

UTICAJ PARAZITNIH EFEKATA PCB SUPSTRATA NA SIGNALE LED DRAJVERA INFLUENCE OF PCB SUBSTRATE PARASITIC EFFECTS ON LED DRIVER SIGNALS

Milica Panić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu analiziran je uticaj parazitnih efekata štampane ploče (PCB) na signale LED drajvera, koji se koriste u automobilskim displejima. Posmatrani su signali mase, komunikacioni signali i signali napajanja LED drajvera u različitim tačkama štampane ploče. Na osnovu rezultata merenja, predložen je redizajn PCB-a, da bi se postiglo poboljšanje kvaliteta signala LED drajvera.

Ključne reči: EMC, parazitni efekti, LED drajver, PCB dizajn

Abstract – This paper presents the influence of the printed circuit board (PCB) parasitic effects on LED driver signals used in automotive displays. Ground signals, communication signals and power signals of the LED drivers at different points have been measured. Based on the measurement results, a redesign of the PCB was done to achieve an improvement in the signal quality of the LED driver.

Keywords: EMC, parasitic effects, LED drivers, PCB design

1. UVOD

Napretkom tehnologije i minimizacijom komponenti, pojavljuju se novi izazovi u kontroli parazitnih efekata na štampanim pločama (PCB) poput kapacitivnosti, induktivnosti i otpornosti provodnih linija, koji mogu negativno uticati na kvalitet signala. LED tehnologija postala je standard u raznim primenama, od automobilskih panela do reklamnih displeja.

U oblastima kao što su telekomunikacije, automobilska elektronika i medicinska oprema, parazitni efekti mogu značajno degradirati performanse i povećati greške u prenosu podataka. Na primer, u telekomunikacijama, mali nivo šuma ili kašnjenja može ometati kvalitet signala, dok u automobilskoj elektronici ti efekti mogu ugroziti sigurnost vožnje. Takođe, u medicinskim uređajima, pouzdanost i tačnost signala su ključni za pravilnu dijagnozu i tretman pacijenata. Zato dizajn štampanih ploča mora biti optimizovan kako bi se obezbedio stabilan rad i eliminisali uticaji parazitnih efekata na kvalitet signala [1].

NAPOMENA

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mirjana Damjanović, red. prof.

Da bi se razmotrili ovi neželjeni efekti, analizirani su signali komercijalno dostupnog LED drajvera TLC6C5748-Q1, koji se koristi u automobilskoj industriji za navigacione displeje ili instrument table [2]. Izmereni su signali LED drajvera u nekoliko različitih tačaka, i to komunikacioni signali SIN (*Serial In*), signali napajanja VLED (*Voltage LED*) i signali mase GND (*Ground*). Da bi se smanjio uticaj parazitnih efekata, razmatrana su tri različita leajuta PCB-a.

2. OPIS SISTEMA I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

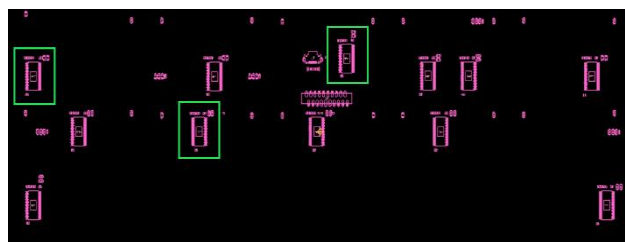
Analizirana ploča deo je sistema koji predstavlja displej za automobile. Ceo sistem se sastoji od dve štampane ploče: glavne (Main PCB) i ploče pozadinskog osvetljenja (LED PCB). Glavna ploča sadrži naponski konvertor koji obezbeđuje napajanje za LED diode, kao i mikrokontroler koji generiše i upravlja komunikacionim signalima SPI (*Serial Peripheral Interface*) protokola. Ove dve ploče međusobno komuniciraju preko dva kabla. Preko *micro-match* kabla prenosi se GND signal i napajanje za diode, VLED, dok se preko FFC (*Flexible Flat Cable*) kabla prenose komunikacioni signali (SPI).

LED PCB ploča, sadrži ukupno dvanaest drajvera, od kojih su testirana tri, raspoređena na različitim pozicijama, kako bi se utvrdilo kako parazitni efekti, kao što su dužina i geometrija provodnih linija, utiču na signale LED drajvera.

