

LABORATORIJSKE VEŽBE IZ PREDMETA OSNOVI OPTIKE za generaciju 2015/16.

Spisak vežbi:

1. Određivanje žižne daljine sočiva pomoću direktne metode
2. Određivanje parametara fotootpornika
3. Snimanje karakteristike LE diode i primer upotrebe fotootpornika
4. Snimanje I-U karakteristike fotodiode
5. Određivanje kontinualnog spektra fotoluminescentne diode

Vežba broj 1: **Određivanje žižne daljine sočiva pomoću direktne metode**

1.1 Cilj vežbe

Kao cilj ove laboratorijske vežbe potrebno je odrediti žižnu daljinu i optičku moć sočiva korišćenjem direktne metode. Potrebno je utvrditi o kom se sočivu radi, sabirnom ili rasipnom.

1.2 Teorijski uvod

Za tanko sabirno sočivo važi jednačina

$$\frac{1}{f_s} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l},$$

gde su f_s – žižna daljina sabirnog sočiva, p – rastojanje predmeta od centra sočiva i l – rastojanje lika od centra sočiva. Merenjem rastojanja p i l , iz gornje jednačine može se odrediti žižna daljina sabirnog sočiva.

Ako su dva sočiva u optičkom kontaktu, jednačina za ekvivalentnu žižnu daljinu takve kombinacije je

$$\frac{1}{f_e} = \frac{1}{f_s} + \frac{1}{f_x},$$

gde f_s žižna daljina sabirnog sočiva, a f_x žižna daljina sočiva koje pored sabirnog čini sistem sočiva. Nepoznata žižna daljina određuje se kao

$$f_x = \frac{f_e f_s}{f_e + f_s},$$

a onda će odgovarajuća optička moć tog sočiva biti

$$\omega_x = \frac{1}{f_x}.$$

1.3 Opis aparature

Na optičkoj klupi postavljeni su svetao predmet P, sočivo S i zaklon L na stativima, koji mogu da se pomeraju duž šine optičke klupe. Svetao predmet je strelica, prorezana na kutiji u kojoj se nalazi sijalica. Rastojanja predmeta i lika od sočiva mere se lenjirom ili je na šini optičke klupe postavljena skala na kojoj se ova rastojanja mogu čitati.

1.4 Metod merenja

Direktan metod

Uključi se sijalica u kutiji i zaklon se postavi na željeno rastojanje. Stativ sa sočivom se pomera duž optičke klupe sve dok se na zaklonu ne pojavi oštar i jasan lik svetlog predmeta (strelica). Za takav položaj sočiva izmere se rastojanja p i l i pomoću formule se izračuna žižna daljina sabirnog sočiva, odnosno

$$f_s = \frac{p \cdot l}{p + l}.$$

Promeni se rastojanje između svetlog predmeta i zaklona i postupak se ponovi pet puta. Isti postupak ponoviti za sistem sočiva koji se sastoji od dva sočiva. Izmerene vrednosti uneti u tabele.

1) Sabirno sočivo

R.br.	p [cm]	l [cm]	f_s [cm]	f_{ssr} [cm]	Δf_s [cm]	δf_s [%]	σf_s [cm]

$$f_s = f_{ssr} \pm \sigma f_s = \text{-----} \pm \text{-----} \text{ [cm]}$$

2) Sistem sočiva

R.br.	p [cm]	l [cm]	f_e [cm]	f_{esr} [cm]	Δf_e [cm]	δf_e [%]	σf_e [cm]

$$f_e = f_{esr} \pm \sigma f_e = \text{-----} \pm \text{-----} \text{ [cm]}$$

Na osnovu srednjih vrednosti žižnih daljina sabirnog i sistema sočiva, koje su dobijene direktnom metodom, naći žižnu daljinu drugog sočiva iz sistema sočiva f_x i ustanoviti o kom sočivu je reč. Potom, izračunati optičku moć tog sočiva.

Vežba 2: **Određivanje parametara fotootpornika**

2.1 Cilj vežbe

Određivanje parametara fotootpornika C i γ za tri različite vrednosti napona na fotootporniku.

