registra i predstavlja broj 77 na serijskom portu.

Nakon poslednjeg prosleđenog karaktera primećuje se pad *signala r_data_avail* na logičku nulu, čime se prekida rad UART_Tx modula sve do sledećeg prelaska u stanje *Transmit*. Takođe, na desnoj strani slike 9, pri završetku prenosa podataka ponovo se prelazi u *Trigger* stanje, što je potvrđeno ponovnim impulsom na istoimenom izlaznom pinu. Signal direktno iznad, *o_active* je indikatorske prirode, odnosno pokazuje kada je sistem aktivan. Mapiran je na LE diodu na ploči kao potvrda ispravnog rada. Za kraj, ne treba zaboraviti na signale *r_reset* i *r_done* koji igraju ključnu ulogu u pravilnoj transmisiji podataka. Naime, *r_done* služi kao indikator završenog prenosa podataka, i kao takav se koristi za logiku reseta sistema. Sam reset se dešava pri kratkom impulsu signala *r_reset* koji nastupa kada zasebni brojač *r_done_count* stigne do vrednosti 20.

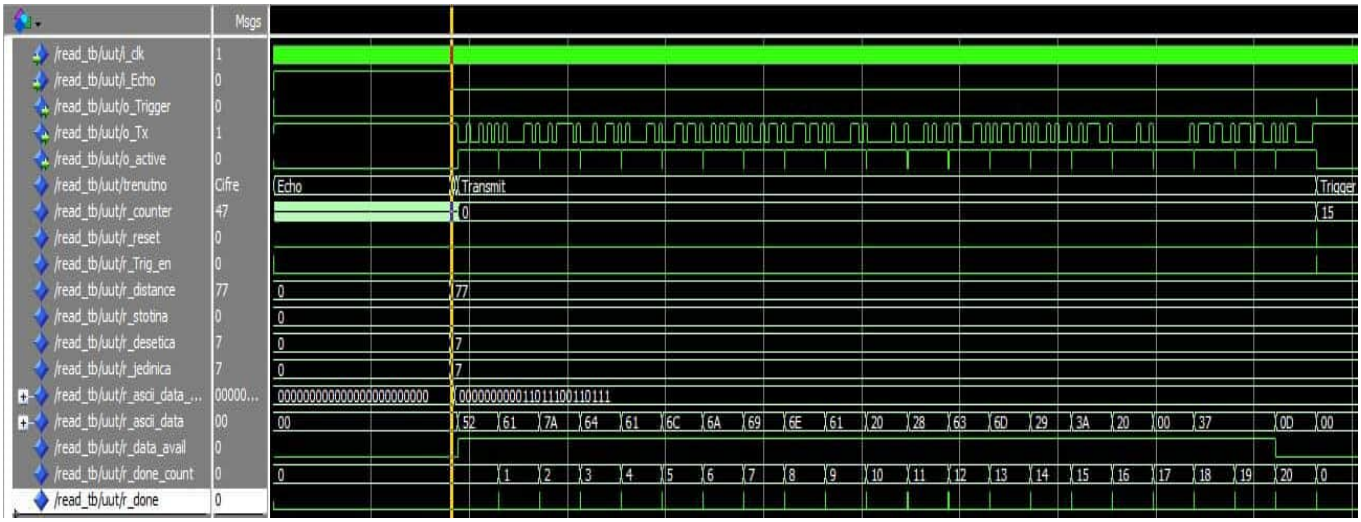
```
1   library ieee;
2   use ieee.std_logic_1164.all;
3   use ieee.numeric_std.all;
4
5   entity Read_tb is
6   end entity;
7
8   architecture tb of Read_tb is
9       signal w_clk : std_logic := '0';
10      signal i_Echo : std_logic := '0';
11      signal o_Trigger : std_logic;
12      signal o_Tx : std_logic;
13      signal o_active : std_logic;
14  begin
15      uut: entity work.Read_module
16      port map
17      (
18          i_clk => w_clk,
19          i_Echo => i_Echo,
20          o_Trigger => o_Trigger,
21          o_Tx => o_Tx,
22          o_active => o_active
23      );
24
25      w_clk <= not w_clk after 1 ns;
26
27      process
28      begin
29          wait for 30 ns;
30          i_Echo <= '1';
31          wait for 9000 ns;
32          i_Echo <= '0';
33          wait;
34      end process;
35  end tb;
```

Slika 9. Prikaz testbench-a.

V. ZAKLJUČAK

Projekat realizovan na FPGA ploči je efikasan što se tiče vremenskih karakteristika, odnosno brzine obrade podataka zbog svoje paralelne prirode, i kao takav predstavlja unapređenje u odnosu na isti projekat realizovan na mikrokontroleru. Alat Vivado-a, "Synthesized design", može služiti kao osnova za realizaciju kola na štampanoj ploči ukoliko postoji potreba za tim.

Unapređenje samog dizajna leži u potencijalnoj optimizaciji koda tako da najbolje moguće iskoristi resurse koje okruženje nudi. Primer toga bio bi deljenje brojeva u kodu, koje se mnogo efikasnije postiže puštanjem brojeva kroz posebno napisan modul. Dalje, kako projekat koristi UART, moguće je uspostaviti komunikaciju računar - ploča, gde bi se pritiskom nekog dugmeta, na primer R, zaustavilo očitavanje. Ovo bi zahtevalo pisanje dodatnog modula UART_Rx koji bi se implementirao na ploču, i koji bi primao podatke od računara.



Slika 10. Rezultat simulacije glavnog modula.

LITERATURA

[1] UART protokol. Dostupno na: https://www.rohde-schwarz.com/ae/products/test-and-measurement/essentials-test-equipment/digital-oscilloscopes/understanding-uart_254524.html

[2] ASCII standard. Dostupno na: https://fastbitlab.com/ascii-code/

[3] DIGILENT - Zybo Z7 Board Rederence Manual. Dostupno na: https://digilent.com/reference/programmable-logic/zybo-z7/start

[4] Sparkfun - Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. Dostupno na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

[5] FTDI - FTDI232R USB IC Datasheet. Dostupno na: chrome-extension://kdpelmjpfafjppnhbloffcjpeomlnpah/https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/FT232R_v104.pdf

[6] Russel Merrick, „Getting started with FPGAs", No Starch Press, 2023.

[7] Hhp3 - Verilog, FPGA, Serial Com : Overview + Example. Dostupno na: https://www.youtube.com/watch?v=Wsou_zhCEYQ&t=2559s

[8] Kod projekta: https://github.com/milos1502/Measuring-and-displaying-distance-using-an-FPGA

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.299P
Original scientific paper

Unapređenje dizajna kratkotalasne amaterske radio-stanice za prenos glasa i digitalnih signala

Mihajlo Petković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Univerzitet u Nišu. Elektronski fakultet
Niš, Srbija
mihajlo.petkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Sadržaj **— U ovom radu predstavljen je unapređen dizajn amaterske radio-stanice za prenos glasa i digitalnih signala na 40 m radio-amaterskom opsegu (7,0-7,2 MHz) male izlazne snage primenom pristupačnijih komponenata. Glavni cilj rada je omogućiti mladim radio-amaterima laku izradu svoje prve kratkotalasne amaterske radio-stanice i upoznati ih sa konstruktorskim aspektom hobija.**

Ključne reči – radio-amaterizam, radio-stanica, kratki talasi, digitalni signali, SSB.

I. Uvod

Radio-amaterizam predstavlja pokret i hobi koji je počeo da se razvija krajem 19. i 20. veka otkrićem radio-talasa i telegrafije. Radio-amateri (RA) prolaze obuku za upotrebu primopredajnih amaterskih radio-stanica (ARS) i polaganjem stiču ovlašćenje za rad sa istih, kao i jedinstveni pozivni znak koji služi za identifikaciju prilikom komunikacije radio-talasima. Pozivni znak autora je YU4MPI. Hobiju pripadaju razne discipline od kojih su neke: samogradnja/konstruktorstvo ARS i propratne opreme (o čemu će ovde biti reči), radio-goniometrija, održavanje kontakata/veza, rad iz prirode, organizovanje ekspedicija na udaljena mesta i rad sa njih.

Razvojem digitalnih integrisanih kola i padom cena opreme, danas je mladim RA vrlo pristupačna kupovina ručnih ARS koje rade na ultrakratko-talasnom (UKT) području (30-3000 MHz) u vrednosti od par desetina evra i moguće je njima ostvariti lokalne veze, najčešće unutar istog grada. Nasuprot, oprema za rad na kratkim talasima (KT) u opsegu 3-30 MHz, na kojima je moguće uspostaviti međukontinentalne veze glasovnom komunikacijom ili razmenom digitalnih signala pomoću računara, i dalje je vrlo skupa, reda par stotina i hiljada evra, zbog čega mladi RA odustaju od rada na ovom vrlo zanimljivom opsegu i opada im interesovanje za hobi.

Motivacija autora za pisanje ovoga rada bilo je poboljšanje postojeće topologije i dizajna ARS na opsegu 7,0-7,2 MHz, poznatom kao 40 m opseg zbog talasne dužine, radi omogućavanja lake izrade KT ARS mladim radio-amaterima i upoznavanje sa konstruktorskim aspektom hobija.

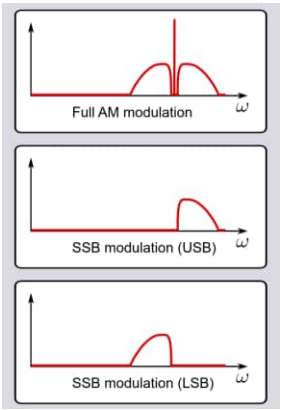
II. Prenos glasa analognim metodama

A. Single-sideband modulacija

Prenos glasa analognim metodama istorijski je počeo od amplitudne modulacije (AM), pri čemu se glasovna informacija nalazi u amplitudi signala nosioca. Prve komercijalne radio-difuzne stanice koristile su ovaj vid modulacije jer je lako bilo dizajnirati modulator primenom elektronskih cevi, kao i demodulator primenom elektronskih cevi ili prvih germanijumskih dioda. Ovaj vid prenosa glasovne informacije imao je nekoliko mana: mala otpornost na smetnje usled električnih pražnjenja u atmosferi, malu iskorišćenost izlazne snage iz predajnika, kao i veliku širinu frekventnog opsega.

Otpornost na šum radio-difuznih stanica znatno je poboljšan prelaskom na frekventnu modulaciju (FM) i više frekventne opsege, ali je problem iskorišćenosti izlazne snage predajnika i frekventnog opsega i dalje bio nerešen.

Naime, amplitudna modulacija sastoji se od signala nosioca i dva bočna opsega, prikazanih na slici 1 [1].



Slika 1. Prikaz spektra najčešće korišćenih modulacija.

Problem iskorišćenja snage sastoji se iz dva dela:

1. signal nosioca koristi 2/3 izlazne snage sa predajnika pri 100% stepenu modulacije, zavisi od stepena modulacije, dok se samo 1/3 snage sadrži u bočnim opsezima, [2]
2. bočni opsezi su identični, spektralno preslikani i svaki nosi istu informaciju.

Kada bi nosilac i jedan bočni opseg bio uklonjen, frekventni opseg signala bio bi duplo manji, a značajnim smanjenjem snage mogao bi odnos signal-šum (SNR) ostati isti i bilo bi moguće uspešno izvršiti demodulaciju na udaljenom prijemniku bez gubitka informacije. Ova vrsta modulacije naziva se *single-sideband* (SSB) modulacija.

SSB modulacija pored brojnih prednosti ima i jednu manu – uklanjanjem nosećeg signala moguće je opadanje tačnosti reprodukovanih frekvencija na prijemniku, usled malih razlika frekvencija prijemne i predajne strane što se odražava promenom visine glasa sagovornika, ali to ne utiče na samu razumljivost, tako da je ova vrsta modulacije našla široku primenu u RA hobiju i vojsci.

Moguće je selektivno ukloniti frekventno viši („gornji“) ili niži („donji“) poluopseg. Tako je izvršena podela SSB modulacije na *upper-sideband* (USB) i *lower-sideband* (LSB). Dogovorom je utvrđeno da se u RA hobiju ispod 10 MHz koristi LSB, a iznad USB modulacija. Unapređen dizajn ARS radi na 7 MHz opsegu i koristi LSB modulaciju.

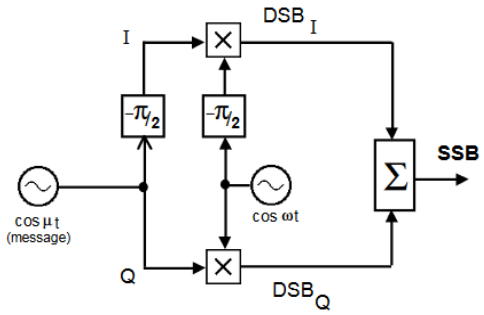
B. *Dobijanje SSB modulacije analognim putem*

Postoje tri glavne metode dobijanja SSB modulacije analognim putem i potiskivanje neželjnog poluopsega:

1. filtriranjem nepoželjnog poluopsega,
2. faznim pomerajem i mešanjem,
3. Viverova metoda.

Prvi metod je u prvoj polovini 20. veka bilo teško realizovati jer je neophodan pojasno-propusni filtar oštrih ivica na odabranoj međufrekvenciji (IF). Takav filtar nije postojao do druge polovine 20. veka kada su kristalni oscilatori i filtri postali jeftini.

Druga metoda (slika 2) primenjivana je u prvoj polovini 20. veka jer nije zahtevala nikakve filtre oštrih ivica i nije bilo potrebno koristiti međufrekvenciju [3]. Ova metoda zahteva deljenje izlaza lokalnog oscilatora i audio stepena na dva signala, jedan bez faznog pomaka, a drugi sa faznim pomakom od 90°. Mešanjem i sabiranjem dobijamo USB, dok mešanjem i oduzimanjem ova dva signala dobijamo LSB modulaciju. Stepen potiskivanja nepoželjnog poluopsega zavisiće od tačnosti faznog pomaka ovih signala.



Slika 2. Blok dijagram generacije SSB signala.

Treća, Viverova metoda, slična je drugoj metodi, ali zahteva više komponenti i složenije kolo što prosečnom mladom RA nije dostupno i o njoj neće biti reči.

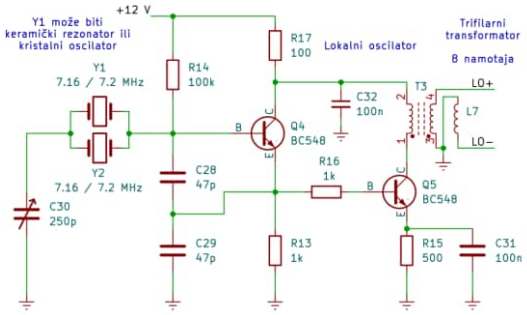
Odlučeno je da dizajn upotrebi drugu metodu generacije SSB signala jer ne zahteva kristalne filtre višeg reda i sadrži manji broj komponenata. Ove filtre teže je realizovati jer je neophodno izmeriti rezonantne frekvencije velikog broja kristala i odabrati određen broj uparenih. Sam proces zahteva skupu mernu opremu i nabavku velikog uzorka kristalnih oscilatora za merenje koji neće biti iskorišćeni u konstrukciji, povećavajući cenu same stanice.

III. Opis šeme ARS

ARS prikazana u ovom tekstu pripada grupi stanica direktne konverzije. To znači da ne zahteva međufrekvenciju za modulaciju, filtriranje i procesiranje signala, već se ove funkcije odvijaju na izlaznoj frekvenciji ARS primenom jedinstvenog mešača. Originalnu verziju šeme dizajnirao je Australijanac RA Peter Parker (VK3YE) i prikazao je na svom YouTube kanalu [4], a koristio je kolo za fazni pomak zvuka i nosioca koju je konstruisao Poljak RA Andrzej Janeczek (SP5AHT). Kolo je dizajnirano da se napaja olovnim akumulatorom od 12 V, tipično za ARS.

Kada je izrađen originalni dizajn, uočeni su određeni problemi. Problemi kao i rešenja u modifikovanoj verziji šeme biće opisani u ovom odeljku strukturno prema funkcionalnim blokovima koji čine električno kolo.

A. *Lokalni oscilator*



Slika 3. Šematski prikaz lokalnog oscilatora.

Lokalni oscilator (LO), prikazan na slici 3, deo je svake radio-stanice i ima više namena u zavisnosti od topologije kola. Pošto opisana ARS vrši direktnu konverziju, LO vrši povećanje frekvencije ulaznog audio signala sa mikrofona kada je stanica u predaji, a smanjenje frekvencije primljenog signala sa antene i konverziju u audio signal koji se dovodi na zvučnik kada je u funkciji prijema.

Lokalni oscilator koristi dobro poznate BC548 bipolarne tranzistore (BJT) sa prelaznom frekvencijom f_T = 300 MHz prema tehničkoj specifikaciji [5]. Visoka prelazna frekvencija obezbediće dobro pojačanje na 7 MHz amaterskom radio-opsegu za koji je ova stanica dizajnirana. Sastoji se od kristalnog oscilatornog kola u topologiji zajedničkog emitora (tranzistor Q_4), kao i naponskog bafera (tranzistor Q_5). Neophodno je korišćenje naponskog bafera da ne bi balansni diodni mešač, na koji se signal sa LO dovodi, opteretio oscilatorno kolo i suzbio oscilacije.

Moguća je upotreba kristalnog oscilatora, kao i keramičkog oscilatora. Keramički oscilatori obezbeđuju širi frekventni opseg, par desetina kiloherca, ali smanjenu stabilnost. Kristalni oscilatori su frekventno stabilniji, ali možemo im redno vezanim promenljivim kondenzatorom menjati frekvenciju samo par kiloherca. Kristalne oscilatore ove frekvencije je lakše naći od keramičkih, i zato su korišćeni u praktičnoj realizaciji. Potrebno je vezati paralelno dva kristalna oscilatora frekvencije 7,16 MHz ili 7,2 MHz. Ovakav način vezivanja obezbediće veći frekventni opseg ARS u odnosu na primenu samo jednog. Ako se koriste keramički rezonatori, potrebno je koristiti samo jedan.

Transformator T_3 ima dvojaku ulogu: da podigne naponski nivo i promeni karakterističnu impedansu (odnos transformacije 1:4), kao i da nebalansirani signal pretvori u balansirani koji je neophodan za ispravan rad duplo balansiranog prekidačkog diodnog mešača. Specijalni transformatori ovog tipa nose ime balun.

Nebalansirani signal je signal čija je naponska referenca uzemljenje, odnosno masa. Jedan vod prenosi signal, dok je drugi referentni na nultom potencijalu. Primer je koaksijalni vod. Balansirani signal prenosi se pomoću dva voda koji su mehanički upredeni i signali na njima su u protiv-fazi. Referentni potencijal nalazi se na sredini ova dva naponska nivoa, odnosno nalazi se na središnjem izvodu transformatora. Odlikuje se većom otpornošću na neželjni unos smetnji iz okoline, a primer su upredene telefonske parice i CAT-6 kabl za žičanu internet vezu.

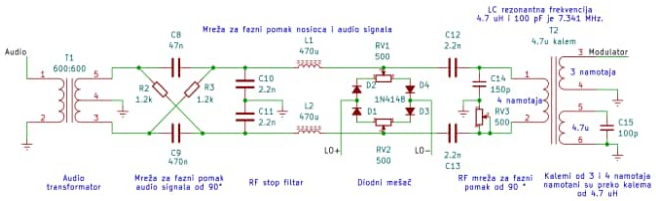
Sam transformator zove se trifilarni jer koristi tri lak žice i odlikuje se specijalnim načinom vezivanja. Debljina žice nije kritična, korišćena je lak žica prečnika 0.3 mm. Neophodno ih je upresti međusobno (slično upredenim telefonskim paricama) tako da hod zavojnice bude na svakih 4-5 mm. Za ovu namenu je odlična akumulatorska bušilica gde je lako kontrolisati brzinu obrtanja, i u realizaciji je upotrebljena, ali je proces moguće odraditi i ručno sa smanjenom preciznošću. Upredanjem žica povećava se koeficijent sprege među namotajima, formira se dvožični prenosni vod i povećava se frekventni odziv transformatora. Transformator namotati na feritno jezgro u obliku torusa napravljeno od feritnog materijala 43 (primer jezgro FT50-43), dobro poznato među radio-amaterima zbog dobrog KT frekventnog odziva, ali je moguće transformator namotati na jezgro dobijeno rastavljanjem neispravnih elektronskih prigušnica za fluorescentne svetiljke ili iz neispravnih kompaktnih fluorescentnih sijalica (CFL), i tako ih reciklirati. To je u praktičnoj izradi i učinjeno. Namotati 8 namotaja ovim postupkom upredenom žicom. Jednu žicu koristiti kao primarni namotaj, druge dve kao sekundarni namotaj. Kraj druge žice povezati sa početkom treće žice i spojiti na masu. Izvode sekundarnog namotaja dovesti na diodni mešač. Šema prikazuje kako pravilno povezati namotaje.

Originalna šema za naponski bafer koristi MPF102 JFET koji je dosta skuplji, ali za ovu namenu nije neophodno koristiti JFET jer kolo BJT naponskog bafera prikazano na slici ima dovoljno veliku ulaznu impedansu da ne remeti rad prethodnog stepena, kao i da prethodni stepen ima dovoljno malu izlaznu impedansu na koju naredni BJT stepen neće uticati. Urađen je redizajn ovog dela kola i realizovan je u bipolarnoj tehnologiji.

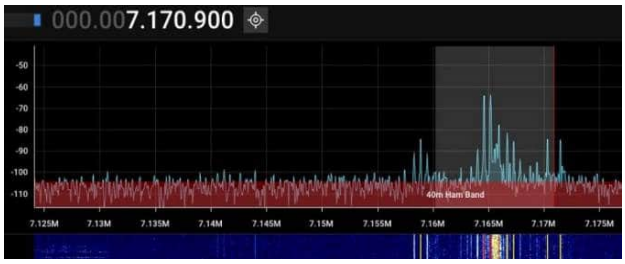
B. Mreža za fazni pomak audio signala, nosioca, modulator/demodulator

Prema drugoj metodi SSB modulacije i potiskivanje neželjnog poluopsega, neophodna je primena mreže za fazni pomak. Korišćena je mreža koju je dizajnirao RA Andrzej Janeczek (SP5AHT), a prikazana je na slici 4.

Radio-amateri koriste 300-2700 Hz audio opseg za prenos ljudskog glasa i digitalnih signala. Najveći problem koji predstavlja dizajniranje mreže za fazni pomak je napraviti mrežu koja deluje na širok frekventni opseg, skoro na celu dekadu. Ova mreža za fazni pomak sastoji se od četiri komponente, C_8, C_9, R_2 i R_3 i radi na vrlo uskom frekventnom delu audio signala, što je dovoljno za prenos glasa. Stepen potiskivanja USB poluopsega zavisiće od tačnosti faznog pomaka. Merenjem analizatorom spektra, prikazano na slici 5, ustanovljeno je da na frekvenciji 1,5 kHz audio signala potiskivanje iznosi 15 dB.



Slika 4. Šematski prikaz mreže za fazni pomak.



Slika 5. Spektar LSB modulisanog signala.

Izuzetno je važno da kondenzatori C_8 i C_9 budu blok, film ili polipropilenski kondenzatori, nepoželjno keramički jer keramika koja se koristi za izradu dielektrika kondenzatora ima piezoelektrična svojstva i usled vibracija unela bi neželjni šum u kolo. Takođe, bitno je iz većeg uzorka kondenzatora merenjem LC metrom odabrati najpribližnije vrednosti zahtevanoj. Sličan postupak primeniti i na otpornike R_2 i R_3 pomoću ommetra.

Iz većeg uzorka takođe odabrati dva uparena potenciometra vrednosti 500 Ω za primenu u diodnom mešaču. Odstupanje usled tolerancije nije presudno, najbitnije je da otpornosti budu vrlo slične. Autor je merenjem odabrao uparene potenciometre vrednosti 418 Ω i 422 Ω. R_{V1} i R_{V2} koriste se za potiskivanje nosioca i kompenzovanje neidealnosti dioda jer je teško pronaći četiri uparene diode po svojim I-V karakteristikama u obliku diskretnih komponenata. Potiskivanje nosioca i kompenzaciju dioda izvršiti sledećim postupkom. Postupak vršiti u tihoj sobi (ili kratkospojiti izvode mikrofona) i pritisnuti prekidač za predaju, a posmatrati izlaz stanice na nekom od sledećih instrumenata: osciloskopu, analizatoru spektra, meraču polja ili slušati nosilac na nekom kratkotalasnom AM ili SSB radio-prijemniku. Pomerati klizače potenciometra R_{V1} i R_{V2} sve dok se na osciloskopu ili analizatoru spektra ne izgubi nosilac, na SSB prijemniku najslabije čuje ton (idealno neće postojati), AM stanici prestane tišina i pojača zvuk belog šuma, ili na meraču polja najmanje ne skrene kazaljka. Kada se ovo postigne, stati. To znači da je diodni mešač podešen i nosilac ne dolazi do izlaznog stepena i antene.

Dupli balansirani diodni mešač radi na principu poništavanja magnetnog fluksa u namotajima transformatora. Ako su potenciometri dobro podešeni, nosilac iz LO doći će u oba transformatora kao balansirani signal, a pošto su oba voda u protiv-fazi u odnosu na srednji izvod transformatora, magnetni fluks će se poništiti, neće se signal indukovati u

sekundarnom namotaju i neće se izračiti sa antene. Ovaj deo šeme funkcioniše kao modulator.

Potenciometar R_{V3} meriti na ommetru i pomeranjem klizača postaviti vrednost tačno na 500 Ω. Neophodno je odabrati potenciometar koji ima vrednost veću od 500 Ω da bi se pomeranjem klizača mogla smanjiti; u suprotnom se ne može povećati. Kondenzator C_{14} zajedno sa potenciometrom R_{V3} čine mrežu za fazni pomak nosioca.

Transformator T_2 namotan je dodatnim namotajima dvema žicama preko kalema standardne vrednosti 4,7 µH u aksijalnom kućištu. Potrebno je namotati dve dodatne žice, jednom 4 namotaja, drugom 3 namotaja preko kućišta kalema i povezati ih prema uputstvu sa šeme. Kondenzator C_{15} od 100 pF zajedno sa kalemom od 4,7 µH rezonira na 7,341 MHz, blizu radne frekvencije ARS i time povećava koeficijent sprege između kalema i dodatnih namotaja. U ovom transformatoru se odvija sabiranje audio signala sa obih strana dvožičnog voda i delimično potiskuje neželjni USB poluopseg.

Jedina izmena koja je uneta u ovom delu šeme je zamena audio transformatora T_1, koji prema originalnoj šemi treba posedovati neke od sledećih odnosa impedansi:

- 1 kΩ:1 kΩ,
- 1 kΩ:3 kΩ,
- 3 kΩ:3 kΩ ili
- 10 kΩ:3 kΩ.

Autor rada koristio je audio transformator odnosa impedansi 600 Ω:600 Ω koji je eksperimentalno potvrđen da funkcioniše, a dostupan je za kupovinu. On služi kao balun za konverziju nebalansiranog u balansirani audio signal. Samo ako je audio signal u protiv-fazi, funkcionisaće mreža za fazni pomak.

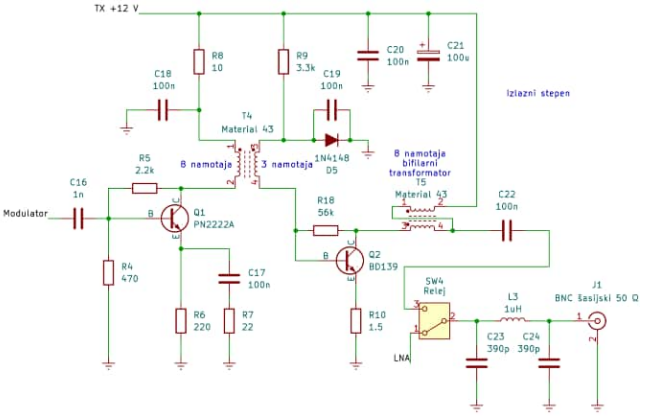
Prednost pasivnih mreža za fazni pomak je taj što signal kroz njih može da putuje u oba smera, od levo na desno, kao i od desno na levo. U predaji signal polazi sa leve strane od mikrofona i kreće se desno ka anteni, dok na prijemu signal putuje u suprotnom smeru ka zvučniku. Na taj način audio signal sa mikrofona meša se sa izlazom iz LO i pretvara u RF signal, dok se RF signal sa antene meša u suprotnom smeru i pretvara u audio signal koji se odvodi na audio pojačavač.

C. Izlazni RF stepen

Izlazni stepen, prikazan na slici 6, predstavljaju dva linearna pojačavača koja zajedno rade da pojačaju signal sa modulatora. Radna tačna tranzistora Q_1 postavljena je da radi kao pojačavač klase A, dok je radna tačka tranzistora Q_2 diodom D_5 postavljena da radi u klasi B. Iako pojačavač u klasi B pojačava samo jednu poluperiodu, primenom niskopropusnog filtra koji čine komponente C_{23}, C_{24} i L_3 uklonjeni su viši harmonici i propušten samo osnovni na radnoj frekvenciji ARS.

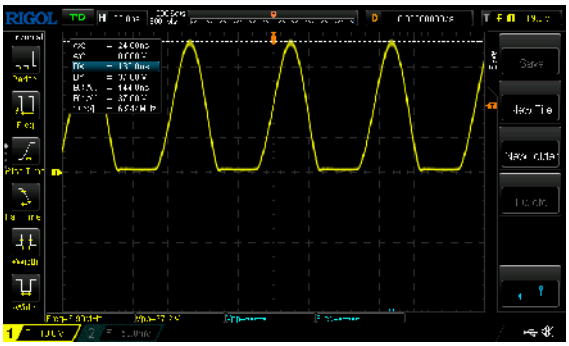
Tranzistor Q_1 je PN2222A koji ima prelaznu frekvenciju f_T = 300 MHz i može kroz kolektor da provodi struju do 1 A [6]. Promena koja je uneta kod tranzistora Q_1 je izmena tranzistora 2N2222A, sa metalnim kućištem koji je originalna šema primenjivala, tranzistorom PN2222A koji ima plastično kućište; ne greje se i jeftiniji je.

Tranzistor Q_2 čini poznati BD139 tranzistor, često korišćen u audio-tehnici, ali se eksperimentalno pokazao upotrebljivim za pojačavanje RF signala u izlaznom stepenu. Neophodno je da poseduje odgovarajući hladnjak i prilikom montaže treba postaviti izolator od silikona ili liskuna. Dobro provode toplotu, ali stvaraju električnu barijeru što smanjuje kapacitivnost kolektora prema masi, usled električne veze kolektora i hladnjaka unutar SOT-32 kućišta tranzistora.



Slika 6. Šematski prikaz izlaznog RF stepena.

Pri izradi ovog dela, primećeno je da signal na kolektoru tranzistora Q_2 osciluje kada stanica nije u režimu predaje, prikazano na slici 7. Napon na kolektoru tranzistora dostizao je 50 V u pojedinim trenucima.

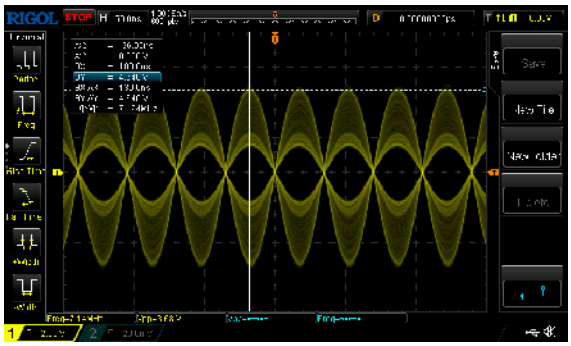


Slika 7. Izgled signala samooscilacija merenih na kolektoru Q_2.

Trebalo je odrediti da li su oscilacije izazvane tranzistorom Q_1 ili Q_2 tako što se selektivno zakoči jedan tranzistor i posmatra da li se oscilacije i dalje odvijaju, a zatim postupak ponovi drugim tranzistorom. Može se zakočiti tranzistor na dva načina: prekidanjem napajanja ili kratkospajanjem baze i emitora. Kratkospajanje je lakše realizovati nego odlemljivanje zalemljenih kolektora. Otpornici naponskog razdelnika mogu da izdrže dodatnu struju izazvanu ovom metodom. Kada je utvrđeno da osciluje tranzistor Q_2, eksperimentalno dodati su otpornici raznih vrednosti između kolektora i baze koji stvaranjem male negativne povratne sprege suzbijaju oscilacije. Dodavanjem otpornika 10 kΩ nestale su oscilacije, ali se tranzistor dodatno grejao, dok dodavanjem otpornika od 100 kΩ oscilacije su se i dalje odvijale. Sledeće je isproban otpornik od 56 kΩ. Oscilacije su nestale, a tranzistor se nije dodatno grejao. On je odabran kao otpornik R_{18} na šemi. Otpornosti reda par desetina kilooma ne izazivaju primetan pad izlazne snage, ali imaju dovoljnu vrednost da zaustave oscilovanje. Tako je izlazni stepen stabilisan.

Izlazni stepen daje 0,2 W snage kada je signal na ulazu stanice u amplitudnom položaju i zavisi od jačine ulaznog signala, odnosno jačine audio signala sa mikrofona. Ovaj način definisanja maksimalne izlazne snage u amplitudnom položaju naziva se *peak envelope power* (PEP). Na slici 8

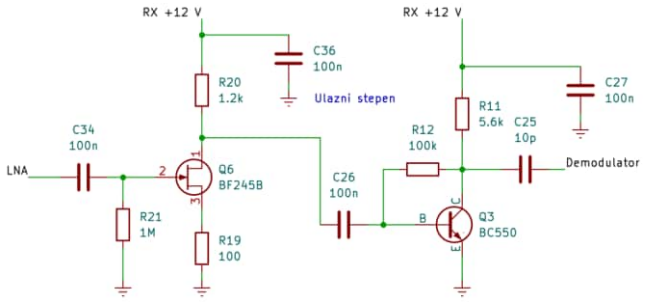
prikazan je izlazni signal ARS meren na BNC konektoru sa priključenim opterećenjem od 50 Ω.



Slika 8. Izgled izlaznog signala merenog na BNC konektoru sa primenjenim opterećenjem od 50 Ω.

Transformatori T_4 i T_5 služe za prilagođenje impedanse stepena, a koriste jezgra pomenuta u odeljku posvećenom lokalnom oscilatoru. Transformator T_5 je bifilarni autotransformator, mota se upredanjem dveju žica prema već navedenom principu i povezivanjem prema načinu prikazanom na šemi.

D. Ulazni RF stepen



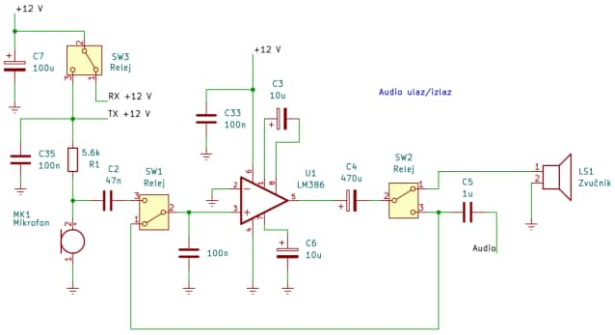
Slika 9. Šematski prikaz ulaznog RF stepena.

Ulazni RF stepen, prikazan na slici 9, originalno činio je samo tranzistor Q_3 koji je bio BC548. Ovde je izvršena još jedna izmena. BC548 zamenjen je tranzistorom BC550 koji je ekvivalentan po svim karakteristikama, ali manjim generisanim šumom. Uneti šum tranzistora BC548 kreće se u opsegu 2-10 dB, dok se kod BC550 kreće u granicama 1,2-4 dB. Vrlo je bitno da ulazni stepen radio-stanica čini niskošumni pojačavač, a od posebne važnosti je prvi ulazni stepen na ukupnu količinu šuma u sistemu.

Originalan dizajn sadržao je samo jedan ulazni stepen realizovan u BJT tehnologiji. Odlučeno je da taj stepen bude zadržan sa promenom da radi kao drugi, dok će prvi ulazni biti JFET i to primenom BF245B tranzistora. JFET poznati su da unose manje šuma od bipolarnih tranzistora, što je kritičan zahtev za prvi pojačavački stepen. Prema tehničkoj specifikaciji ovaj tranzistor unosi 1,5 dB šuma na velikom frekventnom opsegu, čak i na UKT delu [7]. Još jedna vrlo važna karakteristika JFET tranzistora je da imaju izuzetno veliku ulaznu impedansu mereno sa baze, zahvaljujući inverznoj polarizaciji unutrašnjeg PN spoja, što predstavlja vrlo bitan kriterijum pojačavača malih signala.

JFET kolo projektovano je da propušta oko 3-3,5 mA struje sa dozvoljenim odstupanjima u skladu sa širim opsegom tolerancije same tehnologije tranzistora. Moguće je podesiti struju primenom potenciometra umesto otpornika R_{20} i miliampermetra na tačno definisanu vrednost, ali nije neophodno.

E. Audio stepen



Slika 10. Šematski prikaz audio stepena.

Audio stepen, prikazan na slici 10, sastoji se od LM386 integrisanog kola namenjenog za pojačavanje zvuka za napajanje zvučnika. U ovoj šemi kolo se koristi za pojačavanje signala sa mikrofona, pri čemu je izlaz povezan na modulator kada se vrši radio-predaja sa stanice, dok u režimu prijema integrisano kolo pojačava signale sa demodulatora i napaja zvučnik.

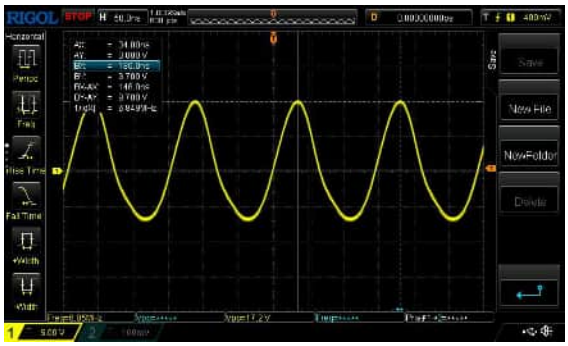
U ovom delu unet je manji broj izmena. Dodati su C_{33} i C_{35} *decoupling* kondenzatori, promenjen C_4, koji je originalno bio 220 µF elektrolitskim kondenzatorom vrednosti 470 µF, kao i C_5 od originalnih 47 nF na 1 µF. Zamenom C_4 i C_5 poboljšan je frekventni odziv audio stepena na nižim učestanostima.

F. Releji

Releji su korišćeni u šemi za promenu topologije kola ARS da bi se vršila radio-predaja i radio-prijem. Moraju posedovati kvalitetne kontakte, idealno pozlaćene. U praksi se pokazalo da posrebreni kontakti mogu zadovoljavajuće da funkcionišu. U realizaciji primenjeni su Omron G5LE-1 releji sa kontaktima od legure srebra, srebro-kalaj-oksid ($AgSnO_2$) [8]. Svi releji su jednopolni sa dvostrukim kontaktima (SPDT) i vezani su paralelno, a antiparalelno njima je vezana 1N4007 *flyback* dioda koja štiti kolo od kontraelektromotorne sile indukovane prekidom dotoka struje u kalemima. Kada ne teče struja kroz kaleme releja, ARS vrši demodulaciju signala. Kada teče struja, stanica vrši modulaciju i predaju. Releji su kontrolisani redno vezanim tasterom.

U originalnoj šemi ulazni i izlazni stepen uvek su napajani tokom rada kola. Prilikom prijema kolo je funkcionisalo nominalno, dok je prilikom predaje signal na izlazu filtra bio izobličen i sadržao je više harmonike, slika 11.

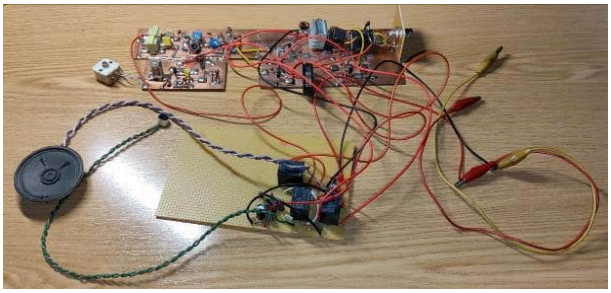
Gašenjem ulaznog stepena ustanovljeno je da dolazi do regeneracije signala usled male pozitivne povratne sprege: signal na izlazu kroz relej SW_4 usled parazitne kapacitivnosti dolazi do ulaznog stepena, pojačava se i preko transformatora T_2 vraća na ulaz izlaznog stepena u fazi. Ovaj problem rešen je selektivnim isključivanjem ulaznog stepena kada se stanica nalazi u režimu predaje, kao i isključivanjem izlaznog stepena kada ARS vrši prijem, a ujedno je smanjena i statička potrošnja kola.



Slika 11. Izgled izobličenog izlaznog signala originalne šeme usled regeneracije signala unutar releja.

IV. Stil konstrukcije – Menhetn stil

Odabrano je da prototip ARS bude napravljen u Menhetn stilu konstrukcije, slika 12. Ovaj stil odlikuje se korišćenjem pertinaks i vitroplast ploča sa nanetim bakarnim slojem, najčešće korišćenih za izradu štampanih ploča. Pomoću makaza za sečenje metala oblikujemo mala bakarna ostrva veličine 5-10 mm koja se cijanoakrilatnim (super) lepkom nanose i lepe na veću bakarnu ploču – podlogu koja se električno nalazi na masi. Zalepljena ostrva čine čvorove u kolu. Komponente se leme između ostrva. Ovaj stil konstrukcije vrlo je čest među radio-amaterima jer omogućava lake izmene na šemi i prototipu, dodavanje ili skidanje ostrva i komponenata radi testiranja.



Slika 12. Praktična realizacija električnog kola.

V. Zaključak

U ovom radu predstavljena je poboljšana verzija originalnog dizajna KT ARS. Prikazano je kako se mogu izmenom i dodavanjem već opisanih komponenti dobiti bolje karakteristike u radu električnog kola, kao i smanjiti ukupna cena određenih funkcionalnih delova stanice.

Primenom keramičkih rezonatora moguće je povećati frekventni opseg, što nije predstavljeno u radu. U planu je izmena lokalnog oscilatora komercijalnim modulom Si5351 za generisanje signala za mešanje i proširenje frekventnog opsega na ceo RA opseg, kao i dodavanje mikrokontrolera što će omogućiti stvaranje grafičkog korisničkog interfejsa (GUI) primenom displej modula.

Dizajniranjem bolje mreže za fazni pomak audio signala, kao i propusnog filtra u oblasti 300-2700 Hz, moguće je postići bolje potiskivanje USB poluopsega, ali dovodi do rasta cene i kompleksnosti same ARS.

Dalji planovi uključuju dodavanje dodatnog pojačavača snage realizovanog pomoću IRF510 NMOS prekidačkih tranzistora što će povećati izlaznu snagu na par desetina vati.

Takođe, planirana je izrada štampane ploče koja će biti besplatno dostupna na internet stranici autora u budućnosti i omogućiti lakšu konstrukciju opisanog projekta, a ujedno smanjiti uticaj parazitnih elemenata u kolu [9].

Zahvalnica

Zahvaljujem se docentu Milošu Marjanoviću i profesorki Emiliji Živanović na korisnim sugestijama prilikom pisanja rada i stručnih saveta.

Zahvaljujem se članovima radio-kluba „Nikola Tesla YU1DGH“ u Nišu za obezbeđivanje feritnih jezgara za izradu baluna, kao i saveta prilikom konstrukcije.

Literatura

[1] Spinningspark, „SSB bandform,” Wikimedia Commons, 14. novembar 2009. [Online]. Dostupno na: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SSB_bandform.svg. [Pristupljeno 17.10.2024.]

[2] Nasser M. Abbasi, „Power Efficiency of Amplitude Modulation,“ Wolfram Demonstration project, 2. septembar 2009. [Online]. Dostupno na: https://demonstrations.wolfram.com/PowerEfficiencyOfAmplitudeModulation/. [Pristupljeno 17.10.2024.]

[3] Tim Hooper, „SSB generation – phasing method,” u „Communication Systems Modelling with TIMS,“ Vol. A1, str. 87.

[4] Peter Parker, „Ultra-Simple 7 MHz Phasing SSB Transceiver,“ 13 septembar 2015. [Online]. Dostupno na: https://www.youtube.com/watch?v=wx8_RroSswE. [Pristupljeno 17.10.2024.]

[5] Fairchild, „BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 — NPN Epitaxial Silicon Transistor“ [Online]. Dostupno na: https://www.mouser.com/datasheet/2/149/BC547-190204.pdf. [Pristupljeno 17.10.2024.]

[6] Fairchild, „PN2222A — NPN General-Purpose Amplifier“ [Online]. Dostupno na: https://www.mouser.com/ds/2/149/PN2222A-889968.pdf. [Pristupljeno 17.10.2024.]

[7] NXP Semiconductors, „BF245A; BF245B; BF245C N-channel silicon field-effect transistors,“ [Online]. Dostupno na: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/BF245A-B-C.pdf. [Pristupljeno 17.10.2024.]

[8] Omron, „G5LE PCB Power Relay” [Online]. Dostupno na: https://omronfs.omron.com/en_US/ecb/products/pdf/en-g5le.pdf. [Pristupljeno 17.10.2024.]

[9] Mihajlo Petković, „MihajloPi’s blog – YU4MPI“ [Online]. Dostupno na: https://blog.voxgalactica.com

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.305S
Original scientific paper

Projektovanje sistema za prikaz fotografija korišćenjem ST7735 TFT displeja

Veljko Stošić
Katedra za Mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
stosicveljko001@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Ovaj rad se bavi projektovanjem sistema za prikaz fotografija korišćenjem ST7735 TFT displeja sa slotom za SD karticu i platforme Arduino Uno, sa mikrokontrolerom ATmega328P. Rad obuhvata softversku i hardversku realizaciju sistema za prikaz fotografija na ST7735 TFT displeju, uključujući algoritme za učitavanje, konvertovanje i prikaz slika, uz korišćenje optimizovanih tehnika za rad sa SD karticom. Implementacija je prilagođena specifičnom formatu slika kako bi se postigla zadovoljavajuća brzina prikaza bez gubitka kvaliteta. Opisan je proces projektovanja uređaja u programu Altium Designer, gde je pažnja posvećena optimizaciji rasporeda komponenata, minimizaciji smetnji i dizajnu kola za napajanje radi stabilnosti sistema. Kreirani su šematici potrebnih kola i dizajnirana štampana ploča. Na kraju je obrađen proces kreiranja kućišta sistema u programu Solid Edge 2024. Glavni doprinos rada je integracija Arduino Uno mikrokontrolera sa TFT displejem za efikasan prikaz slika u stvarnom vremenu. Korišćenjem pristupačnih komponenata i softverskih rešenja, razvijen je sistem koji može poslužiti kao osnova za slične projekte, dok detaljno projektovanje u Altium Designer-u i dizajn kućišta u Solid Edge 2024 omogućavaju primenu kao kompletan uređaj, sa potencijalom za komercijalizaciju.**

Ključne reči—Arduino Uno, ATmega328P, ST7735 TFT displej, prikaz fotografija, Altium Designer, Solid Edge 2024

I. UVOD

Ideja za ovaj rad nastala je nakon opširnog istraživanja o projektima koji sadrže i softversku i hardversku realizaciju. Omiljene predmete iz poslednje godine studija, Optoelektronika i Projektovanje štampanih ploča sam želeo da spojim sa svojim hobijem, fotografijom.

Glavni cilj ovog rada je projektovanje sistema za prikaz fotografija korišćenjem ST7735 TFT displeja, uz optimizaciju softvera i hardvera kako bi se postigao kvalitetan prikaz slika, a zatim i realizacija štampane ploče koja bi mogla da se koristi kao poseban uređaj. Arduino Uno platforma sa mikrokontrolerom ATmega328P odabrana je zbog svoje jednostavnosti upotrebe, dostupnosti brojnih biblioteka i mogućnosti povezivanja sa gore navedenim TFT displejem. Izabrani TFT displej jednostavan je za korišćenje i poseduje adapter za SD karticu koji ubrzava proces prikazivanja fotografija.

Ovaj rad obuhvata teorijski pregled komponenata i tehnologija koje su korišćene, kao i praktičnu realizaciju sistema, od razvoja softvera i hardvera za obradu i prikaz slika do projektovanja štampane ploče u programu Altium Designer. U završnom delu rada, prikazana su testiranja i evaluacija sistema, sa ciljem da se potvrdi njegova funkcionalnost i potencijal za primenu u realnim projektima.

II. TEORIJSKI PREGLED

ST7735R [1] je drajver za TFT-LCD displejeve namenjen za prikaz grafike. Moguće je direktno povezivanje sa eksternim mikrokontrolerom putem Serial Peripheral Interface (SPI) i različitih paralelnih interfejsa, uključujući 8-bitni, 9-bitni, 16-bitni i 18-bitni. Prikazani podaci mogu se skladištiti u internom RAM-u ($132 * 162 * 18$ bitova), što omogućava rad bez dodatnog spoljnog takta, čime se minimizuje potrošnja energije. Displej podržava dva formata boja. Jedan je „Full Color“ sa 262 hiljade boja (RGB=666 – 6 bitova po boji), a drugi je sa smanjenim brojem boja (8 boja, RGB=111 – 1 bit po boji) u „Idle modu“. Ove karakteristike čine ST7735R pogodnim za širok spektar primena u grafičkim sistemima koji zahtevaju preciznu kontrolu prikaza.

SD (*Secure Digital*) [2] kartice su standardne memorijske kartice koje se koriste u različitim uređajima, uključujući mobilne telefone, kamere i embedded sisteme. Postoje različite vrste SD kartica, kao što su SD (*Small Capacity* – 8 MB do 2 GB), SDHC (*High Capacity* – 4 GB do 32 GB), SDXC (*eXtended Capacity* – 64 GB do 2 TB) i SDUC (*Ultra Capacity*- 4 TB do 128 TB).

Arduino UNO [3] je popularna razvojna platforma namenjena za početnike, ali i za naprednije korisnike koji žele da se upoznaju sa osnovama elektronike i programiranja. Opremljena je poznatim mikrokontrolerom ATmega328P [4] i procesorom ATmega16U2, koji omogućavaju jednostavnu i fleksibilnu primenu u različitim projektima. Arduino UNO R3 predstavlja vodeći proizvod kompanije Arduino, poznat po svojoj širokoj upotrebi u edukaciji, industriji i razvoju različitih elektronskih projekata.

III. PROJEKTOVANJE SISTEMA

Projektovanje sistema za prikaz fotografija korišćenjem ST7735 TFT displeja obuhvata nekoliko ključnih koraka.

Prvo je potrebno povezati ST7735R TFT displej sa Arduino Uno platformom, koristeći odgovarajuće pinove za serijsku komunikaciju i kontrolu. Displej se povezuje sa mikrokontrolerom preko SPI interfejsa, dok se SD kartica koristi za skladištenje i čitanje fotografija u BMP formatu. Softver za konverziju slika u BMP format omogućava pripremu slika za prikaz, a Arduino IDE se koristi za programiranje mikrokontrolera. Fotografije se očitavaju sa SD kartice i prikazuju na displeju.

A. Povezivanje ST7735R TFT displeja sa Arudino Uno platformom

Povezivanje komponenata vrši se uz pomoć tehničkih dokumentacija, strogo prateći instrukcije. U tabeli 1 su prikazana imena pinova displeja koja treba povezati sa pinovima na Arduino Uno pločici. To će omogućiti vezu između mikrokontrolera ATmega328P i ST7735R TFT displeja preko SPI (*Serial Peripheral Interface*) komunikacije.

TABELA I. POVEZIVANJE PINOVA ST7735R TFT DISPLEJ SA ARDUINO UNO PLOČOM

ST7735R TFT displej	Arduino Uno
VCC	5 V
GND	GND
CS	10
RESET	8
A0 / DC	9
SDA	11
SCK	13
LED	3,3 V

Pored povezivanja displeja, potrebno je povezati i SD karticu preko adaptera za SD karticu koji se nalazi na zadnjoj strani displeja i poseduje četiri pina. To je neophodno uraditi kako bi mikrokontroler komunicirao sa SD karticom i očitavao fajlove sa nje. Komunikacija se takođe vrši preko SPI protokola, a u tabeli 2 je prikazano kako bi to povezivanje trebalo da izgleda.

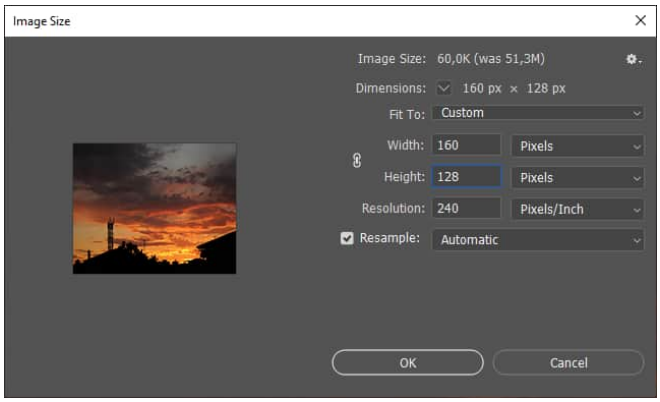
TABELA II. POVEZIVANJE PINOVA SD KARTICE SA ARDUINO UNO PLOČOM

SD kartica	Arduino Uno
CS	4
MOSI	11
MISO	12
SCK	13

B. Konverzija fotografija u BMP format

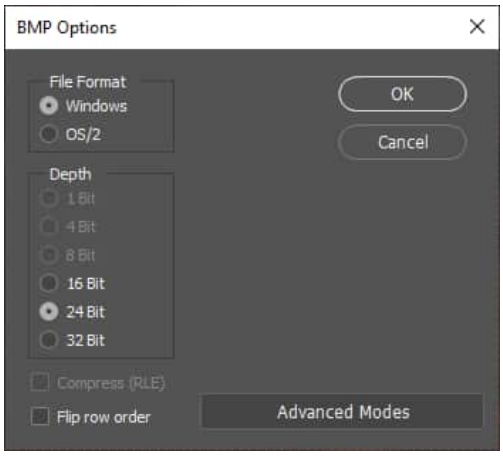
Konverzija fotografija u BMP format je neophodna kako bi se, preko biblioteke iz Arduino IDE programa, prikazale fotografije na ST7735R TFT displeju. Za ovu vrstu konverzije, iz JPEG fotografija u 24-bitne BMP fotografije, korišćen je program Adobe Photoshop [5].

Sve fotografije korišćene u radu su fotografisane fotoaparatom Canon EOS 6D [6] u odnosu širine i visine (*Aspect Ratio*) 3:2, tačnije 5184 piksela širine prema 3456 piksela visine. Zbog toga je bilo potrebno da se promene njihove dimenzije koje odgovaraju korišćenom TFT displeju, odnosno 160 piksela širine prema 128 piksela visine. To je urađeno za sve fotografije preko funkcije: Image→Image Size→Width=160→Height=128→OK, kao što je prikazano na slici 1.



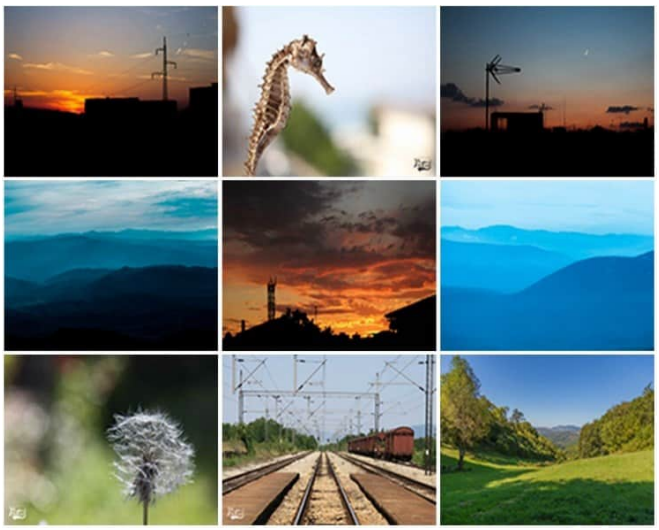
Slika 1. Podešavanje širine i visine u programu Adobe Photoshop.

Nakon što su promenjene dimenzije fotografija potrebno je bilo sačuvati ih u odgovarajućem 24-bitnom BMP formatu što je urađeno na sledeći način: File→Save As..., zatim se iz opadajućeg menija izabere tip BMP, napiše željeno ime fajla i izabere opcija Save. Nakon toga se pojavljuje meni BMP Options gde je potrebno izabrati File Format→Windows i Depth→24 Bit, kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Podešavanje formata i broja bitova BMP.

Na slici 3 su lične fotografije nakon skaliranja na dimenzije TFT displeja i konverzije u BMP format.



Slika 3. Fotografije nakon skaliranja i konverzije u BMP format.

C. *Softverska realizacija*

Na početku ovog koda vrši se uključivanje potrebnih biblioteka kao što su *Adafruit_GFX.h* [7], *Adafruit_ST7735.h* [8], *SPI*.h i *SD.h* pomoću funkcije *#include*. Zatim se definišu pinovi ST7735R TFT displeja potrebni za SPI komunikaciju koristeći funkciju *#define*. Ovi pinovi služe za instanciranje objekta *tft*, klase *Adafruit_ST7735* koji se kasnije koristi za kontrolu displeja.

Unutar *void setup()* funkcije se koristi funkcija *Serial.begin(9600)* za inicijalizaciju serijske komunikacije između Arduino mikrokontrolera i računara. Nakon toga je potrebno izvršiti inicijalizaciju ekrana i SD kartice pomoću funkcija iz prethodno uključenih biblioteka. Za TFT ekran se koristi linija *tft.initR(INITR_BLACKTAB)*, a za SD karticu linija *SD.begin(SD_CS)*. Funkcija *tft.setRotation(1)* se koristi za promenu orijentacije, odnosno rotaciju prikaza na ST7735R TFT displeju. Na ovom ekranu se može prikazivati sadržaj u četiri različite orijentacije: portret (vertikalna orijentacija) i pejzaž (horizontalna orijentacija), u oba smera. Argument funkcije određuje koliko puta treba rotirati prikaz za 90 stepeni. U ovoj situaciji je vrh slike na desnoj strani ekrana. Neke od važnih funckija u ovom kodu su *read16()* i *read32()*. One se koriste za čitanje16-bitnih i 32-bitnih vrednosti iz fajla u binarnom formatu i njihov sadržaj se može videti na slici 4. Ove funkcije su ključne za ispravno tumačenje zaglavlja BMP fajla.

```
112  uint16_t read16(File f) {
113    uint16_t result;
114    ((uint8_t *)&result)[0] = f.read(); // LSB
115    ((uint8_t *)&result)[1] = f.read(); // MSB
116    return result;
117  }
118
119  uint32_t read32(File f) {
120    uint32_t result;
121    ((uint8_t *)&result)[0] = f.read(); // LSB
122    ((uint8_t *)&result)[1] = f.read();
123    ((uint8_t *)&result)[2] = f.read();
124    ((uint8_t *)&result)[3] = f.read(); // MSB
125    return result;
126  }
```

Slika 4. Sadržaj funkcija *read16()* i *read32()*.

Funkcija *read16()* čita dva uzastopna bajta iz fajla i kombinuje ih u 16-bitnu promenljivu *result*. Prvi pročitani bajt se skladišti kao najmanje značajan bajt, a drugi bajt kao najznačajniji bajt. Ova funkcija se koristi za čitanje polja kao što su ispravnost formata ili dubina boja u BMP fajlu.

Funkcija *read32()* čita četiri uzastopna bajta iz fajla i kombinuje ih u 32-bitnu promenljivu *result*. Ova funkcija se koristi za čitanje širine i visine slike u BMP fajlu.

Glavna funkcija ovog programa je *bmpDraw()* jer u njoj imamo očitavanje fotografija sa SD kartice i prikazivanje na ST7735R TFT displeju. Ova funkcija je prikazana je na slici 5.

Ova funkcija započinje otvaranjem BMP fajla sa SD kartice pomoću *SD.open(filename)*. Ukoliko fajl ne može da se otvori, funkcija ispisuje poruku o grešci na Serijskom monitoru. Sledeći korak je provera da li je fajl u BMP formatu. To se postiže čitanjem prva dva bajta fajla korišćenjem funkcije *read16(bmpFile)* i proverom da li ovi bajtovi odgovaraju BMP oznaci *„BM“ (0x4D42)*.

```
42  #define BUFFPIXEL 20
43
44  void bmpDraw(const char *filename, uint8_t x, uint8_t y) {
45    File bmpFile = SD.open(filename);
46    if (!bmpFile) {
47      Serial.println("File not found");
48      return;
49    }
50    // Read and verify BMP header
51    if (read16(bmpFile) == 0x4D42) { // Check for 'BM' signature
52      bmpFile.seek(18); // Skip to width and height
53      int bmpWidth = read32(bmpFile);
54      int bmpHeight = read32(bmpFile);
55      bmpFile.seek(28); // Skip to bit depth
56      uint16_t bmpDepth = read16(bmpFile);
57      if (bmpDepth == 24) { // Check for 24-bit depth
58        bmpFile.seek(10); // Skip to image offset
59        uint32_t bmpImageoffset = read32(bmpFile);
60        bmpFile.seek(bmpImageoffset); // Go to start of image data
61        // BMP rows are padded to 4-byte boundary
62        uint32_t rowSize = (bmpWidth * 3 + 3) & ~3;
63        uint8_t sdbuffer[3 * BUFFPIXEL];
64        uint8_t buffidx = sizeof(sdbuffer);
65        boolean flip = bmpHeight > 0;
66        bmpHeight = abs(bmpHeight);
67        // Set TFT address window
68        tft.setAddrWindow(x, y, x + bmpWidth - 1, y + bmpHeight - 1);
69        unsigned long startTime = millis(); // Initialize startTime
70        for (int row = 0; row < bmpHeight; row++) {
71          uint32_t pos = bmpImageoffset + (flip ? (bmpHeight - 1 - row) : row) * rowSize;
72          if (bmpFile.position() != pos) {
73            bmpFile.seek(pos);
74            buffidx = sizeof(sdbuffer); // Force buffer reload
75          }
76          for (int col = 0; col < bmpWidth; col++) {
77            if (buffidx >= sizeof(sdbuffer)) {
78              bmpFile.read(sdbuffer, sizeof(sdbuffer));
79              buffidx = 0;
80            }
81            uint8_t b = sdbuffer[buffidx++];
82            uint8_t g = sdbuffer[buffidx++];
83            uint8_t r = sdbuffer[buffidx++];
84            tft.pushColor(tft.color565(r, g, b));
85          }
86          // Skip any padding bytes at end of row
87          bmpFile.seek(bmpFile.position() + (rowSize - (bmpWidth * 3)));
88        }
89        Serial.print("Loaded in ");
90        Serial.print(millis() - startTime);
91        Serial.println(" ms");
92      } else {
93        Serial.println("Unsupported BMP depth");
94      }
95    } else {
96      Serial.println("Not a BMP file");
97    }
98    bmpFile.close();
99  }
```

Slika 5. Sadržaj funkcije *bmpDraw()*.

Ako oznaka nije ispravna, funkcija takođe ispisuje poruku o grešci i završava se. Nakon potvrde da je fajl BMP, funkcija preskače narednih 18 bajtova u fajlu kako bi pročitala širinu i visinu slike, koje su sačuvane kao 32-bitne vrednosti u BMP zaglavlju. Ove dimenzije su važne za određivanje načina na koji će slika biti prikazana na ekranu. Funkcija zatim preskače narednih 28 bajtova kako bi pročitala dubinu boje slike. Proverava se da li je slika u 24-bitnom formatu, gde svaki piksel koristi tri bajta za boje (crvenu, zelenu i plavu). Ako slika nije u 24-bitnom formatu, funkcija se završava sa porukom o grešci.

Kada su dimenzije i dubina boje potvrđeni, funkcija započinje čitanje podataka o pikselima iz fajla, počevši od lokacije u fajlu odakle počinju podaci o slici. Svaki red podataka o pikselima je dopunjen do granice od 4 bajta, pa funkcija računa stvarnu veličinu svakog reda u bajtovima. Da bi optimizovala učitavanje podataka, funkcija koristi bafer (*sdbuffer*) za učitavanje podataka o pikselima u blokovima od po 20 piksela, što smanjuje broj operacija čitanja i čini proces efikasnijim. Nakon što su podaci o pikselima učitani u bafer, funkcija izdvaja vrednosti boja za svaki piksel (plava, zelena, crvena) i konvertuje ih u 16-bitni format koristeći *tft.color565(r, g, b)*. Ovaj format je kompatibilan sa ST7735R displejem, a boje se zatim šalju na ekran korišćenjem funkcije *tft.pushColor()*. Ako postoje dodatni bajtovi na kraju reda funkcija ih preskače pre prelaska na sledeći red.

Na kraju, funkcija meri vreme potrebno za učitavanje i prikazivanje BMP slike koristeći funkciju *millis()*, a zatim ovo trajanje ispisuje na Serijskom monitoru. Nakon što je slika u potpunosti prikazana, BMP fajl se zatvara pomoću *bmpFile.close()* da bi se oslobodili resursi. Ova funkcija je ključna za pravilno čitanje i interpretaciju BMP formata fajla, kao i za njegovu konverziju u format koji TFT ekran može da prikaže.

```
29   void loop() {
30
31   for (int i=0;i<=12;i++)
32   {
33
34   strcpy(imefajla, foto[i]);
35   tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
36   bmpDraw(imefajla, 0, 0);
37   delay(1500);
38   }
```

Slika 6. Sadržaj funkcije *loop()*.

U funkciji *loop()* prikazanoj na slici 6, koristi se *for* petlja koja prolazi kroz svih 13 elemenata niza *foto[]* koji je prethodno inicijalizovan i sadrži imena svih fajlova sa SD kartice (npr. „foto1.bmp“). U svakoj iteraciji petlje, funkcija *strcpy()* kopira ime trenutnog fajla iz niza *foto[]* u promenljivu *imefajla*. Zatim se poziva funkcija *tft.fillScreen(ST77XX_BLACK)* koja briše ekran tako što ga popunjava crnom bojom.

Nakon toga, funkcija *bmpDraw(imefajla, 0, 0)* koristi promenljivu *imefajla* kao argument da bi prikazala odgovarajuću fotografiju na ekranu, počevši od koordinata (0, 0) na TFT displeju. Nakon prikaza svake fotografije, kod pravi pauzu od 1500 milisekundi pomoću funkcije *delay(1500)* pre nego što pređe na sledeću fotografiju u nizu. Ova struktura omogućava ciklično prikazivanje svih slika definisanih u nizu *foto[]*.

U procesu razvijanja softverskog dela sistema, kao početna tačka korišćen je kod preuzet sa [9]. Ovaj izvorni kod je zatim prilagođen i proširen u skladu sa potrebama projekta. Promene koje su napravljene uključuju prilagođavanje horizontalnog prikaza, brži rad sa SD karticom, ciklično prikazivanje fotografija i najvažnije, prikaz u RGB umesto nestandardnom BGR formatu. Ove izmene su značajno unapredile funkcionalnost sistema, omogućavajući stabilan i efikasan rad, kao i jednostavniji i lepši prikaz fotografija.

IV. Dizajn u programu Altium Designer

Altium Designer [10] je kompjuterski program za dizajniranje štampanih ploča (PCB – *Printed Circuit Board*), koji inženjerima omogućava kreiranje šematika, dizajniranje, simulacije, postavljanje komponenata, rutiranje i generisanje proizvodne dokumentacije. Ovaj program kombinuje različite aspekte dizajna hardvera u jednom integrisanom okruženju, što omogućava efikasno rukovanje kompletnim procesom razvoja elektronike.

U ovom poglavlju će biti prikazan način dizajniranja sistema za prikaz fotografija. Sistem se sastoji od štampane ploče koja poseduje 2 ženska konektora za povezivanje sa pinovima ST7735R TFT displeja i SD kartice. Štampana ploča je istih dimenzija kao TFT displej, a sve njene komponente su sakrivene iza zadnje strane ekrana. Poseduje osnovno kolo mikrokontrolera ATMega328-PU i napaja se preko konektora mikro USB-B tipa (eng. *Universal Serial Bus* – univerzalna serijska magistrala) koji obezbeđuje napon od 5 V. Pored njega sa jedne strane je LE dioda (eng. *Light Emitting diode*) koja služi kao indikator napona, a sa druge strane se nalazi taster koji služi za reset sistema ukoliko dođe do neke nepredviđene greške. Osnovno kolo ovog mikrokontrolera predstavlja osnovno kolo Arduino Uno razvojnog okruženja koje je korišćeno za softversku realizaciju. Mikrokontroler ATMega328P-PU je u *through-hole* kućištu kako bi se programirao jednom i tako ugradio u štampanu ploču bez mogućnosti za drugo programiranje. Iz tog razloga ova štampana ploča ne poseduje mogućnost za drugo programiranje, jer predstavlja već gotov proizvod. Pored otpornika za ograničenje struje i zaštite kola na ploči se nalaze i kondenzatori za otklanjanje šumova u napajanju i stabilizaciji naponskih nivoa. Sa gornje strane mikrokontrolera se nalazi kristalni oscilator od 16 MHz koji služi za generisanje stabilnog taktnog signala što određuje brzinu rada mikrokontrolera. Taktnom signalizacijom se kontroliše kada će mikrokontroler izvršavati instrukcije, komunicirati sa perifernim uređajima i obavljati sve druge operacije. Oscilator od 16 MHz omogućava mikrokontroleru da izvršava instrukcije na frekvenciji od 16 miliona ciklusa u sekundi. Ovaj oscilator je ključan za precizno vreme izvršavanja operacija i pravilno funkcionisanje svih komponenti mikrokontrolera.

A. Šematik sistema za prikaz fotografija

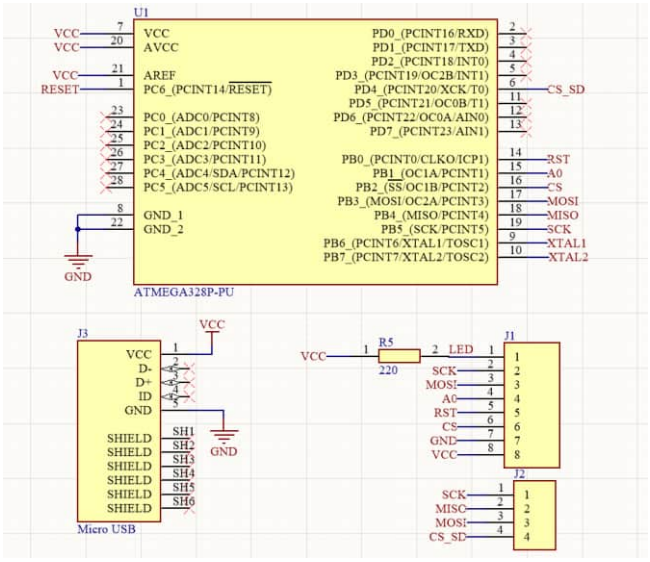
Mikrokontroler ATMega328P-PU je glavna komponenta sistema. Napaja se sa 5 V preko pina *VCC* (pinovi 7 i 20), dok su pinovi 8 i 22 povezani na masu (*GND*). Mikro USB konektor (J3) služi samo za napajanje od 5 V. Iako ima mogućnost za prenos podataka preko pinova *D+* i *D-* ta mogućnost nije iskorišćena, pa su pinovi postavljeni na *NC* (*Not Connected*).

Ženski *header* konektori za TFT displej i SD karticu su povezani pažljivo prateći uputstvo iz tehničke dokumentacije jer će se na njih direktno povezati ceo modul. Preko ovih pinova se odvija SPI komunikacija. Uz pomoć ove komunikacije, mikrokontroler može brzo i efikasno da upravlja prikazom na TFT displeju i da čita podatke sa SD kartice, omogućavajući kompleksne funkcionalnosti bez povezivanja žica. Treba naglasiti da je na *LED* pin postavljen dodatni otpornik R5 od 220 Ω kako bi se smanjio intenzitet svetlosti na TFT displeju, jer se time obara napon i štedi energija.

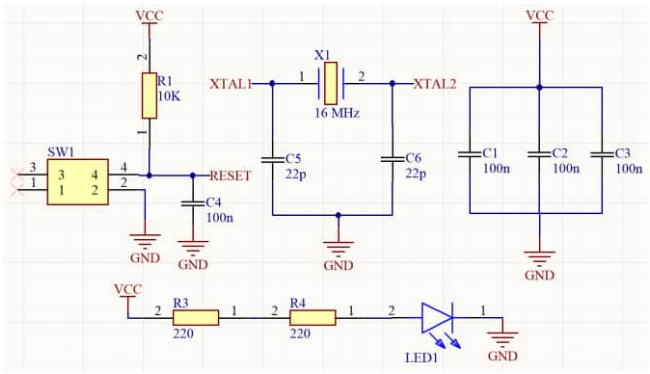
Na slici 7 je prikazana šema mikrokontrolera ATMega328P-PU na osnovu tehničke dokumentacije [4] sa konektorima za napajanje, ST7735R TFT displej i SD karticu.

Na slici 8 je prikazan drugi deo šeme osnovnog kola mikrokontrolera koji sadrži kolo za resetovanje, kristalni oscilator, decoupling kondenzatore i indikator napajanja. Taster za resetovanje (SW1) je povezan na pin *RESET* mikrokontrolera. Pritiskom na ovaj taster generiše se signal za resetovanje mikrokontrolera, čime se restartuje program. Kristalni oscilator od 16 MHz (X1) je ključni deo kola za generisanje stabilnog taktnog signala. Ovaj signal obezbeđuje tačno vreme za izvršavanje instrukcija u

mikrokontroleru. Kondenzatori od 22 pF (C5 i C6) su povezani na oba kraja oscilatora radi filtriranja i stabilizacije signala. *Decoupling* kondenzatori (C1, C2, i C3) od 100 nF su postavljeni između napajanja (*VCC*) i mase (*GND*) i služe kako bi smanjili šumove i osigurali stabilno napajanje za mikrokontroler. I na kraju, LE dioda služi kao indikator napajanja i poželjno je da ona ne svetli jakim intenzitetom kako ne bi ometala rad displeja. Iz tog razloga su pre nje postavljena dva otpornika R3 i R4 od 220 **Ω**, kako bi smanjili struju koja će proći kroz diodu, a samim tim i intenzitet svetlosti koju emituje.



Slika 7. Šema mikrokontrolera, napajanja i konektora za TFT displej i SD karticu.

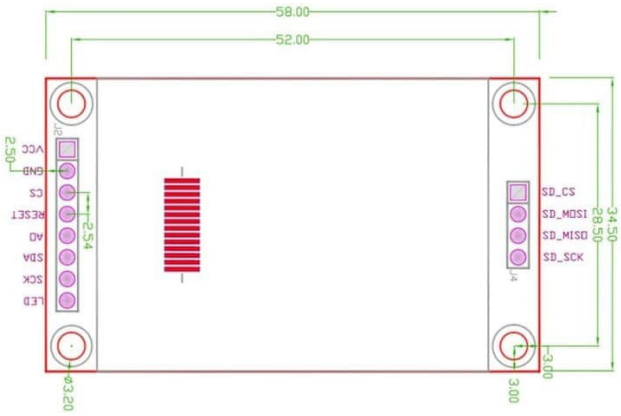


Slika 8. Šema reseta, kristalnog oscilatora, kondenzatora i indikatora napajanja.

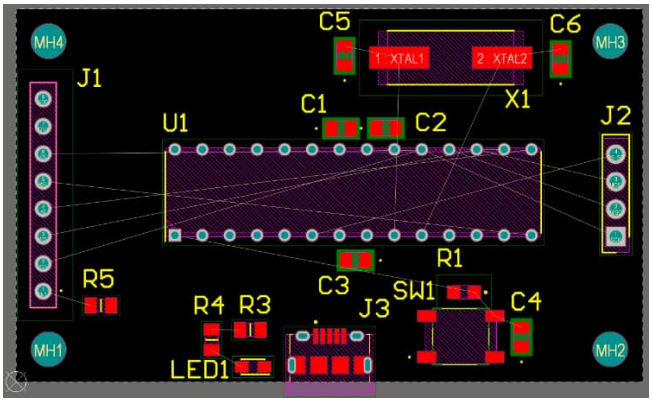
B. *Dizajn ploče i raspored komponenata*

Nakon završetka crtanja šematika, počeo je dizajn same ploče. Nacrtan je oblik ploče i postavljeni *header* konektori po merama ST7735R TFT displeja gledajući tehnički crtež sa slike 9.

Zatim je usledilo raspoređivanje komponenata po ploči, što je prikazano na slici 10. Bitno je da se komponente ne stave preblizu jedna do druge i da se isplanira najlakši put rutiranja (povezivanje linijama veza). *Header* konektori J1 i J2, kao i mehaničke rupe, su postavljeni na identičnim mestima kao i konektori kod ST7735R TFT displeja.



Slika 9. Tehnički crtež ST7735R TFT displeja (Preuzeto sa [1]).



Slika 10. Komponente raspoređene po ploči.

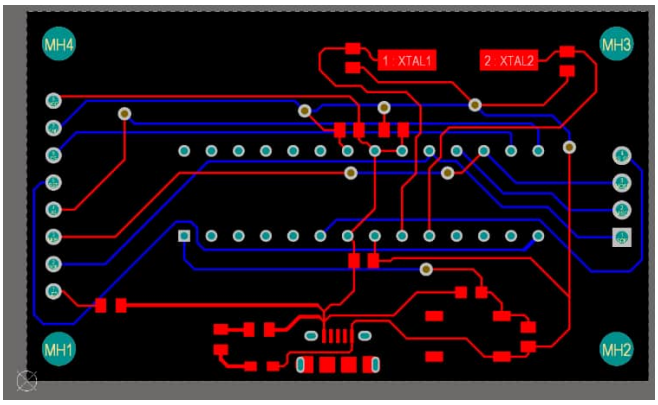
C. *Rutiranje komponenata*

Proces dizajniranja i rutiranja štampane ploče predstavlja ključni deo u projektovanju sistema za prikaz fotografija. Projektovana ploča je dvoslojna sa 17 komponenata, a sve su raspoređene na jednoj strani. Kroz pažljivo postavljanje komponenata postignut je optimalan raspored kako bi se smanjilo preklapanje signala i broj rupa u ploči.

Altium Designer dodatno pojednostavljuje proces rutiranja prikazom linija veza između komponenata i omogućava korišćenje opcije *Auto Route*. Ova opcija automatski pronalazi putanje za linije i može se koristiti i kao predlog dizajna. U ovom projektu opcija Auto Route nije iskorišćena, već je svaka linija veze ručno povezana. Ručno rutiranje je omogućilo preciznije povezivanje i poštovanje pravila dizajna (eng. *Design Rules*) kao što su širina linija veza, širina vija (eng. *Via*) i rastojanje između njih.

Prilikom rutiranja, posebna pažnja je posvećena *VCC* signalu oko konektora mikro USB-a i kondenzatora u blizini *VCC* pinova. Blizina pinova SPI komunikacije na mikrokontroleru nije predstavljala problem, jer je mikrokontroler ATMega328P-PU *through-hole* komponenta, pa se pinovi mogu povezati sa obe strane ploče (*Top* i *Bottom Layer*). Sve ove komponente zajedno omogućavaju stabilan i funkcionalan rad sistema za prikaz fotografija. Korišćenjem opcije *Design Rule Check* otklonjene su sve greške u radu, čime je potvrđena uspešna realizacija projekta.

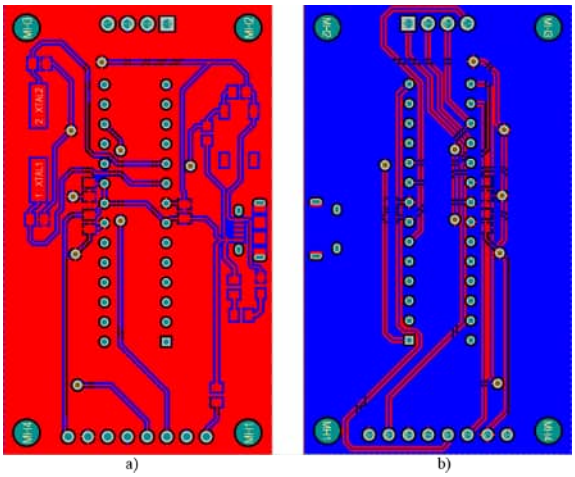
Na slici 11 je prikazana ploča nakon rutiranja sa uključenom opcijom *Signal Layers* (slojevi sa signalima).



Slika 11. Ploča nakon rutiranja.

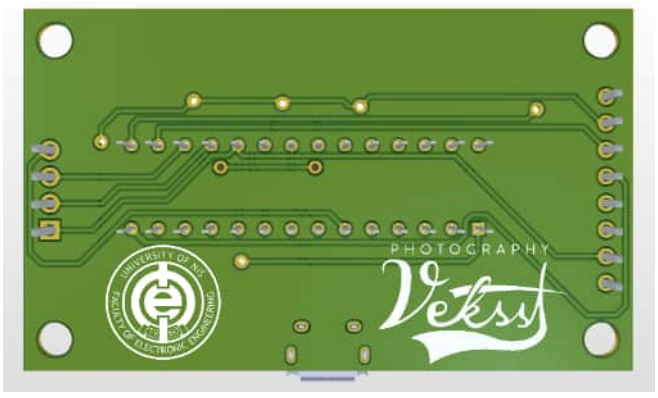
D. Razlivanje mase i konačan izgled ploče

Nakon rutiranja, potrebno je razliti masu sa obe strane ploče kako bi uklonila šumove i obezbedila bolju izolaciju za rad na ploči. Razlivanje mase se vrši opcijom *Polygon Pour* iz menija *Place* i prikazano je sa obe strane ploče na slici 12.

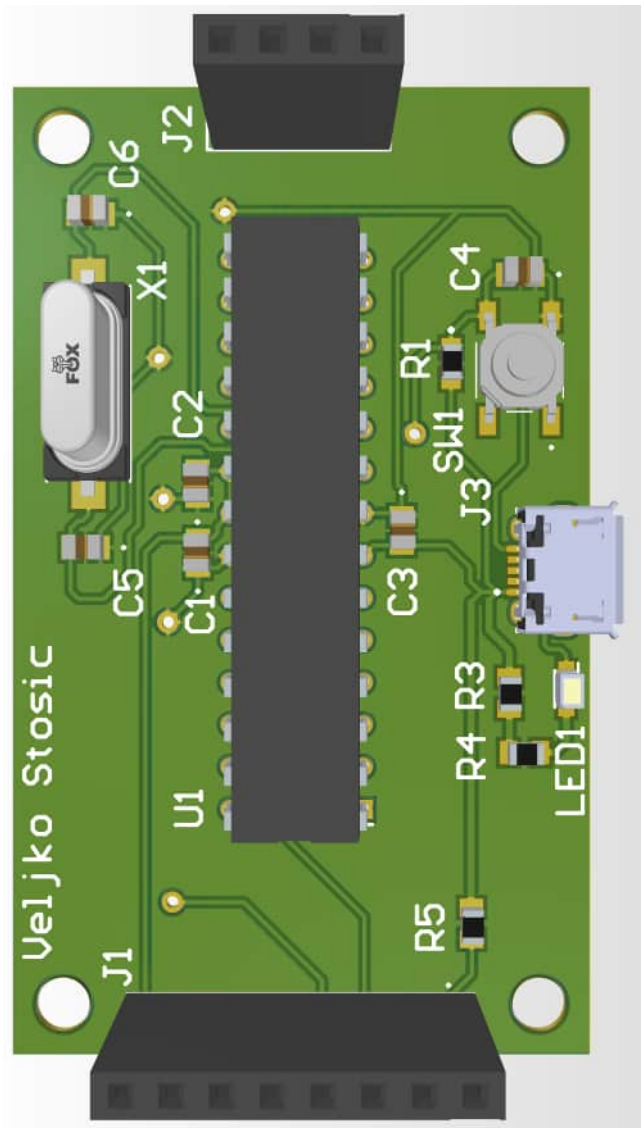


Slika 12. Ploča nakon razlivanja mase sa prednje strane a) i zadnje strane b).

Na slikama 13 i 14 je prikazan konačan izgled ploče sa zadnje i prednje strane, respektivno.



Slika 13. Konačan izgled ploče sa zadnje strane.



Slika 14. Konačan izgled ploče sa prednje strane.

V. PROJEKTOVANJE KUĆIŠTA U PROGRAMU SOLID EDGE 2024

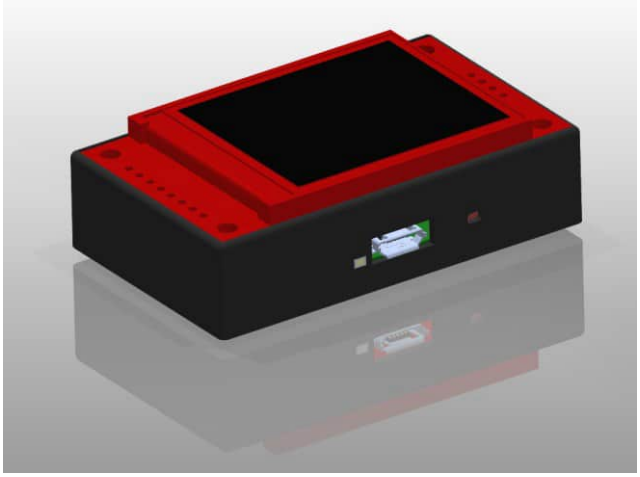
Solid Edge 2024 [11] verzija za studente je napredni CAD (*Computer-Aided Design*) softver koji pruža veliki broj alata za modeliranje, simulaciju i projektovanje. Namenjen je studentima tehničkih fakulteta i omogućava im da uče i vežbaju na industrijskom nivou softvera, pripremajući ih za rad u inženjerskim profesijama. Program je posebno popularan u oblasti mehaničkog inženjeringa, mašinstva i projektovanja proizvoda.

Za potrebe sistema za prikaz fotografija u programu Solid Edge 2024 je napravljeno kućište koje sadrži uvezenu, prethodno dizajniranu, 3D ploču iz Altium Designer-a i modul ST7735R TFT displeja sa adapterom za SD karticu preuzet sa [12].

Kućište je napravljeno korišćenjem osnovnih funkcija programa kao što su *Sketch*, *Extrude*, *Cut* i *Round (Fillet)*. *Sketch* je osnovna funkcija koja omogućava korisnicima da crtaju geometrijske figure (linije, krugove, pravougaonike). Skečevi se koriste kao temeljni koraci za kreiranje 3D modela. Nakon kreiranja skeča, geometrijske figure mogu biti ekstrudovane (eng. *Extrude*). Ekstrudovanje znači da se skeč „izvlači“ u treću dimenziju, čime se formira

trodimenzionalni objekat. Takođe je moguće iskoristiti opciju *Cut* i ukloniti deo materijala koji je definisan skečom, stvarajući na taj način udubljenje ili rupu u trećoj dimenziji. Opcija *Round* se koristi za zaobljavanje oštrih ivica 3D modela čime se povećava njegova estetika.

Na slici 15 se može videti konačan izgled projektovanog kućišta. LE dioda se nalazi u ravni sa spoljnom ivicom kućišta, dok se reset dugme nalazi sa unutrašnje ivice kućišta jer je namenjeno da se koristi samo u slučaju neke greške ili otkaza sistema.



Slika 15. Konačan izgled sistema za prikaz fotografija.

