

PROGRAMABILNO NAPAJANJE NAMENJENO UREĐAJIMA U EKSPLOZIVNIM ZONAMA**PROGRAMMABLE POWER SUPPLY FOR DEVICES OPERATING IN EXPLOSIVE ZONES**Damir Popov, Vladimir Rajs, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom projektu opisan je način izrade uređaja koji će omogućiti napajanje potrošača u eksplozivnoj zoni, a koji će istovremeno omogućiti korisniku podešavanje potrebnog napona potrošača putem jednostavne aplikacije. Prikazani su rezultati simulacija i rezultati merenja, a sve korišćene komponente detaljno su opisane.

Ključne reči: Digitalni potenciometar, strujna povratna sprega, svojstvena bezbednost, Zener barijera.

Abstract – This project describes the manufacturing process of a device that will be able to power consumers in explosive zones, that will also at the same time enable the user to set the necessary voltage using a simple application. The results of simulations and measurements are shown, and a detailed description of used components is included.

Keywords: Digital potentiometer, current feedback, intrinsically safe, Zener barrier.

1. UVOD

Uvođenjem električne opreme u industriju i domaćinstva, a potom metana i ugljene prašine, čoveku je bilo neophodno garantovati sigurnost i bezbenost. Iako su uložena velika finansijska sredstva i napor za razvoj protiveksplozivne zaštite, dobit koja proizilazi od električnih uređaja je veća. To je bio podstrek za neprekidnim razvojem i usavršavanjem protiveksplozivne opreme.

Danas, nakon loših iskustava i podnetih velikih žrtava, može se smatrati da je protiveksplozivna zaštita dostigla zavidan nivo. Propisani su standardi koje uređaji namenjeni za rad u eksplozivnim sredinama moraju da ispoštuju, a sve to u cilju što bezbednijih sistema i kvalitetnije protiveksplozivne zaštite.

2. ANALIZA PROBLEMA

Sa početkom korišćenja prirodnog gasa u domaćinstvima i industriji, javila se potreba za nadzorom njegove potrošnje. Za precizno merenje potrošnje gasa koriste se korektori zapremine gasa. Oni, na osnovu temperature i pritiska gasa, kao i na osnovu informacija dobijenih sa gasnog brojila, precizno proračunavaju protok gasa. Većina korektora zapremine ima baterijsko napajanje, ali kod mnogih postoji i opcija eksternog napajanja.

NAPOMENA:

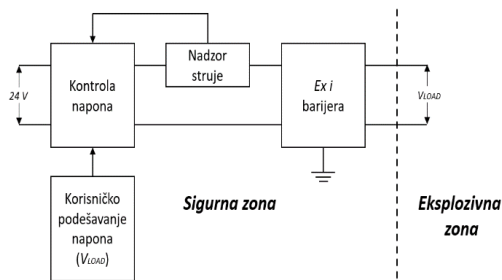
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Rajs, vanr. prof.

Ideja je isprojektovati napajanje takvo da se njime mogu napajati različiti tipovi korektora zapremine. Naponi napajanja većine zastupljenih korektora su u opsegu od 4 V do 12 V, sa potrošnjom struje koja nije veća od 70 mA. S obzirom na činjenici da se korektori zapremine nalaze u eksplozivnim zonama, projektovano napajanje mora zadovoljiti određene kriterijume kako bi bilo pogodno za ovu namenu.

Zener barijera potpada pod uređaje svojstvene bezbednosti „Ex i“ koji eksploziju sprečavaju ograničavajući energiju na manju od potrebne energije za paljenje eksplozivne atmosfere. Sama barijera se može nalaziti i u sigurnoj zoni, ali napon i struja koje ona isporučuje, kao i ostala pravila propisana su sa standardima SRPS EN 60079-11 2012 [1] i SRPS EN IEC 60079-0 2019 [2]. Radi jednostavnosti, ženjeni napon korektora zapremine, korisnik može da podešava softverski [3], [4].

3. IDEJNO REŠENJE

Na slici 1 prikazana je blok šema projektovanog uređaja. Ulazni napon od 24 V potrebno je prilagoditi željenom naponu potrošača. Pošto se potrošač nalazi u eksplozivnoj zoni, neophodno je obezbediti da napon i struja koji ulaze u nju ne budu veći od maksimalnih dozvoljenih vrednosti.