Testirani su drajveri u centru ploče, levo od centra i na ivici sa leve strane, kao što je prikazano na slici 1 (uokvireni zelenom linijom). Cilj testiranja je bio da se ispita ponašanje signala LED drajvera raspoređenih na različitim pozicijama.

3. LED DRAJVER TLC6C5748-Q1

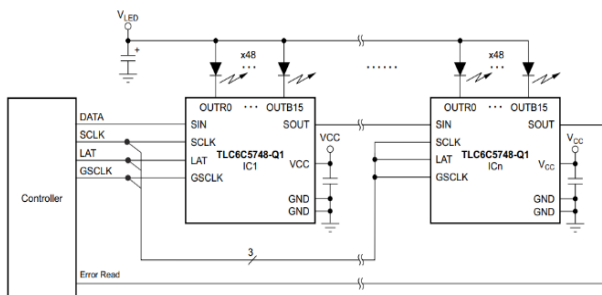
Drajver TLC6C5748-Q1, proizvođača Texas Instruments [2], može da se koristi za kontrolu velikog broja LED dioda. Ovaj automobilski (*automotive*) drajver omogućava



Slika 1. Prikaz pozicije testiranih LED drajvera na LED PCB ploči

kontrolu osvetljenja uz minimalno stvaranje toplote i elektromagnetskih smetnji. Drajver ima ukupno 48 izlaznih kanala. Svaki kanal ima nezavisno podešavanje osvetljenosti, čime se obezbeđuje veći svetlosni izlaz, jer su sve diode aktivne istovremeno. Kontrolu intenziteta svetlosti pruža 16-bitna PWM kontrola, sa 65536 koraka osvetljenosti.

Više ovakvih drajvera se može povezati redno (*daisy chain application*), čime se omogućava napajanje većeg broja LED sijalica sa manjim brojem portova kontrolera (slika 2) [2]. Za komunikaciju koristi SPI protokol, koji zahteva SDO (*Serial Data Out*), SIN (*Serial In*), SCK (*Serial Clock*) i LAT (*Latch*) pinove.



Slika 2. *Daisy chain povezivanje dva TLC6C5748-Q1 LED drajvera, za napajanje većeg broja LED sijalica* [2]

4. PARAZITNI EFEKTI PCB SUPSTRATA

Parazitni efekti odnose se na neželjene efekte koji nastaju na PCB supstratu zbog fizičke strukture i međusobnih veza pojedinih delova sistema. Ovi elementi uključuju parazitnu kapacitivnost, induktivnost i otpornost; naročito počinju da dominiraju na višim frekvencijama.

4.1. Parazitna kapacitivnost

Parazitna kapacitivnost je neželjena kapacitivnost koja može nastati između dva provodnika na štampanoj ploči, kao i unutar samih elektronskih komponenti. Obično je reda pikofarada (pF).

Parazitne kapacitivnosti mogu uzrokovati neželjene efekte, kao što su:

- neželjene oscilacije,
- preslušavanje ili
- smanjenje brzine prelaznih procesa [3].

4.2. Parazitna induktivnost

Parazitna induktivnost nastaje usled magnetnog polja koje stvaraju provodnici kroz koje teče struja. Na PCB-u, struja koja prolazi kroz provodnike stvara magnetsko polje. Ovo se opisuje preko samoinduktivnosti provodnika. Takođe, ukoliko postoje dva provodnika na malom rastojanju, može doći do neželjene sprege, što se opisuje preko međusobne induktivnosti.

Parazitna induktivnost može značajno uticati na kvalitet signala, posebno na višim frekvencijama i za struje većeg intenziteta, stvarajući time veću induktivnu reaktansu i elektromagnetsko polje.

Parazitna induktivnost obično je u opsegu nanohenrija (nH) i može dovesti do sledećih problema:

- povećanog elektromagnetskog zračenja,
- neželjenih oscilacija ili

- kratkotrajnih prebačaja i podbačaja napona, tj. visokih i niskih naponskih impulsa (*overshoots, undershoots*) [3].

4.3. Parazitna otpornost

Svaki provodna linija na PCB-u ima određenu otpornost, koja raste povećanjem dužine i smanjenjem širine (tj. poprečnog preseka) linije. Kako raste potreba za kompaktnijim štampanim pločama, gustina komponenti se povećava, što rezultira tanjim i dužim vodovima, a samim tim i većim padom napona zbog parazitne otpornosti, što se može negativno odraziti na integritet signala.