VI. Zaključak

Ovim radom uspešno je zaokružen čitav proces projektovanja jednog proizvoda, pri čemu je korišćenje ključnih programa i alata, izučenih tokom studija, bilo od suštinskog značaja. Kroz integraciju različitih softverskih i hardverskih elemenata, razvijen je sistem za prikaz fotografija, koji može naći primenu kao deo kompleksnijih sistema za pametne kuće, elegantno rešenje na izložbama u galerijama ili kao promotivni uređaj.

Raznovrsnost tehnologija koje su korišćene u ovom radu omogućila je stvaranje jednog kompaktnog uređaja sa širokim spektrom potencijalnih primena. Daljim razvojem i unapređenjem ovog sistema, otvara se mogućnost za povećanje veličine ekrana, promena mikrokontrolera, kao i ubrzanje ispisa fotografija, što bi omogućilo još veću fleksibilnost u korišćenju, ali bi se time povećali i troškovi proizvodnje. Upravo ova pristupačnost u trenutnoj fazi razvoja predstavlja jednu od glavnih prednosti sistema.

Lični motiv iza ovog projekta bio je želja da se široko znanje, stečeno tokom studija kroz različite predmete, primeni u konkretnom i praktičnom rešenju. Kroz ovaj rad, ljubav prema fotografiji i tehnologija spojene su u jednu celinu, pružajući osnovu za dalji rad na projektima koji kombinuju estetski i funkcionalni aspekt u savremenim tehnološkim rešenjima.

Zahvalnica

Zahvalnost dugujem svom mentoru, prof. dr Danijelu Dankoviću, na podršci i smernicama tokom realizacije ovog rada. Projekat je urađen u okviru završnog rada na osnovnim akademskim studijama, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi.

Literatura

[1] Sitronix ST7735R. Dostupno na: https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/1.8-SPI-LCD-Module-datasheet.pdf

[2] How to Use MMC/SDC. Dostupno na: http://elm-chan.org/docs/mmc/mmc_e.html

[3] Arduino UNO R3 Dostupno na: https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf

[4] ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. Dostupno na: https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061B.pdf

[5] Adobe Photoshop. Dostupno na: https://www.adobe.com/products/photoshop.html

[6] Canon EOS 6D. Dostupno na: https://web.archive.org/web/20160811045447/https://www.usa.canon.com/internet/portal/us/home/products/details/cameras/dslr/eos-6d

[7] Adafruit-GFX-Library. Dostupno na: https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library

[8] Adafruit-ST7735-Lib. Dostupno na: https://github.com/adafruit/Adafruit-ST7735-Library

[9] Arduino DIY Photo Frame. Dostupno na: https://educ8s.tv/arduino-diy-photo-frame/# google_vignette

[10] Altium Designer. Dostupno na: https://www.altium.com/altium-designer

[11] Solid Edge Student Edition. Dostupno na: https://resources.sw.siemens.com/en-US/download -solid-edge-student-edition

[12] ST7735 TFT 1.8" LCD. Dostupno na: https://grabcad.com/library/st7735-tft-1-8-lcd-1

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.313D
Original scientific paper

Projektovanje sistema parking rampi

Milica Danković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
milica.dankovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Tematika rada je projektovanje i laboratorijska verifikacija uređaja, zasnovanog na infracrvenoj komunikaciji, koji korišćenjem Arduino platforme poboljšava efikasnost rada parking garaža. Za realizaciju projekta korišćeni su softverski alati Altium Designer i Arduino koji omugućavaju projektovanje i simulaciju rada sistema, kao i 3D prikaz njegovih elemenata.**

Ključne reči—saobraćaj, TSOP, infrared signal, Arduino

I. UVOD

Parkiranje u većim gradovima predstavlja jedan od glavnih izazova savremenog urbanog života. Kako globalni trend urbanizacije raste, sve veći broj ljudi gravitira ka gradskim centrima, što dovodi do naglog povećanja broja vozila na ulicama. Ovaj porast je, međutim, često nesrazmeran sa kapacitetom postojeće infrastrukture, posebno kada su u pitanju parking prostori. Prosečan broj putničkih automobila na 1000 stanovnika Evropske unije je 2022. godine bio 560, a u Srbiji 344. Prema podacima Evropske agencije za statistiku Eurostat, prosečan broj automobila na 1000 stanovnika je za 10 godina, od 2012. godine, povećan za 14,3% [1].

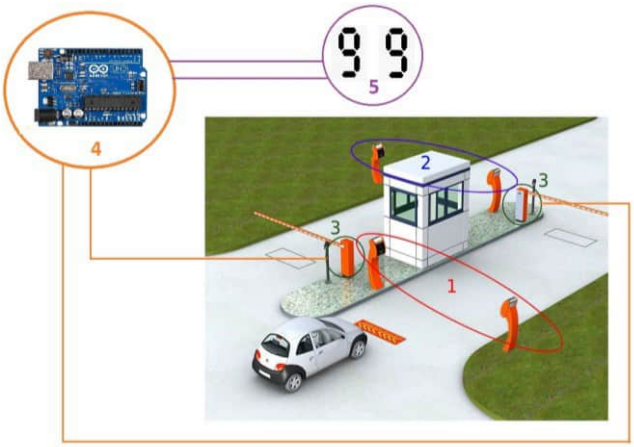
Gradovi jednostavno nemaju dovoljno resursa, niti prostora, da odgovore na sve veće zahteve za parking mestima, što stvara ozbiljne saobraćajne probleme. Pored samog nedostatka parkinga, tu je i problem neefikasne distribucije postojećih mesta. Vozači provode značajno vreme kružeći ulicama u potrazi za slobodnim mestom, što doprinosi već ionako preopterećenom saobraćaju. Prema nekim studijama, u nekim gradovima vozači provedu i do 30% svog vremena u vožnji samo tražeći parking, što dodatno povećava potrošnju goriva, emisiju štetnih gasova, ali i stres [2]. Takođe, ovaj problem ima i ekonomske posledice: manjak parkinga može negativno uticati na poslovanje u gradskim centrima jer potencijalni kupci mogu odustati od dolaska u gušće naseljene i pretrpane oblasti.

Gradovi širom sveta prepoznaju važnost ovog problema i ulažu napor da unaprede svoje sisteme za parkiranje, ali izazov leži u pronalaženju rešenja koja su održiva, skalabilna i prilagođena specifičnim potrebama svakog grada. Od inteligentnih sistema za upravljanje parkingom do aplikacija koje u realnom vremenu obaveštavaju vozače o dostupnim mestima, tehnološka rešenja igraju ključnu ulogu u rešavanju ovog urbanog izazova.

U tom kontekstu, ovaj rad ima za cilj da pruži doprinos rešavanju problema parkiranja u velikim gradovima. Fokus je na razvoju sistema koji bi omogućio vozačima lakše i brže pronalaženje slobodnih parking mesta koristeći napredne tehnologije poput senzora, aplikacija i integrisanih mreža. Ideja je da se kroz pametno korišćenje podataka, automatizovane sisteme i analitiku, optimizuje način na koji se parking prostori koriste, čime bi se smanjilo vreme potrebno za pronalaženje mesta, poboljšala efikasnost saobraćaja i smanjio stres koji vozači svakodnevno doživljavaju. Time bi se ne samo olakšala svakodnevica stanovnicima, već bi se doprinelo i unapređenju kvaliteta života u urbanim sredinama.

II. PRINCIP RADA PROJEKTOVANOG SISTEMA

Grafička ilustracija sistema sastoji se od 5 celina i data je na slici 1. Elektronika u okviru celine (1) vrši kontrolu ulaska vozila na parking i označena je crvenom bojom, dok elektronika u okviru celine (2) označena plavom bojom vrši kontrolu izlaska vozila sa parkinga. Vozila ulaze ili izlaze sa parkinga nakon podizanja rampi koje pokreću motori (3) i označene su zelenom bojom. Njihovu kontrolu vrši Arduino Uno označen narandžastom bojom (4), koji i predstavlja centralnu jedinicu celog sistema [3]. Takođe, uz pomoć Arduina na sedmosegmentnim displejima (5), koji su označeni ljubičastom bojom, vrši se prikaz broja dostupnih mesta na parkingu.



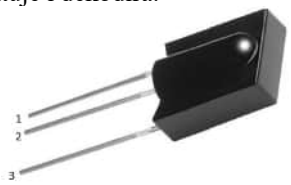
Slika 1. Grafička ilustracija sistema.

Nailaskom vozila koje želi da uđe na parking prostor i prekidanjem svetlosnog snopa elektronike celine (1), omogućava se podizanje rampe za ulazak na parking prostor. Tom prilikom, u realnim uslovima, vozaču se izdaje kartica sa vremenom ulaska na parking prostor i istovremeno se smanjuje broj slobodnih mesta ispisan na sedmosegmentnom displeju. Sa druge strane, prilikom izlaska vozila sa parking prostora presecanjem snopa elektronike celine (2), ali u slučaju da je parking plaćen, podiže se rampa koja omogućava izlazak i ujedno se povećava broj slobodnih mesta ispisan na sedmosegmentom displeju.

A. Predajnik i prijemnik infracrvenog signala

Sa predajne strane potrebno je generisati impulsni signal frekvencije 36 kHz (ova frekvencija uslovljena je zahtevima prijemne strane infracrvenog signala) za šta je iskorišćeno kolo NE555 u astabilnom režimu rada [4].

Prijemne celine u okviru sistema predstavljaju TSOP31236 optički senzori prikazani na slici 2 [5]. Broj „36" u nazivu TSOP31236 označava frekvenciju infracrvenog signala za koji je senzor dizajniran da optimalno funkcioniše, u ovom slučaju 36 kHz, zbog čega je sa predajne strane i generisan impulsni signal iste te frekvencije. Ova frekvencija se koristi za modulaciju signala koji senzor detektuje i dekodira.



Slika 2. TSOP31236 optički senzor (1 - GND, 2 – VS, 3 - OUT).

Prilikom prilaženja vozila rampi, presecanjem infracrvenog snopa, optički senzor detektuje promenu i šalje signal ili informaciju centralnoj jedinici (Arduinu) koja na osnovu prethodno definisanog koda izvršava određene funkcije zavisno od toga da li vozilo ulazi ili izlazi sa parkirališta.

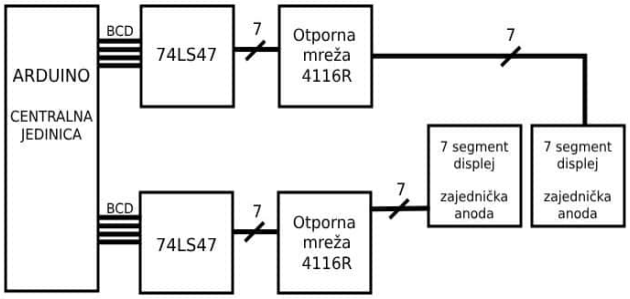
B. Arduino Uno – centralna jedinica sistema

Kao što je prethodno navedeno, kontrolu celog sistema vrši Arduino Uno, platforma otvorenog koda koja je namenjena za razvoj aplikacija i sa kojom je moguće na jednostavan način povezati hardverske i softverske komponente aplikacije. Postoje različite vrste okruženja Arduina, neke od njih su: Arduino Uno, Arduino nano, Arduino mega i dr. Razlika između različitih vrsta Arduina je u naponu napajanja, kapacitetu memorije i broju izlaznih i ulaznih pinova. U radu je korišćen Arduino Uno sa ATMega328P mikrokontrolerom.

Arduino Uno, je razvojna platforma bazirana na Atmelovom mikrokontroleru [6]. Atmelov mikrokontroler Atmega328P je upravljačka jedinica u kojoj se nalazi programski kod kojeg neprekidno izvršava.

C. Elektronika za prikaz broja slobodnih mesta

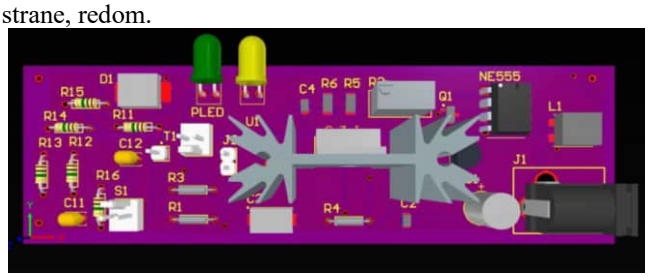
Sistem je osmišljen tako da se iz Arduina generiše BCD kod koji se pomoću BCD/7 segment konvertora prilagođava za ispis na samim displejima. Takođe, u svrhu ograničenja struje kroz diode sedmosegmentnog displeja iskorišćena je otporna mreža 4116R. Blok šema dela za prikaz broja slobodnih mesta na parkingu prikazana je na slici 3.



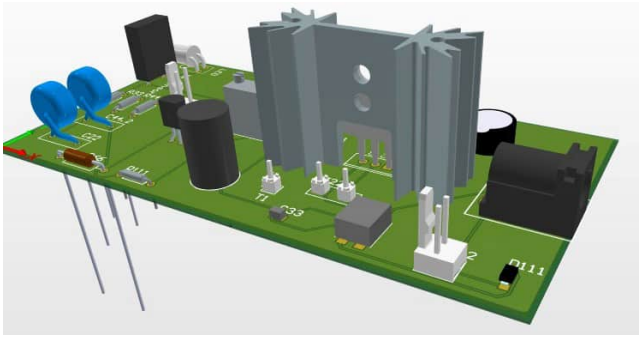
Slika 3. Grafička ilustracija dela za prikaz broja slobodnih mesta.

III. Realizacija sistema u Altium Designer-u

Električne šeme predajne i prijemne strane sistema za detekciju vozila realizovane su u Altium Designer-u [7]. Altium Designer je softverski alat za dizajniranje štampanih ploča – PCB (Printed Circuit Board), koji omogućava kreiranje složenih električnih šema, koje predstavljaju međusobne veze komponenata u sistemu. Takođe, Altum Designer omogućava i 3D prikaz modela ploča. Na slikama 4 i 5 prikazani su 3D prikazi pločice predajne i prijemne strane, redom.



Slika 4. Prikaz 3D modela predajne strane u Altium Designer-u.



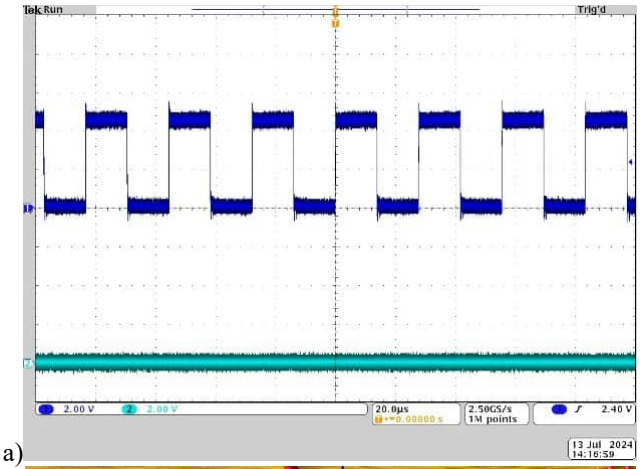
Slika 5. Prikaz 3D modela prijemne strane u Altium Designer-u.

IV. Praktična realizacija sistema

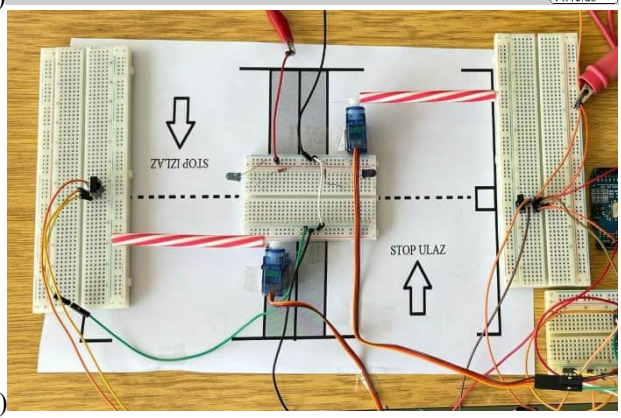
Poseban deo razvoja sistema bio je posvećen praktičnom radu u Laboratoriji Katedre za mikroelektroniku na Elektronskom fakultetu u Nišu.

Na slici 6 a) prikazan je pobudni signal infracrvene diode kao i stanje signala na izlazu TSOP senzora [8], zato što nema prepreke u vidu vozila, kao što je ilustrovano na slici 6 b), izlaz se postavlja u stanje logičke nule.

Kada naiđe vozilo i preseče snop infracrvenog signala, odnosno onemogući njegov dolazak do TSOP senzora, na njegovom izlazu se onda generiše stanje logičke jedinice, kao što je ilustrovano na slici 7.

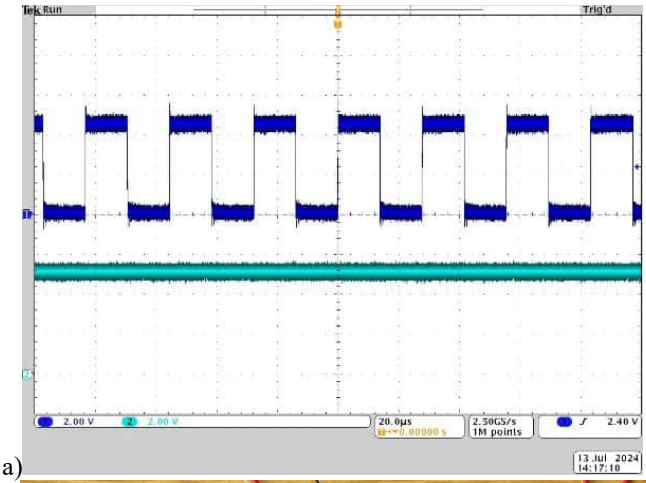


a)

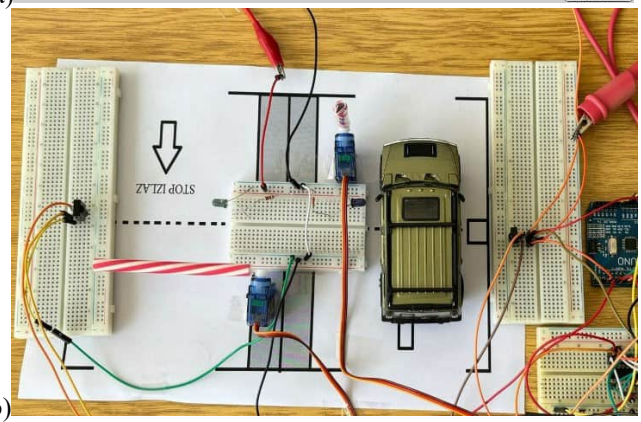


b)

Slika 6. a) Stanje signala na izlazu TSOP senzora (zelena linija) kada nema vozila i b) grafička ilustracija.



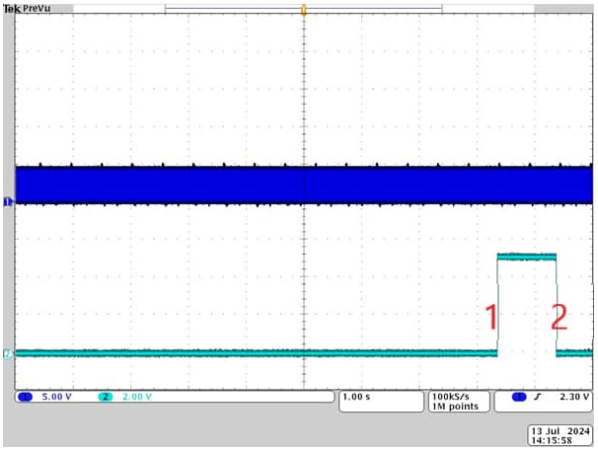
a)



b)

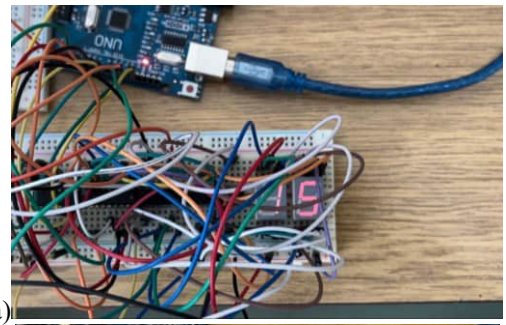
Slika 7. a) Stanje signala na izlazu TSOP senzora (zelena linija) kada naiđe vozilo i b) grafička ilustracija.

Na slikama 6 i 7 zbog frekvencije infracrvenog signala od 36 kHz vremenska baza na osciloskopu bila je podešena na 20 µs. Iz tih razloga nije moguće na osciloskopu usnimiti trenutak kada vozilo preseca infracrveni signal. Da bi se to uočilo, vremenska baza na osciloskopu je podešena na 1 s a samim tim omogućena je detekcija vozila na rampama, kao što je ilustrovano na slici 8.

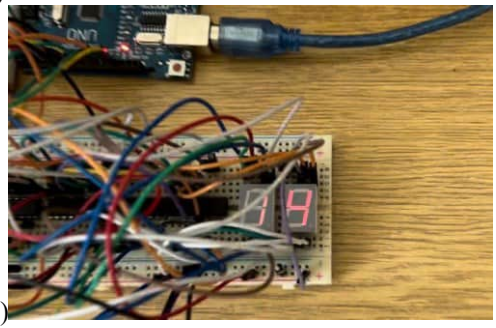


Slika 8. Trenutak kada vozilo preseca infracrveni signal (zelena linija). 1- trenutak kada vozilo preseca infracrveni snop, 2- trenutak kada vozilo prestaje da preseca infracrveni snop.

Na slici 9 a) prikazan je trenutan broj slobodnih mesta, ulaskom vozila na parking prostor smanjuje se broj slobodnih mesta, što se prilikom eksperimentalne provere i potvrđuje, odnosno, broj ispisan na sedmosegmentnim displejima se smanjuje za jedan, kao što je i prikazano na slici 9 b). Sa druge strane, prilikom izlaska vozila sa parking prostora, broj slobodnih mesta se povećava za jedan, što je praktičnom proverom dela sistema u laboratoriji i potvrđeno. Potrebno je napomenuti da su prilikom praktične provere u laboratoriji za ispisivanje na segmosegmentnim displejima pored sedmosegmentnog displeja iskorišćene i komponente 74LS47 i 4116R.



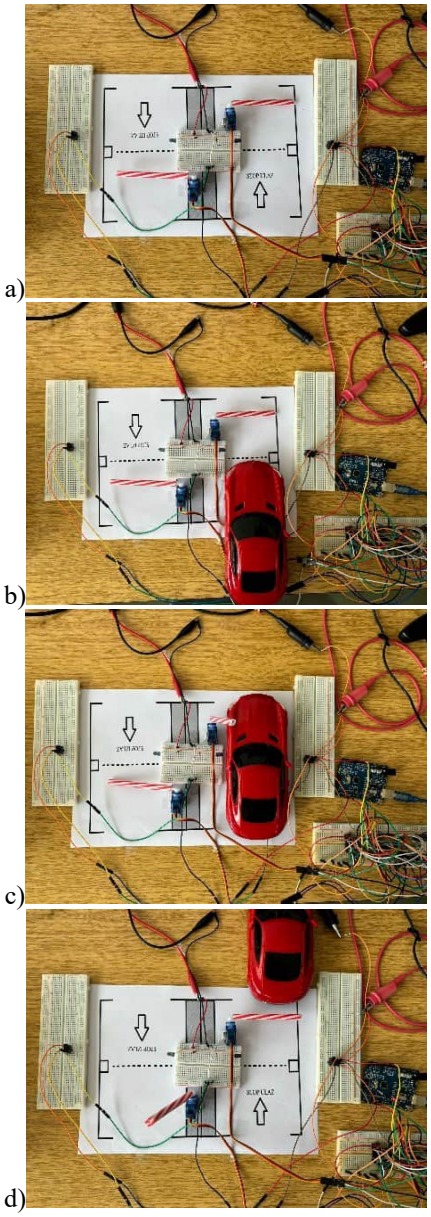
a)



b)

Slika 9. a) Trenutan broj slobodnih mesta na parkingu i b) broj slobodnih mesta nakon ulaska vozila.

Konačno, u laboratoriji je proveravan i način funkcionisanja rampi (od dolaska vozila, preko podizanja rampe, pa do prolaska vozila i spuštanja rampe), kao što je prikazano na slici 10 a)-d). Prilikom nailaska vozila podiže se rampa, i kao što je Arduino kodom predviđeno, rampa se spušta nakon 4 sekunde.



Slika 10. Način funkcionisanja rampi.

Prilikom testiranja sistema u laboratorijskim uslovima utvrđeno je da je prosečna struja koja je potrebna za rad makete oko 21 mA, a prilikom rada motora to se povećavalo na oko 535 mA, kao što je prikazano na slici 11 [9].



Slika 11. Prosečna struja potrebna za rad makete prilikom rada motora.

V. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada opisan je problem parkiranja u gradovima Srbije. Realna situacija bila je motiv za istraživanje koje je sprovedeno, kao i za samu realizaciju sistema. U radu je detaljno opisan način funkcionisanja parking rampe i objašnjeni svi njeni delovi. Nakon toga, najvažniji delovi ovog sistema projektovani su u Altium Designeru.

Posebna pažnja posvećena je realizaciji samog sistema u laboratoriji. Tokom realizacije u laboratoriji uspešno je izvršena funkcionalna verifikacija svega što je testirano, i potvrđeno ono što je teorijski bilo obrađivano.

Tokom realizacije projekta, savladavane su brojne prepreke i uočeni su delovi koji bi mogli da se prošire, kako bi sistem dobio još bolju funkcionalnost. Ovakvi sistemi su u velikoj meri modularni, pa ih je moguće nadograditi i idejama koje bi i sami vlasnici ili korisnici parking prostora mogli da dostave.

ZAHVALNICA

Ovo je deo mog Završnog rada, urađenog na Katedri za mikroelektroniku na Elektronskom fakultetu u Nišu. Zahvaljujem mentorki, prof. dr Aneti Prijić, na profesionalnom pristupu tokom izrade Završnog rada. Posebno se zahvaljujem doc. dr Milošu Marjanoviću, za sve savete, sugestije, podršku i pomoć prilikom izrade završnog rada, kao i za celokupno znanje koje mi je preneo tokom godina studija. Konačno, zahvaljujem se koleginicama i kolegama sa modula Elektronske komponente i mikrosistemi sa kojima sam radila projekat iz predmeta Projektovanje štampanih ploča, koji mi je mnogo pomogao pri izradi Završnog rada.

LITERATURA

[1] Problemi parkiranja u gradovima Srbije. Dostupno na: https://vreme.com/drustvo/parkiranje-u-beogradu-postalo-je-nemoguca-misija/

[2] Dnevni evropski dnevnik, U EU 560 automobila na 1.000 stanovnika, u Srbiji 344. Dostupno na: https://dnevnievropskiservis.rs/3-zanimljivosti/167-zanimljivosti/19313-u-eu-560-automobila-na-1000-stanovnika-u-srbiji-344

[3] Arduino- elektronska platforma otvorenog koda zasnovana na hardveru i softveru. Dostupno na: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?srsltid=AfmBOooegqPjPDqGRqbtu1th-rLHCdLuHlBB6xYSqtbANj7bt8BcMfpy

[4] Komponenta NE555 timer. Dostupno na: https://octopart.com/ne555v-texas+instruments-7908986?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI9sfi5rS-iAMV2K6DBx1o2gMvEAAYASAAEgJ6gfD_BwE

[5] Optički senzor TSOP31236. Dostupno na: https://www.vishay.com/docs/82492/tsop312.pdf

[6] Mikrokontroler Atmega328P. Dostupno na: https://ielectrony.com/en/product/atmega328p-pu-original/

[7] Altium Designer, Altium Designer Official Website, Altium, 2024. Dostupno na: https://www.altium.com/altium-designer/

[8] Tektronix DPO 4034. Dostupno na: https://www.testequipmenthq.com/datasheets/TEKTRONIX-DPO4034-Datasheet.pdf

[9] Izvor napajanja Instek 603. Dostupno na: https://octopart.com/psp-603-instek-22782560?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIjoilgrvNiAMV6p2DBx11LSPJEAAYASAAEgLuKfD_BwE

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.317DJ
Original scientific paper

Projektovanje layouta CMOS invertora korišćenjem alata otvorenog koda Glade

Aleksandar Đorđević
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
aleksandardj6301@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Predmet istraživanja ovog rada je sagledavanje detaljnog prikaza projektovanja i simulacije *CMOS* invertora. Proces projektovanja *CMOS* invertora uključuje detaljnu izradu layouta (u daljem tekstu lejauta) komponenti u specijalizovanim alatima. *GLADE (Graphical Layout and Design Environment)* je jedan od takvih alata otvorenog koda koji omogućava inženjerima da stvore lejaute elektronskih komponenti. Nakon što je projekat završen u *GLADE*-u, sledeći korak je testiranje komponente u simulacionom alatu kao što je *LTspice*.**

Ključne reči—CMOS invertor, IC layout, GLADE

I. Uvod

CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) invertor je osnovni blok u digitalnim elektronskim kolima. Kao elementarni logički sklop, *CMOS* invertor implementira logičku funkciju "ne", koja menja ulazni signal: kada je ulaz logička "1" (visok naponski nivo), izlaz je logička "0" (nizak naponski nivo) i obrnuto [1, 2]. *CMOS* invertor se sastoji od dva komplementarna *MOSFET-a*: *NMOS* (N-kanalni *MOSFET*) i *PMOS* (P-kanalni *MOSFET*). Električna šema CMOS invertora prikazana je na slici 1. Ova dva tranzistora su povezana tako da kada je jedan uključen, drugi je isključen, što omogućava obrtanje ulaznog signala na izlazu. Na izvode gejta se dovodi ulazni signal, dok se sa izvoda drejna tranzistora uzima izlazni signal. *PMOS* tranzistor je povezan između napajanja (VDD) i izlaznog čvora. Njegov gejt je povezan na ulazni signal. Kada je ulazni napon nizak (logička "0"), *PMOS* tranzistor je uključen i povezuje izlaz na napajanje, čime je izlazni signal visok (logička "1"), dok je *NMOS* tranzistor u zakočenju (ponaša se kao otvoreni prekidač). Kada je ulazni napon visok (logička "1"), *NMOS* tranzistor je uključen i povezuje izlaz na uzemljenje, čime je izlazni signal nizak (logička "0"), dok je *PMOS* tranzistor u zakočenju.

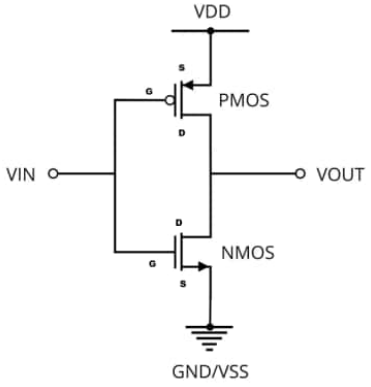
II. Karakteristike korišćenih alata otvorenog koda

A. Glade – alat za projektovanje lejauta

Peardrop Design Systems je kompanija koja nudi alate za dizajn, simulaciju i verifikaciju hardverskih kola. Jedan od njihovih istaknutih proizvoda je *GLADE*, okruženje za dizajn integrisanih kola [3]. *GLADE* je alat za automatizovano projektovanje elektronskih kola *(EDA)* koji pomaže inženjerima u kreiranju i analizi složenih integrisanih kola. *GLADE* je alat za dizajn integrisanih kola koji pruža korisnički interfejs za kreiranje, uređivanje i manipulaciju lejaut-ima čipova. Alat je posebno koristan u fazama dizajna poznatim kao "lejaut" faze, gde se dizajn pretvara iz šematskog u fizički oblik spreman za proizvodnju.

B. LTspice – alaz za simulaciju kola

LTspice (*Linear Technology - Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) je popularan softverski alat za simulaciju analognih elektronskih kola, razvijen od strane *Linear Technology*, koja je deo *Analog Devices* [4]. Ovaj softver je našao široku primenu u industriji i obrazovanju zbog svoje sposobnosti da brzo i tačno vrši simulaciju složenih kola. Pruža bogat skup funkcija i mogućnosti koje omogućavaju inženjerima da analiziraju performanse i signale elektronskih kola. Besplatna dostupnost dodatno povećava njegovu primenu u raznim oblastima elektronike. Koristi se u dizajnu i analizi elektronskih kola, razvoju i testiranju integrisanih kola, optimizaciji dizajna i prototipova, a vrlo često i u obrazovanju i istraživanjima [5].

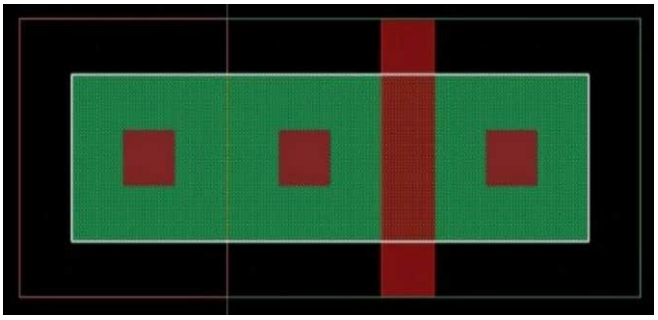


Slika 1. Električna šema CMOS invertora.

III. Proces projektovanja lejauta invertora

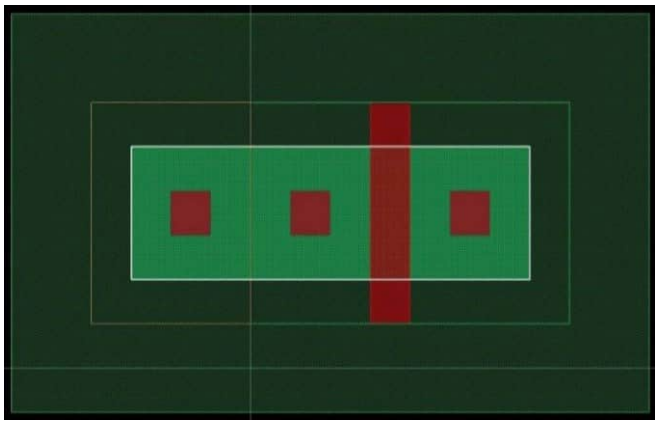
Kreiramo novu biblioteku pod imenom "invertor", i u nju ubacujemo C5N.tch fajl, fajl sa informacijama za proces izrade [6], koji sadrži sve slojeve koji će nam biti potrebni za izradu *CMOS* invertora. Svi slojevi iz ovog fajla prikazaće se

s desne strane ekrana na *LSW* prozoru. Nakon kreiranja biblioteke, kreiramo novu ćeliju. Minimalna dužina tranzistora u datoj *CMOS* tehnologiji je 0,6 µm, a minimalna širina je 1,8 µm; upravo zbog toga postavljamo širinu i dužinu podeoka na 0,3 µm. Jedan podeok od 0,3 µm, predstavlja karakterističnu dimenziju λ. Sva pravila projektovanja za datu tehnologiju izražavaju se preko λ. Na primer, najmanje rastojanje između dva kontakta je 2λ, ili 0.6 µm [6]. Projektovanje lejauta *NMOS* tranzistora počinje postavljanjem *active* i *poly* sloja. Presek slojeva *active* i *poly* predstavlja oblast kanala tranzistora. U ovom primeru će dužina kanala biti 0,3 µm, a širina 1,8µm. Sledi postavljanje kontakta za source i drain u sloju *contact*. Istih su dimenzija kontakti source i drain, 2x2 podeoka tj. 0,6 µm x 0,6 µm. Kontakti moraju biti udaljeni minimum 2 podeoka tj. 0,6 µm od poli-silicijumskog sloja [6]. Sledeći korak u realizaciji je postavljanje *n select* sloja. Na osnovu ovog sloja, tj. kasnije u fabrikaciji ove maske, biće izvršeno ecovanje oksida po tom poligonu i biće izvršena jonska implantacija primesama n-tipa [7]. Uzimajući u obzir da je radna površina p-supstrat, definisano tehnologijom [6], postavljanjem ovog sloja u oblastima desno i levo od polisilicijuma imaćemo n+ dopirane oblasti. Međutim, oblast ispod polisilicijuma ostaće nedopirana zato što je zaštićena slojem *poly*. Naravno, usled jonske implantacije izvršiće se dopiranje polisilicijumskog gejta, primesama n-tipa [7]. Nakon toga, širimo aktivni sloj i postavljamo novi kontakt za p-supstrat. Povećavanjem aktivne oblasti na dužinu od 6,0 µm stvaramo dovoljno mesta za crtanje kontakta. Ovaj kontakt se crta na isti način kao source i drain, odabirom *contact* sloja iz *LSW* prozora. Kontakt supstrata je istih dimenzija kao source i drain, a postavljen je 4 podeoka od source kontakta. Kada je kontakt formiran, potrebno je definisati da ta oblast bude p-tipa. To se obavlja odabirom *p select* sloja i postavljanjem preko novonastalog aktivnog sloja i kontakta. U fabrikaciji će na osnovu ove maske, ta oblast biti dopirana primesama p-tipa. Treba napomenuti da se pri fabrikaciji n i p select oblasti jače dopiraju, tako da nastaju n+ i p+ oblasti, radi ostvarivanja dobrog omskog kontakta. Na ovaj način, formirali smo lejaout *NMOS* tranzistora (slika 2).



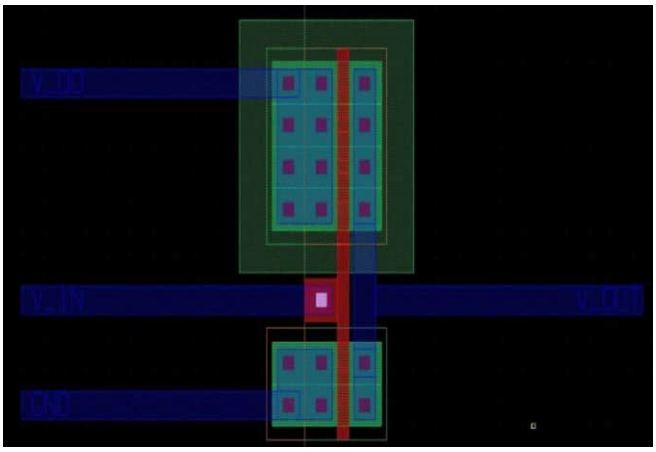
Slika 2. Lejaut NMOS tranzistora.

Postupak formiranja *PMOS* strukture je potpuno isti do trenutka postavljanja slojeva p select i n select. Kako bismo formirali *PMOS* tranzistor, oblast u kojoj se nalaze source, drain i gate sada dopiramo p+ postavljanjem sloja *p select*, a oblast koju smo dopirali p+ kod *NMOS-a* sada dopiramo n+ crtanjem sloja *n select*. Takođe, kako bismo potpuno formirali *PMOS* tranzistor, neophodno je postaviti *nWell* sloj preko formirane strukture. Naime, kako je za datu tehnologiju supstrat p-tipa, prilikom formiranja *NMOS* tranzistora, glavni supstrat je ujedno i supstrat tranzistora. Prilikom projektovanja *PMOS* tranzistora, potrebno je izvršiti pre svega dopiranje cele aktivne oblasti primesama n-tipa, tj. formirati oblast koja će predstavljati supstrat za *PMOS* tranzistor. Ova oblast se naziva n-well i prilikom izrade lejauta predstavlja se slojem *nWell*. Lejaut *PMOS* tranzistora prikazan je na slici 3.



Slika 3. Lejaut PMOS tranzistora.

Spajanjem dve *NMOS* ćelije, dobiće se jedinstveni *NMOS* tranzistor, dužine kanala 0,6 µm i širine 3,6 µm. *PMOS* struktura će se nalaziti 12 podeoka iznad *NMOS* strukture, prema pravilima projektovanja. Pokretljivost elektrona je veća od pokretljivosti šupljina, što utiče na provodnost, te se prilikom dimenzionisanja tranzistora *PMOS* projektuju da imaju duplo veću širinu kanala, kako bi se kompenzovao ovaj efekat. Strukture će biti postavljene vertikalno jedna iznad druge i formiraće PMOS tranzistor kao deo *CMOS* invertora. Dužina *tranzistora* ostaje nepromenjena, dok je širina 4 puta veća i iznosi 7,2 µm. Nakon formiranja tranzistora, neophodno je povezati kontakte metalnim slojem. Kod *NMOS* tranzistora kratkospojeni su source i supstrat, pa će biti povezani metalnim slojem *metal 1*. Na vrlo sličan način se vrši povezivanje i na *PMOS* tranzistoru. Minimalno preklapanje metala sa kontaktom od 1λ definisano je pravilima projektovanja za datu tehnologiju [6]. Po ovim pravilima, minimalna širina metalne linije je 3λ, dok je minimalno rastojanje između dve linije u metalu na ovom sloju, takođe 3λ. Potrebno je formirati izvod za ulazni napon VIN. Sa polisilicijumskog sloja između dva tranzistora dodajemo malu oblast *poly* sloja. U ovom slučaju želimo povezivanje polisilicijuma i metala, što nije moguće izvesti bez dodavanja sloja *polycontact*. Ovaj sloj se uglavnom koristi samo za međusobno povezivanje poly i metal 1 slojeva. U fabrikaciji to će biti mesto za viju ispunjenu metalom koja će povezati sloj polisilicijuma i metala. Zatim kontakte drain *NMOS*-a i drain *PMOS*-a povezujemo slojem *metal 1* i pri tom formiramo izvod za izlaz VOUT. Napomenimo da je *MOS* trnazistor simetrična struktura, tako da je kontakt koji je inicijalno nazvan source u ovom dizajnu predstavlja drain *PMOS* tranzistora. Postavljamo izvod koji će biti povezan na GND (ground), odnosno uzemljenje. Koristimo sloj *metal 1*, pa sa kontakta supstrata i source koji su povezani metalom, izvlačimo kontakt za uzemljenje. Isto tako, sa kontakta u *nWell* sloju metalom *metal 1* izvlačimo izvod na koji će biti povezano napajanje VDD. Ovim je formiran lejaut invertora, prikazan na slici 4.



Slika 4. Lejaut CMOS invertora.

Kada smo kompletirali strukturu, klikom na *Verify/Extract/Run LPE* u padajućem meniju, pa u polju *Extraction rules file* dodajemo fajl pod nazivom "C5N_EXT_LVS.py". Ovim postupkom objedinjujemo komponentu i omogućavamo da komponentu izvozimo u neki drugi alat za dalje korišćenje. Dodati fajl sadrži definiciju potrebnu za *LVS* (*Layout Versus Schematic*), proveru koja razmatra da li se ekstrakovana netlista iz lejauta, poklapa sa električnom šemom datog kola. Potrebno je komponentu izvoziti iz alata *GLADE*, a to radimo klikom na *File/Export/Export CDL* i u polju *CDL File* biramo gde čuvamo strukturu invertora. Strukturu ćemo nazvati "inverter.cdl".

IV. Simulacija formiranog *CMOS* invertora u programu LTspice

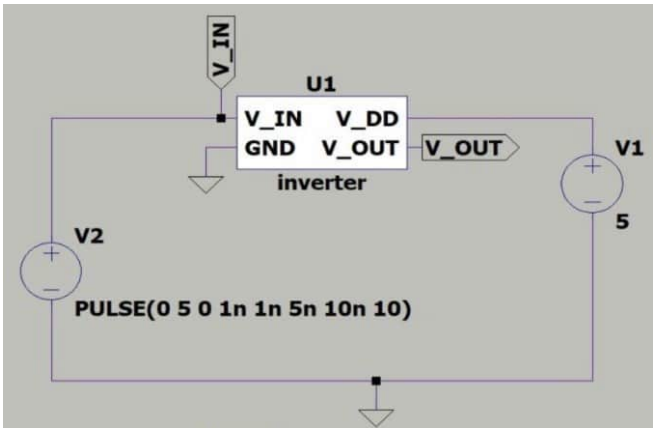
Nakon formiranja strukture i CDL fajla, prelazimo u alat otvorenog koda LTspice. U ovom programu, novonastala komponenta invertor će biti testirana kroz simulaciju. Kada otvorimo LTspice, klikom na *File/Open/inverter.cdl* otvaramo net-listu ove komponente koju možemo videti na slici 5. Iz ekstrakovane netliste može se zaključiti da je projektovana komponenta sa 4 izvoda (V_IN, GND, V_DD, V_OUT), koja je u SPICE-u predstavljena potkolom. Potkolo se sastoji iz dva tranzistora, predstavljena SPICE modelima. Na osnovu podataka iz modelske kartice, širina kanala *PMOS* tranzistora je 7,2 µm, dok je *NMOS* tranzistora 3,6 µm, a dužine kanala oba tranzistora su iste i iznose 0,6 µm. Takođe, ektrakovane su vrednosti pojedinih *SPICE* parametara za datu tehnologiju: as- površina sorsa, ad- površina drejna, ps, pd - parametri sorsa i drejna, redom, izračunati na osnovu dimenzija sorsa (drejna) i parametara procesa u datoj tehnologiji.

```
.SUBCKT inverter V_IN GND V_DD V_OUT
*PININFO V_IN:B GND:B V_DD:B V_OUT:B

MM1 V_DD V_IN V_OUT V_DD C5NPMOS w=7.2e-06 l=6e-07 as=1.296e-11 ps=1.8e-05 ad=1.296e-11 pd=1.8e-05
MM1 GND V_IN V_OUT GND C5NNMOS w=3.6e-06 l=6e-07 as=6.48e-12 ps=1.8e-05 ad=6.48e-12 pd=1.8e-05
.ENDS
```

Slika 5. SPICE netlista CMOS invertora.

Komponentu invertora koju smo kreirali uvozimo u električno kolo (slika 6). Izvor V1 simulira napon na V_DD pinu, dok izvor V2 simulira pravougaoni signal amplitude 5 V koji ima ulogu ulaznog napona, V_IN. Rastuća i opadajuća ivica ovog signala traje 1 ns, perioda signala je 10 ns, dok je trajanje signala logičke jedinice 5 ns. Simulira se 10 ovakvih impulsa. Pin V_DD ove komponente povezujemo sa izvorom napajanja V1, pin V_IN povezujemo sa izvorom V2, pin GND povezujemo na masu. Rezultati vremenske simulacije prikazani su na slici 7. Izlazni napon je invertovani signal ulaznog napona.

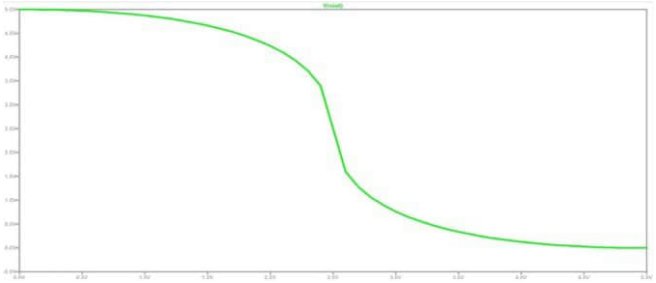


Slika 6. Simulaciona šema kola CMOS invertora.



Slika 7. Rezultati vremenske simulacije.

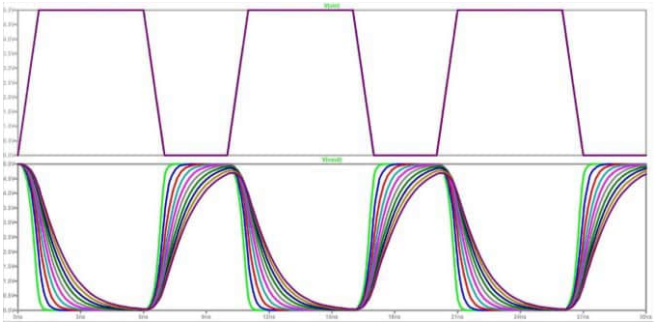
Izvršićemo DC analizu kola, radi prikaza prenosne karakteristike invertora. Dodaje se funkcija .dc V2 0 5 0.1. Ovom funkcijom se sa izvora napajanja V2 propušta napon od 0 V do 5 V sa korakom 0,1 V. Rezultat simulacije prikazan je na slici 8. U idealnom stanju, stanje niskog naponskog nivoa do vrednosti V_L=0 V se smatra stanjem logičke 0, dok se stanje visokog naponskog nivoa iznad vrednosti V_H=5 V smatra stanjem logičke 1. Između ovih vrednosti je nedefinisano stanje, odnosno prelazni režim invertora. Margine šuma za projektovano kolo invertora na osnovu rezultata sa slike 30 su: $NM_H=V_{OH}-V_{IH}$=4-3=1 V, $NM_L=V_{IL}V_{OL}$=2-0,5=1,5 V.



Slika 8. Prenosna karakteristika projektovanog CMOS invertora.

Korišćenjem funkcije .meas moguće je odrediti propagaciono kašnjenje kola bez opterećenja. Vrednost se očitava u log fajlu, iz padajućeg menija *View/SPICE Error Log*. U ovom slučaju kašnjenje iznosi 0,467 ns.

Da bi se simuliralo opterećenje ovog digitnalnog kola, drugim digitalnim kolima u simulacionu šemu se na izlaz kola dodaje kondenzator. U ovom slučaju biće simulirana promena kapacitivnog opterećenja kola od 10 fF do 100 fF, sa korakom 10 fF. Sa slike 9 može se videti kako različita kapacitivnost opterećenja utiče na izlazni signal. Zelenom bojom, na slici 9 označen je izlazni signal kod kojeg je opterećenje najmanje (10 fF), pa je i kašnjenje najmanje, manje od 1 ns. Iz prikazanog se može zaključiti da sa povećanjem opterećenja, povećava se i kašnjenje izlaznog signala. U slučaju opterećenja sa 100 fF, zaključuje se da će kašnjenje kola biti 2 ns. Ovim analizama smo dokazali da komponenta *CMOS* invertora, formirana u alatu *GLADE*, radi očekivano.



Slika 9. Vremenska simulacija projektovanog CMOS invertora pod kapacitivnim opterećenjem.

V. Zaključak

Projektovanje lejauta *CMOS* invertora u alatu *GLADE* i testiranje te komponente u alatu LTspice predstavlja sveobuhvatan proces koji uključuje različite faze razvoja komponenti i proveru funkcionalnosti. U *GLADE*-u, proces projektovanja počinje definisanjem osnovnih komponenti kao što su *NMOS* i *PMOS* tranzistori. Na osnovu detaljnih koraka, uključujući postavljanje slojeva kao što su aktivni sloj, poli, kontakt i metalni slojevi, stvoren je kompletan *CMOS* invertor. Koristeći n select i p select slojeve za dopiranje i dodavanje *nWell* sloja, invertor je detaljno formiran. Zatim je sastavljen CDL fajl, koji je eksportovan u LTspice za simulaciju. U LTspice-u, komponenta je testirana kroz vremensku analizu, gde su rezultati pokazali da invertor funkcioniše prema očekivanjima, invertujući ulazni signal sa očekivanom amplitudom i faktorom ispune. Urađena je i DC analiza, kao i analiza signala dodavanjem kondenzatora na izlazu. Proces projektovanja u *GLADE* i testiranja u LTspice potvrđuje da je pažljivo planiranje i detaljno testiranje od velike važnosti za uspešno razvijanje elektronskih komponenti. Ovaj pristup osigurava da komponenta ne samo zadovolji sve tehničke specifikacije, već i da funkcioniše u skladu sa predviđenim parametrima u stvarnim uslovima rada.

VI. Zahvalnica

Ovaj rad je rađen kao završni rad na modulu "Elektronske komponente i mikrosistemi" na Elektronskom fakultetu u Nišu. Posebna zahvalnost mentoru prof. dr Vesni Paunović i doc. dr Milošu Marjanoviću.

Literatura

[1] A. Sedra, K. Smith, "Microelectronic Circuits", Oxford University Press, New York, 2015.

[2] A. Prijić, D. Danković, Z. Prijić, "Uvod u poluprovodničke komponente i njihovu primenu", Elektronski fakultet Niš, 2020.

[3] GLADE, Peardrop Design Systems. Dostupno na: https://peardrop.co.uk/

[4] LTSpice. Dostupno na: https://www.analog.com/en/resources/design-tools-andcalculators/ltspice-simulator.html

[5] A. Prijić, M. Marjanović, "Praktikum za vežbe na računaru iz predmeta Poluprovodničke komponente", Elektronski fakultet Niš, 2024. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wpcontent/uploads/Praktikum_vezbe_rac_2024.pdf

[6] Pravila projektovanja za tehnološki proces SN05. Dostupno na: https://khan.engr.uconn.edu/courses/ece3421_s13/SN05_Rules.pdf

[7] V. Paunović, M. Marjanović, Literatura za predmet Tehnologije mikrosistema, Elektronski fakultet Niš, 2024. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/tehnologije-mikrosistema/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.321P
Original scientific paper

Analiza pouzdanosti gasnih odvodnika proizvođača Littelfuse pri različitim radnim naponima

Milica Petrušijević
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
milica.petrusijevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Gasni odvodnici prenapona imaju široku primenu u zaštiti električnih sistema i spadaju u najčešće korišćene nelinearne zaštitne komponente. Njihov rad se temelji na principu električnog proboja gasova pri niskom pritisku. U Laboratoriji za vakuumsku i gasnu tehniku na Elektronskom fakultetu u Nišu sprovedeno je istraživanje, tokom kojeg je izvršena karakterizacija gasnih odvodnika. Na osnovu rezultata analizirane su memorijske krive, odnosno zavisnost srednjih vrednosti vremena kašnjenja električnog proboja od vremena relaksacije za tri vrednosti radnog napona gasnih odvodnika Littelfuse 230 V, 250 V i 300 V.**

Ključne reči—gasni odvodnici, prenapon, Littelfuse

I. UVOD

Pojam prenapona predstavlja pojavu da je potencijal jedne tačke neke komponente, uređaja ili voda u odnosu na neku drugu tačku ili referentnu tačku nultog potencijala veći od dozvoljene vrednosti.

Važnost ovih uređaja se ogleda u njihovoj upotrebi kako u vojnoj industriji, nuklearnim postrojenjima, tako i u avionima i ostalim granama, što samo po sebi zahteva visok stepen pouzdanosti. U izvore prenapona se svrstavaju atmosferska pražnjenja, elektrostatička pražnjenja, komutacioni prenaponi, radarski impulsi i elektromagnetni impulsi nuklearne eksplozije.

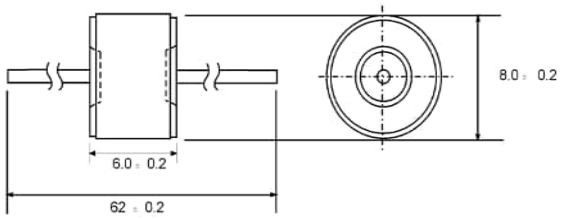
Atmosfersko pražnjenje značajno utiče na telekomunikacione vodove preko kojih oštećuje komponente, odnosno uređaje. U cilju eleminisanja rizika od povreda i oštećenja ili čak uništenja instalacija kao posledica ove pojave, ovi uticaji se ograničavaju na bezopasne nivoe pomoću odvodnika prenapona. U električnom smislu, gasne komponente se ponašaju kao prekidači.

II. GASNI ODVODNICI

Gasni odvodnici prenapona (eng. *Gas Filled Surge Arresters*) pripadaju grupi najčešće korišćenih nelinearnih elemenata za zaštitu od prenapona. Rade na principu električnog proboja gasova pri niskom pritisku i mogu se koristiti za zaštitu od prenapona intenziteta od nekoliko desetina volti do nekoliko desetina hiljada volti uz prednost u mogućnosti provođenja visokih struja (> 5 kA) i maloj kapacitivnosti (< 1 pF). Spadaju u energetski najizdržljivije i najjeftinije elemenate za zaštitu od prenapona [1].

A. Gasni odvodnici prenapona proizvođača Littelfuse

Ono čime Littelfuse gasni odvodnici navode da se razlikuju od drugih je upravo to što imaju stabilan rad u toku radnog veka, imaju brz odziv, malu parazitnu kapacitivnost i visoku otpornost izolacionog materijala. Na slici 1 prikazan je crtež gasnog odvodnika iz tehničke dokumentacije [2].



Slika 1. Gasni odvodnik proizvođača Littelfuse.

Karakteristike korišćenih Littelfuse gasnih odvodnika prenapona su: DC probojni napon; tipična vrednost DC proboja; napon luka; izolatorska otpornost; kapacitivnost i nominalna impulsna struja pražnjenja dati su u tabeli 1.

TABELA I. PODACI IZ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE O KARAKTERISTIKAMA GASNIH PROVODNIKA

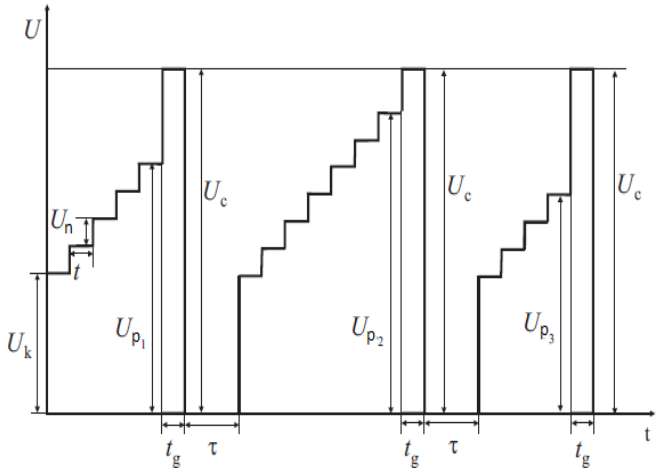
Komponenta	DC probojni napon (V)	DC tipični napon (V)	Napon luka (V)	Izolatorska otpornost (Ω)	Kapacitivnost (pF)	Nominalna impulsna struja pražnjenja (kA)
LF CG 230	195-265	230	15	1010 (на 100 V)	1.5	20
LF CG 250	213-288	250	15	1010 (на 100 V)	1.5	20
LF CG 300	255-345	300	15	1010	1.5	20

III. Fizičke veličine koje karakterišu električni proboj u gasu

A. Probojni napon

Probojni napon U_s jeste najveća vrednost napona za koju je verovatnoća pojavljivanja proboja i dalje jednaka nuli. Nakon proboja uspostavlja se režim samostalnog pražnjenja. Tada je prisutan veliki broj jonizovanih atoma ili molekula, a stacionarno stanje se održava na račun energije unete električnim poljem pod čijim se dejstvom gasni sistem nalazi.

Probojni napon se najčešće određuje u uslovima stepenastog porasta napona na elektrodama gasne komponente tj. diskretizovanom dinamičkom metodom. Ovaj postupak prikazan je na slici 2 [3].

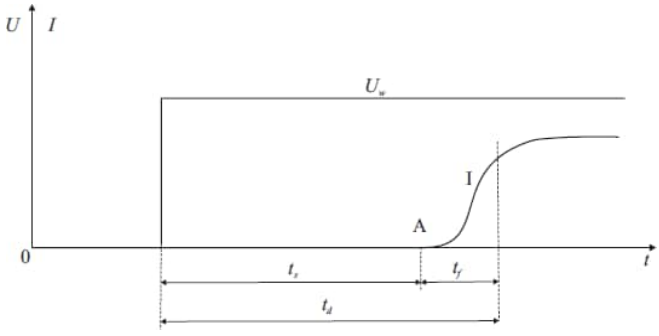


Slika 2. Stepenasti porast napona na gasnoj komponenti za seriju od tri merenja.

B. Vreme kašnjenja

Vreme koje protekne od primene radnog napona do uspostavljanja stacionarne struje zadate uslovima eksperimenta kola se naziva vreme kašnjenja električnog proboja t_d.

Vreme kašnjenja kao i probojni napon su stohastičke veličine, pa je za njihovo određivanje potrebno izvršiti veliki broj merenja pri istim eksperimentalnim uslovima. Na slici 3 prikazan je postepeni porast struje od minimalne vrednosti do saturacione [4].

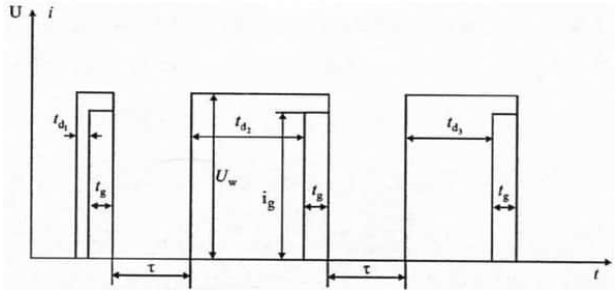


Slika 3. Šematski prikaz vremena kašnjenja.

Na slici 4 može se uočiti da se jedan ciklus merenja vremena kašnjenja sastoji iz tri dela. Ciklus počinje i završava se isključivanjem napona i prekidom struje, sadrži vreme relaksacije τ, vreme kašnjenja električnog proboja t_d i vreme pražnjenja t_g. (1):

$$t_c = \tau + t_d + t_g \quad (1)$$

Povećanje vremena relaksacije uzrokuje da vreme kašnjenja električnog proboja raste. Verovatnoća električnog proboja može se veoma efikasno analizirati merenjem vremena kašnjenja. Snimanjem memorijskih kriva, tj. zavisnost $t_d = f(\tau)$ mogu razdvojiti mehanizmi koji dominantno utiču na iniciranje proboja u gasnim komponentama.



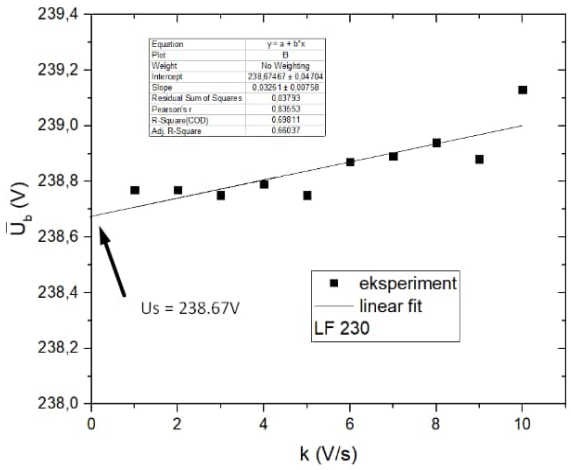
Slika 4. Ciklus merenja vremena kašnjenja sa stalnom vrednošću vremena relaksacije i vremena vremena pražnjenja.

IV. Procena statičkog probojnog napona i merenje vremena kašnjenja za gasne odvodnike Littelfuse 230 V, 250 V i 300 V

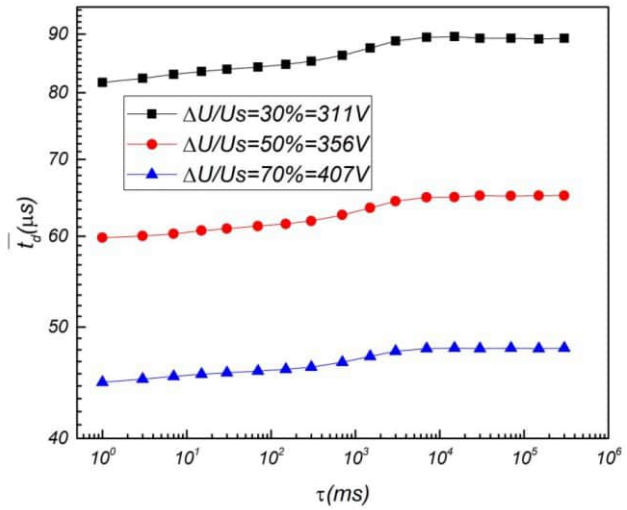
Pre merenja vremena kašnjenja električnog proboja određene gasne komponente neophodno je odrediti statički probojni napon svakog korišćenog uzorka. U posebno organizovanom eksperimentu vrše se merenja probojnog napona za prethodno zadate brzine porasta napona od 1 do 10 V/s, za svaku brzinu porasta napona po 100 merenja. Nakon toga pristupa se statističkoj analizi dobijenih rezultata merenja. Određuje se srednja vrednost probojnog napona za svaku od 10 brzina, dobijeni podaci nanose na grafiku i linearnim fitovanjem sa grafika se očitava vrednost statičkog probojnog napona.

Pri merenjima vremena kašnjenja za različite vrednosti vremena relaksacije korišćen je prethodno procenjen statički probojni napon $U_s = 239$ V; 261 V i 305 V, redom za odvodnike proizvođača Littelfuse od 230 V, 250 V, 300 V. Merenja su vršena pri radnom naponu $U_w = 130\%\ U_s$, $U_w = 150\%\ U_s$ i $U_w = 170\%\ U_s$. Izvršeno je po 100 merenja. Vreme relaksacije τ se kretalo u opsegu od 1 do 300 000 ms. Pri organizaciji eksperimenata i statističkoj analizi dobijenih rezultata korišćena je literatura [5] [6] [7].

A. Littelfuse 230 V (CG2230)

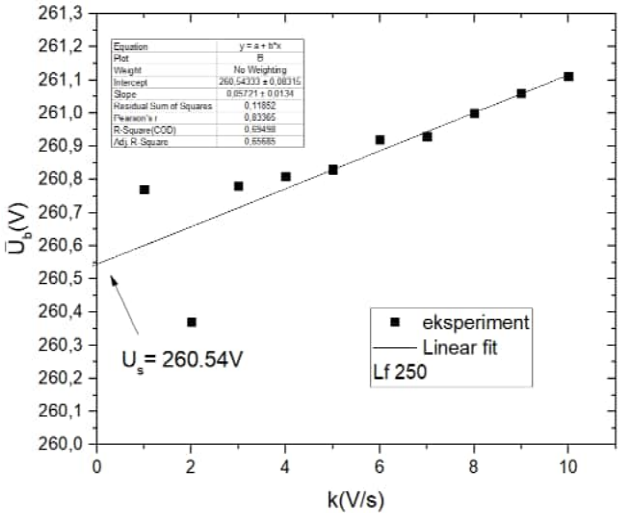


Slika 5. Određivanje statičkog probojnog napona za gasni odvodnik Littelfuse 230 V linearnim fitom.

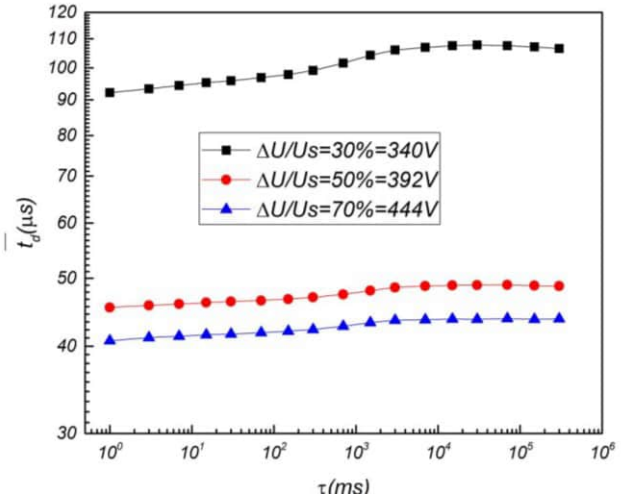


Slika 6. Prikaz rezultata za odvodnik Littelfuse 230 V pri radnom naponu od 130% Us, 150% Us i 170% Us .

B. *Littelfuse 250 V (CG2250)*

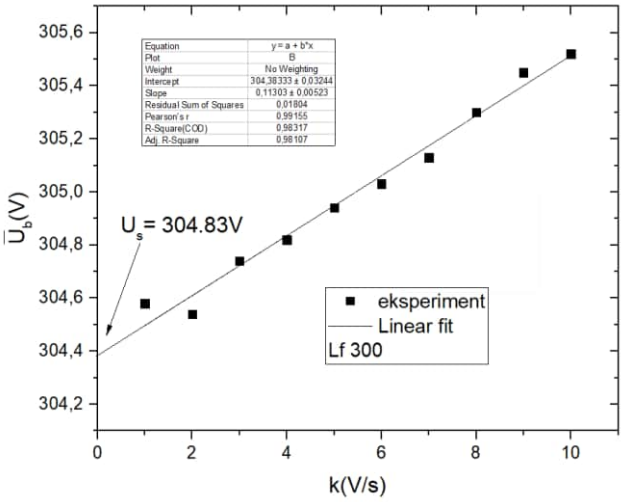


Slika 7. Određivanje statičkog probojnog napona za gasni odvodnik Littelfuse 250 V linearnim fitom.

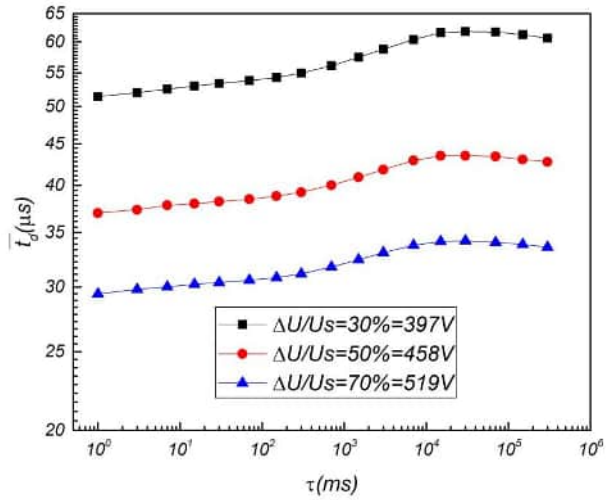


Slika 8. Prikaz rezultata za odvodnik Littelfuse 250 V pri radnom naponu od 130% Us, 150% Us i 170% Us.

C. *Littelfuse 300 V (CG2300)*



Slika 9. Određivanje statičkog probojnog napona za gasni odvodnik Littelfuse 300 V linearnim fitom.



Slika 10. Prikaz rezultata za odvodnik Littelfuse 300 V pri radnom naponu od 130% Us, 150% Us i 170% Us .

V. ZAKLJUČAK

Pri povećanju vremena relaksacije, povećava se i vreme kašnjenja do određenog trenutka kada dolazi do stabilizacije, dok se pri porastu probojnog napona može uočiti smanjenje vremena kašnjenja. Kako rezultati pokazuju linearnost u pogledu srednjih vrednosti vremena kašnjenja električnog proboja u odnosu na vreme relaksacije, bez nekog naglog porasta krive, zaključuje se da su korišćeni gasni odvodnici pouzdani za upotrebu u nekim složenijim elektronskim kolima. Gasni odvodnici nalaze sve veću primenu u vojnoj industriji i svemirskoj tehnologiji.

LITERATURA

[1] Momčilo M. Pejović „Uvod u električna gasna pražnjenja. Gasne elektronske komponente“, Elektronski fakultet, Niš, 2008.

[2] Tehnička dokumentacija za odvodnike proizvođača Littelfuse dostupna na: https://www.littelfuse.com/media?resourcetype=datasheets&itemid=6852d716-4efb-4b8b-9661-3d8e474ee7a0&filename=littelfuse_gdt_cg_cg2_datasheet.pdf

[3] Emilija Vukosavljević, Statistička analiza vremena kašnjenja i probojnog napona u azotu pri niskim pritiscima, seminarski rad, Prirodno-matematički fakultet, Niš, 2002.

[4] Emilija Živanović, Marija Živković, Sandra Veljković, “Study of Breakdown Voltage Stability of Gas-Filled Surge Arresters in the Presence of Gamma Radiation”. Electronics, vol. 11, p. 2447, 2022.

[5] Emilija Živanović, Marija Živković i Milić Pejović. “The evolution of breakdown voltage and delay response under high overvoltage for different types of surge arresters“, Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics, Vol. 34, No. 2 pp. 307-322, 2021.

[6] B. Popović i B. Blagojević, Matematička statistika sa primenama u hidrotehnici, Prosveta, Niš, 1999.

[7] Emilija Živanović, Nikola Stojiljković and Sandra Veljković, “Breakdown Voltage Stability Testing of Gas Surge Arrester Littelfuse CG2300 Under Different Environmental Conditions”, Proc. 2023 IEEE 33rd International Conference on Microelectronics (MIEL), Niš, 2023.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.325V
Original scientific paper

„IEEE Region 8 Student and Young Professional“ kongres 2024

Sandra Veljković
Katedra za mikroelektroniku
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Srbija
sandra.veljkovic@elfak.ni.ac.rs
ORCID: 0000-0001-9510-7465

Miloš Marjanović
Katedra za mikroelektroniku
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Srbija
milos.marjanovic@elfak.ni.ac.rs
ORCID: 0000-0002-2230-2646

***Sadržaj*—U ovom radu biće opisano učešće na „IEEE Region 8 Student and Young Professional Congress 2024“ koji je održan u Grenoblu, u Francuskoj u periodu od 15. do 19. jula 2024. godine. Biće opisan postupak prijave, kako je sam Kongres koncipiran, koje se sve aktivnosti sprovode, kao i neke osnovne napomene o gradu u kome se događaj održao.**

Ključne reči—SYP, R8, IEEE, Grenobl

I. UVODNE NAPOMENE O SYP-U

„IEEE Region 8 Student and Young Professional“ Kongres studenata i mladih profesionalaca, ili jednostavno R8 SYP Kongres, jedan je od najpoznatijih i najvažnijih događaja u Regionu 8, koja obuhvata Evropu, Afriku i deo Azije. Održava se svake dve godine i okuplja studente i mlade profesionalce iz STEM oblasti (nauka, tehnologija, inženjering i matematika) iz svih sekcija u Regionu 8. To je izvanredna prilika za članove IEEE da se povežu i razvijaju svoje tehničke i multidisciplinarne veštine.

Tokom Kongresa se organizuje širok spektar radionica koje obrađuju uzbudljive i aktuelne tehničke teme. Istovremeno, konferencija nudi radionice za razvoj nekih veština, koje su ključne za timski rad. Pored ovog programa obuke, planirane su i društvene aktivnosti kako bi učesnici mogli da razmene ideje i upoznaju različite kulture.

IEEE R8 raspisuje konkurs da se prijave studentski ogranci koji žele da organizuju Kongres. Taj proces prijave zahteva pripremu i podnošenje predloga dokumenta. Ova prijava treba da obuhvati detalje o tome kako IEEE tim planira da omogući održavanje događaja, kao i predloge za program samog kongresa. Najpre, potrebno je demonstrirati da studentski ogranak ima entuzijazam i dovoljno iskustva za preuzimanje organizacije ovako značajnog događaja. Poželjno je da članovi tima imaju prethodno iskustvo u učešću ili organizaciji prethodnih izdanja SYP kongresa. Takođe, preporučuje se saradnja sa lokalnim predstavnicima IEEE sekcija, grupama Mladih inženjera (*Young Professionals*), grupama Žene u inženjerstvu (*Women in Engineering*), odborima za humanitarne aktivnosti, i drugim relevantnim grupama i komitetima. Ova vrsta saradnje pokazuje jačinu organizacione mreže i podršku lokalne zajednice. Važno je prikazati da grad koji je predložen za domaćina poseduje potrebnu infrastrukturu za održavanje ovakvog događaja. Zatim, potrebno je predstaviti izabrani grad, kao i predloge za turističke ture ili kulturne aktivnosti koje bi bile deo programa. Ove aktivnosti omogućavaju učesnicima da upoznaju lokalnu kulturu i istoriju, čime se dodatno obogaćuje celokupno iskustvo kongresa. Predlog bi trebalo da sadrži preliminarni petodnevni raspored aktivnosti, kao i procenu budžeta za organizaciju događaja. Takođe, važan deo je pokazivanje inovativnosti i kreativnosti, jer se očekuje da predloženi program unese nešto novo i atraktivno u organizaciju kongresa. Nakon podnošenja predloga, isti će biti pregledan od strane nadležnih komiteta, koji će doneti konačnu odluku o domaćinu sledećeg SYP kongresa.

Prethodni kongresi su se održavali u gradovima širom Regiona 8: Istanbul, Einhoven, Kairo, Pasu, Paris, London, Leuven, Madrid, Krakov, Regensburg, Porto, Tunis i jedne godine je održan onlajn zbog pandemije Kovid. Za održavanje ovogodišnjeg kongresa izabran je grad Grenobl u Francuskoj, koji se još smatra i glavnim gradom Alpa [1]. Ilustracija logoa koji je korišćen je prikazana na slici 1.



Slika 1. Logo ovogodišnjeg Kongresa u Grenoblu.

II. SYP R8 GRENOBLE

U svojoj 14. ediciji, ovaj događaj predstavlja najveće okupljanje studenata i mladih profesionalaca u Regionu 8, privlačeći sjajne predavače iz različitih sekcija širom regiona. Delu studenata je Region 8 pokrio troškove učešća na Kongresu, kao u boravka u Grenoblu. Za tu opciju studenti su imali priliku da se prijave nekoliko meseci unapred. Jedan od uslova je bio da studenti prisustvuju svim radionicama i predavanjima. Pored studenata i mladih

profesionalaca, učesnici Kongresa su i istaknuti profesori i istraživači iz industrije koji su imali zadatke da održe radionice i okrugle stolove sa različitim temama. Kongres je tačka susreta inovacija, koji podstiče inženjerski duh i razvijanje „mekih“ veština, pružajući globalnu platformu za umrežavanje sa liderima iz industrije. Za mesto održavanja Kongresa odabran je MINATEC [2], prikazan na slici 2.



Slika 2. Inovacioni kampus MINATEC u kome se održavao Kongres.

Inovacioni kampus MINATEC okuplja 3000 istraživača, 1200 studenata i 600 stručnjaka za poslovanje i transfer znanja, na savremenom kampusu površine 20 hektara, sa velikim brojem laboratorija, istraživačkih centara koji su opremljeni najnovijom opremom. Kao međunarodni centar za istraživanje mikro i nanotehnologije, kampus MINATEC predstavlja jedinstvenu istraživačko-razvojnu ustanovu u Evropi. Generalno, Kongres je imao tri tipa događaja [1]. Prvi, koji je namenjen umrežavanju učesnika, poput svečane večere i internacionalne večeri, tehničke događaje poput radionica, predavanja i obilazaka laboratorija eminentnih kompanija, i na kraju su društvene aktivnosti poput turističkih obilazaka. Slika programa skupa je prikazana na slici 3.



Slika 3. Program Kongresa u Grenoblu.

Neki od osnovnih ciljeva ovogodišnjeg Kongresa su bili jednakost polova i raznolikost, briga o prirodi i okolini, poboljšanje i prilagođenje tehnologije ljudima, razmena ideja i ostvarivanje novih saradnja, bogat kulturni program i povezivanje među članovima IEEE.

Prvog dana planiran je dolazak i registracija učesnika (slika 4). Međutim, uglavnom tog prvog dana još nisu svi učesnici stigli, pa je taj deo više neformalnog karaktera. Drugi dan je počeo rano, uvodnom rečju glavnih organizatora skupa kao i Keynot predavanjem. Nakon pauze



Slika 4. Registracija učesnika Kongresa u Grenoblu.

za ručak, koji je svakog dana bio organizovan za učesnike Kongresa u kantini MINATEC-a, nastavilo se Plenarnim predavanjem i okruglim stolovima. Dan se završio multikulturalnom večeri. To je jako interesantan deo, veoma popularan među učesnicima. Učesnici se oblače u tradicionalne nošnje, donose tradicionalnu hranu i svi učesnici prilaze da probaju tradicionalna jela ili slatkiše. Tim iz naše države je takođe učestvovao na ovom događaju (slika 5).



Slika 5. Tim iz Srbije na internacionalnoj večeri Kongresa u Grenoblu.

Trećeg i četvrtog dana je bio sličan raspored. Kako je bilo puno učesnika, jednog dana, deo učesnika je išao u tehničke posete a drugi deo u turističke posete, dok bi se sledećeg dana zamenili. Tehničke posete su organizovane u dogovoru sa kompanijama, institutima i laboratorijama koje imaju svoje predstavništvo u Grenoblu. Neke od tih kompanija i laboratorija su *Schneider Electric*, *STMicroelectronics*, *G2Elab*, *CROMA Lab*, *SiMAP Lab*, *LGP2 Lab*. Inženjeri i studenti koji su imali zadatak da učesnike sprovedu kroz laboratorije su se potrudili da objasne sve čime se kompanije bave i koji su aktivni projekti na kojima trenutno rade. Slika 6 prikazuje obilazak i posetu laboratorijama *G2Elab* -a [3].

Nakon obilaska i pauze za ručak, nastavljen je program Kongresa. Započete su radionice, koje su se organizovale paralelno, a učesnici su unapred bili raspoređeni ko učestvuje u kojoj. Teme organizovanih radionica su bile: *Student Branch Vitality – Administration, Programs and Recognition*, *Overview of the IEEE communication soceity*, *IEEE Education Activities*, *IEEE Life members and S & YP*



Slika 6. Obilazak laboratorija G2Elab -a.

local groups – a fruitful cooperation opportunity, *Mastering Product Management with help of Serverless Architecture and Generative AI Features*, *Young Professionals in Action: Organizing Impactful Events*. Tokom mnogih radionica bili su organizovani kvizovi, mini takmičenja ili pravljene manje grupe koje su se takmičile jedne protiv drugih. Na slici 7 je prikazana atmosfera sa jedne od radionica. Uglavnom su sve



Slika 7. Jedna od održanih radionica na Kongresu.

radionice bile veoma interaktivne. Kako je za sve učesnike Kongresa, koji su imali obezbeđeno učešće od strane IEEE, radionice bile obavezne, prisutnost se kontrolisala skeniranjem QR kodova na akreditacijama učesnika.

I poslednje dešavanje tog dana je bila poster sesija na kojoj su svi učesnici koji su finansirani od strane IEEE imali obavezu da na posteru prikažu realizovane aktivnosti u okviru svojih studentskih ogranaka. Bilo je jako inspirativno videti i čuti za sve događaje koji se organizuju širom Regiona 8. Takođe, ono što je veliki broj učesnika primetio jeste popularnost IEEE organizacije u Tunisu. Pored toga što su najbrojniji studentski ogranak, definitivno imaju zavidan broj događaja. Tokom poster sesije bilo je organizovano takmičenje za najbolji poster gde je studentski ogranak iz Tunisa odneo pobedu. Pored toga, u tom periodu je bila organizovana večera od strane organizatora, u cilju da se neformalnoj atmosferi razmenjuju ideje i iskustva. Predstavnici iz Srbije su imali svoje postere i uspešno prikazali svoje realizovane događaje (slika 8).

Četvrti dan je za autore rada započeo turističkim obilaskom Grenobla. Bilo je veoma interesantno slušati o istoriji ovog grada koji ima veoma bogatu istoriju.



Slika 8. Peter Nagy potpredsednik IEEE sekcije Mađarske, Sandra Veljković i Miloš Marjanović predstavnici ED/SSC University of Nis Student Branch Chapter-a i IEEE Student Branch Niš-a.

Grenobl [4] je smešten u jugoistočnoj Francuskoj, i poznat je kao „glavni grad Alpa“. Ovaj naziv je zaslužio zahvaljujući svom geografskom položaju u dolini okruženoj planinskim masivima, čime predstavlja važno središte za planinske sportove i istraživanja, ali i za industriju i tehnologiju.

Grad ima bogatu istoriju koja datira još iz vremena Rimljana, kada je osnovan pod imenom *Cularo*. Tokom srednjeg veka, Grenobl je bio deo grofovije Alpa, a kasnije ga je vojvoda Savoje pripojio svom carstvu. Jedan od ključnih trenutaka u istoriji Grenobla desio se tokom Francuske revolucije, poznat kao „Dan crepa“ (1788. godine), kada su građani, protestujući protiv kraljevih odredbi, bacali crepove na vojnike, što se smatra jednim od početaka revolucije.

Grenobl je takođe bio centar otpora tokom Drugog svetskog rata, a danas je grad ponosni nosilac ordena francuskog Ordena oslobođenja za svoje učešće u antifašističkoj borbi. U poslednjih nekoliko decenija, Grenobl je postao vodeći centar za istraživanja u oblasti nauke i tehnologije, naročito u mikro i nanotehnologijama, što je dodatno osnaženo kroz otvaranje inovacionog kampusa MINATEC.

Brojne poznate ličnosti su povezane sa Grenoblom. Među njima je Stendal (Anri Bejl), slavni francuski pisac i autor romana „Crveno i crno“, koji je rođen u ovom gradu. Još jedan poznati stanovnik Grenobla bio je matematičar Žozef Furije, poznat po Furijeovoj analizi, čije je istraživanje značajno uticalo na razvoj matematike i fizike.

Danas, Grenobl privlači brojne turiste svojim kulturnim i istorijskim znamenitostima. Jedna od najpoznatijih atrakcija je Bastilja, tvrđava iz 19. veka, smeštena na brdu iznad grada, do koje se može stići žičarom. Sama žičara predstavlja bitnu turističku atrakciju zbog jedinstvenog izgleda (slika 9), što je poslužilo za dizajn logoa Kongresa. Sa tvrđave se pruža spektakularan pogled na grad i okolne planine. Gradski muzeji, poput Muzeja Grenoble, jednog od najznačajnijih francuskih muzeja likovne umetnosti, pružaju uvid u bogatu umetničku i kulturnu baštinu. Takođe, posetioci mogu uživati u istraživanju gradskih parkova, kao što je *Jardin de Ville*, i učešću u zimskim sportovima u okolnim skijaškim centrima.

Grenobl danas predstavlja jedinstveni spoj istorijskog nasleđa i modernih naučnih i tehnoloških inovacija, čineći ga važnim centrom ne samo za turiste već i za istraživače i stručnjake iz različitih oblasti.

Deo učesnika je izabrao da učestvuje u nešto atraktivnijim i nesvakidašnjim aktivnostima kao što su vožnja kanuom po reci Isère koja protiče kroz centar grada i *via ferrata*, što je podrazumevalo planinarenje koristeći puteve osigurane čeličnim žicama i upotrebljavajući dodatne alate radi sigurnog prelaska.



Slika 9. Slika popularne gondole, zaštitnog znaka Grenobla.

Dan se nastavio učešćem na radionicama koje su bile organizovane kao i prethodnog dana. Teme radionica su i tog dana bile veoma aktuelne teme, poput *Technical Talk by STMicroelectronics*, *5G and beyond technical roadmaps for Future Networks*, *Renewable Energy and the Challenges ahead*, *Addressing Environmental Challenges through AI-Driven Research and Applications*. Nakon završenih radionica i predviđenih predavanja, učesnicu bili pozvani da naprave grupnu fotografiju (slika 10).



Slika 10. Zajednička fotografija učesnika SYP Kongresa 2024. u Grenoblu.

Nakon završenih svih aktivnosti, organizovana je svečana večera na stadionu fudbalskog kluba *Grenoble Foot* 38. Njihov domaći stadion je *Stade des Alpes* [5], koji izgleda veoma moderno, i ima prateće prostorije u kojima je organizovana svečana večera (slika 11). Najpre je bio organizovan koktel u ložama stadiona, sa pogledom na fudbalski teren i ceo stadion, a nakon toga su učesnici prešli u restoran stadiona. Tokom trajanja svečane večere, organizatori su nagrađivali zaslužne pojedince i studentske ogranke za učešće i sprovođenje različitih aktivnosti koje se tiču promocije inženjerstva među studentima.



Slika 11. Atmosfera sa svečane večere.

III. Zaključak

Učešće na „IEEE Region 8 Student and Young Professional Congress 2024“ u Grenoblu pružilo je jedinstvenu priliku za razvoj tehničkih i mekih veština, umrežavanje sa liderima iz industrije i istraživačima, kao i razmenu ideja među članovima IEEE zajednice. Tokom Kongresa, učesnici su imali priliku da se uključe u brojne tehničke radionice, obilaske laboratorija i kompanija, kao i u društvene aktivnosti koje su obogatile njihovo celokupno iskustvo. Sam proces prijave i organizacije ovog Kongresa, koji zahteva preciznu koordinaciju sa lokalnim ograncima i oslanja se na inovativnost i kreativnost predloženih programa, ističe važnost saradnje među različitim sekcijama i grupama unutar IEEE zajednice. Kroz multidisciplinarni pristup i aktivnosti koje promovišu raznolikost i održivost, Kongres je značajno doprineo jačanju inženjerskog duha i saradnje u Regionu 8.

