

**LED PAMETNA RASVETA ZA UZGOJ AKVARIJUMSKOG BILJA****LED SMART LIGHT FOR GROWING AQUARIUM PLANTS**Dušan Ilić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – *Ovaj rad prikazuje realizaciju projekta "LED pametna rasveta za uzgoj akvarijumskog bilja". Rast i razvoj bilja, kroz proces fotosinteze, se temelji na spektru, intenzitetu svetlosti i trajanju dužine osvetljenosti. Pomenuti faktori realizovani su pomoću adekvatnog dizajna hardvera i programskog koda.*

**Ključne reči:** *IoT, ESP-12, Mikrokontroler*

**Abstract** – *This paper features the actualization of the "LED smart lighting for growing aquarium plants" project. The growth and development of plants, through the process of the photosynthesis, is based on the spectrum, the intensity of the light and the illuminance length duration. The mentioned factors were realized by an adequate hardware design and program code.*

**Keywords:** *IoT, ESP-12, Microcontroller*

**1. UVOD**

Sunce je nama najbliža i najbolje proučena zvezda koja emituje energiju u vidu sunčeve svetlosti i toplote, a time omogućava život na Zemlji putem procesa fotosinteze. Ideja LED pametne rasvete jeste da omogućava simulaciju Sunčevog ciklusa tokom 24h (izlazak i zalazak), a samim tim biće zadužena za rast i razvoj biljaka kroz proces fotosinteze koji se temelji na spektru, intenzitetu svetlosti i trajanju dužine osvetljenja. Spektar koji biljke apsorbuju, predstavlja vidljivi deo svetlosti čiji spektar zračenja uključuje talasne dužine od 400 nm do 700 nm [1]. Odabirom dveju LED lampi, odnosno *Full-spectrum* i hladno belih LED lampi, obezbeđen je adekvatan spektar zračenja za proces fotosinteze. Intenzitetom svetlosti dveju LED lampi upravlja se pomoću dva N kanalna MOSFET tranzistora. Dužina uključenosti i isključenosti tranzistora definisana je faktorom ispune impulsno širinske modulacije, PWM (engl. *Puls-width modulation*) signalom, koji se generiše na GPIO pinovima ESP8266 mikrokontrolera. Trajanje dužine osvetljenosti tokom 24h, biće podeljeno u 10 vremenskih intervala koje će korisnik moći definisati putem korisničkog interfejsa. Kako bi mikrokontroler imao informaciju o trenutnom vremenu, sistem sadrži sat relanog vremena, u daljem tekstu RTC (engl. *Real Time Clock*). Podešavanje funkcija LED pametne rasvete, odnosno podešavanje trenutnog vremena, 10 vremenskih intervala i intenziteta svetlosti dveju LED lampi za svaki vremenski interval, vršiče se pomoću dva korisnička interfejsa. Prvi korisnički interfejs

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Platon Sovilj, red. prof.**

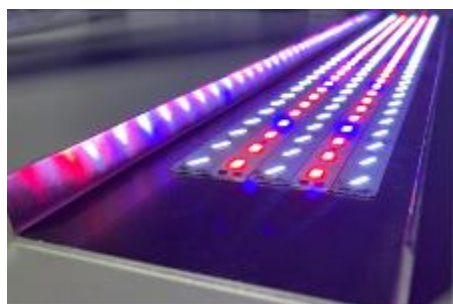
predstavljajući četir tastera kojima korisnik ima mogućnost ručnog podešavanja funkcija LED pametne rasvete, a povratne informacije o podešavanju, biće prikazane na OLED ekranu radi vizualizacije aplikacije. Dakle u ovom projektu, mikrokontroler ESP8266 predstavlja *master*, dok su RTC i OLED ekran *slave* uređaji. Komunikacija između *master* i *slave* uređaja realizovana je I<sup>2</sup>C komunikacionim protokolom. Drugi korisnički interfejs predstavlja mobilna aplikacija za *real-time* podešavanje funkcija LED pametne rasvete, putem Wi-Fi mreže. Za programiranje ESP8266 mikrokontrolera koristiće se programski jezik C modifikovan od strane Arduino IDE programskog paketa za programiranje razvojnih ploča pomenutog proizvođača.