Slika 1. Blok šema uređaja

Kao ograničavač struje i napona koristi se svojstveno siguran uređaj, odnosno Ex i barijera, koja u kolo unosi rednu otpornost. U zavisnosti od struje potrošača, na barijeri će se javiti proporcionalan pad napona.

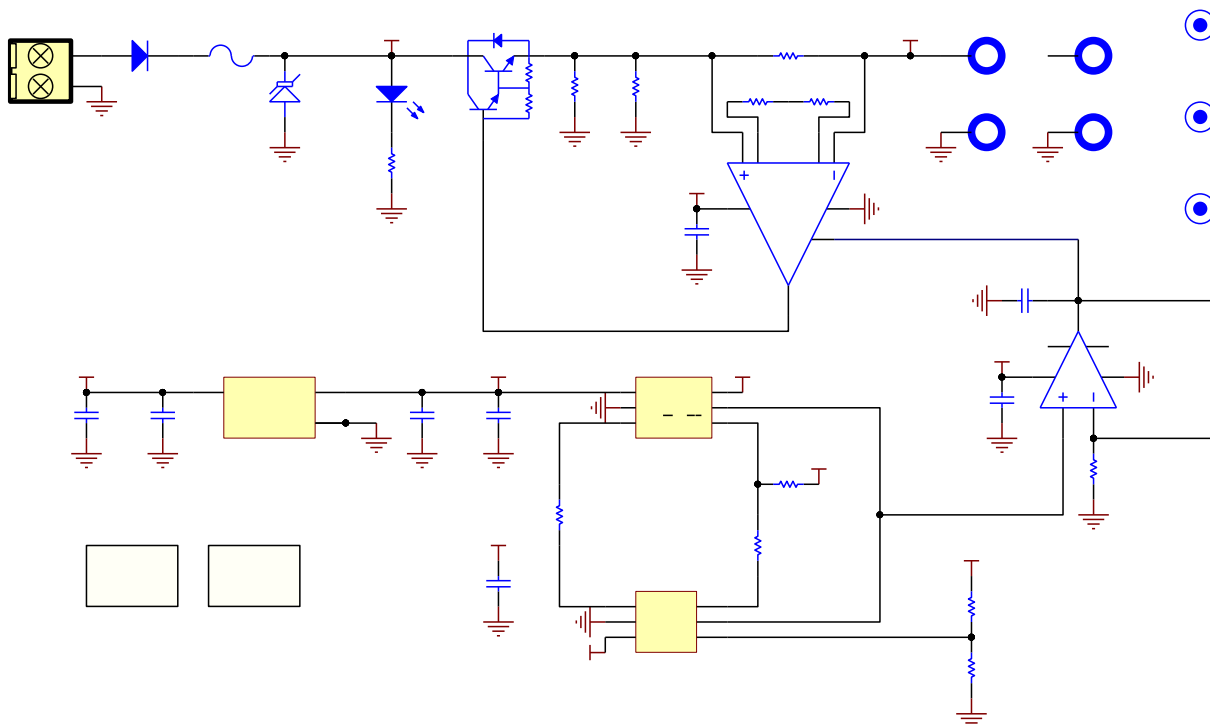
Ideja je da se na korisniku ostavi mogućnost softverskog podešavanja potrebnog napona potrošača. Nezavisno od toga, vrši se nadzor struje potrošača.

U blok za kontrolu napona, na osnovu izmerene struje i poznavanja otpornosti Ex i barijere, procenjuje se koliki će biti pad napona na barijeri. Taj napon se sabira sa korisnički zahtevanim naponom i kao takav prolazi preko Ex i barijere u eksplozivnu zonu do potrošača.