Zahvalnica

Autori rada se zahvaljuju prof. dr Danijelu Dankoviću na motivaciji i podsticanju aktivnosti u okviru ED/SSC University of Nis Student Branch Chapter-a i IEEE Student Branch Niš-a. Takođe, zahvaljuju se IEEE sekciji Srbije i Crne Gore na finansijskoj pomoći u organizaciji učešća na SYP kongresu.

Literatura

[1] Sajt SYP Grenoble Kongresa sa svim relevantnim informacijama. Dostupno na: https://grenoble-2024.ieeer8syp.org/home.

[2] Sajt Inovacionog kampusa MINATEC. Dostupno na: https://www.minatec.org/en/.

[3] Sajt CROMA lab. Dostupno na: https://croma.grenoble-inp.fr/en.

[4] Grenoble - izuzetna destinacija Evrope. Dostupno na: https://www.europeanbestdestinations.com/destinations/grenoble/.

[5] Sajt stadiona Stade des Alpes. Dostupno na: https://stadedesalpes.fr/.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.329L
Original scientific paper

Projektovanje i praktična realizacija rotirajućeg postolja za 3D skeniranje

Konstantin Lukić
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
konstantin.lukic007@gmail.com
ORCID: N/A

Lana Jovanović
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
lanajovanovic734@gmail.com
ORCID: N/A

Petra Živković
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
petrazivkovi@gmail.com
ORCID: N/A

Mateja Grujić
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
mateja.grujic2266@gmail.com
ORCID: N/A

Dušan Marjanović
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
dusanmarjanovic834@gmail.com
ORCID: N/A

Jelena Rajković
TŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
milojkovic.jelena@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Ovaj rad prikazuje projektovanje i realizaciju rotirajućeg postolja za 3D skeniranje. Postolje omogućava rotaciju objekata za precizno skeniranje u 360 stepeni. Upravljanje postoljem vrši se pomoću mikrokontrolera i softvera, dok su delovi izrađeni 3D štampom. Testiranjem su postignuti tačni rezultati rotacije uz stabilno napajanje. Ova platforma pruža povoljno i efikasno rešenje za primenu u 3D skeniranju.**

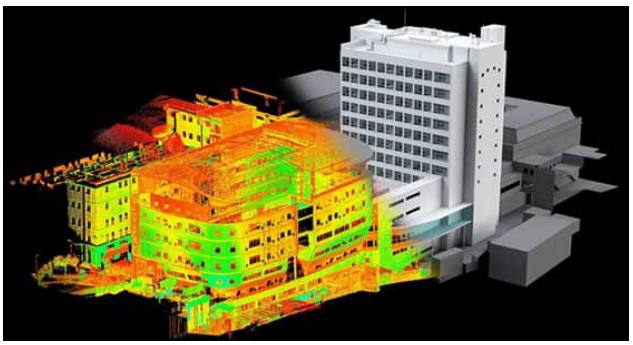
Ključne reči—3D skeniranje, rotirajuće postolje, Arduino, 3D štampa

I. Uvod

Rotirajuće postolje za 3D skeniranje predstavlja praktično rešenje koje omogućava precizniju i efikasniju digitalizaciju objekata u 360 stepeni. Tradicionalni proces skeniranja zahteva ručno okretanje predmeta, što često dovodi do nepravilnosti i grešaka u prikupljanju podataka. Cilj ovog projekta je automatizacija i olakšavanje tog procesa, omogućavajući postolju da rotira objekat pod kontrolom softvera, dok skener beleži sve potrebne informacije sa visokom preciznošću.

Razvijeno postolje dizajnirano je kao modularno rešenje koje se može koristiti sa različitim tipovima 3D skenera. Korišćenjem mikrokontrolera i *stepper* motora, omogućena je kontrolisana rotacija objekata sa preciznim podešavanjem ugla rotacije. Osim toga, komponente postolja izrađene su 3D štampom, što značajno smanjuje troškove i omogućava lako prilagođavanje potrebama korisnika.

3D skeniranje danas igra ključnu ulogu u brojnim industrijama, uključujući arhitekturu (sl. 1), inženjering, medicinu itd [1]. Njegova primena omogućava brzu digitalizaciju složenih objekata i olakšava dalju obradu u raznim softverskim alatima. Stalno unapređivanje tehnologija poput rotirajućih postolja doprinosi preciznijem skeniranju i širem spektru primena, čime se podstiče razvoj industrije i povećava efikasnost u mnogim oblastima, bilo da je to skeniranje statua, starih osetljivih figura, tekstura starih fasada objekata koje su u stanju raspadanja, ili starih spomenika kojima je potrebna rekonstrukcija.



Slika 1. 3D skenirano (izmereno) zemljište i objekat.

II. Projektovanje kola

Rotirajuće postolje za 3D skeniranje koristi jednostavan, ali efikasan elektronski sistem, koji se sastoji od nekoliko ključnih komponenti. Osnovne komponente uključuju *stepper* motor, drajver za *stepper* motor, *Arduino Uno* ploču, kao i IR daljinski upravljač koji služi za upravljanje rotacijom postolja. U nastavku su detaljnije opisane glavne komponente projekta.

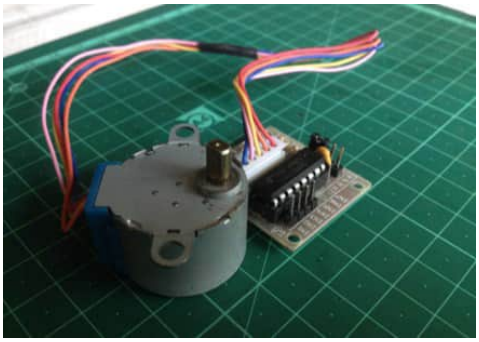
A. Stepper motor

Stepper motor je ključna komponenta zadužena za rotaciju samog postolja. Iskorišćen je *stepper* motor 28BYJ48 [2]. Ovaj motor omogućava precizno upravljanje uglom rotacije, kao i kontrolu brzine rotacije. Kada dobije signal sa *Arduino* okruženja, motor se pokreće u skladu sa podešavanjima koja su unapred definisana preko daljinskog upravljača. Na slici 2 je prikazan model *stepper* motora koji je iskorišćen.

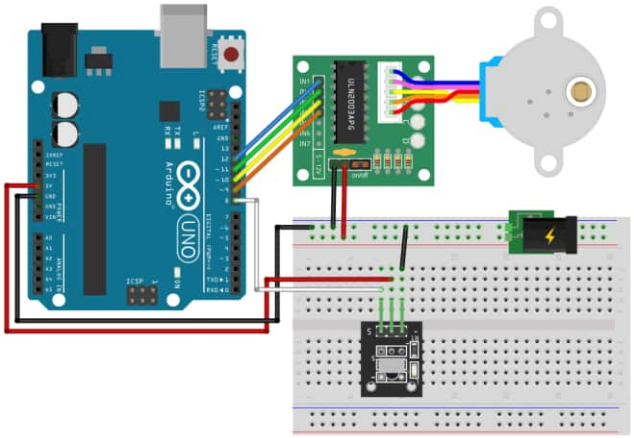
B. Arduino Uno okruženje

Arduino Uno okruženje služi kao kontrolni centar čitavog sistema. Glavnu komponentu okruženja predstavlja mikrokontroler ATmega328P [3]. Okruženje prima signale sa IR prijemnika i na osnovu njih upravlja *stepper* motorom preko odgovarajućeg drajvera. Koristeći ovaj mikrokontroler, moguće je precizno odrediti brzinu i smer rotacije. Na slici 3

je prikazana šema *Arduino* okruženja sa povezanim ostalim komponentama.



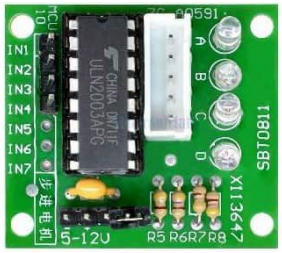
Slika 2. *Stepper* motor priključen na drajver.



Slika 3. *Arduino Uno* i povezane komponente.

C. *Drajver za motor ULN2003*

Drajver za *stepper* motor je odgovoran za ispravno funkcionisanje *stepper* motora. Njegova uloga je da obezbedi dovoljno snage motoru i da se omogući fino upravljanje motorom uz minimalne greške u uglu rotacije. Zasnovan je na kolu ULN2003 [4]. Na slici 4 je prikazana štampana ploča sa drajverom.



Slika 4. Štampana ploča sa drajverom.

D. *IR daljinski upravljač sa HX1838 prijemnikom*

IR daljinski upravljač, koji je prvobitno dizajniran za upravljanje zvučnim sistemima, u ovom projektu je modifikovan tako da upravlja rotacijom postolja. Daljinski upravljač šalje infracrvene signale ka HX1838 prijemniku povezanom na *Arduino* okruženje, što omogućava korisniku da sa distance kontroliše i brzinu i smer rotacije postolja [5]. Slika 5 prikazuje IR daljinski i prijemnik.



Slika 5. IR daljinski upravljač i prijemnik.

III. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SISTEMA

Rotirajuće postolje za 3D skeniranje dizajnirano je za jednostavnu upotrebu. Upravlja se daljinskim upravljačem koji koristi infracrvenu (IR) tehnologiju, omogućavajući korisnicima da rotiraju objekat u željenom pravcu i brzinom na daljinu. *Stepper* motor obezbeđuje preciznu kontrolu nad brzinom i uglom rotacije. Sve to je omogućeno u vidu koda rađenom za *Arduino* platformu, korišćenjem softverskog alata *Arduino IDE* [6]. U nastavku biće prikazani ključni delovi programa koji opisuje rad projektovanog sistema.

```
#include "Stepper.h"
#include "IRremote.h"
int IR_RECEIVE_PIN = 4;
int f = 0;
```

1. Inicijalizacija motora i IR prijemnika:

Za realizaciju iskorišćene su biblioteke *Stepper.h* i *IRremote.h*. IR prijemnik prima signale sa daljinskog upravljača preko pina broj 4 *Arduino Uno* okruženja.

```
int stepper_speed = 500;
#define STEPS 32
int Steps2Take;
Stepper small_stepper(STEPS, 8, 10, 9, 11);
unsigned long currentPosition;
```

2. Postavljanje brzine motora:

Stepper motor se kontroliše pomoću četiri pina, to su digitalni pinovi 8, 9, 10 i 11. Rotaciju vrši kroz 32 koraka. Brzina motora je definisana na 500 koraka u minuti.

```
IrReceiver.begin(IR_RECEIVE_PIN,
DISABLE_LED_FEEDBACK);
    Serial.begin(115200);
}
void loop() {
    if (IrReceiver.decode()) {

Serial.println(IrReceiver.decodedIRData.decodedRaw
Data, HEX);
```

3. Detekcija IR signala: Funkcija:

Funkcija `*IrReceiver.decode()*` proverava da li je primljen signal sa daljinskog, i na osnovu toga izvršava akcije.

```
switch (IrReceiver.decodedIRData.decodedRawData) {
```

```
    case 0xF30CFF00:
        f = 0;
        small_stepper.setSpeed(stepper_speed);
        Steps2Take = 256;
        small_stepper.step(Steps2Take);
```

4. Rotacija motora:

Kada je pritisnut odgovarajući taster na daljinskom (taster 1 u ovom slučaju), motor se rotira za 256 koraka.

```
     currentPosition += 256;
         delay(2000);
         break;
        }
    }
}
```

5. Pauza i ažuriranje pozicije:

Nakon rotacije, motor pravi pauzu od 2 sekunde i pozicija se ažurira.

IV. Praktična realizacija

Celokupno povezivanje elektronskih komponenti bilo je jednostavno i uspešno izvedeno bez poteškoća. Pažljivo je praćena šema za povezivanje pinova *Arduino* okruženja, sa svakom od komponenata koje su korišćene u samom projektu.

Platforma je prvobitno dizajnirana za rad sa *Creality Ferret* 3D skenerom, ali zahvaljujući univerzalnosti dizajna, može se koristiti i sa aplikacijom *Creality Scan* dostupnom na iOS i *Android* uređajima [7]. Ovaj aspekt kompatibilnosti čini postolje veoma praktičnim i prilagodljivim.

Postavljene komponente, uključujući *stepper* motor, *Arduino Uno* i drajver za motor, prema očekivanjima od šeme su funkcionisale zajedno. Standardni *jumper* kablovi su korišćeni za povezivanje delova. Na ovaj način je izbegnuto lemljenje, pojednostavljen proces integracije sistema, i omogućeno potencijalno dodavanje komponenata za unapređenje projekta u budućnosti.

A. Štampanje delova za uređaj

Modeli su bili dizajnirani tako da precizno odgovaraju komponentama projekta. Kućište je imalo tačno određene otvore za *Arduino Uno* okruženje. *Stepper* motor je prema izmerenim dimenzijama pozicioniran na predviđeno mesto unutar kućišta.

Dodatno, komponente su štampane u dve boje, sivo kućište za *Arduino* okruženje i ostale komponente, i belo kružno postolje za objekat.

Belo postolje je posebno važno jer sprečava interferenciju sa svetlom tokom skeniranja, poboljšavajući kvalitet prikupljenih podataka. Sastavljanje postolja je jednostavno, a komponente su modularne, što olakšava održavanje i omogućava potencijalnu nadogradnju.

Međutim, prilikom prvog štampanja belog postolja došlo je do manje poteškoće. Postolje, koje je dizajnirano da bude kružnog oblika, bilo je previše tanko u prvoj verziji. Ovo je dovelo do nestabilnosti tokom rotiranja, jer se objekat na postolju tresao tokom rada. Problem je rešen ponovnim štampanjem i ojačavanjem modela, čime je postignuta stabilnost sistema.

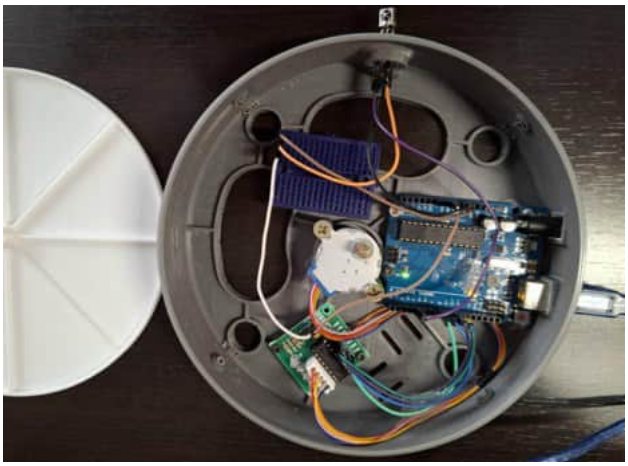


Slika 6. Podnožje rotirajućeg postolja sa rupama za montažu *stepper* motora i rupama za povezivanje sa *Arduino Uno* okruženjem.



Slika 7. Ploča rotirajućeg postolja veće debljine radi bolje stabilnosti.

Nakon što je problem sa debljinom postolja rešen, sistem je bio potpuno stabilan. Svi delovi su radili sinhronizovano, a daljinski upravljač je uspešno kontrolisao i brzinu i smer rotacije postolja.



Slika 8. Komponente povezane u sklopu uređaja i postavljene na podnožje postolja.

B. Ograničenja i moguća poboljšanja sistema

Sistem je u velikoj meri funkcionalan i ispunjava sve zadate parametre. Jedino potencijalno poboljšanje bilo bi preciznija kontrola ugla rotacije postolja. Moguća kalibracija bi omogućila veću preciznost u radu, ali je to više estetski detalj nego neophodan zahvat.

V. TESTIRANJE SISTEMA

Tokom testiranja rotirajućeg postolja za 3D skeniranje, zabeleženi su uglavnom zadovoljavajući rezultati u pogledu stabilnosti i tačnosti rotacije. Međutim, uočeni su neki potencijalni problemi i ograničenja koja bi mogla da utiču na dugoročnu upotrebljivost sistema.

Jedan od ključnih izazova bio je problem stabilnosti postolja pri rotaciji. U prvoj verziji postolja, dizajn je bio previše tanak, što je dovelo do nestabilnosti objekata na postolju. Ovaj problem je rešen ponovnim štampanjem i povećanjem debljine postolja, ali to ukazuje na potrebu za pažljivijom optimizacijom dizajna od početka.

Takođe, primećen je manji stepen vibracija tokom rada *stepper* motora, što bi u nekim slučajevima moglo dovesti do smanjenja preciznosti skeniranja. Iako ove vibracije nisu značajno uticale na krajnji rezultat u testiranju, za finija skeniranja i delikatnije objekte, preporučuje se dodavanje amortizera ili upotreba preciznijeg motora.

Dalje, kontrola ugla rotacije, iako generalno precizna, može da se unapredi putem dodatne kalibracije. Trenutna implementacija rotacije zadovoljava osnovne zahteve, ali za aplikacije koje zahtevaju visoku preciznost, potrebno je unaprediti softversku kontrolu i omogućiti finije podešavanje ugla.

VI. ZAKLJUČAK

Proces projektovanja i realizacije ovog projekta bio je uspešno sproveden kroz nekoliko ključnih faza. Počevši od same ideje i dizajna 3D modela, preko povezivanja elektronskih komponenti, do testiranja funkcionalnosti rotacije postolja, sve je prošlo po planu. Uprkos manjem izazovu sa stabilnošću postolja, koji je rešen ponovnom štampom, sistem se pokazao stabilnim i potpuno operativnim.

Što se tiče budućih unapređenja, preporučujemo da se izvrši fina kalibracija ugla rotacije kako bi sistem bio precizniji. Takođe, moguće je dodati više opcija za kontrolu brzine i smera rotacije putem softvera, što bi omogućilo veću fleksibilnost i kontrolu u realnom vremenu.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se ETŠ „Mija Stanimirović“ na podršci, ustupljenom prostoru i opremi, kao i Katedri za mikroelektroniku Elektronskog fakulteta u Nišu na korisnim savetima i saradnji.

LITERATURA

[1] Princip rada 3D skenera. Dostupno na: https://www.3d-scantech.com/all-you-need-to-know-about-3d-scanners/#:~:text=3D%20scanners%20work%20by%20projecting,3D%20representation%20of%20the%20object.

[2] Tehnička specifikacija za stepper motor 24BYJ48. Dostupno na: https://descargas.cetronic.es/28BYJ-48.pdf

[3] Tehnička specifikacija za Arduino Uno. Dostupno na: https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf

[4] Tehnička specifikacija za ULN2003 drajver za stepper motor. Dostupno na: https://www.hadex.cz/spec/m513.pdf

[5] Tehnička specifikacija za HX1838 IR prijemnik Dostupno na: https://dalincom.ru/datasheet/AX-1838HS.pdf

[6] Softverski alat *Arduino IDE*. Dostupno na: https://www.arduino.cc/en/software

[7] Karakteristike *Creality Ferret* skenera. Dostupno na: https://all3dp.com/4/creality-cr-scan-ferret-a-portable-scanner-you-can-use-anywhere-ad/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.333M
Original scientific paper

Primena Creality Ferret 3D skenera za prostorno skeniranje objekata

Dušan Marjanović
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
dusanmarjanovic834@gmail.com
ORCID: N/A

Petra Živković
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
petrazivkovi@gmail.com
ORCID: N/A

Mateja Grujić
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
mateja.grujic2266@gmail.com
ORCID: N/A

Lana Jovanović
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
lanajovanovic734@gmail.com
ORCID: N/A

Konstantin Lukić
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
konstantin.lukic007@gmail.com
ORCID: N/A

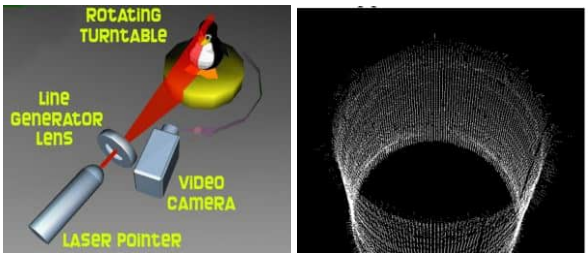
Jelena Rajković
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
milojkovic.jelena@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Ovaj rad predstavlja primenu Creality Ferret 3D skenera za prostorno skeniranje objekata. Objašnjeni su osnovni principi 3D skeniranja i detaljno analizirane mogućnosti istog. Demonstriran je praktičan primer skeniranja predmeta, kako bez, tako i sa rotirajućim postoljem. Takođe su razmatrana ograničenja procesa skeniranja i predložena moguća unapređenja.**

Ključne reči*— *3D skeniranje, Creality Ferret, prostorno skeniranje, rotirajuće postolje, skeniranje objekata

I. UVOD

3D skeniranje je savremena tehnologija koja omogućava preciznu reprodukciju fizičkih predmeta u digitalnoj formi. Ovaj proces se koristi u različitim industrijama kao što su arhitektura, dizajn, medicina i proizvodnja, gde je potrebna visoka preciznost i tačnost u izradi digitalnih modela. 3D skeneri rade na principu merenja udaljenosti određenih tačaka (slika 1) na površini objekta i njihovog prevođenja u tačke ili poligone u digitalnom prostoru [1, 2].



Slika 1. Princip merenja udaljenosti određenih tačaka na površini objekta.

Postoji nekoliko različitih metoda 3D skeniranja, među kojima se najviše ističe lasersko skeniranje [2]. Lasersko skeniranje koristi lasere za precizno hvatanje detalja površina, čineći ga pogodnim za industrije koje zahtevaju visoku preciznost, kao što je mašinstvo. Postoji i metoda fotogrametrije, koja predstavlja postupak koji koristi fotografije iz različitih uglova da bi se rekonstruisao 3D model (slika 2), što je metoda dostupnija i manje skupa, ali često i manje precizna.



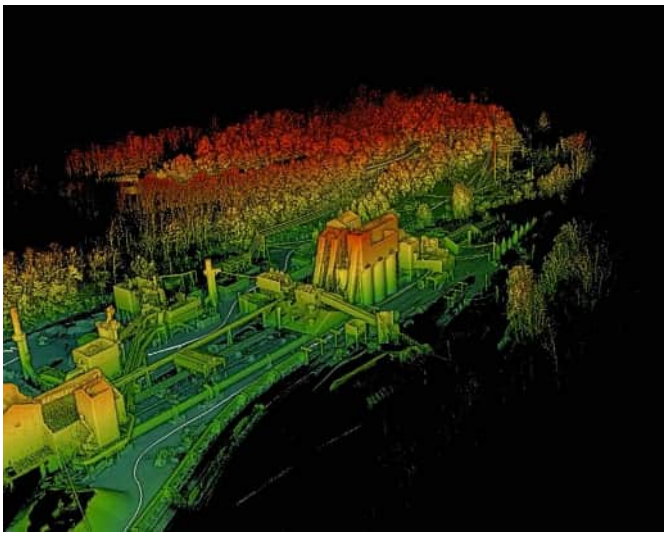
Slika 2. Fotogrametrija (postupak koji koristi fotografije iz različitih uglova da bi se rekonstruisao 3D model).

Obe metode skeniranja imaju svoje prednosti i mane. Laserski skeneri pružaju najveću preciznost, ali su i najskuplji. Fotogrametrija je ekonomična i jednostavna za upotrebu, ali može zahtevati značajnu količinu fotografija i vremena za obradu.

3D skeniranje je efikasan alat za reprodukciju objekata u digitalnom formatu, ali izbor metode zavisi od zahteva projekta, raspoloživih resursa i nivoa preciznosti koji je potreban. U ovom radu, poseban fokus biće na primeni *Creality Ferret* 3D skenera i njegovim mogućnostima u procesu prostornog skeniranja objekata [3, 4].

II. LIDAR

LIDAR (eng. Light Detection and Ranging) skeniranje nudi značajne prednosti u odnosu na fotogrametriju, posebno u pogledu tačnosti i pouzdanosti. Dok fotogrametrija zahteva više fotografija pod različitim uglovima i optimalne svetlosne uslove, LIDAR (Slika 3) koristi laserske zrake za direktno merenje udaljenosti do objekata, omogućavajući precizno mapiranje i složenih površina bez obzira na osvetljenje. LIDAR može prikupljati podatke čak i u lošim vremenskim uslovima, kroz vegetaciju ili u slaboj vidljivosti, što ga čini idealnim za skeniranje u zahtevnim okruženjima gde fotogrametrija ne može pružiti iste rezultate.

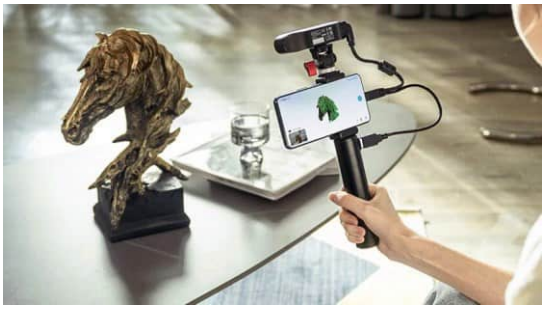


Slika 3. LIDAR skeniranje.

III. JEDNOSTAVNOST UPOTREBE

Creality Ferret 3D skener je prepoznatljiv po svojoj jednostavnosti upotrebe, što ga čini pristupačnim čak i za korisnike koji nemaju mnogo tehničkog znanja. Sama instalacija uređaja i pratećeg softvera ne zahteva specijalizovano znanje, dok je povezivanje skenera sa mobilnim telefonom vrlo jednostavno.

Jedna od ključnih karakteristika funkcionalnosti ovog skenera jeste njegova *prenosivost i kompaktnost* (slika 4), što ga čini pogodnim za rad na terenu [2]. Zahvaljujući malim dimenzijama i maloj težini, *Creality Ferret* omogućava korisnicima da obavljaju skeniranje na različitim lokacijama bez potrebe za dodatnom opremom ili složenom postavkom. Funkcionalnost je dodatno poboljšana povezivanjem sa mobilnim aplikacijama koje omogućavaju lako upravljanje parametrima skeniranja i pregled rezultata u realnom vremenu.



Slika 4. Prenosivost i kompaktnost.

Proces skeniranja uz ovaj skener takođe ne zahteva složena podešavanja. Korišćenje rotirajućeg postolja u kombinaciji sa skenerom omogućava preciznije hvatanje detalja objekta iz više uglova, bez potrebe za ručnim podešavanjem položaja objekta. To značajno smanjuje mogućnost grešaka i osigurava bolje rezultate.

Međutim, kao i svaki uređaj, i ovaj skener ima određena ograničenja. Na primer, prilikom skeniranja objekata složenih geometrija ili površina visokog sjaja, mogu se pojaviti poteškoće u očitavanju tačnih dimenzija i tekstura, što može zahtevati dodatnu obradu [3].

IV. CREALITY FERRET 3D SKENER

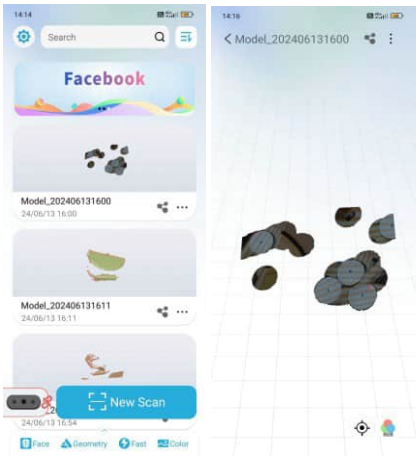
Creality Ferret 3D skener (slika 5) je, kao što je već spomenuto, kompaktan i efikasan uređaj dizajniran za precizno skeniranje trodimenzionalnih objekata. Ovaj skener se ističe svojom sposobnošću da snimi detalje visokog kvaliteta, zahvaljujući kombinaciji *laserskog i infracrvenog senzora*. Njegov proces skeniranja zasniva se na tehnologiji strukturisanog svetla, koja omogućava tačno prepoznavanje geometrije objekta, beležeći različite dimenzije i konture sa visokim stepenom preciznosti [5].



Slika 5. *Creality Ferret* 3D skener.

Organizovano svetlo koristi serije svetlosnih šablona koje se projektuju na objekat. Kada se svetlost odbije, senzor skenera detektuje promene i deformacije tih šablona, što omogućava rekonstrukciju trodimenzionalne forme objekta. Ova metoda se smatra pouzdanom za skeniranje objekata različitih veličina, materijala i tekstura, ali je najefikasnija na površinama sa mat završnicom.

Ferret koristi poseban softver za skeniranje koji omogućava pregled skeniranih podataka u realnom vremenu (slika 6).



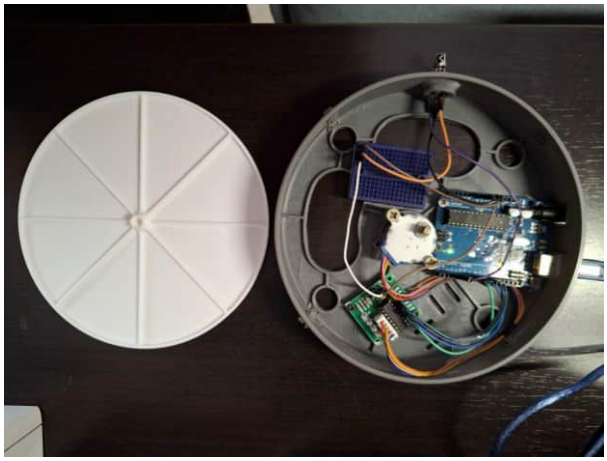
Slika 6. Primeri skreniranih podataka.

U softveru, korisnici mogu pratiti proces i izvršiti osnovne izmene ili korekcije na modelu pre nego što se podaci sačuvaju za dalju obradu. Softver takođe nudi mogućnost prilagođavanja parametara skeniranja, poput rezolucije i brzine skeniranja, što pruža fleksibilnost u zavisnosti od specifičnih potreba korisnika.

Jedna od ključnih prednosti ovog skenera je mogućnost povezivanje sa rotirajućim postoljem (slika 7 i 8), koje omogućava automatsko skeniranje objekta iz svih uglova. Rađeno je na projektu rotirajućeg postolja, ono je razvijeno na *Arduino Uno* platformi, uz pomoć stepper motora. Sve komponente su smeštene u kružnom kućištu koje je baš za ove potrebe i 3D štampano (slika 7). Sama rotirajuća podloga, bila ona iz komercijalne proizvodnje, ili kao DIY kućni projekat, ona svakako smanjuje potrebu za ručnim podešavanjem i povećava preciznost digitalnog modela.

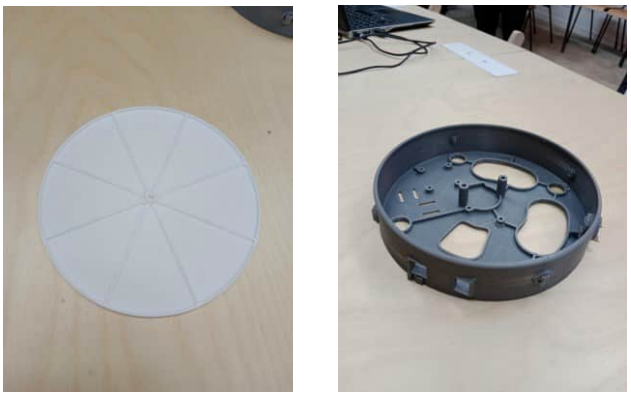


Slika 7. Skrener koji je povezan sa rotirajućim postoljem.



Slika 8. Rotirajuće postolje.

Iako je *Creality Ferret* efikasan u većini primena, uočene su određene slabosti kada se radi o skeniranju reflektivnih ili prozirnih površina, gde senzori mogu imati poteškoća u preciznom hvatanju geometrije. U takvim slučajevima, neophodno je primeniti dodatne tehnike, kao što je upotreba sprejeva za matiranje, kako bi se poboljšali rezultati skeniranja.



Slika 9. Kućište rotirajućeg postolja.

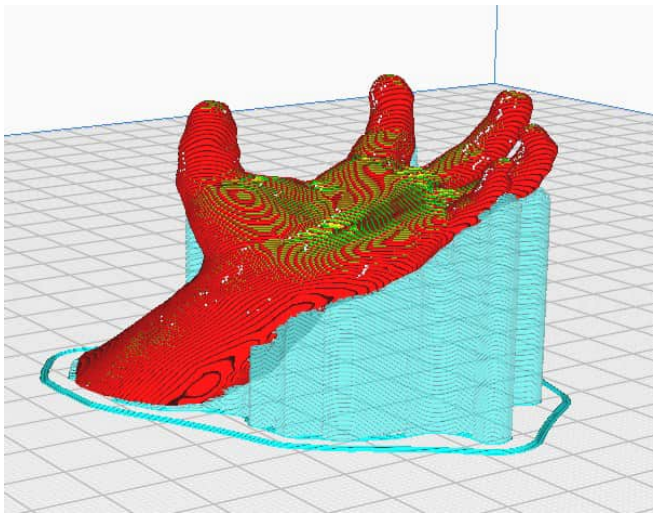
V. PRIMER PRAKTIČNE PRIMENE

U primeru, kao predmet skeniranja izabrana je ljudska ruka. Proces je izvršen korišćenjem *Creality Ferret* 3D skenera, koji je zahvaljujući svojoj mobilnosti i preciznosti uspeo da registruje osnovne oblike ruke i prstiju. Međutim, zbog malih pokreta tokom skeniranja, došlo je do blagih nepravilnosti u finalnom modelu. Na slici 10 prikazan je rezultat skeniranja, gde se vide detalji, ali i određeni nedostaci prouzrokovani nestabilnošću objekta tokom procesa.



Slika 10. Skenirana ruka.

Pored toga, napravljen je i STL model ove skenirane ruke. Ovaj model može biti direktno integrisan u proces 3D štampe putem softvera pod nazivom *Cura Slicer* (slika 11), čime se omogućava dalja analiza i fizička izrada skeniranog objekta. Korišćenje STL modela doprinosi preciznijoj obradi podataka, a omogućava i buduće modifikacije i optimizacije rezultata skeniranja.



Slika 11. STL model skenirane ruke.

VI. ZAKLJUČAK

Rad na ovom projektu omogućio je potpuno istraživanje potencijala *Creality Ferret* 3D skenera, ali su uočeni i određeni izazovi. Kroz praktičnu primenu, od početnog skeniranja jednostavnih objekata do korišćenja rotirajućeg postolja, jasno su uočene prednosti ovog skenera, kao i njegova ograničenja u slučaju složenijih i reflektivnih površina.

Za buduća unapređenja, preporučuje se dodatna optimizacija skenera za rad sa zahtevnijim materijalima, kao i poboljšanje stabilnosti objekta tokom skeniranja, što bi povećalo tačnost rezultata. Takođe, razmatranje drugih metoda, poput prilagođavanja softvera za detaljniju kontrolu skeniranja, moglo bi doprineti boljoj fleksibilnosti u radu. Uz dodatni razvoj, ovaj projekat ima potencijal za primenu u složenijim profesionalnim scenarijima, gde bi preciznost i efikasnost skeniranja bili od velike važnosti.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se ETŠ „Mija Stanimirović“ na podršci, ustupljenom prostoru i opremi, kao i Katedri za mikroelektroniku Elektronskog fakulteta u Nišu na korisnim savetima i saradnji.

LITERATURA

[1] Detaljno objašnjenje kako 3D skeneri funkcionišu. Dostupno na:https://www.3d-scantech.com/all-you-need-to-know-about-3d-scanners/#:~:text=3D%20scanners%20work%20by%20projecting,3D%20representation%20of%20the%20object.

[2] Opšti uvod u proces 3D skeniranja. Dostupno na: https://www.3d-scantech.com/wpcontent/uploads/2022/12/A-Beginners-Guide-to-3D-Scanners_E-BOOK.pdf

[3] Vodič za razumevanje 3D skeniranja. Dostupno na: https://www.instructables.com/Understanding-3D-Scanning/

[4] Pregled Creality Ferret 3D skenera. Dostupno na: https://www.creality.com/products/cr-scan-ferret-3d-scanner

[5] Članak o prenosivosti Creality Ferret skenera. Dostupno na: https://all3dp.com/4/creality-cr-scan-ferret-a-portable-scanner-you-can-use-anywhere-ad/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.337M
Original scientific paper

Zdravoljub – 3D štampani uređaj sa senzorima za proveru medicinskih parametara

Dušan Marjanović
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
dusanmarjanovic834@gmail.com
ORCID: N/A

Petra Živković
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
petrazivkovi@gmail.com
ORCID: N/A

Mateja Grujić
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
mateja.grujic2266@gmail.com
ORCID: N/A

Jelena Rajković
ETŠ "Mija Stanimirović"
Niš, Srbija
milojkovic.jelena@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Ovaj rad predstavlja uređaj za praćenje zdravstvenih parametara korisnika. Cilj projekta je omogućiti lako i efikasno praćenje zdravlja iz udobnosti doma, čime se olakšava otkrivanje potencijalnih zdravstvenih problema na vreme. Objašnjene su komponente, način povezivanja, i prikazani delovi koda. Sistem je uspešno testiran u praksi, uz minimalne greške, a planiraju se buduća unapređenja koja će uključivati dodatne funkcionalnosti za praćenje zdravlja.**

Ključne reči—zdravlje, efikasno praćenje, minimlane greške

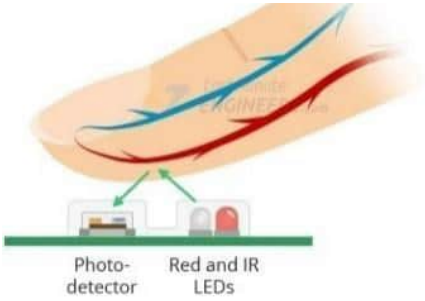
I. UVOD

S obzirom na to da se, prema podacima Svetske zdravstvene organizacije, procenjuje da oko 41 milion ljudi umire svake godine od bolesti koje se mogu prevenirati ili lečiti ako se dijagnostikuju na vreme, praćenje vitalnih zdravstvenih parametara postalo je izuzetno važno [1]. Ovaj rad predstavlja primenu uređaja pod imenom "Zdravoljub" za svakodnevno praćenje pulsa, nivoa kiseonika u krvi, kao i ambijentalne temperature i vlažnosti vazduha. "Zdravoljub" koristi napredne senzore i moderan OLED displej (slika 1) za prikazivanje rezultata u realnom vremenu.

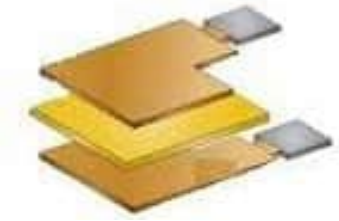


Slika 1. OLED displej.

Princip rada uključuje merenje apsorpcije svetlosti u tkivu pomoću oksimetra (slika 2) i merenje ambijentalnih uslova kroz senzor temperature i vlažnosti (slika 3). Ove tehnologije omogućavaju tačno praćenje vitalnih zdravstvenih parametara, pružajući direktan uvid u zdravstveno stanje bez potrebe za čestim posetama lekaru. Kada uređaj nije u funkciji praćenja zdravstvenih parametara, može se koristiti kao stanica za prikaz ambijentalne temperature i vlažnosti vazduha, što su parametri koji mogu uticati na zdravlje korisnika.



Slika 2. Merenje apsorpcije.



Slika 3. Princip rada svetlosti u tkivu pomoću DHT-a 11 oksimetra.

II. OPIS SISTEMA

Uređaj "Zdravoljub" je izuzetno jednostavan za korišćenje, što ga čini pogodnim i za korisnike bez tehničkog predznanja. Instalacija i podešavanje uređaja ne zahtevaju nikakve posebne veštine, tako da se brzo može započeti praćenje zdravlja.

Jedna od ključnih karakteristika "Zdravoljuba" je njegova kompaktnost i prenosivost, što ga čini idealnim za svakodnevnu upotrebu kod kuće ili na radnom mestu. Sa svojim malim dimenzijama i OLED ekranom, uređaj se lako postavlja na bilo koju površinu, a dodatno je opremljen tegom koji obezbeđuje stabilnost. Ovaj teg smanjuje mogućnost slučajnog obaranja uređaja tokom merenja, čime se povećava sigurnost u upotrebi. Takođe, "Zdravoljub" poseduje fioku za odlaganje lekova, iglica i drugih neophodnih stvari za

terapiju, što ga čini posebno korisnim za svakodnevnu primenu.

Proces merenja ne zahteva nikakva složena podešavanja, senzori uređaja automatski vrše merenja, dok se rezultati mogu pratiti u realnom vremenu na ekranu. Ovo značajno smanjuje rizik od grešaka i omogućava tačnije praćenje vrednosti.

Uređaj "Zdravoljub" koristi jednostavan, ali efikasan elektronski sistem, koji se sastoji od nekoliko ključnih komponenti. Osnovne komponente uključuju senzor pulsa i kiseonika MAX30102, senzor temperature DHT11, *Arduino Uno* okruženje, kao i OLED displej.

Senzor pulsa i kiseonika MAX30102 (slika 4) je ključna komponenta odgovorna za merenje parametara. Ovaj senzor koristi dve vrste LED svetlosti – crvenu i infracrvenu. Crvena svetlost prodire pliće, dok infracrvena svetlost prodire dublje u tkivo [2].



Slika 4. Senzor pulsa i kiseonika MAX30102.

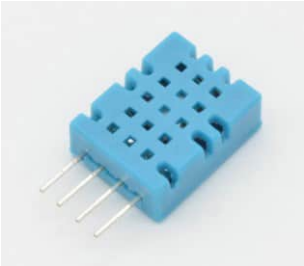
Obe svetlosti prolaze kroz kožu i tkiva, a deo te svetlosti se apsorbuje od strane krvi u krvnim sudovima ispod površine kože. Kada srce pumpa krv, količina krvi u krvnim sudovima varira s otkucajima srca. U trenucima kada je krvni sud puniji (kod otkucaja), više svetlosti se apsorbuje, a manje reflektuje. Kada je sud prazniji (između otkucaja), manje svetlosti se apsorbuje, a više reflektuje. Fotodiode na senzoru detektuju reflektovanu svetlost. Ove fotodiode mere promene u intenzitetu reflektovane svetlosti, koje odgovaraju promenama u volumenu krvi izazvanim otkucajima srca. Svetlost koju fotodiode detektuju pretvara se u električni signal. Zatim se ti signali pojačavaju i pretvaraju u digitalne podatke putem analogno-digitalnog konvertera (ADC). Na osnovu tih podataka izračunavaju se otkucaji srca (HR) i nivo kiseonika u krvi (SpO2), jer apsorpcija svetlosti varira sa svakim otkucajem srca i količinom kiseonika u krvi [3].

Arduino Uno (slika 5) služi kao kontrolni centar celog sistema. On obrađuje signale dobijene iz senzora i upravlja OLED displejem za prikaz rezultata. Korišćenjem ovog mikrokontrolera, precizno se obrađuju podaci i kontrolišu sve komponente.

Senzor temperature DHT11 (slika 6) koristi termistor za merenje temperature i kapacitivni senzor za vlagu. Inicira merenje, obrađuje podatke i šalje digitalni signal mikrokontroleru [4].



Slika 5. Okruženje *Arduino Uno*.



Slika 6. Senzor temperature DHT11.

OLED displej (slika 1) služi za prikaz rezultata u visokoj rezoluciji. Ovaj ekran koristi tehnologiju koja omogućava jasne i svetle prikaze, sa odličnim kontrastom i niskom potrošnjom energije, što ga čini idealnim za uređaje ove vrste [5].

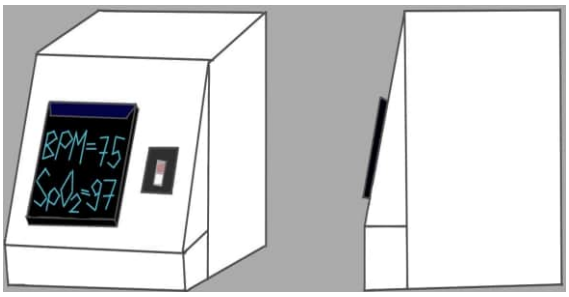
"Zdravoljub" koristi specifičan kod za obradu podataka sa senzora pulsa i kiseonika. U sledećem delu koda se vidi funkcija merenja, koja obrađuje merenja i izračunava broj otkucaja u minuti:

```
void merenje(long irValue, long redValue)
{
     long delta = millis() - lastBeat;
     lastBeat = millis();
     beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);
     if (beatsPerMinute<120 && beatsPerMinute>60)
        {
       rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute;
       rateSpot %= RATE_SIZE;
       beatAvg = 0;
       for (byte x = 0; x < RATE_SIZE; x++) {
         beatAvg += rates[x];
         beatAvg /= RATE_SIZE;}
   }
}
```

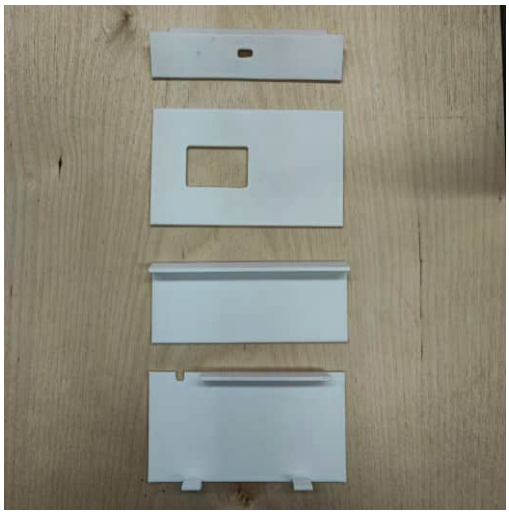
Ova funkcija prelazi u stanje merenja, određuje vreme između otkucaja i čuva podatke o otkucajima u nizu radi daljeg obrađivanja. Ovim se osigurava precizno merenje i obrada izmerenih vrednosti.

III. Praktična realizacija

Proces realizacije projekta "Zdravoljub" počeo je s razvojem prototipa (slika 7, slika 8) koji je prolazio kroz brojne iteracije kako bi se postigao optimalan dizajn i funkcionalnost.



Slika 7. Prvobitna ideja “Zdravoljuba”.



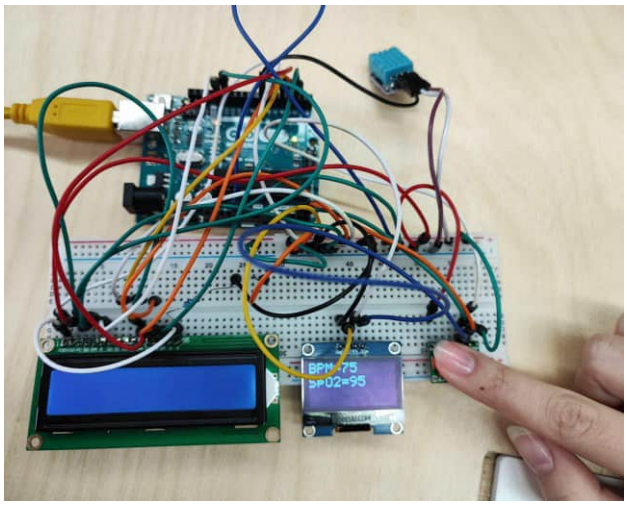
Slika 8. Proces realizacije projekta "Zdravoljub".

Zahvaljujući 3D štampaču koji je obezbedila škola, ETŠ “Mija Stanimirović”, bila je mogućnost da se višestruko isprobaju različite verzije prototipa. Svaka nova verzija omogućila je da se vidi kako će izgledati finalni projekat, što je bilo od suštinskog značaja za prepoznavanje i ispravljanje potencijalnih problema u dizajnu. Celo kućište "Zdravoljuba" je izrađeno korišćenjem 3D štampe (slika 9), čime je osigurana preciznost u izradi, ali i mogućnost lakših modifikacija u kasnijim fazama.



Slika 9. 3D štampano kućište projekta "Zdravoljub".

Neke od ključnih komponenti, kao što su senzor temperature DHT11 (slika 6) i oksimetar MAX30102 (slika 4), lemljeno je ručno, zajedno sa ostalim provodnicima koji povezuju sve delove projekta (slika 10).



Slika 10. Povezivanje projekta "Zdravoljub".

IV. Zaključak

Projekat "Zdravoljub" predstavlja značajan iskorak u unapređenju praćenja zdravstvenih parametara, omogućavajući korisnicima da ih lako prate u realnom vremenu, i to u kućnim uslovima, na svega jedan dodir samog senzora. Tokom procesa razvoja, od same ideje do implementacije elektronskih komponenti, uređaj se pokazao kao pouzdan i funkcionalan, uz uspešnu integraciju senzora za merenje pulsa, nivoa kiseonika u krvi, temperature i vlažnosti vazduha. Dodatni elementi poput fioke za medicinski pribor i tega koji obezbeđuju stabilnost uređaja, značajno doprinose njegovoj praktičnosti i bezbednosti.

Iako je sistem pružio tačne rezultate, postoje mogućnosti za dalje unapređenje. Planira se da se dodaju funkcije za merenje telesne temperature i nivoa glukoze u krvi, čime bi se uređaj dodatno prilagodio različitim zdravstvenim potrebama korisnika. U budućnosti se takođe planira primena mašinskog učenja u sam uređaj, radi povećanja tačnosti merenja. "Zdravoljub" ima potencijal da postane svakodnevni alat za održavanje i nadgledanje zdravlja, smanjujući potrebu za čestim posetama lekara i poboljšavajući kvalitet svakodnevnog života.

Zahvalnica

Zahvaljujemo se ETŠ „Mija Stanimirović“ na podršci, ustupljenom prostoru i opremi, kao i Katedri za mikroelektroniku Elektronskog fakulteta u Nišu na korisnim savetima i saradnji.

Literatura

[1] Sajt Svetske zdravstvene organizacije (na srpskom), https://szo.org.rs/

[2] Uputstvo za povezivanje oksimetra i Arduina. Dostupno na: https://lastminuteengineers.com/max30102-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-arduino-tutorial/

[3] Opis MAX30102 senzora. Dostupno na: https://projecthub.arduino.cc/SurtrTech/measure-heart-rate-and-spo2-with-max30102-eb4f74

[4] Uputstvo za korišćenje DHT11. Dostupno na: https://projecthub.arduino.cc/arcaegecengiz/using-dht11-12f621

[5] Uputstvo za povezivanje OLED displeja sa Arduinom, https://lastminuteengineers.com/oled-display-arduino-tutorial/#:~:text=I2C%20OLED%20Display%20Wiring&text=Connections%20are%20straightforward.,data%20pin%20on%20your%20Arduino

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.341J
Original scientific paper

Poređenje dva načina realizacije LED ruleta

Luka Jeremić
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
lukaluka@elfak.rs
ORCID: N/A

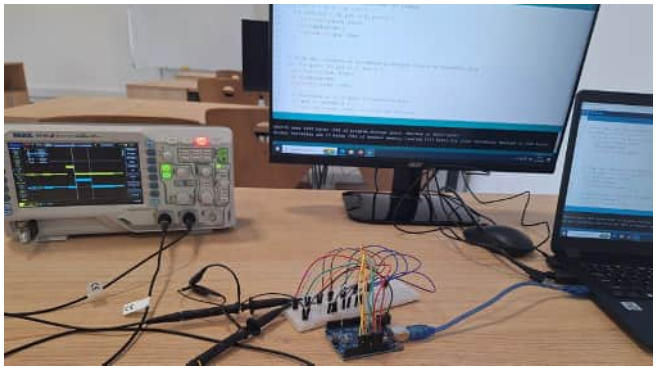
***Sadržaj*—U ovom projektu su praktično realizovane električne šeme sa prikazom vise mogućnosti samog LED ruleta.**

Ključne reči—dioda, Arduino, signal, šema.

I. Uvod

Za samu izradu projekta koriste se dva vida mogućnosti kontrolisanja signala. Prvi način je bio da sa NE555 i CD4017 gde će se generisati određeni signali koji ce simulirati kretanje loptice kao kod pravog ruleta dok se za generisanje signala u drugom delu koristio signal koji dolazi sa Arduino okruženja. Za simulaciju i praćenje konačnog broja koristile su se LED diode [1].

Pravi rulet se sastoji od 37 polja gde su 18 njih crne boje a drugih 18 crvene boje sa jednim poljem zelene boje koje uglavnom nosi broj 0. Za naš primer smo u jednom delu koristili 10 dioda gde su 4 bile crvene, njih 5 plave boje i 1 zelena, dok se u drugom primeru koristilo 8 dioda crvene boje.



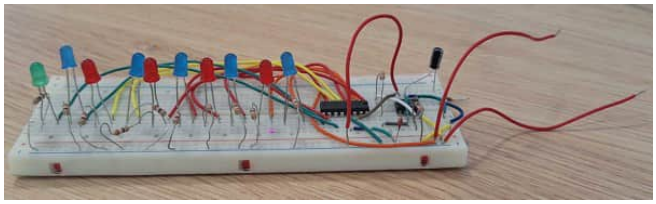
Slika 1. Eksperimentalna postavka Arduino okruženja.

Na slici 1 je prikazana eksperimentalna postavka koja je realizovana uz pomoć Arduino okruženja [2].

Uz pomoć napisanog koda kontrolišu se pinovi koji šalju signal do diode i određeni vremenski period je aktiviraju, za lepši prikaz i realističniju simulaciju pre samog početka odabira nasumičnog broja izvršiće se paljenje diode od prve do zadnje tačno tri puta, što simulira kretanje loptice u krug do dolaska na neki nasumično odabrani broj.

Na slici 2 je prikazana eksperimentalna šema koja je realizovana uz pomoć NE555 i CD4017 .

Kada se dovodi Vin i GND počeće simulacija koja je primetna jer se redom uključuju diode i idu od prve do zadnje, ovo će trajati sve dok treći pin NE555 ne stavimo na masu i time će se zaustaviti uključivanje i isključivanje dioda i ostaće uključena samo jedna.



Slika 2. Eksperimentalna postavka sa NE555 i CD4017.

II. Kod za Arduino okruženje

U nastavku je dat kod sa komentarima za Arduino okruženje:

```
int randomPin; // Nasumično izabrani pin

void setup() {
  // Inicijalizacija nasumičnog semena
koristeći neispražnjen analogni pin
  randomSeed(analogRead(A0));

  // Podešavanje svih pinova kao izlaze
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
```

```
  // Biranje nasumičnog pina između 5 i 13
  randomPin = random(5, 14);
}

void loop() {
  int delayTime = 100; // Početni delay

  // Prvi deo: tri kruga sa sekvencama LED svetala
  for (int i = 0; i < 3; i++) {
    for (int pin = 13; pin >= 5; pin--) {
      digitalWrite(pin, HIGH);
      delay(delayTime);
      digitalWrite(pin, LOW);
    }
  }

  // Drugi deo: sekvenca sa postepenim povećanjem delay-a do nasumičnog pina
  for (int pin = 13; pin >= 5; pin--) {
    digitalWrite(pin, HIGH);
    delay(delayTime);
    digitalWrite(pin, LOW);

    // Proverava da li je došao do nasumičnog pina
    if (pin == randomPin) {
      digitalWrite(pin, HIGH); // Ostavi LED upaljenom
      break; // Zaustavi petlju
    }

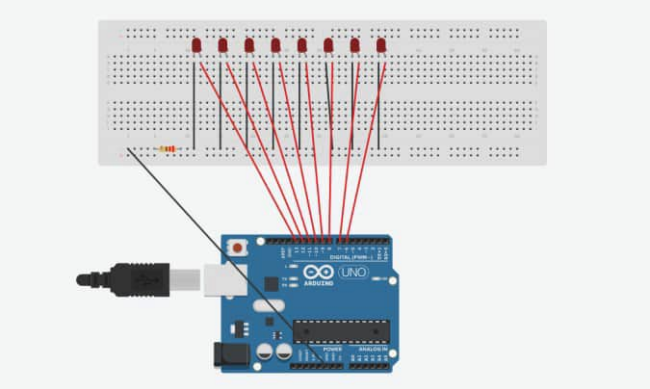
    delayTime += 100; // Postepeno povećava delay za 100ms
  }

  // Pauza pre ponovnog pokretanja sekvence
  delay(5000); // Daje vremena da se LED zadrži na random pin-u

  // Reset sekvence
  digitalWrite(randomPin, LOW); // Isključuje poslednji upaljeni pin
  randomPin = random(5, 14); // Ponovo bira novi nasumični pin
}
```

III. SIGNALI ZA OBE ELEKTRIČNE SEME PRIKAZANI NA OSCILOSKOPU

Detaljna analiza dve postavke LED ruleta obaviće se u nastavku.

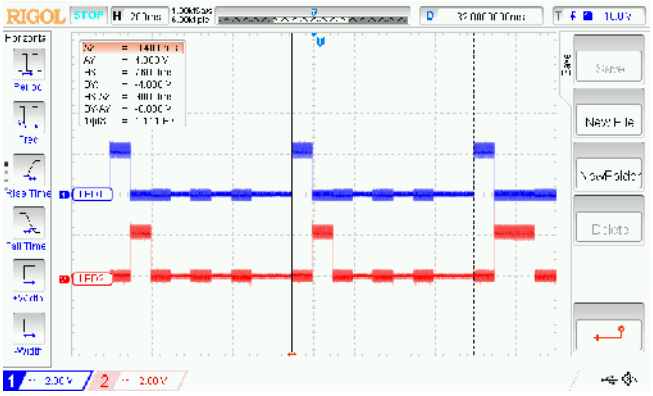


Slika 3. Prikaz rešenja sa Arduino okruženjem.

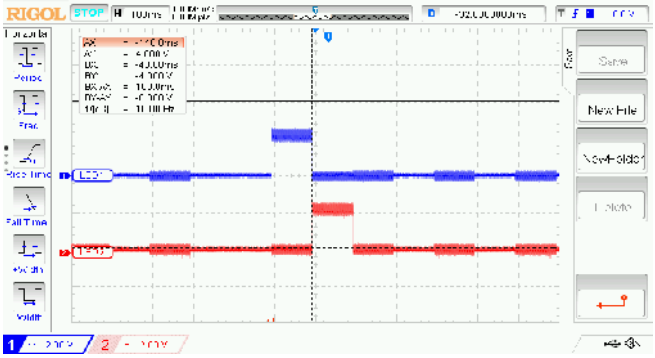
Na slici 3 vidimo kako je u eksperimentalnoj realizaciji povezano Arduino okruženje sa samom pločom i diodama

Uz pomoć osciloskopa moguć je prikaz signala koji se šalje diodama.

Na slici 4 moguće je videti delove signala koji se šalju sa Arduino okruženja i takođe se uz pomoć alata koje osciloskop poseduje može videti dužina trajanja jedne periode koja u ovom slučaju iznosi 900 ms.

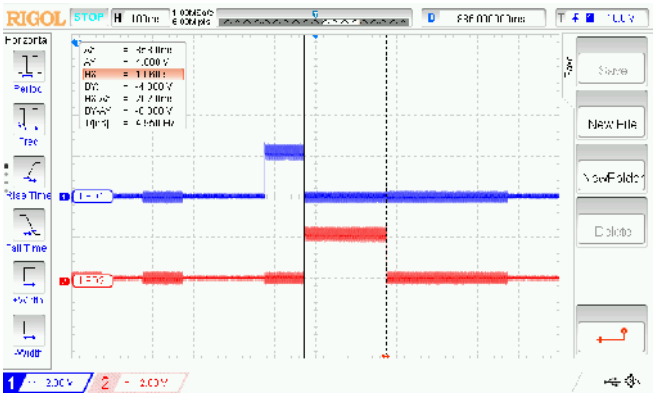


Slika 4. Prikaz trajanja periode punog kruga kod Arduino okruženja.



Slika 5. Prikaz trajanja periode jedne upaljene LED diode.

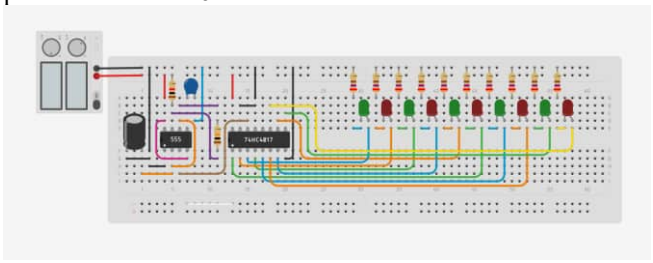
Na slici 5 fokusirali smo se na prikaz trajanja jednog dela signala koji ustvari demonstrira vreme za koje je LED dioda uključena.



Slika 6. Prikaz trajanja završne LED diode.

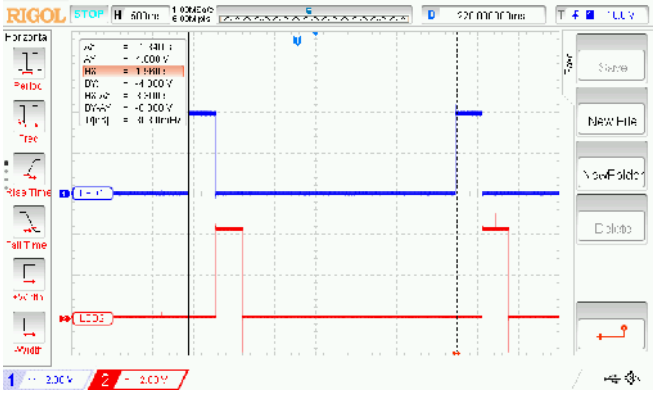
Sa slike 6 možemo da vidimo vreme za koje LED dioda svetli kada izađemo iz početnog dela koda koji se izvršava tri puta.

Nakon dela koji ima za ulogu da napravi 3 puna kruga ulazimo u deo gde se uz pomoć funkcije random bira nasumična LED dioda i ona će imati vreme svetljenja prikazano na slici 6.



Slika 7. Prikaz šeme sa NE555 i CD4017.

Za razliku od šeme koja koristi Arduino okruženje u ovom primeru koristimo isključivo svojstva komponenata da proizvedu određeni takt signala. Kao sto je prikazano na slici 7.

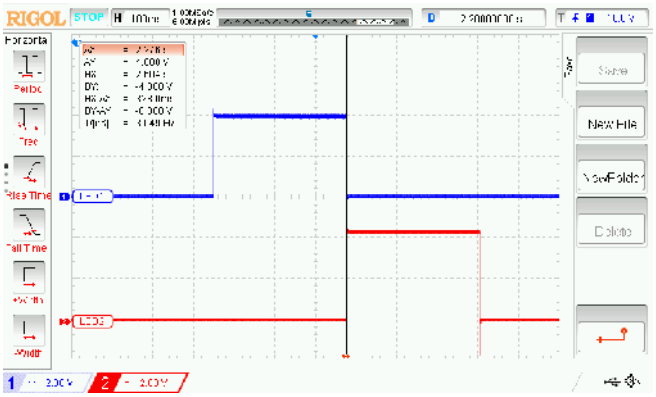


Slika 8. Prikaz trajanja pune periode kruga.

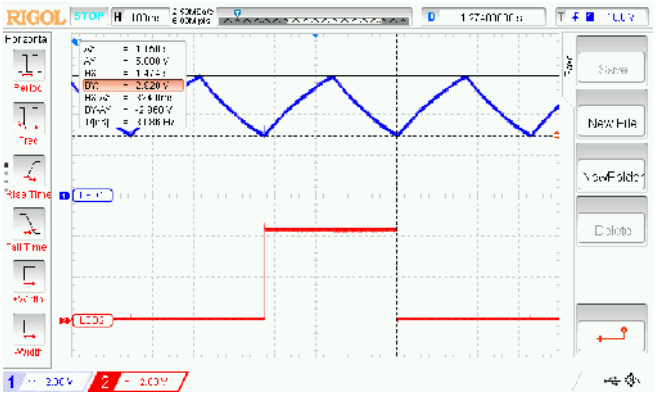
Na slici 8 vidimo puno trajanje periode jednog celog kruga koji je sačinjen od 10 LED dioda.

NE555 [3] šalje signal komponenti CD4017 [4] koja po svom redosledu koji se može videti iz datasheet-a redom uključuje sve diode.

Sa slike 9 možemo da uočimo trajanje jednog dela signala traje 3.3 ms i samim tim intuitivno dolazimo do toga sto je prikazano na slici 8 , a to je da je puna perioda jednog kruga 3.3 s . Brzina I samo trajanje periode je podložno promena i zavisi od komponenata koje se nalaze na električnoj šemi.



Slika 9. Prikaz trajanja periode jedne upaljene LED diode.



Slika 10. Prikaz poklapanja perioda između kondenzatora i diode.

Tako za primer možemo da vidimo da je na slici 10 prikazano pražnjenje i punjenje kondenzatora i da se vreme za koje se izvrši taj postupak poklapa identično sa vremenom trajanja 1/10 signala ili ti vremena svetljenja jedne LED diode.

IV. Zaključak

Glavna tema ovog rada jeste prikaz i upoređivanje dva načina realizacije LED ruleta.

Glavna razlika se nalazi u tome što smo za jednu šemu Arduino okruženjem kontrolisali uključivanje i isključivanje dioda, brzinu kojom će se menjati same diode.

Dok sa druge strane u kolu sa NE555 i CD4017 oslonili smo se na poznavanje karakteristika komponenata i njihov sinhroni rad.

Mesta za poboljšavanje i unapređenje ima dosta i neke od njih su primena potenciometra za kontrolu brzine, primena velikog kondenzatora i prekidača da bi se još više automatizovalo kolo, za deo sa Arduino okruženjem moguće je dodati display koji će pokazivati koja LED dioda je izabrana i naravno moguće je dodati zujalicu koja bi pratila sam takt kojim se diode menjaju.

Uporedbom ova dva načina realizacije može se pokazati koje prednosti i mane imaju oba rešenja. Naravno u toku same izrade pokazivali su se mnogi problemi kao i nedostaci. Zbog samog načina kontrolisanja brzine i tehnike uključivanja i isključivanja dioda, prednost dobija deo koji kontroliše Arduino okruženje. Ne sme se izostaviti ni potencijal drugog rešenja koje je moguće napraviti kao totalno autonomni sistem.

ZAHVALNICA

Ovaj projekat realizovan je u okviru predmeta Analogna mikroelektronika, na modulu Elektronske komponente i mikrosistemi. Autor se zahvaljuje master inž. Nikoli Mitroviću na stručnoj pomoći i sugestijama u izradi ovog rada.

LITERATURA

[1] LED. Dostupno na: https://www.build-electronic-circuits.com/ led/.

[2] Arduino prekidi. Dostupno na: https://deepbluembedded.com/arduino-interrupts-tutorial-examples/.

[3] NE555. Dostupno na: https://www.diodes.com/assets/Datasheets/NE555_SA555_NA555.pdf.

[4] CD4017. Dostupno na: https://www.makerhero.com/img/files/download/CD4017-Datasheet.pdf.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.345S
Original scientific paper

Spektralni odziv fotodiode

Bogdan Šipić
Modul Elektronske komponente i mirkosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
bogdan.sipic@elfak.rs
ORCID: N/A

Jovan Hinić
Modul elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet u Nišu
Niš, Srbija
jovan.hinic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Ideja projekta je testiranje odziva fotodiode na promene faktora ispune tri osnovne boje RGB diode (crvena, zelena i plava). RGB dioda je postavljena tako da direktno osvetljava fotodiodu, rezultati se mere i snimaju osciloskopom, a faktori ispune i boje RGB se menjaju korišćenjem Arduino Uno okruženja.**

Ključne reči—RGB, spektralni odziv, Arduino

I. UVOD

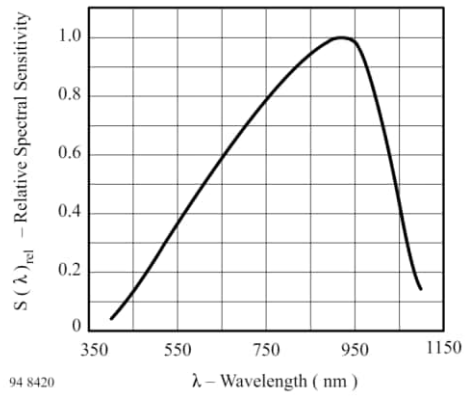
Fotodioda je poluprovodnička komponenta koja pretvara svetlost u električni signal. Kada svetlost padne na fotodiodu, generiše se struja proporcionalna intenzitetu svetlosti. Fotodiode se često koriste za merenje svetlosnog intenziteta, detekciju svetlosti i u primenama koje zahtevaju konverziju svetlosti u električni signal [1]. Fotodioda može raditi u fotonaponskom i fotoprovodnom režimu. Kada radi u fotonaponskom režimu, dioda može da se ponaša kao izvor jednosmernog napona. Sa druge strane, kada je dioda u fotoprovodnom režimu rada, polarisana je tako da provodi struju. Na taj način, fotodioda može biti iskorišćena kao precizniji fotodetektor.

Osnovni električni parametri fotodioda uključuju sledeće: Struju tame (eng. *Dark Current*): Ovo je struja koja teče kroz fotodiodu kada nema svetlosnog zračenja. Tipično je vrlo mala i meri se u nanoamperima (nA). Fotoosetljivost (eng. *Responsivity*): Odnos između generisane fotostruje i optičke snage upadne svetlosti. Spektralni odziv (eng. *Spectral Response*) je karakteristika koja pokazuje kako fotodioda reaguje na različite talasne dužine svetlosti. Prikazuje se kao grafik zavisnosti fotoosetljivosti od talasne dužine [2]. Brzinu odziva (eng. *Response Time*): Vreme potrebno da fotodioda reaguje na promenu osvetljenja. Šum (eng. *Noise*): Neželjeni električni signali koji se generišu unutar fotodiode i njenog kruga, što može uticati na preciznost merenja. Kvantna efikasnost (eng. *Quantum Efficiency*): Procenat fotona koji stvaraju par elektrona-šupljina u fotodiodi [2]. Kapacitivnost (eng. *Capacitance*): Kapacitivnost fotodiode u inverznom polaritetu, koja zavisi od primenjenog napona i površine PN spoja [2]. Inverzni napon (eng. *Reverse Voltage*): Maksimalni napon koji se može primeniti u inverznom polaritetu bez oštećenja fotodiode. RGB dioda je dioda koja može da emituje različite boje mešanjem tri osnovne boje: crvene, zelene i plave. RGB dioda ima 4 pina. Tri pina predstavljaju izvode crvene zelene i plave LE diode, dok četvrti pin predstavlja zajednički izvod za sve 3 LE diode. Fizički mehanizmi kojima se ostvaruje promena napona na fotodiodi su: fotonaponski efekat, fotoprovodni efekat, unutrašnje pojačanje, rekombinacija.

II. CILJ PROJEKTA

Projektovati kolo sa fotodiodom BPW34 i RGB LED. Kolo postaviti tako da RGB dioda direktno osvetljava fotodiodu. Projektovano kolo staviti u mračnu komoru, sa ciljem da svetlost RGB diode bude jedina svetlost koja osvetljava fotootpornik. Menjati pritiskom tastera, u koracima od po 10 faktor ispune svake od dioda, jednoj za drugom i snimati vrednosti izlaznog napona za svaki pritisak tastera. Osciloskopom prikazati i usnimiti karakteristike signala koji pobuđuje RGB diodu. Skicirati zavisnost izlaznog napona od faktora ispune signala.

BPW34 je brza i visoko osetljiva PIN fotodioda u minijaturnom ravnom plastičnom kućištu. Naziv "PIN" dolazi od strukture fotodiode, koja se sastoji od tri sloja: P-sloj (pozitivno dopiran), I-sloj (intrinsični ili nedopirani sloj) i N-sloj (negativno dopiran) [3]. Fotodioda BPW34 ima veliku osetljivu površinu od 7,5 mm², širok ugao osetljivosti od ± 65°, i visoku fotoosetljivost. Takođe nudi brzo vreme odziva i malu kapacitivnost spoja, što je čini pogodnom za detekciju vidljivog i bliskog infracrvenog zračenja [3]. Na slici 1 prikazana je zavisnost fotoosetljivosti fotodiode od talasne dužine svetlosti.

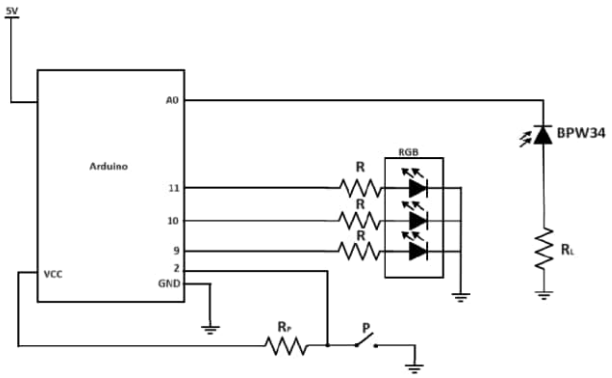


Slika 1. Spektralni odziv BPW34 [3].

U slučaju fotodiode BPW34 uočava se da osetljivost linearno raste za vrednosti talasnih dužina od 350 nm do 900 nm, gde dostiže svoj maksimum. Nakon toga fotoosteljivost naglo opada sa povećanjem talasne dužine.

III. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Pri praktičnoj realizaciji projekta neophodne su sledeće komponente: protoploča, žice, *Arduino Uno* i kabl, fotodioda BPW34, otpornik za razdelnik (prilagođen graničnim vrednostima osvetljenosti), tri otpornika R = 220 Ω, RGB dioda, osciloskop, operacioni pojačavač, taster. Sa slike 2 uočava se šema po kojoj je projekat realizovan.



Slika 2. Kolo za spektralnu analizu fotodiode BPW34.

Kako bi kolo izvršavalo funkciju za koju je projektovano neophodno je ispisivanje koda u softverskom programu *Arduino IDE* koji je priložen na slici 3.

```
const int tasterPin = 2;
const int crvenaPin = 9;
const int zelenaPin = 10;
const int plavaPin = 11;
const int fotodiodaPin = A0;

int dutyCycle = 0;
int ledState = 0;
int lastButtonState = LOW;
int buttonState;

void setup() {
  pinMode(tasterPin, INPUT);
  pinMode(crvenaPin, OUTPUT);
  pinMode(zelenaPin, OUTPUT);
  pinMode(plavaPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  buttonState = digitalRead(tasterPin);


  if (buttonState == HIGH && lastButtonState == LOW) {
    dutyCycle += 25;
    if (dutyCycle > 255) {
      dutyCycle = 0;
      ledState = (ledState + 1) % 3;
    }


    switch (ledState) {
      case 0:
        analogWrite(crvenaPin, dutyCycle);
        analogWrite(zelenaPin, 0);
        analogWrite(plavaPin, 0);
        break;
      case 1:
        analogWrite(crvenaPin, 0);
        analogWrite(zelenaPin, dutyCycle);
        analogWrite(plavaPin, 0);
        break;
      case 2:
        analogWrite(crvenaPin, 0);
        analogWrite(zelenaPin, 0);
        analogWrite(plavaPin, dutyCycle);
        break;
    }

    int napon = analogRead(fotodiodaPin);
    float Vout = napon * (5.0 / 1023.0);

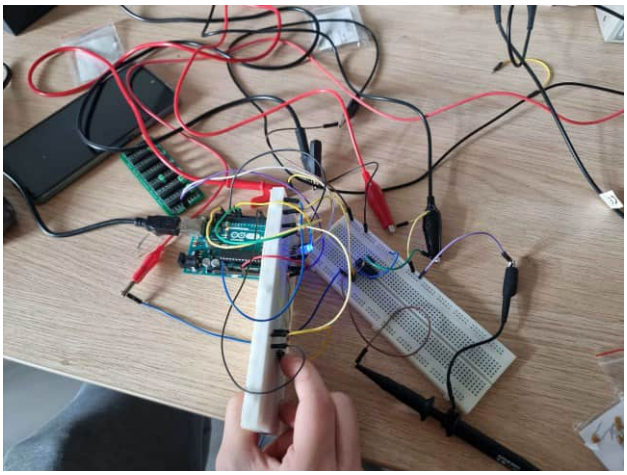

    Serial.print("Stanje LED: ");
    if (ledState == 0) {
      Serial.print("Crvena");
    } else if (ledState == 1) {
      Serial.print("Zelena");
    } else {
      Serial.print("Plava");
    }
    Serial.print(", Faktor ispune: ");
    Serial.print(dutyCycle);
    Serial.print(", Vout: ");
    Serial.println(Vout);
  }

  lastButtonState = buttonState;
}
```

Slika 3. Programski kod.

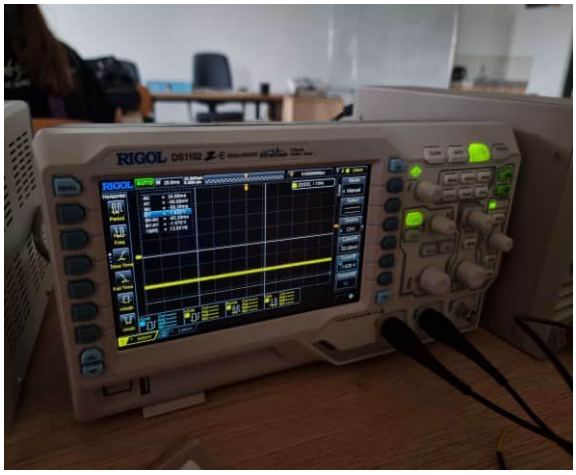
Anoda fotodiode BPW34 je preko otpornika R_L vezana na masu, dok je katoda ove fotodiode vezana na analogni pin A0 *Arduino* okruženja. Pin A0 očitava vrednost napona na fotodiodi nakon čega se vrši A/D konverzija i dobija vrednost tog napona. Prilikom prislanjanja RGB diode na fotodiodu u mračnoj komori dolazi do promene napona na fotodiodi. Izvodi RGB diode (anoda) su preko otpornika R vrednosti 220 Ω vezani na digitalne pinove 9, 10 i 11 *Arduino* okruženja. Na pin 9 vezana je crvena LED, na pin 10 zelena LED, a na pin 11 vezana je plava LE dioda. Katoda RGB diode je vezana na masu. Otpornik R_L predstavlja otpornik za razdelnik čija je otpornost prilagođena graničnim vrednostima osvetljenosti. Korišćenjem dekadne kutije određena je optimalna vrednost otpornika R_L. Korišćenjem tastera povezanog u *pull-up* konfiguraciji omogućava se promena faktora ispune u koraku od po 10 % svake od LE dioda koje se nalaze u kućištu RGB diode. Taster je vezan na digitalni pin 2 *Arduino* okruženja. *Arduino* okruženje se napaja preko spoljašnjeg izvora (USB priključak računara) naponom napajanja od 5 V.

Prilikom realizacije kola (slika 4) bile su neophodne određene korekcije pri povezivanju u odnosu na šemu sa slike 2. Problem koji se javio pri inicijalnom povezivanju je bila vrlo mala fotoosetljivost fotodiode BPW34, odnosno nemogućnost uočavanja promene izlaznog napona pri osvetljavanju iste.



Slika 4. Praktična realizacija kola sa slike 2.

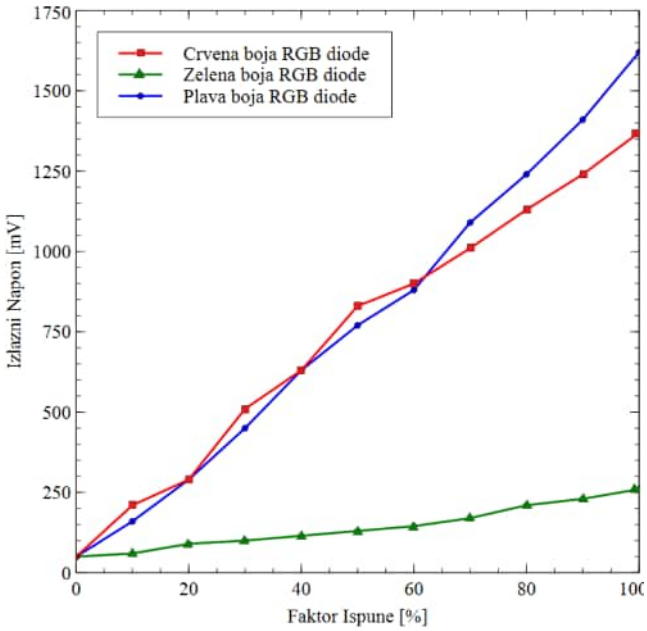
Kako bi se ovaj problem rešio, bilo je neophodno vezivanje jednog kraja fotodiode BPW34 na operacioni pojačavač u invertujućoj konfiguraciji. Ovakvo vezivanje omogućava veću osetljivost fotodiode. Dodatna stabilizacija izlaznog napona je postignuta paralelnim vezivanjem kondenzatora za otpornik u povratnoj sprezi. Praćenje promena izlaznog napona vršeno je korišćenjem osciloskopa, što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Primer promene izlaznog napona fotodiode BPW34 prilikom izmene osvetljenja.

IV. Rezultati merenja

Na slici 6 uočavaju se promene nakon svakog pritiska tastera prilikom realizacije merenja (promena faktora ispune svake od dioda za 10 %). Sa slike 6 se vidi da svako povećanje faktora ispune LE diode dovodi do približno linearnog povećanja izlaznog napona na fotodiodi. Promena faktora ispune zelene LE diode izaziva najmanje promene napona, dok faktori ispune crvene i plave LED znatno više utiču na promene istog. Pri maksimalnoj osvetljenosti koju emituje plava LE dioda uočava se najveći izlazni napon na fotodiodi koji iznosi oko 1600 mV. Sa druge strane izlazni napon pri minimalnom osvetljenju (mrak) iznosi oko 50 mV.



Slika 6. Grafik zavisnosti izlaznog napona na fotodiodi BPW34 od faktora ispune svake od LE dioda.

V. Zaključak

Zaključuje se da različite boje različito utiču na napon fotodiode. Crvena i plava boja generišu približan napon koji je znatno veći od napona koji generiše zelena boja. Sa povećanjem faktora ispune RGB diode, povećava se napon na fotodiodi u sva tri slučaja.

Potencijalna dalja istraživanja mogla bi se fokusirati na nekoliko aspekata. Prvo, istraživanje drugih boja moglo bi pružiti dublje razumevanje kako različite talasne dužine utiču na performanse fotodioda. Takođe, eksperimentalne studije koje uključuju različite materijale za fotodiode mogle bi otkriti dodatne načine za poboljšanje njihove efikasnosti. Sa druge strane, istraživanje uticaja različitih uslova osvetljenja i temperature na napon fotodiode moglo bi doprineti razvoju naprednijih senzorskih sistema. Analiza dugoročnih performansi fotodioda u različitim aplikacijama, kao što su medicinski uređaji ili industrijski senzori, mogla bi otvoriti nova polja primene

Zahvalnica

Ovim putem bismo se zahvalili profesorki Emiliji Živanović i asistentu Nikoli Mitroviću na izdvojenom vremenu i ukazanoj pomoći pri izradi i ispravljanju ovog rada.

Literatura

[1] Xun Li - “Optoelectronic Devices”. Dostupno na: https://www.scribd.com/document/357142094/Optoelectronic-Devices-pdf.

[2] J Pearsall Thomas - “Photonics Essentials, 2nd edition”. Dostupno na: https://www.scribd.com/document/468144532/Thomas-P-Pearsall-Photonics-essentials-an-intr-BookFi.

[3] BPW34 Datasheet. Dostupno na: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Bpw34%20datasheet&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwmt24BhDPARIsAJFYKk0FFMnqop7EhUsAhIqXKnXhAIpwoiqwLMP5nHg05lVo8CYemC9a2NUaAu5MEALw_wcB

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.349M
Original scientific paper

Projektovanje sistema za kontrolu LED osvetljenja

Sandra Miljković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
sandra.miljkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Vuk Zlatković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
vuk.zlatkovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Milica Danković
Modul Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milica.dankovic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu opisan je sistem za kontrolu LED svetiljke korišćenjem šesnaest raznobojnih LE dioda, zajedno sa TFT displejem koji služi za ispis rezultata merenja, kao i dva sedmosegmentna displeja na kojima se prikazuje indeks trenutno uključene diode.**

Ključne reči—dioda, kontrola, displej, mikro kontroler, osvetljenje, LED

I. Uvod

Vidljiva svetlost predstavlja uski deo spektra elektromagnetnog zračenja u intervalu talasnih dužina između 380 nm i 770 nm koje mogu biti registrovane ljudskim okom. Optoelektronske komponente su komponente koje proizvode svetlost ili reaguju na nju. Neke od optokomponenti su: LE diode, foto-tranzistori, foto-diode, foto-otpornici, razni svetlosni indikatori, opto-kapleri. Takođe u optoelektronske poluprovodničke komponente spadaju i laserske diode.

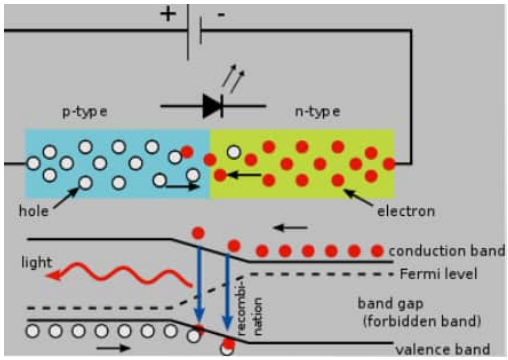
LED, odnosno svetleća dioda (eng. *Light-emiting diode)* je posebna vrsta poluprovodničke diode koja emituje svetlost kada je propusno polarisana. Od trenutka kada je prva svetleća dioda patentirana, davne 1962. godine, pa sve do danas, ova vrsta dioda postala je neprikosnovena u polju osvetljenja i sistema za osvetljenje, zahvaljujući svojim karakteristikama. Ovaj rad zasniva se na praktičnoj implementaciji sistema za kontrolu LE dioda koji se sastoji od šesnaest raznobojnih diodi, TFT ST7735 [3] displeja, dva sedmosegmentna displeja i pratećih elektronskih komponenata kao što su taster, potenciometar, otporna mreža i pojedinačni otpornici. Kontrola i upravljanje LE diodama izvršena je korišćenjem TCL5925 [2] drajvera. Na TFT ST7735 displeju ispisana je izmerena vrednost napona vođenja za svaku diodu, kao i jačina emitovane svetlosti za iste. Sedmosegmentni displeji iskorišćeni su za prikaz indeksa trenutno uključene diode. Pritiskom na taster uključuje se naredna dioda u nizu. Kombinacija ovih komponenata čini ovaj projekat inovativnim i korisnim za različite primene, uključujući kućnu i industrijsku rasvetu, dekorativno osvetljenje i druge oblasti. U nastavku rada biće detaljno opisana svaka od korišćenih komponenata, kao i detaljan prikaz praktične realizacije.

II. LED

LED je posebna vrsta poluprovodničke diode koja emituje svetlost kada je propusno polarisana, odnosno kada kroz nju teče struja. One obično rade na talasnim dužinama oko 850 nm i 1300 nm, i to samo u kombinaciji sa multimodnim vlaknima.

Osnovni kriterijum za primenu LED su sjajnost (radijansa) i brzina odziva (inercione osobine).

Sjajnost je snaga zračenja emitovana sa jedinice emisione površine u jedinični prostorni ugao, i potrebno je da bude što veća. Brzina odziva ograničava maksimalnu širinu spektra, kojim se može modulisati zračenje LED (maksimalno do oko 200 MHz). Iz tog razloga potrebno je da inercija diode bude što manja. Emisija svetlosti se dešava prilikom direktne polarizacije diode i ova pojava se naziva elektroluminiscencija. Suština pojave je u rekombinaciji elektrona iz provodne zone sa šupljinama u valentnoj zoni, prilikom koje se višak energije otpušta u obliku fotona, kao što se može videti na slici 1. Kao i kod drugih dioda struja teče od P-strane, ili anode, ka N-strani, ili katodi, ali ne i u suprotnom smeru. Nosioci naelektrisanja elektroni i šupljine teku sa elektroda sa različitim naponima. Kada elektron naiđe na šupljinu, pada na niži energetski nivo i oslobađa energiju u obliku fotona.