**2. TEHNIČKO REŠENJE SISTEMA**

Za realizaciju LED pametne rasvete, upotrebljene su dve vrste LED lampi:

1. *Full-Spectrum* LED biljne lampe (spektar plavih LED dioda iznosi 450 nm, dok za crvene iznosi 660 nm)
2. Hladno bele LED lampe (boja osvetljenosti iznosi 6500 K)

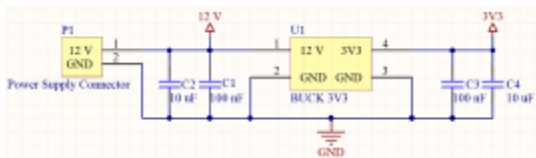
U cilju produženja životnog veka i zadržavanje karakteristika LED čipova, potrebno je obezbediti adekvatno hlađenje sistema. Za pasivno hlađenje, LED lampe se montiraju na aluminijumski hladnjak koji ujedno predstavlja i kućište LED rasvete. Sa unutrašnje strane montiraju se LED lampe u odnosu 3:2 i upravljačka elektronika kako je prikazano na narednoj slici.



Slika 1. *Kućište i montirane LED lampe u odnosu 3:2*

**2.1. Napajanje sistema**

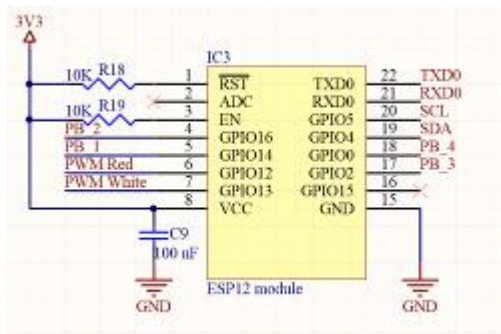
Napajanje LED pametne rasvete odabrano je na osnovu tehničkih specifikacija LED lampi čiji je ulazni napon 12 V jednosmernog napona. Za napajanje ostatka električnog kola, potrebno je smanjiti ulazni napon sa 12 V na 3.3 V što je rešeno pomoću DC-DC konvertora pod nazivom "Mini360". Na električnoj šemi DC-DC konvertor označen je sa "BUCK 3V3", a glavno napajanje sistema od 12 V dovodi na konektor P1.



Slika 2. Električna šema napajanja

## 2.2. ESP-12 Wi-Fi modul

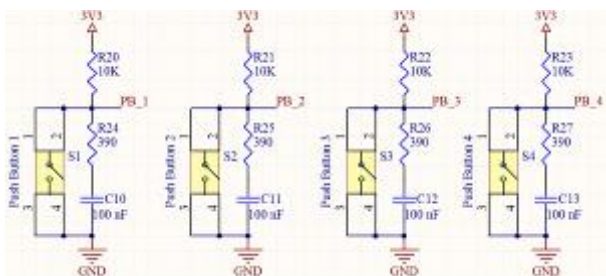
ESP-12 modul predstavlja tip čipa SoC (engl. System on a Chip) na kom su većina komponenti "računara" integrisana u jedan čip. Mikrokontroler ovog modula je ESP8266 sa ugrađenom Wi-Fi mrežom i antenom. Ovaj modul se nalazi u kućištu sa 22 nožice, dok su na raspolaganju samo 16 nožica ovog modula, a njihove funkcije prikazane su na električnoj šemi ESP-12 modula [2].



Slika 3. Električna šema ESP-12 modula

### 2.2.1. Treperenje kontakata tastera

Ručno podešavanje funkcija LED pametne rasvete vrši se putem četiri tastera. Svaki od krajeva tastera nosi svoje ime signala PB\_1, PB\_2, PB\_3 i PB\_4 (skraćeno od engl. Push Button) koji se dovode na GPIO pinove sa rednim brojevima 0, 2, 14 i 16 kako je prikazano na slici 3. Električna šema povezivanja tastera sa GPIO pinovima ESP-12 modula, prikazana je narednoj slici.