4. PAKTIČNO REŠENJE PROGRAMABILNOG NAPAJANJA

Na slici 2 prikazana je projektovana šema programabilnog napajanja. Na samom ulazu nalazi se zaštitno kolo u vidu diode D_1 , $MRA4004T3G$ [5], koja štiti uređaj od inverzne

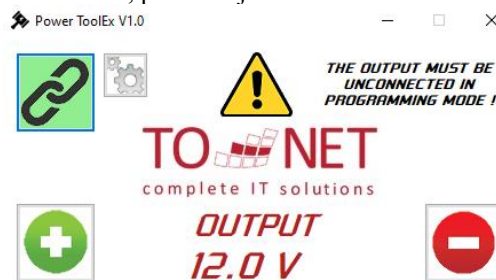
polarizacije napona, osigurača F_1 , $MRF 315$ [6], kao zaštita od prekomerne struje i TVS diode D_2 , $SMF30VTR$ [7], koja predstavlja ESD zaštitu. Pored zaštite postoji i svetlosna indikacija uključenosti uređaja u vidu LED, $APT1608CGCK$ [8].



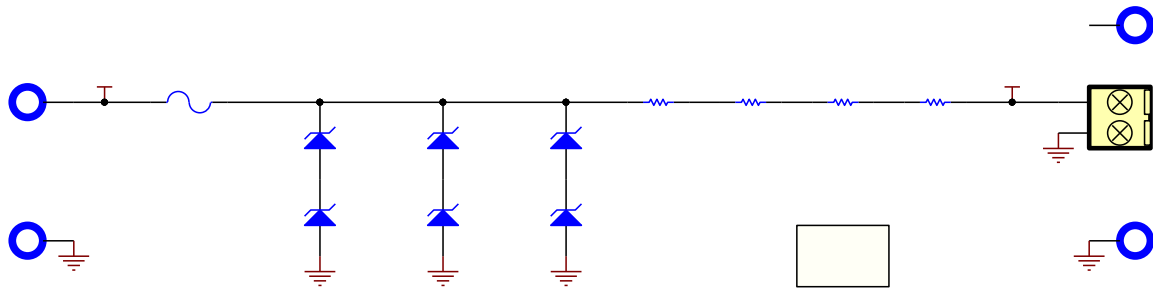
Slika 2. Šema programabilnog napajanja

Linearni stabilizator U_4 , $MCP1799T-3302H/DB$ [9], spušta ulazni napon na 3,3 V i napaja digitalni potencijometar U_3 , $MCP4023T-103E/CH$ [10]. Pomeranjem klizača potencijometra programiranjem, na njemu će se pojaviti različit napon, u opsegu od 0 do 3,3 V, prouzrokovan promenom otpornosti u formiranom naponskom razdelniku. Bitno je naglasiti da se pozicija klizača čuva u internoj *EEPROM* memoriji, te da će i pri resetovanju uređaja (npr. usled nestanka struje) klizač zadržati poslednje podešenu poziciju. Napon dobijen na klizaču potencijometra potrebno je prilagoditi željenom opsegu napona potrošača. U tu svrhu korišćen je operacioni pojačavač U_2 , $TL071CDRE4$ [11], u konfiguraciji neinvertujućeg pojačavača pojačanja 4, kojem se pojačanje podešava otpornicima R_9 i R_{13} . Izlazni napon ovog pojačavača predstavlja željeni napon potrošača uvećan za vrednost napona baza-emiter Darlington tranzistora Q_1 , $MJD122G$ [12]. Tako dobijeni napon dovodi se na referentni pin instrumentacionog pojačavača U_1 , $INA826AIDR$ [13]. Instrumentacionim pojačavačem je omogućena strujna povratna sprega, koja obezbeđuje da pad napona na otpornicima R_1 , R_2 , R_3 i R_4 Zener barijere (slika 4), prouzrokovan strujom potrošača, ne utiče na napon potrošača. U zavisnosti od struje potrošača na otporniku R_7 će se formirati pad napon koji će biti pojačan i predstavljace baš onoliko vrednost napona koja će se izgubiti na otpornicima Zener barijere i samom otporniku R_7 . Taj napon se sabira sa naponom dovedenim na referentni pin instrumentacionog pojačavača. Proračunato pojačanje instrumentacionog pojačavača je 10,16 i podešava se otpornicima R_4 i R_6 . Instrumentacioni pojačavač