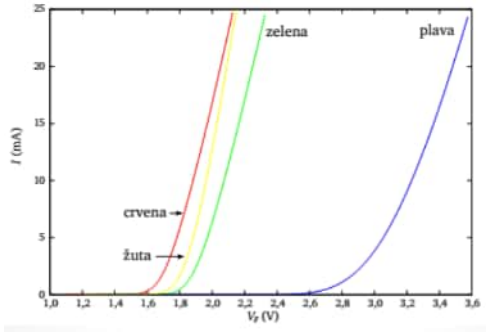


Slika 1. Elektroluminiscencija.

LED diode se izrađuju od poluprovodničkih jedinjenja (GaAs, GaAsP, AlGaP, SiC, itd.). Za razliku od silicijuma, kod ovih jedinjenja u procesu rekombinacije elektronu za transfer energije nije potreban „posrednik“ u vidu centra zahvata ili drugog elektrona, već se proces odvija direktnim

prelaskom elektrona iz provodne u valentnu zonu. Talasna dužina emitovane svetlosti, a time i njena boja, zavise od energetske barijere materijala koji čine p-n spoj.

Napon direktne polarizacije pri kome diode provode je različit za različite talasne dužine svetlosti (slika 2). Jačina svetlosti zavisi od struje koja teče kroz diodu. Prema jačini vidljive svetlosti koju emituju, LED diode se dele na standardne i ultra svetle (eng. *ultra bright)*. Predviđene su da rade u režimu direktne polarizacije, a probojni napon pri inverznoj polarizaciji im je tipično −5 V.



Slika 2. Naponske karakteristike LED dioda pri direktnoj polarizaciji.

III. Upravljanje LE Diodama Driverom TCL5925

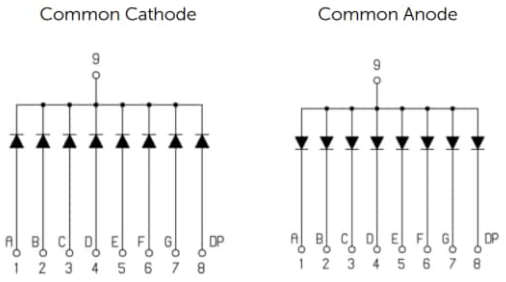
A. Sedmosegmentni displej

Sedmosegmentni displej je jedna od najprostijih optoelektronskih komponenata. Svoje ime dobili su iz činjenice da se displej sastoji iz 7 individualnih svetlosno emitujućih delova čijom kombinacijom je moguće prikazati brojeve (0-9) i određene karaktere (za konkretan prikaz karaktera postoje alfanumerički displeji, koji pored osnovnih 7 segmenata sadrže i dodatne segmente za prikaz alfanumeričkih karaktera). Najčešće je realizovan preko *LE* dioda, mada je moguće realizovati ih i pomoću drugih tehnologija (*LCD*, *ECD*,...). Ovde će konkretno biti reči o realizaciji sa *LE* diodama.

U realizaciji sa *LE* diodama postoje dve varijante:

- Sa zajedničkom anodom;
- Sa zajedničkom katodom;

Glavna razlika između ove dve realizacije je to da li su prespojene anode ili katode LE dioda kao što se može videti na slici 3.



Slika 3. Sedmosegmentni displej sa zajedničkom katodom(levo) i zajedničkom anodom(desno).

B. Drajveri

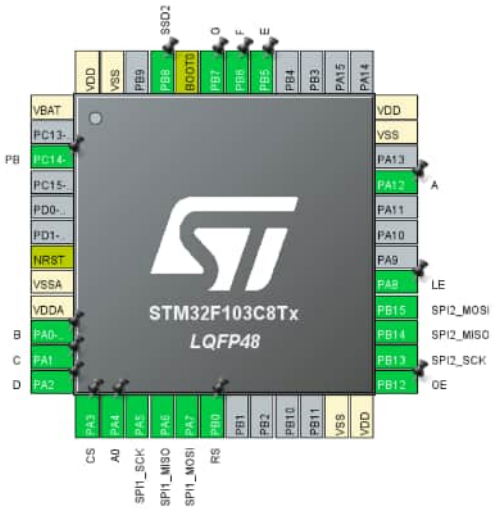
Drajveri su kola koja služe za napajanje i za upravljanje LE diodama. Oni se povezuju sa kontrolnim kolom pomoću nekog komunikacionog protokola (SPI, I2C,...). Njihovo funkcionisanje je zasnovano na činjenici da ljudsko oko ne može da razlikuje izvor svetlosti koji radi konstanto, od izvora svetlosti koji treperi dovoljno velikom brzinom. Ta nesavesnost ljudskog oka čini mogućom iluziju da je uključeno više LE diodi istovremeno, iako je u realnosti uvek uključena samo jedna, tako što će se one uključivati i isključivati veoma velikom brzinom. Drajveri se dele na dve glavne grupe:

- Drajveri sa konstantnim naponom;
- Drajveri sa konstantnom strujom;

Kod drajvera sa konstantnim naponom je napon konstantan, a struja varira, kod LE diode blago variranje napona može izazvati nagle promene struje tako da je bitno ograničiti struju na LE diodi da ne bi došlo do oštećenja. Sa druge strane kod drajvera sa konstantnom strujom, struju određuje drajver dok napon blago varira, kako je zavisnost napona i struje u diodi takva da blago variranje struje izaziva neprimetno variranje napona, diode nije potrebno štiti.

IV. Praktična realizacija

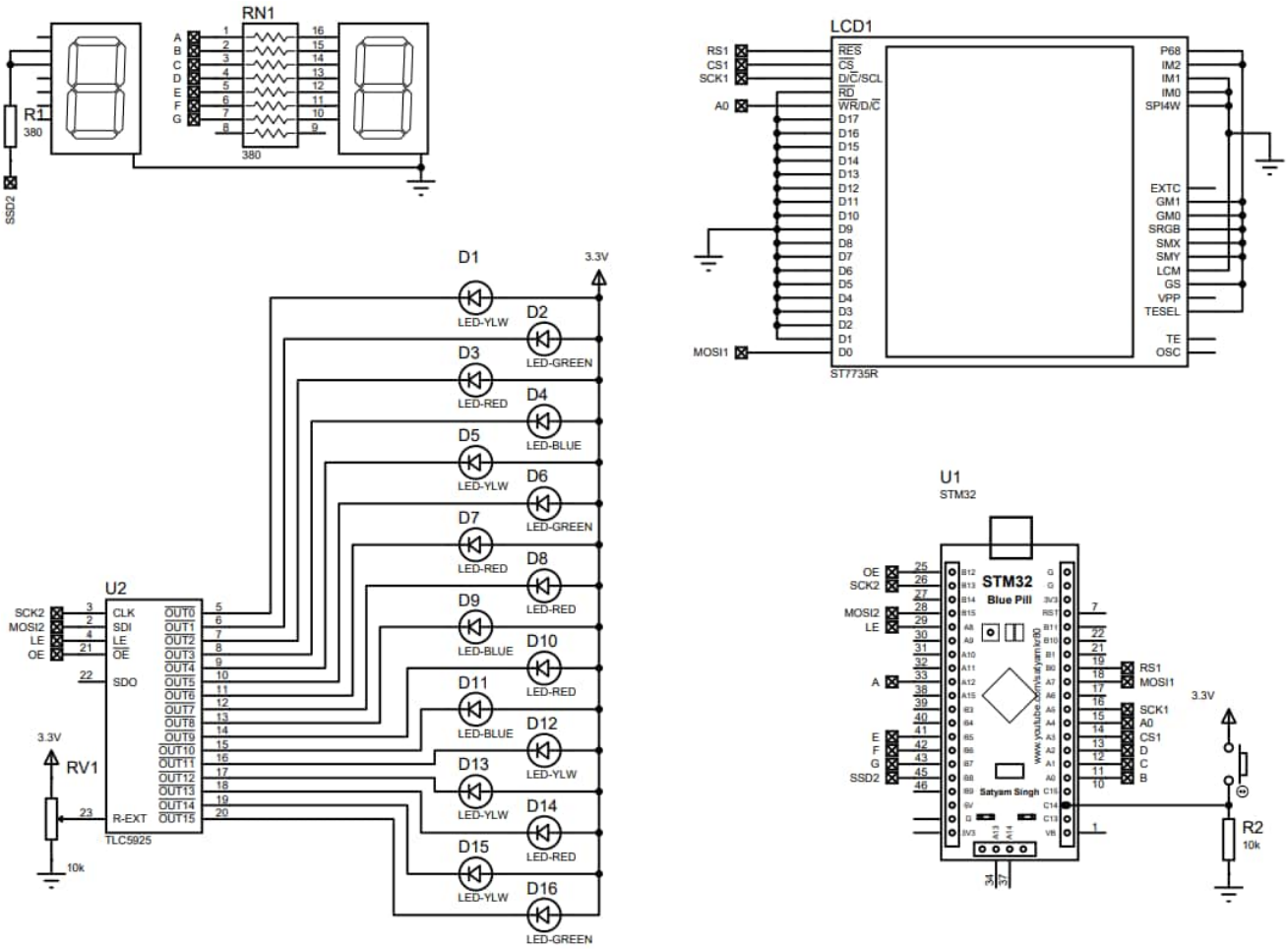
Cilj ovog rada je opis praktične realizacije sistema kontrole koji koristi različite komponente kako bi postigao željenu funkcionalnost, odnosno kontrolu LED svetiljke. Fokus je stavljen na integraciji TFT displeja, sedmosegmentnih displeja, TLC drajvera i LE dioda, koje su ključni segment rada, a sve uz pomoć *Blue Pill*-a. Sistem je prvenstveno realizovan korišćenjem *STM32CubeMX* [1] [4] softvera, gde su podešeni pinovi koji će biti korišćeni kao i vrsta komunikacije između mikrokontrolera i komponenata (u ovom slučaju SPI komunikacija).



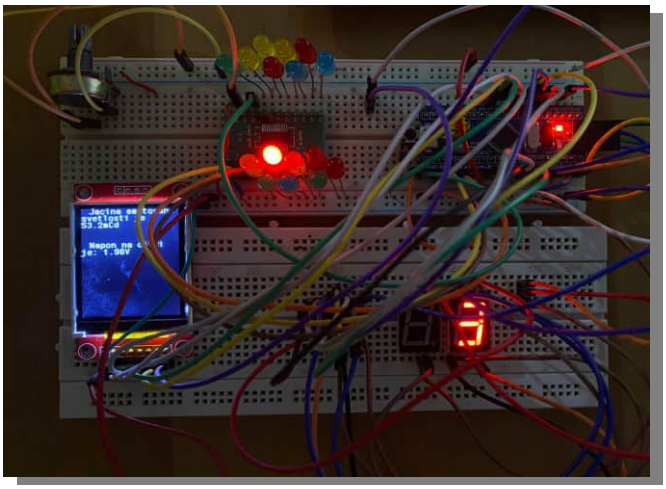
Slika 4. Podešavanja u *STM32CubeMX* softverskom alatu.

Dva kanala SPI komunikacije iskorišćena su za upravljanje TCL5925 drajverom i TFT ST7735 displejem. Ostatak pinova je zbog lakšeg čitanja preimenovan onako kako je i korišćen. Pinovi obeleženi slovima A, B, C, D, E, F, G iskorišćeni su za upravljanje sedmosegmentnim displejom na kome je prikazana cifra jedinice indeksa trenutno upaljene diode. Pin kojim se kontroliše drugi sedmosegmentni displej, onaj na kome se prikazuje cifra jedinice, obeležen je sa SSD2. Zbog nedostatka prostora na pločici, jednim pinom kontrolisana su dva segmenta sedmosegmentnog displeja, s obzirom na to da je na tom displeju bilo potrebno prikazati samo broj 1 (ukupan broj dioda u LED svetiljki je 16). Pin

obeležen sa PB korišćen je kao taster pin, a ostali pinovi su oni koje program sam obeleži pri biranju kanala za SPI komunikaciju. (slika 4) Celokupna šema urađena u softverskom alatu Proteus, kao i šema praktične realizacije na proto-ploči prikazane su na slikama 5 i 6, respektivno.



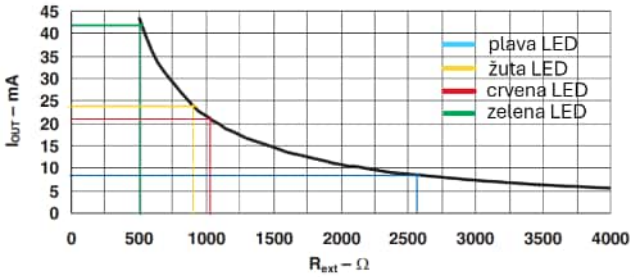
Slika 5. Detaljna šema urađena u Proteus alatu.



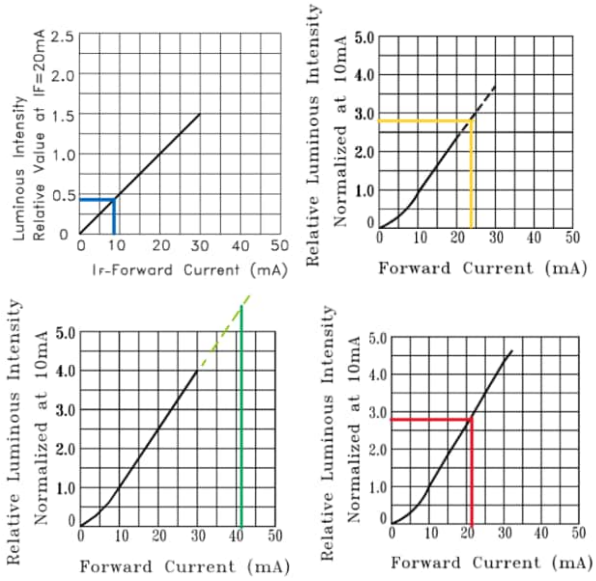
Slika 6. Praktično povezivanje - Prilikom praktične realizacije šeme, korišćeni su takođe i potenciometar i otporna mreža.

V. REZULTATI I DISKUSIJA

Pored realizovanja same LED svetiljke kod koje je paljenje LE dioda kontrolisano tasterom, izvršeno je i izračunavanje jačine svetlosti koja se emituje, kao i napon na trenutno uključenoj diodi. Korišćenjem unimera prvobitno je izmerena otpornost pri kojoj diode svetle najintenzivnije, za svaku boju posebno. Korišćenjem *datasheet*-a za TLC5925 drajver [2] dobijene su struje koje protiču kroz diode, što je prikazano na slici 7. Nakon očitavanja dobijenih vrednosti za struju, iste su prebačene na grafike za relativnu osvetljenost, u *datasheet*-ovima za diode. Vrednosti koje su očitane za svaku boju, pomnožene su sa tipičnom vrednošću za osvetljenost iz tabele za datu diodu. Izgled grafika sa kojih je očitana osvetljenost dati su na slici 8. Najveća vrednost osvetljenosti dobijena je za zelenu diodu, iako se eksperimentalni rezultati ne poklapaju sa dobijenim. Naime, empirijski je dokazano da najintenzivnije svetli plava dioda. Neslaganje sa očekivanim rezultatima proizlazi iz činjenice da u trenutku merenja kroz zelenu diodu protiče pet puta jača struja, što se može videti i iz tabele 1.



Slika 7. Zavisnost otpornosti od struje.



Slika 8. Grafici zavisnosti Relativne osvetljenosti od struje.

U slučaju merenja napona na diodama, korišćen je unimer, i klasičnim postupkom izmeren je napon. Sve vrednosti izmerenih napona, struje i vrednost jačine osvetljenosti dati su u tabeli 1.

TABELA I. PRIKAZ DOBIJENIH REZULTATA

LED	*NAPON*	*STRUJA*	*OSVETLJENOST*
Crvena	1.96 V	21 mA	53.2 mCd
Plava	2.90 V	8 mA	112 mCd
Žuta	2.03 V	24 mA	81.2 mCd
Zelena	2.10 V	41 mA	115.9 mCd

VI. ZAKLJUČAK

Sistem za kontrolu LED svetiljke koji koristi navedene komponente pruža efikasno i vizuelno zadovoljavajuće rešenje. Integracija mikrokontrolera, TFT ST7735 displeja, sedmosegmentnog displeja, TLC5925 drajvera i dioda pruža širok spektar mogućnosti za primene u različitim oblastima, od industrije do edukacije. Ova praktična realizacija ilustruje kako se kombinacijom različitih komponenti može postići sistem sa željenom funkcionalnošću.

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost dugujemo asistentu Nikoli Mitroviću za savete, sugestije i pomoć pri izradi ovog rada.

LITERATURA

[1] „Discovering the STM32 Microcontroller” Geoffrey Brown, University of Indiana dostupno na: https://legacy.cs.indiana.edu/~geobrown/book.pdf.

[2] TLC5925 datasheet dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5925.pdf?ts=1617046705277&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.

[3] ST7735 datasheet dostupno na: https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/1.8-SPI-LCD-Module-datasheet.pdf.

[4] „Primena ARM mikrokontrolera” Nikola Mitrović, Miloš Marijanović, Danijel Danković, Akademska Misao 2023, ISBN 978-86-7466-9.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.353M
Original scientific paper

Poboljšanje uspešnosti simulacije depozicije energije prilikom pojave polarne svetlosti paralelnom implementacijom modela rasejanja elektrona

Maja Milović
Program računarstva
Istraživačka stanica Petnica
Valjevo, Srbija
maja.milovic05@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U radu je istraživan uticaj implementacije rasejanja elektrona na relativnu depoziciju energije u atmosferi u simulaciji polarne svetlosti. Biblioteka otvorenog koda je modifikovana kako bi se ispitala hipoteza da će simulator proizvesti bolje rezultate nakon implementiranog rasejanja elektrona, nego bez rasejanja. Paralelizovan je proces mapiranja elektrona na 12 procesorskih niti.**

Ključne reči–polarna svetlost, simulacija, relativna depozicija energije, paralelni proces

I. Uvod

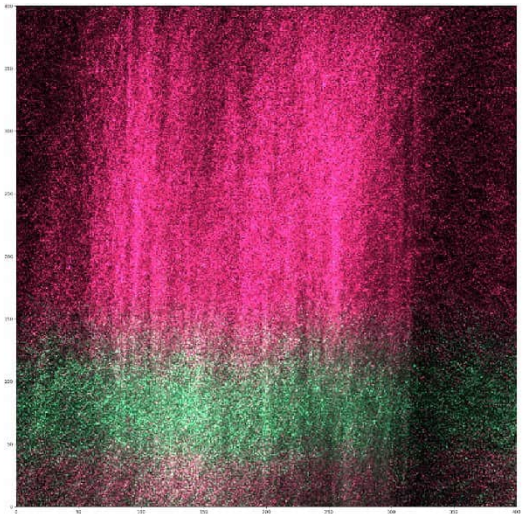
Joni, odnosno naelektrisane čestice, dolaze do Zemlje od Sunca. Joni koji u kontinuitetu teku od površine Sunca nazivaju se solarni vetrovi. Polarna svetlost je vizuelna pojava koja nastaje usled interakcije visokoenergetskih čestica iz solarnih vetrova sa molekulima gasa u atmosferi. Pri većoj sunčevoj aktivnosti, više čestica dođe do nižih slojeva atmosfere. Magnetosfera je deo atmosfere u kom su dominantne magnetne sile. Magnetosfera štiti Zemlju od solarnih vetrova, ali neki joni ostanu zarobljeni u jonosferi, jonizovanom sloju atmosfere. [1], [2] Polarna svetlost je fenomen koji se javlja u jonosferi. Na nadmorskim visinama između 97 i 1000 kilometara [2], naelektrisane čestice se pobuđuju i pri sudaru sa molekulima azota ili kiseonika vraćaju se u osnovno stanje, pri čemu se emituje višak energije u obliku fotona. U zavisnosti od talasne dužine emitovanog elektromagnetnog zračenja, svetlost je različite boje [1] [3]. Pojava polarne svetlosti na severu Zemlje naziva se aurora borealis, ili severna svetlost, a na jugu aurora australis, ili južna svetlost (Slika 1).

Postoje matematički modeli na osnovu kojih se numeričkim algoritmom vrši simulacija polarne svetlosti [4], [5], [6], [7]. Jedan od njih je i AuroraSIM (Slika 2) [8]. Ovaj model simulira polarnu svetlost na bazi agenata. Simulira se polarna svetlost u sloju atmosfere između 100 i 300 kilometara. Model se sastoji od skupa elektrona, a za svaki se određuje njegovo kretanje i interakcija sa drugim česticama. U modelu se računa relativna depozicija energije u slojevima atmosfere i poredi se sa eksperimentalnim podacima. Bilo je neophodno prvobitno promeniti početne uslove iz razloga što AuroraSIM simulira polarnu svetlost na Zemljinom ekvatoru, a rezultati simulacije se porede sa eksperimentalnim podacima iz pojasa gde je aurora najzastupljenija i ka kom magnetno polje usmerava naelektrisane čestice. AuroraSIM algoritam ne uzima u obzir rasejanje elektrona, koje je pojava koja se uviđa u prirodi [1]. Početni model ima implementirano usporavanje elektrona, ali ne menja se pravac njegovog kretanja. Hipoteza ovog rada je da će se implementacijom rasejanja čestica povećati vreme koje elektron provodi u gornjoj atmosferi, a samim tim bi se povećala i šansa za to da se pobuđeni elektron „ugasi" pre nego što se emituje energija u obliku fotona (Slika 3).

Doprinos ovog rada je implementacija rasejanja elektrona, pod pretpostavkom da će se na taj način poboljšati rezultati simulacije, tako da numeričke vrednosti relativne depozicije energije budu bliže eksperimentalnim podacima u odnosu na verziju biblioteke bez rasejanja elektrona. Rasejanje se računa na osnovu Raderfordove formule za rasejanje čestica, prilagođene česticama koje se sudaraju. Podaci dobijeni na taj način se porede sa eksperimentalnim podacima sa polova, prvo bez implementiranog rasejanja, a potom i sa njima, u vidu ispravljenog metodološkog pristupa izvođenju zaključaka.



Slika. 1. Polarna svetlost.



Slika. 2. Slika iz AuroraSIM simulacije.

II. METOD

A. Promena početnih uslova

U AuroraSIM simulatoru početno stanje je definisano sa 2^{20} elektrona. Njihovo kretanje je simulirano u trodimenzionalnom prostoru u obliku kocke sa stranicom dužine 200 kilometara, čija je donja strana paralelna sa Zemljinom površinom i nalazi se 100 km iznad nje. Prati se stanje energije elektrona, brzina i usmerenje, te se simuliraju interakcije sa najzastupljenijim molekulima iz atmosfere: kiseonikom i azotom. Nakon svake interakcije sa molekulima azota i kiseonika se preračunavaju ostali parametri u skladu sa energijom koja je preostala elektronu. Simulator ne simulira samo vizuelni aspekt polarne svetlosti, nego prati i energetske tokove.

Početni uslovi su menjani tako da se ne simulira polarna svetlost iznad ekvatora, nego na višim geografskim širinama, gde je ona i najzastupljenija. Prvi korak u cilju izmene algoritma bio je promena početnih uslova. Potrebna geografska širina je 66 stepeni [9]. Parametar koji zavisi od geografske širine i koji utiče na kretanje elektrona je magnetno polje Zemlje. Magnetno polje je u radu apsoksimirano magnetnim dipolom [3].

Intenzitet magnetnog polja i njegovo usmerenje u trodimenzionalnom prostoru u zavisnosti od geografske širine, dužine i nadmorske visine, izračunato je pomoću kalkulatora za magnetno polje [10]. Na primer, na nadmorskoj visini od 100 km, što je najniža tačka simulacije, intenzitet magnetne indukcije koja deluje u pravcu *x*-ose iznosi 11298 nT, u pravcu *y*-ose iznosi 1848 nT, a najviše deluje u pravcu z ose, gde je njena brojčana vrednost 44862 nT.

B. Implementacija Raderfordove formule za rasejanje

Pomoću Raderfordove formule za rasejanje određuje se diferencijalni poprečni presek rasejanja čestice. Na osnovu njega se dalje izvodi verovatnoća rasipanja za ugao Ω. Raderfordova formula za rasejanje data je formulom

$$d\sigma/d\Omega = \gamma^2/\sin^4(\Theta/2), \quad (1)$$

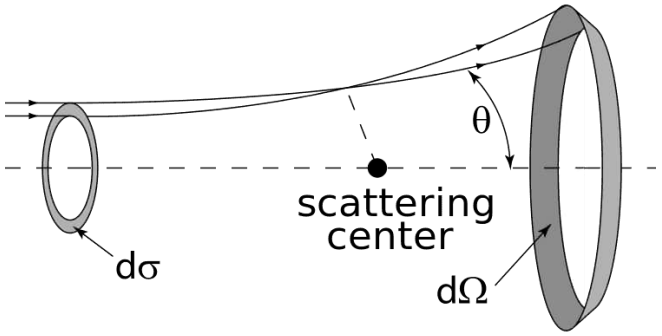
gde je $d\sigma/d\Omega$ diferencijalni poprečni presek rasejanja čestice, Θ je ugao rasejanja, a γ vrednost koja zavisi od upadne energije i vrste čestice [11]. Vrednost γ se može opisati formulom

$$\gamma = (z\,Z\,e^2/4\varepsilon_0)\cdot(1/4E_K), \quad (2)$$

Navedeni izraz predstavlja zavisnost γ od različitih veličina, gde je Z atomski broj jezgra mete (za azot Z=7, a za kiseonik Z=8), z naelektrisanje rasejane čestice (za elektron z=1), e je elementarno naelektrisanje, čija je vrednost $e \approx 1.602\cdot10^{-19}$ C, ε_0 je dielektrična konstanta vakuuma, $\varepsilon_0 \approx 8.854\cdot10^{-12}$ $C^2/(N\cdot m^2)$ i E_K je kinetička energija čestice koja se rasejava (u džulima, ali se često izražava u elektronvoltima ili kiloelektronvoltima, gde je 1 eV=$1.602\cdot10^{-19}$ J). Primenom ovih formula na simulaciju, tj. situaciju gde se elektron rasejava nad azotom ili kiseonikom, moguće je odrediti vrednost izraza z $e^2/16\ \varepsilon_0$, koji se sastoji od unapred poznatih veličina. Ta vrednost iznosi približno $1.81\cdot10^{-28}$ $C^2\cdot m^2/N$. Tada se γ može opisati formulom (3)

$$\gamma = (1.81\cdot10^{-28}\ C^2\cdot m^2/N)\cdot Z/E_K. \quad (3)$$

Na osnovu vrednosti γ računa se diferencijalni poprečni presek rasejanja čestice u odnosu na svaki upadni ugao. Pri uglovima manjim od jednog stepena, sinusna funkcija je aproksimirana vrednošću tog ugla.



Slika. 3. Rasejanje čestica i centar rasejanja.

Iz diferencijalnog preseka se može izvesti slučajna raspodela ugla pod kojim se dešava rasejanje, kojoj je on proporcionalan (4) prema formuli

$$\sigma = \oint_{4\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin\theta\ d\theta\ d\varphi\ , \quad (4)$$

gde se integral vrši po azimutalnom uglu φ od 0 do 2π i po polarnom uglu θ od 0 do π, jer je ugao $\Omega = \sin\theta\, d\theta\, d\varphi$. U pojednostavljenom slu;aju, diferencijalni presek može biti zapisan samo u zavisnosti od polarnog ugla θ. Slučajna raspodela ugla može da se zapiše i formulom

$$\sigma = \int_0^{\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin\theta\ d\theta\ , \quad (5)$$

gde je σ verovatnoća da će se elektron rasuti pod uglom Θ

C. Normalizovanje vektora verovatnoće i uticaj na elektron

Za određivanje ugla pod kojim će se rasuti elektron, korišćena je funkcija kumulativne raspodele (CDF) primenjena na niz iz prethodno navedene raspodele. Funkcija kumulativne raspodele određuje verovatnoću da je slučajna

promenljiva X uzela vrednost manju ili jednaku od x za svako x u intervalu koji se posmatra. Do nje se dolazi normalizovanjem posmatranih vrednosti tako da njihova suma iznosi 1.

Generisanjem pseudoslučajne decimalne vrednosti u intervalu (0,1) dobija se vrednost y tako da je y=CDF(x). Funkcija kumulativne distribucije je bijektivna funkcija, te se iz nje direktno pronalazi odgovarajuća vrednost x. Dobijeno x predstavlja ugao pod kojim će se rasuti dati elektron.

Nakon toga se slučajno određuje da li se dobijeni ugao množi sa 1 ili -1, sa jednakom verovatnoćom za oba događaja. Razlog za ovaj proizvod je to što postoji jednaka verovatnoća da će se elektron rasuti pod datim uglom u oba smera u odnosu na x-osu. Na osnovu ugla rasipanja se menja brzina i smer kretanja elektrona u skladu sa zakonima klasične fizike.

D. Paralelno izvršavanje

Nakon implementacije opisanog modela, vreme izvršavanja simulacije se znatno povećalo. Na primer, za prvih 50 iteracija (pod iteracijom se podrazumeva izvršen jedan korak za svaki od 2^{20} elektrona), vreme izvršavanja simulacije na početnom modelu iznosilo je 197 sekundi, a nakon modifikovanja biblioteke, vreme izvršavanja iznosilo je 473 sekunde. Iz tog razloga je iskorišćena biblioteka OpenMP [12], koja podržava višeprocesno programiranje deljene memorije.

Simulacija se izvršavala na 12 različitih procesorskih niti. Jedna nit je odgovorna za jednu particiju elektrona. Paralelizacija izvršavanja programa izvršena je pomoću instrukcije iz biblioteke koja nalaže kompajleru da distribuira iteracije petlje unutar tima niti koje naiđu na ovu konstrukciju za deljenje posla.

III. REZULTATI I DISKUSIJA

Merenje uspešnosti modifikovane simulacije u odnosu na početnu izvršeno je poređenjem početne simulacije sa promenjenim početnim uslovima (u daljem tekstu: početni simulator), sa eksperimentalnim podacima [6]. Eksperimentalni podaci sadrže brojčane vrednosti relativne depozicije energije na adekvatnim geografskim šifinama pri energiji od 1 keV i 20 keV. Merenje se vrši u odnosu na obe energije. Nakon toga se poredi modifikovana simulacija u kojoj je implementirano rasejanje elektrona (u daljem tekstu: modifikovan simulator) sa istim eksperimentalnim podacima. Poređenje se odvija merenjem prosečne kvadratne greške (eng. *mean squared error*). Naposletku, upoređuju se tako dobijene vrednosti koje se odnose na uspeh početne i modifikovane simulacije.

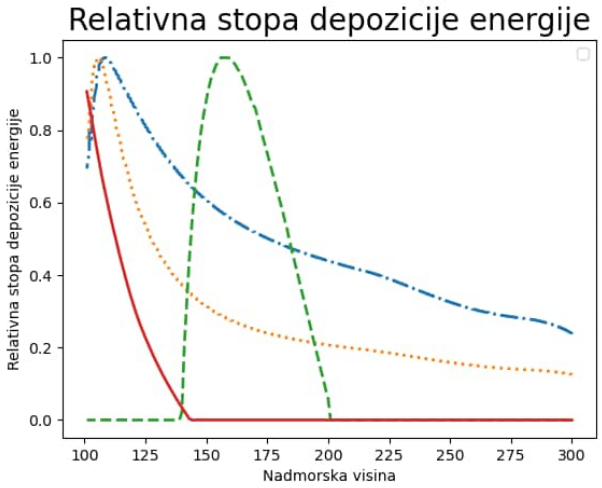
Rad koji se odnosi na prvobitnu, originalnu simulaciju ističe da se konzistentni fluks elektrona postiže nakon prvih nekoliko stotina iteracija [3]. Iz tog razloga, 500. iteracija je početna tačka za merenje rezultata. U početnom simulatoru je određena gornja granica za broj iteracija koje podržava simulator. Ta granica iznosi 10000 i nije promenjena u modifikovanom simulatoru. Dakle, podaci dobijeni iz 9500 iteracija ulaze u opseg onih na osnovu kojih se mere razultati.

U početnom simulatoru se na svakih 0.5 kilometara računa vrednost relativne depozicije energije u tom opsegu. Kako simulator obuhvata 200 kilometara, to daje 400 tačaka koje mogu da se porede sa eksperimentalnim podacima. Isti broj tačaka se generiše i u modifikovanom simulatoru. Prikazana je relativna stopa depozicije energije u zavisnosti od nadmorske visine za sva 4 skupa vrednosti (Slika 4).

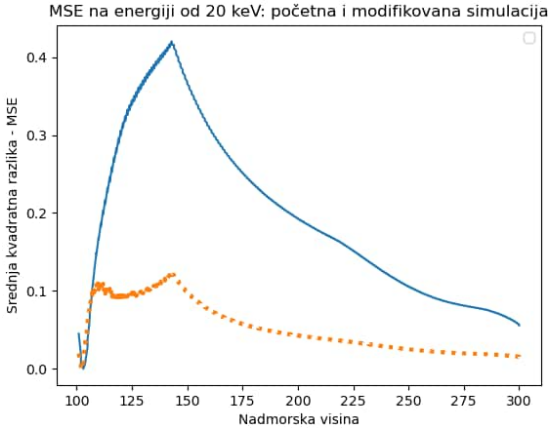
Prikazana je srednja kvadratna greška u odnosu na eksperimentalne podatke koji se odnose na energiju od 20 keV između početne i modifikovane simulacije (Slika 5). Što je veća razlika između vrednosti MSE-a prilikom oduzimanja MSE-a modifikovanog simulatora od početnog, to je početni model pokazao lošije rezultate u odnosu na modifikovani. U proseku, za ovu energiju, razlika u MSE-u iznosi 0,1425 i manja je od 0 samo na nadmorskim visinama između 103 i 106,5 kilometara.

Pri energiji od 1 keV (Slika 6), srednja kvadratna greška početne simulacije iznosi 0,2247, a kod modifikovane 0,1744. U proseku, razlika MSE-a početne simulacije i modifikovane simulacije pri energiji od 1 keV iznosi 0,1521. Taj broj govori da je ukupno i na energiji od 1 keV modifikovana simulacija pokazala bolje rezultate od početne, ali su obe dosta loše. MSE modifikovane simulacije je pokazao gore rezultate od početne simulacije u intervalima (100, 106,5)U(143,5, 189) za $x \in (100, 300)$.

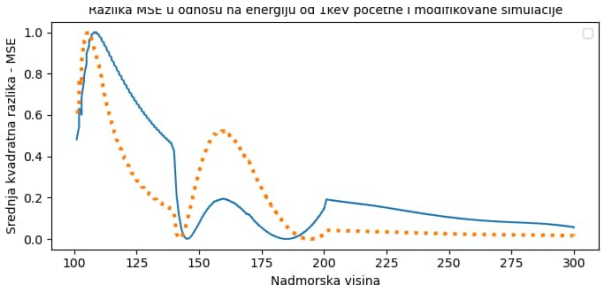
U modelu se efikasno paralelizuje simuliranje polarne svetlosti. Za prvih 50 iteracija, vreme izvšavanja nakon implementiranog paralelnog izvršavanja iznosi 174 sekunde, što je brže od početnog modela.



Slika. 4. Relativna stopa depozicije energije: eksperimentalni podaci (puna linija za energiju od 20 keV, isprekidana za energiju od 1 keV) i rezultati početnog (isprekidana linija sa tačkama) i modifikovanog (tačkasta linija) simulatora.



Slika. 5. Srednja kvadratna greška u odnosu na energiju od 20 keV: početna (puna linija) i modifikovana (tačkasta linija) simulacija.



Slika. 6. Srednja kvadratna greška u odnosu na energiju od 1 keV: početna (puna linija) i modifikovana (tačkasta linija) simulacija.

IV. Zaključak

Ispitana je hipoteza da će se implementacijom rasejanja elektrona u postojeći model za simulaciju polarne svetlosti njegov uspeh poboljšati. Kako bi došlo do toga, početni uslovi su bili modifikovani kako bi geografska širina bila adekvatna. Iz dobijenih rezultata moguće je izvesti zaključak da je implementacija rasejanja elektrona značajno doprinela uspehu AuroraSIM simulacije polarne svetlosti. U odnosu na Sunčevu energiju, rezultati su bolji pri poređenju sa eksperimentalnim podacima koji su mereni pri višoj energiji, u odnosu na nižu.

Cilj rada je ispunjen i analiziran je uticaj rasejanja elektrona na relativnu depoziciju energije u atmosferi u AuroraSIM modelu..

V. Budući rad

Postoji prostor za dalji rad i za usavršavanje simulacije. U to spada implementacija drugačijih struktura koje se javljaju kod polarne svetlosti, poput zavojnica. Da bi se poboljšao model, potrebno je ispitati i drugačiji pristup aproksimaciji magnetnog polja Zemlje i sila koje deluju sa njim usled naelektrisanja čestica. Moguće je da bi se pokazalo da simulator proizvodi bolje rezultate ukoliko bi se implementacija magnetnog polja vršila na osnovu podataka iz svetskog modela magnetnog polja zemlje [13].

Literatura

[1] J. W. Chamberlain, Physics of the Aurora and Airglow. Washington, D. C.: American Geophysical Union, 1995. doi: 10.1029/SP041.

[2] National Geographic, „Aurora“. Pristupljeno: 29. Avgust 2024. [Na Internetu]. Dostupno na: https://education.nationalgeographic.org/resource/aurora.

[3] K. Mills, „Agent-Based Simulation of the Aurora“, Tehnološki institut, Univerzitet u Ontariju. [Na Internetu]. Dostupno na: https://github.com/millskyle/AuroraSim/blob/master/report/screen_AT_kmills_project_report.pdf.

[4] G. V. G. Baranoski, J. Wan, J. G. Rokne, i I. Bell, „Simulating the dynamics of auroral phenomena“, ACM Trans. Graph., tom 24, izd. 1, str. 37–59, Jan. 2005, doi: 10.1145/1037957.1037960.

[5] T. Ishikawa, Y. Yue, K. Iwasaki, Y. Dobashi, i T. Nishita, „Modeling of aurora borealis using the observed data“, u Proceedings of the 27th Spring Conference on Computer Graphics, u SCCG ’11. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Apr. 2011, str. 13–16. doi: 10.1145/2461217.2461220.

[6] O. Lawlor i J. Genetti, „Interactive Volume Rendering Aurora on the GPU.“, Journal of WSCG, tom 19, str. 25–32, Jan. 2011.

[7] T. Kojima, R. Takeuchi, S. Yamakawa, T. Watanabe, i K. Mikami, „Visual simulation of aurora movement“, u SIGGRAPH Asia 2011 Posters, Hong Kong China: ACM, Dec. 2011, str. 1–1. doi: 10.1145/2073304.2073354.

[8] K. Mills, AuroraSIM simulator. (12. Septembar 2015.). C++. Graduate course Advanced Topics in Computational Science at the University of Ontario Institute of Technology. [Na Internetu]. Dostupno na: https://github.com/millskyle/AuroraSim/tree/master/src.

[9] NOAA NWS Space Weather Prediction Center, „Tips on Viewing the Aurora“, Tips on Viewing the Aurora. Pristupljeno: 16. Septembar 2024. [Na Internetu]. Dostupno na: https://www.swpc.noaa.gov/content/tips-viewing-aurora.

[10] NOAA, „NOAA Mobile Magnetic Declination Calculator“, Kalkulator magnetnog polja. Pristupljeno: 15. Oktobar 2024. [Na Internetu]. Dostupno na: https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/mobileDeclination.shtml#WMM.

[11] University of California San Diego, Department of Physics, „Rutherford Scattering“. Pristupljeno: 3. Septembar 2024. [Na Internetu]. Dostupno na: https://courses.physics.ucsd.edu/2016/Spring/physics4e/.

[12] OpenMP Architecture Review Board, „OpenMP“, OpenMP. Приступљено: 20. Октобар 2024. [Na Internetu]. Dostupno na: https://www.openmp.org/.

[13] National Centers for Environmental Information (NCEI), „World Magnetic Model (WMM)“, World Magnetic Model. Pristupljeno: 20. Oktobar 2024. [Na Internetu]. Dostupno na: https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model.

[14] D. Bilitza, „International Reference Ionosphere 2000“, Radio Science, tom 36, izd. 2, str. 261–275, Mart 2001, doi: 10.1029/2000RS002432.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.357M
Original scientific paper

Grafička simulacija gorenja tela predstavljenih trougaonim mrežama

Sergej Milivojević
Program računarstva
Istraživačka Stanica Petnica
Valjevo, Srbija
sergejmilivojevic@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj* — U ovom radu je predložena metoda vizuelnog i geometrijskog gorenja tela, koja je predstavljena trougaonim mrežama, merenjem temperature u svakom trouglu i primenom matematičke funkcije na njihova temena kada temperatura pređe odabranu vrednost. Vatra je predstavljena frontom koji se sastoji od tačaka koje se šire po mreži na osnovu vektora kretanja. Vremenska složenost simulacije je O(2^N) gde je N broj tačaka koje čine front. Metoda je testirana na više trougaonih mreža, a rezultati su pokazali bolje performanse na detaljnijim mrežama. Simulacijom je demonstrirano postizanje vizuelno prihvatljivih rezultata koji približno oponašaju gorenje tela u stvarnosti. Međutim, ograničenje simulacije je to što ne daje zadovoljavajuće rezultate kada je potrebno probiti drugu stranu tela.**

Ključne reči— vatra, gorenje, plamen, vektor, front

I. UVOD

Simulacije fizičkih i prirodnih fenomena često su veoma kompleksne i spore u svetu računarstva zbog simuliranja velikog broja čestica i prirodnih sila koje deluju među njima. Ove vrste simulacija su najpreciznije, ali su samim tim i najsporije. Alternativa tome mogu biti grafičke ili vizuelne simulacije koje aproksimiraju kretanje čestica i određene efekte u prirodi. Iako nisu potpuno tačne, u situacijama gde nam nije potrebna verna reprodukcija prirodnih pojava, veoma su korisne. Ovaj rad se u velikoj meri oslanja na rad Beaudoina i Poulina (2001)[1], u kojem simuliraju širenje vatre na trougaonim mrežama. U pomenutom radu cilj je bio napraviti simulaciju vatre koja vizuelno prikazuje propagaciju vatre i izgled plamena. Simulacija se sastoji od tri sekcije: propagacije, animacije i renderovanja. Za ovaj rad najvažniji je način na koji su oni propagirali front po kojem se vatra širi. To su postigli tako što su generisali tačke na proizvoljnom trouglu, dodelili im vektore kretanja i pomerali ih u skladu s njima.

Cilj ovog rada je napraviti simulaciju koja vizuelno i geometrijski oponaša proces gorenja nekog tela. Kao model koriste se trougaone mreže, na čijim se temenima primenjuje odabrana matematička funkcija, kako bi se što bolje aproksimirao realan izgled gorenja tela.

II. METOD

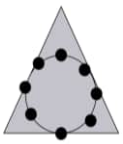
Kao što je prethodno spomenuto, propagacija fronta oslanja se na radove Beaudoin i Poulin (2001) i Lee i Kim (2001)[1][2]. Detaljnije, može se podeliti na 3 podsekcije koje opisuju propagaciju vatre, generisanje i određivanje smera kretanja tačaka, promenu smera kretanja tačaka i generisanje novih tačaka tokom simulacije.

A. Generisanje i određivanje smera kretanja tačaka

Simulacija se odvija na trougaonom mrežnom modelu, i kada se bira mesto odakle će vatra krenuti, mora se izabrati neki trougao. Na tom trouglu generišu se početne tačke na upisanoj kružnici (Slika 1) tog trougla. Svakoj tački dodeljen je vektor prema kojem će se kretati, pri čemu su vektori usmereni od centra upisane kružnice trougla ka generisanim tačkama. Da bi se ove tačke pomerale, definišu se brzina simulacije i promenljiva *t*, koja služi kao vrednost vremenskog koraka. U svakoj iteraciji tačka se pomera na osnovu formule.

$$\vec{p}_i(t+\Delta t) = \vec{p}_i(t) + \vec{d}_i \cdot t \cdot a \tag{1}$$

t predstavlja vremenski korak, $p_i(t+\Delta t)$ novu poziciju tačke, $p_i(t)$ predstavlja poziciju tačke u prethodnom vremenskom koraku, d_i vektor kretanje te tačke i a brzinu simulacije.



Slika 1. Ilustracija generisanja tačaka na osnovu upisane kružnice trougla.

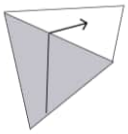
B. Menjanje smera na osnovu kojeg se tačke kreću

Tačka će u nekom trenutku morati da stigne do ivice i promeni svoj smer na osnovu određenih parametara. Da bi se utvrdilo kada će se to desiti, potrebno je pronaći presek između vektora kretanja i odgovarajuće ivice, te u svakom trenutku proveravati da li je tačka stigla do tog preseka. Kada tačka stigne do ivice nekog trougla, mora preći na sledeći. Ako je sledeći trougao u istoj ravni kao i prethodni, to nije problem — tačka jednostavno nastavlja da se kreće u istom smeru kao do tada. Međutim, u većini slučajeva to nije slučaj, te trougao na koji tačka prelazi nije u istoj ravni kao prethodni. Da bi se zadržao pravac kretanja tačke, ali

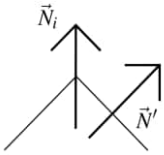
promenila ravan u kojoj se kreće tako da bude u ravni novog trougla, definiše se novi vektor kretanja d_i'.

$$\vec{d_i'} = (\vec{N_i} \times \vec{d_i}) \times \vec{N'} \quad (2)$$

N_i je simetrala na ugao izmedju normale trougla sa kojeg prelazi i trougla na koji prelazi, d_i originalni vektor i N' normala na trougao na koji prelazi (Slike 2 i 3). Ova jednačina se primenjuje pri svakom prelasku, jer čak i kada su oba trougla u istoj ravni, rezultat ove operacije daje vektor koji nastavlja da se kreće u istom smeru, a kada su trouglovi u različitim ravnima, daje vektor koji pada na ravan novog trougla.



Slika 2. Ilustracija promena vektora brzine.



Slika 3. Simetrala izmedju trouglova i normala na trougao na koji prelazi.

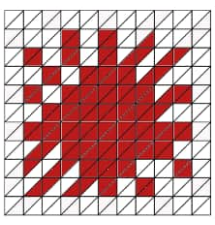
C. Generisanje novih tačaka tokom simulacije

Pošto front vatre čine tačke, ukoliko se tokom cele simulacije zadrži konstantan broj tačaka, one se u nekom trenutku previše raširе i prestanu da formiraju definisan oblik fronta. Da bi se to sprečilo, potrebno je generisati novu tačku između njih kada se udaljenost između tačaka previše poveća, kako bi se očuvao željeni oblik fronta (Slike 4 i 5).

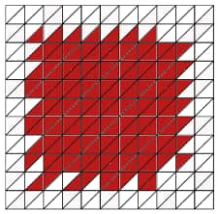
Ovo se postiže čuvanjem niza sa indeksima svake tačke, tako da tačka sa indeksom i predstavlja tačku koja se na telu nalazi najbliže tačkama sa indeksima $i+1$ i $i-1$. Proverava se rastojanje između tačaka i i $i+1$ i kada predje odredjenu vrednost dodaje se nova tačka čiji je vektor kretanja jednak vektorskom zbiru vektora kretanja tačaka i i $i+1$.
Lokacija nove tačke određuje se na sledeći način:

- Napravi se duž između tačaka i i $i+1$ koja nije vezana za trougaonu mrežu
- U okolnom prostoru pronalazi se trougao koj je najbliži sredini te duži
- Sredina duži projektuje se na trougao

Ovim pristupom front će zadržati svoj originalni oblik i verodostojno se širiti. Takođe, radi optimizacije, kada su dve tačke previše blizu jedna drugoj, jedna od njih se briše, a niz koji sadrži redosled tačaka se ažurira.



Slika 4. Ilustracija kako bi front izgledao kada bi postojao konstantan broj tačaka.



Slika 5. Ilustracija istog fronta kada se dodaju tačke tokom simulacije.

III. GORENJE TELA

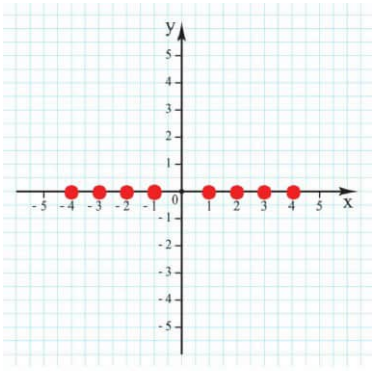
Nakon kreiranja fronta vatre, oblikuje se telo koje se tokom animacije smanjuje i oponaša proces gorenja. Za svaki trougao definiše se vrednost „temperature“ koju taj trougao ima [4][5].Iako ova simulacija nije zasnovana na fizičkim principima, vrednost temperature može biti prilagođena da se što više približi stvarnoj temperaturi. Na ovaj način može se simulirati realističan efekat vatre, s tim da se povećanje temperature usklađuje sa karakteristikama određenih materijala, a sama temperatura se uvećava na osnovu tih karakteristika.

U ovom radu odabrane su vrednosti koje odgovaraju zapaljivim materijalima, omogućavajući brzo širenje vatre i jasnije vizuelne rezultate. Temperatura se proverava na svakom vremenskom koraku i kada pređe eksperimentalno utvrđenu graničnu vrednost, trougao na kojem je temperatura prešla tu vrednost se smatra „izgorelim“. Nakon što jedan trougao izgori, formira se lokalni koordinatni sistem čije težište postaje koordinatni početak. Zatim se pronalaze trouglovi povezani s njim, a temena svih tih trouglova pomeraju se prema odabranoj matematičkoj funkciji. (Slike 6 i 7). Odabrana je funkcija u obliku paraboloida kako bi primenom na temena ravnomerno udubila telo sa svake strane. U ovom radu korišćena je funkcija:

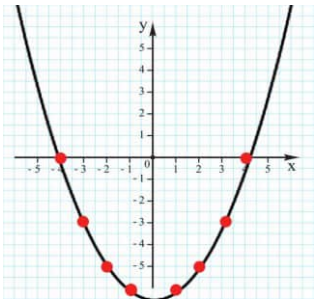
$$f(x,y) = \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} - \lambda \quad (3)$$

λ je skalarna vrednost na osnovu koje se određuje koliko ustvari “duboko” u telo se pomere temena.

Takođe, važno je napomenuti da se vrednost temperature mora adekvatno ažurirati i da frontu treba dati dovoljno vremena da se proširi kako se funkcija ne bi konstantno primenjivala na iste trouglove. Ako to ne uradimo, trouglovi će se previše pomerati u svakom vremenskom koraku, što može dovesti do vizuelno besmislenih rezultata.



Slika 6. Ilustracija tačaka na 2D koordinatnom sistemu radi lakše vizualizacije(isti princip se primenjuje u 3D).



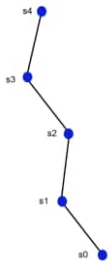
Slika 7. Ilustracija tačaka pomerenih na osnovu funkcije.

IV. Generisanje plamenova

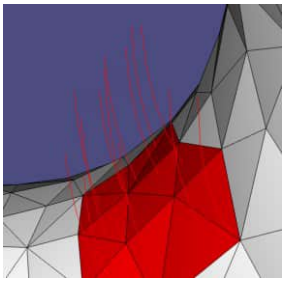
Cilj ovog rada je modeliranje pojave gorenja tela, pri čemu izgled vatre nije detaljno razrađen. Umesto toga, vatra je predstavljena kao skup „kostura plamenova“ (Slika 8), jedan kostur se opisuje kao niz povezanih tačaka generisanih na osnovu vektorskog polja i konvekcije iz određene tačke na telu unutar fronta.

Ove tačke se definišu kao $s_0, s_1, \ldots, s_n$ pri čemu je s_0 koren plamena. Vektorsko polje je definisano tako da oponaša konvekciju i uticaj vetra. Kostur predstavlja približnu krivu koja počinje u korenu i čija je tangenta u svakoj tački usklađena sa trenutnim vektorskim poljem brzine $V(x)$.

Budući da vektorsko polje nije definisano na osnovu tela, kostur plamena se ponekad generiše unutar tela. Da bi se prevazišao ovaj problem, smer generisanja kostura plamena biće definisan prema normali na trougao na kojem se nalazi koren. Ovom metodom se smanjuje značajan deo preseka sa telom, čime se postiže efekat da plamenovi obavijaju telo.



Slika 8 a). Kostur plamena.



Slika 8 b). Generisani plamenovi.

V. Implementacija

Sve ovo implementirano je u programskom jeziku C++ koristeći biblioteke *libigl* za simulaciju *3D mesh*-eva i celu animaciju i vizualizaciju i *Eigen* biblioteku za vektorske operacije[6][7].

VI. Ograničenja

Simulacija je u početku brza, ali eksponencijalno usporava zbog novih tačaka. U najgorem slučaju, za svaku tačku u svakom koraku generiše se dodatna tačka, što se opisuje funkcijom $f(x) = 2^x$. Ovo se odnosi na najgori slučaj, gde se za svaku tačku u svakom vremenskom koraku generiše još jedna dodatna tačka. U praksi je ovo nešto manje, ali s obzirom na to da front obično raste, kompleksnost će biti približno ovolika.

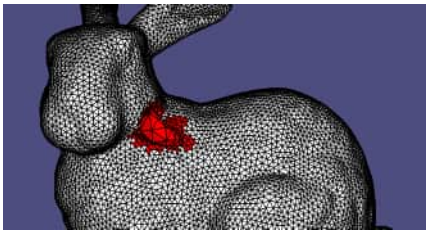
Model može biti dovoljno detaljan, a λ dovoljno mala da front prođe kroz telo bez "probijanja" na drugu stranu. Tada se tačke brišu po istoj funkciji, pri čemu se broj tačaka prepolovi svaki put kada su previše blizu, čime se simulacija ubrzava pod istom funkcijom.

Simulacija funkcioniše kako je namenjeno sve dok dubina gorenja ne dostigne suprotnu stranu tela i dok je trougaona mreža tela dovoljno detaljna. U suprotnom dolazi do stvaranja prevelikih trouglova, što dovodi do neželjenih ishoda.

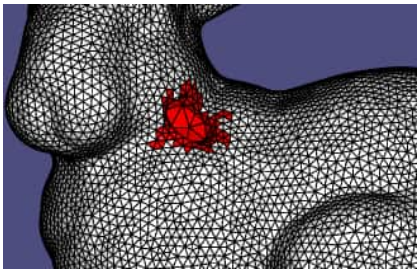
VII. Rezultati i diskusija

Simulacija je testirana na tri različita modela: "Stanford Bunny" modelu (Slike 9-13) [3], modelu duplog torusa (Slika 14) i modelu torusa (Slika 15). Svaki model je isproban sa velikim i manjim brojem trouglova. Rezultati su pokazali da je simulacija znatno preciznija na detaljnijim modelima, što se može razumeti jer se proces gorenja dešava pomeranjem temena trouglova. Kada pomeramo temena trouglova, zapravo ne generišemo nove trouglove, već modifikujemo oblik postojećih pomeranjem njihovih temena. Tokom svakog koraka, površina koja je na početku imala veliki broj trouglova neprekidno se širi na veće trouglove, što smanjuje preciznost simulacije.

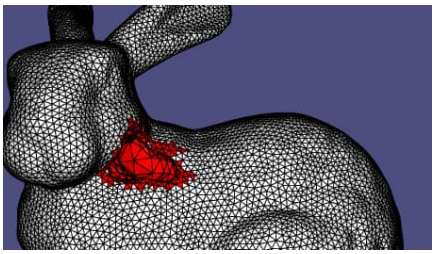
Model "Stanford Bunny," koji se sastoji od 28,576 trouglova, pokazao se kao najbolji primer jer sadrži dovoljno detalja da simulacija bude precizna, ali nije i previše detaljan da bismo mogli da uočimo trouglove na kojima se cela operacija odvija.



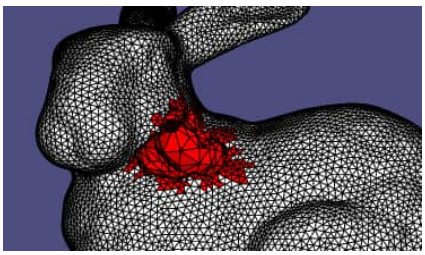
Slika 9. t = 1.



Slika 10. t = 2.

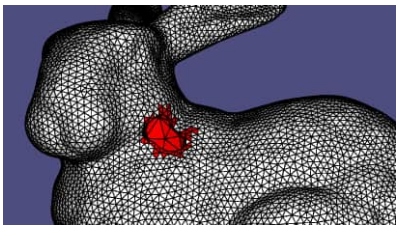


Slika 11. t = 3.

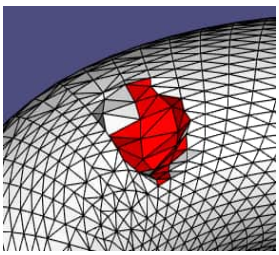


Slika 12. t = 4.

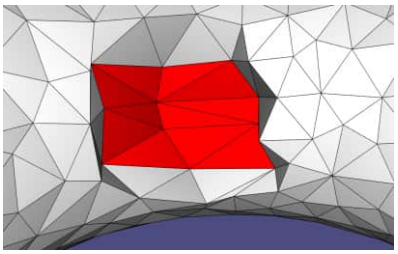
Povećanjem vrednosti λ, primenom funkcije prodire se dublje u telo, što zahteva veći broj trouglova u mreži kako bi se očuvala preciznost. Na telima sa nedovoljnim brojem trouglova, ovo povećanje može dovesti do neželjenih rezultata jer će se pri sledećem pozivanju funkcije, temena će se i dalje pomerati, ali sa sve manjom preciznošću, jer su se trouglovi previše raširili (Slika 13).



Slika 13. Primetno je da, nakon udvostručavanja λ, pomerena temena trougla ostaju na ivici fronta.



Slika 14. Model duplog torusa od 17,194 trougla. Prikazana je simulacija testirana na ovom telu.



Slika 15. Model torusa od 2,000 trouglova. Prikazana je simulacija testirana na ovom telu.

Na modelu duplog torusa i torusa mogu se videti slični rezultati kao i kod modela "Stanford Bunny", ali sa većim trouglovima. Takođe, primećujemo da kada pomeramo temena trouglova unutar fronta, trouglovi izvan njega se takodje deformišu, što dovodi do neželjenih rezultata.

VIII. Zaključak

Predstavljeni metod daje vizuelno zadovoljavajuće rezultate, ali je vreme izvršavanja dugo. Može se značajno poboljšati paralelizacijom generisanja tačaka na grafičkoj kartici, jer se tačke kreću nezavisno, pa se njihova putanja može računati paralelno. Ovaj pristup može otvoriti prostor za dalja istraživanja i unapređenja simulacije gorenja.

Ipak, metoda ima ograničenje – vatra ne može „razdvojiti" telo nakon dužeg gorenja, što predstavlja potencijal za unapređenje. Takođe, postoji mogućnost istraživanja interakcija između više tela, a ne samo jednog trougaonog modela. Pošto je predstavljen metod vezan za temena trouglova, može se prilagoditi različitim poligonalnim mrežama. Dodatno poboljšanje bi bilo brisanje i ponovna generacija tačaka umesto pomeranja temena, što bi zadržalo isti nivo detalja i na manjim modelima.

Literatura

[1] P. Beaudoin, S. Paquet i P. Poulin, "Realistic and controllable fire simulation," Proceedings of Graphics interface, Ottawa, Ontario, Canada, 2001.

[2] H. Lee, L. Kim i M. Meyer, "Meshes on Fire, " EG Workshop on Computer Animation and Simulation, Manchester, U.K., 2001.

[3] G. Turk i M. Levoy, "Zippered Polygon Meshes from Range Images"

[4] N. Chiba, S. Ohkawa, K. Muraoka i M. Miura, "Twodimensional visual simulation of flames, smoke and the spread of fire", The Journal of Visualization and Computer Animation, 5(1):37–54, Januar–Mart 1994.

[5] J. Takahashi, H. Takahashi i N. Chiba, "Image synthesis of flickering scenes including simulated flames", IEICE Transactions on Information Systems, E80-D(11):1102– 1108, 1997

[6] libigl dokumentacija. Dostupno na: https://libigl.github.io/dox/

[7] Eigen dokumentacija. Dostupno na: https://eigen.tuxfamily.org/dox/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.361P
Original scientific paper

Projektovanje indikatora napredovanja korišćenjem ARM razvojnog okruženja

Marija Prijić
Modul: Elektronske komponente i mikrosistemi
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
marija.prijic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*−Ovaj rad prikazuje hardverski dizajn indikatora napredovanja za aktivnost definisanog trajanja. Indikator je realizovan korišćenjem razvojnog okruženja sa ARM mikrokontrolerom iz STM32F103 familije. Realizovani projekat simulira napredak učitavanja grafičke slike kroz vizuelni (preko niza od 9 LE dioda) i numerički (preko dva 7-segmentna displeja) prikaz. Učitana slika se prikazuje na TFT displeju. Dizajn indikatora poseduje *„start/pause“* i *„cancel“* tastere kojima može da se u realnom vremenu kontroliše njegova funkcija. Ugrađeni softver mikrokontrolera je razvijen u okviru okruženja *Keil Microvision* i *STM32CubeMX*, dok je za prilagođenje formata podataka grafičke bitmapirane slike TFT displeju kao pomoćni softverski jezik iskorišćen *Python* u okviru integrisanog razvojnog okruženja *Spyder*. Funkcionisanje indikatora je prezentovano kroz proces učitavanja bitmapirane slike u trajanju od 100 s. Tasteri *„start/pause“* i *„cancel“* su iskorišćeni za kontrolu procesa učitavanja slike po želji korisnika, uz adekvatno ažuriranje stanja indikatora.**

Ključne reči – indikator napredovanja, mikrokontroler, TFT displej, LE diode, sedmosegmentni displeji

I. UVOD

A. Pojam indikatora napredovanja

Pokazivač, indikator ili traka napredovanja (engl. *Progress bar*) je grafički kontrolni element čija je uloga vizuelizacija napretka dugotrajne aktivnosti, kao što je preuzimanje podataka, prenos podataka ili instalacija određenih programa. On je element interfejsa komandne linije (CLI - *Command-Line Interface*), tekstualnog korisničkog interfejsa ili grafičkog korisničkog interfejsa. Namenjen je da obavesti korisnika da je neka operacija u toku kako bi se uverio da sistem nije zakočen ili da se čeka na njegovu reakciju. Indikator pruža korisniku procenu koliko je sistem napredovao kroz zadatak.

Tipična primena indikatora napretka zahteva da ih aplikativni programi eksplicitno ažuriraju. To znači da ako se izvršavanje programa prekine, indikator napretka će prestati da se ažurira. Znači, indikatori napretka takođe govore korisniku da li je program još aktivan. Indikatori napretka se obično prikazuju grafički, kao brojčani procenat ili kao kombinacija prethodna dva načina [1].

B. Podela indikatora napredovanja

Postoje dve vrste indikatora napretka - određeni indikatori napretka (prikaz kontinualnog napretka) i neodređeni indikatori napretka (ikonica se kreće napred-nazad). Pored toga, postoji više vrsta određenih indikatora napretka.

Neodređeni indikatori napredovanja izražavaju neodređeno vreme. Koriste se kada je trajanje ili napredak procesa nepoznat ili promenljiv. Oni uveravaju korisnike da sistem radi i sprečavaju percepciju kašnjenja kao greške (engl. *error*) ili kvara.

Određeni indikatori napredovanja prikazuju koliko dugo će proces trajati i koliko je napredovao. Koristite specifične prikaze kada se trajanje ili napredak može izmeriti ili proceniti. Oni vizuelno predstavljaju završeni ili preostali posao, omogućavajući korisnicima da procene napredak i upravljaju očekivanjima [2].

C. Cilj rada

U ovom radu ćemo simulirati rad progres bara koristeći LE diode kao segmente horizontalne trake i sedmosegmetne dispeje kao procentualnu indikaciju napretka.

II. HARDVERSKA IMPLEMENTACIJA

A. Korišćene komponente za realizaciju projekta

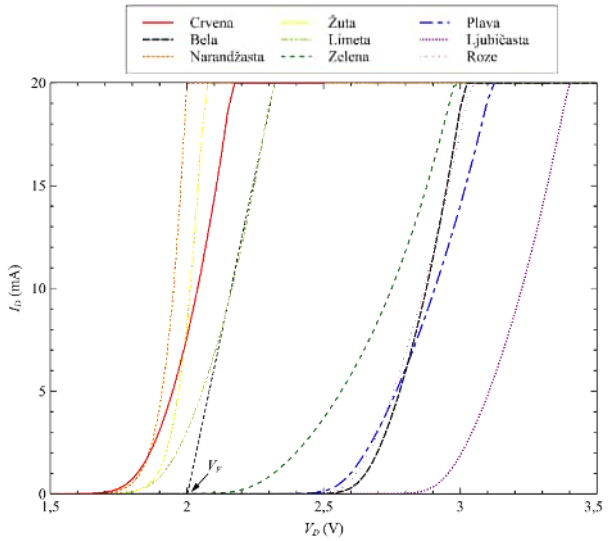
U realizaciji projekta su korišćene sledeće hardverske komponente: *Bluepill* razvojno okruženje sa ARM mikrokontrolerom [3], devet LE (*Light-Emitting*) dioda, integrisano kolo TLC5925 [4], dva sedmosegmentna displeja (jedan sa zajedničkom anodom, a drugi sa zajedničkom katodom), ST7735R TFT displej [5], dva otpornika od 10 kΩ, potenciometar od 10 kΩ, dva otporna niza 4116R, dva tastera, naponski regulator MC33269DT [6], prototipna ploča i žice za međusobno spajanje komponenata.

U ovom projektu je korišćeno 9 LE dioda različitih boja (tabela I) koje se kontrolišu preko integrisanog kola TLC5925. Svaka od dioda ima karakterističnu vrednost napona vođenja – V_F. Strujno-naponske karakteristike svih primenjenih dioda su snimljene korišćenjem računarom vođenog analizatora parametara *Agilent4156C*. Ove karakteristike su prikazane na slici 1 i na osnovu njih su određeni naponi vođenja dioda iz tabele I.

TABELA I. MATERIJALI ISKORIŠĆENI ZA IZRADU LE DIODA RAZLIČITIH BOJA, NJIHOVE TALASNE DUŽINE - λ I NAPONI VOĐENJA - V_F

Boja	Materijal	V_F (V)	λ (nm)
Bela	GaN	2,7	395-530
Crvena	GaAsP	1,9	610-760

Narandžasta	GaAsP	1,9	590-610
Žuta	AlInGaP	2,0	570-590
Limeta	GaP	2,0	515-594
Zelena	GaP	2,5	500-570
Plava	GaN	2,7	450-500
Ljubičasta	InGaN	3,1	400-450
Roze	InGaN	2,7	N/A



Slika 1. Strujno-naponske karakteristike LE dioda iskorišćenih u projektu.

Integrisano kolo TLC5925 služi za kontrolu rada LED-ova. U zavisnosti od podataka koje mu mikrokontroler pošalje, drajver će pobuditi određeni broj LED-ova. Komunikacija sa mikrokontrolerom se vrši preko SPI protokola. Eksterni otpornik vezan za pin R-EXT određuje intenzitet sjaja dioda [4]. U ovom projektu za vrednost R_{EXT} je postavljeno 1830 Ω što kroz LE diode obezbeđuje struju od 12 mA.

Svaka od sedam LE dioda (adekveatno pozicioniranih na 7-seg displeju) se naziva segmentom, jer kada je osvetljen pojedini segment, on čini deo numeričke cifre koja se prikazuje [7]. Svakom segmentu displeja odgovara jedan pin na mikrokontroleru. Displeji prikazuju procentualni deo odrađenog zadataka, tj. predstavljaju brojčani indikator napretka. Displej 5161AS koji pokazuje cifre desetice ima konfiguraciju zajedničke katode (*CC – Common Cathode*), dok displej LTS6660E koji prikazuje cifre jedinice ima konfiguraciju zajedničke anode (*CA – Common Anode*).

U ovom radu, za prikaz teksta i slike, se konkretno koristi ST7735 TFT displej. Ovaj displej može da prikazuje čak 18 boja, i ima rezoluciju od 128 x160 piksela [5]. Komunikacija između njega i mikrokontrolera se vrši preko SPI protokola. Za prikaz boja displej koristi 16-bitni format boje piksela tj. RGB565 format.

B. Funkcionisanje indikatora napretka

Mikrokontroler upravlja 4 glavne funkcije: ažuriranje stanja indikatora napredovanja, procentualni prikaz napredovanja, osvetljenje LE dioda i grafički prikaz na TFT displeju.

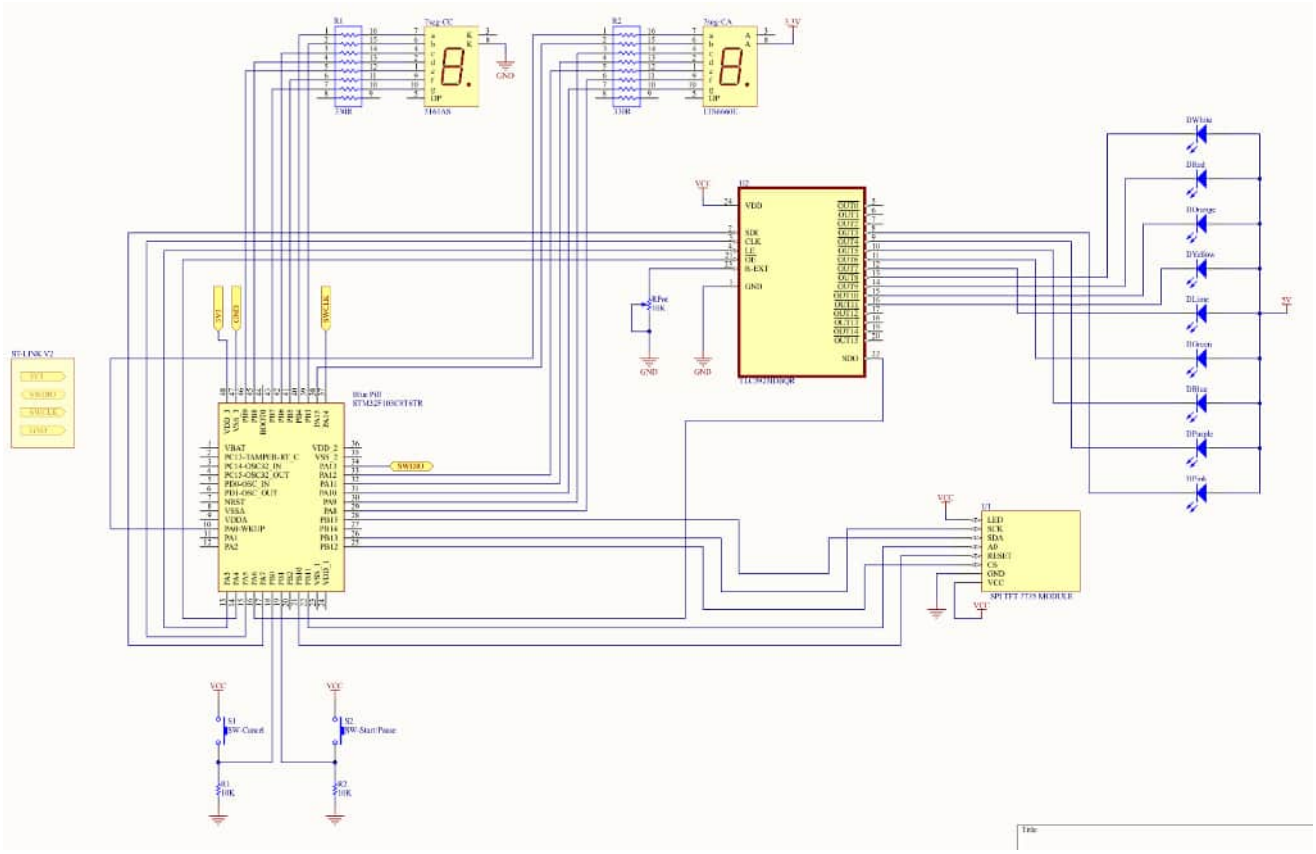
U *reset* stanju sistema indikator napretka je na 0 % tako da sedmosegmentni displeji ne prikazuju nijedan broj, dok LE diode ne svetle. TFT displej se nalazi u svom početnom stanju tj. pozadinsko osvetljenje je lila boje. Kako bi se pokrenuo proces učitavanja i početak indikacije napretka prvo treba da se pritisne „*start*/*pause*“ taster. Nakon pritiska tastera, sedmosegmentni displej jedinica počinje sa odbrojavanjem od 0 do 9 u skladu sa napredovanjem. U isto vreme na TFT displeju se prikazuje crveni tekst „*loading*...“ sa belom bojom pozadine teksta (pozadina samog displeja ostaje u početnoj boji). Kada indikator napredovanja dođe do 10 %, odgovarajući segmenti drugog sedmosegmentnog displeja počinju da svetle formirajući cifru desetice, tj. 1. Slično, prva LE dioda (bela) prikačena na TLC5925 LED drajver počinje da svetli, dok TFT displej menja svoju boju pozadine u belu.

Kako procenat napretka raste, tako se sve više dioda uključuje u zavisnosti od cifre desetice. Na primer, kada je indikator napredovanja na 56 %, 5 dioda će svetleti (bela, crvena, narandžasta, žuta i limeta). Kada indikator napredovanja stigne do 90 % sve diode će svetleti. Takođe, TFT displej menja svoju pozadinsku boju u zavisnosti od procenta napredovanja. Boja pozadine se usklađuje sa bojom poslednje diode koja svetli u nizu. Na primer, ako indikator napredovanja ima vrednost od 73 %, poslednja boja diode koja svetli u nizu će biti plava i samim tim pozadinska boja TFT displeja će biti plava. Tekst na displeju ostaje nepromenjen nakon promene boje pozadine. Kada indikator napredovanja stigne do 100 % svetli ceo niz dioda i na sredini TFT displeja se prikazuje učitana slika. Zatim, indikator napredovanja se, zajedno sa sedmosegmentnim displejima, vraća u početno stanje. Ovim se završava proces indikacije i učitavanja.

Ovaj proces se može pauzirati ili prekinuti u bilo kom trenutku koristeći dva tastera. Kada se pritisne taster za „*start*/*pause*“ u toku odbrojavanja, na TFT ekranu se prikazuje tekst „*paused*“ sa belom pozadinom, isključuju se sve diode i sedmosegmentni displeji ne prikazuju nijednu cifru. Ako se ponovo pritisne „*start*/*pause*“ taster, odbrojavanje se nastavlja odakle je stalo tj. komponente se vraćaju u isto stanje u kome su bile pre pritiska tastera. Ukoliko se pritisne drugi taster - „*cancel*“, sve komponente se vraćaju u reset stanje i tek nakon novog aktiviranja procesa indikator napredovanja počinje od 0 %.

C. Povezivanje sa mikrokontrolerom

Centralni deo sistema je ARM razvojno okruženje *Bluepill* sa STM32F103 mikrokontrolerom [3]. Na mikrokontroler je povezano šest komponenti koje čine ključni deo u radu projekta, a to su: „start/pause“ taster, „cancel“ taster, TLC5925 LED drajver, ST7735 TFT displej, sedmosegmentni displej sa zajedničkom katodom 5161AS i sedmosegmentni displej sa zajedničkom anodom LTS6660E. Svaka od ovih komponenti je povezana na jedan ili više pinova mikrokontrolera koji kontrolišu njihovo funkcionisanje i ponašanje. Na slici 2 prikazana je električna šema projekta nacrtana u programu *Altium Designer* [8].



Slika 2. Električna šema projekta nacrtana u programu *Altium Designer*.

Tasteri za „*start/pause*“ (taster2) i za *„cancel*“ (taster1) su na jednom kraju povezani na napajanje VCC, a drugim krajem na određeni pin mikrokontrolera i *pull down* otpornik od 10 kΩ. Preko otpornih mreža 4116R su povezani sedmosegmentni displeji gde svakom segmentu displeja odgovara jedan pin na mikrokontroleru. Zajednički pin za svaki od displeja je pin 8 označen na simbolu 7-seg displeja. Ovaj pin za CC se vezuje na masu, a za CA se vezuje za napajanje od 3,3 V koje se dobija preko naponskog regulatora. LED drajver TLC5925 ima pet pinova povezanih na mikrokontroler, a to su: SDI, CLK, LE , $\overline{OE}$ i SDO. Na samim izlazima drajvera nalaze se katode kontrolisanih LE dioda. Svakoj boji diode odgovara specifičan izlazni pin (npr. DLime – $\overline{OUT7}$, DGreen – $\overline{OUT6}$ itd.). Anode LE dioda su povezane na napajanje od 5 V koje se dovodi sa eksternog USB REG izvora. R-EXT pin na drajveru je povezan na centralni izvod potenciometra *RPot* od 10 kΩ koji je donjim izvodom vezan na masu. ST7735 TFT displej je povezan na mikrokontroler preko sledećih pinova: SCK, SDA, A0, RESET i CS.

III. Softverska realizacija

Za softversku realizaciju zadatka korišćena je ARM (*Advanced RISC Machine*) arhitektura, i u okviru nje razvojna okruženja *Keil Microvision* i *STM32CubeMX,* kao i integrisano razvojno okruženje *Spyder* za programski jezik *Python*.

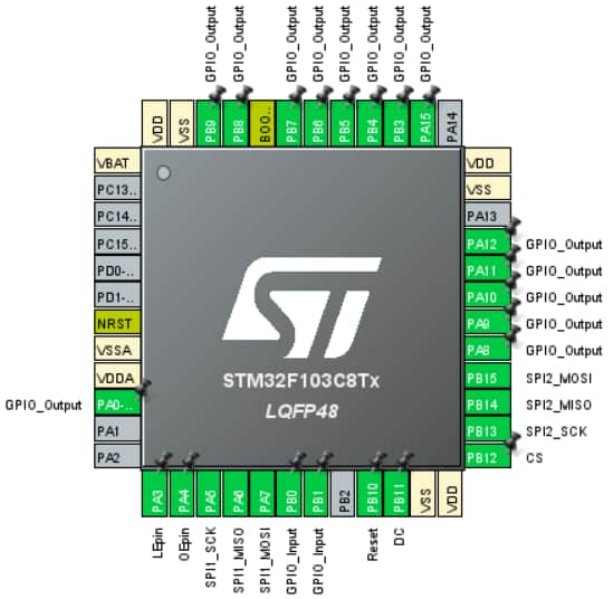
A. STM32CubeMX

Ovaj softver omogućava lako konfigurisanje STM32 mikrokontrolera i generisanje inicijalizacionog C programskog koda za *Arm® Cortex®-M core* čipove [9].

U ovom radu korišćeno je konfigurisanje za SPI1, SPI2, GPIO_Output i GPIO_Input. Za kontrolu sedmosegmentnih displeja odgovarajući pinovi mikrokontrolera se postavljaju na GPIO_Output. Za sedmogementni displej sa zajedničkom katodom odabrani su pinovi od PB3 do PB9 (npr. b – PB3, e – PB9). Izlazni pinovi za sedmosegmentni displej sa zajedničkom anodom su pinovi PA8-PA12, kao i pinovi PA0 i PA15 (za a i b segmente, respektivno). Pinovi za taster1 (PB0) i taster2 (PB1) se postavljaju kao GPIO_Input da bi mogli da očitamo kada je taster pritisnut. Prenos podataka na TFT displej i TLC drajver se vrši SPI komunikacijom. U *Connectivity* SPI1 i SPI2 se postavljaju u *Full-Duplex Master* režim što osposobljava određene pinove za komunikaciju. SPI1 i SPI2 imaju iste konfiguracije, ali različite dodeljene pinove. Definisani SPI1 pinovi mikrokontrolera PA5, PA6 i PA7 su vezani za pinove CLK, SDO i SDI TLC drajvera, respektivno. Dodatno su definisani pinovi PA3 (LEpin) i PA4 (OEpin) kao GPIO_Output. Slično, za SPI2 su definisani pinovi PB13, PB14 i PB15 za koje su vezani SCK, N/A i SDA pinovi TFT displeja. Pored SPI pinova za TFT displej su definisani Reset (PA10), DC (PA11) i CS (PA12) pinovi kao GPIO_Output. Na slici 3 prikazani su upotrebljeni pinovi mikrokontrolera prikazani u *CubeMX* -u.

B. Spyder

IDE Spyder je integrisano razvojno okruženje (engl. *Integrated Development Environment*) napisano u programskom jeziku *Python*, za *Python*, i dizajnirano za naučnike, inženjere i analitičare [10]. Iskorišćeno je *Python* kao pomoćini program za formatiranje grafičkih podataka koje treba prikazati na displeju.



Slika 3. Upotrebljeni pinovi mikrokontrolera prikazani u *CubeMX*-u.

Neophodno je da slika koju želimo da prikažemo na TFT displeju bude predstavljena u obliku koji TFT funkcija može da pročita, a to je 16-o bitni dvodimenzionalni niz. Svaki piksel slike mora biti predstavljen u njegovom heksadecimalnom obliku dobijenom preko RGB565 konverzije. Na slici 4 prikazan je kod, napisan na programskom jeziku *Python*, za konverziju slike u dvodimenzionalni heksadecimalni niz.

```
from PIL import Image
import sys

fname = 'slika.jpg'

img = Image.open(fname)

if img.width != 100 or img.height != 100:
    print("Error: 100x100 image expected");
    sys.exit(1)

print("const uint16_t slika[100][100] = {");

for y in range(0, img.height):
    s = "{"
    for x in range(0, img.width):
        (r, g, b) = img.getpixel( (x, y) )
        color565 = ((r & 0xF8) << 8) | ((g & 0xFC) << 3) | ((b & 0xF8) >> 3)
        color565 = ((color565 & 0xFF00) >> 8) | ((color565 & 0xFF) << 8)
        s += "0x{:04X},".format(color565)
    s += "},"
    print(s)

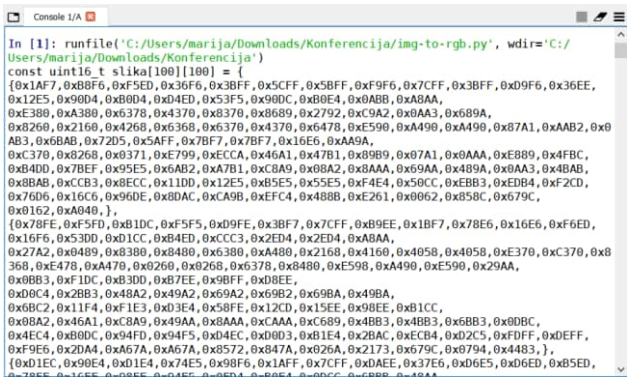
print("};")
```

Slika 4. Kod za konverziju slike u dvodimenzionalni heksadecimalni niz.

Na slici 5 a) prikazana je pikselizovana fotografija koja se prikazuje na TFT displeju nakon završetka aktivnosti koja se prati. Nakon izvršenja pomoćnog programa, na konzoli se štampa promenljiva *slika* (slika 5b) koja predstavlja formatirani 16-bitni 2D niz fotografije sa slike 5 a).



a)



b)

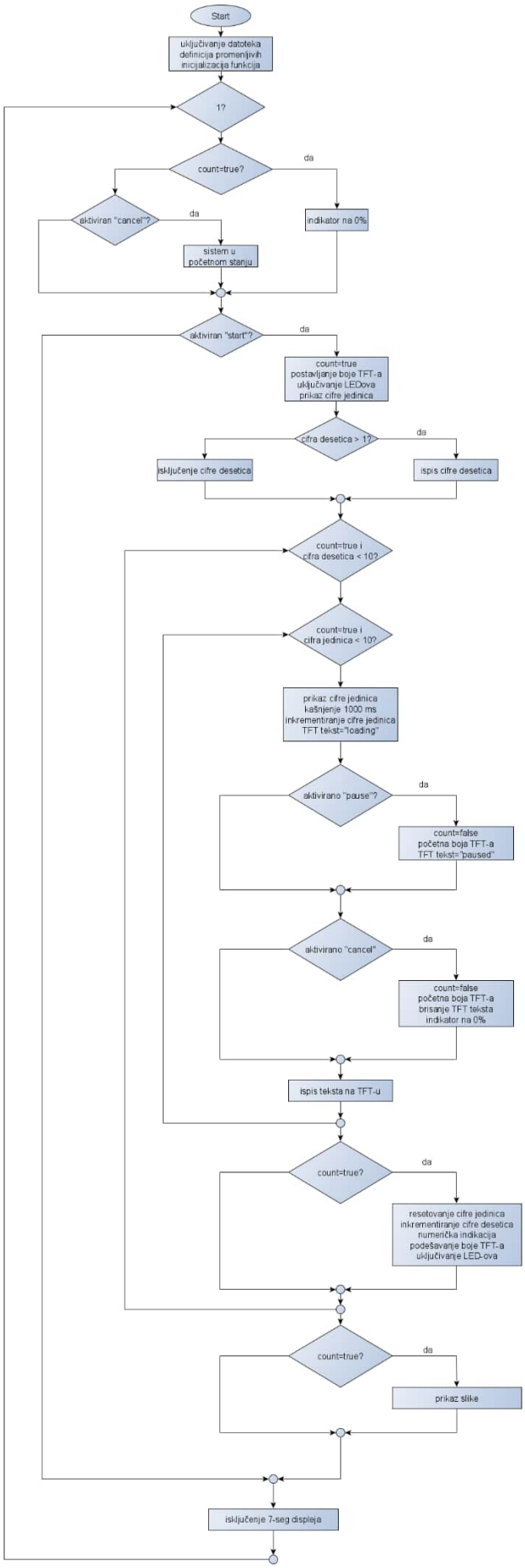
Slika 5. a) Fotografija koja se prikazuje na TFT displeju; b) Početak koda promenljive *slika* ištampana na konzoli.

C. *Keil Microvision*

Softverski alat *Keil* služi za pisanje, editovanje i upisivanje izvršne verzije koda u mikrokontroler. Nakon završetka podešavanja u *CubeMX*-u početni/inicijalni kod se generiše klikom na „*Generate Code*“ opciju [11].

Pri realizaciji zadatka potrebno je uključiti dodatne biblioteke, zbog upotrebe različitih fontova, boja i drugih funkcija na TFT displeju. Prvi korak u pisanju koda je dekleracija promenljivih u *USER CODE 0* sekciji. Ovde upisujemo sve promenljive koje se koriste u *main* delu programa. Takođe, u ovom delu koda se piše prethodno štampana promenljiva *slika* iz *Spyder*-a. U ovom radu postoje tri funkcije: displejKatoda (za prikaz cifara na 7-seg CC), displejAnoda (za prikaz cifara na 7-seg CA) i BojaTFTLC (za kontrolu boje pozadine TFT displeja i uključenje odgovarajućih dioda preko TLC drajvera). Ove funkcije će se zatim pozivati u glavnom delu koda.