Slika 4. Električna šema povezivanja tastera

GPIO pinovi na svojim krajevima uvek vide visoki napon, a pritiskom tastera dovode se na masu, odnosno nizak napon što mikrokontroler detektuje kao trigger za izvršavanje određene funkcije. Pritiskom na taster dolazi do treperenja dirki tastera, a za eliminaciju ove pojave zadužen je kondenzator vrednosti 100 nF u električnom kolu [3]. Struja punjenja kondenzatora, kada je taster u otvorenom položaju, definisana je otpornicima vrednosti 10 kΩ i 390 Ω. Pritiskom tastera, zatvara se strujno kolo preko otpornika 390 Ω ka masi i vrši se pražnjenje kondenzatora. Prilikom pražnjenja sva energija kondenzatora se disipira na otporniku 390 Ω čime se štite dirke tastera od varničenja. Vremenska konstanta punjenja i pražnjena kondenzatora na osnovu izraza [4]:

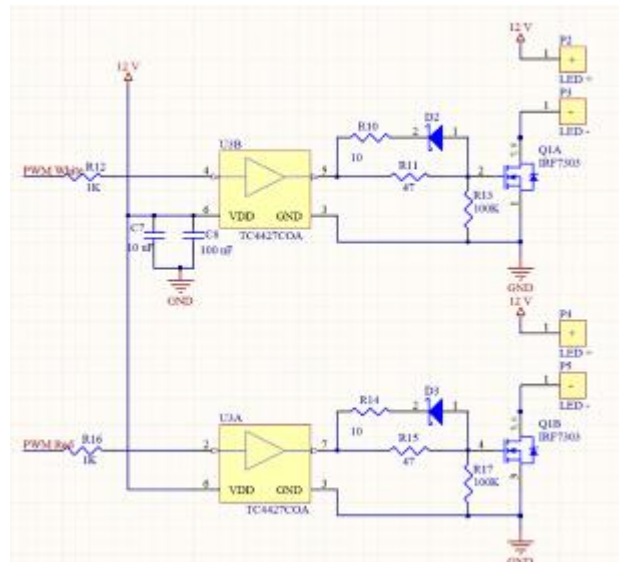
$$\tau = R \times C \quad (1)$$

za ovo kolo iznosi 1 ms. Dakle kondenzator od 100 nF se napuni na 100 % vrednosti napajanja (3V3) za vreme od 5ms, što iznosi 5 τ.

### 2.2.2. Impulsno širinska modulacija

Da bi se LED lampe dimovale nezavisno jedna od druge, GPIO pinovi 12 i 13 konfigurisu se kao izlazni. Na slici 3 prikazano je da se GPIO12 pinu dodeljuje signal PWM\_RED pomoću kog se dimuju Full-Spectrum LED biljne lampe, dok se dimovanje hladno belih LED lampi vrši preko pina GPIO13 kome je dodeljeno ime signala PWM\_White. Na pomenutim GPIO pinovima generisaće se PWM signal radi dimovanja LED lampi.

Dimovanje LED lampi vrši se sa dva N kanalna MOSFET tranzistora, čije se otvaranje i zatvaranje kontroliše PWM signalima. Kako je MOSFET naponski upravljana komponenta neophodno je dodati u kolo između ESP-12 modula i MOSFET-a gate driver, čija je uloga pojačavačka u smislu podizanja napona sa 3.3 V na 12 V koji je neophodan za pravilan rad tranzistora (uključenje i isključenje) [5].



Slika 5. Električno kolo za dimovanje LED lampi

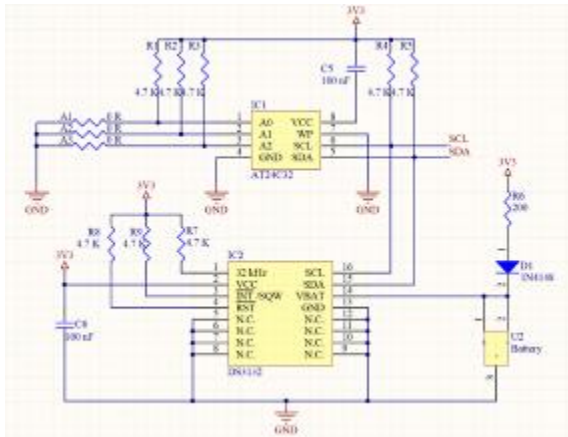
Signali PWM\_White i PWM\_RED dovode se na gate driver-e koji pojačavaju PWM signale sa 3.3 V na 12 V, a potom na gate pinove (2 i 4) MOSFET tranzistora. Na drain pinove (5, 6, 7 i 8) dovode se katodni (minus) krajevi LED lampi preko konektora P3 i P5 dok se anodni (pozitivan) kraj direktno veže na izvor napajanja 12 V preko konektora P2 i P4. Kako PWM signal predstavlja povorku pravougaonih impulsa, tranzistor se nalazi u uključenom stanju sve dok traje impuls PWM signala i tada struja kroz drain i source krajeve kreće da teče ( $I_D$ ). Strujno kolo je sada zatvoreno od izvora napajnja 12 V kroz potrošač (LED lampe) kroz koje protiče struja  $I_D$  što dovodi do emitovanja svetlosti. Za vreme pauze PWM signala tranzistor se nalazi u isključenom stanju i predstavlja otvoreno kolo. Tada struja kroz LED lampe ne teče, a tom prilikom se ne emituje svetlost.