2.2 Teorijski uvod

Fotootpornik je otpornik čija otpornost zavisi od osvetljenosti njegove površine. Otpornost fotootpornika je najveća u mraku (tipično je reda $M\Omega$) i opada sa povećanjem osvetljenosti njegove površine.

Kada se fotootpornik nalazi u mraku i prključen je na neki napon V , kroz njega će proticati struja mraka $I_t = V/R_0$, gde R_0 otpornost fotootpornika u mraku. Kako je ova otpornost veoma velika, ova struja se uglavnom može zanemariti čak i pri većim naponima.

Kada se fotootpornik osvetli nekim izvorom svetlosti doći će do indukcije slobodnih nosioca naelektrisanja unutar tela fotootpornika. Ovi nosioci naelektrisanja će se kretati usled primenjenog električnog polja čineći fotostruju I_f . Ukupna struja će u ovom slučaju biti jednaki zbiru fotostruje i struje mraka.

$$I = I_t + I_f .$$

Fotostruja zavisi od osvetljenosti površine fotootpornika i napona na njemu. Ona u opštem slučaju nije linearna funkcija napona, već je data jednačinom,

$$I_f = C(V)E^\gamma ,$$

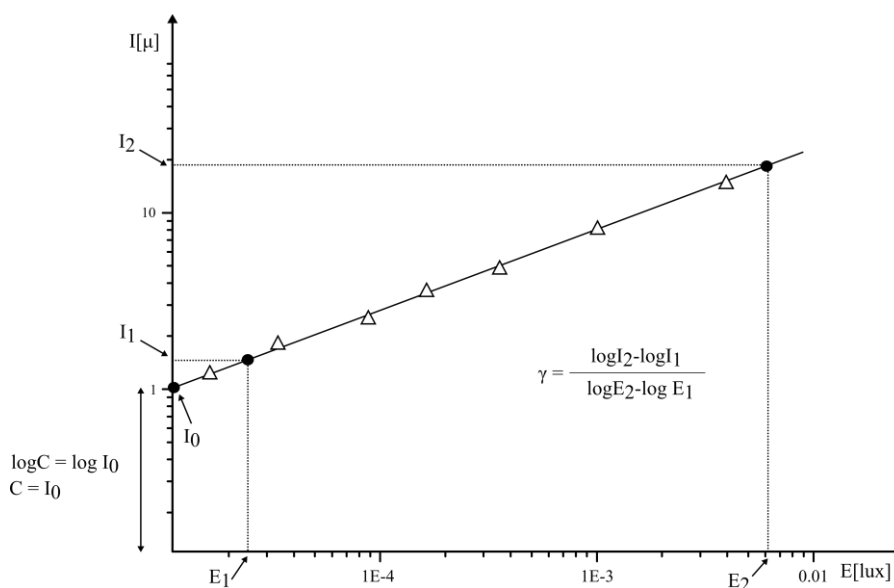
gde je E je osvetljenost izražena u luksima. Ukupna struja fotootpornika će onda biti,

$$I = I_t + C(V)E^\gamma \approx C(V)E^\gamma .$$

Da bi se okarakterisao fotootpornik potrebno je odrediti parametar γ i vrednost parametra C na nekoliko različitih napona. To se može postići na osnovu grafika zavisnosti $\log I_f$ od $\log E$. Naime, logaritmovanjem izraza za struju fotootpornika se dobija,

$$\log I = \log C + \gamma \log E ,$$

što predstavlja jednačinu prave čiji odsečak na $\log I$ osi iznosi $\log C$, i čiji je koeficijent pravca γ . Ovi koeficijenti mogu se odrediti i sa grafika zavisnosti struje I od osvetljenosti E nacrtanim u log-log razmeri na način koji je objašnjen na slici.