5. ANALIZA SIGNALA LED DRAJVERA

Merna postavka koja je korišćena za testiranje LED drajvera se sastoji od:

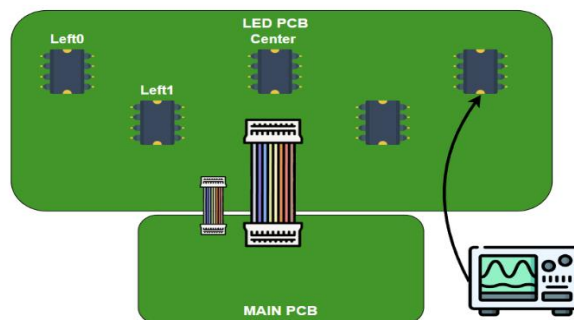
- osciloskopa Rohde & Schwarz RTO6 [4],
- napajanja AIM-TTI CPX400D [5] i
- odgovarajućih kablova.

Testiranje je sprovedeno na 25 °C, sa napajanjem od 13,5 V i strujom od 6,9 A (574 dioda × 12 mA).

Posmatrani signali su:

- SIN (pin 1) – komunikacioni signal preko SPI protokola (0 V ili 3,3 V),
- VLED – napajanje za LED (napon na anodama),
- GND (pin 28) – lokalni GND drajvera.

Pomoću softvera, impulsno širinska modulacija PWM (*Pulse Width Modulation*) je podešena na 10 %. Ova vrednost je izabrana jer pri 100 % ispune neće doći do pojave impulsa, već će signal biti kontinualan, što otežava analizu. Takođe, pri visokom procentu ispune (tj. pri velikim osvetljenjima), prekomerna svetlost može biti naporna za oko zbog velikog broja dioda.



Slika 3 *Grafički prikaz merne postavke za testiranje analiziranog sistema korišćenjem osciloskopa RTO6*

5.1. Analiza GND signala

Korišćenjem osciloskopa RTO6 izmereni su signali mase u četiri tačke PCB-a (slika 3). Prvi, Main PCB GND signal, snimljen je na masi izlaznog kondenzatora *buck* konvertora na glavnoj ploči. Na osnovu rezultata merenja (slika 4, žuta boja), može se zaključiti da je ovo stabilan, referentni signal, sa maksimalnom amplitudom od 35,07 mV, što je približno jednako očekivanoj vrednosti napona od 0 V.

Međutim, ovo neće biti slučaj i za masu u preostale tri tačke. Što je drajver udaljeniji od glavnog konektora, integritet signala se sve više pogoršava. Drugi signal mase, prikazan na slici 4 zelenom bojom, izmeren je u tački Center LDRV GND, na prvom drajveru, koji je najbliži

Main PCB-u. Signal ima uočljiva izobličenja, amplitude vrednosti do 254,45 mV.

Treći signal, Left1 LDRV GND, izmeren je na masi osmog drajvera, sa amplitudom smetnji od 398,81 mV (slika 4, plava boja), dok je četvrti signal, Left0 LDRV GND sa poslednjeg, najudaljenijeg drajvera, sa najvećim smetnjama, koje dostižu čak 578,00 mV (slika 4, crvena boja).

Frekvencija izmerenih smetnji iznosi 122 Hz, što odgovara frekvenciji PWM signala koji se koristi za upravljanje LED diodama. Ove smetnje su rezultat superponiranja usled preslušavanja, što uzrokuje promene naponskih nivoa.

Prisutne smetnje na GND signalu mogu dovesti do izobličenja i drugih signala, merenih u odnosu na GND. Na primer, nizak logički nivo može biti povišen, a logički visok nivo smanjen usled pogrešne vrednosti signala na masi, što može dovesti do pojave greške u komunikaciji i obradi signala.

5.2. Analiza SIN signala

Na slici 5 prikazan je oscilogram sa tri komunikaciona SIN signala. Prvi signal, obeležen kao Center LDRV SIN (zelena boja), predstavlja izmereni SIN signal sa centralnog, prvog drajvera. Drugi signal, Left1 LDRV SIN (plava boja), je signal osmog drajvera po redu u komunikaciji. Treći signal, Left0 LDRV SIN (crvena boja) predstavlja signal poslednjeg, dvanaestog drajvera.