Intenzitetom svetlosti LED lampi upravlja se faktorom ispune PWM signala koji predstavlja odnos impuls/paza, a računa se prema sledećem izrazu [6]:

$$D = \frac{T_{ON}}{T} \times 100 [\%] \quad (2)$$

### 2.3. Sat realnog vremena

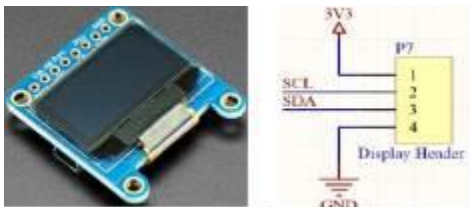
Trajanje dužine osvetljenosti tokom 24h (podeljeno u 10 vremenskih intervala) podešava se na osnovu vremena dobijenog od strane sata realnog vremena, odnosno RTC-a. Za RTC odabrano je DS3231 integrisano kolo koje razlikuje broj dana u mesecu kao i 24-časovni i 12-časovni format dana. U slučaju nestanka napajanja, RTC za čuvanje početnog vremena koristi nezavisno napajanje u vidu baterije CR2032. Takođe, uz RTC dolazi i EEPROM memorija AT23C32 za čuvanje dodatnih informacija [7]. Električna šema RTC-a prikazana je na narednoj slici.



Slika 6. Električno kolo DS3231 RTC-a

### 2.4. OLED ekran

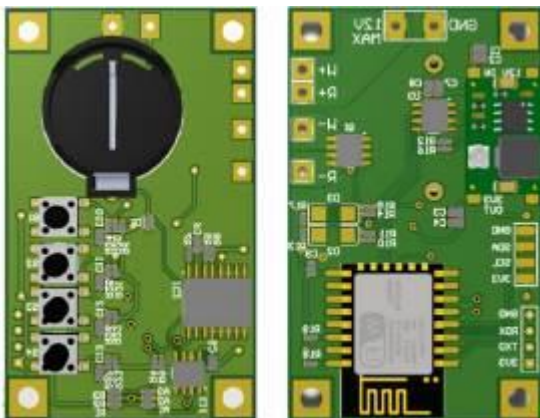
Prilikom ručnog podešavanja funkcija LED pametne rasvete, korisniku je omogućen vizualni kontakt na 1.3 inčnom OLED ekranu napravljenom od 128x64 individualnih piksela. OLED ekran se pomoću četiri žice preko konektora P7 povezuje sa štampanom pločom kako je prikazano na narednoj slici.



Slika 7. OLED ekran i konektor za povezivanje

### 2.5. Projektovanje štampane ploče

Na osnovu predstavljenih električnih šema projektovana je štampana ploča za rad LED pametne rasvete, čija 3D projekcija, je prikazana na narednoj slici.



Slika 8. 3D prikaz projektovane štampane ploče

## 3. KORISNIČKI INTERFEJS

### 3.1. Ručno podešavanje funkcija LED rasvete

Funkcije tastera za podešavanje funkcija LED pametne rasvete date su u narednoj tabeli.