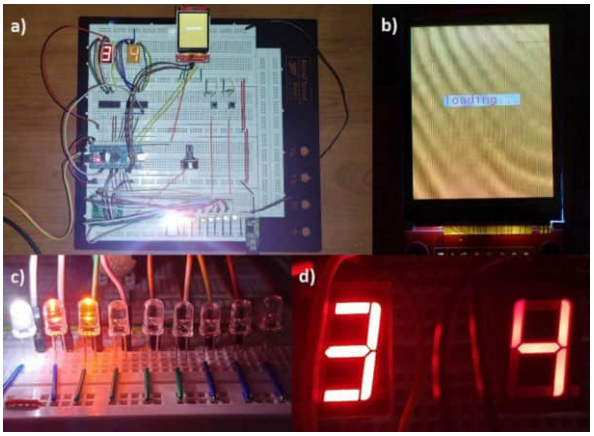
Na slici 6 je prikazan algoritam glavnog programa. U okviru beskonačne *while* petlje se ispituju stanja tastera i na osnovu njih se ažurira stanje elemenata indikatora. Dve *while* petlje vrše inkrementriranje cifara jedinice i desetice numeričkog prikaza indikacije, promenu boje pozadine i prikaz teksta na TFT displeju, kao i uključivanje odgovarajućih LED-ova.



Slika 6. Algoritam glavnog programa.

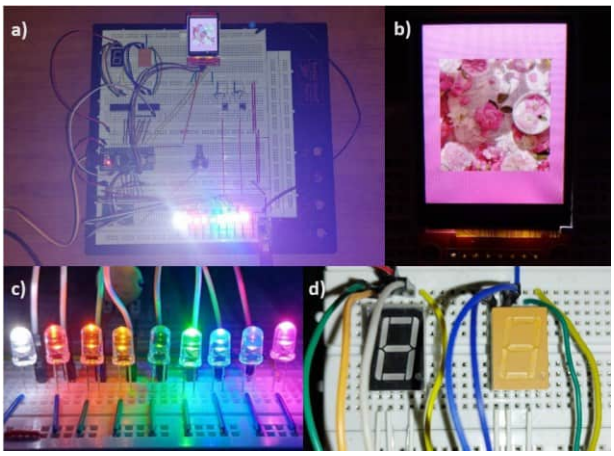
IV. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Ovaj projekat je praktično realizovan korišćenjem prethodno spomenutih komponenti za aktivnost u trajanju od 100 s. Kada se sistem priključi na izvor napajanja, TFT displej prikazuje lila pozadinsku boju. Nakon pritiska „*cancel*“ tastera sistem se takođe vraća u ovo stanje. Pritiskom „*start*/*pause*“ tastera pokreće se indikator napretka. Počinje numerički prikaz procenta napredovanja, na TFT displeju se ispisuje tekst *„loading...“* a LED-ovi u nizu se sukcesivno uključuju. Na slici 7 a) prikazan je ceo sistem kada je indikator napretka na 34 %, dok je na slikama 7 b), c) i d) dat bliži pogled na elemente indikatora za taj procenat indikacije. Slika 7 b) prikazuje TFT displej sa pratećom porukom, a slika 7 c) LE diode koje svetle u skladu sa procentom indikacije datim na slici 7 d).



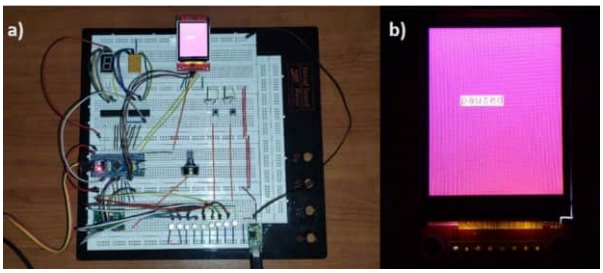
Slika 7. a) Sistem kada je indikator napretka na 38%; b) TFT displej sa „*loading...*“ porukom na narandžastoj podlozi; c) Osvetljene LE diode; d) Sedmosegmentni displeji sa procentualnom indikacijom.

Nakon završene aktivnosti, na TFT displeju se prikazuje pikselizovana fotografija data na slici 5 a). Na slici 8 a) je prikazan sistem, a na slici 8 b) TFT displej u finalnom stanju. U ovom slučaju svetle sve diode (slika 8c) ali ne i sedmosegmentni displeji (slika 8d).



Slika 8. a) Sistem nakon završene aktivnosti; b) fotografija na TFT displeju; c) uključene LE diode; d) neosvetljeni sedmosegmentni displeji.

Kada se u toku aktivnosti pritisne taster „*start*/*pause*“, proces indikacije se pauzira, LE diode se isključuju i na TFT-u se prikazuje poruka „*paused*“ (slika 9).



Slika 9. a) Sistem tokom pauze; b) TFT displej sa *„paused“* porukom.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je hardverski dizajn, koji uz prateći softver, demonstrira indikator napredovanja za aktivnost koja se vrši u predefinisanom vremenskom intervalu. Hardverska implementacija sačinjena je od različitih elektronskih i elektromehaničkih komponenti, gde je glavna komponenta ARM mikrokontroler koji upravlja svim funkcijama projekta (vizuelana - LED, TFT dispej; numerička - 7seg; grafička - TFT displej). Opcije za pauzu i prekid su uvedene implementacijom dva tastera. Na samom kraju indikacije, odnosno izvršenjem zadate aktivnosti, prikazuje se slika na TFT displeju. Softverski deo projekta je realizovan korišćenjem tri softverska okruženja: *STM32CubeMX* (za konfiguraciju pinova i protokola), *Keil Microvisio*n (za pisanje, editovanje i upisivanje C izvršnog koda u mikrokontroler) i *Spyder* (za formatiranje grafičke slike).

Ovaj projekat se može primeniti u procesima gde je prethodno poznato vreme ostvarenja zadatka. Najjedostavniji primer je igračka za edukaciju male dece i beba, gde ona simulira rad kompjutera. Ovaj sistem može da se poboljša na par različitih načina, bilo to hardverski ili softverski. Jedan način je zamenom upotrebljenog TFT displeja *Adafruit* 2.8 TFT *touchscreen* displejem. Ovim bi bila moguća nadogradnja projekta kroz unos neophodnih podataka (npr. ukupno vreme trajanje akcije), bez modifikovanja već programiranih funkcija TFT displeja. Još jedno moguće poboljšanje se nalazi u dodatku senzora za temperaturu kod primene u sistemima koji vrše zagrevanje pojedinih predmeta. Indikator napredovanja bi pratio na kojoj temperaturi se nalazi okolina ili predmet. Odnos trenutne i željene temperature bi kontrolisao broj uključenih dioda, sa time da bi zadnja dioda u nizu označavala dostizanje željene temperature. Naravno, ovi sistemi bi bili dosta složeniji i koristili bi komponente mnogo manjih dimenzija.

ZAHVALNICA

Autor rada se zahvaljuje profesorima dr Vesni Paunović i mast. inž. Nikoli Mitrović, na izdvojenom vremenu, sugestijama i pomoći pri izradi ovog projekta.

LITERATURA

[1] B. A. Myers, „The importance of percent-done progress indicators for computer-human interfaces“, *ACM SIGCHI Bulletin*, Vol. 16, No. 4, pp. 11-17, Apr. 1985. Dostupno na: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/317456.317459

[2] T. Bakusevych, „Loading & progress indicators — UI Components series“, *UX Collective*, Jul 2023. Dostupno na: https://uxdesign.cc/loading-progress-indicators-ui-components-series-f4b1fc35339a

[3] „STM32F103x8“, Tehnička specifikacija. Dostupno na: https://eu.mouser.com/datasheet/2/389/stm32f103c8-1851025.pdf

[4] „TLC5925 Low-Power 16-Channel Constant-Current LED Sink Driver“, Tehnička specifikacija. Dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5925.pdf?ts=1728390037803&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

[5] „ST7735R 262K Color Single-Chip TFT Controller/Driver“, Tehnička specifikacija. Dostupno na: https://www.crystalfontz.com/controllers/datasheet-viewer.php?id=319

[6] „Tehnička specifikacija za MC33269“, „MC33269, NCV33269“,. Dostupno na: https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mc33269-d.pdf

[7] „7-segment Display“, *Electronics Tutorials*. Dostupno na: https://www.electronics-tutorials.ws/blog/7-segment-display-tutorial.html

[8] „Altium“. Dostupno na: https://www.altium.com/

[9] „STM32Cube initialization code generator“, Tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html

[10] „Spyder“. Dostupno na: https://github.com/spyder-ide/spyder/?tab=readme-ov-file#core-components

[11] „About µVision“, Tehnička dokumentacija. Dostupno na: https://developer.arm.com/documentation/101407/0541/About-uVision?lang

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.367C
Original scientific paper

Generisanje slikovnih CAPTCHA testova pomoću kompozitnih generativnih adverserijalnih mreža

Nađa Cvetković
Program računarstva
Istraživačka stanica Petnica
Valjevo, Srbija
nadjacvetkovic0@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Pre dozvoljenog ulaska na određene sajtove, postoji obavezan CAPTCHA test. CAPTCHA test je potpuno automatizovani javni Tjuringov test koji za cilj ima da razlikuje računare od ljudi, zadacima koje može da reši samo čovek. U ovom radu kompozitna generativna adverserijalna mreža (C-GAN) primenjena je na slike iz predodređene baze voća, generišući slikovne CAPTCHA testove. Ovaj vid generisanja slika do sada je primenjen samo na tekstualni tip CAPTCHA-i. Cilj ovog rada je ispitati da li su slike generisane korišćenjem C-GAN mreže otporne na prepoznavanje računara, a ujedno dovoljno razumljive čoveku. Tokom izrade projekta korišćena je C-GAN mreža. Nakon što su dobijeni proizvodi mreže, mereni su na dva načina. Dati su modelu ResNet50 i grupi ljudi - u vidu ankete - na evaluaciju. Rezultati su pokazali da model ResNet50 ne može uspešno da proceni šta je na generisanoj slici, dok ljudi u anketi uspešno da označili voće.**

Ključne reči—CAPTCHA, GAN, C-GAN

I. Uvod

Bezbednosni mehanizam CAPTCHA (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) zasniva se na ranom konceptu veštačke inteligencije i Tjuringovom testu. Koristeći ovaj test, moguće je razlučiti da li je mašina dostigla ljudske nivoe komunikacije i rasuđivanja, jer test meri sposobnost mašine da generiše odgovore koji su dovoljno uverljivi da prevare ljude koji ih evaluiraju. Savremeni računari još uvek nisu u stanju da prođu ovaj test pošto im nedostaju sposobnosti koje omogućavaju duboko razumevanje konteksta i fleksibilno prilagođavanje novim situacijama [1]. Cilj CAPTCHA testa je da predstavi podatke korisniku na način koji računar ne može da protumači i time iskoristi razlike između ljudske sposobnosti prepoznavanja i trenutnih ograničenja mašina u razumevanju složenih vizuelnih ili semantičkih zadataka. Ovi podaci mogu imati različite oblike, kao što su vizuelni i semantički CAPTCHA testovi. Na taj način se efikasno odstranjuju botovi, sprečavajući ih da dobiju neovlašćen pristup resursima na mreži, dok se istovremeno omogućava ljudima da nesmetano koriste sajtove.

U ovom radu je predstavljena nova metoda za generisanje CAPTCHA testova zasnovanih na slikama, koja je do sada bila primenjivana samo na CAPTCHA testove tekstualnog oblika. Za generisanje CAPTCHA testova, korišćena je kompozitna generativna adversarijalna mreža (C-GAN), koja za ulaz prima isfiltriranu bazu voća. U istraživanju je korišćena C-GAN, zbog njene sposobnosti da sastavlja više izvornih slika, omogućavajući modelu da uči i generiše nove slike koje kombinuju karakteristike tih izvora na način koji deluje prirodno i uverljivo [2].

II. Materijali i metode

A. Baza podataka

U ovom istraživanju, baza podataka predstavlja kolekciju slika voća, koja uključuje sledeće voće: banana, jabuka, borovnica, pomorandža i limun [3]. Svaka slika je dimenzija 100x100 piksela. Podaci su organizovani po podbazama, pri čemu svaka podbaza sadrži isključivo slike jednog voća.



Slika 1. Primeri slika voća iz baze podataka.

Slike iz podbaza sadrže slike jedne vrste voća, slikanu iz svih uglova (Slika 2.). Pre finalne upotrebe, slike su prošle kroz proces filtriranja kako bi se uklonile one slikane iz nepovoljnih uglova, npr. slika jabuke odozdo slikana. Ovaj proces je rezultirao konačnim skupom od 276 slika po podbazi.



Slika 2. Primeri slika voća iz podbaze jabuke.

Pre nego što su slike korišćene u generatoru, prošle su kroz proces normalizacije. Slike su normalizovane korišćenjem z-score normalizacije gde su vrednosti piksela skalirane u opseg od -1 do 1 primenom *transforms.Normalize* funkcije, koja je deo *torchvision.transforms* biblioteke [4]. Sve slike su sačuvane u PNG (Portable Network Graphics) formatu koji obezbeđuje kvalitet zbog nekoliko ključnih karakteristika ovog formata. PNG koristi kompresiju bez gubitaka, za razliku od formata poput JPEG-a. Ova

bezgubitna kompresija omogućava da se svi detalji bolje prikazuju i boje slike budu širokog spektra.

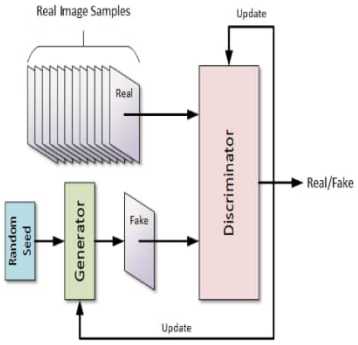
B. Neuronske mreže

Neuronska mreža je računarski model inspirisan načinom na koji funkcioniše ljudski mozak. Sastoji se od slojeva međusobno povezanih čvorova, nazvanih neuroni, koji zajedno obrađuju i transformišu podatke. Svaki neuron prima ulazne signale, vrši proračune i zatim šalje izlaz drugim neuronima [5]. Neuronske mreže se primenjuju u različitim oblastima, uključujući prepoznavanje slika, obrada jezika i predikciju događaja. Da bi neuronske mreže mogle da obavljaju bilo kakav vid obrade, koriste se različiti procesi. Klasifikacija je proces u kojem neuronska mreža svrstava ulazne podatke u jednu od unapred definisanih kategorija, kao što je identifikacija objekata na slikama, na primer, jabuka ili limun. S druge strane, regresija se koristi za predviđanje kontinualnih vrednosti, kao što je procena kretanja valuta na tržištu na osnovu ulaznih podataka i parametara. Neuronske mreže uče iz podataka kroz proces treniranja, gde se podešavaju težine - parametri mreže - kako bi se smanjila greška u izlaznim rezultatima. Kada podaci prođu kroz mrežu, izlaz se upoređuje sa stvarnim vrednostima za diskriminator ili sa željenim vrednostima za generator. Greška se izračunava pomoću funkcije gubitka, a zatim se izračunavaju gradijenti greške u odnosu na težine slojeva. Ovaj proces omogućava mreži da prilagodi težine kako bi smanjila grešku.

Adam (Adaptive Moment Estimation) je optimizator koji koristi gradijente za prilagođavanje težina u neuronskim mrežama. Parametar koji kontroliše veličinu sledećeg koraka prilikom ažuriranja težina je stopa učenja. Manja vrednost stope učenja može usporiti učenje, dok veća može dovesti do toga da mreža ne pronađe optimalno rešenje. Beta parametri (betas) su koeficijenti koji upravljaju prosečnim gradijentima i kvadratima gradijenata tokom treniranja. Prvi beta parametar kontroliše eksponencijalni rast prosečnih gradijenata, dok drugi beta parametar kontroliše eksponencijalni rast kvadrata gradijenata. Nakon izračunavanja gradijenata, težine se ažuriraju koristeći Adam optimizator. Adam optimizator koristi gradijente zajedno sa stopom učenja i beta parametrima kako bi minimizovao grešku, što omogućava mreži da se sve bolje prilagođava i prepoznaje šablone u podacima.

C. Generativne Adverserijalne Mreže

GAN (Generativna Adverserijalna Mreža) je vrsta neuronske mreže koja se sastoji od dva konkurentna modela: generatora i diskriminatora (Slika 3.). Generator stvara nove podatke koji su što sličniji stvarnim, dok diskriminator procenjuje da li su podaci stvarni ili lažni. Ova konkurencija omogućava GAN-u da uči kako da generiše podatke visokog kvaliteta koji su neprepoznatljivi od stvarnih podataka. Proces treniranja GAN-a uključuje više koraka. Prvo, tokom prolaza unapred, generator koristi slučajne ulaze kako bi stvorio nove podatke. Diskriminator zatim procenjuje ove podatke zajedno sa stvarnim podacima i daje svoje procene o tome da li su podaci stvarni ili generisani [5]. Funkcija gubitka se koristi za izračunavanje greške između stvarnih i generisanih podataka. Generator i diskriminator imaju različite funkcije gubitka koje se takmiče, tj. njihov cilj je međusobno sukobljavanje. Generator teži da poboljša svoje sposobnosti da stvara realističnije podatke, dok diskriminator teži da poboljša svoju sposobnost da razlikuje stvarne podatke od generisanih [6]. Na osnovu izračunate greške, gradijenti se računaju za oba modela. Generator koristi ove gradijente kako bi poboljšao kvalitet generisanja, dok diskriminator koristi gradijente kako bi poboljšao svoju preciznost. Gradijenti se zatim koriste za ažuriranje težina u oba modela kroz proces optimizacije. Adam optimizator se koristi zbog svoje efikasnosti u prilagođavanju težina pomoću stope učenja i beta parametara [6]. Ova konkurencija između generatora i diskriminatora tokom treniranja omogućava GAN-u da poboljša kvalitet generisanih podataka do nivoa kada su gotovo neprepoznatljivi od stvarnih podataka.



Slika 3. GAN arhitektura.

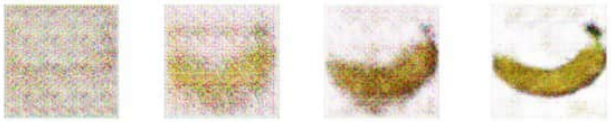
D. Kompozitna generativna adverserijalna mreža

C-GAN je napredna verzija generativne adverserijalne mreže, koja koristi više izvora podataka kako bi kreirala nove, realistične slike. Dok standardni GAN-ovi generišu podatke na osnovu slučajnih ulaza, C-GAN-ovi omogućavaju generisanje slika sa većom preciznošću i relevantnošću tako što uključuju dodatne uslove, poput kategorija ili karakteristika. C-GAN ove uslove uključuje u oba dela mreže - generatoru i diskriminatoru, čime se poboljšava kvalitet i relevantnost generisanih slika. Cilj C-GAN-a je da omogući preciznije generisanje podataka, što je posebno korisno u zadacima gde je potreban visok nivo detalja, kao što je generisanje slika za CAPTCHA testove [7].

Slike generisane C-GAN-on imaju značajno veću otpornost na sisteme za automatsko rešavanje CAPTCHA testova. Ova poboljšanja dolaze iz C-GAN-a tako što se tokom procesa učenja u svakom batch-u kombinuje više različitih slika jednog voća - određeni pikseli na slikama se uklanjaju ili zamenjuju pikselima preuzetim iz drugih slika. Na taj način, jedna CAPTCHA slika generisana pomoću C-GAN-a sadrži elemente iz više različitih slika, što dodatno otežava njihovo rešavanje automatizovanim sistemima.

E. Arhitektura C-GAN

Slike svakog voća su pojedinačno prošle 100 epoha treniranja neuronske mreže. Rezultati su sačuvani u formatu 100 epoha sa po 100 slika generisanih tokom svake epohe. Te slike su dalje odvojene u 4 stepena napretka tj. kvaliteta (Slika 4.).

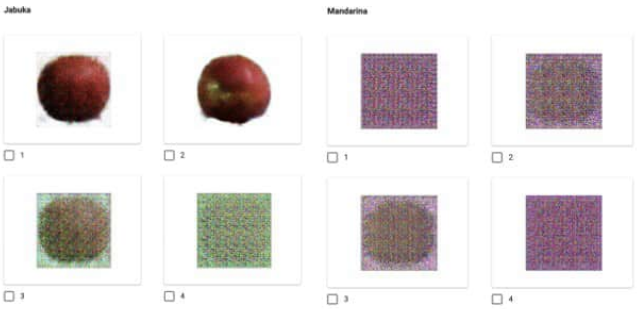


Slika 4. Prikaz napretka u 4 stepena.

Mreža ima 9 slojeva generatora, i 10 slojeva diskriminatora. Generator koristi slojeve za transponovanu konvoluciju (dekonvoluciju) koji omogućavaju povećanje dimenzija ulaznih podataka. Počinje sa slojem *nn.ConvTranspose2d*, koji koristi 100 kanala u ulazu i generiše 1024 kanala u izlazu, uz dimenzije ulaznog tenzora 4x4. Ulazni tenzor je višedimenzionalna matrica koja sadrži podatke koje prolaze kroz slojeve neuronske mreže. Kanali predstavljaju različite filtere ili karakteristike koje se koriste za ekstrakciju i generisanje informacija iz podataka. Svaki kanal može se posmatrati kao različiti aspekt informacija u slikama. Zatim *nn.BatchNorm2d* i *nn.ReLU* aktivacijskom funkcijom, čime se stabilizuje proces treniranja i omogućava nelinearno učenje. Ova struktura se ponavlja sa smanjenjem broja kanala u svakoj narednoj fazi, prelazeći kroz slojeve sa 512, 256, 128, 64 i konačno 3 kanala, uz *nn.Tanh()* aktivacijsku funkciju na kraju, koja normalizuje izlaz na opseg [-1, 1]. Ovi slojevi omogućavaju generatoru da stvara slike visoke rezolucije iz latentnog prostora. Diskriminator koristi konvolucione slojeve za analizu ulaznih slika. Počinje sa slojem *nn.Conv2d* koji koristi 64 kanala za ekstrakciju karakteristika iz ulaznih slika sa 3 kanala. Ovaj sloj je praćen *nn.LeakyReLU* funkcijom koja omogućava mreži da uči i male negativne gradijente. Konvolucioni slojevi sa 128, 256, 512 i 1024 kanala, zajedno sa *nn.BatchNorm2d*, pomažu u ekstrakciji sve detaljnijih karakteristika. Na kraju, sloj *nn.Conv2d* sa 1 kanalom i *nn.Sigmoid()* funkcijom daje izlaz u opsegu [0, 1], što omogućava diskriminatoru da donese odluku o tome da li su podaci stvarni ili generisani. Broj koji označava koliko slika mreža uzima za treniranje jedne epohe je 64 (batch size). Stopa učenja, shodno sa optimizatorom Adam-om, je 10^{-4}.

III. REZULATI I DISKUSIJA

Prva faza evaluacije sprovedena je putem upitnika koji je korišćen za negativno testiranje. Upitnik je sadržao 15 pitanja. Od ispitanika se zahtevalo da označe sve slike za koje smatraju da ne prikazuju voće (Slika 5.).



Slika 5. Izgled klasičnog i kontrolnog pitanja.

Test je podeljen na tri dela, pri čemu je svaki deo sadržao jedno kontrolno pitanje, koje je služilo za validaciju odgovora ispitanika. Slike koje su najređe selektovane od strane ispitanika klasifikovane su prema 4 stepena napretka (od najmanje do najviše razumljivih).

Dalja procena kvaliteta generisanih slika izvedena je korišćenjem ResNet50 mreže, koja je prethodno trenirana na ImageNet bazi podataka, koja obuhvata 14 miliona slika. Slike, podeljene prema različitim stepenima napretka, korišćene su kao ulaz za ResNet50 mrežu.

Rezultati klasifikacije slika generisanih C-GAN mrežom nakon prolaska kroz ResNet50 model pokazuju visok stepen uspeha u zavaravanju pretreniranog klasifikatora. Na osnovu analize rezultata (*Tabela 1.*), može se primetiti da ResNet50 nije uspeo da prepozna slike banane, već ih je klasifikovao kao pripadnike različitih, nesrodnih klasa poput 'mrežica za prozor', 'papirni ubrus' i 'daska za WC šolju'. Najveći procenat nosi 'web sajt', koji nema nikakvo srodstvo sa voćem koje treba da prepozna. Neke od klasa koje su bile manje pogađane uključuju ‚orangutan' i 'koverta'. Kao rezultat, ResNet50 mreža nije uspela da klasifikuje slike banane generisane pomoću C-GAN kao pripadajuće nijednoj kategoriji voća.

Sličan obrazac neuspeha u prepoznavanju primetan je i kod slika jabuke generisanih C-GAN mrežom (*Tabela 1.*). ResNet50 model nije bio sposoban da tačno klasifikuje generisane slike kao jabuku, već ih je najčešće smeštao u kategorije poput 'jagoda' i 'rumenilo za lice'. Dok je model ResNet50, uspešno klasifikovao generisanu sliku jabuke kao voće, nije uspeo da precizno klasifikuje voće sa slike. Faktori koji otežavaju ResNet50 prepoznavnaje su šum i distorzija. Takođe, značajan broj slika bio je pogrešno klasifikovan kao 'nar' i 'otirač', što pokazuje još jedan primer nesrodnosti između očekivanog i stvarnog izlaza mreže.

Za slike pomorandže, klasifikacije su sledeće: 'nokat', 'džekfrut', 'gong', 'limun' i 'jagoda'. Može se primetiti da po prvi put model ResNet50 klasifikuje generisanu sliku voća, pomorandže, kao neku vrstu voća - džekfrut, limun i jagoda (*Tabela 1.*). Iako je model klasifikovao više tipova voća za sliku pomorandže, ni jedna klasifikacija nije bila 'pomorandža'. Ovi rezultati nam govore da su generisane slike zavarale ResNet50, i da generisana slika liči na više vrsta voća u isto vreme.

Generisane slike borovnice su neuspešno klasifikovane od strane modela ResNet50. Iako je za tip voća 'jabuka' i 'pomorandža', uspeo da klasifikuje neku vrstu voća, kod tipa 'borovnica', klasifikovao je različite objekte koji nemaju korelaciju sa voćem. Generisane slike su najviše bile klasifikovane kao 'kuhinjska rukavica', zatim 'daska za WC šolju' i 'rumenilo za lice (*Tabela 1.*).

Kod rezultata za vrstu voća limun, prvi put opažamo da je model ResNet50 među klasifikacijama, klasifikovao vrstu voća koja je na slici kao limun (*Tabela 1.*). Broj klasifikacija 'limun' je treća po učestalosti, naspram ostalih klasifikacija, kao što su 'teniska loptica', 'lopta za ragbi' i 'džekfrut'.

Kada su modelu ResNet50 date originalne slike, na kojima je C-GAN trenirana, sve klasifikacije su bile uspešne - model je prepoznao voće sa slike. Taj šablon je prisutan kod svih pet vrsta voća: banana, jabuka, pomorandža, borovnica i limun.

TABELA I. KLASIFIKACIJA GENERISANIH SLIKA VOĆA, 5 NAJČEŠĆIH KLASIFIKACIJA

	Voće				
Redni broj	Banana	Borovnica	Pomorandža	Jabuka	Limun
1.	Web-sajt	Kuhinjska rukavica	Nokat	Jagoda	Teniska loptica
2.	Papirni ubrus	Daska za WC šolju	Džekfrut	Rumenilo	Džekfrut
3.	Mrežica za prozor	Rumenilo za lice	Gong	Nar	Limun
4.	Gong	Vuna	Limun	Otirač	Lopta za ragbi
5.	Nokat	Perika	Jagoda	Ping-pong loptica	Nokat

IV. ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da su kompozitne generativne adverserijalne mreže (C-GAN) efikasane u generisanju slikovnih CAPTCHA testova. C-GAN model je uspeo da generiše slike koje su dovoljno kompleksne da zbune mašine, ali i dalje razumljive za ljude, čime se postiže cilj CAPTCHA testova. Evaluacija putem ResNet50 modela pokazala je da računar nije bio sposoban da tačno prepozna generisano voće, dok su ljudski evaluatori uspešno identifikovali većinu prikazanih slika. Ovaj rezultat potvrđuje da vizuelni CAPTCHA testovi, generisani uz pomoć C-GAN mreža, mogu pružiti efikasniju zaštitu od botova.

Dalja istraživanja mogu se fokusirati na unapređenje kvaliteta generisanih slika, kao i na optimizaciju samog C-GAN modela, kako bi se postigli još bolji rezultati u razlikovanju ljudi i računara.

LITERATURA

[1] E. Hidalgo, "A survey of CAPTCHA," *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 6, pp. 1165–1180, 2011.

[2] J. Kwon, H. Kim, J. Yoon, and S. Choi, "Learning compositional visual concepts with natural supervision," *IEICE Trans. Inf. Syst.*, vol. E101.D, no. 2, pp. 472–475, 2018.

[3] M. Oltean, "Fruits 360 dataset," *Kaggle Datasets*, 2017.

[4] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, and A. Courville, "Generative adversarial nets," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 27, pp. 2672–2680, 2014. PyTorch, "TorchVision: PyTorch's computer vision library," *PyTorch Doc.*, 2023.

[5] A. Radford, L. Metz, and S. Chintala, "Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks," *arXiv preprint*, arXiv:1511.06434, 2016.

[6] D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A method for stochastic optimization," *arXiv preprint*, arXiv:1412.6980, 2014.

[7] Habr, "What is a GAN: Everything you wanted to know about generative adversarial networks," *Habr Artic.*, 2020.

[8] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015.

[9] Lornatang, "CGAN PyTorch generator model," *GitHub Repository*, 2020.

[10] Senmaoy, "RAT-GAN: Recurrent attention GAN for image captioning," *GitHub Repository*, 2021.

[11] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, and A. Courville, "Generative adversarial nets," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 27, pp. 2672–2680, 2014.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.371T
Original scientific paper

Agent treniran *reinforcement learning-om* za *Tribes* igricu

Stefan Tešmanović
Program računarstva
Istraživačka stanica Petnica
Valjevo, Srbija
tesmanovic166@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Ovaj rad se bavi implementacijom agenta zasnovanog na *reinforcement learning-u* za igru *Tribes*. Igra *Tribes* je strateška igra zasnovana na potezima, gde je cilj prikupiti više poena od protivnika ili osvojiti njegov glavni grad. Agent koristi neuronsku mrežu treniranu pomoću *Reinforce* algoritma za donošenje odluka o kretanju i akcijama trupa, dok se za akcije gradova i plemena oslanja na unapređenu funkciju nagrade iz referentnog rada, koji se bavio kreiranjem igre i implementacijom agenata zasnovanih na simuliranju poteza. Tokom treninga, agent igra protiv manje istrenirane verzije sebe kako bi imao ravnopravnog protivnika u svim stadijumima treniranja. Glavna prednost ovog pristupa je u brzini donošenja odluka, što ga čini efikasnijim u poređenju sa klasičnim agentima koji simuliraju poteze. Eksperimentalni rezultati pokazuju da je agent bolje prilagođen partijama koje traju duže, posebno kada je vreme za potez ograničeno. Agent nije nadmašio najbolje agente iz referentnog rada u svim scenarijima, uspeo je da postigne značajne rezultate u partijama sa vremenskim ograničenjem za poteze.**

Ključne reči—reinforcement learning, strategija, računarska igra

I. Uvod

Cilj igre Tribes je skupiti više poena od protivnika ili zauzeti protivnički glavni grad. Za pravilno igranje potrebno je pametno koristiti resurse, koordinisati trupe i prilagođavati se protivniku. Tabla za igru se sastoji od polja koja na sebi mogu imati resurse kao što su šuma, stoka, hrana, usevi, ruda, ruševine, riba i kitovi. Na svakom polju može da stoji najviše jedna trupa. Polja mogu biti kopno ili more. Polja koja su kopno mogu imati više vrsta terena. Različiti tipovi terena dozvoljavaju različite akcije. Novi gradovi se osvajaju zauzimanjem sela koja su neutralna građevina na mapi ili osvajanjem protivničkog grada. Sve moguće akcije u igri se dele u tri grupe: akcije trupa, akcije gradova i akcije plemena. Glavne akcije koje trupe mogu da izvrše su kretanje, napadanje, istraživanje ruševina i osvajanje gradova ili sela. Akcije koje su najbitnije za gradove su stvaranje novih jedinica i pravljenje građevina. Neke građevine koriste resurse na polju na kom se nalaze, a neke donose određene prednosti plemenu. Pleme može da napravi put koji olakšava kretanje po mapi, objavi rat, pošalje zvezde drugom plemenu ili da istraži novu tehnologiju. Zvezde su valuta u igri. Zvezde se dobijaju osvajanjem gradova ili sela, istraživanjem ruševina i na početku svake runde. Broj zvezda koje se dobijaju na početku runde zavisi od proizvodnja gradova. Svaka istražena tehnologija donosi novu mogućnost plemenu. Bez istraženog streljaštva ne može da se napravi trupa strelac, bez istraženog rudarenja ne može da se napravi rudnik i tako dalje.

Rad [1] se bavio kreiranjem igrice Tribes koja je strateška igra bazirana na rundama (en. turn based strategy) i testiranjem različitih implementacija agenata na toj igrici. Agenti koji su implementirani izvode sekvence poteza iz trenutnog stanja, ocenjuju svoju poziciju u simuliranim ishodima i biraju onaj potez koji je doveo do najbolje pozicije ili ocenjuju sve moguće poteze u trenutnom stanju i biraju najbolje ocenjen potez. Igranje jedne runde kod agenata koji simuliraju poteze može da traje dugo, pogotovo u kasnijim delovima igre kad na tabli ima više mogućih poteza.

Ovaj rad je nastavak na rad [1]. Rad se bavi implementacijom agenta koji se zasniva na mašinskom učenju. Agent koji koristi neuronsku mrežu za odabir poteza je brži od agenata koji simuliraju poteze. Neuronska mreža može da nauči da bira poteze koji dovode do veće ukupne nagrade, umesto poteza koji dovode do trenutne najveće nagrade. Korišćenjem mašinskog učenja može da se dobije agent koji igra brzo i "planira" poteze. Cilj je napraviti agenta zasnovanog na mašinskom učenju koji može da parira agentima implementiranim u referentnom radu.

II. Metod

A. Reinforcement learning

Reinforcement learning je vid mašinskog učenja u kome agent kog implementiramo uči iz svojih postupaka. Agent se nalazi u okruženju koje ima različita stanja i akcije vezane za stanja. Ulaz za agenta je stanje u kome se trenutno nalazi, a izlaz je akcija koju bira da odigra. Svaki uređeni par stanja i akcija donosi nagradu, nagrada može da bude i negativna. Nagrada se koristi kao povratna informacija uz pomoć koje agent može da zna da li bira dobre poteze. Cilj agenta je da na kraju nekog niza odabranih akcija ima maksimalnu sumu nagrada.

Algoritmi koji se koriste za optimizacije agenata su algoritmi bazirani na polisi (eng. policy based) i algoritmi bazirani na vrednosti (eng. value based). Algoritmi bazirani na vrednosti za svako daju parove akcija i vrednosti. Vrednosti predstavljaju predviđenu sumu svih nagrada do kraja epizode. Epizoda je niz poteza. Na osnovu vrednosti se bira koja je

akcija najbolja. Algoritmi bazirani na polisi ne predviđaju vrednosti krajnjeg zbira akcija već za svako stanje generišu raspodelu verovatnoća. U toj raspodeli svaka verovatnoća predstavlja kolika je šansa da akcija za koju je ona vezana dovodi do najboljeg ishoda za agenta. Reinforce [2][4] je algoritam zasnovan na polisi, to znači da mreža ne pokušava da nauči ocene za svaki par stanja i akcija nego da ostvari polisu čijim praćenjem se dobija najveća zbirna nagrada. U Reinforce algoritmu nakon završene epizode računa se kolika je prava vrednost sume nagrada od svakog poteza do kraja epizode i te vrednosti se koriste da bi se optimizovala mreža. Pošto je nagrada koju agent dobije odmah često bitnija nego nagrada koja se dobije kasnije u toku epizode krajnja zbirna nagrada se računa po (1).

$$R_x = \sum_{i=x}^{n} \gamma^{x-i} r_i \quad (1)$$

U (1) r_i predstavlja nagradu u i-tom potezu, a R_x predstavlja zbirnu nagradu od x-tog poteza. Vrednost koeficijenta γ je u intervalu [0, 1). Koeficijent služi da se poveća ili smanji uticaj kasnijih nagrada na vrednost krajnje nagrade.

B. *Implementacija agenta*

Jedan od agenata koje rad [1] implementira je agent zasnovan na pravilima koja ocenjuju svaku akciju ocenom od jedan do pet. Nakon toga nasumično bira akcije iz skupa akcija sa najvećom ocenom i izvršava ih. Nakon izvršavanja akcije ocene se ponovo računaju za odabir sledeće. Akcija menja stanje table što neke od akcija čini nemogućim, a nekim akcijama može da promeni ocenu. Agent zasnovan na pravilima je bio drugi najbolji agent u referentnom radu. Funkcija kojom agent zasnovan na pravilima ocenjuje svaku akciju je modifikovana i iskorišćena kao funkcija nagrade za treniranje neuronske mreže. Detalji o modifikaciji se nalaze u odeljku II. D. Prilagođavanje funkcije za ocenjivanje akcija.

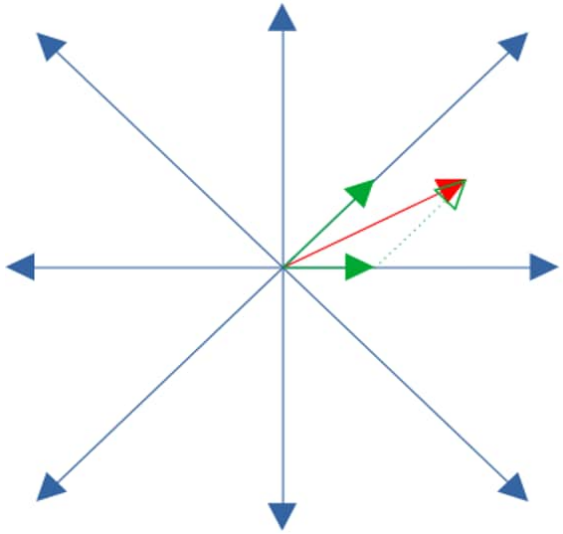
Agent za akcije gradova i plemena koristi funkciju za nagrađivanje rada [1], a za akcije trupa koristi neuronsku mrežu. Za svaku trupu mreža se izvršava zasebno [3]. Agent implementiran u ovom radu je treniran *reinforcement learning*-om korišćenjem *Reinforce* algoritma.

U toku treninga postoje glavna i pomoćna mreža. Glavna mreža se optimizuje posle svake partije, a pomoćna zaostaje iza glavne i kopira njene parametre nakon nekog broja partija. Dok se trenira, agent igra protiv manje istrenirane verzije sebe, kako bi u svakom trenutku imao protivnika slične snage. Ako bi trening bio započet protiv nekog od već implementiranih agenata, agent ne bi imao prostora za učenje i ne bi mogao da istraži isti broj stanja kao na predložen način zato što bi stalno bio u poziciji gde gubi. U prvoj iteraciji treniranja obe verzije agenta imaju nasumično postavljene težine mreže. Nakon svake partije glavnoj mreži se ažuriraju vrednosti težina korišćenjem informacija iz odigrane partije. Na svakih 50 partija vrednosti svih parametara se prepisuju u pomoćnu mrežu. Agenti su trenirani na partijama gde je maksimalan broj rundi 500, broj rundi bude manji ako jedan od agenata osvoji protivnički glavni grad.

C. *Predstavljanje stanja mreži*

Za svaku trupu se koristi ista mreža. Stanje mape se predstavlja preko vektorskog prostora koji nosi informacije o blizini i odnosu snaga sa neprijateljskim jedinicama, o udaljenosti prijateljskih jedinica, sela, ruševina, prijateljskih i neprijateljskih gradova. Trupa za koju se računa koju akciju treba da izabere se nalazi u centru vektorskog prostora (Slika 1). Lokacija i snaga neprijatelja su bitni kako bi jedinica znala da li da se pomeri ka neprijatelju i napadne ili da beži od njega. Lokacija prijateljskih jedinica je bitna zbog međusobne koordinacije. Sela su bitna jer osvajanjem sela se dobija novi grad. Informacija o lokaciji ruševina je potrebna jer dolaženje do ruševine može da donese prednosti poput dobijanja specijalne trupe ili otkrivanja neke nove tehnologije na nivou celog plemena. Značajne su lokacije o gradovima zbog odbrane svojih gradova i zbog napada na neprijateljske gradove. Maksimalan intenzitet vektora koji pokazuje ka neprijateljskom gradu koji ima izgrađene zidine je 0.7 dok je za sve ostale vektore intenzitet u intervalu [0, 1]. Maksimalan intenzitet za gradove sa zidinama je smanjen jer je takve gradove teže osvojiti, te smanjivanjem vrednosti se smanjuje uticaj tih neurona na izlaz. Ideja je da u tom smeru treba da bude još razloga za približavanje poput prijateljskih trupa kako bi se ka tamo otišlo.

Za svaku od navedenih informacija, koju vektori predstavljaju, postoji niz od osam elemenata gde svaka vrednost predstavlja intenzitet jednog od vektora. Ako se traži vektor koji se ne poklapa sa jednim od osnovnih vektora on se razloži na zbir dva skalirana osnovna vektora koji mu se nalaze najbliže sa leve i sa desne strane tako da zbir ta dva vektora na koje je razložen daje početni vektor (slika 1).



Slika 1. Ako se neka od informacija koja treba da se predstavi ne nalazi direktno na putanji jednog od ovih vektora, predstavlja se na način prikazan na slici 1. Plave strelice su glavni vektori, crvena strelica je vektor koji želimo da predstavimo, zelene strelice su vektori na koje je željeni vektor razložen.

TABELA I. REZULTATI IZ RADA [1]

Agent winning rate (row player vs column player)							Aggregated results at the end game					
Agent	RHEA	RB	MCTS	MC	OSLA	RND	Wins	Rank	Score	Techs	Cities	Prod.
RHEA	*	58.60% (2.20)	63.00% (2.16)	77.80% (1.86)	74.80% (1.94)	100.00% (0.00)	74.84% (1.50)	1.25 (0.03)	11610.56 (134.34)	88.95% (1.78)	2.68 (0.05)	20.68 (0.41)
RB	41.40% (2.20)	*	56.20% (2.22)	62.40% (2.17)	70.20% (2.05)	98.80% (0.49)	65.80% (1.32)	1.34 (0.03)	8076.32 (81.58)	71.14% (1.42)	2.98 (0.06)	20.29 (0.41)
MCTS	37.00% (2.16)	43.80% (2.22)	*	62.00% (2.17)	60.80% (2.18)	98.60% (0.53)	60.44% (1.21)	1.40 (0.03)	9966.55 (106.19)	85.27% (1.71)	2.23 (0.04)	16.96 (0.34)
MC	22.20% (1.86)	37.60% (2.17)	38.00% (2.17)	*	54.80% (2.23)	99.00% (0.44)	50.32% (1.01)	1.50 (0.03)	8065.96 (71.22)	82.35% (1.65)	2.23 (0.04)	14.73 (0.29)
OSLA	25.20% (1.94)	29.80% (2.05)	39.20% (2.18)	45.20% (2.23)	*	99.40% (0.35)	47.76% (0.96)	1.52 (0.03)	8927.05 (88.84)	82.31% (1.65)	2.05 (0.04)	15.17 (0.30)
RND	0.00% (0.00)	1.20% (0.49)	1.40% (0.53)	1.00% (0.44)	0.60% (0.35)	*	0.84% (0.02)	1.99 (0.04)	3708.76 (12.51)	58.54% (1.17)	0.39 (0.01)	0.01 (0.00)

Ako se na putanji nekog od vektora isti tip informacije nalazi dva puta, sačuvaće se samo intenzitet do najbližeg od njih. Intenzitet je maksimalan kad vektor treba da pokazuje na polje udaljeno za jedan od trupe u odnosu na koju se gleda stanje.

D. Prilagođavanje funkcije za ocenjivanje akcija

Nadogradnja na funkciju za ocenjivanje akcija je u vidu menjanja vrednosti ocene za određene akcije. Opseg vrednosti od jedan do pet nije dovoljan za predstavljanje nagrada na adekvatan način, potrebne su negativne vrednosti za loše akcije i veće nagrade za akcije poput osvajanja gradova koje donose velike benefite. Vrednosti za osvajanje grada ili sela su povećane, vrednosti za napadanje slabijeg protivnika su povećane, a za napadanje jačeg smanjene, ostale vrednosti za akcije koje se odnose na jedinice su povećane srazmerno tome koliko je procenjeno da su dobre ili smanjene ako su loše. Agent takođe dobija negativnu nagradu u odnosu na udaljenost protivničkih trupa od prijateljskih gradova. To je jedini vid nagrade koji je zasnovan na stanju, a ne na izabranoj akciji.

Izlaz iz mreže predstavlja polja koja okružuju jedinicu za koju se bira potez i neke dodatne akcije koje nisu direktno vezane za mapu poput otpuštanja jedinice, odmaranja ili unapređivanja. Ako se protivnik nalazi na odabranom polju i može da se stigne do tog polja, izvršiće se akcija napada. Ako mreža izabere polje koje je povezano sa akcijom koju nije moguće izvršiti, bira se akcija sa sledećom najvećom verovatnoćom. Od svih mogućih akcija izvršava se ona sa najvećom verovatnoćom. Primer polja koje je povezano sa nemogućom akcijom je polje na kome se nalazi prijateljska trupa ili polje koje je previše daleko da bi se do njega došlo u jednom potezu. Dozvoljeno je da mreža izabere nemoguću akciju jer zbog konstantne dimenzije izlaza ne mogu da se izbace negativne akcije iz skupa svih akcija.

III. REZULTATI

Rezultati su generisani na isti način kao u radu [1]. Određeno je 25 nasumično generisanih mapa. Na svakoj mapi se igra više partija. Nakon svake partije menja se koji agent upravlja kojim plemenom. Pošto se ista mapa ponavlja više puta, i menja se kojim plemenom upravlja koji agent, rešava se problem da postoji neravnopravnost u krajnjem rezultatu zbog dobijanja bolje pozicije. Svaka mapa se igra više od dva puta zato što agenti nasumično biraju iz skupa najbolje ocenjenih poteza i zbog toga partije ne budu iste svaki put. Agentima koje implementira referentni rad je vreme za jedan potez ograničeno na 5 sekundi.

U svakoj tabeli osim u prvoj, druga kolona predstavlja procenat partija koje je agent zasnovan na mašinskom učenju pobedio, treća kolona predstavlja broj osvojenih poena, četvrta broj istraženih tehnologija, peta prosečan broj osvojenih gradova i šesta prosečnu proizvodnju. Od kretanja trupa zavisi broj gradova i samim tim i proizvodnja. Ostale prosečne vrednosti u tabelama zavise od akcija plemena i gradova. U svakom polju gde su vrednosti odvojene kosom crtom prva vrednost se odnosi na agenta iz referentog rada, a druga na agenta zasnovanog na mašinskom učenju.

Agent zasnovan na pravilima je uspešniji protiv agenta zasnovanog na mašinskom učenju nego RHEA agent (tabela 2). Jedina razlika u implementaciji agenta zasnovanog na pravilima i agenta implementiranog u ovom radu je u kretanju trupa. Kroz testiranje se videlo da agent zasnovan na pravilima u proseku ima značajno više gradova na kraju partije. Agent koji koristi neuronsku mrežu ima manju verovatnoću da krene ka selu ako je selo daleko jer su vektori koji nose informaciju o lokaciji sela obrnuto srazmerni razdaljini sela od trupe. Agent zasnovan na pravilima kretanje ka selu uvek ocenjuje ocenom pet bez obzira na razdaljinu od sela. To je razlog zašto agent zasnovan na pravilima ima najveći prosečan broj gradova.

TABELA II. MAKSIMALNO 50 POTEZA

	RL10k	Poeni	Tehnol.	Gradovi	Proizvodnja
RHEA	22.8%	13414/8770	23/19	3.2/2.8	24/20
RB	12.4%	11746/5327	17/16	5.8/1.5	36/10
MCTS	26.6%	12870/8951	23/19	2.9/2.7	23/20
MC	65.4%	7602/10259	19/20	2.6/3.2	15/23
OSLA	38.8%	11881/8901	21/19	4.3/2.4	25/18

Agent je treniran na 10 000 partija

TABELA III. MAKSIMALNO 250 POTEZA

	RL10k	Poeni	Tehnol.	Gradovi	Proizvodnja
RHEA	48%	23498/22914	23/23	3.8/4.3	31/34
RB	2%	20166/7795	18/23	6.8/1	52/6

Agent je treniran na 10 000 partija

TABELA IV. MAKSIMALNO 250 POTEZA

	RL30k	Poeni	Tehnol.	Gradovi	Proizv.
RHEA	57%	21241/21975	23/22	3.4/4.5	26/36
RB	5%	20447/8909	18/20	6.8/1.4	50/9
RHEA NL	14%	29041/12571	23/2	6.1/1.8	53/14

Agent je treniran na 30 000 partija

Upoređivanjem rezultata iz tabele 3 i tabele 4 se vidi da je agent zasnovan na mašinskom učenju bolji u partijama koje duže traju. Pošto je agent treniran na partijama koje traju do 500 poteza, veći deo treniranja je proveo u kasnijim delovima igre, zbog toga su stanja table u tom delu igre bolje istražena i u njima agent bira bolje poteze.

U tabeli 4 se vidi da je agent koji je treniran na 30 hiljada partija uspeo da bude bolji od RHEA agenta u partijama koje traju maksimalno 250 poteza. RHEA NL je RHEA agent kome vreme za potez nije ograničeno na pet sekundi. Pretpostavka je da je broj gradova koji RHEA NL agent uspeva da osvoji veći nego za RHEA zato što stigne dublje u svojoj pretrazi stanja i zbog toga dođe do slučajeva gde se gradovi dobijaju nakon više poteza.

IV. ZAKLJUČAK

Agent implementiran u ovom radu je uspešniji u kasnijim stadijumima igre zbog odabrane dužine partija za njegovo treniranje. Nije potpuno uspešno implementiran agent koji je bolji od agenata iz referentnog rada. Agent zasnovan na mašinskom učenju je bolji u slučajevima kad je vreme za potez ograničeno, protiv agenata koji izvode sekvence poteza. Uz više treniranja agent bi bio još bolji, ali zbog nedostatka vremena nije bilo mogućnosti da se agent dalje trenira. Dalja unapređenja bi bila moguća uz promenu predstavljanja stanja table agentu tako da se glavni gradovi izdvoje od ostalih, uz ovu izmenu trebalo bi adekvatno promeniti i funkciju nagrađivanja. Uspeh agenta u početnom delu igre može da se popravi kroz treniranje agenta samo na tom delu igre. Time se agent upoznaje sa više mogućih stanja koja se pojavljuju u startu partije i zbog toga bi donosi bolje odluke u sličnim stanjima.

LITERATURA

[1] D. Perez-Liebana, Y.-J. Hsu, S. Emmanouilidis, B. Khaleque, and R. Gaina, “Tribes: A new turn-based strategy game for AI research”, In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, 2020, vol. 16, pp. 252–258.

[2] J. Zhang, J. Kim, B. O’Donoghue, and S. Boyd, “Sample efficient reinforcement learning with REINFORCE”. In Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. 2021, vol. 35, pp. 10887–10895.

[3] Kurs o Reinforcement learning-u. Dostupan na: https://huggingface.co/learn/deep-rl-course/en/unit0/introduction

[4] Blog o kreiranju veštačke inteligencije za igricu *AI War, referenca je na sekciju Decentralized Intelligence*. Dostupno na: https://arcengames.com/designing-emergent-ai-part-1-an-introduction

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.375P
Original scientific paper

Poređenje HTML stranica koristeći graph2vec model

Veljko Pavlović
Program računarstva
Istraživačka stanica Petnica
Valjevo, Srbija
veljkopavloviicc@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu razvijen je algoritam za poređenje struktura HTML stranica korišćenjem graph2vec modela. Graph2vec model je tehnika ugrađivanja grafova koja HTML strukture prevodi u vektorski prostor. Rezultati su evaluirani pomoću vizuelne metode koja se sastoji od renderovanja slika veb-stranica i izračunavanja sličnosti među njima. Za poređenje stranica korišćene su dve metrike: euklidsko rastojanje i kosinusna sličnost, koja je prebačena u interval [0,1] radi izražavanja rezultata u procentima. Rezultati su pokazali da na vizuelnu metodu značajno utiču stilski elementi, poput boja, pozadine i drugih vizuelnih atributa stranice. S druge strane, metoda ugrađivanja grafova koristi strukturu HTML stranice i fokusira se isključivo na organizaciju i povezanost elemenata što se pokazalo kao bolje rešenje.**

Ključne reči—ugrađivanje grafova, struktura HTML stranica, graph2vec, klasterovanje

I. Uvod

S rastom broja veb-stranica i širenjem interneta, **HTML** (HyperText Markup Language) postaje bitan jezik za dizajniranje modernih veb-stranica. HTML služi kao osnovni jezik za izradu stranica koristeći razne elemente poput paragrafa, slika, linkova, tabela i drugih elemenata kako bi mogla da se kreira funkcionalna i estetski privlačna struktura. Jedna od važnijih karakteristika HTML-a je njegova fleksibilnost. Iako svi HTML dokumenti prate zajedničku sintaksu, postoji prostor za varijacije u organizaciji elemenata. HTML elementi poput , <p>, <a>, <img> i <table> definišu strukturu stranice, dok atributi poput ‘class’, ‘id’, ‘href’, ‘style’ dodaju dodatne informacije o izgledu i funkcionalnosti tih elemenata.

Postoji nekoliko metoda za upoređivanje HTML stranica. Najjednostavniji pristupi baziraju se na njihovom sadržaju, gde se HTML dokumenti analiziraju prema tekstualnim sličnostima [1]. Međutim, ove metode se fokusiraju na tekst i zanemaruju strukturne razlike. Vizuelne metode porede veb-stranice prema njihovom rezultatu dobijenom prikazivanjem u pretraživačima [2], ali su ograničene samo na vidljive aspekte stranice. Postoje i algoritmi koji porede stranice na osnovu procentualne zastupljenosti elemenata na stranici [3]. Pomenute metode za poređenje veb-stranica uzimaju u obzir isključivo učestalost elemenata u HTML kodu, ali zanemaruju njihov redosled i kompleksnost stranica.

HTML stranice se mogu predstaviti kao **grafovi** zbog svoje hijerarhijske organizacije. Graf je matematička struktura koja je definisana pomoću 2 osnovna elementa (skupa): skup čvorova i skup grana. U slučaju HTML-a, struktura se najbolje prikazuje kao **usmereno stablo**. Stablo je vrsta grafa u kojem su svaka dva čvora povezana tačno jednom stazom, odnosno postoji tačno jedan put kojim može da se stigne iz jednog čvora u drugi. U ovom radu, čvorovi grafa predstavljaju HTML elemente, dok grane predstavljaju njihov odnos sa drugim elementima. Grana ‘u->v’ postoji akko je element ‘u’ roditelj elementu ‘v’.

U ovom radu, korišćena je metoda **ugrađivanja grafova** kao primarni pristup za analizu i poređenje HTML stranica. Ugrađivanje grafova je tehnika koja omogućava predstavljanje složenih grafova u euklidskom vektorskom prostoru.

Doprinos ovog rada jeste upoređivanje HTML stranica koristeći metodu ugrađivanja grafova, kao i evaluacija dobijenih rezultata sa vizuelnom metodom. Vizuelna metoda se sastoji od renderovanja slika veb-stranica i računanja sličnosti između njih. Za poređenje stranica korišćene su dve metrike. **Euklidsko rastojanje** i **kosinusna sličnost**. Euklidsko rastojanje je rastojanje u vektorskom prostoru između dva vektora. Kosinusna sličnost meri sličnost između dva vektora u prostoru na osnovu ugla između njih.

U okviru evaluacije ovog rada, sprovedeno je nekoliko eksperimenata kako bi se testirala efikasnost ove metodologije. Eksperimenti su se sastojali od sledećih aktivnosti:

-klasterovanje dobijenih podataka sličnosti koristeći DBSCAN i KMeans algoritme;

-renderovanje slika veb-stranica i njihove obrade;

-upoređivanje strukturne sličnosti i sličnosti između renderovanih slika veb-stranica;

-upoređivanje klasterovanja dobijenih podataka i klasterovanja renderovanih slika veb-stranica.

II. Metod

U okviru ovog istraživanja, za predstavljanje i poređenje struktura HTML stranica u vektorskom prostoru korišćen je gotov model ugrađivanja grafova, graph2vec [4]. Jedan od najvažnijih razloga zašto je **graph2vec** odabran jeste njegova sposobnost da cela struktura grafa bude pretvorena u jedinstveni vektor. Za razliku od drugih modela, kao što je **node2vec** [5], koji svakom čvoru u grafu dodeljuje poseban vektor, graph2vec pretvara ceo graf u jedan vektor. Ovakav model omogućava da se direktno uporede dve strukture

HTML stranica, predstavljene kao jedinstveni vektori, bez potrebe za usklađivanjem vektora pojedinačnih čvorova.



Slika 1. Prikaz koraka poređenja HTML stranica graph2vec modelom.

Na slici 1, prikazani su koraci algoritma poređenja HTML stranica koristeći graph2vec model. Prvi korak uključuje preuzimanje HTML sadržaja sa interneta pomoću odgovarajućih HTTP zahteva. Za parsiranje HTML sadržaja korišćena je biblioteka **BeautifulSoup** [6]. Ova biblioteka omogućava analizu i manipulaciju strukturnim podacima, odnosno samim elementima.

Nakon ekstrakcije podataka iz HTML-a, sadržaj se pretvara u grafovski oblik. Početni izazov u primeni graph2vec modela bio je u tome što model zahteva numeričke vrednosti kao ulaz dok su HTML elementi predstavljeni tekstualnim vrednostima. Problem je rešen time što su HTML elementi predstavljeni jedinstvenim numeričkim identifikatorom (redni broj pojave elemenata na stranici). Kako bi čvorovi zadržali svoj identitet, jedan od atributa čvorova predstavlja naziv elementa. Za ostale atribute čvorova, uzeti su 'class' i 'id' koji čine atribute HTML elemenata.

Primenom metode ugrađivanja grafova nad dobijenim vrednostima, dobija se vektorska reprezentacija istih. Kako bi dobijeni vektori bili upoređeni, korišćena je kosinusna sličnost i euklidsko rastojanje. Vrednost kosinusne sličnosti se nalazi u intervalu [-1, 1]. Kako bi se dobila vrednost u procentima, dobijeni rezultat je normalizovan. Time se dobija kosinusna sličnost predstavljena u procentima. Kosinusna sličnost se definiše preko formule (1).

$$\cos x = \frac{A*B}{||A||*||B||} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i*B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2}*\sqrt{\sum_{i=1}^{n} B_i^2}} \quad (1)$$

U formuli (1), x predstavlja ugao između dva vektora u vektorskom prostoru. Vektori A i B su vektori koji se upoređuju, dok n je broj dimenzija vektora.

Pored kosinusne sličnosti, druga metrika koja se koristi za upoređivanje vektora je euklidsko rastojanje. Ono je definisano preko formule (2).

$$Dist(A,B) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(A_i - B_i)^2} \quad (2)$$

Što su stranice sličnije, euklidsko rastojanje je manje. Koristeći ovu metriku, može se izmeriti rastojanje između dva vektora u prostoru. Euklidsko rastojanje se koristi u klasterovanju i u merenju rastojanja između tačaka u prostoru.

Klasterovanje je metoda nenadgledanog učenja koja se koristi za grupisanje skupova podataka na osnovu sličnosti među njima. Cilj klasterovanja je da se podaci koji su međusobno slični grupišu u jedan klaster, dok se podaci koji su različiti nalaze u različitim klasterima**.**

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) [7] je algoritam za klasterovanje koji grupiše tačke na osnovu gustine njihove raspodele u prostoru. **Eps** (epsilon) je jedan od parametara DBSCAN-a. Taj parametar predstavlja maksimalno rastojanje između dve tačke da bi one bile smatrane kao susedne. DBSCAN identifikuje guste regione tačaka i grupiše ih u klastere.

KMeans [8] je algoritam za klasterovanje koji razdvaja podatke u K različitih klastera na osnovu sličnosti između tačaka. Funkcioniše tako što minimizuje varijacije unutar klastera i maksimizira varijacije između različitih klastera.

U ovom istraživanju, korišćene su pomenute metode klasterovanja. U nastavku rada, fokus je stavljen na klasterovanje renderovanih slika veb-stranica, kao i na klasterovanje struktura HTML stranica. KMeans algoritam je korišćen za klasterovanje slika, gde unapred možemo da definišemo broj klastera koje želimo formirati. Za klasterovanje HTML stranica, korišćen je DBSCAN algoritam. Prednost DBSCAN-a je u tome što ne zahteva unapred definisanje broja klastera, već sam identifikuje klastere na osnovu gustine podataka.



Slika 2. Prikaz koraka tokom pripreme slika za klasterovanje i računanje sličnosti između istih.

Na slici 2, prikazani su koraci algoritma poređenja HTML stranica vizuelnom metodom. Za renderovanje slika veb-stranica korišćena je alatka **Selenium**, preciznije **Selenium WebDriver** [9]. Selenium WebDriver omogućava automatizaciju procesa učitavanja i snimanja ekrana veb stranica. Kako bi slike veb-stranica bile klasterovane, bilo je neophodno da budu prethodno obrađene. Za ovu svrhu korišćena je biblioteka **skimage** [10], koja pruža funkcije za obradu slika. Funkcije 'imread' i 'resize' su korišćene za učitavanje i prilagođavanje veličine slika pre nego što su transformisane u nizove podataka. **Analiza glavnih komponenti** (PCA) [11] je metoda koja se koristi za transformaciju visokodimenzionalnih podataka u niždedimenzionalni prostor, nakon čega može da se vrši klasterovanje. Za merenje vizuelne sličnosti koristila se biblioteka skimage, odnosno algoritam **structural_similarity** (ssim) [10].

III. Rezultati i diskusija

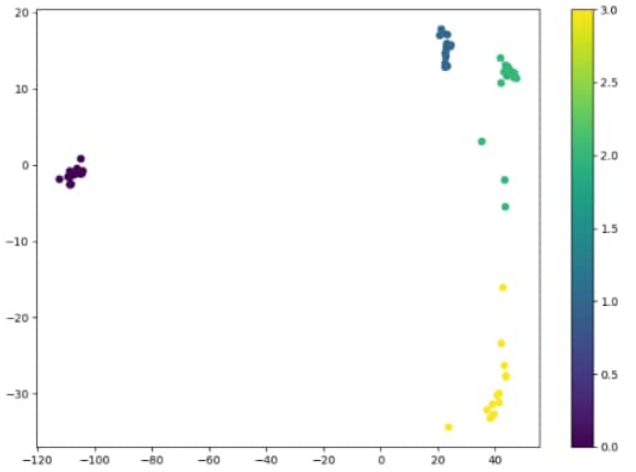
Kako bi se procenila efikasnost metodologije, sprovedeni su eksperimenti nad četiri različita skupa podataka. Svaki skup je sadržao po 15 stranica sa različitih foruma. Forumi korišćeni u eksperimentima bili su: Wikipedia, Stack Overflow, Terraria forum i Warframe forum. Korišćena su i dva dodatna skupa koja su izvedena iz tih početnih podataka. Ovi dodatni skupovi predstavljali su:

- grafove, koji su generisani iz struktura HTML stranica (U daljem tekstu: strukturni skup).
- renderovani prikaz veb-stranica, slike (U daljem tekstu: vizuelni skup).

Testiranje je obuhvatalo nekoliko provera. Prvo testiranje bilo je da se utvrdi koliko je model, graph2vec, precizan korišćenjem algoritma za klasterovanje. Početna hipoteza je da bi trebalo da se formiraju četiri klastera, pri čemu taj broj označava broj različitih foruma, odnosno grupe stranica. Očekuje se da svaki klaster sadrži po 15 stranica. Rezultat može da se potvrdi korišćenjem metode prilagođenog randovog indeksa (Adjusted rand index - ARI) [12]. Prilagođeni randov indeks je mera koja se koristi za ocenjivanje sličnosti između dve particije skupa podataka, uzimajući u obzir slučajnosti i omogućavajući poređenje različitih rezultata klasterovanja.

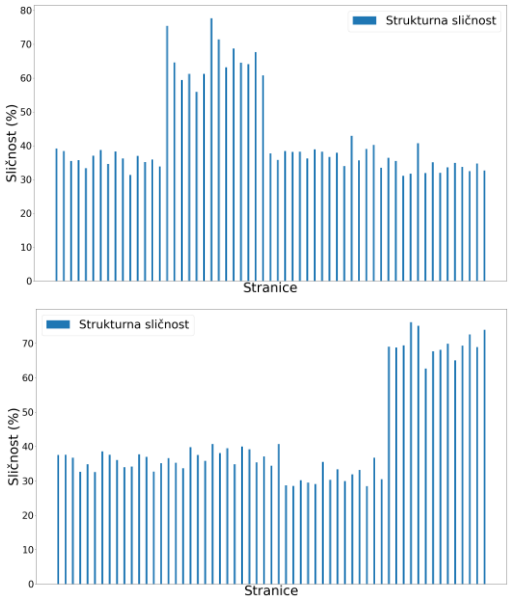
Algoritam je ocenjen kao 100% uspešan, s obzirom na to da su kao rezultat formirana tačno 4 klastera, pri čemu je svaki klaster obuhvatao po 15 stranica. Važno je naglasiti da su sve stranice bile pravilno raspoređene u odgovarajućim klasterima.

Drugo testiranje je usmereno na upoređivanje strukturnog klasterovanja sa vizuelnim klasterovanjem. U ovom testiranju takođe je korišćena metoda prilagođenog randovog indeksa (ARI). ARI je pokazao visoku sličnost između strukturnih i vizuelnih klastera, sa rezultatom od 91,29%. Ovaj visok procenat sličnosti je očekivan, s obzirom na to da su skupovi stranica karakteristični, odnosno da stranice iz istog skupa, sadrže slične elemente. Time se i slike stranica grupišu sa stranicama sličnog porekla zbog svojih karakteristika. Na slici 3, može da se vidi kako su se formirali klasteri.

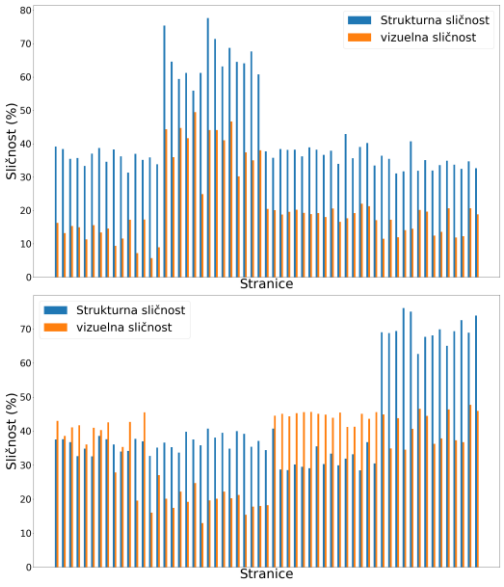


Slika 3. Prikaz klasterovanja vizuelnog skupa.

Treće testiranje bilo je sprovedeno s ciljem prikazivanja ponašanja strukturne sličnosti u odnosu na vizuelnu. Stranice su bile grupisane po poreklu, odnosno po forumu sa kojeg potiču. Na slici 4 i slici 5, prikazana je strukturna sličnost, pri čemu se na svakom grafiku uočava izdvojena "grupa". Te grupe otkrivaju poreklo stranica. Stranice s istog foruma pokazale su međusobno najveću sličnost. Očekivalo se da će stranice unutar istog skupa biti sličnije jedne drugima nego stranice iz drugih skupova. Na slici 6 i slici 7 predstavljene su strukturna i vizuelna sličnost. Na slici 6, postoji povezanost između obe vrste sličnosti – i strukturna i vizuelna sličnost izdvajaju iste grupe stranica. Međutim, na slici 7, može da se vidi odstupanje vizuelne sličnosti od strukturne, nemaju iste istaknute grupe stranica. Na samu vizuelnu sličnost dosta utiču slične boje, boja pozadine i drugi stilski elementi. Ovo odstupanje pokazuje da vizuelna sličnost ne može uvek da uhvati kompletan prikaz sličnosti između stranica, s obzirom da se fokusira isključivo na vizuelne karakteristike, poput boje.



Slike 4 i 5. Prikaz strukturne sličnosti između jedne stranice i ostalih stranica.



Slike 6 i 7. Prikaz strukturne i vizuelne sličnosti između jedne stranice i ostalih stranica.

Četvrto testiranje se fokusiralo na analizu sličnosti između pet identičnih stranica, gde je jedna stranica služila kao referentna stranica, dok su preostale modifikovane uklanjanjem elemenata. Eksperiment je bio dizajniran tako

da se sa svakim narednim testom briše *i* x 5 elemenata, pri čemu je *i* inkrementalni broj koji počinje od 0. Cilj je bio da se pokaže kako promena broja elemenata utiče na euklidsko rastojanje i kosinusnu sličnost između stranica.

TABELA I. EUKLIDSKO RASTOJANJE I KOSINUSNA SLIČNOST U ZAVISNOSTI OD BROJA OBRISANIH ELEMENATA SA ISTE STRANICE

Redni broj stranice	Broj obrisanih elemenata	Euklidsko rastojanje	Kosinusna slicnost
1	0	0.0330	99.96%
2	5	0.0577	99.89%
3	10	0.1216	99.51%
4	15	0.1371	99.37%

Eksperiment je sproveden nad malim brojem obrisanih elemenata i nije značajno uticao na promene u sličnosti između stranica. U prvom primeru, očekivana vrednost sličnosti trebala je biti 100%, ali je zabeleženo blago odstupanje. Ona je prisutna zbog same prirode modela graph2vec, koji koristi tehniku slučajne šetnje, što rezultira u malim varijacijama prilikom obrađivanja podataka.

Rezultati eksperimenta prikazani su u tabeli 1. Kako je broj uklonjenih elemenata postepeno rastao, kosinusna sličnost se blago smanjivala, dok je euklidsko rastojanje poraslo. Ovakvi rezultati su očekivani, jer euklidsko rastojanje postaje veće kada se strukture sve manje podudaraju, odnosno kada stranice postaju različitije.

IV. ZAKLJUČAK

Vizuelna metoda zavisi od stilskih elemenata kao što su boje, boja pozadine i drugi vizuelni atributi stranice. Sličnost u boji ili izgledu ne odražava nužno sličnost u sadržaju, strukturi, što često rezultira netačnim poređenjima. S druge strane, metoda ugrađivanja grafova koristi strukturu HTML stranice i fokusira se isključivo na organizaciju i povezanost elemenata. Kao što se videlo u rezultatima, ova metoda se ispostavila efikasnijom od vizuelne metode.

Istraživanje se može unaprediti proširenjem ovog pristupa na druge vrste veb sadržaja, kao što je CSS (Cascading Style Sheets) stilovi. Analiza CSS-a može omogućiti procenu kako stilizovanje stranica utiče na njihovu strukturu i sličnost. Kombinovanjem tih metoda mogu da se dobiju precizniji rezultati za sličnost stranica.

Dodatno, za preciznije rezultate, potrebno je analizirati koji HTML elementi su bitni za obradu i fokusirati se na njih. Ovo bi moglo uključivati uklanjanje manje relevantnih elementata koji ne doprinose značajno strukturnim karakteristikama stranica, čime bi se poboljšala tačnost modela ugrađivanja grafova. Pored elemenata, potrebno je i razmotriti koje atribute je potrebno dodati a koje izbaciti.

Takođe, istraživanje može obuhvatiti adaptaciju ovog rada na specifične aplikacije kao što je detekcija plagijata.

ZAHVALNICA

Autor ovog rada se zahvaljuje Istraživačkoj stanici Petnica, na korišćenju računarske opreme, tokom fizičke realizacije projekta. Posebna zahvalnost rukovodiocima seminara računarstva, Igoru Šikuljku i Stefanu Nožiniću, kao i saradniku Ivanu Bokoru za ukazanu pomoć i podršku tokom izrade ovog projekta.

LITERATURA

[1] Yamoun, L., Guessoum, Z., & Girard, C. (2022). *Transformer RoBERTa vs. TF-IDF for websites content-based classification*. CReSTIC EA 3804, University of Reims Champagne Ardenne, France; Efficient IP, La Garenne-Colombes, France; LIP6 UMR 7606, Sorbonne University, France.

[2] Li, X., Zhang, W., Wang, D., Zhang, B. & He, H. (2018). Algorithm of web page similarity comparison based on visual block. *Computer Science and Information Systems*, 16(3), pp. 815–830.

[3] Cruz, I. F., Borisov, S., Marks, M. A. & Webb, T. R. (1998). Measuring structural similarity among web documents: preliminary results. *Proceedings of the 7th International Conference on Electronic Publishing*, pp. 513–524. ICCC Press.

[4] Narayanan, A., Chandramohan, M., Venkatesan, R., Chen, L., Liu, Y. & Jaiswal, S. (2017). Graph2vec: Learning distributed representations of graphs. *Nanyang Technological University*

[5] Grover, A. & Leskovec, J. (2016), node2vec: Scalable Feature Learning for Networks, *in* 'Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining' , ACM Press, New York, NY, USA , pp. 855--864 .

[6] Beautiful Soup. (n.d.). *Beautiful Soup 4.12.0 documentation*. Dostupno na: https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/ [Pristupljeno 6. Oktobra 2024.]

[7] Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, Jö. & Xu, X. (1996), A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise, *in* 'Proc. of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)' , pp. 226-231. AAAI Press.

[8] MacQueen, J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability' , University of California Press, , pp. 281-297.*

[9] Selenium. (2023). *Selenium WebDriver*. Dostupno na: https://www.selenium.dev/ [Pristupljeno 6. Oktobra 2024.].

[10] Skimage. (n.d.). *Skimage—Skimage 0. 24. 0 documentation*. Dostupno na https://scikit-image.org/docs/stable/api/skimage.html [Pristupljeno 6. Oktobra 2024.]

[11] Jolliffe, I. T. (1986). *Principal Component Analysis*. Springer Series in Statistics. Springer-Verlag New York.

[12] Hubert, L. & Arabie, P. (1985), 'Comparing partitions', *Journal of classification* 2 (1), 193--218.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.379S
Original scientific paper

Optimizacija performansi prikazivanja scena 3D gausovskog slaganja unaprijednim smanjenjem nivoa detalja na osnovu udaljenosti

Luka Skenderija
Program računarstva
Istraživačka stanica Petnica
Valjevo, Srbija
luka.skenderija@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Nedavni napreci u 3D gausovskom slaganju su značajno doprinijeli polju računarske grafike i mogućnosti prikazivanja realističnih scena u realnom vremenu svojom diskretnom predstavom scena i brzom rasterizacijom. Međutim, prikazivanje gausovskih scena na prosječnom hardveru je i dalje izazovno. Ovaj rad se fokusira na statičnu optimizaciju gausovskih scena u svrhu poboljšanja performansi na svakodnevnom hardveru. Konkretno, konstruisana su stabla hijerarhije ograničavajućih zapremina gausijana, a zatim su gausijani birani i spajani na osnovu njihove udaljenosti od određene tačke interesa. Može se zaključiti da je ovo dobar pristup optimizaciji na različitim nivoima, u zavisnosti od ciljanih nivoa detalja. Takođe, istražena je priroda gubitka kvaliteta koji se javlja kao posljedica smanjenja detalja, što otključava dalju primjenu metode u razvoju sistema za podjelu gausovkih scena na različite nivoe detalja i interpolaciju između istih.**

Ključne riječi*—3D gausovsko slaganje, optimizacija, gausijani, realistična računarska grafika, nivo detalja

I. Uvod

U računarskoj grafici, gausovsko slaganje je tehnika iscrtavanja volumetrijskih podataka koja iscrtava podatke direktno, bez povezivanja istih u primitive poput površi i linija. Funkcioniše tako što predstavlja tačke (podatke) kao gausove funkcije raspodjele, koje su "glatke", a zatim ih "slaže" u mrežu kako bi se stvorio kontinualni prikaz skupa podataka.

Iscrtavanje scena poljima zračenja [7] [4], je tehnika računanja osvjetljenja u grafičkim scenama, najčešće radi upotrebe dobijenog rezultata u procesu iscrtavanja finalnih prikaza tih scena. Zasnovana je na upotrebi eksplicitnih funkcija ("polja zračenja"), koje kao ulaz primaju koordinate neke tačke u prostoru i smjer kretanja zraka svjetlosti koji prolazi kroz tu tačku, a kao izlaz daju količinu svjetlosne energije, odnosno RGB vrijednosti, koje odgovaraju datom zraku svjetlosti u trenutku kada on prolazi kroz datu tačku prostora. Zbog ovoga se polja zračenja često koriste u metodama diferencijalnog volumentrijskog iscrtavanja scena.

Ovaj rad se bavi 3D gausovskim slaganjem, tehnikom predstavljanja i iscrtavanja 3D scena predstavljanjem scena u obliku velikog broja 3D gausijana: elipsoida koji zadržavaju poželjne osobine polja zračenja, ali uklanjaju potrebu za računanjem količine svjetlosti u tačkama praznog prostora zbog toga što se finalni prikaz scene iscrtava gausovskim slaganjem. Ovakav pristup omogućava iscrtavanje realističnih 3D scena u realnom vremenu [1].

Problem ovakvog prikaza scene je što je za realističan prikaz potreban veliki broj gausijana, zbog čega je iscrtavanje prostorno velikih ili detaljnih scena skupo u smislu performansi. Dok hijerarhijska predstava 3DGS (3D gausovosko slaganje) scena [2] rješava problem prikazivanja prostorno-velikih scena dinamičnim LOD (nivo detalja) metodama, iscrtavanje scena generalno, na svakodnevnom, lošijem hardveru ostaje izazov.

Glavni doprinos ovog rada je metoda za izbor gausijana za iscrtavanje koja se zasniva na udaljenosti parova gausijana od određene tačke interesa (fokusa) u prostoru, za razliku od pristupa hijerarhijskog 3D gausovskog slaganja čija se metoda izbora zasniva na veličini projekcije gausijana u kadar kamere [2, Poglavlje 4.2]. Metoda predstavljena u ovom radu je predviđena za statično generisanje LOD scena za prostorno manje scene, gdje se LOD scene generišu unaprijed, a ne prilikom iscrtavanja.

II. Metode

A. Gausovsko slaganje

Kao ulaz, metoda konstrukcije scene prima skup slika za obuku po kojima se procjenjuju parametri statične scene, odgovarajuće kamere kalibrisane SfM-om (površina iz pokreta) [3] i rijetki oblak neorijentisanih tačaka koji nastaje kao sporedni efekat kalibracije [1, Poglavlje 3]. Nad ovim tačkama se vrši proces optimizacije kojim nastaju 3D gausijani [1, Poglavlje 5]. Svaki gausijan je definisan pozicijom, matricom kovarijacije, neprozirnošću α i bojom, koja zavisi od smjera posmatranja i predstavljena je sfernim harmonicima (SH).

Gausijani su izabrani za predstavu scene iz dva razloga: njihova anizotropna priroda omogućava kompaktan prikaz scena; i diferencijabilni su (Gausova funkcija je diferencijabilna), što znači da zadržavaju svojstva diferencijabilnih volumetrijskih predstava scena, a mogu se lako projektovati u 2D što omogućava brzo α-miješanje u svrhe iscrtavanja.

Ključni dio ove metode je proces rasterizacije gausijana, koji dijeli ekran na pločice, sortira gausijane po dubini brzim sortiranjem za cijelu sliku istovremeno, umjesto za svaki piksel pojedinačno i aproksimira α-miješanje na osnovu sortiranih gausijana, a zatim akumulira boju i α-vrijednosti za svaki piksel prolazeći kroz sortirane gausijane od prednjeg ka zadnjem [1, Poglavlje 6].

B. *Optimizacija 3DGS scena*

Proces statičke optimizacije 3DGS scena se dijeli u dva glavna koraka: konstrukciju hijerarhijskog stabla gausijana [2, Poglavlje 4.1] i odabir finalnih gausijana iz dobijene hijerarhije po nekom kriterijumu. Kao ulaz, proces optimizacije prima .ply fajl koji sadrži sve gausijane neke prethodno obučene 3DGS scene, a sam proces obuke (optimizacije) je objašnjen u [1, Poglavlje 5]. Važno je napomenuti da se ovaj rad fokusira na optimizaciju prostorno malih scena, zbog čega se scene ne dijele na više dijelova prije konstrukcije stabla.

C. *Konstrukcija stabla*

Proces konstrukcije stabla počinje učitavanjem niza gausijana iz ulaznog fajla. Konstruiše se BVH (hijerarhija ograničavajućih zapremina) stablo koje se sastoji iz listovnih čvorova, gdje svakom listovnom čvoru odgovara jedan originalni učitani gausijan, i unutrašnjih čvorova, gdje svakom unutrašnjem čvoru odgovara jedan novonastali gausijan koji se dobija spajanjem gausijana djece čvora kojem pripada. Detalji konstrukcije stabla i spajanja gausijana su opisani u [2, Poglavlje 4.1], odakle je preuzeta ova metoda. Potrebno je napomenuti da se nakon konstrukcije stabla vrši i korekcija rotacije gausijana [2, Poglavlje 4.2]. Takođe, u radu iz kojeg je preuzeta metoda konstrukcije stabla, stablo se konstruiše tokom procesa obuke scene, što omogućava dodatnu optimizaciju stabla u svrhu poboljšanja vizuelnog kvaliteta. Pošto metoda koja je predstavljena u ovom radu očekuje već obučenu scenu kao ulaz, bez dodatnih slika za obuku, ne vrši se dodatna optimizacija.

D. *Odabir finalnih gausijana iz BVH stabla*

Glavni doprinos ovog rada je LOD metoda koja smanjuje broj gausijana u sceni na osnovu udaljenosti parova gausijana od tačke interesa u prostoru. Proces odabira gausijana koji je predstavljen u ovom radu kao ulaz prima konstruisano BVH stablo, niz originalnih gausijana, proizvoljni granični centralni ugao β, proizvoljni granični ivični ugao γ i vektor pozicije tačke interesa *i*. Svaki čvor u stablu sadrži jedan gausijan i djecu čvorove. Rekurzivno se prolazi kroz stablo, idući od korijenskog čvora prema listovnim čvorovima. Ukoliko je osobina dubine čvora jednaka 0, znači da je u pitanju listovni gausijan i izdvaja se. U suprotnom, posmatraju se prva dva djeteta trenutnog čvora. AABB (osno poravnata ograničavajuća zapremina) pristup koji se koristi za konstrukciju BVH stabla garantuje da su gausijani čvorova djece jednog čvora prostorno kompaktni, zbog čega je dovoljno posmatrati samo 2 djeteta, iako ih u nekim slučajevima može biti više. Računaju se vektori projekcije $\boldsymbol{p}$ dječijih gausijana *a,b* u tačku interesa *i,*

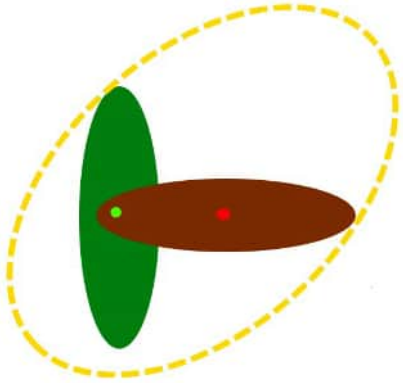
$$\boldsymbol{p}_a = \boldsymbol{a} - \boldsymbol{i}\text{ , i} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{p}_b = \boldsymbol{b} - \boldsymbol{i}\text{ ,} \tag{2}$$

gdje su $\boldsymbol{a,b}$ vektori pozicije centara gausijana *a,b*; a $\boldsymbol{i}$ vektor pozicije tačke interesa. Zatim se računa ugao θ između dobijenih vektora projekcije koristeći skalarni proizvod

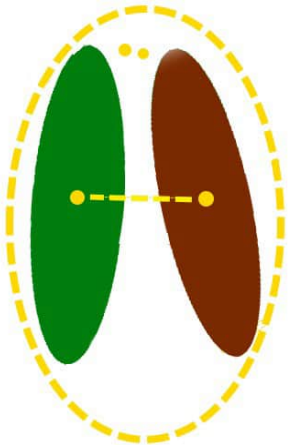
$$\theta = acos(\boldsymbol{p}_a \cdot \boldsymbol{p}_b) \tag{3}$$

Prvi uslov da gausijan bude izabran jeste da $\theta < \beta$. Ukoliko $\theta > \beta$, gausijani nisu dovoljno udaljeni od tačke interesa da bi bili zamijenjeni svojim roditeljem (spojeni u veći gausijan) za ciljani nivo detalja i rekurzija se nastavlja. Problem ovakvog pristupa je što, dok poredi udaljenost parova gausijana od tačke interesa, ne uzima u obzir rotaciju gausijana, zbog čega se pojavljuju artifakti štrčanja, prikazani na slici 1, kada se spoje gausijani veoma različitih rotacija koji ispunjavaju uslov udaljenosti.



Slika 1. Artifakti štrčanja.

Svaki čvor BVH stabla, osim jednog gausijana, sadrži i graničnu kutiju tog gausijana definisanu sa dvije tačke. Porede se euklidove distance između svake dvije tačke graničnih kutija prvog i drugog djeteta kako bi se našle tačke koje su najbliže jedna drugoj, a zatim se analogno procesu projekcije koji je primjenjen na centre gausijana, izračunava ugao δ između vektora projekcija ovih graničnih tačaka. Drugi uslov je ispunjen ukoliko $\delta < \gamma$.



Slika 2. Gausijani pogodni za spajanje.

Ako su oba uslova ispunjena, kao u slučaju koji je prikazan prekida se dalja rekurzija, u suprotnom se ovaj proces rekurzivno izvršava na djeci čvora. Kada se globalno završi sva rekurzija, sačuvavaju se svi izdvojeni gausijani u formatu koji odgovara ulaznom fajlu i tako se dobija optimizovana scena.