nema dovoljne strujne mogućnosti da napaja potrošač, pa je iz tog njegov izlaz doveden na bazu Darlington tranzistora u konfiguraciji *emitter-follower*-a. Otpornici R_3 i R_8 imaju ulogu da drže tranzistor u aktivnom režimu i pri nultoj struji potrošača čime se obezbeđuje da je pad napona baza-emiter uvek bude približno isti. Naponski razdelnik formiran od otpornika R_{12} i R_{14} ima ulogu da prilikom porogramiranja potencijometra korisniku bude omogućeno da vidi ulazni napon Zener barijere preko jednog analognog pina mikrokontrolera. Digitalni potencijometar se programira jednostavnim *Up/ Down* protokolom, za koji su potrebna dva digitalna izlaza mikrokontrolera. U ovom projektu se kao programator koristi *Arduino Nano* [14]. Kako bi korisnik na jednostavan način mogao da podesi željeni izlazni napon potrošača, razvijena je aplikacija za programiranje digitalnog potencijometra. Izgled aplikacije za podešavanje napona potrošača, u slučaju kada je napon podešen na 12 V, prikazan je na slici 3.



Slika 3. Izgled aplikacije za podešavanje napona potrošača u slučaju kada je napon podešen na 12 V



Slika 4. Šema Zener barijere

5. PRAKTIČNO REŠENJE ZENER BARIJERE

Na slici 3 prikazana je projektovana šema Zener barijere „*Ex ia*“ nivoa zaštite. Ovaj tip zaštite je razlog postojanja tri paralelne grane sa Zener diodama. Time se obezbeđuje da i pri otkazivanju dve Zener diode u dve različite grane, bilo da otkazu formirajući otvorenu ili kratku vezu, u eksplozivnu zonu ne prođe napon veći od dozvoljenog. Kada ulazni napon premaši nominalnu vrednost napona Zener grane od 20 V, Zener diode provedu, održavajući napon konstantnim, a višak struje odvede ka masi. Kako bi jedna Zener grana mogla da izdrži veću vrednost struje, korišćene su dve *1N5347BG* [15] Zener diode nominalnog napona 10 V i snage 5 W, povezane redno. Osigurač *0242.100UR* na ulaznom delu kola ima ulogu da zaštiti Zener diode ako struja kroz njih postane prevelika, tj. struja pregorevanja osigurača je manja od struje koju Zener diode mogu da izdrže. Pomenuti osigurač će pregoreti pre Zener dioda i u slučaju da je ulazni napon 250 V, a s obzirom na to da ima prekindnu struju veću od 1,5 kA, obezbeđeno je da će i u ovom slučaju kolo biti prekinuto na siguran način. Otpornici R_1 , R_2 , R_3 i R_4 imaju ulogu da ograniče izlaznu struju tako da i u slučaju kratkog spoja napajanja i mase ona ne premaši dozvoljenu vrednost. Maksimalna struja koja se sme pojaviti u eksplozivnoj zoni za napon od 21 V (uzimajući u obzir toleranciju Zener dioda od +5 %) je 262 mA. Razlog za korišćenje četiri umesto jednog otpornika je veća snaga koju oni mogu da izdrže. Uzimajući u obzir njihovu toleranciju od 1 %, kao i hladnu otpornost osigurača, ograničiće struju kratkog spoja na 231,45 mA, što je manje od kritične.

Bitno je napomenuti da su sve komponente i njihove vrednosti birane na osnovu uslova propisanih sertifikatom *SRPS EN 60079-11 2012* za standardizaciju. Pored toga, posebna pažnja je obraćena na crtanje štampane pločice Zener barijere, gde su pravila crtanja takođe propisana istim sertifikatom. Pločica Zener barijere zaštićena je epoksidnom smolom čime se pored smanjenih zahteva za rastojanja između komponenti i vodova prilikom crtanja štampane ploče, postiže i to da korisnik ne može da menja originalne komponente. Zener barijeru je neophodno uzemljiti. To je postignuto povezivanjem metalne pločice, namenjene za pričvršćivanje uređaja na *DIN* šinu, na masu kompletnog uređaja. U slučaju da *DIN* šina nije uzemljena, ili da se uređaj ne montira na nju, alternativno postoji mogućnost povezivanja uzemljenja preko provodnog odstoynika povezanog sa masom uređaja, a kojem korisnik ima pristup na poklopcu kutije uređaja.