Tabela 1. Funkcije tastera

Funkcija	Up	Down	Enter	Back
Switch	S4	S3	S2	S1
Push Button	PB 4	PB 3	PB 2	PB 1
GPIO	2	0	16	14

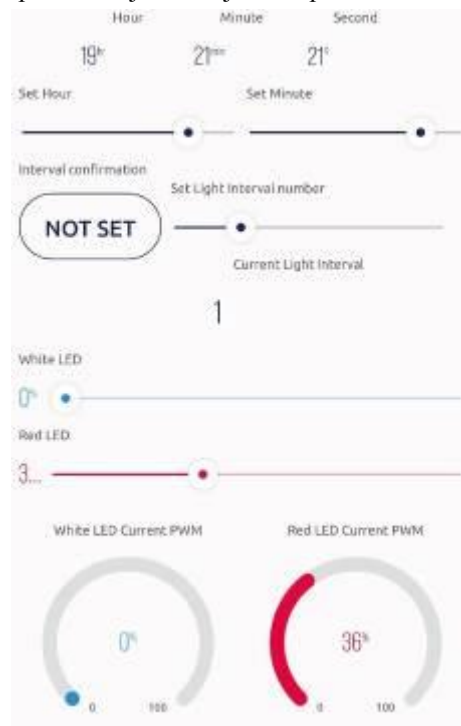
Podešavanje trenutnog vremena, vremenskih intervala i jačina intenziteta svetlosti za svaki interval, prikazano je na narednoj slici.



Slika 6. Meni aplikacije za ručno podešavanje funkcija

### 3.2. Mobilna aplikacija

Za mobilnu aplikaciju upotrebljena je Blynk IoT platforma, zamišljena kao ploča za izradu prototipa na mobilnom uređaju. Pomoću Blynk mobilne aplikacije hardware se može kontrolisati bežično u real-time [8]. Na narednoj slici prikazan je panel Blynk aplikacije sa svim kontrolama za podešavanje funkcija LED pametne rasvete.



Slika 7. Panel Blynk mobilne aplikacije

#### 4. REZULTATI MERENJA

Merenje potrošnje struje LED lampi izvršeno je za ceo opseg podešavanja intenziteta svetlosti od 0 % do 100 % sa korakom povećanja od 5 %.

Tabela 2. Rezultati merenja potrošnje struje LED lampi

Duty Cycle [%]	Usr [V]	Hladno bele LED lampe		Full-spectrum LED lampe	
		I [A]	P [W]	I [A]	P [W]
0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.60	0.069	0.041	0.063	0.038
10	1.20	0.175	0.210	0.148	0.178
15	1.80	0.285	0.513	0.235	0.423
20	2.40	0.396	0.950	0.323	0.775
25	3.00	0.500	1.500	0.404	1.212
30	3.60	0.611	2.200	0.491	1.768
35	4.20	0.724	3.041	0.580	2.436
40	4.80	0.835	4.008	0.670	3.216
45	5.40	0.945	5.103	0.751	4.055
50	6.00	1.055	6.330	0.842	5.052
55	6.60	1.158	7.643	0.933	6.158
60	7.20	1.265	9.108	1.023	7.366
65	7.80	1.367	10.663	1.108	8.642
70	8.40	1.480	12.432	1.200	10.080
75	9.00	1.592	14.328	1.292	11.628
80	9.60	1.705	16.368	1.385	13.296
85	10.20	1.805	18.411	1.470	14.994
90	10.80	1.912	20.650	1.556	16.805
95	11.40	2.011	22.925	1.650	18.810
100	12.00	2.125	25.500	1.745	20.940

#### 5. ZAKLJUČAK

Razvijena LED pametna rasveta omogućava simulaciju Sunčevog ciklusa tokom 24h, te je zadužena za rast i razvoj biljaka kroz proces fotosinteze koji se temelji na spektru, intenzitetu svetlosti i trajanju dužine osvetljenja. Spektar koji biljke apsorbiraju, predstavlja vidljivi deo svetlosti čiji spektar zračenja uključuje talasne dužine od 400 nm do 700 nm što je realizovano sa *Full-spectrum* biljnim i hladno belim LED lampama. Na zahtev korisnika preko korisničkog interfejsa, pomoću mikrokontrolera (ESP8266) upravlja se intenzitetom svetlosti i trajanjem dužine osvetljenja tokom 24h.

Kontrola intenziteta svetlosti LED lampi, zasnovana je na dužini uključenosti i isključenosti dva N-kanalna MOSFET tranzistora. Dužinom uključenosti i isključenosti tranzistora upravlja se faktorom ispune PWM signala. Informacija o vremenu potrebnom za definisanje vremenskih intervala, dobija se sa RTC-a koji je u stalnoj komunikaciji sa mikrokontrolerom. Podešavanje jačine intenziteta svetlosti kao i određivanje vremenskih intervala tokom 24h, realizovano je uz pomoć dva korisnička interfejsa. Jedan od njih predstavlja četiri tastera za ručno podešavanje navedenih funkcija, dok se povratne informacije prikazuju na OLED ekranu. Drugi interfejs predstavlja *real-time* mobilna aplikacija.

