

Projektni zadatak: Spektralni odziv fotootpornika

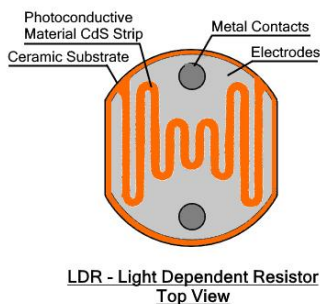
Anastasija Đorđević, Teodora Popović, Iva Cvetanović

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 ispunje signala. Rad prikazuje detaljan postupak, korišćene komponente i praktičnu realizaciju samog rešenja.

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

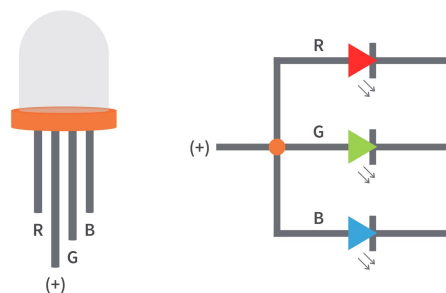
Otpornost poluprovodnika u fotootporniku zavisi od broja slobodnih nosilaca naelektrisanja unutar njega. Kada fotosenzitivni materijal nije osvetljen, broj nosilaca naelektrisanja je mali, dok je njegova otpornost velika. Nasuprot tome, kada svetlost u vidu fotona padne na površinu materijala, svaki foton isporučuje energiju elektronima unutar materijala. 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*).

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 mraka, 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

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. 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.



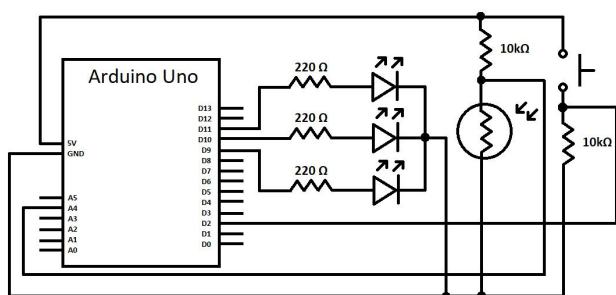
Slika 2. RGB dioda

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 komponentata:

- Protoploča
- Žice
- *Arduino Uno* i kabl
- Taster
- Fotootpornik *PCD20*
- 2 otpornika od po 10kΩ; jedan od njih potreban je za razdelnik, dok se drugi vezuje za taster (prilagođava se graničnim vrednostima osvetljenosti)
- 3 otpornika od po 220Ω
- RGB dioda.



Slika 3. Električna šema kola

Na datoj protoploči, sa leve strane redno je povezan fotootpornik sa otpornikom od 10kΩ. Slobodan izvod fotootpornika vezuje se za masu, dok se drugi slobodni izvod otpornika od 10kΩ vezuje na naponski izvor od 5V. 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 220Ω, 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 10kΩ. 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 naposljetku 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 upotrebljavati u ostatku koda (Slika 4):

- 1) Pinove na koje su povezani izvodi RGB diode, fotootpornik, taster,
- 2) Brojači,
- 3) Korak za koji se menja faktor ispune signala,
- 4) Stanje tastera,
- 5) Izlazni napon,
- 6) Promenljiva 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. Definisane 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. Definisane 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 ispunje 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.

```

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*

Brojač *num1* služi za brojanje koraka za promenu intenziteta jedne od boja. Kada faktor ispunje signala neke od boja prođe svih 10 koraka, ta boja se gasi i uključuje

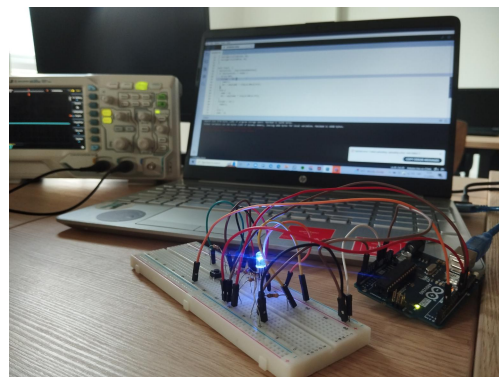
naredna nakon jednog koraka pauze između njih. Naredbom *map* vrši se preslikavanje jednog opsega na drugi – u datom slučaju, opseg vrednosti faktora ispunje signala (od 0 do 100) slika se na vrednost opsega intenziteta boje (od 0 do 255).

Ukoliko je prošlo 11 koraka, što je podatak koji beleži brojač *num2*, menja se faktor ispunje (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

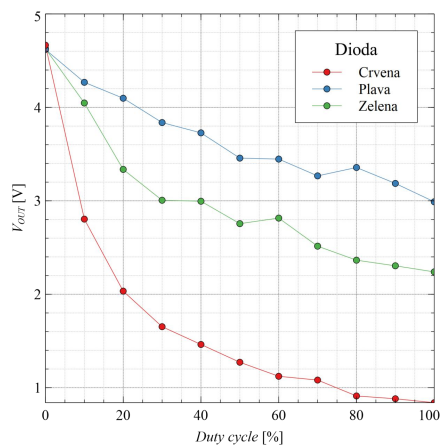
Nakon što je kolo hardverski i softverski osmišljeno, prelazi se na povezivanje projektovane šeme (Slika 8).



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 ispunje svake od dioda crvene, zelene i plave svetlosti. Faktor ispunje kreće 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 ispunje 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 ispunjenosti 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 ispunjenosti 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 ispunjenosti u rasponu od 0 do 100.

LITERATURA

- [1] Tehnička specifikacija za PCD20. Dostupno na: <https://www.wtsensor.com/data/upload/20220802/62e8accb0bc8f.pdf>
- [2] "What is LDR – Light Dependent Resistor? Construction, Working, Types & Applications". Dostupno na: <https://www.electricaltechnology.org/2022/08/ldr-light-dependent-resistor.html>
- [3] "Chapter 53 Opto Electronic Devices Book Report". Dostupno na: <https://www.studypool.com/documents/1543976/chapter-53-opto-electronic-devices-book-report>
- [4] "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>
- [5] Prezentacija sa laboratorijskih vežbi na temu "Određivanje i upoređivanje spektra RGB diode". Dostupno na: <https://shorturl.at/NNptJ>
- [6] Prezentacija sa laboratorijskih vežbi na temu "Određivanje i upoređivanje karakteristika fotootpornika". Dostupno na: <https://shorturl.at/74lh5>
- [7] Rad na temu "Sistem za dimovanje RGB diode". Dostupno na: <https://ieeefak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/2022/11/2022.pdf>