Kao i u slučaju GND signala, mogu se uočiti smetnje i na izmerenim komunikacionim SIN signalima. Amplituda superponiranih smetnji, a time i ukupna amplituda signala, rastu kako se signal udaljava od glavnog konektora. Amplituda superponirane smetnje na SIN signalu prvog drajvera iznosi 170,33 mV, drugog drajvera 217,05 mV, dok poslednji drajver dostiže amplitudu od 540,7 mV.

Prema kataloškim podacima drajvera [2], minimalna vrednost za registrovanje visokog naponskog nivoa je 2,31 V, a maksimalna za nizak nivo je 1,00 V. Dakle, ukoliko bi neželjeni impulsi imali amplitudu veću od 1 V, moglo bi se desiti da drajver pogrešno registruje visoki nivo umesto niskog, što može dovesti do gubitka podataka i grešaka u komunikaciji.

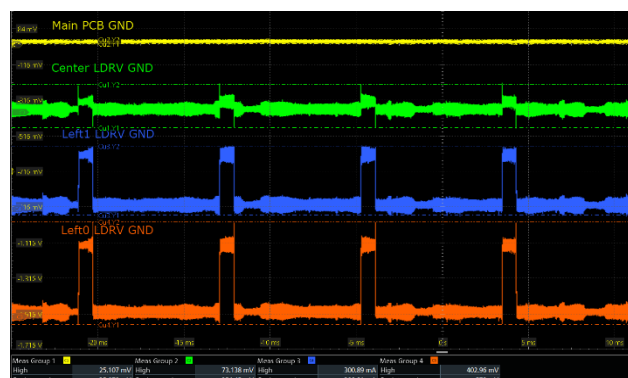
5.3. Analiza VLED signala

Imajući u vidu priključen broj dioda, buck konvertor je podešen da generiše izlazni napon VLED=7,2 V, [2]. Na slici 6 su prikazani rezultati merenja signala napajanja VLED u nekoliko različitih tačaka. Prvi signal, Main PCB VLED (žuta boja), predstavlja signal sa Main PCB-a i amplituda superponirane smetnje iznosi 305,58 mV.

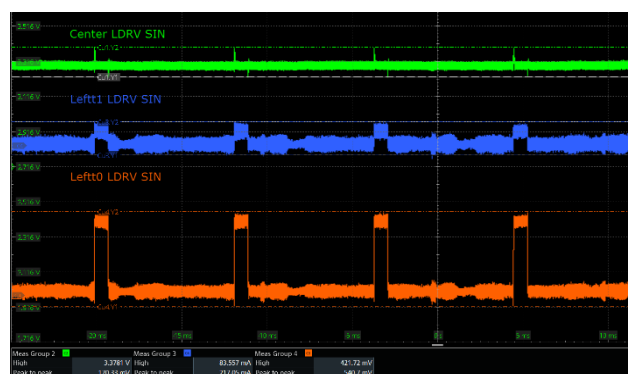
Drugi signal, Center LDRV VLED (zelena boja), dolazi sa centralnog drajvera, i ima superponirane smetnje amplitude 587,65 mV. Left1 LDRV VLED (plava boja) je napon osmog drajvera, sa amplitudom neželjenog signala od 603,14 mV, dok signal poslednjeg drajvera, Left0 LDRV VLED (crvena boja), ima amplitudu od 612,96 mV.

Dakle, može se primetiti da nema značajnije razlike u amplitudi između VLED signala posmatrana tri drajvera i da svi sadrže superponirane smetnje amplitude oko 600 mV. Da bi se ovo objasnilo, potrebno je posmatrati

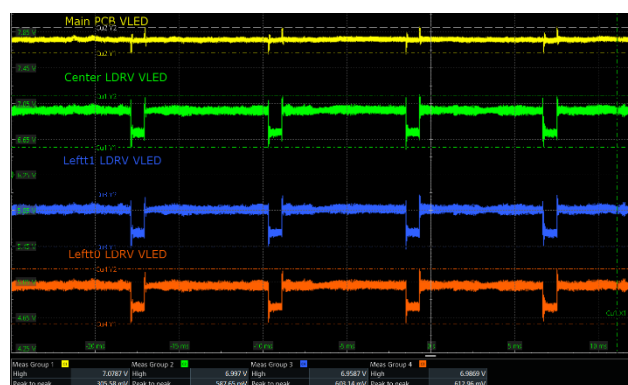
dizajn lejauta. Naime, na gornjoj strani LED PCB-a, napajanje VLED je raspoređeno po celoj površini, dok se naponi na katodama dioda dovode preko vijia (odnosno, ne postoje provodne linije za dovod napajanja VLED na kojima se može javiti pad napona). Zbog toga, izmereni signali su približno jednaki.