Tokom razvoja oba korisnička interfejsa, vodilo se računa o jednostavnosti rasporeda funkcija za podešavanje, tako da je korisniku logično šta je prvo potrebno podesiti od pomenutih funkcija što predstavlja prednost ove rasvete. Takođe, tokom projektovanja električne šeme vodilo se računa o stabilnosti rada komponenti kao i čuvanje istih za dugotrajni radni vek.

Na stabilnost sistema, može da utiče visoka temperatura koja se razvija prilikom emitovanja svetlosti sa LED lampi, što predstavlja nedostatak ovog sistema. Budući da snaga koju razvijaju LED lampe može da dostigne i do 45 W, LED pametna rasveta spremna je da obezbedi

dovoljno jak intenzitet svetlosti za rast i razvoj najzahtevnijih akvarijumskih biljka. Ukoliko korisnik želi da uzgaja manje zahtevne biljke kojima nije potreban tako jak intenzitet svetlosti, pomoću korisničkog interfejsa, korisnik može da prilagodi intenzitet svetlosti za svoje potrebe. Dakle još jedna od prednosti ovog sistema, jeste ta da je sistem totalno upravljiv i omogućava korisniku da podesi sistem prema svojim potrebama u bilo kom momentu na jednostavan način.

Razvijeni sistem moguće je unaprediti proširivanjem dizajna *hardware-a*. Dodavanjem ventilatora i rebrastog aluminijumskog kućišta u sistem, višak toplote bi se lakše odvodio čime bi se smanjila temperatura u sistemu. Ventilatori bi se pozicionirali na krajeve aluminijumskog kućišta, tako da jedan uvlači hladan vazduh u kućište sistema, dok bi drugi izvlačio višak toplote iz kućišta. Na ovaj način obezbedilo bi se strujanje vazduha kroz kućište sistema sa jednog kraja na drugi.

Paljenje i gašenje ventilatora vršilo bi se pomoću tranzistora na osnovu očitane temperature sa RTC-a. U električnu šemu može se dodati Holov senzor (ACS712) za merenje struje koju povlače LED lampe. Ovaj senzor na svom izlazu daje vrednost napona koja je srazmerna izmerenoj struji. Napon sa Holovog senzora moguće je dovesti na ADC mikrokontrolera. Podatak o trenutnoj snazi prikazivao bi se na OLED ekranu i mobilnoj aplikaciji. Pomenuti hardverski dodaci imali bi uticaj na razvijanje programskog koda, čime bi se ceo sistem učinio komplikovanim ali ne i nemogućim, te se očekuje dalji razvoj LED pametne rasvete.

#### 6. LITERATURA

- [1] Lopez, R & E. Rundle, Light Management in Controlled Environments, Ohio: USA, 2017.
- [2] [https://docs.ai-thinker.com/\\_media/esp8266/docs/esp-12f\\_product\\_specification\\_en.pdf](https://docs.ai-thinker.com/_media/esp8266/docs/esp-12f_product_specification_en.pdf).
- [3] Milan Radenković, Aleksandar Stevanović, Merenje vremena treperenja tastera pomoću mikrokontrolera AT89S8253, Niš: Elektronski Fakultet, Katedra za elektroniku.
- [4] [https://www.linquip.com/blog/what-is-rc-circuit/#What\\_is\\_RC\\_Circuit](https://www.linquip.com/blog/what-is-rc-circuit/#What_is_RC_Circuit).
- [5] <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/20001422G.pdf>.
- [6] Dogan Ibrahim, Designing Embedded Systems with 32-Bit PIC Microcontrollers and MikroC, 2014.
- [7] <https://www.farnell.com/datasheets/1904442.pdf>.
- [8] <https://docs.blynk.cc/>.

#### Kratka biografija:



**Dušan Ilić** rođen je u Somboru 1994. god. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na katedri za električna merenja 2019. godine.  
kontakt: [dusan.ilic165@gmail.com](mailto:dusan.ilic165@gmail.com)