Slika 1. Određivanje koeficijenta fotootpornika sa grafika u log-log razmeri

Otpornost fotootpornika pri osvetljenosti E i naponu V se može odrediti na osnovu izmerene vrednosti struje ili na osnovu određenih parametara fotootpornika,

$$R = \frac{V}{I_f} = \frac{V}{C(V)E^\gamma}.$$

2.3 Metod merenja

1. Povezati ampermetar i napajanje na odgovarajuća mesta na šemi. Unutar kutije nalazi se fotootpornik fiksiran na postolju koje se može kretati po šini. U desnom delu kutije nalazi se izvor svetlosti. Uključuje se napajanje kutije i proverava da li sijalica svetli. Fotootpornik se postavlja u položaj najudaljeniji od sijalice. Zatvara se kutija i napon napajanja dovodi na 1 V. Očitava se struja koja će biti reda μA , međutim pri otvaranju kutije može porasti i do reda mA, pa treba biti obazriv sa opsegom ampermetra. Šinu približavati ka sijalici u koracima od 5 cm.

2. Postupak merenja ponovite i za napone $V = 2 \text{ V}$ i $V = 3 \text{ V}$. Izmerene vrednosti uneti u tabele.

$V = 1 \text{ V}$

r [m]	$E \approx 1/r^2$ [lx]	I_f [μA]	$R = V/I_f$ [k Ω]	$R = V/C_1 \cdot E^\gamma$ [k Ω]
0.5				
0.45				
0.4				
0.35				
0.3				
0.25				
0.2				

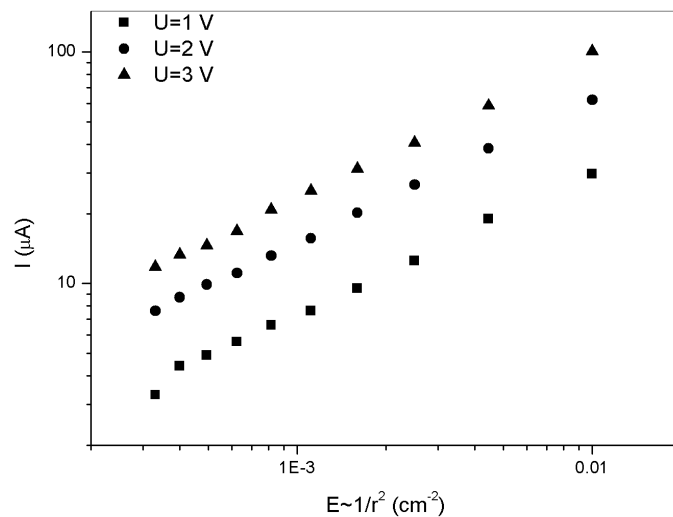
$V = 2 \text{ V}$

r [m]	$E \approx 1/r^2$ [lx]	I_f [μA]	$R = V/I_f$ [k Ω]	$R = V/C_2 \cdot E^\gamma$ [k Ω]
0.5				
0.45				
0.4				
0.35				
0.3				
0.25				
0.2				

$V = 3 \text{ V}$

r [m]	$E \approx 1/r^2$ [lx]	I_f [μA]	$R = V/I_f$ [k Ω]	$R = V/C_3 \cdot E^\gamma$ [k Ω]
0.5				
0.45				
0.4				
0.35				
0.3				
0.25				
0.2				

3. Za sve tri vrednosti napona nacrtati grafik $I_f = f(E)$ u log-log razmeri kao što je prikazano primerom na slici.



Sa grafika odrediti parametre C i χ , kao što je opisano u teorijskom delu vežbe.

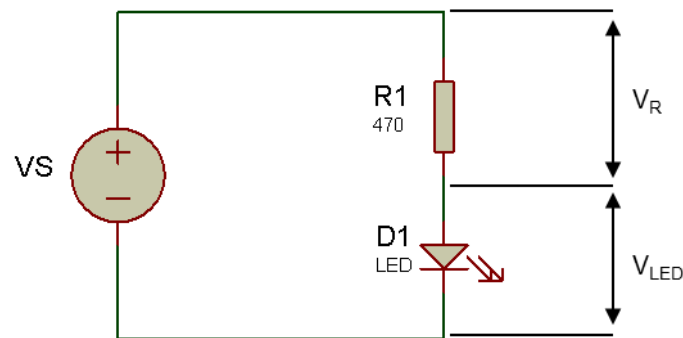
Vežba 3: Snimanje karakteristike LE diode i primer upotrebe fotootpornika

3.1 Cilj vežbe

Snimiti zavisnost napona na LE diodi i njoj redno vezanom otporniku od napona napajanja. Snimiti i strujno-naponsku zavisnost LE diode. U drugom delu vežbe demonstrirati upotrebu fotootpornika za kontrolu bipolarnog tranzistora kao prekidača.