III. Rezultati i diskusija

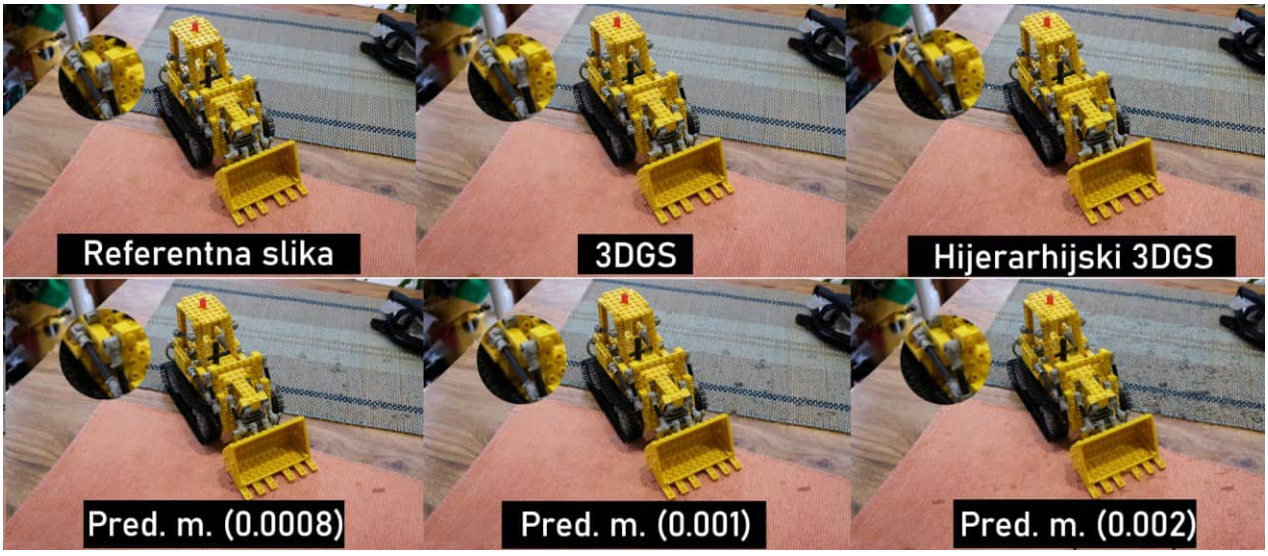
Rezultati su dobijeni mjerenjima kvaliteta slike i FPS-a (slike po sekundi) u tri scene iz Mip-NeRF360 [4] skupa podataka za obuku. Izabrana su po 3 kadra iz 3 scene i mjerena je sličnost iscrtane scene za svaku poređenu metodu (3DGS, hijerarhijski 3DGS, predstavljena metoda sa različitim vrijednostima za granični centralni ugao β) sa referentnom slikom iz skupa podataka koja odgovara izabranom kadru. Krajnji rezultat za svaku scenu je dobijen izračunavanjem prosjeka rezultata za svaki od 3 kadra. FPS je mjeren u statičnim kadrovima, u periodu od 5 sekundi. Vrijednost graničnog ivičnog ugla γ je 0.008 u svim mjerenjima.

Uočava se više pojava u dobijenim rezultatima prikazanim u tabeli 1. Može se vidjeti da su u nekim na slici 2, izdvaja se roditeljski gausijan i slučajevima PSNR (odnos vršnog signala i šuma) i SSIM (metrika strukturne sličnosti) [5] vrijednosti predstavljene metode veće od drugih, uprkos očekivanju da kvalitet slike bude lošiji. Ovo se objašnjava efektom zamućivanja koji nastaje smanjenjem broja i povećanjem prosječne veličine gausijana, koji smanjuje količinu šuma na slici i ujednačava strukturu slike - osobine na koje se oslanjaju ove metrike. Slična varijacija PSNR i SSIM vrijednosti se može primijetiti u poređenju hijerarhijskog 3DGS u prvoj koloni. Činjenica da se LPIPS (naučena perceptivna sličnost slike) [6] povećava kako se povećava i granični ugao predstavljene metode potvrđuje da se vizuelni kvalitet slike smanjuje, očekivanom brzinom.

Posmatranjem slike 3, slike 4, slike 5 i slike 6 može se vizuelno uporediti kvalitet slike za sve testirane vrijednosti graničnog ugla. Poređenjem FPS vrijednosti vidi se da se performanse značajno poboljšavaju povećanjem graničnog ugla, a zanimljivo je i skrenuti pažnju na pad performansi hijerarhijskog 3DGS u poređenju sa 3DGS u prostorno malim scenama.

TABELA I. Rezultati (granični centralni ugao u zagradi)

Scena	**Bicycle**				**Garden**				**Kitchen**			
Metoda	***PSNR*↑**	***SSIM*↑**	***LPIPS*↓**	***FPS*↑**	***PSNR*↑**	***SSIM*↑**	***LPIPS*↓**	***FPS*↑**	***PSNR*↑**	***SSIM*↑**	***LPIPS*↓**	***FPS*↑**
3DGS	22.10	0.571	0.207	29.2	25.95	0.797	0.066	31.0	25.62	0.761	0.178	42.5
Hijerarhijski 3DGS	22.56	0.562	0.195	9.7	24.21	0.665	0.256	17.2	24.42	0.695	0.257	31.7
Pred. m. (0.0008)	21.76	0.541	0.313	35.5	26.24	0.804	0.082	36.8	26.16	0.785	0.189	47.9
Pred. m. (0.001)	21.50	0.530	0.314	36.9	26.38	0.811	0.107	38.5	26.00	0.779	0.188	50.5
Pred. m. (0.002)	20.76	0.502	0.528	46.0	24.57	0.737	0.184	48.3	24.67	0.732	0.288	61.9



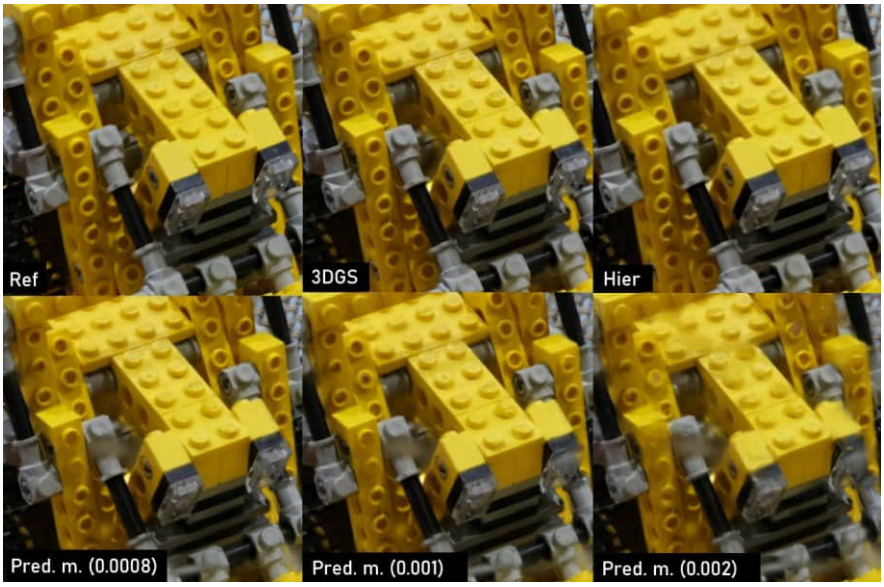
Slika 3. Poređenje prikaza scene “kitchen”.



Slika 4. Prikaz scene “garden” iz novog ugla.



Slika 5. Scena “bicycle”.



Slika 6. Poređenje detalja u sceni “kitchen”.

Izvršeno je mjerenje istih metrika na umanjenoj verziji (jednom “komadu”) scene “example dataset” koja je upotrebljena u [2]. Rezultati prikazani u tabeli 2 su pokazali da je hijerarhijska predstava scene dostigla bolje PSNR i SSIM vrijednosti, dok je predstavljena metoda dostigla bolje LPIPS vrijednosti i značajno povećanje FPS-a.

TABELA II. POREĐENJA SCENE “EXAMPLE DATASET”

Metoda	***PSNR*** ↑	***SSIM*** ↑	***LPIPS*** ↓	***FPS*** ↑
Hijerarhijski 3DGS	19.10	0.538	0.478	50.3
Pred. m. (0.0008)	18.91	0.494	0.471	75.0
Pred. m. (0.001)	18.92	0.494	0.467	75.0
Pred. m. (0.002)	18.99	0.495	0.455	78.0

Na slici 4 je prikazana scena “garden” iz novog ugla, koji nema odgovarajuću referentnu sliku u skupu podataka za obuku.

IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata se zaključuje da je spajanje gausijana na osnovu udaljenosti, uzimajući u obzir i njihovu rotaciju, dobar pristup optimizaciji prostorno malih 3DGS scena. Upotreba malih graničnih uglova je optimalna za povećanje performansi sa zanemarljivim gubitkom vizuelnog kvaliteta. Veći uglovi uzrokuju agresivnije spajanje, ali gubitak kvaliteta se manifestuje u obliku zamućenja scene, što čini ovu opciju prihvatljivom za značajnije povećanje performansi i upotrebu na slabijem hardveru, kao i upotrebu u daljem razvoju LOD sistema zasnovanih na komadanju scena, što može biti buduće istraživanje.

LITERATURA

[1] B. Kerbl, G. Kopanas, T. Leimkühler i G. Drettakis, “3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering,” ACM Transactions on Graphics, 4, 42, Jul 2023. Dostupno na: https://repo-sam.inria.fr/fungraph/3d-gaussian-splatting/ (Pristupljeno: 13. Oktobra 2024.)

[2] B. Kerbl, A. Meuleman, G. Kopanas, M. Wimmer, A, Lanvin, i G. Drettakis, “A Hierarchical 3D Gaussian Representation for Real-Time Rendering of Very Large Datasets,” ACM Transactions on Graphics, 4, 43, Jul 2024. Dostupno na: https://repo-sam.inria.fr/fungraph/hierarchical-3d-gaussians/ (Pristupljeno: 13. Oktobra 2024.)

[3] J. L. Schönberger i J.-M. Frahm, “Structure-from-Motion Revisited,” 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Dostupno na: https://ieeexplore.ieee.org/document/7780814 (Pristupljeno: 13. Oktobra 2024.)

[4] J. T. Barron, B. Mildenhall, D. Verbin, P. P. Srinivasan i P. Hedman, “Mip-NeRF 360: Unbounded Anti-Aliased Neural Radiance Fields,” CVPR, 2022. Dostupno na: https://jonbarron.info/mipnerf360/ (Pristupljeno: 13. Oktobra 2024.)

[5] A. Horé I D. Ziou, “Image Quality Metrics: PSNR vs. SSIM,” 2010 20th International Conference on Pattern Recognition. Dostupno na: https://ieeexplore.ieee.org/document/5596999 (Prisupljeno: 13. Oktobra 2024.)

[6] R. Zhang, P. Isola, A. A. Efros, E. Shechtman i O. Wang, “The Unreasonable Effectiveness of Deep Features as a Perceptual Metric,” 2018. Dostupno na: https://arxiv.org/abs/1801.03924 (Pristupljeno: 13. Oktobra 2024.)

[7] M. Levoy I P. Hanrahan, “Light Field Rendering,” SIGGRAPH '96. Dostupno na: https://graphics.stanford.edu/papers/light/ (Pristupljeno: 13. Oktobra 2024.)

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.383A
Original scientific paper

Projektovanje fazi regulatora za automatizaciju sistema pametne kuće

Katarina Antanasijević
Upravljanje sistemima
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
katarina.antanasijevic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* — Ovaj rad istražuje primenu fazi logike u sistemima pametnih kuća, sa posebnim fokusom na projektovanje fazi regulatora za automatizaciju ključnih aspekata kao što su grejanje, navodnjavanje, upravljanje pametnim uređajima poput pametne veš mašine. Fazi logika omogućava efikasno donošenje odluka u uslovima nejasnoće i nepreciznosti podataka, čime se postiže optimalna kontrola sistema i smanjuje potrošnja energije.**

Ključne reči — fazi logika, fazi regulator, sistem grejanja, sistem navodnjavanja, veš mašina

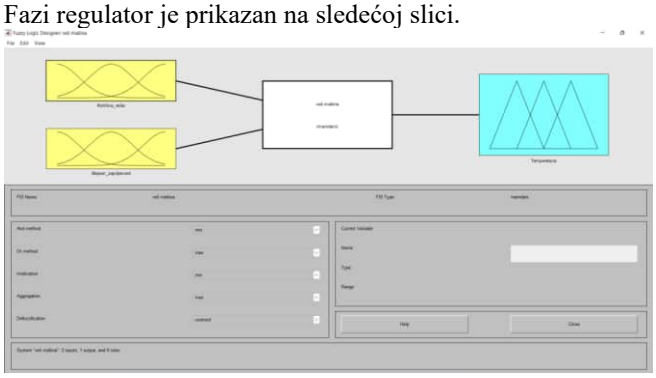
I. Uvod

Pametne kuće predstavljaju sveobuhvatan koncept modernog doma u kojem su integrisani različiti sistemi automatizacije, sa ciljem povećanja energetske efikasnosti, udobnosti i sigurnosti. Jedna od ključnih tehnologija u ovim sistemima je fazi logika, koja omogućava precizno upravljanje uređajima i sistemima na osnovu nejasnih ili nepreciznih informacija [1]. U ovom radu bavićemo se projektovanjem fazi regulatora za automatizaciju različitih aspekata pametne kuće. Istražujemo primenu fazi logike u konkretnim sistemima pametne kuće, kao što su pametni sistemi za grejanje, navodnjavanje i upravljanje uređajima [2]. Svaki od ovih sistema detaljno je analiziran u pogledu primene fazi regulatora, sa ciljem postizanja optimalne kontrole i efikasnosti. Posebno se fokusiramo na načine na koje fazi logika omogućava precizno i fleksibilno upravljanje u situacijama sa promenljivim uslovima. Cilj ovog rada je da prikaže kako fazi logika, kao napredna tehnologija, može doprineti unapređenju pametnih kuća, pružajući korisnicima optimalne performanse u pogledu kontrole i upravljanja raznim sistemima. U radu je obrađeno projektovanje fazi regulatora za upravljanje pametnom veš mašinom, pametnim sistemom za grejanje i inteligentim sistemom za navodnjavanje [3]. Implementacija je izvršena u MATLAB razvojnom okruženju.

II. Fazi upravljanje pametnom veš mašinom

U ovom poglavlju biće analizirano fazi upravljanje kod pametne veš mašine. Analizira se uticaj različitih ulaznih parametara na izbor programa pranja i istražuje kako korišćenje fazi logike može učiniti veš mašine automatizovanijim i manje zavisnim od ljudskog nadzora [4].

Kako bi prikazali na koji način se upravlja pametnom veš mašinom uz pomoć fazi logike, razmotrićemo prost primer koji će obuhvatiti samo dve ulazne promenljive i jedan upravljači izlaz. Na osnovu količine veša i stepena zaprljanosti, odredićemo odgovarajuću temperaturu pranja. Fazi regulator je prikazan na sledećoj slici.



Slika 1. Fazi regulator za upravljanje pametnom veš mašinom.

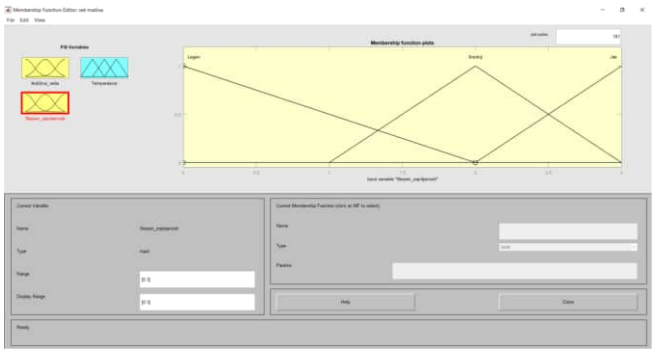
Ulazne promenljive:

- Količina veša - meri se pomoću senzora težine. Prikazana je na sledećoj slici pomoću fazi skupova.



Slika 2. Količina veša predstavljena fazi skupovima.

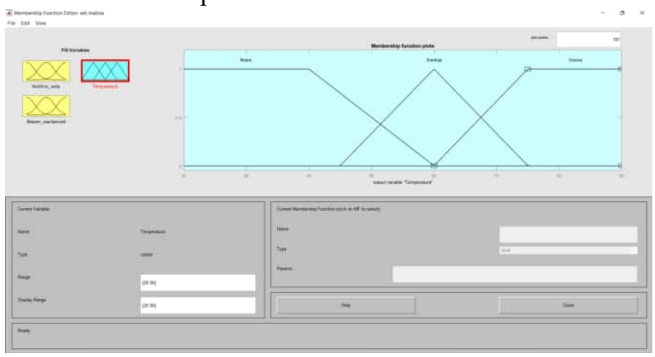
- Stepen zaprljanosti - meri se pomoću optičkog senzora. Prikazan je na sledećoj slici pomoću fazi skupova.



Slika 3. Stepen zaprljanosti predstavljen fazi skupovima.

Izlazna promenljiva:

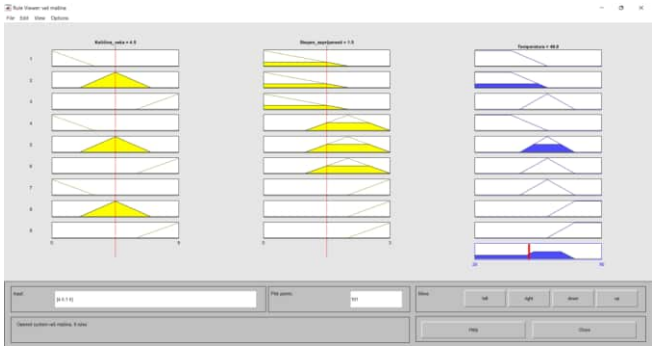
- Temperatura - karakteriše se kao niska, srednja i visoka, u rasponu od 20 do 90°C što možemo videti na slici ispod.



Slika 4. Temperatura pranja predstavljena fazi skupovima.

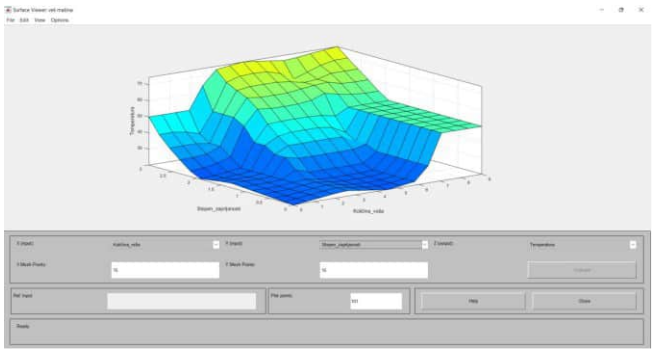
Potpuna baza pravila na osnovu koje je projektovan fazi regulator za odabir odgovarajuće temperature pranja sastoji se od ukupno 9 fazi pravila koja su generisana sledećom logikom i prikazana na slici ispod:

- Niska temperatura se koristi kada je stepen zaprljanosti mali ili je količina veša mala.
- Srednja temperatura se koristi kada je stepen zaprljanosti srednji ili velika količina sa malim ili srednjim stepenom zaprljanosti.
- Visoka temperatura se koristi kada je stepen zaprljanosti veliki, posebno sa srednjom ili velikom količinom veša.



Slika 5. Pregled fazi zaključivanja.

Kao što se može videti sa slike, kada je Količina veša = 4.5, a Stepen zaprljanosti = 1.5, optimalna temperature pranja je 49.9°C.



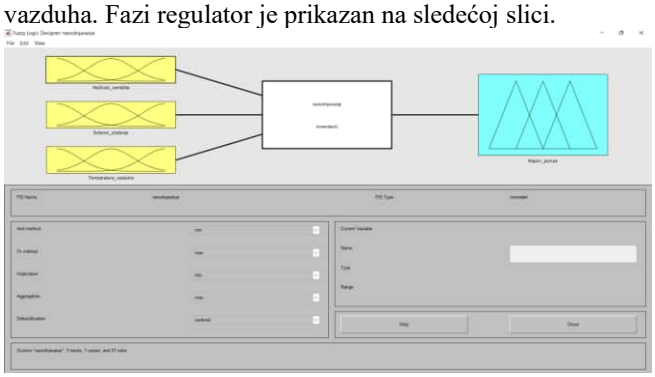
Slika 6:. Površinski grafikon temperature pranja u odnosu na stepen zaprljanosti i količinu veša.

III. FAZI UPRAVLJANJE PAMETNIM SISTEMOM ZA NAVODNJAVANJE

U nastavku ćemo se baviti projektovanjem inteligentnog sistema za kontrolu navodnjavanja zasnovanog na fazi logici za automatsko upravljanje pumpama za vodu.

Na izbor odgovarajućeg napona pumpe mogu uticati različiti klimatski faktori koji se mere pomoću senzora. Tu spadaju vlažnost zemljišta, intenzitet solarnog zračenja, temperatura vazduha i vlažnost vazduha. Svaki od ovih faktora ima direktan uticaj na brzinu isparavanja vode iz zemljišta, što određuje koliko vode biljke gube i koliko im je potrebno.

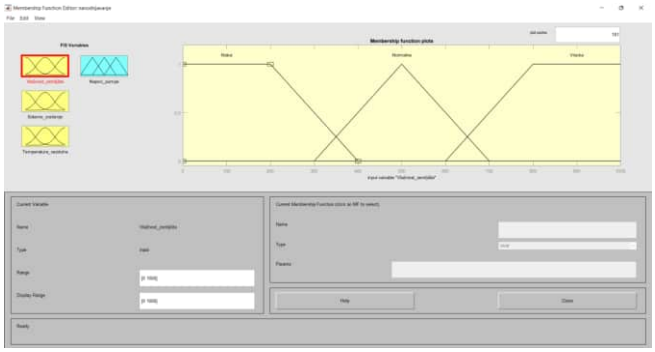
Kako bi bilo jasnije, razmotrićemo projektovanje fazi regulatora kod koga na izbor napona pumpe utiče samo vlažnost zemljišta, intenzitet solarnog zračenja i temperatura vazduha. Fazi regulator je prikazan na sledećoj slici.



Slika 7. Fazi regulator za upravljanje pametnim sistemom za navodnjavanje.

Ulazne promenljive:

- Vlažnost zemljišta – meri se pomoću senzora vlažnosti i predstavljena je fazi skupovima na sledećoj slici.



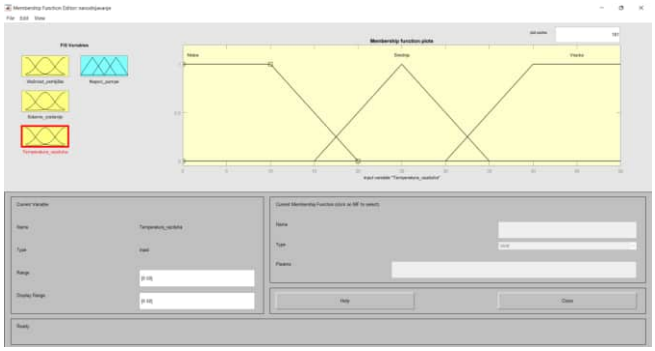
Slika 8. Vlažnost zemljišta predstavljena fazi skupovima.

- Intenzitet solarnog zračenja - meri se pomoću piranometra ili solarnog senzora. Prikazan je na slici ispod.



Slika 9. Solarno zračenje predstavljeno fazi skupovima.

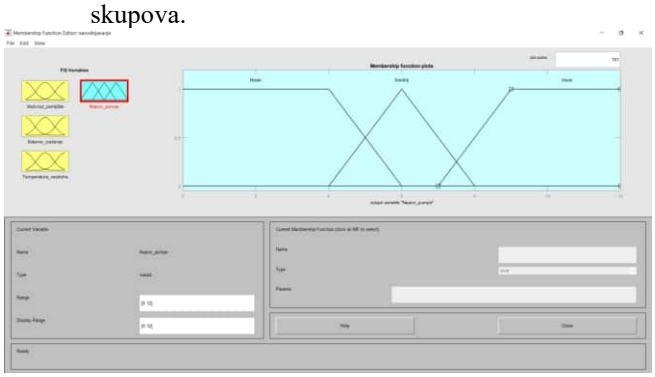
- Temperatura vazduha – meri se uz pomoć temperaturnog senzora. Prikazana je na slici ispod pomoću fazi skupova.



Slika 10. Temperatura vazduha predstavljena fazi skupovima.

Izlazna promenljiva:

- Napon pumpe – karakteriše se kao nizak, srednji i visok i prikazan je na slici ispod pomoću fazi skupova.



Slika 11. Napon pumpe predstavljen fazi skupovima.

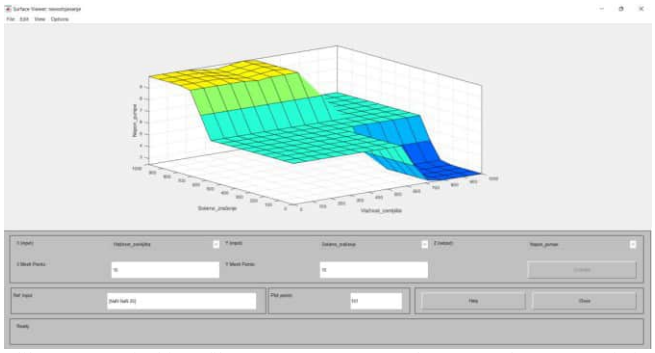
Potpuna baza fazi pravila na osnovu koje je projektovan fazi regulator za odabir odgovarajućeg napona pumpe za navodnjavanje sastoji se od ukupno 27 fazi ako-onda pravila koja su generisana sledećom logikom i prikazana na slici u nastavku:

- Ako je vlažnost zemljišta niska, sistem daje prednost višem naponu da nadoknadi manjak vode.
- Ako je vlažnost zemljišta visoka, sistem smanjuje napon pumpe, jer dodatno navodnjavanje nije potrebno, osim u ekstremnim uslovima.
- Ako su solarno zračenje i temperatura visoki, sistem povećava napon kako bi se kompenzovalo veće isparavanje vode iz tla.
- Ako su solarno zračenje i temperatura niski, napon pumpe je manji jer tlo ne gubi značajnu količinu vode.



Slika 12. Pregled fazi zaključivanja.

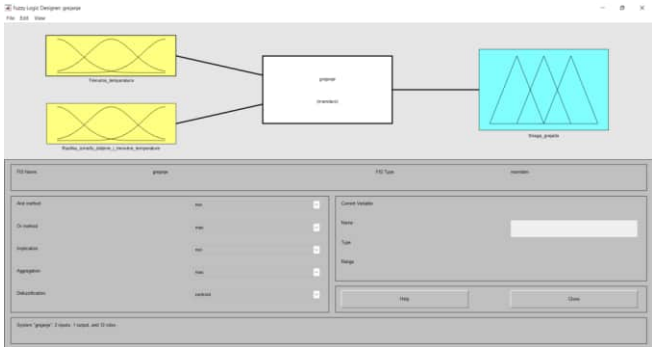
Kao što se može videti sa slike, kada je Vlažnost zemljišta = 271, Solarno zračenje = 647, a Temperatura vazduha = 32.3, Napon pumpe je 8.05.



Slika 13. Površinski grafikon napona pumpe u odnosu na solarno zračenje i vlažnost zemljišta.

IV. FAZI UPRAVLJANJE PAMETNIM SISTEMOM ZA GREJANJE

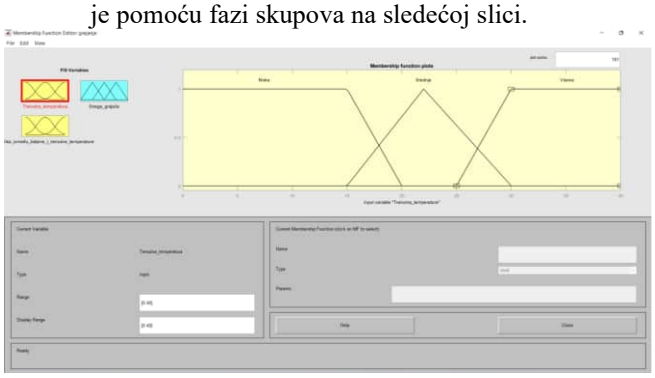
Fazi sistemi upravljanja omogućavaju optimalno održavanje temperature, balansirajući između udobnosti i energetske efikasnosti. Koristeći ulazne parametre kao što su trenutna temperatura i razlika između željene i trenutne temperature, fazi regulator može prilagoditi snagu grejača na temelju lingvističkih promenljivih. Fazi regulator je prikazan na sledećoj slici.



Slika 14. Fazi regulator za upravljanje pametnim sistemom za grejanje.

Ulazne promenljive:

- Trenutna temperatura – meri se temperaturnim senzorom, na primer NTC termistorom i prikazana je pomoću fazi skupova na sledećoj slici.



Slika 15. Trenutna temperatura predstavljena fazi skupovima.

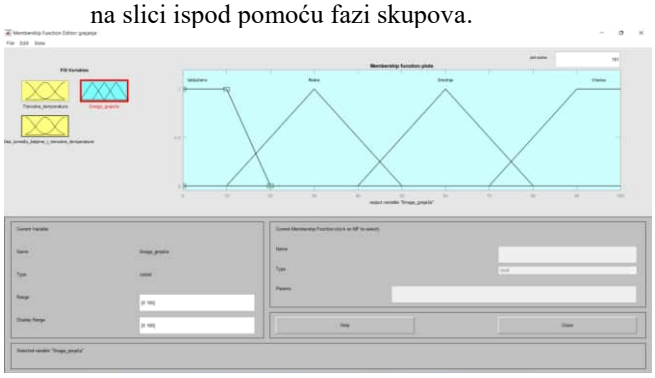
- Razlika između željene i trenutne temperature - Željena temperatura se unosi ili podešava korisničkim interfejsom (termostatom) ili automatski preuzima iz unapred podešenih vrednosti za određeni period dana ili sezone, dok trenutnu temperaturu očitava temperaturni senzor u realnom vremenu. Razlika se dobija oduzimanjem ove dve vrednosti. Prikazana je na slici ispod.



Slika 16. Razlika između željene i trenutne temperature predstavljena fazi skupovima.

Izlazna promenljiva:

- Snaga grejača – ovde će biti izražena u procentima i odnosi se na proporcionalnu kontrolu snage u odnosu na njen maksimalni kapacitet i prikazana je na slici ispod pomoću fazi skupova.



Slika 17. Snaga grejača predstavljena fazi skupovima.

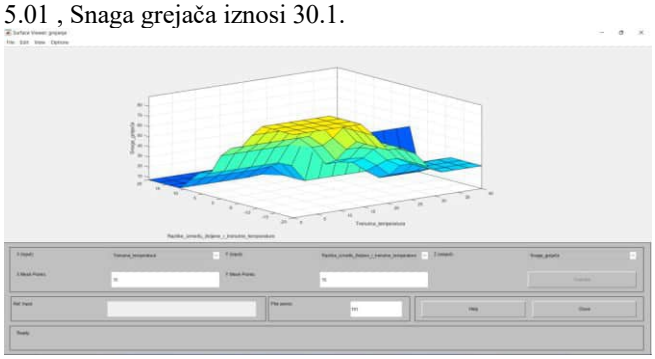
Potpuna baza pravila na osnovu koje je projektovan fazi regulator za odabir odgovarajuće temperature pranja sastoji se od ukupno 9 fazi pravila koja su generisana sledećom logikom i prikazana na slici u nastavku:

- Velika negativna razlika znači da je trenutna temperatura mnogo niža od željene, pa grejač treba da radi na većoj snazi kako bi što brže povećao temperaturu.
- Mala negativna razlika znači da je trenutna temperatura samo malo niža od željene, pa je potrebna srednja ili niska snaga.
- Mala pozitivna razlika znači da je trenutna temperatura već malo viša od željene, pa grejač treba da se smanji ili isključi.
- Velika pozitivna razlika znači da je trenutna temperatura znatno viša od željene, pa grejač treba potpuno isključiti.



Slika 18. Pregled fazi zaključivanja.

Kao što se može videti sa slike, kada je Trenutna temperatura = 23.1, a Razlika između željene i trenutne temperature = -5.01 , Snaga grejača iznosi 30.1.



Slika 19. Površinski grafikon snage grejača u odnosu na trenutnu temperaturu i razliku između željene i trenutne temperature.

V. ZAKLJUČAK

Primena fazi regulatora omogućava precizno upravljanje različitim komponentama pametne kuće, kao što su sistemi grejanja, navodnjavanja i pametnih uređaja, čak i u uslovima kada podaci nisu potpuno precizni. Fazi logika doprinosi glatkoj regulaciji ovih sistema, čime se izbegavaju nagle promene i poboljšava dugoročna efikasnost.

Zaključujemo da primena fazi logike u pametnim kućama predstavlja inovativan i efikasan pristup automatizaciji, koji može značajno unaprediti svakodnevni život korisnika, omogućavajući im veću kontrolu, udobnost i sigurnost.

LITERATURA

[1] George J. Klir, Bo Yuan; *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall 1995.

[2] Zimmermann H. -J.; *Fuzzy set theory and its applications*, Kluwer Academic Publisher, 2001.

[3] Ross, T. J.; *Fuzzy Logic with Engineering Applications,* John Wiley & Sons, 2010.

[4] *Smith, J., & Johnson, L.; Smart Appliances in the Modern Household: Advances in Washing Machine Technology, Springer, 2022*.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.387S
Original scientific paper

Realizacija interfejsa predajnog modula fotofona

Dimitrije Stojanović
Upravljane sistemima
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dimitrijestojanovic@elfak.rs
ORCID: N/A

Milica Milosavljević
Upravljane sistemima
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milicamilo@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U ovom radu prikazan je princip projektovanja i realizacije hardverskog interfejsa predajnog modula fotofona korićenjem metode aplitudske modulacije pomoću operacionog pojačavača.**

Ključne reči—predajnik, hardver, interfejs, aplitudska modulacija, fotofon

I. UVOD

Fotofon je uređaj koji prenosi tonove pomoću svetlosti. Na predajnoj strani fotofona, amplitudska modulacija se može koristiti za prenos zvučnih signala kroz svetlosni snop. Kada se zvučni signal moduliše na svetlosni izvor, kao što je laser, promene u amplitudi signala uzrokuju proporcionalne promene u intenzitetu svetlosnog snopa. Ovaj modulisani svetlosni snop može zatim biti usmeren ka prijemniku, gde se rekonstruiše originalni zvučni signal.

Ovaj princip omogućava bežični prenos zvuka putem svetlosti, što je osnova funkcionisanja fotofona, uređaja koji pretvara zvučne signale u svetlosne impulse i prenosi ih na daljinu.

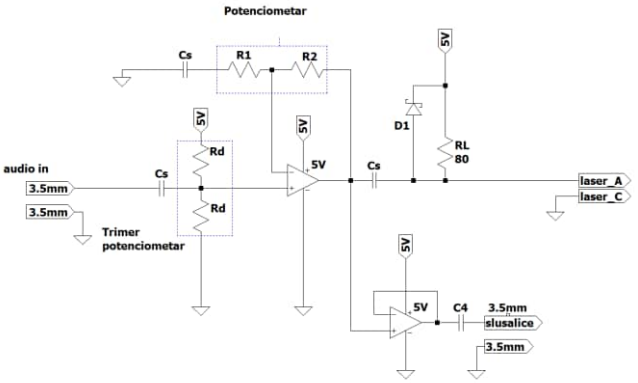
U ovom radu biće prikazano projektovanje hardverskog interfejsa predajnog modula fotofona. Realizacija predajnog modula fotofona osmišljena je na sledeći način. Ulazni signal dolazi putem 3.5 mm jack priključka, dok je izlazni priključak namenjen za povezivanje lasera. U realizaciji će biti omogućeno priključivanje slušalica za slušanje muzike koja se šalje. Amplitudska modulacija (AM) je tehnika modulacije gde se amplituda nosioca signala menja u skladu sa amplitudom ulaznog signala, u ovom slučaju muzičkog signala iz telefona. Ova promena amplitude nosioca omogućava prenos informacija putem različitih medija, uključujući svetlost.

Za realizaciju su korišćene aktivne i pasivne elektronske komponente, kao i konektori, koji su lemljeni na bakarnoj pločici.

II. KOMPONENTE KORIŠĆENE U REALIZACIJI

Komponente koje su korišćene u realizaciji predajnog modula fotofona

1. otpornik od 75 Ω (5% tolerancije)
2. 4xkondezatora od 100 μF-5 V
3. 2x 3.5 mm audio jack
4. Pinski muški utikač (2 pina)
5. USB C konektor
6. Potenciometar
7. Potenciometar trimer
8. Šotki dioda BAT42
9. SMD LM358
10. PCB tabla



Slika 1. Fotofon-elektronska šema.

Šema je urađena u programu LTSPICE. Na slici 1 prikazana je elektronska šema fotofona.

Pri realizaciji predajnog modula fotofona od značaja su bile sledeće osobine:

- Jednostavnost
- Laka implementacija
- Modularnost

Projekat prikazan u ovom radu ispunjava ključne osobine na sledeći način: koristi amplitudsku modulaciju, što je jednostavna i efikasna metoda za prenos signala. Implementacija je jednostavna jer se komponente mogu lako zalemiti na univerzalnoj štampanoj pločici uz jednostavnu šemu, što omogućava brzu realizaciju. Modularnost je postignuta dizajnom ulaza i izlaza sa 3.5 mm audio jackovima i 2-pinskim muškim utičnicama, što omogućava jednostavnu zamenu i prilagođavanje komponenti.

Operacioni pojačavač ima visoku ulaznu impedansu, što znači da ne opterećuje izvor signala, i nisku izlaznu impedansu, omogućavajući stabilan prenos signala ka opterećenju. Ove karakteristike ga čine idealnim za projekte gde je potrebno precizno pojačavanje i stabilna modulacija signala. U realizaciji predajnog modula fotofona potrebna su dva neinvertujuća pojačavača: sa podesivim pojačanjem

(OUT1) i jedinični (OUT2). Pojačanje operacionog pojačavača se u teorije izračunava:

U ovom projektu kod prvog neinvertujućeg operacionog pojačavača (OUT1-izlazni pin), pojačanje se može menjati pomoću potenciometra u povratnoj sprezi (u teoriji modelovano optornikom R2) ili promenom otpornosti trimer potenciometra na neinvertujućem ulazu operacionog pojačavača. Time se menja ulazni napon u operacioni pojačavač, a samim tim i pojačanje operacionog pojačavača.

Drugi pojačavač je realizovan kao jedinični pojačavač.

3.5 mm audio jack (slika 2) je standardni priključak za prenos audio signala, često korišćen za slušalice i mikrofone. U ovom projektu, 3.5 mm audio jack koristi se kao ulaz za muzički signal iz telefona i kao izlaz za povezivanje slušalica, što omogućava korisniku da čuje signal koji se šalje. Ovaj priključak omogućava jednostavno povezivanje i zamenu komponenti, doprinoseći modularnosti i fleksibilnosti celog sistema ili na stubu, a najčešće je povezana sa radio prijemnikom preko koaksijalnog kabla.



Slika 2. Audio Jack 3.5MM.

Šotki dioda je vrsta poluprovodničke diode koja ima nizak napon vođenja (tipično između 0.2 V i 0.3 V), brzi odziv i nisku potrošnju energije. Zbog svoje velike brzine vođenja često se koristi u aplikacijama kao što su ispravljanje signala u napajanjima, zaštita od prenapona, i u visokofrekventnoj elektronici.

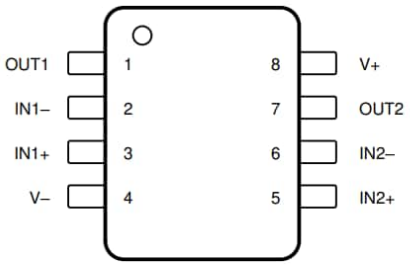
Na slici 3, prikazan je BAT42 model šotki diode koji je korišćen u realizaciji projekta. Njen zadatak je bio da zaštiti laser od potencijalno štetnog prekomernog napona. Kada je napon na laseru veći od praga, BAT42 dioda se uključuje i preusmerava višak struje kroz sebe, umesto da je propusti kroz laser. Na ovaj način, dioda efikasno štiti laser od oštećenja usled prekomernog napona, omogućavajući siguran rad celog sistema.



Slika 3. BAT42 šotki dioda.

LM358 je popularan operacioni pojačavač koji sadrži dva nezavisna pojačavača u jednom čipu, što ga čini veoma korisnim za različite analogne aplikacije. LM358 ima dva izlaza, OUT1 i OUT2. Izlaz OUT1 je korišćen za amplitudsko pojačanje muzičkog signala iz telefona, pre nego što se taj signal moduliše i prenese na laser. Drugi izlaz, OUT2, korišćen je za realizaciju jediničnog pojačanja, koje nam omogućava da slušamo muziku putem slušalica dok se signal istovremeno prenosi na laser.

LM358 je poznat po svojoj niskoj potrošnji energije, što ga čini pogodnim za aplikacije koje zahtevaju dugotrajnost i efikasnost, posebno u baterijski napajanim uređajima gde minimalno utiče na trajanje baterije. Proizvođači poput Texas Instruments navode tipičnu struju mirovanja od samo 0.5 mA po pojačavaču, što potvrđuje ovu karakteristiku. Pored toga, LM358 može raditi sa jednostrukim napajanjem u rasponu od 3 V do 32 V ili sa dvostrukim napajanjem od ±1.5 V do ±16 V, čime se prilagođava različitim sistemima i aplikacijama, bez potrebe za specifičnim naponskim uslovima. Ove specifikacije su potvrđene u datasheet-ovima od Texas Instrumentsa i STMicroelectronicsa. LM358 se ističe i po stabilnosti i pouzdanosti, održavajući stabilan rad u širokom spektru uslova, uključujući ekstremne temperature i promene u naponu napajanja, čime se smanjuje rizik od nestabilnosti. Testiranja i analize potvrđuju njegovu visoku otpornost na promene u radnim uslovima.

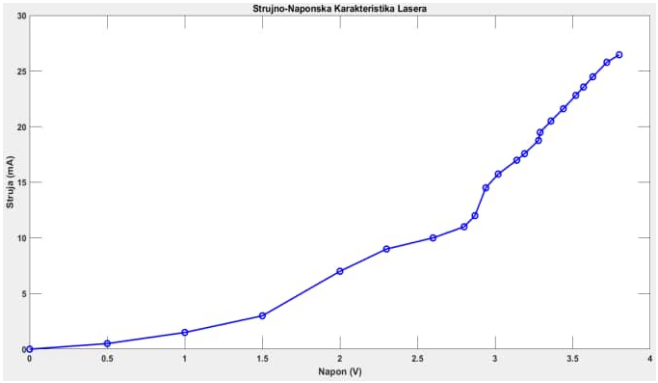


Slika 4. Raspored pinova LM358 čipa.

III. MERENJE STRUJNO-NAPONSKE KARAKTERISTIKE LASERA

Da bismo utvrdili u kojem opsegu radi laser, potrebno je izmeriti njegovu strujno-naponsku karakteristiku. To je postignuto tako što je laser priključen na regulisano napajanje, koje je omogućilo postepeno povećavanje napona za po 1V u svakom koraku. Za merenje napona, korišćen je multimetar priključen paralelno sa laserom.

Istovremeno je merenje struje vršeno tako što je multimetar postavljen redno sa laserom. Tokom eksperimenta, pažljivo su beležene promene u naponu i struji. Analizom rezultata, utvrđeno je da laser počinje da svetli pri naponu od 2.8 V, dok je optimalni radni opseg između 2.8 V i 3.4 V kako bi se obezbedio dugotrajan rad bez pregrevanja ili oštećenja.



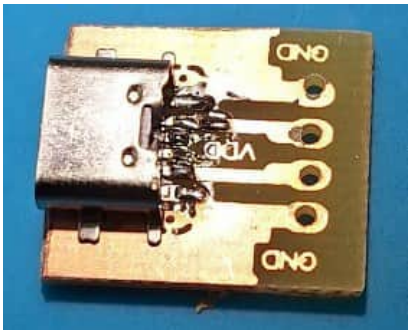
Slika 5. Strujno-naponska karakteristika lasera.

Empirijski podaci idealnog rada lasera predstavljeni su pomoću strujno-naponske karakteristike grafikom gde je na *x*

osi napon (V), a na *y* osi struja (mA). Grafik koji je prikazan na slici, nacrtan je u Matlab-u. Mereni podaci su od 2.8 do 3.4 V, a ostali ne izmereni podaci su modelovani pomoću vestačke inteligencije kako bi prikazali karakteristiku lasera u opsegu od 0 do 3.8 V.

Da bi se pravilno zalemio USB-C konektor na PCB, prvo je pripremljen konektor za montažu. Zalemljen je USB-C konektor na malu pločicu, uz korišćenje mikroskopa za precizno pozicioniranje i primenu lema na male pinove. Kako bi se olakšao prvi korak u lemljnju, pre nanošenja konektora, površina je premazana fluksom kako bi se poboljšalo vezivanje i omogućilo lakše nanošenje lema. Kada se konektor čvrsto držao na maloj pločici, pripremljeni su kontakti na glavnoj PCB ploči čišćenjem i primenom antikorozivnog maziva ili fluksa.

Nakon toga je postavljena mala pločica sa zalemljenim konektorom na glavnu PCB ploču i primenjen je lem na kontaktne tačke. Na kraju su provereni svi spojevi kako bi se osiguralo da su svi pinovi ispravno zalemljeni i da nema kratkog spoja. Na slici 6, prikazan je realizovani USB C konektor.



Slika 6. USB C konektor izrađen u laboratoriji.

IV. HARDVERSKA REALIZACIJA I ANALIZA SIGNALA

Povezivanje svih komponenti modula ostvareno je lemljenjem, čime je postignuta kompaktnost i jednostavnost modela. Ovaj pristup dodatno poboljšava pouzdanost modula tokom upotrebe i transporta. Svaka zalemljena veza na štampanoj ploči pažljivo je proverena unimetrom kako bi se proverilo da nema neželjenih spojeva između njih. Osim toga, korišćene su žice za povezivanje određenih delova kola, jer je to olakšalo proces prespajanja i dodatno pojednostavilo konstrukciju modula.

Ispravnost svih veza u kolu proverena je korišćenjem multimetra u "dioda" modu. Ovaj mod omogućava testiranje provodljivosti veza. Kada se spoje sonde multimetra na dva kraja veze, ako je veza ispravna, multimetar će pokazati napon provođenja diode ili emitovati zvučni signal. Na ovaj način je osigurano da su sve veze ispravno zalemljene i da nema neželjenih prekida ili kratkih spojeva u kolu.

Testiranje je započelo povezivanjem telefona sa sistemom preko M-M audio 3.5 mm kablova. Zatim su slušalice priključene na predviđeni audio jack, dok je laser priključen na odgovarajuće mesto u modulu. Nakon toga, laser je usmeren ka prijemnom modulu, a svi uređaji su priključeni na napajanje. Puštanjem muzike sa telefona, izvršena je subjektivna procena kvaliteta zvuka na slušalicama i zvučnicima izlaznog modula. Podešavanje jačine zvuka obavljeno je pomoću potenciometra. Sledeći korak u je bila analiza signala.

Tokom analize signala kroz modul, primećeno je prisustvo šuma na izlazu operacionog pojačavača. Da bi se eliminisala ova neželjena pojava, postavljen je kondenzator između napajanja i mase operacionog pojačavača. Ova mera je omogućila efikasnu filtraciju šuma i stabilizaciju signala. Uloga kondenzatora je da filtrira šum i neželjene oscilacije sa naponske linije, što pomaže u stabilizaciji napona i smanjenju fluktuacija koje mogu uticati na rad pojačavača. Takođe, poboljšava stabilnost i tačnost operacionog pojačavača, sprečava samo-oscillacije i omogućava brži i precizniji odziv na promene ulaznog signala. Postavljanjem kondenzatora što bliže pinovima napajanja i uzemljenja, smanjuje se uticaj električnih smetnji, čime se osigurava stabilan i čist izvor napajanja za operacioni pojačavač.

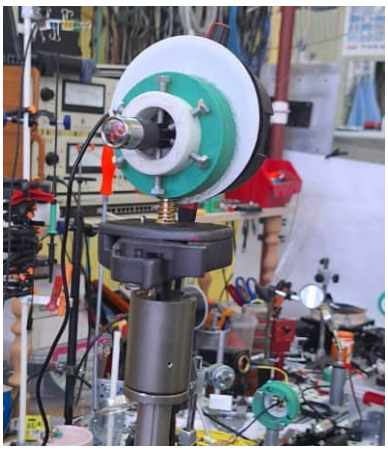
Na slici 7, prikazan je realizovani modul.



Slika 7. Realizovani modul.

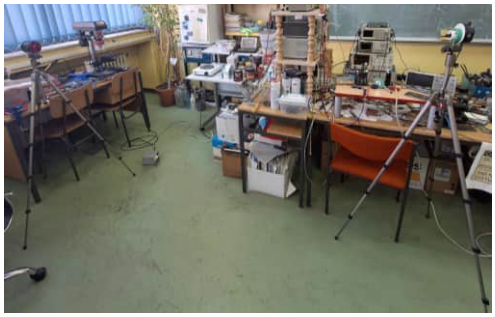
Analiza signala je vršena pomoću digitalnog osciloskopa. Digitalni osciloskop je ključni alat za analizu i vizualizaciju električnih signala u realnom vremenu. On omogućava precizno prikazivanje signala kao talasne forme na ekranu, što pomaže u prepoznavanju obrazaca i nepravilnosti u signalu.

Korišćenjem osciloskopa, mogu se meriti ključne karakteristike signala, kao što su amplituda, frekvencija i perioda, i mogu se lako uočiti prisustvo šuma, distorzija ili nepravilne oscilacije. Ovo omogućava preciznu kalibraciju i optimizaciju elektronskih kola. U ovoj realizaciji, osciloskop je omogućio identifikaciju šuma na izlazu operacionog pojačavača, što je dovelo do dodavanja kondenzatora za filtraciju šuma, čime su poboljšane performanse modula.



Slika 8. Upakovani predajni modul.

Na slici 8 prikazan je predajni modul fotofona, a na slici 9 i istovremeni rad predajnog i prijemnog modula.



Slika 9. Prikaz predajnog i prijemnog modula u laboratoriji.

V. ZAKLJUČAK

Zaključak našeg projekta predajnog modula fotofona ukazuje na uspešnu realizaciju svih faza, od projektovanja i testiranja do završne analize. Počevši od inicijalne faze, kroz postepeno nadograđivanje, razvijen je funkcionalan i pouzdan predajni modul. Ovaj projekat predstavlja primer studentskog poduhvata, gde je kroz temeljnu analizu strujno-naponske karakteristike lasera, pažljiv izbor metode modulacije, pažljivo projektovanje i testiranje, stvoren jednostavan, ali efikasan sistem koji ispunjava sve postavljene ciljeve. Takođe, signal je analiziran korišćenjem digitalnog osciloskopa, što je omogućilo preciznu definisanje performansi i dodatno poboljšanje funkcionalnosti modula.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se na pomoći u pisanju rada prof. dr Dejanu Miliću i dr Jeleni Anastasov u okviru predmeta Optičke komunikacije, koji smo pohađali na smeru Upravljanje sistemima, Elektronskog fakulteta Univerziteta u Nišu, u 8. semestru osnovnih akademskih studija. Hardverska realizacija dela projekta u okviru pomenutog predmeta izvedena je pri laboratoriji za Telekomunikacione sisteme, pod mentorstvom prof. dr Dejana Milića.

LITERATURA

[1] Dejan Milić, „Optičke telekomunikacije“, Edicija: Osnovni udžbenici, Izdavač: Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, 2016. ISBN: 978-86-6125-152-8 https://plus.cobiss.net/cobiss/sr/sr/bib/220621580#full

[2] Dejan Milić, Mihajlo Stefanović, „Zbirka zadataka iz optičkih telekomunikacija“, Edicija: Pomoćni udžbenici, Izdavač: Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, 2011. ISBN: 978-86-6125-023-1 https://plus.cobiss.net/cobiss/sr/sr/bib/182112012#full

[3] Operacioni pojačavač-Texas Instruments, dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf?ts=1725083608655&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.cn%252F

[4] LCSC electronics, dostupno na: https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/RDA5807M_C82537.pdf

[5] O fotofonu, dostupno na: Christos military and intelligence corner: German 80mm Photophone - Carl Zeiss Lichtsprechgerät (chris-intel-corner.blogspot.com)

[6] Šotki dioda, dostupno na: https://www.vishay.com/docs/85660/bat42.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.391K
Original scientific paper

Interfejs za FM prijemnik sa mikrokontrolerom

Andrijana Kocić
Upravljane sistemima
Elektronski fakultet
Niš
andrijana.kocic@elfak.rs
ORCID: N/A

Aleksandra Andrić
Upravljane sistemima
Elektronski fakultet
Niš
andric.aleksandra@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—Cilj ovog rada je prikazati projektovanje i realizaciju hardverskog interfejsa za FM radio prijemnik koji se može kontrolisati digitalno od strane mikrokontrolera. Integracija FM prijemnika unutar integrisanog kola olakšava upotrebu bez potrebe za složenom RF elektronikom. Potrebno je koristiti standardne digitalne interfejse poput I2C, SPI ili UART za komunikaciju sa mikrokontrolerom. Softverski deo projekta obuhvata razvoj interfejsa za kontrolu uređaja, a potrebno je osigurati i izlazni hardverski konektor za stereo signal. Projekat zahteva implementaciju i testiranje interfejsa sa odabranim FM prijemnikom kako bi se osiguralo ispravno funkcionisanje.**

***Ključne reči*—FM radio, mikrokontroler**

I. UVOD

Interfejs za FM prijemnik sa mikrokontrolerom omogućava komunikciju i kontrolu između mikrokontrolera i FM radio modula. To uključuje slanje komandi za podešavanje frekvencije tj. pretraživanje stanica. Kada se koriste digitalni interfejsi poput I2C, SPI ili UART-a za komunikaciju između integrisanog kola FM prijemnika i mikrokontrolera, neophodno je uskladiti nivoe digitalnih signala, odnosno logičkih nivoa, na obe strane komunikacije. Mikrokontroleri obično koriste logički nivo visokog naponskog opsega (npr. 3.3 V ili 5 V), dok integrisana kola FM prijemnika mogu zahtevati niže nivoe napona (npr. 1.8 V). Za usklađivanje nivoa signala može se koristiti konvertor naponskog nivoa koji će prilagoditi nivoe signala sa jednog nivoa na drugi. Na taj način se omogućava pouzdana komunikacija između integrisanog kola FM prijemnika i mikrokontrolera bez oštećenja ili nepravilnog rada, usled neslaganja u nivoima napona.

Naše istraživanje se bazira na izradi i realizaciji hardverskog i softverskog interfejsa za ručno upravljanje radio prijemnikom koristeći Arduino tehnologiju.

Za realizaciju ulaznog interfejsa pored Arduina Uno, koristili smo integrisano kolo RDA5807M, MOSFET transistor i odgovarajuće otpornike.

II. KOMPONENTE PROTOTIPA

Prototip sadrži sledeće komponente:

1.Integrisano kolo RDA5807M;

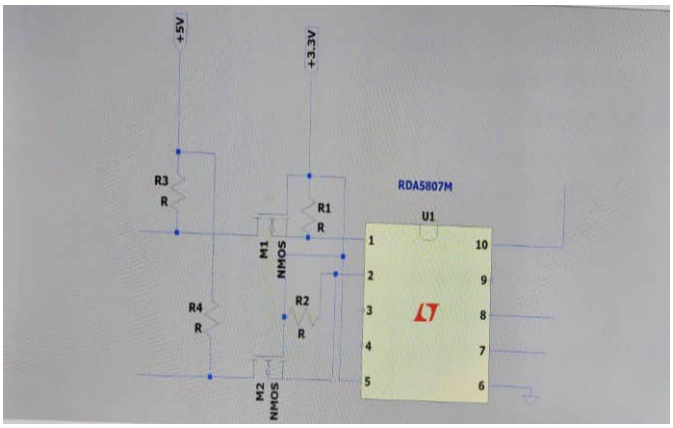
2.Konektor;

3.MOSFET transistor;

4.Otpornici od 10 kΩ;

5.Arduino razvojni sistem.

Na slici 1 prikazana je principska šema koja je korišćena u realizaciji interfejsa za FM prijemnik. RDA5807M-je visoko integrirani FM prijemnik koji se često koristi u raznim uređajima koji zahtevaju prijem FM signala. Pokriva FM frekvencijski raspon od 50 MHz do 115 MHz što obuhvata FM radio stanice širom sveta. Podržava komunikaciju putem digitalnih interfejsa poput I2C i SPI, što omogućuje jednostavnu integraciju s mikrokontrolerima i drugim digitalnim uređajima.



Slika 1. Principska šema projekta.

Kako bismo ostvarili napon od 3.3 V koji je neophodan za rad Arduina koristili smo realizaciju MOSFET tranzistora.

Ovo je korisno jer imamo napajanje od 5 V i želimo da snizimo napon na 3.3 V za napajanje Arduino mikrokontrolera.

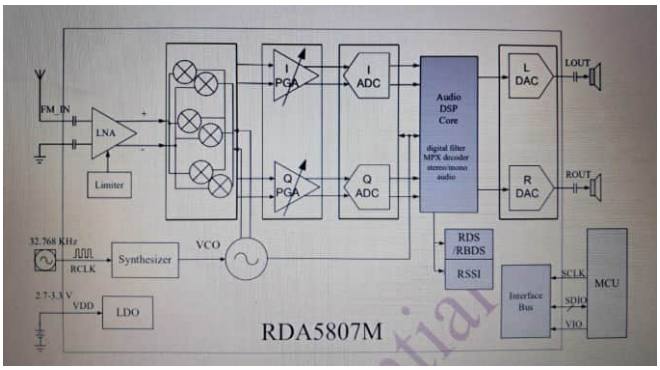
MOSFET tranzistor se koristi za kontrolu protoka struje u odgovarajućem smeru kako bi se postigao željeni napon.

FM prijemnik koristi digitalnu nisko-IF arhitekturu kako bi izbegao probleme konverzije, smanjio kompleksnost i troškove, integrišući pojačavač niskog šuma (LNA) za FM opseg (50 do 115 MHz), programabilnu kontrolu pojačanja (PGA), visokorezolutivne analogno-digitalne konvertore (ADC), audio DSP i digitalno-analogne konverte (DAC).

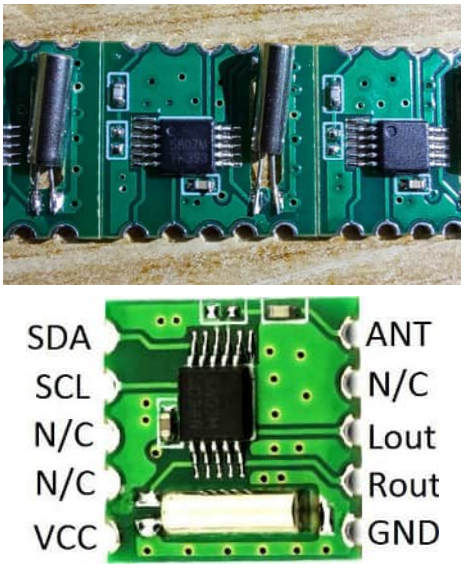
- **Limiter**: Ograničava preopterećenje i intermodulacione proizvode od jakih susednih kanala.
- **Višefazni mixer array**: Smanjuje diferencijalni RF signal izlaza LNA na nisko-IF, odbacuje sliku i harmonične tonove.

- **PGA (Programabilni pojačavač)**: Povećava izlazni IF signal miksera, koji se zatim digitalizuje ADC-om.
- **DSP (Digitalni signalni procesor)**: Vrši selekciju kanala, FM demodulaciju, stereo MPX dekodiranje i generisanje izlaznog audio signala.
- **MPX Dekoder**: Automatski prelazi iz stereo u mono kako bi ograničio izlazni zvuk.
- **DAC (Digitalno-analogni konvertor)**: Pretvara digitalni audio signal u analogni i prilagođava jačinu zvuka.

Ova arhitektura omogućava efikasnu obradu FM signala uz smanjenu kompleksnost i troškove, i uz visokokvalitetni izlazni zvuk.



Slika 2. Blok dijagram RDA5807M.



Slika 3. RDA5807M.

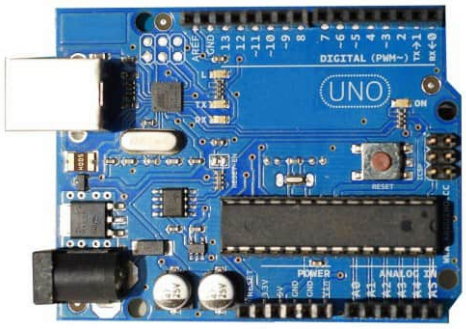
RDA5807M, čija je blok šema prikazana na slici 2, a samo integrisano kolo na slici 3, podržava I2C interfejs za komunikaciju sa drugim uređajima. I2C je serijski komunikacioni protokol koji omogućava razmenu podataka između različitih komponenti integrisanih kola.

I2C je protokol za komunikaciju između integrisanih kola na jako malim rastojanjima i koristi samo dve linije:

1.SDA (serial data) – linija za prenos podataka;

2.SCL (serial clock) – linija za takt.

Arduino je kompanija koja se bavi proizvodnjom mikrokontrolerskih ploča i prateće opreme. Njihovi proizvodi se temelje na otvorenom kodu, što znači da je hardver i softver koji koriste dostupan javnosti za proučavanje, modifikaciju i distribuciju. Arduino ploče su dostupne za komercijalnu kupovinu putem zvanične veb stranice Arduino, kao i preko ovlašćenih distributera širom sveta.



Slika 4. Arduino UNO.

Dizajn ploče Arduino obuhvata različite mikroprocesore i kontrolere. Ove ploče sadrže setove digitalnih i analognih ulazno/izlaznih (I/O) pinova koji omogućavaju povezivanje sa različitim dodacima ili modulima, kao i sa drugim elektronskim komponentama. Ploče takođe sadrže serijske komunikacione interfejse, uključujući USB (Universal Serial Bus) na nekim modelima, koji se koriste za programiranje i komunikaciju sa računarom.

Mikrokontroleri na Arduino pločama mogu biti programirani korišćenjem programskih jezika C i C++, uz korišćenje standardnog programskog interfejsa aplikacije (API), poznatog kao Arduino jezik. Pored tradicionalnih kompajlera, Arduino projekat pruža integrisano razvojno okruženje (IDE) i alat za komandnu liniju (arduino-cli), koji je razvijen u programskom jeziku Go.

Ova kombinacija fleksibilnosti, podrške za različite jezike i alata za razvoj omogućava širok spektar korisnika da lako razvijaju projekte sa Arduino platformom.

Na slici 4 je prikazan Arduino UNO sa svojim komponentama:

1.Pinovi;

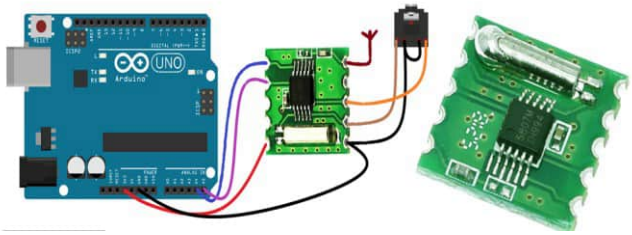
2.Napajanje;

3.LED indikator napajanja;

4.TX i RX LED diode;

5.Reset;

6.Glavno integrisano kolo.

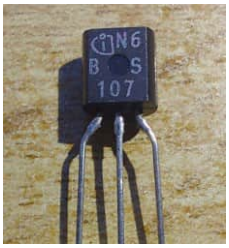


Slika 5. Povezivanje Arduina UNO sa integrisanim kolom.

Tranzistor- je elektronska komponenta koja se koristi za kontrolu protoka električne struje. On može delovati kao

pojačavač signala, prekidač ili osnovni gradivni blok u logičkim kolima.

Imamo dve vrste tranzistora: bipolarne i unipolarne. Bipolarni tranzistor se sastoji iz tri sloja P i N poluprovodnika sa kojih se izvode kontakti: emitora (E), baze (B) i kolektora (C). U slučaju unipolarnih tranzistora, unutrašnja konstrukcija je drugačija, a spolja su dostuni sors (S), gejt (G) i drejn (D). Na sledećoj slici (slika 6.) je prikazan transistor BS107 koji je korišćen u našem projektu. U pitanju je N-MOS transistor koji ima veoma mali napon praga (V_{gs}) koji je reda 2.5 V i odgovara naponskim nivoima koji se koriste u logičkim kolima sa naponom napajanja od 5 V. Zbog toga se on često navodi u literaturi i kao FET sa logičkim nivoima.



Slika 6. Tranzistor korišćen u izradi prototipa.

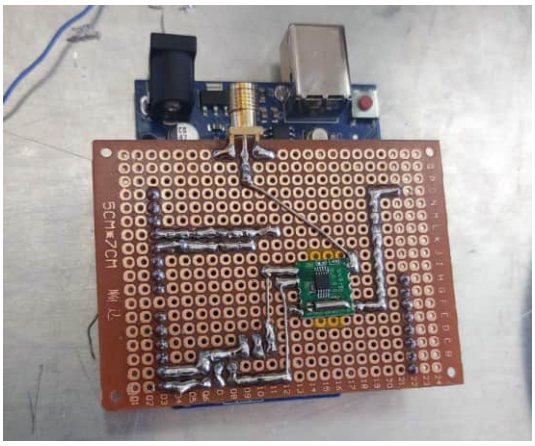
III. REALIZACIJA PROTOTIPA I DISKUSIJA

Kada smo krenuli sa realizacijom projekta prvo smo povezali nožice kako bismo integrisali projekat sa Arduino pločom. Zatim smo nastavili sa lemljenjem ostalih komponenti, uključujući otpornike radi zaštite od pregorevanja, tranzistor za prilagođavanje napona i samog integrisanog kola. Konektor se koristi za povezivanje antene sa prijemnikom, omogućavajući prijemniku da prima FM signale preko antene i pretvara ih u zvuk. Kroz analizu datasheet-a RDA5807M modula, detaljno smo proučili sve moguće načine povezivanja kako bismo osigurali pravilno funkcionisanje prototipa.



Slika 7. Slika u toku rada u laboratoriji.

Na slici 7 prikazan je jedan trenutak rada u laboratoriji, a na slici 8 prikazan je i realizovan prototip.



Slika 8. Realizovano integrisano kolo.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je realizacija i implementacija interfejsa za FM prijemnik sa mikrokontrolerom, kao deo šireg projekta izrade FM radio uređaja. Ovaj interfejs omogućava fizičko upravljanje FM radiom, omogućavajući korisnicima ručno podešavanje frekvencija i biranje stanica.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se na pomoći u pisanju rada prof. dr Dejanu Miliću i dr Jeleni Anastasov u okviru predmeta Telekomunikacije, koji smo pohađali na smeru Upravljanje sistemima, Elektronskog fakulteta Univerziteta u Nišu, u 5. semestru osnovnih akademskih studija. Hardverska realizacija dela projekta u okviru pomenutog predmeta izvedena je pri laboratoriji za Telekomunikacione sisteme, pod mentorstvom prof. dr Dejana Milića.

LITERATURA

[1] Arduino Uno, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno

[2] RDA5807, dostupno na: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1253730/ETC1/RDA5807.html

[3] Arduino tutorijal, dostupno na: https://www.circuitbasics.com/arduino-7-segment-display-tutorial

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.395C
Original scientific paper

LCD displej za FM radio prijemnik

Milica Ćirić
Upravljanje sistemima
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milicaciric@elfak.ni.ac.rs
ORCID: N/A

Dimitrije Golubović
Upravljanje sistemima
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dimitrije.golubovic@elfak.rs
ORCDI: N/A

***Sadržaj*—U ovom projektu se bavimo projektovanjem i regalizacijom hardvera i softvera LCD displeja za FM radio prijemnik, na bazi Arduina. Zbog mogućnosti tekstualnih i grafičkih prikaza, odlučili smo se za Philips-ov LCD displej korišćenjen na telefonu Nokia 3210. Realizovani prototip je pokazao odlične karakteristike, kao i fleksibilnost u pogledu prikazivanja različitih numeričkih, tekstualnih i grafičkih informacija.**

Ključne reči—Arduino, LCD displej, Nokia 3210, FM radio prijemnik

I. Uvod

Zadatak ovog projekta je projektovanje LCD displeja za FM radio. U ovom projektu ćemo se baviti osmišljanjem hardvera, a zatim i realizacijom softvera displeja u razvojnom okruženju Arduino.

Nokia 3210 je GSM (Global system for mobile) mobilni telefon, koji je Nokia objavila 18. marta 1999. Model 3210 je dizajnirao Alastair Curtis u Nokia dizajn centru u Los Anđelesu. Na ovom modelu korišćen je monohromatski grafički LCD displej PCD8544 od 1.5 inča sa pozadinskim osvetljenjem, rezolucije 48x84 piksela. Ovaj LCD displej je napravila kompanija Phillips.

Prototip koji smo realizovali sadrži sledeće komponente:

-LCD displej PCD8544
-4 otpornika od 10 kΩ i jedan od 1 kΩ
-kondenzator od 1 μF
-raster ploču
-jednostrana bakarna ploča
-Arduino razvojni sistem

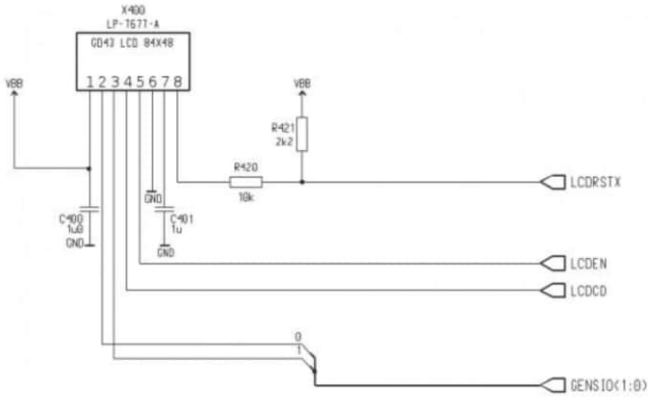
Korišćenje ovakvih komponenti ne samo da smanjuje troškove već i doprinosi održivosti u hardverskim projektima. Integracija sa Arduino platformom pokazuje fleksibilnost i jednostavnost u radu sa starim uređajima, dok demonstracija različitih funkcionalnosti ekrana, kao što su tekst, grafika i rotacija, ukazuje na mogućnosti šire primene ovakvih displeja u raznim projektima.

II. Komponente u realizaciji displeja

Šema koju je korišćena za realizaciju ovog projekta prikazana je na slici 1. Na toj slici se može videti povezivanje otpornika i pinova.

Osnovne specifikacije LCD displeja koji je korišćen, su:

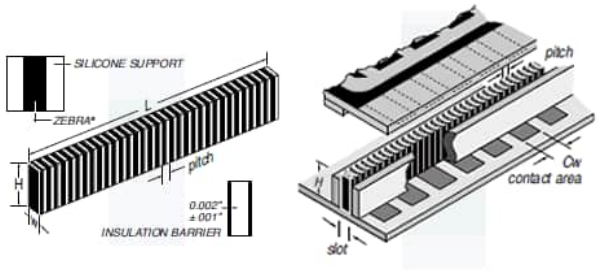
-Model: PCD8544
-Veličina: 1.5 inča sa pozadinskim osvetljenjem
-Identifikacioni broj pločice: 4850107, LPH7677-1
-LCD tip: pozitivan (nisu potrebne dodatne LED diode)
-Tip polarizatora: transflektivni (kombinuje reflektivna i transmisivna svojstva)
-Rezolucija: 48x84
-Konektor: zebra ili elastomerni (elastomeric)
-Broj pinova: 8
-Proizvođač: Phillips



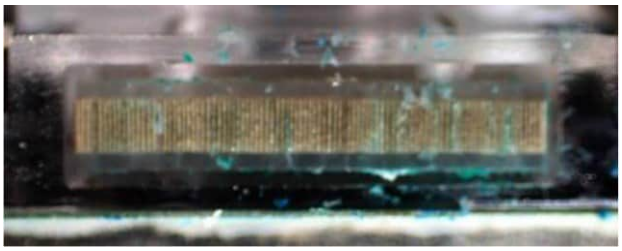
Slika 1. Šema povezivanja pinova.

U ovom projektu korišćeno je 5 otponika radi ograničavanja struje kroz segmente displeja. Iz strujno-naponske karakteristike koje je određena može se zaključiti koliki nam je otpornik potreban.

Elastomerni konektori, takođe poznati pod registrovanim zaštitnim znakom zebra konektori, se sastoje od naizmeničnih provodnih i izolacionih delova u gumenoj ili elastomernoj matrici (kako bi se proizvela ukupa anizotropna provodljiva svojstva). Zebra konektori, prikazani na slici 2 i 3, obezbeđuju redundantnu vezu sa najmanje dva provodna sloja. Originalna verzija se sastojala od naizmeničnih provodljivih i izolacionih slojeva silikonske gume, poprečno presečenih da bi se otkrili tanki slojevi. Oni obezbeđuju redundantne električne puteve visoke gustine za visoko pouzdane veze. Jedna od prvih primena bilo je povezivanje tankih i krhkih staklenih displeja sa tečnim kristalom (lyquid crystal display-LCD) na štampane ploče u elektronskim uređajima, pošto je bila potrebna mala struja.

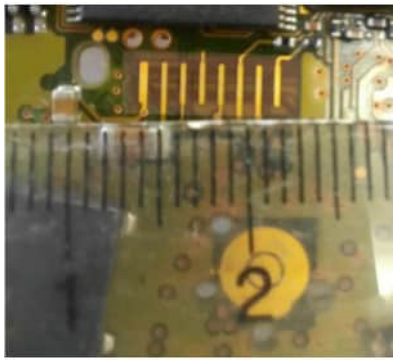


Slika 2. Zebra konektor (1).

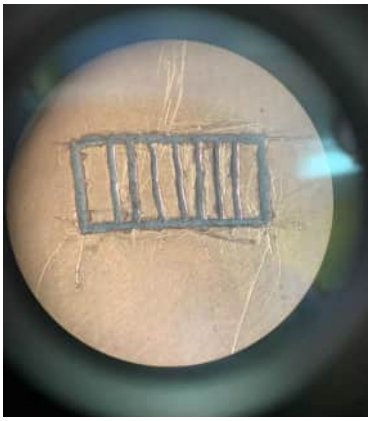


Slika 3. Zebra konektor (2).

Na samom početku, uzeli smo stari telefon Nokia 3210 iz laboratorije i rastavili ga kako bi uzeli displej. Postojala je dilema da li treba iskoristiti još neki deo iz unutrašnjosti telefona, pored ekrana, zato što su ekranu potrebni i neki pinovi koji bi kasnije služili za njegovo pokretanje. Došli smo do zaključka da za početak možemo da iskoristimo samo ekran iz telefona, uz koji je pričvršćen i zebra konektor, i da sami napravimo pinove na jednostranoj bakarnoj ploči. Kako bismo znali kojih dimenzija treba da budu pinovi, izmerili smo lenjirom dužinu zebra konektora i okvirno odredili rastojanje između pinova.



Slika 4. Merenje razmaka između pinova lenjirom.



Slika 5. Pinovi na bakarnoj ploči pod mikroskopom.

Na osnovu tih dimenzija su olovkom iscrtane linije po kojima se kasnije skidao bakar oštrijim alatom. Rezultate obrade bakarne ploče mogu se videti na slici 4. Na slici 5 prikazani su pinovi na bakarnoj ploči pod lupom.

Nakon toga, zalemljene su male žice koje su kasnije korišćene za povezivanje sa Arduinom. Provodnost žica smo ispitali uz pomoć unimera, tako što smo jedan banana priključak stavili na bakar, a drugi na kraj žice. Postupak je prikazan na slici 6.



Slika 6. Lemljenje žica.

Sledeći korak je bio da se malo više informišemo o tome kako zapravo radi naš displej. Na metalnog pločici koja je bila okvir ekrana, našli smo identifikacioni broj pločice, njega ukucali na pretraživaču i došli do osnovnih specifikacija, koje su prikayane na slici 8.

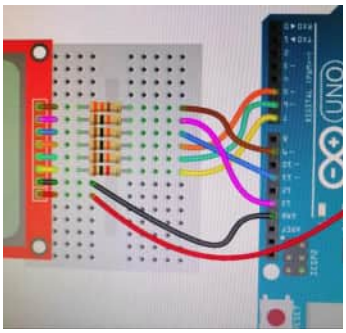
The LPH7779, LPH7690 [81] and LPH7677 have 8 pins

Pin	Label	Description
1	VDD	2.7V - 3.3V
2	CLK	Clock
3	SDIN	Data in
4	D/C	Data or command
5	SCE	Chip select
6	VSS	Ground
7	VLCD	DC/DC voltage converter
8	RES	Reset

Slika 7. Osnovne specifikacije.

Obeležili smo svaki od naših pinova, i krenuli sa ispitivanjem iz pomoć Arduina i unimera. Jako je bitno da se pinovi povezuju redom baš kao na prethodnoj slici, kako ne bi došlo do kratkog spoja i pregorevanja ekrana. Takođe, treba obratiti pažnju na to da ovaj ekran radi pri naponu od 2,7 V do 3,3 V, zbog čega smo morali da pazimo na koje napajanje ćemo priključiti sistem.

Prilikom ispitivanja, shvatili smo da je bitan položaj ekrana, odnosno zebra konektora, i pritisak kojim se prislanja na pinove. Tako smo došli na ideju da iskoristimo plastični okvir koji je bio deo ekrana, skratimo ga i pričvrstimo za pločicu. Obeležili smo poziciju za bušenje rupica, izbušili pločicu, i pričvrstili šrafovima i podloškama. Međutim, nismo uspeli da pokrenemo ekran. U čemu je problem? Nastavili smo sa istraživanjem, i naišli na šemu sa slike 8.



Slika 8. Povezivanje arduina sa pinovima.

Shvatili smo da su nam potrebna 5 otpornika (četiri od 10 kΩ i jedan od 1 kΩ). Potrebno ih je koristiti kako bismo ograničili struju kroz displej. Na slici 8 se može uočiti 6 otpornika, od kojih je jedan povezan na pin VLCD (DC/DC naponski konvertor). Upravo na taj pin nećemo povezati otpornik, nego kondenzator, što smo uradili na osnovu slike

Inače, Arduino je fizičko–računarska platforma otvorenog koda. Hardver se sastoji od jednostavnog otvorenog hardverskog dizajna arduino ploče sa Atmel AVR procesorom i pratećim ulazno-izlaznim elementima, tačnije, na sebi poseduje mikrokontroler. Softver se sastoji od razvojnog okruženja koje čine standardni kompajler i bootloader koji se nalazi na samoj ploči.

Arduino hardver se programira koristeći programski jezik zasnovan na Wiring jeziku. U osnovi je sličan C++ programskom jeziku sa izvesnim pojednostavljenjima i izmenama. Bitan aspekt Arduino projekta je standardizovan raspored konektora koji omogućava lako povezivanje sa dodatnim modulima, poznatijim kao štitovi.

Arduino integrisano razvojno okruženje dolazi sa C/C++ bibliotekom zvanom „Wiring“ koja čini uobičajene izlazno-ulazne operacije veoma jednostavnim.



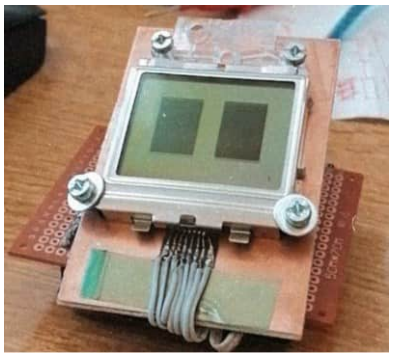
Slika 9. Arduino Uno.

Za realizaciju ovog projketa korišćen je Arduino Uno ploča (slika 9). Ona je bazirana na Microchip Atmega328P mikrokontroleru, koji je proizveden 2010.

III. Praktična realizacija

Za realizaciju ovog projekta koristili smo raster ploču dimenzije 7x9 cm i rupicu veličine 2,54 mm, na kojoj smo lemili kalajem komponente. Prvo smo zalemili žice koje smo prethodno povezali sa pinovima na bakarnoj ploči, ujedno prateći pinove na Arduinu. Nakon toga smo zalemili 5 otpornika i 1 kondenzator, po uzoru na slike 1 i 7. Posle svakog lemljenja, ispitana je provodnost našeg sistema korišćenjem unimera, kako prilikom dovođenja napona ne bi došlo do kratkog spoja.

Isprobavanjem više softverskih programa, naišli smo na jedan koji je uključio naš ekran, čime smo dokazali da su sva povezivanja ispravna. Na slici 7, može se videti primer rada našeg ekrana, gde se na istom prikazuju dva pravougaonika.



Slika 10. Ekran je konačno proradio.

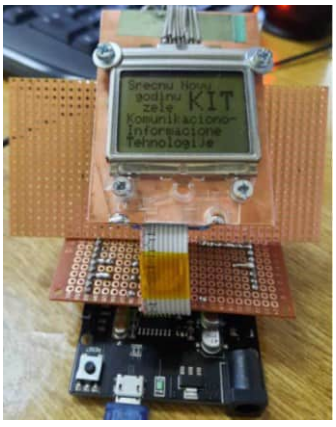
Međutim, ovaj kod nam nije dao širok spektar izmena prikaza na ekrana, te smo našli nova tri koda, jedan za tekst, drugi za oblike i treći za slike. U nastavku rada, na slikama 11-16 mogu se videti primeri korišćenih kodova i dobijenih prikaza na ekranu.

```
// Display Inverted Text
display.setTextColor(WHITE, BLACK); // 'inverted' text
display.setCursor(0,0);
display.println("Hello world!");
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();

// Scaling Font Size
display.setTextColor(BLACK);
display.setCursor(0,0);
display.setTextSize(2);
display.println("Hello!");
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();

// Display Numbers
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0,0);
display.println(123456789);
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();
```

Slika 11. Deo koda za prikaz teksta na ekranu.



Slika 12. Prikaz teksta na ekranu.

Kod primera koda na slici 13, imali smo mogućnost promene boje teksta (crnog u beli i obrnuto), promenu veličine teksta, korišćenja brojeva (binarnih i heksadecimalnih) i ASCII simbola i rotaciju teksta.

```
//Draw Filled Round Rectangle
display.fillRoundRect(0, 0, 60, 40, 8, BLACK);
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();

//Draw Circle
display.drawCircle(20, 20, 20, BLACK);
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();

//Draw Filled Circle
display.fillCircle(20, 20, 20, BLACK);
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();

//Draw Triangle
display.drawTriangle(20, 0, 0, 40, 40, 40, BLACK);
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();
```

Slika 13. Deo koda za prikaz oblika.



Slika 14. Prikaz trougla na ekranu.

```
    0x87, 0xff, 0xe3, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xf0, 0x7c, 0x3f, 0x87, 0xff
    0x00, 0x00, 0x0f, 0xf0, 0x3c, 0xff, 0x05, 0xff, 0xf3, 0xfc, 0x00, 0x00, 0x00
    0xfe, 0x09, 0xff, 0xf7, 0xfc, 0x00, 0x00, 0x00, 0x08, 0xf8, 0x01, 0xfc, 0x19
    0x00, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x78, 0x00, 0x00, 0x13, 0xff, 0xff, 0xf8, 0x00, 0x00
    0x00, 0x00, 0x23, 0xff, 0xff, 0xf0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0e, 0xf8, 0x00, 0x00
    0xf0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0c, 0xfa, 0x00, 0x01, 0x8f, 0xff, 0xff, 0xe0, 0x00
    0x7b, 0x00, 0x03, 0x3f, 0xff, 0xff, 0xe0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x3b, 0xf8
    0xff, 0xe0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0f, 0xbb, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xf0
    0x07, 0xfb, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xf0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x71
    0xff, 0xff, 0xe0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x41, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff
};

void setup()   {
    Serial.begin(9600);

    //Initialize Display
    display.begin();

    // you can change the contrast around to adapt the display for the best view
    display.setContrast(57);

    // Clear the buffer.
    display.clearDisplay();

    // Display bitmap
    display.drawBitmap(0, 0,  MarilynMonroe, 84, 48, BLACK);
```

Slika 15. Deo koda za prikaz slike.



Slika 16. Prikaz slike Merilin Monro na ekranu.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom projektu cilj je bio realizovati hardverski i softverski deo displeja iz Nokia-e 3210, koji se bazira na Arduino Uno okruženju. U cilju projektovanja FM radia, podeljeni smo u 11 grupa, gde je svaka grupa imala drugačije zaduženje i uspešno realizovala svoj deo projekta. Primarni zadatak naše grupe je bio „oživeti" displej starog telefona koji će kasnije prikazivati frekvenciju radio stanice.

Ovaj projekat nam je omogućio neko novo i lepo iskustvo u našoj struci, gde smo naučili dosta toga što nam je od velikog značaja u daljoj karijeri i školovanju. Iako smo počeli sa izradom projekta sa minimalnim znanjem o tome kako sve treba da funkcioniše, uz konstantu asistenciju i podršku profesora Milića, svaki put iz laboratorije izađemo sa nekim novim informacijama i znanjem koje će nam sigurno ostati urezano godinama.

ZAHVALNICA

Ovaj rad napisan je kao deo studentskog projekta u okviru ispita Telekomunikacije, prof. dr Dejana Milića i dr Jelene Anastasov, na modulu Upravljanje sistemima, Elektronskog fakulteta Univerziteta u Nišu. Ispit je u 5. semestru osnovnih akademskih studija. Hardverska realizacija projekta izvedena je pri laboratoriji za Telekomunikacione sisteme, pod mentorstvom prof. dr Dejana Milića.

LITERATURA

[1] Arduino Uno: https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno

[2] Otpornik, dostupno na: https://sh.wikipedia.org/wiki/Otpornik

[3] Kondenzator, dostupno na: https://sh.wikipedia.org/wiki/Kondenzator

[4] Elastomerni/zebra konektor, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Elastomeric_connector

[5] Specifikacije LCD displeja, pinovi elastomera i šema sa slike 1, dostupno na: http://www.projects.scorchingbay.nz/dokuwiki/electronic/lcd/nokia3210

[6] Arduino kodovi, dostupno na: https://lastminuteengineers.com/nokia-5110-lcd-arduino-tutorial/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.399M
Original scientific paper

Gajgerov brojač

Katarina Milić
Elektronski fakultet
Univezitet u Nišu
Niš, Srbija
katarina.milic@elfak.rs
ORCID: N/A

Miljan Nedeljković
Elektronski fakultet
Univezitet u Nišu
Niš, Srbija
miljann @elfak.rs,
ORCID: N/A

***Sadržaj* — U ovom projektu se bavimo projektovanjem i regalizacijom hardvera za Gajgerov brojač. Potrebno je realizovati jednostavan način detektovanja alfa, beta i gama čestica uz pomoć PIN fotodioda i ostalih potrebnih komponenti. Zbog jednostavnosti hardverske realizacije smo se odlučili da kao osnovu koristimo „Stuttgarter-Geigerle“ koji smo pronašli na internetu. Realizovani prototip je pokazao odlične karakteristike, ali je i otvorio puno mogućnosti za dalje usavršavanje.**

Ključne reči — Gajgerov brojač, PIN fotodioda.

I. Uvod

Zadatak ovog projekta je projektovanje i realizacija jednog Gajgerovog brojača. U ovom projektu ćemo se baviti osmišljavanjem hardverskog dela brojača. Gajgerov brojač [1] je elektronski uređaj koji služi za detekciju i merenje jonizujućeg zračenja. Prvi prototip Gajgerovog brojača osmislio je 1928. godine nemački fizičar *Hans Geiger* zajedno sa kolegom *Waltherom Müllerom*, čime je omogućena detekcija alfa i beta čestica. Ovaj uređaj koristi se u naučnim istraživanjima, nuklearnoj industriji i medicini za merenje nivoa zračenja. Razvojem elektronike, Gajgerov brojač postao je kompaktniji i lakši za korišćenje, što je omogućilo širu primenu u različitim oblastima.

PIN fotodioda može detektovati jonizujuće zračenje, uključujući gama zrake i X-zrake; zahvaljujući njenoj sposobnosti da reaguje na visokoenergetske fotone koji potiču od radioaktivnog raspada. Kada jonizujuće zračenje udari u materijal PIN fotodiode [2], ono oslobađa elektrone iz atoma silicijuma (ili drugog poluprovodničkog materijala), stvarajući električne nosioce (elektrone i šupljine). Ovaj proces generiše električni signal koji može biti proporcionalan intenzitetu zračenja [3].