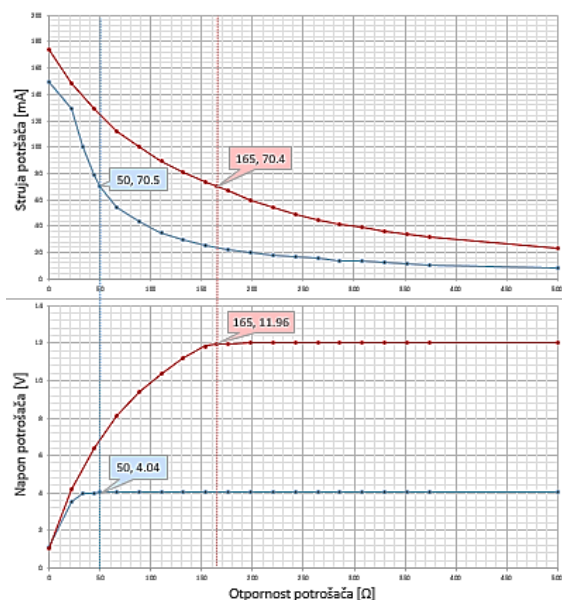
6. REZULTATI

Simulacije su vršene u programskom paketu *Micro-Cap 12*. Većina komponenti korišćenih u simulaciji su identične kao i one u praktičnoj realizaciji. Umesto komponenti koje ne postoje u bibliotekama programskog paketa *Micro-Cap 12* korišćena je adekvatna zamena sa vrlo sličnim karakteristikama. Korišćena je DC analiza sa parametrizovanom otpornošću potrošača čime se simulira kako se kolo ponaša za različite struje potrošača.

U slučaju da je podešeni napon potrošača 12 V, za struje ispod 70 mA, napon je konstantan 12 V. Kada struja poraste iznad 70 mA, napon počinje da opada sa porastom struje. Ova pojava se dešava zbog činjenice da je napon koji instrumentacioni pojačavač treba da isporuči na svom izlazu u tom slučaju veći od maksimalnog napona koji on može da da. Važno je napomenuti da ulazni napon Zener barijere ne bi trebalo da bude veći od 19 V jer bi postojala mogućnost da Zener diode provedu i napon potrošača više ne bi bio konstantan. Pored toga, usled prevelikog ulaznog napona, kada zbog provodnih Zener dioda, struja osigurača postane prevelika i on prepri, kolo bi prestalo da radi. U slučaju da je podešeni napon potrošača 4 V, uređaj bi mogao da ispravno radi i za veće struje potrošača. Međutim, struja potrošača je ograničena i osiguračem Zener barijere, stoga ona ne može biti ni u kom slučaju veća od 100 mA.

Rezultati simulacija potvrđeni su i testiranjem uređaja u realnim uslovima. Za potrebe testiranja, razvijena je štampana pločica koja simulira potrošač. Dobijeni grafici napona u zavisnosti od struje potrošača, prikazani na slici 5, su u skladu sa onim dobijenim simulacijom uz minimalne razlike prouzrokovane neidealnim mernim instrumentima, činjenicom da nisu sve komponente u simulaciji identične sa onim u praktičnoj realizaciji, kao i većim korakom promene otpornosti potrošača tj. promenom struje potrošača.

Potrebno je naglasiti, da će napon potrošača ipak u određenoj meri varirati zbog zagrevanja komponenti. Naime, grejanjem otpornici gube na otpornosti. Komponenta koja najviše disipira toplotu je Darlington tranzistor kojem sa porastom struje potrošača raste i snaga disipacije, a sa porastom napona potrošača, disipacija opada. U najgorem slučaju, kada je podešen napon potrošača od 4 V i kada je struja 70 mA snaga disipacije Darlington tranzistora biće 1,3 W i tranzistor će dostići temperaturu od oko 73 °C.



Slika 5. Grafici merene struje (gornji grafik crveno) i merenog napona (donji grafik crveno) potrošača u slučaju da je željeni napon potrošača 12 V i grafici merene struje (gornji grafik plavo) i merenog napona (donji grafik plavo) potrošača u slučaju da je željeni napon potrošača 4 V

Posle 4 sata rada uređaja u ovakvom režimu napon potrošača, umesto željenih 3,95 V biće 4,23 V. Dodatno, ako struja potrošača tada naglo padne na 0, napon će skočiti na 4,58 V. Ovo se dešava zbog činjenice da se pločice programabilnog napajanja i Zener barijere ne hlade na isti način. Iz istog razloga, zbog zagrevanja, u trenutku uključivanja uređaja, postojaće blagi pad napona na potrošaču dok se temperature pločica ne izjednače. Merenja su vršena pri sobnoj temperaturi od 25 °C. Pri drugim okolnim temperaturama moguća su drugačija odstupanja.