3.2 Teorijski uvod

Pad napona LE dioda je veći nego kod obične diode. Tipične LE diode zahtevaju struju od 5 do 15 mA kako bi postigle maksimalnu osvetljenost. Međutim, uobičajeno ne mogu podneti struju veću od 20 mA, pa se moraju redno vezati sa otpornikom da ne bi pregorele. Na protoploči povezati komponente i voltmetre po šemi prikazanoj na slici.

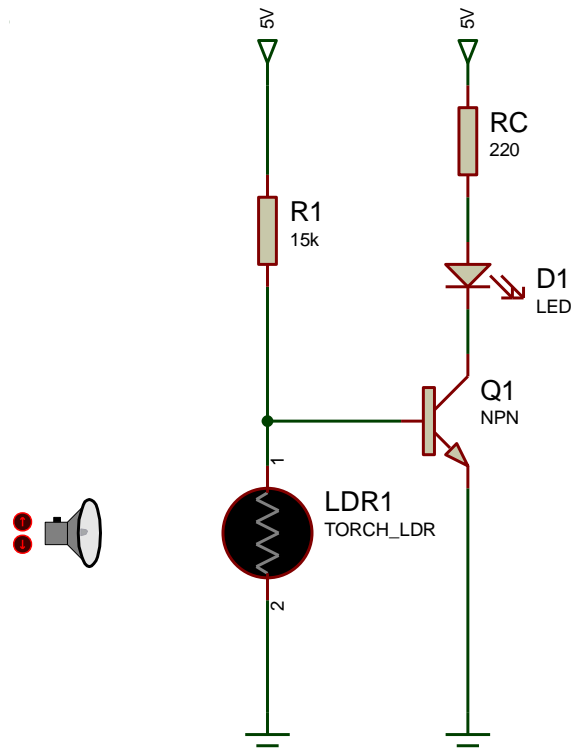


Povećavati ulazni napon od 0 do 5 V u koracima od 0.5 V i na osnovu merenih vrednosti popunjavati tabelu, pri čemu struju treba računati na osnovu vrednosti pada napona na otporniku. Izmerene vrednosti napona uneti u tabelu.

V_S (V)	V_{LED} (V)	V_R (V)	I (mA)
0			
0.5			
1			
1.5			
2			
2.5			
3			
3.5			
4			
4.5			
5			

Na osnovu izmerenih vrednosti na jednom grafiku nacrtati zavisnost pada napona na obe komponente od ulaznog napona, a na drugome skicirati strujno-naponsku karakteristiku LE-diode.

Fotootpornik se može iskoristiti kao prekidač za paljenje i gašenje uličnog osvetljenja. Ovu funkciju obavlja kolo sa sledeće slike.



Kada je fotootpornik osvetljen njegova otpornost je mala, pa će pad napona na njemu biti mali i tranzistor neće voditi. U mraku njegova otpornost raste, tranzistor počinje da vodi i uključuje se LE dioda.

Otpornik R_1 i kolektorski otpornik R_C potrebno je proračunati tako da pri nivou osvetljenosti pri kome se zahteva uključivanje LE diode tranzistor bude na granici zasićenja, tj. da je $V_{CE} = 0.3 \text{ V}$, a struja kolektora $I_C = 15 \text{ mA}$. Ove vrednosti daju otpornost kolektorskog otpornika od:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_D}{I_C} = \frac{5 - 0.3 - 2}{15 \cdot 10^{-3}} = 180 \Omega.$$