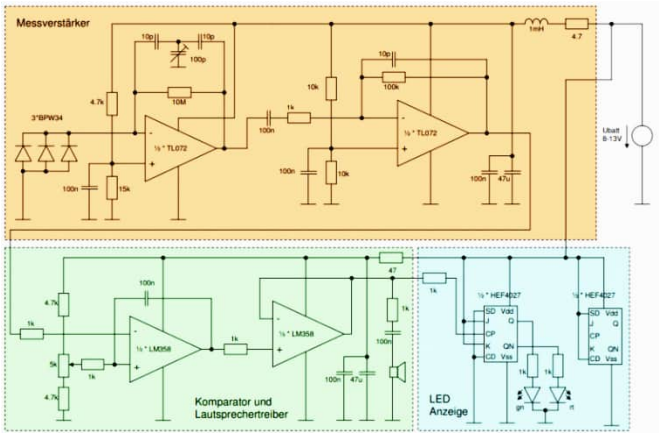
II. Komponente prototipa

Prototip koji je realizovan u okviru ovog projekta sadrži sledeće komponente:

- Otpornik (različitih otpornosti: 1 kΩ, 4.7 Ω, 15 kΩ, 10 MΩ, 100 kΩ, 47 Ω, 5 kΩ)
- Kondenzator (različitih kapacitivnosti: 10 pF, 100 nF, 47 μF)
- Kalem induktivnosti 1mH
- PIN fotodiode (BPW34)
- JK Flip-Flop (HEF4027)
- Operacione pojačavače (TL072 i LM358)
- LE diode (crvena i plava)
- Trimer potenciometar (5 kΩ)

A. Šema projekta

Šema [5] koja je korišćena za realizaciju ovog projekta prikazana je na slici 1. Na toj slici se može videti da je sama šema podeljena na tri funkcionalna bloka, koji se razlikuju po bojama. Način povezivanja svih potrebnih komponenti u kolu je izveden iz ove šeme.



Slika 1. Šema projekta, preuzeta iz [5].

Merni pojačavač ("*Messverstärker*") - narandžasti deo. Ovaj blok koristi tri fotodiode kao senzore za detekciju svetlosti, odnosno čestica. Signal sa fotodioda se obrađuje putem operacionog pojačavača TL072. Kroz seriju kondenzatora, otpornika i kalemova, signal se filtrira, pojačava i stabilizuje. Ulazni deo ima i zaštitu od preopterećenja dioda. Operacioni pojačavači se koriste za pojačavanje signala koji su generisani na fotodiodama i koji su vrlo niskih nivoa. Zbog ovoga je potrebno da pojačanje bude relativno veliko, posebno u prvom stepenu.

Komparator i drajver zvučnika ("*Komparator und Lautsprechertreiber*") - zeleni deo. U ovom bloku koristi se LM358 operacioni pojačavač za komparaciju signala. Na osnovu signala sa mernog pojačavača, on odlučuje kada će aktivirati zvučnik. Zvučnik će se oglasiti kada signal pređe određeni prag, koji se može podesiti pomoću trimer otpornika.

LED prikaz ("*LED Anzeige*") - plavi deo. HEF4027 (JK flip-flop) upravlja LED indikatorima (u našem slučaju - crveni i plavi). Na osnovu signala iz komparatora, crvena ili plava LE dioda se aktivira, pružajući vizuelni prikaz

trenutnog stanja. Napajanje celog sistema je u opsegu 8-13 V.

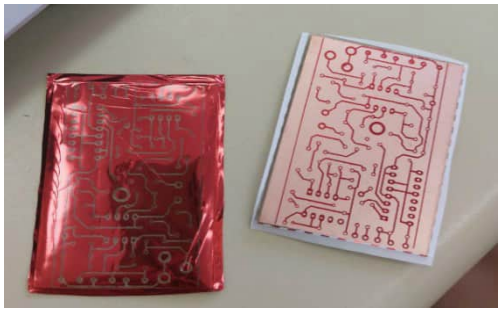
B. PIN fotodioda

Osnovne specifikacije PIN fotodioda [4] koje su korišćene, su:

- Model: BPW34
- Veličina: (Dužina × Širina × Visina, u mm): 5.4 × 4.3 × 3.2
- Osetljiva oblast zračenja (u mm^2): 7,5
- Visoka fotoosetljivost
- Visoka osetljivost na zračenje
- Proizvođač: Vishay Semiconductors
- Ugao poluosetljivosti: $\phi = \pm 65°$

III. PRAKTIČNA REALIZACIJA

Šemu koju smo pronašli na internetu [5], a zatim je prilagodili našim potrebama upotrebom inverznog inženjeringa, bilo je potrebno preneti na štampanu ploču. Proces štampanja šeme na bakarnoj pločici za izradu štampane ploče (PCB) sastoji se od nekoliko ključnih koraka. Prvo, dizajn električne šeme se pravi u softveru za dizajn PCB-a (koristili smo KiCad). Ova šema uključuje povezivanje svih komponenti pomoću bakarnih vodova. Nakon kreiranja šeme, softver generiše gerber fajl ili izlaz koji predstavlja raspored bakarnih vodova. Ovaj fajl se koristi za izradu maske ili šablona. Korišćena je jednostrana bakarna pločica, koja je prekrivena slojem bakra na jednoj strani. Površina bakarne pločice mora biti čista i glatka kako bi se omogućila pravilna adhezija maske. Pločica je očišćena finim brusnim papirom, a zatim isprana alkoholom i acetonom kako bi se uklonila sva prljavština i masnoća. Šema se preslikava na specijalni papir (sjajni papir) upotrebom laminatora. Ovaj papir se postavi na očišćenu bakarnu pločicu, a zatim se pomoću laminatora pritisne i zagreva, čime se toner sa papira prenosi na bakar.

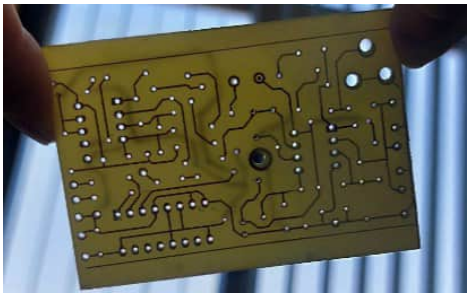


Slika 2. Izgled štampane pločice nakon laminatora.

Nakon hlađenja, papir se potapa u vodu, a toner ostaje zalepljen na pločici, prekrivajući delove bakra koji neće biti uklonjeni, slika 2.

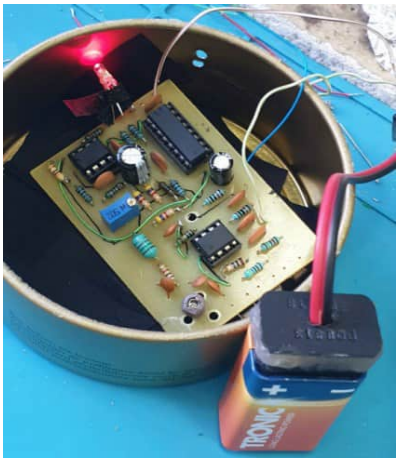
Nakon prenosa dizajna, pločica se potapa u rastvor za nagrizanje (rastvor hlorovodonične kiseline sa dodatkom vodonik-peroksida kao katalizatora). Ovaj rastvor rastvara bakar na delovima pločice koji nisu zaštićeni tonerom. Nakon što se završi nagrizanje i sav nepotreban bakar ukloni, pločica se izvadi iz rastvora i temeljno ispere vodom. Zaštitni sloj tonera koji je štitio bakar sada se uklanja korišćenjem acetona ili alkohola, otkrivajući samo bakarne vodove koji su ostali nakon ovog procesa.

Na mestima gde će biti postavljene komponente (poput otpornika, tranzistora, kondenzatora...) potrebno je izbušiti rupice odgovarajućih dimenzija. Ovo smo odradili ručno uz pomoć precizne burgije koja nam je bila dostupna u laboratoriji, slika 3. Kada je pločica spremna može se početi sa ručnim lemljenjem komponenti uz pomoć kalaja i lemilice.



Slika 3. Pločica spremna za lemljenje komponenti.

Za realizaciju ovog projekta je korišćena jednostrana bakarna ploča dimenzija 7×9 cm, sa rupicama veličine 0,6 mm do 1 mm, na kojoj smo kalajem zalemili potrebne komponente. Najpre su zalemljena podnožja za operacione pojačavače i JK flip-flop, a zatim i sve ostale komponente koje su bile tipa *trough-hole*, kao i PIN fotodiode na samom kraju. Povezivanje u najvećem delu prati priloženu šemu (slika 1.), osim nekoliko detalja koji su izvedeni uz modifikacije. Zatim je nabavljen izvor napajnja, baterija od 9 V koja je povezana u kolo. Dodat je jedan eksterni 3,5 mm audio izlaz za standradne slušalice ili zvučnik, koji bi proizvodili zvuk svaki put kada bi se detektovala čestica (implus) na PIN fotodiodama. Na samom kraju je baterija i pločica spakovana u metalnu kutiju kako bismo napravili uslove najsličnije potpunom mraku i tako dobili finalni izgled ovog projekta, slika 4.



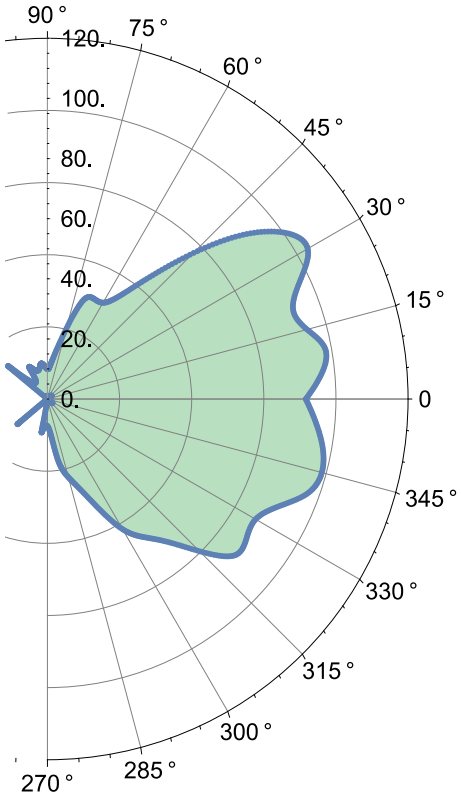
Slika 4. Konačni izgled realizovanog Gajgerovog brojača.

Da bi se poboljšala verovatnoću da čestice pogode fotodiode, bilo je nephodno obezbediti da uređaj ostane u potpunom mraku, ali da barijera prema soljašnjosti bude što manjih dimenzioja. Zbog toga je napravljen otvor u mesinganoj kutiji u pravcu fotodioda, a ovaj otvor je zatim prekriven veoma tankom aluminijumskom folijom. Tanka folija predstavlja prepreku za čestice, posebno u smislu alfa i

beta zračenja, ali je pretpostavka da će izvestan broj ovih čestica ipak uspeti da prođe kroz nju i izazove odziv.

IV. Testiranje

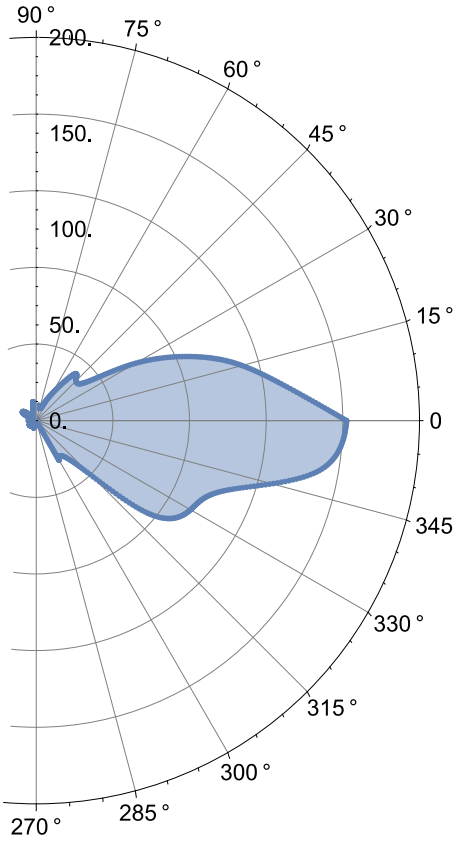
Testiranje Gajgerovog brojača je iyvedeno u Laboratoriji za Telekomunikacione sisteme na Elektronskom fakultetu, a umesto izvora koji emituje gama čestice, korišćeno je kosmičko zračenje. Prototip je povezan sa osciloskopom i, iako veoma retko, bilo je moguće ispratiti promenu imulsa i čuti zvuk na zvučniku svaki put kada bi čestica pogodila PIN fotodiode. Zatim smo pozajmili jedan školski izvor iz Laboratorije za Fiziku kako bismo detaljnije mogli da testiramo naš prototip.



Slika 5. Zavisnost broja detekcija u minutu, od ugla izvora - upravno na detektor.

Eksperiment je izveden na sledeći način: Gajgerov brojač je postavljen u centar kružnice čiji je poluprečnik 10 cm, a na fiksiranu konstrukciju je postavljen izvor, koji je bilo moguće okretati u krug oko detektora. Na sam prototip je povezan brojač sa sedmosegmentnim displejem, koji je bio dostupan u laboratoriji i koji je poslužio za merenje broja čestica koje detektuju PIN fotodiode u zadatom vremenskom intervalu. Ovaj brojač koristi USB port kao izvor napajanja, odnosno može da se napaja iz punjača za mobilni telefon. Kao ulaz se koristi BNC konektor koji smo povezali sa detektorom umesto slušalica tako da, umesto da impuls ide u slušalice ili zvučnik, brojač poveća svoje stanje za jedan. Merenja su vršena tako što je konstrukcija sa izvorom rotirana za po 10 stepeni, a nakon svakih 60 sekundi je zabeležen broj detektovanih čestica. Pomeranjem konstrukcije za svaki sledeći ugao, merenja su nastavljena dok nije izvršena puna rotacija od 360 stepeni. Na osnovu prikupljenih podataka, uz pomoć profesora, iscrtali smo grafički prikaz zavisnosti broja detektovanih čestica u zavisnosti od ugla, što je prikazano na slici 5.

Zatim smo odlučili da eksperiment ponovimo ali ovog puta smo zamenili mesta detektora i izvora tako da je sada izvor bio u centru kružnice, a detektor je rotiran oko njega. Ovo je bio logičan nastavak eksperimenta kako bismo dobili više informacija i uporedili ove dve iteracije. Rezultati drugog merenja prikazani su na slici 6. Uočava se da je ugao u kome izvor zrači manji od ugla osetljivosti detektora. Ove dve karakteristike su međusobno povezane, tako da je u budućnosti potrebno preciznije razmatranje i merenje da bi se dobile međusobno nezavisne karakteristike.



Slika 6. Ugaona zavisnost broja detekcija kada se detektor rotira u odnosu na statični izvor.

Fotografija eksperimentalne postavke merenja u laboratoriji je prikazana na slici 7.

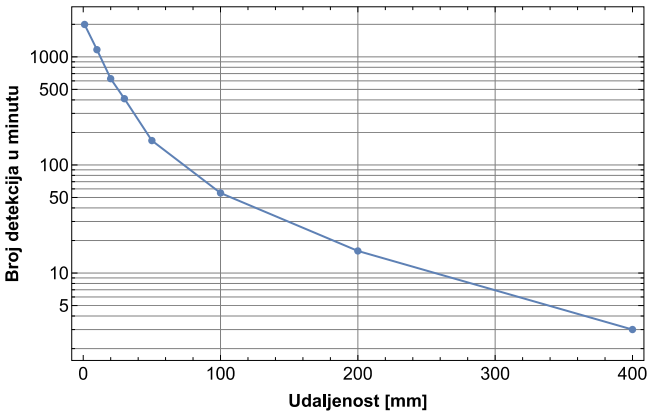
Na samom kraju smo odlučili da je potrebno testirati još i to kako će se detektovati čestice ukoliko se Gajgerov brojač i izvor postave jedan naspram drugog, ali ovog puta - tako što se menja isključivo njihovu međusobna udaljenost. Rezultati ovog eksperimenta se mogu videti na slici 8. Broj detektovanih čestica u jedinici vremena opada sa povećanjem rastojanja, ali je brzina ovog opadanja znatno veća u početku, odnosno pri malim rastojanjima. Pretpostaka je da se ovakvo ponašanje odnosi na alfa čestice koje se u vazduhu sudaraju sa molekulima i relativno brzo gube energiju. Nakon oko 10 cm broj detekcija opada sporije, što je u skladu sa sve manjim prostornim uglom detektora, gledano od strane izvora.

Dobijeni rezultati, prikazani grafički, pokazali su varijacije u broju detektovanih čestica u različitim uglovima, što ukazuje na nejednaku distribuciju zračenja oko izvora. Ovo je bilo korisno za dalje razumevanje raspodele čestica u

prostoru i potvrđuje potrebu za preciznim pozicioniranjem detektora prilikom merenja.



Slika 7. Eksperimentalna postavka merenja u laboratoriji.



Slika 8. Zavisnot broja detekcija od udaljenosti izvora i detektora, za nulti ugao.

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih eksperimenata i testiranja može se zaključiti da broj čestica detektovanih putem PIN fotodioda u prototipu Gajgerovog brojača zavisi od udaljenosti između izvora i detektora, kao i od ugla pod kojim su oni međusobno postavljeni. Međutim, prisustvo detektovanih čestica čak i kada je izvor pozicioniran iza mesinganog kućišta isključuje mogućnost da se radi o alfa i beta česticama. Najverovatnija hipoteza je da su detektovane čestice gama zraci, s obzirom na njihovu sposobnost da prolaze kroz metale kao što je mesing.

ZAHVALNICA

Autori ovog rada žele da iskažu iskrenu zahvalnost svom profesoru i mentoru prof. dr Dejanu Miliću za njegovu nesebičnu podršku, stručne savete i vođenje tokom izrade ovog projekta. Njegovo znanje, strpljenje i entuzijazam bili su od presudnog značaja za uspešnu realizaciju našeg istraživanja. Takođe, hvala mu na vremenu koje je izdvojio za nas, kao i na inspiraciji koja nas je motivisala da istražujemo dalje i ostvarimo što bolje rezultate.

LITERATURA

[1] Wikipedia, "Geiger counter", dostupno putem interneta na adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Geiger_counter, datum pristupa 23.10.2024.

[2] Wikipedia, "PIN diode", dostupno putem interneta na adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/PIN_diode, pristupljeno 23.10.2024.

[3] Dejan Milić, „Optičke telekomunikacije“, Edicija: Osnovni udžbenici, Izdavač: Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, 2016. ISBN: 978-86-6125-152-8

[4] Vishay Semiconductors, "BPW34, BPW34S, Silicon PIN Photodiode", kataloški podaci, dostupno putem interneta na adresi: https://octopart.com/datasheet/bpw34-vishay-55401749, pristupljeno 23.10.2024.

[5] Bernd Laquai, "Do-it-yourself Geiger Counters, Radioation Measurement and Infos on Radioctivity", dostupno putem interneta na adresi: http://www.opengeiger.de/index_en.html, datum pristupa: 23.10.2024.

[6] Texas Instruments, "TL07xx Low-Noise FET-Input Operational Amplifiers", kataloški podaci, dostupno putem interneta na adresi: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl072.pdf, pristupljeno 23.10.2024.

[7] Texas Instruments, "Industry-Standard Dual Operational Amplifiers datasheet (Rev. AB)", kataloški podaci, dostupno putem interneta na adresi: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf, pristupljeno 23.10.2024.

[8] NXP Semiconductors, "HEF4027B, Dual JK flip-flop, Rev. 9", kataloški podaci, dostupno putem interneta na adresi: https://www.farnell.com/datasheets/1758118.pdf, datum pristupa 23.10.2024.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.403K
Original scientific paper

Projektovanje i implementacija štampane ploče u robotskom sistemu za praćenje linije

Bogdan Kostić
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
bogdan.kosta@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*— U radu je opisan postupak projektovanja i implementacije štampane ploče u robotskom sistemu za praćenje linije, koristeći Arduino ploču, zasnovanoj na ATmega328P mikrokontroleru. Glavni cilj projekta je dizajniranje kompaktne štampane ploče, koja omogućuje pouzdanost i jednostavnu implementaciju u robotskom sistemu. U prvom delu projekta prikazan je detaljan postupak projektovanja štampane ploče u programskom okruženju Altium Designer. U drugom delu projekta prikazan je postupak integracije štampane ploče u realan robotski sistem.**

Ključne reči—štampana ploča, Altium Designer, robtoski sistem za praćenje linije, Arduino

I. Uvod

Autonomni roboti koji prate linije predstavljaju važan razvojni korak kako u modernoj obrazovnoj robotici tako i u industrijskoj primeni. Takvi roboti bi obavljali zadatke u rasponu od najjednostavnijih edukativnih eksperimenata do veoma složenih zadataka u savremenim industrijskim postrojenjima. Glavna funkcionalnost robota koji prati liniju je sposobnost da prepozna i prati određenu unapred utvrđenu putanju pomoću senzora koji procenjuju kontrast između linije i površine.

Dizajn štampane ploče robota koji prati liniju treba da bude optimizacija elektronskog sistema koji integriše senzore, mikrokontroler, kola za upravljanje motorom i sistem za upravljanje napajanjem. Pravilno dizajnirana štampana ploča ne samo da čini da sistem funkcioniše, već utiče i na pouzdanost, stabilnost i energetsku efikasnost robota. Kompaktnost i modularnost u dizajnu mogu olakšati nadogradnju i mogu prilagoditi robota za različite svrhe.

II. Projektovanje štampane ploče

Štampana ploča u potpunosti je izrađena u programu Altium Designer. On predstavlja kompaktan programski alat namenjen projektovanju, dizajnu, simulaciji i izradi štampanih ploča, koristeći veliki broj biblioteka komponenata. U okviru softverskog okruženja Altium Designer postoji više manjih potprograma, u ovom radu biće prikazana tri potprograma.

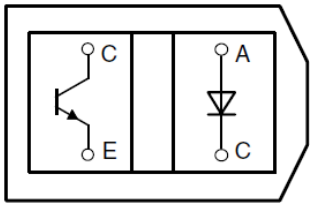
Schematic Editor omogućava crtanje šeme uređaja, korišćenjem komponenti koje su definisane u postojećim bibliotekama komponenti i njihovim međusobnim povezivanjem.

PCB Editor je program u kojem se definiše fizički izgled štampane ploče raspoređivanjem otisaka (*footprint*) komponenti i njihovim povezivanjem provodnim vezama.

PCB 3D prikazuje prostorni model štampaneploče kao i grafički prikaz svih komponenata.

A. Električna šema

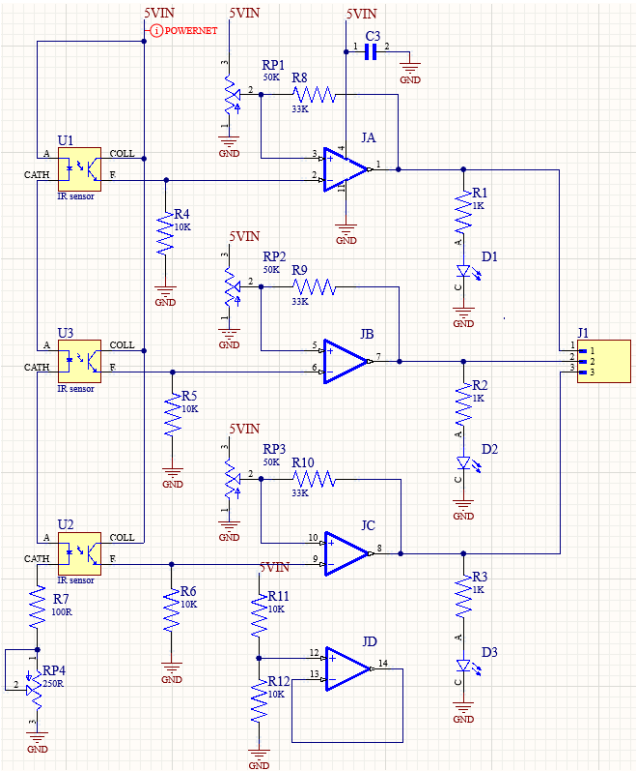
Električna šema robota, sastoji se iz tri dela. Prvi deo šeme predstavlja senzorski deo robota, koji se sastoji od tri TCTR5000 reflektivna IR (eng. Infrared) senzora. Senzor funkcioniše koristeći princip refleksije svetlosti, pri čemu emituje infracrvenu (IR) svetlost i meri reflektovanu svetlost da bi detektovao prisustvo objekta ili promenu površine. Infracrveni emiter i fototranzistor, su fizički razdvojeni plastičnim kućištem. Na slici 1 prikazan je simbol senzora.



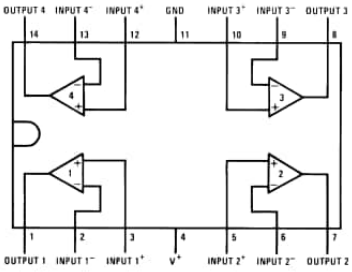
Slika 1. TCTR5000 reflektivni senzor [1].

Električna šema logičkog dela kola prikazana je na slici 2. Svaki senzor povezan je na po jedan operacioni pojačavač, u sklopu integrisanog kola LM324N (slika 3) [2]. Neiskorišćeni ulazi i izlazi operacionog pojačavača povezani su u kombinaciji sa naponskim razdelnikom, na osnovu [3]. Bypass kondenzator C3 služi za otklanjanje naponskih šumova i smetnji koje dolaze iz napajanja, filtririra visokofrekventne signale i omogućava stabilnost. Obrtni potenciometri korišćeni su za podešavanje osetljivosti senzora u zavisnosti od osvetljenosti prostorije u kojoj se robot korisiti. Senzora kada detektuje liniju, uključiće LED diodu, koja doprinosi vizuelnom prikazu. Na kraju, izlazi iz operacionih pojačavača preko pinova, povezuju se direktno na Arduino.

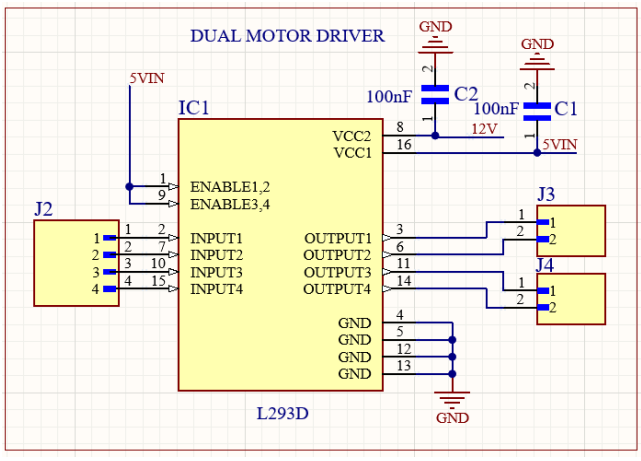
Drugi deo blok šeme predstavlja pokretački deo robota. U ovu svrhu korišćena su dva DC motora i integrisano kolo L293D. Integrisano kolo, u zavisnosti od kombinacije digitalnih signala na pinovima 2, 7, 10, 15, kontroliše smer kretanja motora, čime se vrši kretanje robota u različitim pravcima [4].



Slika 2. Šematski prikaz logičkog dela kola.

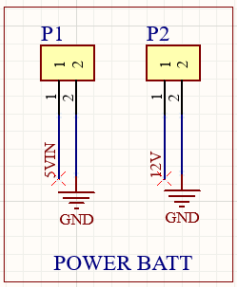


Slika 3. Raspored pinova integrisanog kola LM324N [2].



Slika 4. Blok šema povezivanja motora i integrisanog kola L293D.

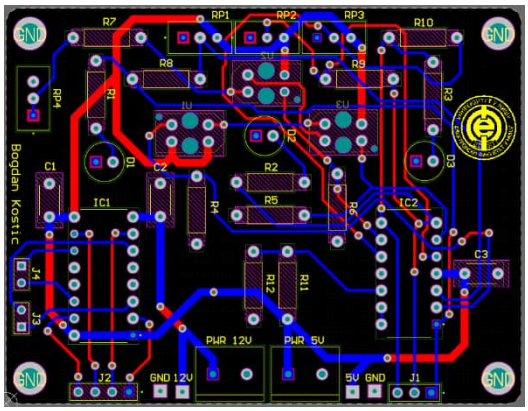
Treći deo blok šeme predstavlja napajanje robota. Za napajanje potrebno je eksterno dovesti napone od 5 V i 12 V.



Slika 5. Napajanje robota.

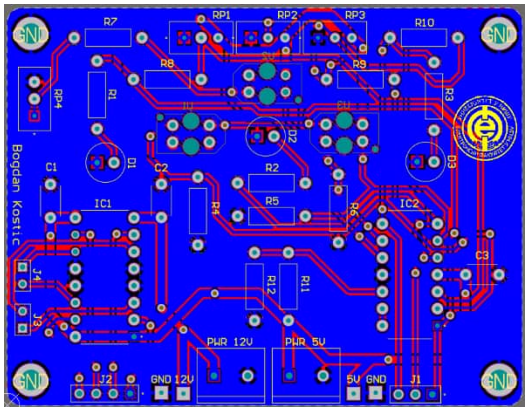
B. Raspored i rutiranje komponenti na štampanoj ploči

Projektovana štampana ploča sastoji se iz dva sloja. Zbog jednostavnosti ručnog lemljena, izabrane su *through-hole* komponente. Komponente koje se nalaze sa gornje strane rutirane su tako da se lemljenje vrši na donjem sloju, nasuprot tome senozori koji se nalaze sa dodnje strane, rutirani su tako da se lemljenje vrši na gornjem sloju. Na ovaj način smanjuje se mogućnost greške i pojednostavljuje proces lemljenja.

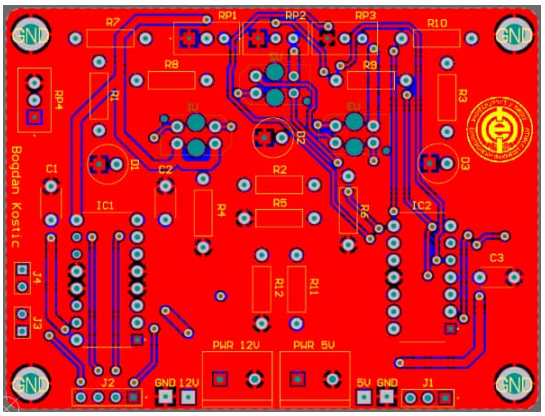


Slika 6. Raspored komponenti i rutriranje linija veze.

Da bi se smanjilo pregrevanje, debljina linija veze od 5 V i 12 V postavljena je na 50 milsa. Na obe strane štampane ploče izlivena je masa (slike 7 i 8). To se radi iz više razloga, a osnovni motiv je da se smanji električni šum, miniminizuju neželjene petlje koje mogu biti ostvarene preko zajedničke mase (eng. *ground loops*) i preslušavanje između pojedinih veza na štampanoj ploči [5].



Slika 7. Izgled ploče nakon izlivanja mase sa donje strane.

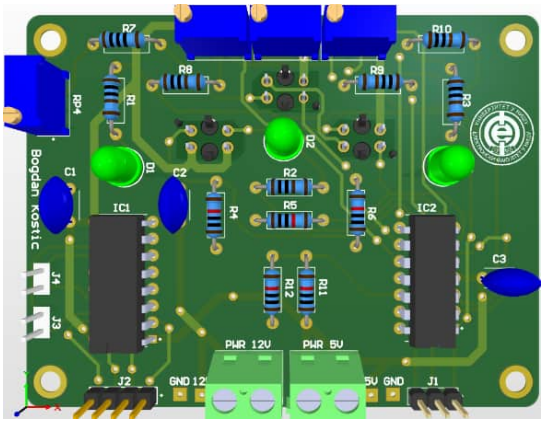


Slika 8. Izgled ploče nakon izlivanja mase sa gornje strane.

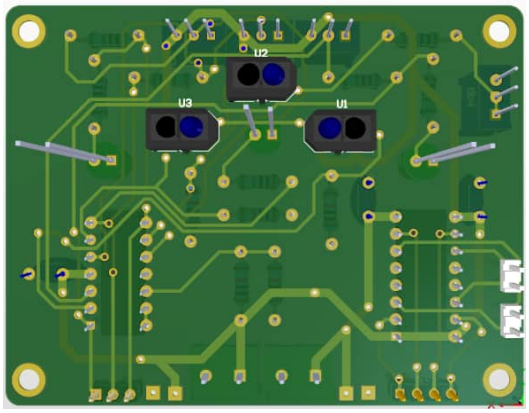
Prilikom korišćenja opcije za proveru dizajna, DRC (*Design Rule Check*), nisu pronađene nikakve greške. Ovim se potvrđuje da je štampana ploča spremna za izdradu i može se generisati proizvodna dokumentacija, odnosno *gerber* fajlovi, neophodni porizvođaču ploče prilikom izrade.

C. *Završni igled ploče*

Poslednji korak u dizajniranju štampane ploče predstavlja prikaz 3D modela, koji omogućuje pregled konačnog izgleda i detaljan uvid u raspored svih komponenti (slike 9 i 10).



Slika 9. 3D prikaz prednje strane ploče.



Slika 10. 3D prikaz zadnje strane ploče.

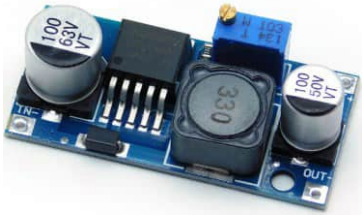
III. Povezivanje štampane ploče i robotskog sistema

Za povezivanje štampane ploče sa robotskim sistemom, potrebno je eksterno, kompaktno napajanje, DC-DC konverter napona, DC motori, kao i Arduino ploča. Za napajanje robota izabran je Panasonikov paket baterija 18650 u konfiguraciji 3S1P, tri ćelije povezane redno (slika 11). Baterija je litijum jonskog tipa, kapaciteta 3500 mA, nominalnog napona 12 V i konstantne struje pražnjenja do 10 A. Baterija poseduje BMS (eng. *Battery Management System*) zaštitu, koja štiti bateriju od prenapona i pregrevanja.



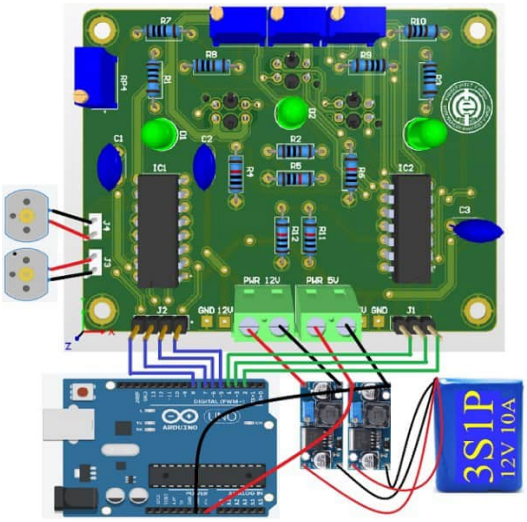
Slika 11. Izgled baterijskog paketa [6].

Da bi se dobio potreban i stabilan napon za napajanje robota potreban nam je DC-DC step-down konverter. U ovu svrhu korišćen je modul LM2596HV (slika 12).



Slika 12. DC-DC konverter modul [7].

Za pokretanje robotskog sistema korišćena su 2 DC motora, snage 6 W. Slika 13 prikazuje celokupan izgled sistema i način povezivanja.



Slika 13. 3D prikaz celokupnog robotskog sistema

IV. Zaključak

U ovom radu uspešno je prikazan proces projektovanja i implementacije štampane ploče robotskog sistema za praćenje linije, koristeći Arduino platformu sa ATmega328P mikrokontrolerom. Glavni cilj, dizajniranje kompaktne i funkcionalne štampane ploče je ostvaren, što omogućava pouzdanu integraciju u robotski sistem. Proces dizajna

sproveden je u Altium Designer programskom okruženju, gde je postignuta optimizacija u pogledu prostora i rasporeda komponenti, što doprinosi stabilnosti sistema i jednostavnosti ugradnje. Kroz praktičnu implementaciju u realnom robotskom sistemu, potvrđeno je da ploča ispunjava zahteve vezane za performanse i pouzdanost. Ovaj projekat može poslužiti kao osnova za dalja unapređenja i primenu u različitim autonomnim robotskim sistemima.

ZAHVALNICA

Zahvalnost dugujem doc. dr Goranu Nikoliću i doc. dr Milošu Marjanoviću na stručnoj podršci, kao i kompaniji DMV koja mi je izradila ploču.

LITERATURA

[1] V. Semiconductors, Reflective Optical Sensor with Transistor Output, 2024.

[2] T. Instruments, Low-Power, Quad-Operational Amplifier, LM324-N-MIL, 2017.

[3] Z. Prijić, Analogna mikroelektronika, operacioni pojačavači, 2024, p. 14.

[4] T. Instruments, L293x Quadruple Half-H Drivers, 2016.

[5] D. Danković, "Projektovanje štampanih ploča," 2017, p. 64.

[6] 18650 Lithium Battery, Pristupljeno: 1.10.2024. Dostupno na: https://www.alibaba.com/product-detail/ICR-18650-3s-RC-Lithium-Battery_62426392849.html.

[7] DC step down converter module, Pristupljeno: 1.10.2024. Dostupno na: https://nettigo.eu/products/dc-dc-step-down-converter-module-lm2596hv-1-2-50v-3a.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.407M
Original scientific paper

PLC invertor napona

Tamara Mitrović
Tehnička škola "Rade Metalac"
Leskovac, Srbija
Tamaramitrovic1976@gmail.com
ORCID: N/A

Danilo Vučić
Tehnička škola "Rade Metalac"
Leskovac, Srbija
Danilodaxa007@gmail.com
ORCID: N/A

Željko Petrović
Tehnička škola "Rade Metalac"
Leskovac, Srbija
zeljkoitata@gmail.com
ORCID: N/A

Igor Trajković
Tehnička škola "Rade Metalac"
Leskovac, Srbija
itrajkovic7@gmail.com
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu opisan je jedan sklop za pretvaranje DC napona iz akumulatorskih baterija u AC napon za napajanje potrošača.**

Keywords*—*DC, AC, baterija

I. UVOD

U novije vreme, javila se potreba za primenom novih tehnologija. Savremene tehnologije objedinjuju niz savremenih uređaja kao što su programabilni kontroleri, računari i tako dalje. Jedan od takvih sklopova koji objedinjuje niz pametnih uređaja je invertor napona, upotrebu savremenih sklopova ograničava njihova cena na svetskom tržištu, ali vremenom cene padaju, tako da će upotreba ovih elemenata biti sve rasprostranjenija.

Kao osnova projekta upotrebljen je PLC FATEK FBS 24 MAT kontroler, a pored ove osnove upotrebljava se i operator panel HMI TG465-MT. Kodovi za PLC su pisani u *WinProladder*-u, a za HMI u programu *Ttouchwin edit tool*. Parametri sistema koji se mere pomoću senzora DECODE EMU V3 su napon i frekvencija. Invertor se može isključiti ili uključiti opciono lokalno pritiskom na taster ili HMI uređajem. U svakom trenutku se mogu videti parametri sistema na HMI uređaju i da li je neka od zaštita reagovala.

II. REALIZACIJA UREĐAJA

PLC FATEK FBS 24 MAT je kontroler namenjen za automatizaciju mašina i procesa upravljanja u industriji. U svom sastavu kontroler poseduje četrnaest digitalnih ulaza na koje se dovodi taster za lokalno uključenje i isključenje invertora i deset tranzistorskih izlaza na koje su vezani SS releji, ili neki drugi prekidački elementi koji neposredno uključuju i isključuju strujna kola.

Kod se ubacuje sa računara u kontroler na jedan od više poznatih načina. Kontroler komunicira sa HMI uređajem RS232 komunikacionim protokolom. HMI uređaj se programira pomoću računara USB kablom. Na slici 1 je prikazan PLC FATEK FBS 24 MAT kontroler.



Slika 1. PLC FATEK.

Za lokalno uključenje i isključenje invertora napona koriste se tasteri, koji se vezuju na logičke ulaze kontrolera. Taster je instalacioni prekidač koji zatvara ili otvara strujno kolo samo dok se deluje pritiskom na njega. Bitno je napomenuti da u našem projektu tasteri nisu upotrebljeni već se invertor uključuje ili isključuje pomoću tač panela. Na slici 2 je prikazan taster.



Slika 2. Taster.

Za uključenje i isključenje AC napona koriste se elektromagnetni prekidači (kontaktori), kao što je prikazano na slici 3. Umesto kontaktora, moguće je koristiti i beskontaktne releje (solid-state releys). Naš sklop invertora koristi kontaktore zbog visoke cene beskontaktnih releja.



Slika 3. Kontaktor.

Jedan od načina upravljanja invertorom je uz pomoć HMI uređaja. U našem slučaju upotrebljen je TG465-MT koji omogućava jednostavno povezivanje i praćenje rada sistema, kao što je ilustrovano na slici na slici 4.



Slika 4. TG465-MT.

TG465-MT vezan je za računar dok se programira pomoću USB kabla, nakon završenog programiranja prekida se veza sa računarom i HMI uređaj vezujemo sa PLC-om RS232 komunikacionim protokolom.

Za zaštitu provodnika i kablova od struje, preopterećenja i kratkih spojeva upotrebljavaju se osigurači koji se postavljaju na početak svakog strujnog kola, slika 5.



Slika 5. Automatski prekidač - osigurač.

Koriste se automatski osigurači tipa C određene nazivne struje koji služe za zaštitu provodnika i kablova od prekomernih struja.

Upotrebljen je senzor napona i frekvencije, prikazan na slici 6, koji je pouzdan senzor za opštu i industrijsku namenu, koji radi u opsegu između 5-28 VDC, može meriti napon od 0-250 V i frekvenciju od 0-100 Hz. Njegovo povezivanje vrši se direktno na komunikacionoj kartici FBS-CB55, slika 7. Ona je povezana preko komunikacijskog porta RS485 na FATEK PLC RS485.



Slika 6. Senzor napona i frekvencije



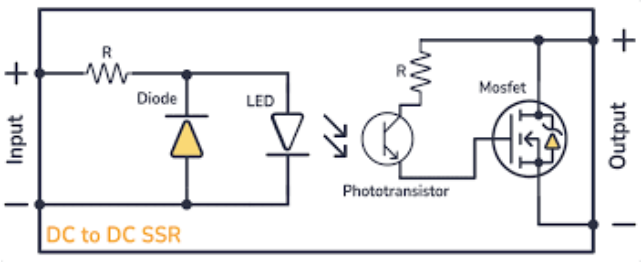
Slika 7. FBS-CB55 – komunikaciona kartica.

Kako bi naš invertor mogao efikasno da radi koristimo energetski transformator (monofazni) koji podiže AC napon određene vrednosti na 220-230 V



Slika 8. Transformator.

Da bi se na ulazu transformatora pojavio vremenski promenljiv napon neophodno je koristiti neki od prekidačkih elemenata kao što su SSR, bipolarni tranzistori, MOSFET.



Slika 9. Prekidački element.

Da bi invertor mogao da radi neophodne su akumulatorske baterije kao izvor DC napona. Projekat je započet povezivanjem najpre ulaznog tastera na digitalni ulaz kontrolera. Fatekov kontroler ima četrnaest digitalnih ulaza koji su označeni oznakama X0-X13 i deset digitalnih

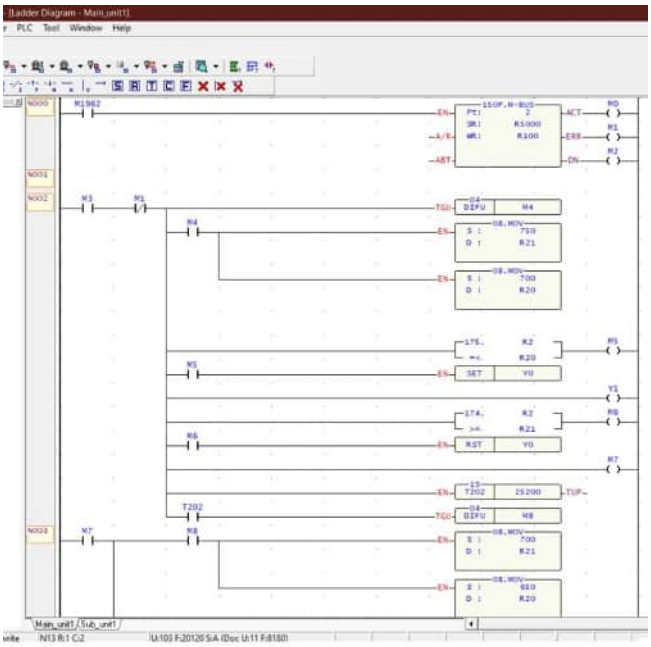
tranzistorskih izlaza koji su označeni oznakama Y0-Y9. Zatim se na kontroler dovodi i izvor napona 24 V DC.



Slika 10. Izvor DC napona.

Drugi korak u izradi projekta je postavljanje komunikacione kartice FBS-CB55 na PLC preko RS485 modula. Senzor napona i frekvencije povezujemo na FBS-CB55.

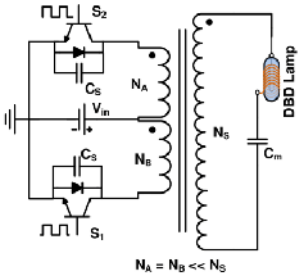
Treći korak je povezivanje računara i kontrolera radi upisivanja koda serijskim RS 232 protokolom. Kod je pisan jezikom lestvičastog dijagrama, u našem slučaju WinProladder-u, što je ilustrovano na slici 11.



Slika 11. Kod u WinProladder-u.

Rezultati merenja smeštaju se u registre kontrolera, a zatim se proveravaju na niz unapred zadatih uslova, a na HMI uređaju se može videti vrednost napona i frekvencije u datom trenutku.

Četvrti korak je prekidanje komunikacije između računara i kontrolera i povezivanje kontrolera sa HMI TG465-MT RS 232 komunikacionim protokolom, uspostavljanje komunikacije između računara i HMI uređaja kako bi se ubacio program u HMI. Potom, prekidanje komunikacije između računara i HMI i povezivanje kontrolera sa HMI. HMI se programira korišćenjem programskog paketa *TouchWin edit tool*.



Slika 12. Veza transformatora sa prekidačkim elementima koje okida PLC.

III. ZAKLJUČAK

Ovaj projekat je osmišljen i razrađen od strane učenika i realizovan uz pomoć profesora - mentora. Bilo je potrebno primeniti osnovno znanje iz automatike, programibilnih kontrolera, električnih instalacija i praktičnog rada sa elektro materijalima.

U radu je prikazan sklop koji je potvrdio da je moguće sačiniti pouzdan invertor napona sa integrisanom podnaponskom, nadnaponskom, podfrekventnom i nadfrekventnom zaštitom. Ovaj invertor na izlazu može davati sinusni ili četvrtasti talasni oblik napona što zavisi od programa koji je upisan u PLC kontroler.

LITERATURA

[1] Upravljanje u realnom vremenu, dr Vera Petrović (http://www.ricum.edu.rs/files/3_7/viser/URV_prirucnik.com pressed.pdf)

[2] Programibilni logički kontroleri (http://es.elfak.ni.ac.rs/mps/materijal/5-PLC.pdf)

[3] Vikipedija – Relej (https://sr.wikipedia.org/wiki/Relej)

[4] Električni osigurač – Vikipedija (https://www.adafruit.com/product/386)

[5] FBs-PLC/Manual download/FATEK AUTOMATION CORP. (http://www.fatek.com/en/technical.php?act=manual&catId=1 1)

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.411Z
Original scientific paper

Promocija Fizike kroz saradnju Elektronskog fakulteta u Nišu i gimnazije „Bora Stanković“ iz Niša

Emilija Živanović
Katedra za mikroelektroniku
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
emilija.zivanovic@elfak.ni.ac.rs
ORCID: 0000-0001-9011-7111

Vladana Golubović
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
vladana.golubovic@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

Snežana Janković
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
snezana.jankovic@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

Anja Videnović
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
anja.videnovic@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

Lana Danković
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
lana.dankovic@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

Ana Đokić
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
djokic.ana@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

Strahinja Šapić
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
strahinja.sapic@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

Marko Branković
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
marko.brankovic@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

Petar Bogdanović
Gimnazija „Bora Stanković“
Niš, Srbija
petar.bogdanovic@borastankovic.edu.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*—U ovom radu opisana je saradnja gimnazije „Bora Stanković“ iz Niša i tima Elektronskog fakulteta u Nišu u okviru projekta „From Idea to Impact: Launching the IEEESTEC” iz programa Pre-University STEM program.**

Ključne reči—STEM, IEEESTEC, fizika, gimnazija

I. Uvod

Već petnaestak godina na Elektronskom fakultetu u Nišu održava se jedan vid pripremne nastave iz fizike za brucoše, pre početka nove akademske godine [1]. Taj oblik nastave predstavlja kurs iz Elementarne fizike koji se novoupisanim studentima drži tokom dve nedelje tri časa dnevno. Prelazi se gradivo u vidu ponavljanja osnovnih pojava i definicija iz fizike, kroz treoriju, računske zadatke i par laboratorijskih vežbi uz primenu Arduino mikrokontrolerskog razvojnog okruženja. Budući studenti, kako iz gimnazija, tako i iz srednjih stručnih škola, su pokazali veliko intreresovanje za kurs što su iskazali i kroz anketu po završetku kursa. Na početku i kraju kursa studenti su odradili identičan test koji je sadržao pitanja iz gradiva koje je bilo obrađivano na kursu. Rezultati na izlaznom testu su bili bolji za 5 poena u proseku od 30 maksimalnih. Ali kako je prosečan broj poena na početku kursa bio svega 17 od maksimalnih 30, došlo se na ideju da dosadašnju saradnju sa gimnazijalcima koja se ogledala u raznim kursevima i radionicama u okviru različitih projekata koji su se odnosili na upoznavanje učenika sa elektronskim komponentama i programiranjem mikrokontrolera [2-7] proširimo i na fiziku. Ovo je bila motivacija ovogodišnje saradnje koja je realizovana u okviru projekta „From Idea to Impact: Launching the IEEESTEC” iz programa Pre-University STEM program [8].

Pored tima sa Elektronskog fakulteta u realizaciju ovog projekta uključilo se po dvoje učenika iz drugog, trećeg i četvrtog razreda gimnazije „Bora Stanković“ iz Niša [9] sa svojim profesorkama (slika 1).



Slika 1. Učesnici radionice održane u gimnaziji „Bora Stanković“ iz Niša.

Odabrani su oni učenici koji imaju afiniteta prema fizici i veliko takmičarsko iskustvo. Za temu radionica odabrano je kretanje tela po strmoj ravni. Postoji više razloga za to. Nabavljena je nova maketa koju studenti Elektronskog fakulteta koriste na redovnoj nastavi prilikom izvođenja

laboratorijskih vežbi iz fizike [10]. Potom odabrani učenici (tri učenice i tri učenika), potencijalni učesnici Srpske fizičke olimpijade (koji već imaju iskustva sa takvim takmičenjima), dobijaju mogućnost da se pripreme za praktični deo jednog ovako prestižnog takmičenja [11].

Koliko je značajno učešće učenika u jednom ovakvom projektu pokazalo se kroz kratku anketu koju su odradili na početku prve radionice na kojoj su se neki od učenika izjasnili da nisu radili do sada laboratorijske vežbe iz fizike, a niko od njih se nije susreo sa ovom vežbom iz Mehanike koju smo planirali sa njima da realizujemo. Pored toga, posebno im je bilo interesantno što su mogli da obiđu i Elektronski fakultet, koji do sada neki od njih nisu posetili.

Krajnji cilj naših višednevnih aktivnosti i saradnje biće prikazan kroz ovaj rad, a poslužiće i kao primer dobre prakse za sve one koje su zainteresovani za ovakve zajedničke aktivnosti sa nastavnicima i saradnicima sa Elektronskog fakulteta u Nišu.

II. Organizacija radionica

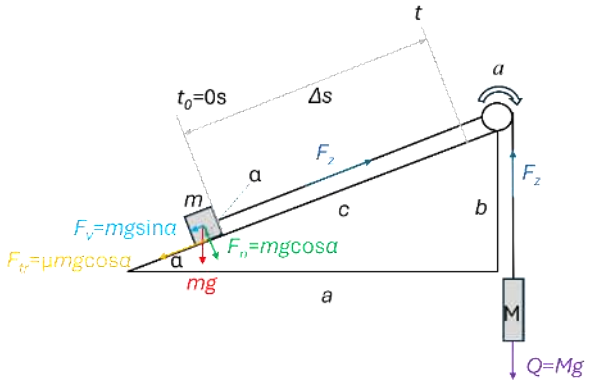
A. *Radionica u gimnaziji „Bora Stanković“*

Nakon početnih dogovora na sastancima sa profesorkama gimnazije „Bora Stanković“ prva radionica sa učenicima organizovana je kod njih u školi. Tu su učenici bili upoznati sa idejom projekta, planom realizacije ovih radionica, kao i finalnog rezultata koji se ogledao u pisanju rada za IEEESTEC konferenciju učeničkih i studentskih projekata koja će se po 17. put ove godine održati na Elektronskom fakultetu u Nišu [12].

Na prvom susretu sa učenicima na početku časa je odrađen teorijski deo vezan za kretanje tela po strmoj ravni i silu trenja [13,14], koji se ogledao u sledećem.

Trenje je interakcija koja se javlja pri kontaktu dva tela i posledica je relativnog kretanja njihovih dodirnih površina. Nastaje zbog neravnina na dodirnim površinama i otežava, ili sprečava relativno kretanje tela. Sila trenja ne zavisi od veličine dodirne površine, već od sile kojom telo normalno deluje na podlogu i od koeficijenta trenja. Koeficijent trenja zavisi od materijala od kojeg su napravljeni telo i podloga i od stepena uglačanosti njihovih dodirnih površina. Koeficijent trenja ne može biti veći od 1 i nema mernu jedinicu. Na primer, ako su materijali u dodiru lel-led, koeficijent trenja je između 0,02-0,09, dok je za drvo-drvo 0,25-0,5, ili za čelik-drvo 0,2-0,6.

Pod strmom ravni podrazumeva se ravna čvrsta podloga koja sa horizontalnom površinom zaklapa ugao α, kao što je ilustrovano na slici 2.



Slika 2. Uz objašnjenje kretanja tela po strmoj ravni.

Da bi eksperimentalno odredio koeficijent trenja između tela koje se kreće uz strmu ravan, konstantnim ubrzanjem a, i podloge strme ravni, potrebno je napisati jednačine kretanja tela. U ovom slučaju jednačina kretanja tela mase M se može napisati u obliku:

$$Ma = Q - F_z \tag{1}$$

gde je težina tela $Q = Mg$, a sila zatezanja konca F_z. Sa druge strane, telo mase m kreće se uz strmu ravan pod dejstvom sile zatezanja konca F_z, vučne sile $F_v = mgsin\alpha$, koja je komponenta sile Zemljine teže, kao i sile trenja $F_{tr} = \mu F_n$, gde je $F_n = mgcos\alpha$ normalna komponenta sile Zemljine teže. Tako da se jednačina kretanja tela mase m može napisati u sledećem obliku:

$$ma = F_z - F_v - F_{tr}. \tag{2}$$

Pošto se inercija kotura zanemaruje, sila zatezanja konca je ista, pa sabiranjem jednačina (1) i (2) se dobija:

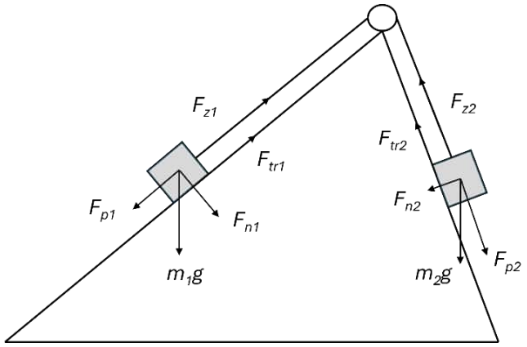
$$Ma + ma = Q - F_v - F_{tr} \tag{3}$$

odakle dolazimo do izraza za izračunavanje koeficijenta trenja:

$$\mu = \frac{M(g-a) - ma - mgsin\alpha}{mgcos\alpha}. \tag{4}$$

Nakon kratkog teorijskog pregleda odrađeno je par računskih zadataka od kojih će jedan biti dat kao primer u ovom radu.

Zadatak: Preko kotura koji se nalazi na vrhu dvostrane strme ravni prebačen je konac, kao što je priklazano na slici 3. O jedan kraj konca vezano je telo mase $m_1 = 200$ g, a o drugi telo mase $m_2 = 300$ g. Koeficijent trenja između površina strmih ravni i tela iznosi $\mu = 0{,}2$. Uglovi strmih ravni su $\alpha = 45°$ i $\beta = 60°$. Izračunati koliko je ubrzanje a kojim se kreće sistem tela i silu Fz zatezanja konca. Trenje kotura o osovinu i njegovu masu zanemariti. Ubrzanje Zemljine teže je $g = 9{,}81$ ms^{-2}.



Slika 3. Uz objašnjenje zadatka.

Rešenje zadatka: Na početku rešavanja zadatka određen je smer ubrzanja sistema dva tela, na slici označene sve sile koje na njih deluju i napisani njihovi intenziteti. Intenziteti sila koje predstavljaju komponente sile Zemljine teže oba tela, kao i sile trenja mogu se napisati u obliku:

$$F_{p1} = m_1 g\, sin\alpha \tag{5}$$

$$F_{n1} = m_1 g\, cos\alpha \tag{6}$$

$$F_{p2} = m_2 g\, sin\beta \tag{7}$$

$$F_{n2} = m_2 g\, cos\beta \tag{8}$$

$$F_{tr1} = \mu F_{n1} \quad (9)$$

$$F_{tr2} = \mu F_{n2} \quad (10)$$

Kako se zanemaruje inercija kotura važi da su sile zatezanja jednake

$$F_{z1} = F_{z2} = F_z\,, \quad (11)$$

tako da se jednačine kretanja tela mogu zapisati kao

$$m_1 a = F_z - F_{p1} - \mu F_{n1} \quad (12)$$

$$m_2 a = F_{p2} - \mu F_{n2} - F_z. \quad (13)$$

Sabiranjem jednačina

$$a(m_1 + m_2) = F_{p2} - \mu F_{n2} - F_{p1} - \mu F_{n1} \quad (14)$$

i nakon elementarnog izračunavanja, dolazi se do izraza za ubrzanje:

$$a = \frac{m_2 g\,sin\beta - \mu m_2 g\,cos\beta - m_1 g\,sin\alpha - \mu m_1 g\,cos\alpha}{2(m_1 + m_2)}. \quad (15)$$

Zamenom brojnih vrednosti za ubrzanje sistema tela dobija se

$$a = 1{,}1\ \frac{m}{s^2}. \quad (16)$$

Silu zatezanja izračunavamo iz sledeće jednačine

$$F_z = m_1 a + F_{p1} + \mu F_{n1}, \quad (17)$$

odnosno zamenom izraza (5) i (6) dobija se:

$$F_z = m_1 a + m_1 g\,sin\alpha + \mu m_1 g\,cos\alpha. \quad (18)$$

I može se izračunati da je po intenzitetu sila zatezanja jednaka

$$F_z = 1{,}9\ N. \quad (19)$$

B. Radionica na Elektronskom fakultetu

Nakon teorijskog dela i računskih zadataka koji su urađeni u gimnaziji, učenici su sa svojom profesorkom posetili Elektronski fakultet, gde je pristupljeno i praktičnoj realizaciji problema (slike 4 i 5).

Svako od njih je imao priliku da samostalno odradi laboratorijsku vežbu „Određivanje koeficijenta trenja pomoću strme ravni“ po uputstvu za rad koje sledi.

Uputstvo za rad

1. Poznate su masa tega $M = 26$ g, masa tela $m = 33$ g, gravitaciono ubrazanje $g = 9{,}81$ m/s^2. Strma ravan postavljena je pod uglom $\alpha = 30°$.
2. Postaviti telo mase m u dnu strme ravni, povezano koncem, koji treba prebaciti preko kotura. Telo mase m treba bude okrenuto prema podlozi svojom *išmirglanom* površinom. Na drugom kraju konca postaviti 2 tegića, ukupne mase M. Pri tome pridržavati tegove, tako da telo na strmoj ravni bude u stanju mirovanja.



Slika 4. Slika sa posete Elektronkom fakultetu u Nišu.



Slika 5. Samostalan rad učenika u laboratoriji.

3. Korišćenjem štoperice izmeriti vreme potrebno da se telo mase m popne uz strmu ravan, prelazeći put $\Delta s = 76{,}5$ cm. Štopericu startovati istovremeno kada se pusti teg mase M, a zaustaviti je kada telo mase m dođe do graničnika, tj. pređe put Δs. Izmereno vreme upisati u tabelu. Merenje ponoviti 5 puta.
4. Na osnovu izmerenog vremena odrediti ubrzanje sistema $a = 2\Delta s/t^2$.
5. Korišćenjem prethodno izvedene formule izračunati koeficijent trenja μ i greške pri merenju.
6. Okrenuti telo mase m na suprotnu stranu, tako da ka podlozi bude okrenuto svojom *lakiranom* površinom. Ponoviti eksperimentalni postupak iz tačaka od 2 do 5.

Rezultati koje su učenici dobili, kako i greške do kojih je došlo tokom merenja prikazane su u tabelama I i II.

TABELA I. ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA STRME RAVNI ZA SLUČAJ DRVO-DRVO:

Redni broj	t **(s)**	a **(·10^{-3}ms^{-2})**	μ	μ_{sr}	$\Delta\mu$	δ_μ **(%)**	σ_μ
1	13,40	8,5208	0,3306206	0,3303076	0,000313	0,12	0,0005129
2	14,56	7,2172	0,3308949		0,0005873	0,18	
3	12,04	10,5545	0,3301926		0,000115	0,06	
4	13,05	8,9840	0,3305231		0,0002155	0,09	
5	10,18	14,7637	0,3293068		0,0010008	0,30	

$\mu_{\text{drvo-drvo}} = (0{,}330 \pm 0{,}001)$

TABELA II. ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA STRME RAVNI ZA SLUČAJ DRVO-LAK:

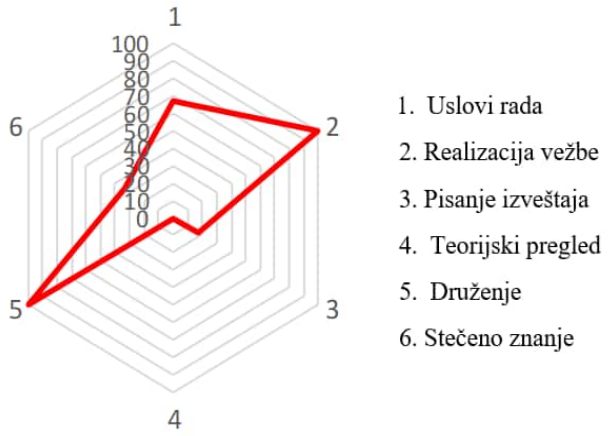
Redni broj	t (s)	a (ms^{-2})	μ	μ_{sr}	$\Delta\mu$	δ_μ (%)	σ_μ
1	3,24	0,14575	0,3017414	0,297626	0,0041154	1,68	0,010481379
2	3,16	0,15322	0,3001694		0,0025434	1,01	
3	2,41	0,26343	0,2769763		0,0206497	7,45	
4	3,35	0,13633	0,3037238		0,0060978	2,35	
5	3,46	0,12780	0,3055189		0,0078929	2,69	

$\mu_{\text{drvo-lak}} = (0{,}298 \pm 0{,}010)$

III. ZAKLJUČAK

U zaključku kao prvo treba istaći da je ovo bila još jedna u nizu uspešnih saradnji Elektronskog fakulteta u Nišu sa gimnazijom „Bora Stanković“ iz Niša. Kroz jednu izlaznu anketu, koju su učenici odradili na kraju radionice, može se videti njihov utisak o sprovedenim aktivnostima i učešću na ovom projektu.

Na slici 6 prikazani su odgovori učenika na pitanje *Šta im je bilo najzanimljivije na času?*



Slika 6. Odgovori učenika.

Učenici su bili jednoglasni što se odgovora tiče. Najzanimljivija im je bila realizacija vežbe i druženje, što nam je i bio osnovni cilj. Naime, poznato je da je preduslov uspešne realizacije svake aktivnosti sa učenicima upravo pozitivna radna atmosfera, a što je u ovom slučaju i postignuto.

Jedno od pitanja na anketi bilo je iz koje oblasti bi voleli da odrade još neku vežbu iz fizike, odlučili su se za mehaniku i optiku. Kako se ovaj projekat realizuje do kraja ove godine, u mogućnosti smo da im omogućimo da odrade praktično još neku od vežbi. Podjednako su odgovorili da bi bilo idealno da vežbu zajedno radi četiri ili pet učenika. Što se trajanja same izrade vežbe tiče odgovori su bili različiti i kretali su se u opsegu jednog školskog časa do 90 minuta.

Za kraj je učenicima data mogućnost da ukratko izraze svoje utiske o učešću na projektu. Neki od odgovora su:

-Uslovi rada su bili odlični, bilo je zabavno i zanimljivo.

-Veoma zanimljivo, dobro osmišljeno. Nije naporno i dobro sam se zabavila.

-Vežbe su najzabavniji način učenja. Trebalo bi da budu bar malo veći deo nastavnog programa.

-Bilo je interesantno i zanimljivo.

Iz odgovora učenika vidi se da su zadovoljni saradnjom sa nama. Ovakav vid saradnje između ove dve obrazovne ustanove, a naročito iz oblasti fizike, organizovan je i u prethodnom periodu, sa prethodnim generacijama učenika [15]. Sigurni smo da će se pružiti prilika da Elektronski fakultetu ponovo ugosti učenike, pa čak i u većem broju, i tom prilikom organizuje radionicu iz oblasti fizike za koje su pokazali interesovanje.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu realizovani su u okviru projekta „From Idea to Impact: Launching the IEEESTEC” iz programa Pre-University STEM program.

Posebnu zahvalnost dugujemo učenicima gimnazije „Bora Stanković” i njihovoj želji da učestvuju u realizaciji ovog projekta, kao i samoj školi koja zajedno sa nama neguje ovu tradicionalnu višegodišnju saradnju.

A na kraju bih, kao prvopotpisani autor, u svoje lično ime iskazala neizmernu zahvalnost svom timu sa kojim već više od deset godina realizujem veliki broj različitih projekata iz oblasti obrazovanja.

LITERATURA

[1] Kurs Elementarne fizike. Dostupno na: https://www.elfak.ni.ac.rs/informacije/novosti-i-obavestenja/prijava-kurs-fizika-2024

[2] IEEE TRYEngineering. Dostupno na: https://tryengineering.org/news/announcing-the-2021-ieeepre-university-stem-portal-grant-recipients/

[3] M. Marjanović, D. Danković i D. Danković, “Projekat Centra za promociju nauke “Pretočimo znanje u praktičan rad” realizovan u Naučnim klubovima Niš i Leskovac”, in Proc. 12th IEEESTEC 2019, Niš, Serbia, 2019, pp. 105-108.

[4] D. Danković i M. Marjanović, “Projekat Centra za promociju nauke “Za IEEESTEC se spremi” na Elektronskom fakultetu u Nišu”, in Proc. 13th IEEESTEC 2020, Niš, Serbia, 2020, pp. 199-200.

[5] Projekat “STEM visits IEEESTEC”. Dostupno na: http://ieee.elfak.ni.ac.rs/stem-visits-ieeestec/

[6] Emilija Živanović, Miloš Marjanović, Sandra Veljković, Nikola Mitrović, Jana Vračar, Danijel Danković, “U susret jubileju: naša petnaesta godina kroz radionice i druženje”, in Proc. 15th IEEESTEC 2022, Niš, Serbia, 2022, pp. 315-319.

[7] D. Danković, M. Marjanović, N. Mitrović, E. Živanović, M. Danković, A. Prijić, Z. Prijić, “The Importance of Students’ Practical Work in High Schools for Higher Education in Electronic Engineering”, IEEE Transaction on Education, pp(99):1-10, 2022.

[8] Projekat “From Idea to Impact: Launching the IEEESTEC”, Dostupno na: https://ieee.elfak.ni.ac.rs/from-idea/

[9] Gimnazija Bora Stanković Niš. Dostupno na: https://www.borastankovic.edu.rs/

[10] Laboratorijske vežbe. Dostupno na: https://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/fizika/

[11] Srpska fizička Olimpijada. Dostupno na: http://takmicenja.dfs.rs/?p=4466

[12] IEEESTEC konferencija. Dostupno na: https://ieee.elfak.ni.ac.rs/

[13] Nataša Čaluković, Fizika 1, Udžbenik za 1. razred gimnazije, Krug Beograd, 2021.

[14] Nataša Čaluković, Fizika 1, Zbirka zadataka i testova za 1. razred gimnazije, sedmo izdanje, Krug Beograd, 2010.

[15] Milan Danković i Snežana Janković, "Laboratorijska maketa za proučavanje krretanja tela po strmoj ravni zasnovana na Raspberry Pi mini računaru", in Proc. 10th IEEESTEC 2017, Niš, Serbia, 2017, pp. 55-58.

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.417J
Original scientific paper

Praktična realizacija kontrole pristupa pomoću Arduino UNO razvojnog okruženja

Ivan Janković
Mašinsko – elektrotehnička škola
Paraćin, Republika Srbija
ivanjankovic@mes.edu.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* — U ovom radu predstavljena je implementacija sigurnosnog sistema zasnovanog na kontroli pristupa prilikom ulaska/izlaska iz nekog objekta ili prostorije. Prikazan je način otvaranja/zatvaranja vrata korišćenjem RFID modula. Sistem se sastoji od hardvera i softvera. Za projektovanje hardvera korišćen je program Proteus, softver je pisan u programskom jeziku C i Arduino IDE programskom okruženju.**

Ključne reči — RFID, čitač, ID, I2C, servo

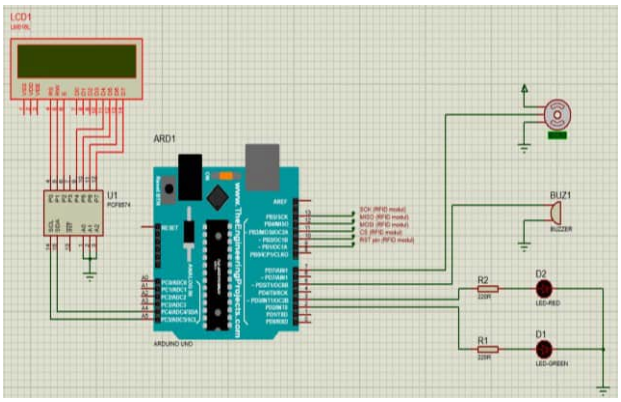
I. Uvod

Savremeni svet ne može se zamisliti bez kontrole pristupa. To je neophodnost, ne samo za javne objekte i ustanove od društvenog značaja, već i za porodične i privatne kuće, preduzeća, lokale, …, bilo koje objekte. Kontrola pristupa predstavlja sigurnosni sistem za kontrolu ulaska i izlaska iz nekog objekta. Najbolji primer kontrole pristupa je u velikim kompanijama, gde broj zaposlenih prelazi nekoliko stotina. Svaki zaposleni ima svoju karticu sa određenim pravima pristupa određenim delovima objekta ili kancelarijama u zavisnosti od pozicije i radnog iskustva.

Najčešće korišćeni sistemi kontrole pristupa zasnivaju se na RFID modulima – bežičnim čitačima kartica. Kontrola pristupa može se obavljati i putem otiska prsta, biometrije lica, skeniranjem zenice oka, skenerom, … Osnovna funkcija sistema za realizaciju projekta je kontrola pristupa pomoću RFID modula i sistema kartica. Samo kartica sa ispravnom šifrom može otključati ili zaključati vrata prilikom ulaska/izlaska iz nekog objekta.

II. Princip rada

Električna šema prikazana je na slici 1. Sistem se zasniva na Arduino Uno [3] razvojnom okruženju. Arduino Uno [3] koristi Atmega328P 8-bitni mikrokontroler koji radi na frekvenciji 16 MHz. Poseduje 14 digitalnih i 6 analognih pinova. Pored Arduina [3], sistem se sastoji od RFID modula za bežično očitavanje kartice prilikom ulaska u objekat, servo [5] motora koji otključava bravu na vratima ako korisnik ima ispravnu karticu, zujalice koja uključuje alarm ako je kartica pogrešna, dve LED diode [2] (crvene i zelene) koje predstavljaju lampice koje svetle prilikom otvaranja/zatvaranja vrata i LCD [2] displeja za prikazivanje odgovarajućih poruka.

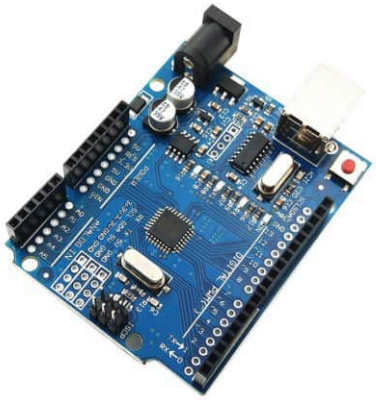


Slika 1. Električna šema.

Pokretanjem programa, inicijalno je na displeju prikazana poruka “Stavite karticu”. Kada je na displeju [2] prikazana navedena poruka, korisnik može staviti svoju karticu na RFID čitač kartice. Ako kartica ima pristup objektu, aktivira se servo [5] motor postavljanjem u određenom položaju i otključava bravu na vratima, uključena je zelena [2] lampica i na displeju [2] se prikazuje odgovarajuća poruka. Za zatvaranje vrata potrebno je ponovo staviti karticu sa pristupom na RFID čitač kartice, servo [5] motor pokreće bravu koja zatvara vrata, svetli crvena [2] lampica i na displeju [2] se prikazuje nova poruka. Ako kartica nema pristup, uključuje se alarm realizovan zujalicom koja emituje zvučni signal različite frekvencije sa različitim vremenom trajanja i pauzama između aktivacija. Crvena [2] lampica konstantno svetli i na displeju [2] se prikazuje poruka koja obaveštava korisnika da ne može otvoriti vrata datom karticom. Korisnik može staviti karticu na RFID čitač kartica i probati da otvori vrata, samo kada se na displeju [2] pojavi poruka “Stavite karticu”, u suprotnom sistem neće raditi. Program za implementaciju datog sistema pisan je u programskom jeziku C [1].

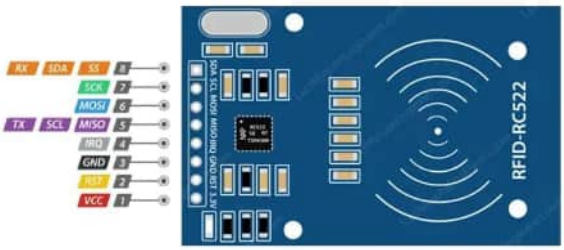
III. Implementacija

Na slici 2, prikazano je Arduino Uno [3] razvojno okruženje koje se koristi za realizaciju projekta. Pored mikrokontrolera, digitalnih i analognih pinova, sadrži i kristalni oscilator, USB interfejs, konektor za napajanje, mehanizam prekida, tajmere, taster za reset, UART interfejs.



Slika 2. Arduino Uno hardverska platforma.

RFID (Radio frequency identification) modul sastoji se iz čitača kartice i taga sa karticom koju treba postaviti na čitač. Koristi se RC522 RFID modul koji radi na frekvenciji 13.56 MHz. Za komunikaciju čitača sa mikrokontrolerom koristi se SPI protokol sa brzinom prenosa podataka 10 Mb/s. U programu potrebno je uključiti biblioteku MFRC522, na sledeći način: #include <MFRC522.h>. Pored SPI komunikacije za prenos podataka između čitača i mikrokontrolera, mogu se koristiti i I2C i UART protokoli. Potreban napon za rad RFID modula je u opsegu 2.5 V – 3.3 V. RC522 RFID modul ima 8 pinova za povezivanje, kao što se može videti na slici 3.



Slika 3. RC522 RFID modul.

Kartica koja ima pristup objektu (otvara vrata) prikazana je na slici 4, a kartica sa pogrešnim pristupom na slici 5. U programu je potrebno definisati ID kartice koja može otvoriti vrata. ID kartice zadat je u heksadekadnom obliku.



Slika 4. Kartica koja ima pristup objektu.



Slika 5. Kartica nema pristup objektu.

Displej [2] se koristi za prikaz odgovarajućih poruka u zavisnosti od aktivnosti korisnika. Inicijalno je na displeju [2] prikazana poruka “Stavite karticu”. Korisnik može postaviti karticu na RFID čitač kartice, samo kada je na displeju [2] prikazana navedena poruka, u suprotnom sistem neće funkcionisati pravilno. Displej [2] koristi I2C protokol za prenos podataka, povezuje se na pinove A4 i A5 na Arduinu i ima samo 4 pina, kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6. I2C LCD displej.

U programu [1] potrebno je uključiti biblioteku #include <LiquidCrystal_I2C.h> za I2C LCD displej, a zatim odrediti njegovu adresu, kao što je navedeno u sledećoj liniji koda: LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); Displej je 16x2 sa adresom 0x27.

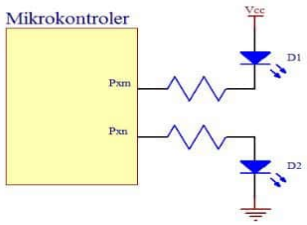
Servo [5] motor u projektu koristi se za otvaranje i zatvaranje brave na vratima, kada kartica postavljena na čitač ima pristup objektu. Inicijalno je servo [5] motor postavljen u položaju 120 stepeni. Za otvaranje vrata, servo [5] motor se postavlja u položaju 40 stepeni, a za zatvaranje vrata u položaju 160 stepeni. Poseduje tri pina, jedan upravljački, jedan za napajanje i jedan za masu. Upravljački signal je najčešće impulsno – modulisani (PWM) signal. Na slici 7, prikazan je servo [5] motor SG90 koji se koristi za realizaciju projekta.



Slika 7. Servo motor.

Zujalica koristi se za aktivaciju alarma emitovanjem zvučnog signala određene frekvencije sa određenim vremenskim trajanjem, svaki put kada je korisniku odbijen pristup sistemu. Za uključivanje zujalice koristi se funkcija

tone, a za njeno isključivanje funkcija **noTone** na Arduinu. LED diode [2] predstavljaju lampice koje se uključuju prilikom otvaranja/zatvaranja brave na vratima, kao i prilikom aktivacije alarma, kada korisnik nema pristup objektu. Povezivanje [4] LED dioda [2] sa mikrokontrolerom prikazano je na slici 8.



Pxm	D1
0	ON
1	OFF

Pxn	D2
0	OFF
1	ON

Slika 8. Povezivanje led diode sa mikrokontrolerom.