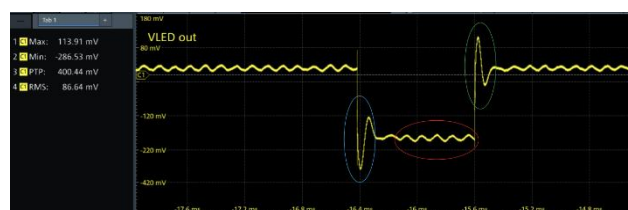
Slika 4. Oscilogram GND signala izmerenih u četiri tačke (Main PCB, Center LDRV GND, Left1 LDRV GND i Left0 LDRV GND)



Slika 5. Oscilogram SIN signala izmerenih sa centralnog, osmog i dvanaestog po redu drajvera u komunikaciji



Slika 6. Oscilogram VLED signala izmerenih sa Main PCB-a i centralnog, osmog i dvanaestog drajvera (Center LDRV GND, Left1 LDRV GND i Left0 LDRV GND)



Slika 7. Oscilogram sa uvećanim prikazom Main PCB VLED signala

Na slici 7 prikazan je oscilogram signala Main PCB VLED, gde se mogu uočiti uticaji parazitnih efekata. Oscilacije (*ringing*), uokvirene crvenom bojom, rezultat su kombinacije parazitne induktivnosti i kapacitivnosti koje formiraju rezonantni krug. Deo signala uokviren plavom bojom predstavlja *undershoot*, dok je zelenom obeležen *overshoot*. Ove pojave nastaju usled naglih promena opterećenja. Isključenje diode dovodi do smanjenja struje, time i *overshoot*-a, dok povećanje struje izaziva *undershoot*.

5.4. Redizajn leajuta za poboljšanje odziva signala

Vod od glavnog konektora na LED PCB-u do GND pina krajnjeg LED drajvera, na kojem su izmerene najveće amplitude smetnji, dužine je 164,68 cm. Kao što je prethodno prikazano, paraziti efekti PCB-a uzrokuju različite smetnje na signalima GND, VLED i SIN, koje postaju sve izraženije povećanjem dužine provodnih linija.

Zbog toga je urađen redizajn leajuta tako da je smanjena dužina, a povećana širina provodnih linija (čime se smanjuju parazitne otpornosti i induktivnosti). Umesto provodne linije prečnika 0,125 mm, za povezivanje lokalnog GND drajvera sa stabilnim GND na Main PCB-u, korišćena su dva kabela:

1. kabl dužine 31 cm, prečnika 0,42 mm, poprečnog preseka 0,14 mm², podužne otpornosti 140 mΩ/m;
2. kabl dužine 31 cm, prečnika 1,38 mm, poprečnog preseka 1,50 mm², podužne otpornosti 10 mΩ/m.

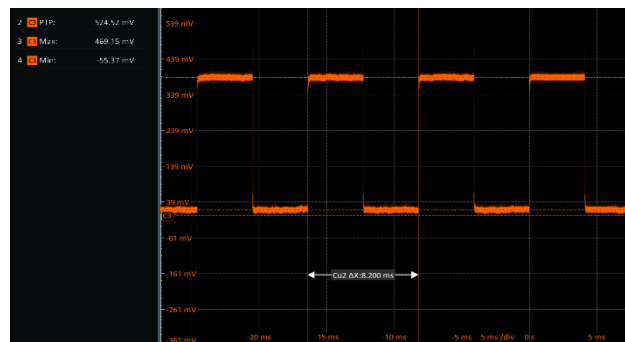
Na slici 8, prikazan je GND signal krajnjeg, dvanaestog LED drajvera pre redizajna, sa neželjenim naponskim impulsom amplitude 524,52 mV, dok je na slici 9 prikazan isti signal uz korišćenje kabla prečnika 0,42 mm (dakle, oko tri puta širi od početnog provodnika). Nakon redizajna, amplituda smetnji je smanjena na 217,72 mV.