7. ZAKLJUČAK

Ovim radom je opisana moguća implementacija programabilnog napajanja namenjenog za uređaje u potencijalno eksplozivnim sredinama. Predlog za eliminaciju zavisnosti napona potrošača od njegove struje, nalazi se u strujnoj povratnoj sprezi programabilnog napajanja. Prikazane su neke od mogućih rešenja protiv eksplozivne zaštite, dok je svojstveno sigurna zaštita Zener barijerom u ovom uređaju primenjena i detaljno analizirana. Na slici 6 predstavljen je finalni izgled uređaja.



Slika 6. Finalni izgled uređaja

8. LITERATURA

[1] Institut za standardizaciju Srbije, *Eksplozivne atmosfere – Deo 11: Oprema zaštićena svojstvenom bezbednošću "i"*, SRPS EN 60079-11, Beograd, novembar 2012.

[2] Institut za standardizaciju Srbije, *Eksplozivne atmosfere – Deo 0: Oprema – Opšti zahtevi*, SRPS EN IEC 60079-0, Beograd, jul 2019.

[3] Radovan M. Jovanov, *Protiveksplozivna zaštita električnih i neelektričnih uređaja i instalacija*, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, mart 2015.

[4] Hans-Jürgen Linström, Johannes Buhn, Karel Neleman, *Basic concepts for explosion protection*, dostupno na: <https://www.bartec.de/en/downloads/safety-academy/explosion-protection.pdf>, datum pristupa: 25.8.2021.

[5] Onsemi, *Datasheet diode MRA4004T3G*, dostupno na: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mra4004t3-d.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[6] Bel Fuse, *Datasheet osigurača MRF 315*, dostupno na: <https://www.belfuse.com/resources/datasheets/circuitprotection/ds-cp-mrf-series.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[7] ROHM Semiconductor, *Datasheet TVS diode SMF30VTR*, dostupno na: <https://rohms-rohrm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/en/products/databook/datasheet/discrete/diode/zener/smf30vtr-e.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[8] Kingbright, *Datasheet LED APT1608CGCK*, dostupno na: <https://www.kingbrightusa.com/images/catalog/SPEC/APT1608CGCK.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[9] Microchip Technology, *Datasheet linearnog stabilizatora napona MCP1799T-3302H/DB*, dostupno na: <https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1799-Data-Sheet-20006248A.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[10] Microchip Technology, *Datasheet digitalnog potencio-metra MCP4023T-103E/CH*, dostupno na: <https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21945e.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[11] Texas Instruments, *Datasheet operacionog pojačavača TL071CDRE4*, dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl071.pdf?ts=1629703416751&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252Ftl071, datum pristupa: 25.08.2021.

[12] Onsemi, *Datasheet Darlington tranzistora MJD122G*, dostupno na: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/mjd122-d.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[13] Texas Instruments, *Datasheet instrumentacionog pojačavača INA826AIDR*, dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina826.pdf?ts=1629717211627&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F, datum pristupa: 25.08.2021.

[14] Arduino, *Datasheet razvojnog okruženja Arduino Nano*, dostupno na: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

[15] Onsemi, *Datasheet diode 1N5347BG*, dostupno na: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/1n5333b-d.pdf>, datum pristupa: 25.08.2021.

Kratka biografija:



Damir Popov rođen je u Vršcu 1996. godine. Osnovne akademske studije završio na Fakultetu tehničkih nauka 2019. godine, oblast Elektrotehnika i računarstvo, smer Primenjena elektronika. Master rad na istom fakultetu, oblast Elektrotehnika i računarstvo, smer Primenjena elektronika, odbranio je 2021. god.

Zahvalnica:

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: „Istraživanja u oblasti energetike, elektronike, telekomunikacija i primenjenih informacionih sistema u cilju modernizacije studijskih programa“.