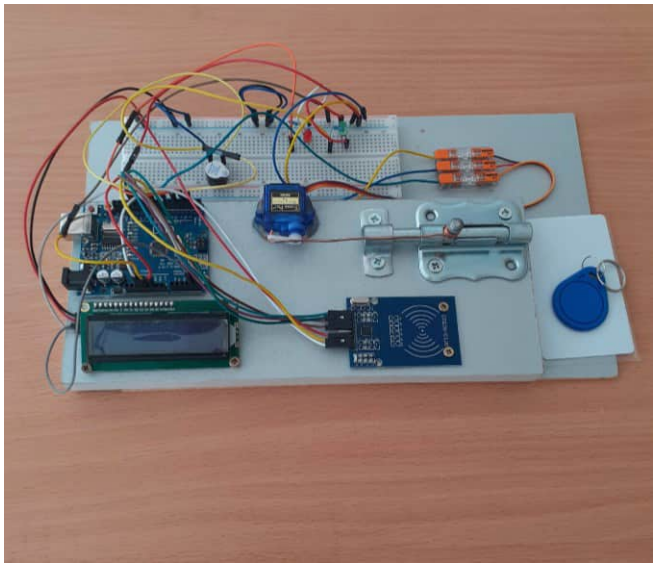
Kod [1] za inicijalizaciju sistema definisan je u funkciji **setup** i ima sledeći oblik:

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(buzz,OUTPUT);
  pinMode(crvena,OUTPUT);
  pinMode(zelena,OUTPUT);
  noTone(buzz);
  digitalWrite(zelena,LOW);
  digitalWrite(crvena,LOW);
  SPI.begin();
  tag.PCD_Init();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  mot.attach(motor);
  mot.write(120);
  flag=0;
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("Stavite karticu");
}
```

Funkcija [1] koja obavlja implementaciju sistema ima sledeći oblik:

```
void kontrolaPristupa()
{
  noTone(buzz);
  digitalWrite(zelena,LOW);
  digitalWrite(crvena,LOW);
  if(skenirajKarticu())
  {
    if(IDkartice==Kartica && flag==0)
    {
      mot.write(40);
      digitalWrite(zelena,HIGH);
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("Pristup moguc");
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("Vrata otvorena");
      delay(2000);
      lcd.clear();
      flag=1;
    }
    else if(IDkartice==Kartica && flag==1)
    {
      mot.write(160);
      digitalWrite(crvena,HIGH);
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("Pristup moguc");
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("Vrata zatvorena");
      delay(2000);
      lcd.clear();
      flag=0;
    }
    else
    {
      tone(buzz,1000,200);
      delay(200);
      tone(buzz,500,500);
      delay(200);
      noTone(buzz);
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("Pristup odbijen");
      digitalWrite(zelena,LOW);
      digitalWrite(crvena,HIGH);
    }
    delay(1500);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Stavite karticu");
  }
}
```

Testiranje programa prvo se obavlja u simulatoru. Kao simulator koristi se softver Proteus Proffesional. Posle uspešne simulacije u programu Proteus, komponente se postavljaju na proto ploči, a zatim se pomoću kratkospojnika povezuju na odgovarajuće pinove na Arduino Uno [3] razvojnom okruženju, prema priloženoj šemi prikazanoj na slici 1. Arduino [3] se pomoću USB kabla povezuje sa računarom, u Arduino IDE programskom okruženju podešava se port (opcija Tools → Port), i program napisan u programskom jeziku C prebacuje u programsku memoriju Arduina [3] i izvršava na mikrokontroleru. Hardverska implementacija sistema prikazana je na slici 9.



Slika 9. Kontrola pristupa.

IV. ZAKLJUČAK

Projekat je realizovan od strane učenika na časovima vežbi i sekcije, uz podršku i pomoć profesora. Za izradu i uspešnu realizaciju projekta bilo je neophodno primeniti stečena znanja iz osnova elektrotehnike, elektronike, računarstva i informatike, softverskih alata, kao i programiranja. Bilo je neophodno upoznati se sa radom svake od navedenih elektronskih komponenti, njenim karakteristikama i specifičnostima, a zatim na osnovu svih osobina i pojedinosti svake od navedenih komponenti, projektovati hardver i napisati odgovarajući softver za realizaciju sistema. Projekat pruža veću sigurnost i bezbednost, zao što se za ulaz u objekat koristi otključavanje vrata pomoću kartice. Samo kartica sa ispravnom šifrom može otključati vrata. Koristeći tehniku RFID tehnologije povećava se sigurnost i jednostavnost identifikacije korisnika. Projekat je imao za cilj da prikaže samo jednu od prednosti primenjene tehnologije u datim sistemima. Sistemi zasnovani na RFID tehnologiji imaju sve veću primenu u industriji, velikim kompanijama, ugostiteljstvu, stambenim zgradama. Moguća je nadogradnja i dalje razvijanje sistema, na primer, razvoj aplikacije sa bazom podataka u cilju povećanja sigurnosti i bezbednosti svih korisnika. Projekat ima veliku praktičnu primenu.

LITERATURA

[1] Warwick A. Smith, “C programiranje za Arduino”

[2] Marko Tanasković, “Arduino Uno uputstvo za korišćenje sa rešenim primerima”

[3] Bert van Dam, “Arduino UNO - 45 projekata za početnike i stručnjake”

[4] https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/elektronika-e2/wp-content/uploads/sites/87/2018/03/15-Povezivanje-mikrokontrolera-s-periferijama.pdf

[5] https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.421J
Original scientific paper

Regulacija nivoa tečnosti pomoću Arduina

Ivan Janković
Mašinsko – elektrotehnička škola
Paraćin, Republika Srbija
ivanjankovic@mes.edu.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* — U ovom radu je prikazan sistem na nivou prototipa za merenje nivoa tečnosti pomoću Arduino Uno razvojnog okruženja. Sistem je sastavljen od nekoliko komponenata (modula i senzora), koji imaju zadatak da prikupljanjem različitih parametara obavljaju određene zadatke. Cilj projekta je regulisanje nivoa tečnosti.**

Ključne reči — senzor, pumpa, servo, LCD, relej

I. Uvod

Klimatske promene danas predstavljaju jednu od najvećih ekoloških pretnji na planeti, koja ima veliki uticaj na zdravlje i život ljudi. Efekti klimatskih promena u najvećoj meri utiču na vodu, izazivajući nedostatak vode, njeno zagađenje ili višak vode na određenom području. Klimatske promene postepeno odraziće se na povećanje prosečne temperature, dok će se efekti ekstremnih klimatskih događaja, kao što su poplave, zemljotresi osetiti u kratkom roku. Ideja za realizaciju projekta nastala je kao posledica strahovitih poplava koje su zadesile naš grad pre deset godina, i ima za cilj automatsko regulisanje nivoa tečnosti bez ljudskog nadzora.

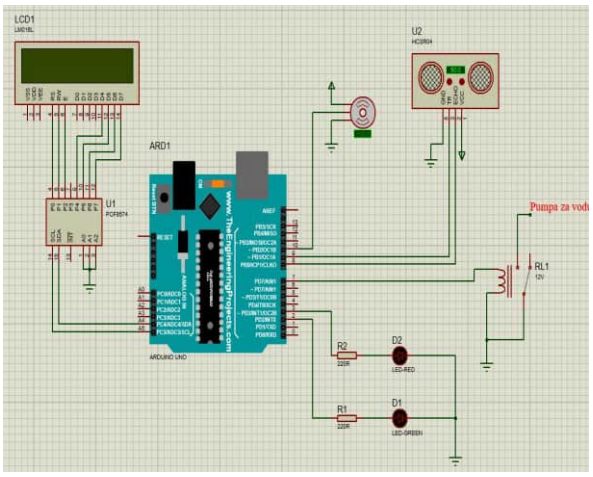
Razvojem tehnologije, senzori su postali nezamenljivi delovi u gotovo svim sistemima, automatizaciji, medicini, industriji. Na njihovom razvoju i unapređivanju danas se svakodnevno radi. Počevši od ideje da se za regulisanje nivoa tečnosti koristi senzor za merenje rastojanja, došlo se do razvoja automatizovanog sistema za čije se kompletno upravljanje koristi mikrokontroler. Uključivanje i isključivanje pumpe za vodu, pokretanje servo motora za ispuštanje vode, postiže se na osnovu rezultata merenja dobijenih sa senzora.

Projekat je realizovan od strane učenika na časovima vežbi i sekcije, uz podršku i pomoć profesora. Veoma zahtevan i kompleksan, zahteva znanja iz više oblasti. Za izradu i uspešnu realizaciju projekta bilo je neophodno primeniti stečena znanja iz osnova elektrotehnike, elektronike, računarstva i informatike, softverskih alata, programiranja, kao i sa karakteristikama i osobinama svake komponente korišćene za realizaciju projekta.

II. Princip rada

Sistem se zasniva na Arduino Uno razvojnom okruženju. Arduino Uno koristi Atmega328P 8-bitni mikrokontroler koji radi na frekvenciji 16 MHz. Poseduje 14 digitalnih i 6 analognih pinova. Ostale delove sistema sačinjavaju I2C LCD displej, servo motor, relej, pumpa za vodu, senzor za merenje rastojanja i dve led diode (crvena i zelena). Uloga releja je uključivanje pumpe za vodu koja treba da akumulira vodu u određenoj posudi. Poseban izazov predstavljalo je merenje količine vode u posudi korišćenjem senzora za merenje rastojanja. Problem je rešen postavljanjem cevke na čijem vrhu se nalazi senzor za merenje rastojanja, a oko cevke nalazi se parče stiropora. Povećanje količine vode u posudi ima za posledicu promenu položaja stiropora, senzor meri rastojanje do gornje površine stiropora, i kada to rastojanje dostigne određenu vrednost (u programu definisana vrednost za rastojanje je 22 cm), servo motor aktivira branu, ispušta se celokupna količina vode iz date posude u posudu ispod, a zatim se ceo ciklus ponavlja. Za simulaciju brane koristi se plovak kojim upravlja servo motor. Na LCD displeju prikazuje se izmereno rastojanje od gornje površine stiropora do senzora, kao i poruka da li je došlo do ispuštanja vode ili ne. Svaki put kada se postigne navedena vrednost za rastojanje između stiropora i senzora (22 cm), potrebno je ispustiti celokupnu količinu vode iz posude, i prikazati odgovarajuću poruku na displeju. Podešena vrednost za rastojanje može se u programu menjati. Led diode svetle kada se dostigne navedeno rastojanje (crvena) i kada dolazi do ispuštanja vode (zelena).

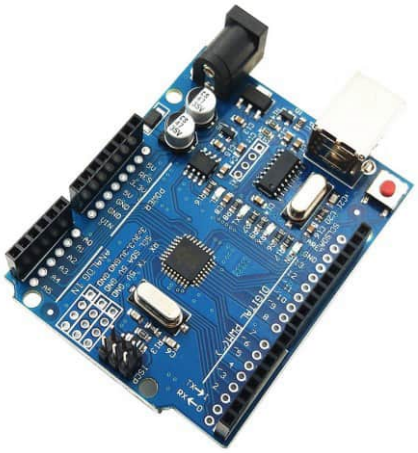
Sistem se sastoji od hardvera i softvera. Električna šema koja opisuje dati hardver nacrtana je u Proteusu, program za realizaciju navedenog sistema napisan je u programskom jeziku C koristeći Arduino IDE programsko okruženje. Električna šema za opis sistema, prikazana je na slici 1.



Slika 1. Električna šema.

III. IMPLEMENTACIJA

Na slici 2, prikazano je Arduino Uno razvojno okruženje koje se koristi za realizaciju projekta. Pored mikrokontrolera, digitalnih i analognih pinova, sadrži i kristalni oscilator, USB interfejs, konektor za napajanje, mehanizam prekida, tajmere, taster za reset, UART interfejs.



Slika 2. Arduino Uno hardverska platforma.

Displej se koristi za prikaz izmerenog rastojanja između stiropora i senzora, kao i odgovarajućih poruka koje predstavljaju preduzete radnje u cilju regulisanja nivoa tečnosti. Displej koristi I2C protokol za prenos podataka, povezuje se na pinove A4 i A5 na Arduinu, ima samo 4 pina, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. I2C LCD displej.

Displej ima pozadinsko osvetljenje plave boje, koje se podešava pomoću potenciometra koji se nalazi sa zadnje strane displeja. Za prenos podataka displej koristi I2C komunikaciju, tako da je potrebno poznavati njegovu adresu. Adresa displeja je 0x27 kao što je prikazano u sledećoj liniji koda *LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);* gde *LiquidCrystal_I2C* predstavlja odgovarajuću Arduino biblioteku.

Servo motor u projektu koristi se za ispuštanje vode iz posude, za regulisanje nivoa tečnosti. Inicijalno je servo motor postavljen u položaju 0 stepeni. Za ispuštanje vode, servo motor postavlja se u položaju 110 stepeni, a zatim se ponovo vraća u položaj 0 stepeni. Poseduje tri pina, jedan upravljački, jedan za napajanje i jedan za masu. Upravljački signal je najčešće impulsno – modulisani (PWM) signal. Na slici 4, prikazan je servo motor SG90 koji se koristi za realizaciju projekta.



Slika 4. Servo motor.

Senzor za merenje rastojanja sastoji se od ultrazvučnog predajnika i prijemnika koji se koriste za merenje rastojanja između senzora i nekog objekta. Radi na principu merenja vremena potrebnog da se emitovani talas odbije od objekta i vrati ka prijemniku. Predajnik emituje ultrazvučni talas i na osnovu poznate brzine zvuka kroz vazduh moguće je izračunati razdaljinu između senzora i objekta. Senzor je prikazan na slici 5.



Slika 5. Senzor razdaljine.

Senzor poseduje ukupno 4 pina, dva pina su napajanje (Vcc), i masa (GND), preostala dva imaju oznaku Echo i Triger i koriste se za povezivanje sa Arduinom. Rastojanje između senzora i proizvoljnog objekta izračunava se po sledećoj formuli:

$$s = \frac{v * t}{2} \quad (1)$$

U formuli (1) se ceo izraz deli sa 2 zato što zvuk prvo putuje do objekta pa se vrati, dok pređeni put od emitera do objekta predstavlja polovinu ukupnog puta. Kod koji se koristi za izračunavanje rastojanja između senzora i objekta ima oblik:

```
digitalWrite(tr, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(tr, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(tr, LOW);

float distance = pulseIn(echo, HIGH) * 0.034 / 2;
```

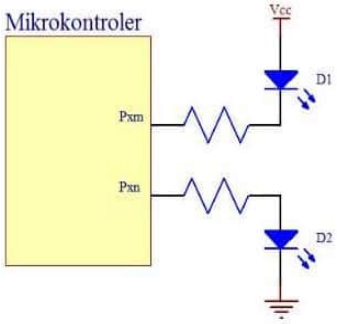
Funkcija **pulseIn** izračunava ukupno vreme koliko je na pinu Echo bila upisana logička jedinica.

Led diode (slika 6) koriste se za uključivanje svetla koja ukazuju na preduzete radnje u cilju regulisanja nivoa tečnosti. Kada je na displeju prikazana izmerena vrednost za rastojanje (vrednost 22 cm) uključena je crvena led dioda, zelena led dioda svetli kada dolazi do ispuštanja celokupne količine vode iz posude.



Slika 6. Led diode.

Povezivanje led dioda sa mikrokontrolerom i naredbe za uključivanje led dioda u zavisnosti od načina povezivanja, prikazani su na slici 7.



Pxm	D1
0	ON
1	OFF

Pxn	D2
0	OFF
1	ON

Slika 7. Povezivanje led diode sa mikrokontrolerom.

Relej prikazan na slici 8, koristi se za uključivanje i isključivanje pumpe za vodu. Pumpa akumulira vodu u posudu, kada rastojanje između stiropora i senzora postane jednako 22 cm, potrebno je isključiti pumpu. Relej sa slike 8, ima 6 pinova raspoređenih u dve grupe. Prvu grupu pinova predstavljaju napon (5 V), masa i pin koji se povezuje na Arduino (u programu to je pin 7), dok je na preostale pinove povezana pumpa za vodu.



Slika 8. Relej.

Testiranje programa obavlja se u simulatoru. Kao simulator koristi se Proteus. Posle serije testova koji pokazuju ispravnost napisanog programa pristupa se hardverskoj implementaciji sistema prikazanoj na slici 9.



Slika 9. Sistem za regulaciju nivoa tečnosti.

Funkcija koja obezbeđuje implementaciju datog sistema na Arduino UNO razvojnom okruženju ima sledeći oblik:

```
void loop() {

  digitalWrite(tr, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(tr, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(tr, LOW);
  float distance = pulseIn(echo, HIGH) * 0.034 / 2;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(distance);
  lcd.print(" cm");
  digitalWrite(rel, HIGH);
  if (distance < thresholdDistance)
  {
    servo1.write(110);
    delay(2000);
    digitalWrite(rel, LOW);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Ispustanje vode");
  }
  else
  {
    servo1.write(0);
    delay(1000);
    digitalWrite(rel, HIGH);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Nema opasnosti");
  }

  delay(1000);
}
```

IV. ZAKLJUČAK

Predloženo rešenje omogućava brz, jednostavan razvoj aplikacija za automatsko regulisanje nivoa tečnosti. Prikazane su i objašnjenje sve komponente, korišćene za realizaciju projekta, kao i njihova uloga u sistemu. Posebna pažnja posvećena je savladavanju poteškoća i problema u projektovanju i implementaciji sistema, naročito kada je u pitanju korišćenje ultrazvučnog senzora za određivanje nivoa tečnosti, kao i rešenje navedenih problema. Zbog svoje jednostavnosti i efikasnosti projekat se može dalje razvijati i biti deo složenijih sistema.

LITERATURA

[1] Warwick A. Smith, “C programiranje za Arduino”

[2] Marko Tanasković, “Arduino Uno uputstvo za korišćenje sa rešenim primerima”

[3] Bert van Dam, “Arduino UNO - 45 projekata za početnike i stručnjake”

[4] http://www.ftn.kg.ac.rs/download/SIR/SIR%20Filip%20Pesic%205302019.pdf

[5] https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/elektronika-e2/wp-content/uploads/sites/87/2018/03/15-Povezivanje-mikrokontrolera-s-periferijama.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.425J
Original scientific paper

Model semafora

Ivan Janković
Mašinsko – elektrotehnička škola
Paraćin, Republika Srbija
ivanjankovic@mes.edu.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* — U ovom radu prikazan je model semafora za realizaciju raskrsnice sa dva automobila. Semafor je predstavljen sa ukupno šest LED dioda (dve crvene, dve žute i dve zelene). Rad semafora odvija se po datom vremenskom dijagramu. Vreme trajanja aktivacije odgovarajućeg svetla na semaforu prikazuje se na sedmosegmentnom displeju sa zajedničkom katodom.**

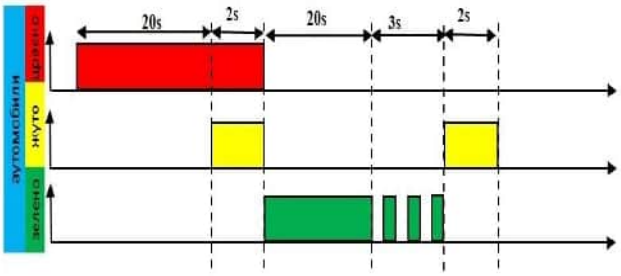
Ključne reči — BCD, Arduino, dekoder, semafor, katoda

I. Uvod

Život u gradovima danas postaje veoma otežan usled velikih saobraćajnih gužvi i nedostataka odgovarajućih mesta za parkiranje automobila. Velike saobraćajne gužve često mogu izazvati nervozu kod učesnika u saobraćaju. Kako bi se omogućilo nesmetano i bezbedno odvijanje saobraćaja naročito na frekventnijim raskrsnicama, veoma je važno postaviti semafore za regulisanje saobraćaja. Semafori trebaju biti pouzdani, precizni i efikasniji obezbeđujući normalno odvijanje saobraćaja, naročito kada je u pitanju bezbednost svih učesnika u saobraćaju.

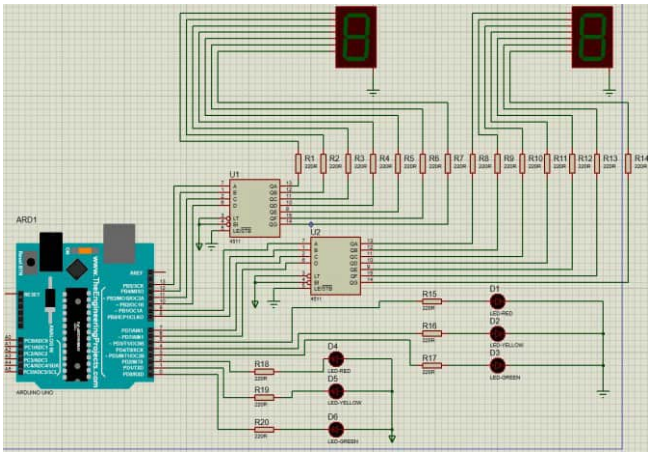
II. Princip rada

Sistem se zasniva na Arduino Uno razvojnom okruženju. Arduino Uno [3] koristi Atmega328P 8-bitni mikrokontroler koji radi na frekvenciji 16 MHz. Poseduje 14 digitalnih i 6 analognih pinova. Na digitalne pinove povezane su LED diode (ukupno 6) i BCD dekoder 4511. Uloga BCD dekodera je da uključi sedmosegmentne displeje sa zajedničkom katodom na kojima je prikazano vreme trajanja odgovarajućeg svetla na semaforu. Koriste se dva sedmosegmentna displeja. Za potrebe realizacije projekta pretpostavljeno je da vreme rada semafora iznosi 20 s. Model semafora koristi se za regulisanje saobraćaja na raskrsnici sa dva automobila. Semafor je predstavljen sa 6 LED dioda, tri LED diode modeluju semafor za jedan automobil, a preostale tri semafor za drugi automobil. Ideja je kada je na jednom semaforu crveno svetlo taj automobil nema prvenstvo prolaza, za razliku od drugog automobila koji može da se kreće, zato što je na semaforu uključeno zeleno svetlo. Detaljan vremenski dijagram rada semafora prikazan je na slici 1.



Slika 1. Vremenski dijagram rada semafora.

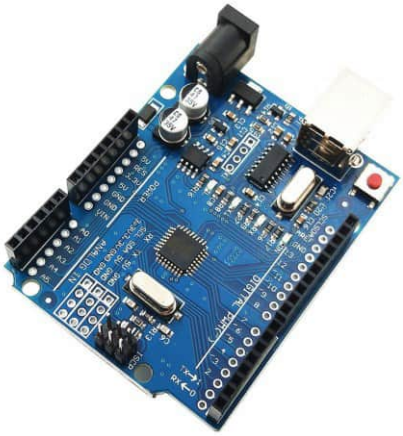
Sistem se sastoji od hardvera i softvera. Električna šema koja opisuje hardver sistema prikazana je na slici 2. Za crtanje električne šeme koristi se program Proteus Professional. Program za realizaciju rada semafora, napisan je u programskom jeziku C [1] u Arduino IDE programskom okruženju.



Slika 2. Električna šema.

III. Implementacija

Na slici 3, prikazano je Arduino Uno [3] razvojno okruženje koje se koristi za realizaciju projekta. Pored mikrokontrolera, digitalnih i analognih pinova, sadrži i kristalni oscilator, USB interfejs, konektor za napajanje, mehanizam prekida, tajmere, taster za reset, UART interfejs.



Slika 3. Arduino Uno hardverska platforma.

Integrisano kolo 4511 (slika 4) je BCD dekoder /drajver za 7 – segmentni LED displej sa zajedničkom katodom. Rad kola zasniva se na 4-bitnom BCD kodu (8421) koji se dovodi na pinove kola obeleženih oznakama A, B, C i D, pri čemu pin D predstavlja bit najveće težine (MSB), a pin A bit najmanje težine (LSB). Na pinove 3 i 4 (LT i BI) treba dovesti logičku jedinicu, a na pin 5 (LE) logičku nulu. Na izlazne pinove BCD dekodera (a, b, c, d, e, f i g) povezuje se sedmosegmentni displej sa zajedničkom katodom.



Slika 4. BCD dekoder.

U zavisnosti od BCD koda koji se dovodi na ulazne pinove A, B, C i D uključuju se odgovarajući segmenti na izlaznim pinovima (a, b, c, d, e, f i g) i prikazuje cifra na sedmosegmentnom displeju. Tablica BCD dekodera 4511 [5] prikazana je na slici 5, a implementacija preko logičkih kola na slici 6.

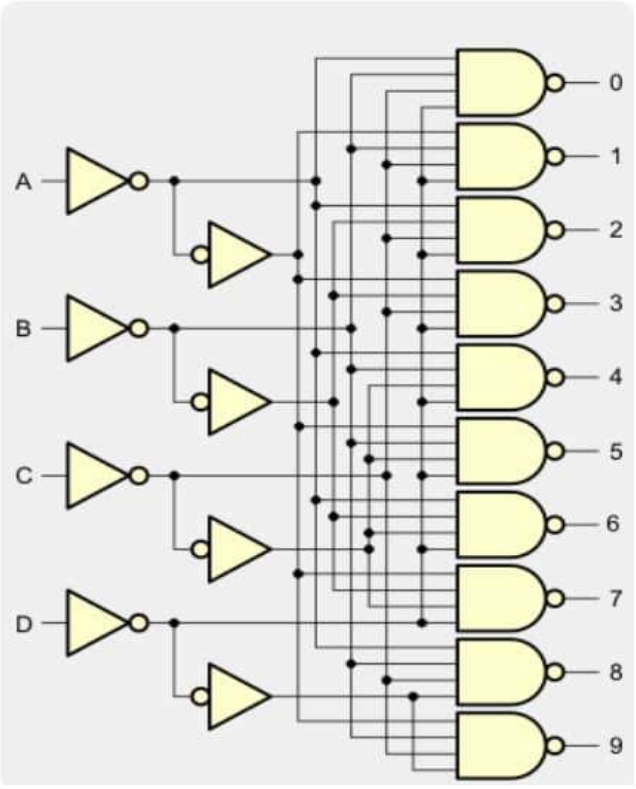
Sedmosegmentni (7seg) LED displeji [4] su integrisane komponente koje se koriste za prikaz decimalnih cifara (0 – 9). Segmenti čijim uključivanjem se formira cifra obeleženi su slovima a – g, a uobičajeno je da postoji i osmi segment koji predstavlja decimalnu tačku (dp). U okviru svakog od segmenata nalazi se po jedna LED dioda. U zavisnosti od načina njihovog internog povezivanja, sedmosegmentni displeji proizvode se u sledećim konfiguracijama:

- displej sa zajedničkom katodom (*Common Cathode*)
- displej sa zajedničkom anodom (*Common Anode*)

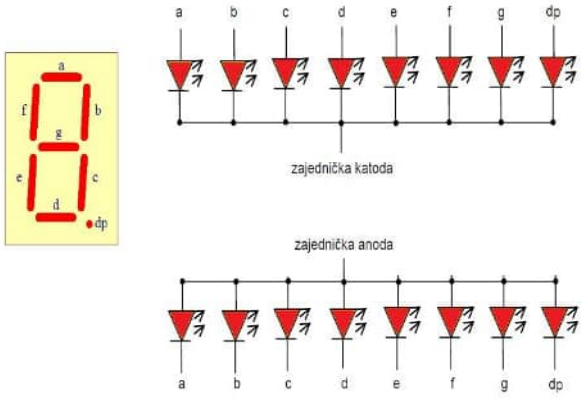
Pored cifara na sedmosegmentnom displeju mogu se prikazati i pojedina slova abecede. Na slici 7, prikazan je sedmosegmentni displej.

LE	$\overline{BI}$	$\overline{LT}$	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	Display
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	1	1	X	X	X	X				*				*

Slika 5. Tablica 4511 BCD dekodera.



Slika 6. Logički dijagram BCD dekodera.



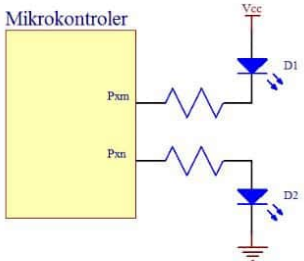
Slika 7. Sedmosegmentni displej.

LED diode (slika 8) koriste se za uključivanje svetla na semaforu. Kada je na jednom semaforu uključeno crveno svetlo, na drugom semaforu obavezno mora biti uključeno zeleno svetlo i obrnuto. LED [2] diode su poluprovodničke komponente koje pri direktnoj polarizaciji emituju svetlost, odnosno svetlost se emituje kada kroz njih protiče struja. Redno sa LED diodom potrebno je povezati otpornik koji treba zaštititi LED diodu od pregorevanja. Za potrebe realizacije projekta korišćeno je ukupno 20 otpornika, pri čemu otpornost svakog otpornika iznosi 220 Ω.



Slika 8. LED diode.

Povezivanje [4] LED diode sa mikrokontrolerom i naredbe za uključivanje LED dioda u zavisnosti od načina povezivanja, prikazani su na slici 9.



Pxm	D1
0	ON
1	OFF

Pxn	D2
0	OFF
1	ON

Slika 9. Povezivanje led diode sa mikrokontrolerom.

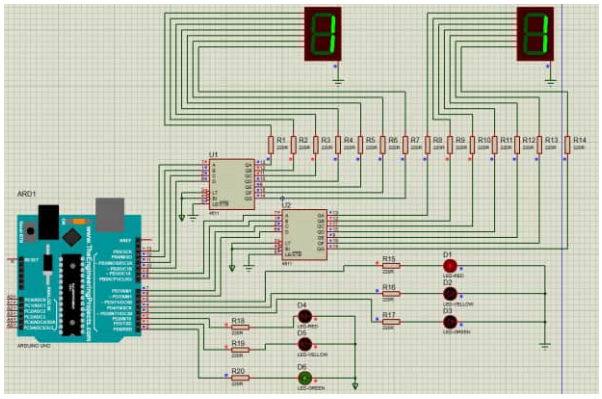
Na displeju potrebno je prikazati vreme trajanja odgovarajućeg svetla na semaforu. Displej počinje da odbrojava od 20 s u opadajućem redosledu, prema vremenskom dijagramu prikazanom na slici 1. U toku 20 s, potrebno je uključiti sva svetla na semaforu, a zatim ponoviti sekvencu rada semafora. Kod u programskom jeziku C [1] koji realizuje uključivanje svetla na semaforu na Arduino Uno razvojnom okruženju je:

```
void crvenoSvetlo()
{
  int i,j=0;
  digitalWrite(zuta1,LOW);
  digitalWrite(zelena1,LOW);
  digitalWrite(crvena1,HIGH);
  digitalWrite(zuta2,HIGH);
  digitalWrite(zelena2,LOW);
  digitalWrite(crvena2,HIGH);
  for(i=2;i>-1;i--)
  {
    if(i==0)
    {
      digitalWrite(A,HIGH);
      digitalWrite(B,HIGH);
      digitalWrite(C,HIGH);
      digitalWrite(D,HIGH);
      for(j=9;j>0;j--)
      {
        if(j>5)
        {
          maske(j);
          delay(1000);
        }
        else if(j>=3 && j<=5)
        {
          maske(j);
          digitalWrite(zelena2,HIGH);
          delay(1000);
          digitalWrite(zelena2,LOW);
          delay(1000);
        }
        else
        {
          maske(j);
          digitalWrite(zelena2,HIGH);
          digitalWrite(zuta1,HIGH);
          digitalWrite(zuta2,LOW);
          delay(1000);
        }
      }
    }
    else
    {
      mask(i);
    }
    if(j==-1)
    {
      for(j=9;j>=0;j--)
      {
        maske(j);
        delay(1000);
      }
    }
    else
    {
      for(j=0;j>-1;j--)
      {
        maske(j);
        delay(1000);
      }
    }
  }
}

void zelenoSvetlo()
{
  int i,j=0;
  digitalWrite(crvena1,LOW);
  digitalWrite(zuta1,LOW);
  digitalWrite(zelena1,HIGH);
  digitalWrite(crvena2,LOW);
  digitalWrite(zuta2,HIGH);
  digitalWrite(zelena2,HIGH);
  for(i=2;i>-1;i--)
  {
    if(i==0)
    {
      digitalWrite(A,HIGH);
      digitalWrite(B,HIGH);
      digitalWrite(C,HIGH);
      digitalWrite(D,HIGH);
      for(j=9;j>0;j--)
      {
        if(j>5)
        {
          maske(j);
          delay(1000);
        }
        else if(j>=3 && j<=5)
        {
            maske(j);
            digitalWrite(zelena1,LOW);
            delay(1000);
            digitalWrite(zelena1,HIGH);
            delay(1000);
```

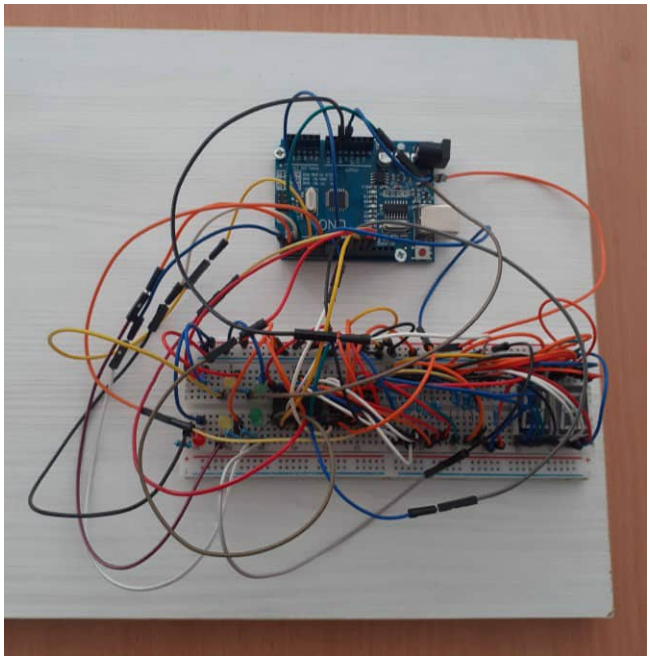
```
            }
            else
            {
               maske(j);
               digitalWrite(zelena1,LOW);
               digitalWrite(zuta1,HIGH);
               digitalWrite(zuta2,LOW);
               delay(1000);
            }
         }
      }
      else
      {
         mask(i);
      }
      if(j==-1)
      {
         for(j=9;j>=0;j--)
         {
            maske(j);
            delay(1000);
         }
      }
      else
      {
         for(j=0;j>-1;j--)
         {
            maske(j);
            delay(1000);
         }
      }
   }
}
```

Posle povezivanja, napisan je program u programskom jeziku C za realizaciju sistema koristeći Arduino IDE programsko okruženje. Testiranje programa prvo se obavlja u simulatoru. Kao simulator koristi se softver Proteus Proffesional. Rezultati simulacije prikazani su na slici 10.



Slika 10. Simulacija.

Posle uspešne simulacije u programu Proteus, komponente se postavljaju na proto ploči, a zatim se pomoću kratkospojnika povezuju na odgovarajuće pinove na Arduino Uno razvojnom okruženju, kao što je prikazano na slici 11.



Slika 11. Praktična realizacija modela semafora.

IV. ZAKLJUČAK

Za izradu i uspešnu realizaciju projekta bilo je neophodno primeniti stečena znanja iz osnova elektrotehnike, elektronike, računarstva i informatike, softverskih alata, programiranja, kao i upoznati se sa karakteristikama i principima rada svake od navedenih komponenti. Poseban izazov predstavljalo je podešavanje tajmera za sinhronizaciju uključivanja LED dioda, kako bi se semafor prikazao u realnom vremenu. Postoji mogućnost proširivanja projekta dodavanjem više semafora za regulisanje saobraćaja na raskrsnicama sa više automobila, sve u cilju povećanja bezbednosti svih učesnika u saobraćaju.

LITERATURA

[1] Warwick A. Smith, “C programiranje za Arduino”

[2] Marko Tanasković, “Arduino Uno uputstvo za korišćenje sa rešenim primerima”

[3] Bert van Dam, “Arduino UNO - 45 projekata za početnike i stručnjake”

[4] https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/elektronika-e2/wp-content/uploads/sites/87/2018/03/15-Povezivanje-mikrokontrolera-s-periferijama.pdf

[5] https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4511b.pdf

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.429J
Original scientific paper

Sistem za regulaciju osvetljenja u prostoriji

Ivan Janković
Mašinsko – elektrotehnička škola
Paraćin, Republika Srbija
ivanjankovic@mes.edu.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* — U ovom radu predstavljen je uređaj za uključivanje i isključivanje svetla senzorom pokreta ili zvuka. Detektovanjem kretanja u nekom objektu ili registrovanjem zvuka može se uključiti svetlo sa određenim vremenskim trajanjem. Na displeju prikazuje se naziv senzora koji uključuje svetlo.**

Ključne reči — Arduino, LCD, pokret, senzor, svetlo

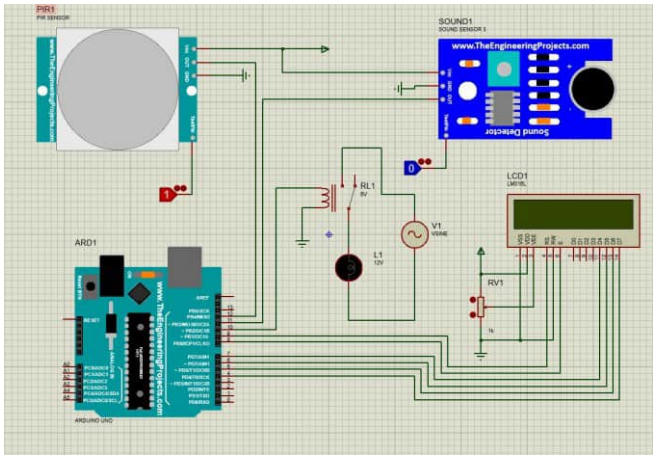
I. Uvod

Senzori za osvetljenje su uređaji koji automatski upravljaju rasvetom. Njihova primarna funkcija je da uključe svetlo kada se neko približi i isključe kada osoba napusti prostoriju. Za uključivanje svetla mogu se koristiti različiti senzori. Postoji veliki broj senzora pokreta, koji se prvenstveno razlikuju po vrsti montaže. Koriste se u različitim tipovima prostorija, kao što su kuće, stanovi, hoteli, restorani, kompanije. Pored senzora pokreta, za regulaciju osvetljenosti prostorija mogu se koristiti i senzori zvuka, kao i fotosenzori. U ovom projektu pokazano je kako senzorom pokreta ili zvuka možemo uključivati ili isključivati svetlo.

II. Princip rada

Sistem se zasniva na Arduino Uno razvojnom okruženju. Arduino Uno koristi Atmega328P 8-bitni mikrokontroler koji radi na frekvenciji 16 MHz. Poseduje 14 digitalnih i 6 analognih pinova. Ostale komponente koje se koriste za realizaciju sistema su PIR senzor (detektor pokreta), senzor zvuka, relej i LCD (16x2) displej. Kretanjem osoba u prostoriji PIR senzor detektuje njihovo prisustvo i uključuje svetlo u datoj prostoriji. Svetlo može biti uključeno i odgovarajućim senzorom zvuka, ako se u prostoriji registruju zvučni signali. Bilo koji zvučni signal može uključiti svetlo. Na releju je povezana sijalica. Preporuka je koristiti LED sijalice. Uloga releja je da kada se u sistemu detektuje pokret ili zvuk, uključi svetlo. Na displeju se prikazuje naziv senzora koji uključuje svetlo, kao i poruka kada je svetlo isključeno.

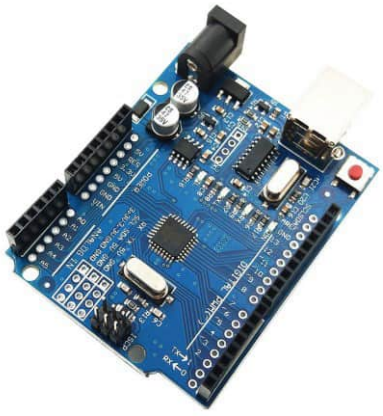
Sistem se sastoji od hardvera i softvera. Električna šema koja opisuje hardver sistema prikazana je na slici 1. Program je pisan u programskom jeziku C u Arduino IDE programskom okruženju.



Slika 1. Električna šema.

III. Implementacija

Na slici 2, prikazano je Arduino Uno razvojno okruženje koje se koristi za realizaciju projekta. Pored mikrokontrolera, digitalnih i analognih pinova, sadrži i kristalni oscilator, USB interfejs, konektor za napajanje, mehanizam prekida, tajmere, taster za reset, UART interfejs.

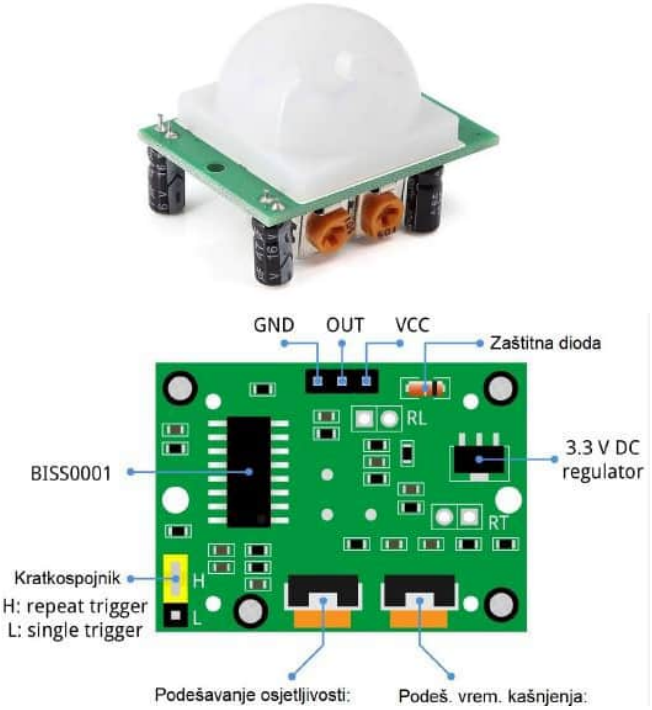


Slika 2. Arduino Uno hardverska platforma.

PIR senzor (slika 3) može detektovati pokrete na rastojanjima do 7 metara. Povećanje detekcije rastojanja može se podesiti okretanjem potenciometra u smeru kretanja kazaljke na satu, dok se okretanjem potenciometra u smeru suprotnom kretanju kazaljke na satu smanjuje rastojanje do 3 m na kome se mogu detektovati pokreti. Potenciometar za vremensko kašnjenje određuje koliko će trajati visok

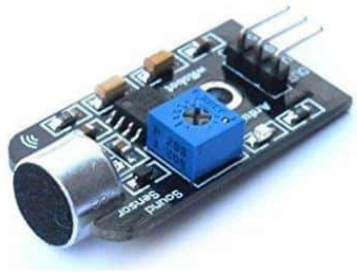
naponski nivo (logička jedinica) na izlazu nakon detekcije pokreta (3 s – 300 s). Okretanjem potenciometra u smeru kretanja kazaljke na satu ili suprotnom, povećava se ili smanjuje navedeno vreme. Senzor poseduje tri pina:

- Vcc – napon 5 V
- OUT – povezuje se sa Arduinom
- GND - masa



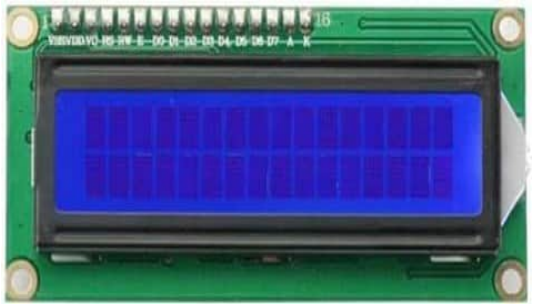
Slika 3. PIR senzor.

Senzor za detekciju zvuka prikazan je na slici 4. Na pločici senzora nalaze se tri pina: Vcc, GND i OUT. Pin OUT koristi se za povezivanje senzora sa Arduinom. Kada je detektovan zvuk na pinu OUT potrebno je upisati HIGH, u suprotnom na pinu se upisuje vrednost LOW. Potenciometrom koji se nalazi u plavom kućištu, moguće je podešavati osetljivost mikrofona.



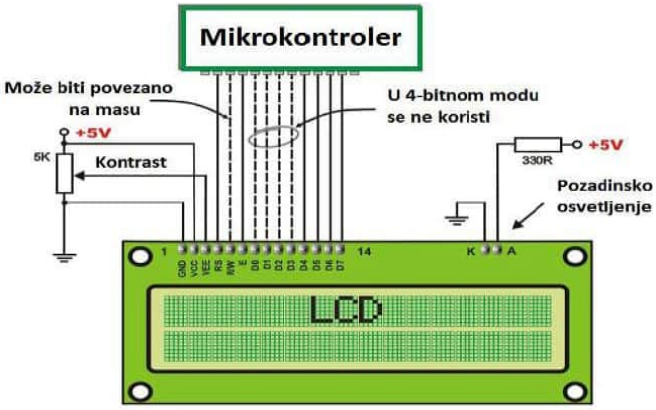
Slika 4. Senzor zvuka.

Za prikazivanje poruka u sistemu koristi se LCD displej 16x2 karaktera, prikazan na slici 5. Displej koristi plavo pozadinsko osvetljenje. Displej je u 4–bitnom modu rada, komunikacija se obavlja preko pinova D4 – D7. U prvom redu na displeju prikazuje se poruka koja ukazuje da je svetlo uključeno, a u drugom redu naziv odgovarajućeg senzora koji je uključio navedeno svetlo. Napajanje displeja je 5 V. Za regulaciju kontrasta na displeju koristi se potenciometar.



Slika 5. LCD displej.

Princip povezivanja displeja sa mikrokontrolerom prikazan je na slici 6.



Slika 6. Povezivanje displeja.

Relej prikazan na slici 7, koristi se za uključivanje svetla, kada je u prostoriji detektovano prisustvo ili kretanje nekog objekta ili zvuka. Relej ima 6 pinova, raspoređenih u dve grupe. Prvu grupu pinova predstavljaju napon (5 V), GND i pin koji se povezuje na Arduino, na električnoj šemi sa slike 1, to je pin 10. Na preostale pinove povezana je sijalica.



Slika 7. Relej.

Inicijalizacija sistema obavlja se u funkciji **setup** na sledeći način:

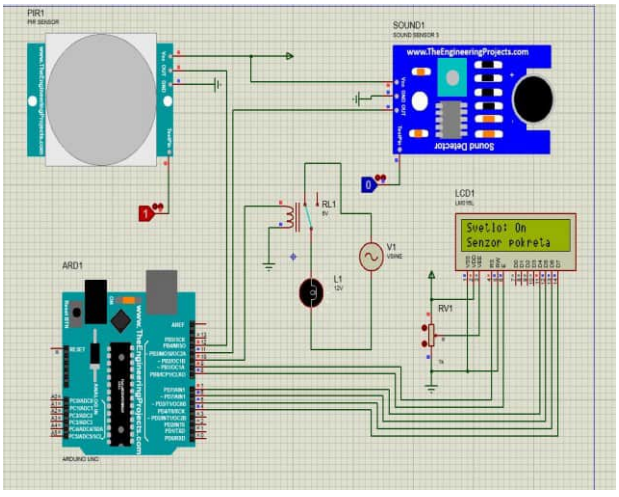
```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(pir,INPUT);
  pinMode(zvuk,INPUT);
  pinMode(relej,OUTPUT);
  lcd.begin(16,2);
  digitalWrite(pir,LOW);
  digitalWrite(zvuk,HIGH);
  digitalWrite(relej,LOW);
}
```

Program za implementaciju sistema pisan je u programskom jeziku C. Funkcija koja uključuje svetlo aktivacijom odgovarajućeg senzora i ispisuje poruke na LCD displeju nazvana je **ukljuci**:

```
void ukljuci()
{
  if(digitalRead(zvuk)==HIGH)
  {
    lcd.clear();
    digitalWrite(relej,HIGH);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Svetlo: On");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Senzor zvuka");
    delay(5000);
  }
  else if(digitalRead(pir)==HIGH)
  {
    lcd.clear();
    digitalWrite(relej,HIGH);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Svetlo: On");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Senzor pokreta");
    delay(5000);
  }
  else if(digitalRead(zvuk)==LOW && digitalRead(pir)==LOW)
  {
    digitalWrite(relej,LOW);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Svetlo: Off");
  }

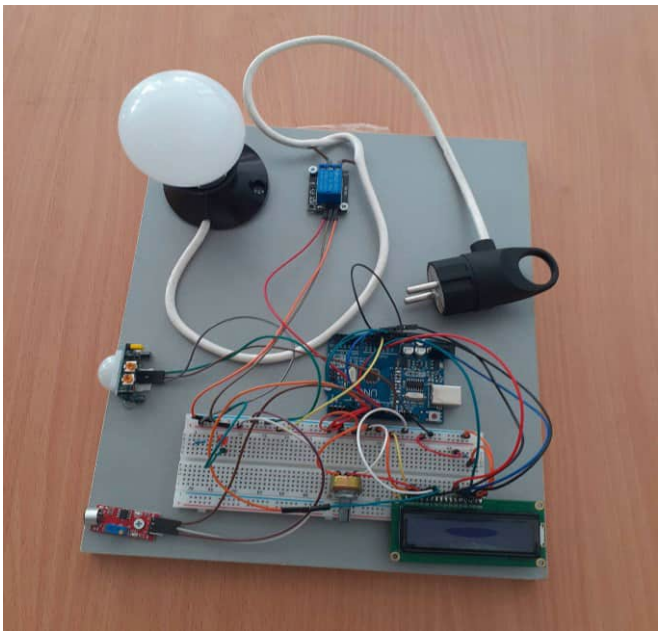
}
```

Testiranje ispravnosti napisanog programa, potrebno je prvo uraditi u simulatoru. Kao simulator koristi se program Proteus. Dobijeni rezultati testiranja programa u simulatoru mogu se videti na slici 8.



Slika 8. Simulacija.

Simulaciju rada programa potrebno je obaviti više puta. Ako ponovljeni pokušaji testiranja rada programa u simulatoru uvek daju iste rezultate da je program funkcionalan i bez greške, sledeći korak je hardverska implementacija sistema prema nacrtanoj šemi sa slike 1. Komponente se postavljaju na proto ploči, a zatim se pomoću kratkospojnika povezuju na odgovarajuće pinove na Arduino Uno razvojnom okruženju, prema nacrtanoj električnoj šemi. Arduino se pomoću USB kabla povezuje sa računarom, u programskom okruženju podešava se serijski port preko koga se odvija komunikacija (opcija Tools → Port), a zatim se prethodno napisani program prebacuje u programsku memoriju Arduina i izvršava na mikrokontroleru. Puštanjem sistema u rad, još jednom se proverava funkcionalnost i ispravnost. Na slici 9, prikazana je hardverska implementacija sistema za uključivanje svetla senzorom zvuka ili pokreta.



Slika 9. Praktična realizacija sistema za regulaciju osvetljenja.

IV. Zaključak

Koristeći Arduino UNO razvojno okruženje projektovan i uspešno realizovan sistem za regulaciju osvetljenja u prostoriji. Sistem za regulaciju osvetljenja koristi dva senzora: senzor pokreta i senzor zvuka. Prikazane su i objašnjene karakteristike i princip rada navedenih senzora. Sistem je potpuno automatizovan u svom funkcionisanju. Uključivanje svetla obavljaju jedan ili drugi senzor, u zavisnosti da li se prvo detektuje pokret ili zvuk u datoj prostoriji. Zbog svoje jednostavnosti i efikasnosti ima veliku praktičnu primenu. Može se koristiti za uključivanje svetla u svim domaćinstvima, hotelima, restoranima, u bilo kom objektu gde postoji mogućnost korišćenja senzora. Sistem se može dalje razvijati i proširivati novim funkcionalnostima.

Literatura

[1] Warwick A. Smith, “C programiranje za Arduino”

[2] Marko Tanasković, “Arduino Uno uputstvo za korišćenje sa rešenim primerima”

[3] Bert van Dam, “Arduino UNO - 45 projekata za početnike i stručnjake”

[4] https://www.instructables.com/How-to-Use-a-PIR-Motion-Sensor-With-Arduino/

[5] https://www.instructables.com/Arduino-Sound-Sensor-with-LED/

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.433J
Original scientific paper

Merenje temperature i vlažnosti vazduha

Ivan Janković
Mašinsko – elektrotehnička škola
Paraćin, Republika Srbija
ivanjankovic@mes.edu.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj* — U ovom radu prikazan je prototip sistema koji meri temperaturu i vlažnost vazduha pomoću DHT11 [5] senzora. Rezultate merenja prikazuje u realnom vremenu na LCD displeju (16x2) i šalje na mobilni telefon korišćenjem Bluetooth HC – 05 modula [2].**

Ključne reči — LCD, senzor, Bluetooth, temperatura, DHT

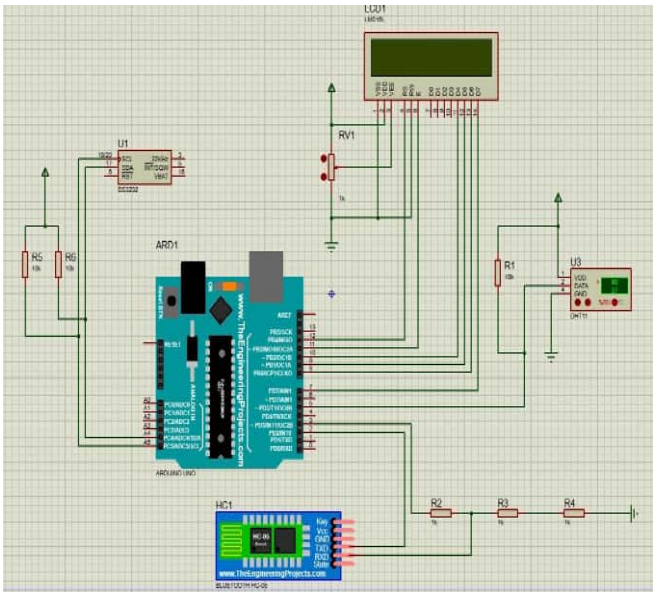
I. Uvod

Danas u vreme klimatskih promena i velikih temperatura, veoma je važno u svakom trenutku dobijati tačne podatke o izmerenoj temperaturi i vlažnosti vazduha. Visoke temperature mogu imati štetno dejstvo na zdravlje, posebno kod osoba sa hroničnim problemima. Sistem za merenje temperature i vlažnosti vazduha zasniva se na senzoru DHT11 [5]. Podaci dobijeni sa senzora prikazuju se na LCD displeju u realnom vremenu, kao i na mobilnom telefonu. Za slanje podataka na mobilni telefon, neophodno je instalirati odgovarajuću aplikaciju na telefonu, a zatim upariti Bluetooth modul sa datom aplikacijom. Merenja se mogu obavljati na više različitih lokacija, tako da u svakom trenutku dobijamo tačne podatke o izmerenoj temperaturi i vlažnosti vazduha. Dobijeni podaci mogu se kasnije dalje obrađivati u zavisnosti od specifičnosti aplikacija u kojima se koriste.

II. Princip rada

Sistem se zasniva na Arduino Uno [3] razvojnom okruženju. Arduino Uno [3] koristi Atmega328P 8-bitni mikrokontroler koji radi na frekvenciji 16 MHz. Poseduje 14 digitalnih i 6 analognih pinova. Na digitalne pinove povezani su LCD displej (16x2), DHT11 [5] senzor i Bluetooth modul [2] za slanje podataka na mobilni telefon. Sa Google Play Store preuzeti i instalirati na mobilnom telefonu aplikaciju Serial Bluetooth Terminal za slanje podataka sa DHT11 [5] senzora Na LCD [2] displeju u prvom redu prikazani su podaci o vremenu i tekućem datumu, a u drugom redu prikazuju se podaci dobijeni sa DHT11[5] senzora. Temperatura prikazuje se u ^{0}C, a vlažnost vazduha u %. Za prikaz vremena koristi se DS3231 [4] RTC (Real Time Clock) modul koji za prenos podataka koristi I2C komunikaciju (povezan na pinove A4 i A5 na Arduino Uno razvojnom okruženju). Bluetooth modul povezan je na pinove 2 i 3, koristi serijski prenos podataka. Za realizaciju serijskog prenosa podataka na pinovima 2 i 3 koristi se Arduino biblioteka SoftwareSerial. Brzina prenosa podataka je 9600 bauda.

Sistem se sastoji od hardvera i softvera. Električna šema koja opisuje hardver sistema prikazana je na slici 1. Program [1] je pisan u programskom jeziku C [1] u Arduino IDE programskom okruženju.



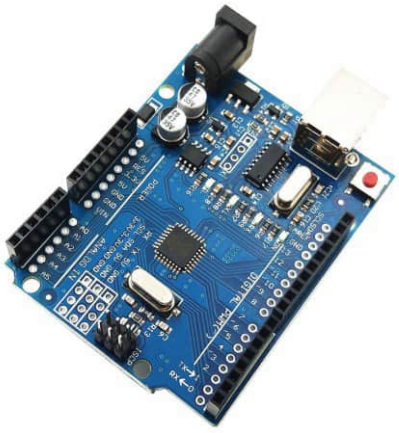
Slika 1. Električna šema.

III. Implementacija

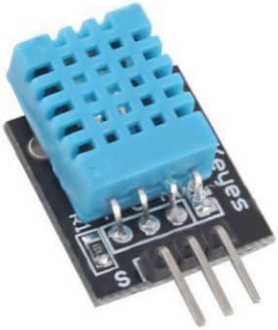
Na slici 2, prikazano je Arduino Uno [3] razvojno okruženje koje se koristi za realizaciju projekta. Pored mikrokontrolera, digitalnih i analognih pinova, sadrži i kristalni oscilator, USB interfejs, konektor za napajanje, mehanizam prekida, tajmere, taster za reset, UART interfejs.

DHT11 [5] (slika 3) je senzor relativne vlažnosti i temperature koji koristi kapacitivni senzor vlažnosti i termistor za merenje temperature okoline. Osnovne karakteristike senzora su:

- napon 3 V – 5 V
- potrošnja struje 2.5 mA
- očitavanje temperature u opsegu 0 ^{0}C – 50 ^{0}C, sa tačnošću ±2 ^{0}C
- očitavanje vlažnosti vazduha u opsegu 20 % - 80 %, sa tačnošću 5 %
- prototipska ploča kompatibilna sa razmakom između pinova od 0.1 inča



Slika 2. Arduino Uno hardverska platforma.



Slika 3. DHT11 senzor.

Komunikacija sa mikrokontrolerom odvija se pomoću jedne linije za prenos podataka (obeležena sa S na slici). Na liniju za prenos podataka povezan je *pull – up* otpornik otpornosti 10 K. Sa senzora [5] dobija se 5 B podataka, 2 B podataka o vlažnosti vazduha, 2 B podataka o temperaturi i 1 B podataka o kontrolnom zbiru. Proces komunikacije može se podeliti u tri faze: u prvoj fazi šalje se zahtev DHT11 [5] senzoru, u drugoj fazi senzor [5] šalje odgovor, a zatim u trećoj fazi počinje slanje podataka mikrokontroleru.

Za pisanje programa [1] koristi se biblioteka DHT za rad sa DHT11 [5] senzorom koju je potrebno prethodno instalirati na Arduinu. Nakon instaliranja biblioteka se uključuje u program [1] na sledeći način:

```
#include <DHT.h>

#define DHTTYPE DHT11

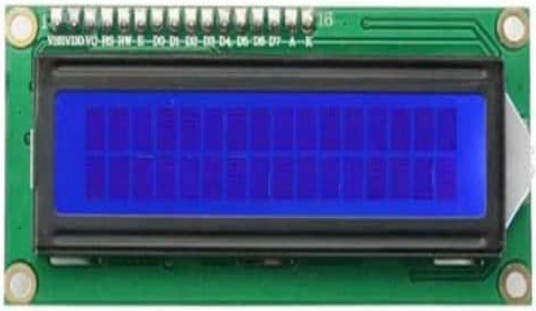
DHT senzor (data, DHTTYPE);
```

Posle uključivanja biblioteke na početku programa [1], potrebno je definisati model senzora [5] koji se koristi, kreirati objekat pomoću odgovarajućeg konstruktora, kako bi se moglo pristupati funkcijama za čitanje temeperature i vlažnosti vazduha iz navedene biblioteke. Promenljiva data ukazuje na liniju za prenos podataka između senzora [5] i mikrokontrolera.

Za očitavanje podataka sa senzora [5], koriste se dve funkcije iz date biblioteke:

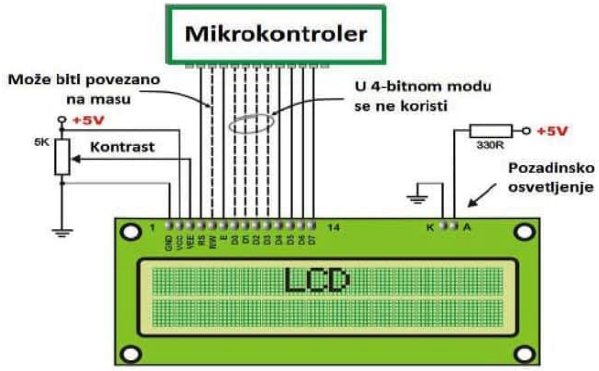
- readTemperature() – temperatura (^{0}C)
- readHumidity() – vlažnost vazduha (%)

Za prikaz rezultata merenja koristi se LCD displej [2] 16x2 karaktera, prikazan na slici 4. Displej [2] koristi plavo pozadinsko osvetljenje. Displej [2] je u 4–bitnom modu rada, komunikacija se obavlja preko pinova D4 – D7. U prvom redu na displeju [2] prikazuje se vreme i datum, a u drugom podaci sa DHT11 [5] senzora (temperatura i vlažnost vazduha). Napajanje displeja [2] je 5 V.



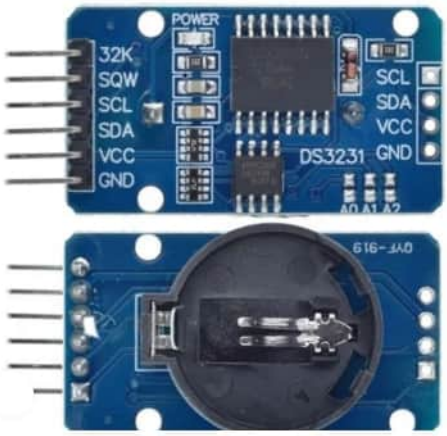
Slika 4. LCD displej.

Princip povezivanja displeja [2] sa mikrokontrolerom prikazan je na slici 5.



Slika 5. Povezivanje displeja.

Za prikaz vremena i datuma koristi se DS3231 RTC modul [4], prikazan na slici 6. Modul je dizajniran za vrhunsku preciznost, može sadržati i bateriju koja osigurava njegovo funkcionisanje čak i kada je sistem isključen. Sadrži informacije o sekundama, minutima, satima, danima, datumima, mesecima i godinama, uz automatsko podešavanje za mesece koji imaju manje od 31-og dana i prestupne godine. Poseduje integrisani oscilator.

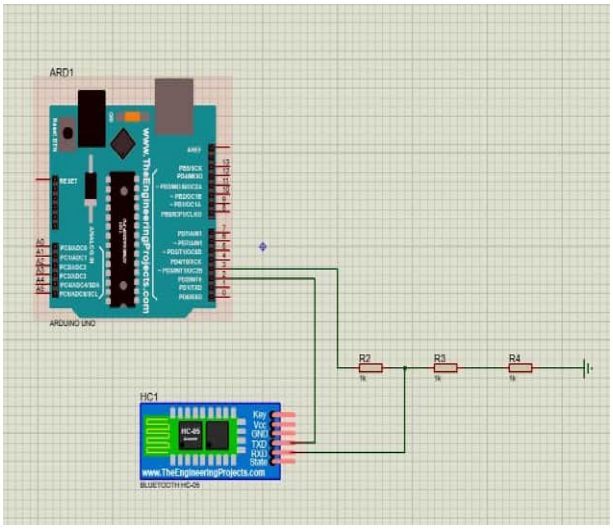


Slika 6. DS3231 RTC modul.

Bluetooth modul [2] (slika 7) povezuje se sa Arduino Uno razvojnim okruženjem pomoću UART interfejsa. Brzina prenosa podataka je 9600. Bluetooth modul [2] ima logičke nivoe na 3.3 V i 0 V, za razliku od Arduina koji ima logičke nivoe na naponima od 5 V i 0 V. Tx linija za slanje podataka od Arduina ka Bluetooth modulu [2] mora biti kompatibilna sa Tx linijom na Bluetooth modulu [2], što se postiže naponskim razdelnikom, kao što je prikazano na Slici 8. Za prenos podataka na Arduino pomoću UART interfejsa koriste se pinovi 0 i 1. Kako je za realizaciju projekta, Bluetooth modul [2] povezan na pinove 2 i 3, da bi se omogućio serijski prenos podataka na ovim pinovima nezavisno od pinova 0 i 1 koristi se Arduino biblioteka SoftwareSerial. Na mobilnom telefonu sa Android operativnim sistemom potrebno je instalirati odgovarajuću aplikaciju, koja se može preuzeti sa Google Play Store prodavnice, povezati mobilni telefon i Arduino razvojno okruženje pomoću Bluretooth – a i pročitati dobijene podatke sa senzora [5] (temperatura i vlažnost vazduha).

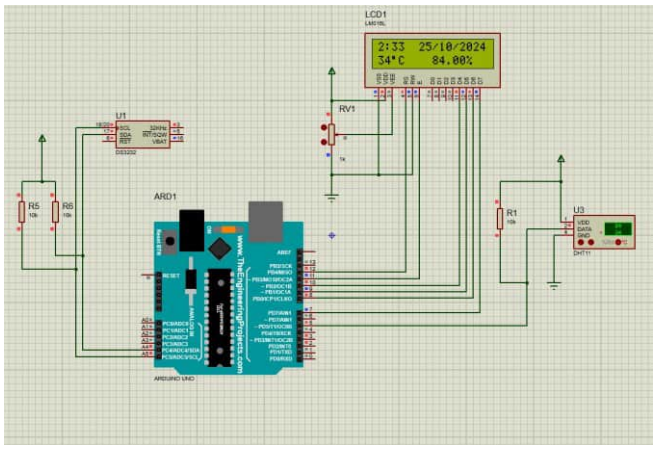


Slika 7. Bluetooth modul.



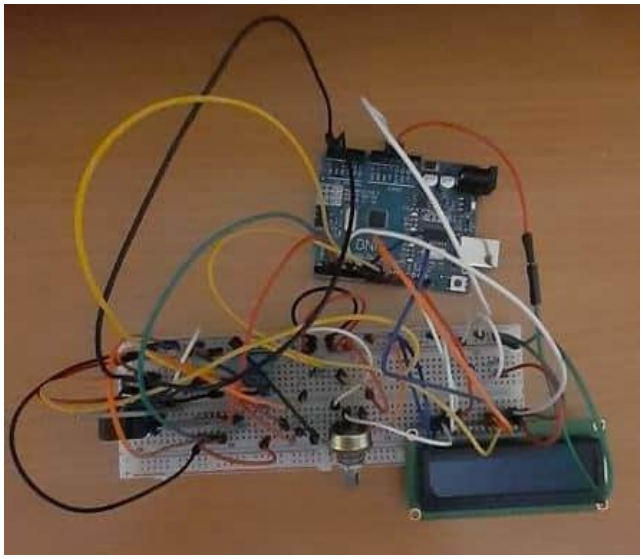
Slika 8. Povezivanje Bluetooth modula.

Posle povezivanja, napisan je program [1] u programskom jeziku C [1] za realizaciju sistema koristeći Arduino IDE programsko okruženje. Testiranje programa prvo se obavlja u simulatoru. Kao simulator koristi se softver Proteus Proffesional. Po pokretanju simulacije, očitavaju se podaci sa senzora i prikazuju na displeju [2]. Za prikaz vremena i datuma koristi se DS3231 RTC modul [4]. Rezultati simulacije prikazani su na slici 9. U programu [1] je podešeno da se očitavanje podataka sa senzora [5] obavlja svakih 100 ms.



Slika 9. Simulacija.

Posle uspešne simulacije u programu [1] Proteus, komponente se postavljaju na proto ploči, a zatim se pomoću kratkospojnika povezuju na odgovarajuće pinove na Arduino Uno razvojnom okruženju, prema priloženoj šemi prikazanoj na slici 1. Arduino [3] se pomoću USB kabla povezuje sa računarom, u programskom okruženju podešava se port (opcija Tools → Port), a zatim se prethodno napisan program [1] u programskom jeziku C prebacuje u programsku memoriju Arduina i izvršava na mikrokontroleru. Puštanjem sistema u rad, očitavaju se podaci sa senzora [5], prikazuju na displeju [2] i putem Bluetooth modula [2] šalju na mobilni telefon. Korisnik u svakom trenutku može da prati rezultate merenja, bilo na svom mobilnom telefonu bilo na LCD displeju [2]. Hardverska implementacija sistema na Arduino razvojnom okruženju prikazana je na slici 10.



Slika 10. Praktična realizacija sistema za merenje temperature i vlažnosti vazduha.

IV. ZAKLJUČAK

Projekat opisuje kreirani sistem visoke mobilnosti, malih dimenzija i velike preciznosti i tačnosti pri merenju. Za izradu i uspešnu realizaciju projekta bilo je neophodno primeniti stečena znanja iz osnova elektrotehnike, elektronike, računarstva i informatike, softverskih alata, kao i programiranja. Takođe, potrebno je upoznati se sa radom svake od navedenih elektronskih komponenti, njenim

karakteristikama i specifičnostima, a zatim na osnovu svih osobina i pojedinosti svake od navedenih komponenti, projektovati hardver i napisati odgovarajući softver za realizaciju sistema. Rezultati merenja dostupni su u svakom trenutku, bilo čitanjem sa displeja ili slanjem na mobilni telefon. Jedna od prednosti sistema je mogućnost korišćenja mobilnog telefona za prikaz izmerenih vrednosti sa senzora. Dobijeni podaci mogu se dalje obrađivati i koristiti u složenijim sistemima. Mogućnost daljeg proširivanja sistema ogleda se u projektovanju baze podataka u kojoj bi se čuvali podaci o izmerenim vrednostima za temperaturu i vlažnost vazduha, kao i razvoju aplikacije za mobilni telefon prilagođene specifičnostima i potrebama daljeg korišćenja sistema.

LITERATURA

[1] Warwick A. Smith, "C programiranje za Arduino"

[2] Marko Tanasković, "Arduino Uno uputstvo za korišćenje sa rešenim primerima"

[3] Bert van Dam, "Arduino UNO - 45 projekata za početnike i stručnjake"

[4] DS3231 RTC modul. Dostupno na: https://lastminuteengineers.com/ds3231-rtc-arduino-tutorial

[5] DHT11 senzor.Dostupno na: https://www.electronicwings.com/sensors-modules/dht11

IEEESTEC – 17th Student Projects Conference, Niš, 2024.
https://doi.org/10.46793/IEEESTEC17.437R
Original scientific paper

Verifikacija SPI2AHB bridge-a primenom UVM metodologije

Vladimir Rudić
Modul Elektronika i mikrosistemi
Elektronski fakultet Niš
Niš, Srbija
vladimirrudic@elfak.rs
ORCID: N/A

***Sadržaj*— Cilj ovog rada je da se predstavi proces projektovanja verifikacionog okruženja koji omogućava verifikovanje SPI2AHB bloka. Za rad je korišćen jedan od poznatijih jezika za verifikaciju, System Verilog, kao i UVM metodologija koja je razvijena za isti taj jezik. Opisani su SPI i AHB protokoli, kao i blok koji verifikujemo. Rad prati detaljan opis za svaku od komponenata koja je značajna u procesu kreiranja verifikacionog okruženja.**

Ključne reči*— *Verifikacija, System Verilog, UVM metodologija, Verifikaciono okruženje, SPI, AHB, DUT

I. UVOD

Testiranje funkcionalnosti čipa pre same proizvodnje istog je možda i najbitniji korak u procesu projektovanja nekog sistema. Ukoliko čip dođe na tržište bez detaljne verifikacije, postoji velika šansa da uređaj ne radi po specifikaciji, pa čak i da uopšte ne radi. Ovakvi čipovi i sistemi, koji su često delovi većih sistema ili uređaja, moraju biti povučeni iz prodaje, čime su gubici za kompaniju koja proizvodi čip, kao i kompanija koje koriste proizvedeni čip, ogromni. Zbog toga je jako bitno da se pre proizvodnje samog čipa šansa da dođe do pogrešnog funkcionisanja uređaja dovede do minimuma [1].

U ovom radu će biti objašnjen postupak projektovanja verifikacione komponente za APB komunikacioni protokol, kao i objašnjenje svake komponente unutar verifikacionog okruženja. Upoznajemo se sa APB prokolom, njegovim signalima i mogućim operacijama. Nakon ovoga, detaljno je opisana univerzalna verifikaciona komponenta i njeni sastavni najbitniji delovi. Na kraju imamo rezultate testova.

II. SPI PROTOKOL

SPI (eng. *Serial Peripheral Interface*) protokol je jedan od najčešće korišćenih interfejsa između mikrokontrolera i perifernih integrisanih kola kao što su senzori, ADC-ovi, DAC-ovi, registar pomeranja, SRAM, FLASH memorije i drugi [5].

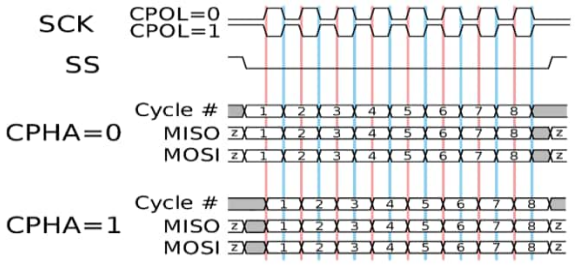
SPI uređaji komuniciraju u full-duplex režimu koristeći arhitekturu master-slejv, obično sa jednim masterom. Master uređaj inicira operacije za čitanje i pisanje. Više slejv uređaja može biti podržano kroz selekciju pomoću individualnih linija za odabir čipa (CS), koje se ponekad nazivaju i linijama za odabir slave uređaja (SS). SPI interfejs može biti trožični ili četvorožični [5].

SPI protokol se sastoji od sledećih signala:

- SCLK (eng. *Serial Clock*) – CLK (eng. *Clock*) po kome rade ostali signali
- MOSI (eng. *Master Out Slave Input*) - Master šalje podatak ka slejvu
- MISO (eng. *Master Input Slave Output*) - Master prima podatak od slejva
- CS/SS (eng. *Chip/Slave Select*) - Master određuje koji slejv je aktivan ukoliko je struktura sa više slejvova. Češće je active low signal.

Tokom SPI komunikacije, podaci se istovremeno prenose (serijski se šalju na magistrali) i primaju (podaci na magistrali se uzorkuju ili čitaju). U SPI protokolu, master uređaj može odabrati polaritet i fazu taktnog signala (kloka). CPOL bit postavlja polaritet signala kloka tokom stanja mirovanja. Stanje mirovanja definiše se kao period kada je SS visok i prelazi u nisko na početku prenosa, i kada je SS nizak i prelazi u visoko na kraju prenosa. Kada je CPOL=0, signal kloka je nizak u stanju mirovanja i prenos počinje sa uzlaznom ivicom kloka. Kada je CPOL=1, koristi se inverzni signal kloka, pri čemu je signal kloka visok u stanju mirovanja, a prenos počinje sa silaznom ivicom kloka [5].

CPHA bit bira fazu kloka. U zavisnosti od CPHA bita, kloka koristi se uzlazna ili silazna ivica kloka za semplovanje i/ili pomeranje podataka. Kada je CPHA=0, semplovanje podataka počinje na početnoj ivici kloka. Kada je CPHA=1, semplovanje podataka počinje na kranjoj ivici kloka. Slika 1. prikazuje četiri osnovna SPI režima, gde crvene linije označavaju početne ivice kloka, a plave završne ivice [4].

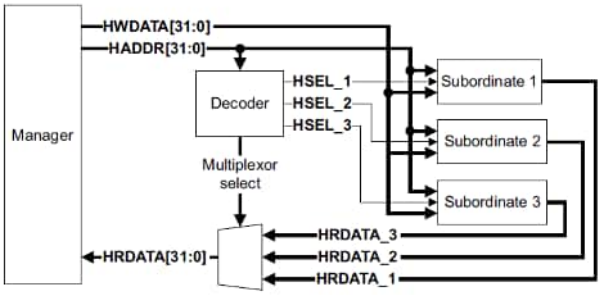


Slika 1. SPI modovi na vremenskom dijagramu.

III. AHB-LITE PROTOKOL

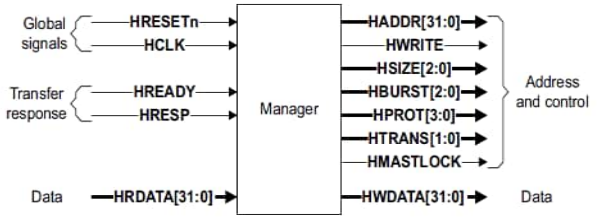
AHB (eng. *Advanced High-performance Bus*) je visokoperformansni i široko korišćeni protokol za interkonekciju unutar integrisanih kola ili mikroprocesorskih sistema. Razvijen od strane kompanije ARM, AHB protokol obezbeđuje efikasnu i pouzdanu komunikaciju između različitih komponenti unutar čipa, kao što su mikroprocesori, memorije, periferne jedinice i druge funkcionalne blokove. Vrlo često se koristi podskup AHB protokola jer neke dodatne karakteristike nisu često neophodne, odnosno AHB-Lite [6].

Na slici 2. je prikazan AHB-Lite sistem koji se sastoji od jednog mastera i tri slejva. U sistemu postoji adresni dekoder, koji na osnovu opsega adresa selektuje odgovarajući slejv. Takođe postoji i slejv-master multiplekser kojim se vrši prosleđivanje pročitanih podataka masteru.



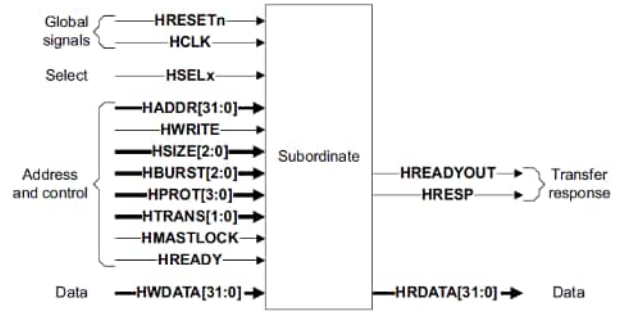
Slika 2. AHB-Lite sistem.

AHB-Lite master sadrži kontrolne signale kojima se inicira operacija za čitanje ili upis, dok AHB-Lite slejv sadrži signale kojima odgovara masteru na iniciranje operacije. Interfejs master signala je prikazan na slici 3.



Slika 3. AHB-Lite master signali.

AHB-Lite slejv sadrži HSEL signal koji dolazi iz dekodera. Izlazi slejva služe za signaliziranje uspešnog ili neuspešnog transfera, kao i za odlaganje transfera podataka. AHB-Lite slejv signali su prikazani na slici 4.



Slika 4. AHB-Lite slejv signali.

IV. SPI2AHB BRIDGE

Osnovna funckionalnost bloka je da prevede SPI u AHB protokol. SPI master će serijski isporučivati sledeća polja redosledom prikazanim ispod, počevši od najznačajnijeg bita (*msb*):

1. 8-bitna komanda
2. 32-bitna adresa
3. 32-bitni podatak
   - ima ga se samo za operaciju upisa
   - za operacije čitanja, ovo polje ne postoji
4. 8-bitni CRC-8
   - izračunava se na osnovu komande, adrese i podataka prilikom operacije upisa
   - izračunava se na osnovu komande i adrese za operacije čitanja

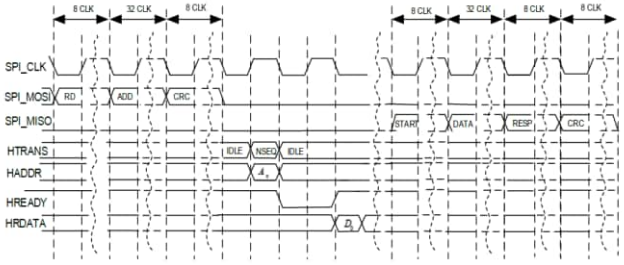
SPI slejv će serijski odgovoriti sledećim poljima, počevši od najznačajnijeg bita:

1. 8-bitni znak za početak
2. 32-bitni podaci = pročitan podatak prilikom operacije čitanja (četiri *idle* znaka u slučaju operacije pisanja)
3. 8-bitni odgovor od strane AHB preveden u komandu
4. 8-bitni CRC-8 (izračunava se na osnovu početnog znaka, podataka i odgovora)

Pravila za određena polja:

- Vrednost znaka za početak mora biti 8'hBB
- Idle stanje je 8'h00 (četiri *idle* znaka se šalju u slučaju operacije pisanja)
- Komanda za pisanje = 8'h00, komande za čitanje = 8'h01, ostale komande će se tretirati kao komande za čitanje
- Odgovor može biti: Good = 8'h00, AXI greška = 8'h01, CRC greška = 8'h02

Operacija čitanja na vremenskom dijagramu je prikazana na slici 5.

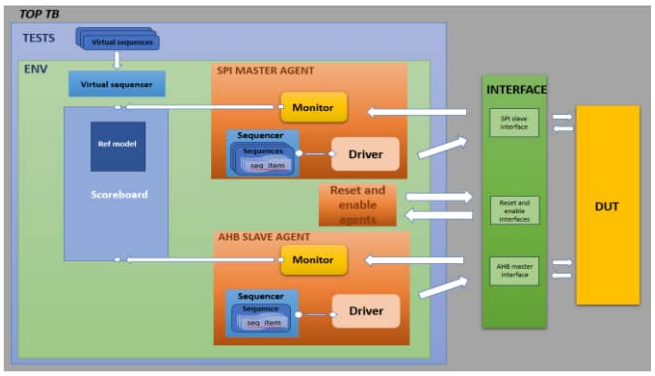


Slika 5. Operacija čitanja spi2ahb bridge-a.

Sa SPI strane na početku drajvujemo komandu za čitanje. Potom drajvujemo adresu sa koje želimo da pročitamo podatak. Vidimo da prilikom operacije čitanja nemamo podatak koji se upisuje izdrajvovan sa SPI strane, tako da će se i CRC računati bez njega. *Bridge* bi potom trebalo da prenese određene komande do AHB strane i dobije vrednost podatka sa date adrese ukoliko AHB slejv odgovara sa OKAY odgovorom. Potom na MISO liniji bi trebalo da prvo imamo znak za početak, podatak koji se pročitao, odgovarajući odgovor i CRC koji se izračunao na osnovu ova tri podatka [7].

V. VERIFIKACIONO OKRUŽENJE

Koristeći UVM, arhitektura je standardizovana i sastoji se od određenih komponenata, koje omogućavaju prvenstveno modularnost, laku ponovnu upotrebu i laku modifikaciju verifikacionog okruženja (eng. *Verification Environment*). Na slici 6. dat je izgled sistema realizovanog u ovom projektu. Arhitektura okruženja sastoji se od četiri agenta u aktivnom režimu: SPI master agent, AHB slejv agent i agenata za reset i enable, interfejsa za svakog agenta, skorborda sa referentnim modelom i *coverage*-om kao i virtualnog sekvencera i virtualnih sekvenci. U verifikacionom okruženju se kreiraju testovi, čekeri kao i *coverage* za dati blok [2][3].



Slika 6. Arhitektura verifikacionog okruženja.

Agenti se sastoje od svojih komponenti redom: trensakcijom, sekvencama, sekvencera, drajvera koji služe za drajvovanje vrednosti signala na interfejs, i monitora koji služi da posmatra interfejs, pravi transakciju i dalje je šalje na proveru TLM portom u skorbord. Za samo verifikaciju od ključnog značaja je stimulus koji se izaziva na DUT, čekeri i provera funkcionalnosti bloka po specifikaciji i *coverage* kojim proveravamo pokrivenost svih mogućih stimulusa.

A. Virtualne sekvence

Virtualne sekvence (eng. *Virtual sequence*) služe za pokretanje više sekvenci na različitim sekvencerima, odnosno njima omogućavamo najlakšu kontrolu ostalih stimulusa kojeg želimo da izazovemo. One se pokreću preko testa i izvršavaju se na virtualnom sekvenceru. Virtualna sekvenca nasleđuje *uvm_sequence* kao i obične sekvence. Korišćenjem makroa *`uvm_declare_p_sequencer* određujemo na kom sekvenceru će da nam se pokrene virtualna sekvenca. Virtualne sekvence se pokreću korišćenjem *start()* funkcije ili *uvm_config_db*-em u *connect* fazi u samom testu. Sadrže instance sekvenci svih agenata koje želimo da pokrenemo i u *body() task*-u pokrećemo sekvence agenata korišćenjem *`uvm_do_on* makroa. Dobra praksa je da svaki test u sebi sadrži pokretanje jedne virtualne sekvence [1].

Najbolja praksa je da postoji *base* virtualna sekvenca koja nasleđuje *uvm_sequence,* a da ostale sekvence koje su nam neophodne za testove nasleđuju tu *base* sekvencu. U našoj *base* sekvenci *spi2ahb_base_sequence* pored makroa za registraciju u fabriku i konstruktora imamo i makro *`uvm_declare_p_sequencer* kojim određujemo da će se sve sekvence izvršavati na *spi2ahb_virtual_sequencer.* Takođe imamo polje *num_of_spi_sequence* sa zadatim opsegom za *constraint* koji iznosi od 25 do 100. Ovo polje služi da korisniku dozvoli da lako može da odredi koliko transakcija želi za stimulus sa SPI strane iz najviše hijararhije odnosno iz testa.

Spi2ahb_write_virtual_sequence je sekvenca koja stimuliše operaciju upisa. Ova sekvenca se sastoji iz sekvence za inicijalni reset, kojim se resetuje blok i agenti. Posle inicijalnog reseta pušta se *spi_bridge_write_seq* sa randomizovanim svim poljima, kojom obezbeđujemo operaciju upisa. Što se tiče *enable* signala, puštena je *always_enable_seq* u drugom paralelnom *thread*-u kojom je obezbeđena vrednost logičke jedinice *enable*-a tokom cele simulacije. Slejv AHB sekvenca je u *fork join_none*-u jer je reaktivan slejv. *Spi2ahb_read_virtual_sequence* je sekvenca koja je identična sekvenci za upis samo stimuliše operaciju čitanja sekvencom *spi_bridge_read_seq*.

Spi2ahb_enable_virtual_sequence je sekvenca gde prvenstveno imamo puštanje inicijalnog reseta. Zatim puštanje stimulusa sa SPI strane, gde operacija može biti ili operacija čitanja ili operacija upisa. Šanse za ove dve operacije su identične, odnosno po 50%, što se postiže *randcase*-om. Što se tiče vrednosti logičke nule signala *enable,* ona je moguća u dva slučaja: između dve transakcije i tokom cele jedne transakcije. Uvodimo polja *disable_during_transfer_rate* i *disable_between_transfers_rate* koja se randomizuju i potom se proverava njihova vrednost. Šanse da se desi *disable* tokom transfera i između transfera su 15%.

Spi2ahb_reset_on_the_fly_virtual_sequence je sekvenca gde prvenstveno imamo puštanje inicijalnog reseta kao i kod svih drugih virtualnih sekvenci. Pored reset sekvence za inicijalni reset imamo još jednu kojom obezbeđujemo aktivaciju reseta u nekom nasumičnom trenutku u toku simulacije. Poslednja sekvenca je *spi2ahb_random_virtual_sequence* koja je zapravo kombinacija svih mogućih scenarija.

B. Coverage

Funkcionalni *coverage* predstavlja stepen pokrivenosti funkcionalnosti dizajna koje se proveravaju u okviru testova. Bitno je napisati kod *coverage* dobro, kako se određene funkcije dizajna ne bi predvidele. U okviru *coverage*-a pišemo *covergroup*-e u okviru kojih imamo *coverpoint*-e. *Coverpoint*-i predstavljaju promenljive čija se vrednost proverava. Ta vrednost ili opsezi vrednosti se zadaju u okviru *bin*-ova. Smatra se da je bin pokriven kada promenljiva ima vrednost iz njegovog opsega. Karakteristični *coverpoint*-i za ovaj blok su *cross*-evi između operacije i *enable* vrednosti, operacije i reset vrednosti, odgovora i reset vrednosti kao i *enable* vrednosti i reset vrednosti. Ovim *coverpoint*-ima proveravamo da li je svaka operacija bila *enable*-ovana i *disable*-ovana, da li se reset javio tokom svake operacije i tokom svih mogućih odgovora kao i da li imamo aktiviran reset i *disable* u isto vreme. Ostali *coverpoint*-i karakteristični za protokole su pokriveni u samim agentima.

C. Skorbord

Skorbord (eng. *Scoreboard*) je komponenta koja sadrži čekere, proverava funkcionalnost dizajna i skuplja *coverage*. U njemu se prikupljaju transakcije koje dolaze iz monitora, na osnovu kojih rade pomenuti čekeri. Skorbord može da sadrži i referentni model čija je uloga da izračuna unapred

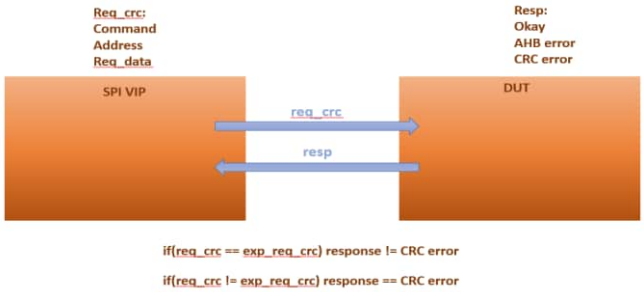
funkcionalnost i ono što očekujemo i uporedi sa transkcijama koje su skupljene [1].

Na osnovu skupljene SPI transakcije od strane SPI monitora, prevodimo je u AHB transakciju referentnim modelom. SPI *response* je identičan AHB *response*-u, SPI komanda odgovara AHB operaciji, kao i podatak koji se upisuje ili čita na osnovu operacije, adresa je takođe ista, kao i *burst_type, transfer_type* i *siye_type* koji moraju da imaju određene vrednosti zbog funckionalnosti bloka.

Ukoliko je odgovor CRC *error*, uopšte nećemo dobiti vrednosti na AHB linijama tako da nam ne šaljemo SPI transakciju na proveru. Ukoliko je odgovor drugačiji, pozivamo referentni model i transformisanu transakciji šaljemo dalje na proveru [3].

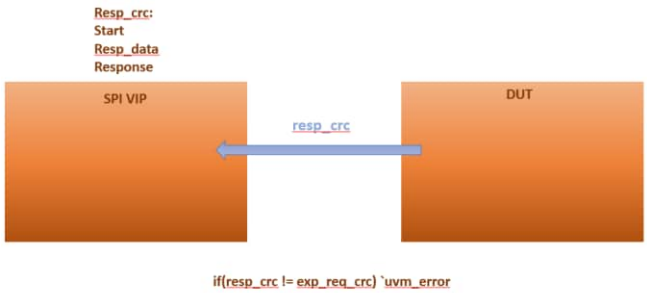
Nakon što su podaci smešteni u lokalnim *queue*-ovima, u *run* fazi se vrši njihovo poređenje i izvršavaju se ostali čekeri. Glavni čeker upoređuje transformisanu transakciju sa onom koju je AHB monitor skupio i on je napisan kao funckija *comapre_items(transformed_item, received_item)*. Pored tog čekera, imamo čekere i za proveru startne komande, za proveru da prilikom operacije upisa imamo 4 *idle* stanja i čeker za proveru CRC-a koji se izvršavaju nad skupljenom SPI transakcijom od strane SPI monitora.

Kao što je napomenuto *req_crc* se računa na osnovu komande i adrese kod operacije čitanja, dok se kod operacije upisa uključuje i podatak. Blok ima funkciolanost da pošalje odgovor CRC *error* kada dobije loš *req_crc* od SPI strane. S obzirom na to, kada pošaljemo loš *req_crc* moramo da proverimo da blok odgovara kao što je i očekivano. Takođe, moramo proveriti i da kada je poslat dobar *req_crc,* blok ne odgovara sa CRC *error*-om. Šablonski prikaz čekera za *req_crc* možemo videti na slici 7.



Slika 7. Šablonski prikaz čekera za *req_crc.*

Resp_crc se računa na osnovu startne komande, podatka koji se čita i odgovora. Njega šalje blok SPI masteru. Potrebno je da proverimo da li je *resp_crc* izračunat od strane *bridge*-a kao što je i očekivano. Šematski prikaz se može videti na slici 8.

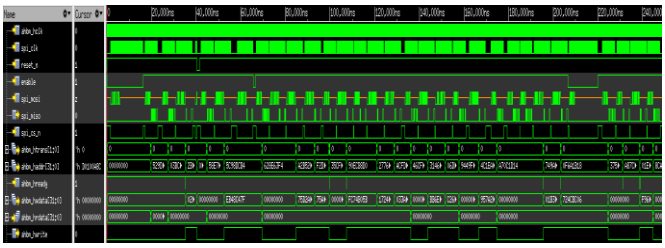


Slika 8. Šablonski prikaz čekera za *resp_crc.*

D. Testovi i rezultati

Test (eng. *Test*) predstavlja poslednji korak u pisanju konkretnog stimulusa za naš DUT. Testovima se simuliraju specifične situacije i proverava se ispravnost uređaja koji se verifikuje. Mogu biti nasumični ili specifični za konkretno ponašanje uređaja. Svi testovi u ovom slučaju se zapravo sastoje od puštanja jedne virtualne sekvence koja je već opisana.

Prilikom puštanja *spi2ahb_random_test*-a, čeker *compare_items* je padao. Kada AHB slejv je konfigurisan u testu da u 30% slučajeva vraća AHB *error* kao odgovor. Kada je situacija takva tokom operacije upisa, čekeri koju upoređuju *write_data* i *response_type* su padali. Ustanovljeno je da AHB *error* ne bude dobro transliran od AHB slejv strane do SPI strane. Na MISO liniji imamo da je odgovor *OKAY* tokom operacije upisa. Upravo tako je i pronađen *bug*, odnosno greška u samom dizajnu, da blok ne vraća dobar odgovor od strane AHB slejva kada je u pitanju operacija upisa. Na slici 9. je prikazan *waveform spi2ahb_random_test*-a sa više transakcija, posle ispravljene greške u dizajnu, tako da test prolazi.



Slika 9. Rezultat *spi2ahb_random_test-a.*

VI. ZAKLJUČAK

Neprekidnim razvojem tehnologije, konstantno raste i potreba za usavršavanjem i inovativnim metodama, kako iz oblasti elektronike, tako i iz oblasti programiranja, time čineći ovu granu industrije veoma interesantnom i popularnom. Bez detaljnog procesa verifikacije, moguće je da bi *bug*, koji je otkriven, promakao, i samim tim prouzrokovao dodatne probleme na većem nivou čipa kao i ogromne finansijske gubitke, što i svedoči o značaju verifikacije.

LITERATURA

[1] Chip Verify. Dostupno na: https://www.chipverify.com/

[2] IEEE Standard for SystemVerilog — Unified Hardware Design, Specification, and Verification Language - IEEE Computer Society and the IEEE Standards Association Corporate Advisory Group. Dostupno na: https://fpga.mit.edu/6205/_static/F23/documentation/1800-2017.pdf

[3] Universal Verification Methodology (UVM) 1.2 User's Guide – Accellera. Dostupno na: https://www.accellera.org/images/downloads/standards/uvm/uvm_users_guide_1.2.pdf

[4] SPI Protocol Description – Veriest , Mihajlo Katona, Jul 2019

[5] "Introduction to SPI Interface", Analog dialogue 52-09, September 2018. Dostupno na: https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-52/number-3/introduction-to-spi-interface.pdf

[6] AMBA AHB Protocol – ARM. Dostupno na: https://developer.arm.com/documentation/ihi0033/c

[7] SPI to AHB Bridge Microarchitecture Document – Veriest, Nikola Miladinovic, Oktobar 2014