Na slici 10 prikazan je GND signal krajnjeg, dvanaestog LED drajvera uz korišćenje drugog kabla, još većeg prečnika od 1,38 mm, dakle, jedanaest puta veći od početnog. Izmerena amplituda smetnji je smanjena još više nego u prvom slučaju, na 190,91 mV. Dakle, optimizacija leajuta povećanjem poprečnog preseka i smanjenjem dužine provodnika dovodi do smanjenja parazitnih efekata i značajnog smanjenja neželjenog pada napona.

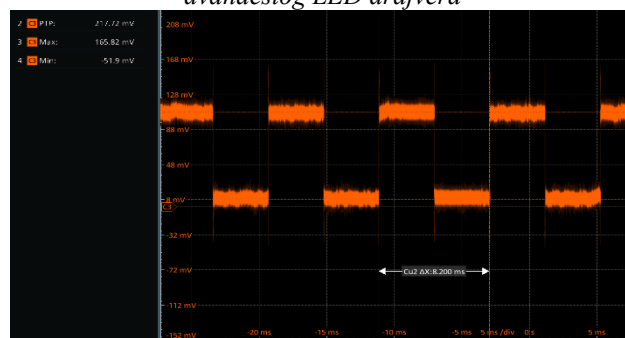
6. ZAKLJUČAK

U ovom radu analiziran je uticaj parazitnih efekata na signale LED drajvera u automobilskim displejima. Merenja pokazala su da signali LED drajvera, GND, SIN i VLED sadrže određeni nivo superponiranih smetnji, koje se manifestuju kao nepoželjni naponski impulsi, i koje postaju značajnije povećanjem dužine vodova. Takođe, uočeni su efekti poput *ringing*-a, *undershoot*-a i *overshoot*-a, koji su posledica parazitne induktivnosti i kapacitivnosti.

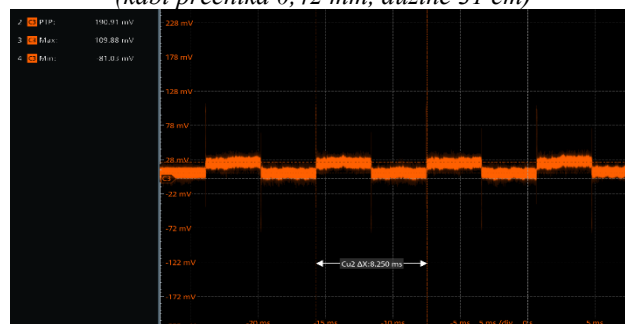
Merenjima je potvrđeno da redizajn PCB-a može značajno smanjiti superponirane smetnje, i to prvenstveno kroz smanjenje dužine vodova i povećanje njihovog poprečnog preseka. U budućim istraživanjima, akcenat može biti na primeni novih materijala i tehnika za smanjenje negativnih efekata parazitnih elemenata (tj. korišćenje komponenti sa poboljšanim fizičkim svojstvima, kao i ispitivanje uticaja izbora komponenti kroz poređenje *through hole* i SMD komponenti u istom dizajnu.



Slika 8. Oscilogram GND signala sa početnim leajutom dvanaestog LED drajvera



Slika 9. Oscilogram GND signala dvanaestog LED drajvera nakon redizajna (kabl prečnika 0,42 mm, dužine 31 cm)



Slika 10. Oscilogram GND signala dvanaestog LED drajvera nakon redizajna (kabl prečnika 1,38 mm, dužine 31 cm)

7. LITERATURA

- [1] H. Grace, „The impact on Parasitics in PCB Design“, PCB007 Magazine, August 2024, pp: 66-68.
- [2] Texas Instruments: „LED drajver TLC6C5748-Q1“, 2020. Dostupno na: <https://www.ti.com/product/TLC6C5748-Q1>. Pristupljeno: sept. 2024.
- [3] C. Coombs, H. Holden: „Printed Circuits Handbook, seventh edition“, McGraw-Hill Education, 2016.
- [4] Rohde&Schwarz, Osciloskop RT06. Dostupno na: <https://www.rohde-schwarz.com/brochure-datasheet/rto6/> Pristupljeno: sept. 2024.
- [5] AIM-TTI, Laboratorijsko napajanje CPX400D. Dostupno na: <https://www.aimtti.com/go/cpx/index.php?p=index-cpx400d> Pristupljeno: sept. 2024.

Kratka biografija:



Milica Panić rođena je u Banja Luci 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Primljena elektronika odbranila je 2024.god. Kontakt: panicmilica1406@gmail.com