Najbliža standardna vrednost otpornosti je 220Ω , pa se ona uzima za vrednost kolektorskog otpornika. Ova vrednost daje kolektorsku struju u zasićenju od:

$$I_C = \frac{2.7 \text{ V}}{220 \Omega} = 12.3 \text{ mA}.$$

Sada treba izračunati vrednost otpornosti otpornika R_1 tako da se pri graničnom nivou osvetljenosti dobije bazna struja koja će dati ovu kolektorsku struju, tj. treba da je $I_B = I_C / \beta = 123 \mu\text{A}$. Ako se izabere da je otpornost fotootpornika pri graničnom nivou

osvetljenosti $4 \text{ k}\Omega$ i pretpostavi se da je napon V_{BE} kada tranzistor vodi 0.7 V , iz ulaznog kola tranzistora se dobija:

$$\frac{V_{BE} - V_{CC}}{R_1} + \frac{V_B}{R_f} + I_B = 0,$$

odakle sledi

$$R_1 = \frac{R_f (V_{CC} - V_{BE})}{V_{BE} - I_B R_f} = 14.3 \text{ k}\Omega \approx 15 \text{ k}\Omega.$$

Šemu sa slike realizovati na protopločici. Uveriti se da do uključivanja fotodiode dolazi pri smanjenom intenzitetu svetlosti.

Vežba 4: **Snimanje strujno-naponske karakteristike fotodiode**

4.1 Cilj vežbe

Snimiti strujno-naponske karakteristike fotodiode pri različitim osvetljenostima.

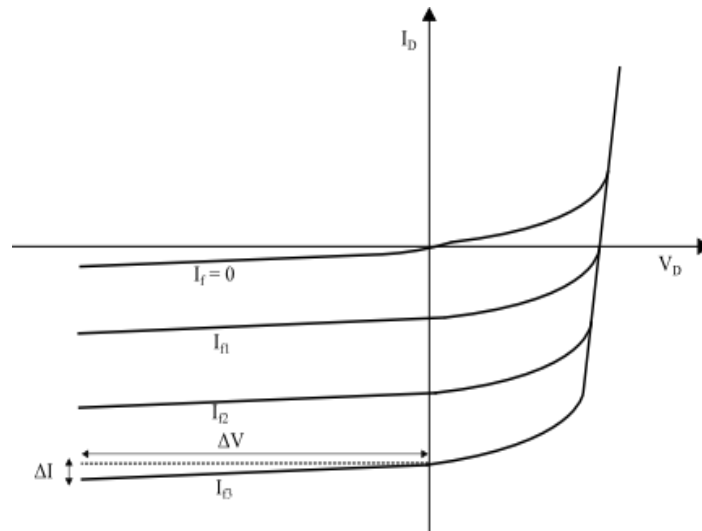
4.2 Teorijski uvod

Fotodiode konvertuju svetlosnu energiju u električnu i mogu se koristiti kao senzori ili kao generatori napona. Shodno tome, postoje dva režima rada fotodiode, režim fotodiode (senzorski) i režim solarne ćelije. Fotodiode se najčešće realizuju kao PIN diode kako bi se dobila što veća osiromašena oblast koja ima ulogu "kolektora" fotona. Naime, fotoni koji padaju na fotodiodu prodiru do osiromašene oblasti gde generišu višak slobodnih nosilaca, parova elektron-šupljina. Ovi nosioci se kreću pod dejstvom električnog polja u osiromašenoj oblasti obrazujući na taj način fotostruju. Treba primetiti da je smer tog kretanja takav da će rezultovati strujom suprotnom od normalnog smera struje kroz diodu. Dakle, dolazi do generisanja inverzne fotostruje.

Karakteristike fotodiode se prikazuju tako da se pozitivnom strujom smatra struja koja protiče u skladu sa direktnom strujom diode, odnosno struja koja utiče u anodu i ističe kroz katodu. Za napon na diodi se uzima napon između anode i katode, pa negativne vrednosti napona znače da je napon na katodi veći od napona na anodi, tj. da je dioda inverzno polarisana. Pri objašnjavanju dva režima rada diode pridržavamo se ovih konvencija.

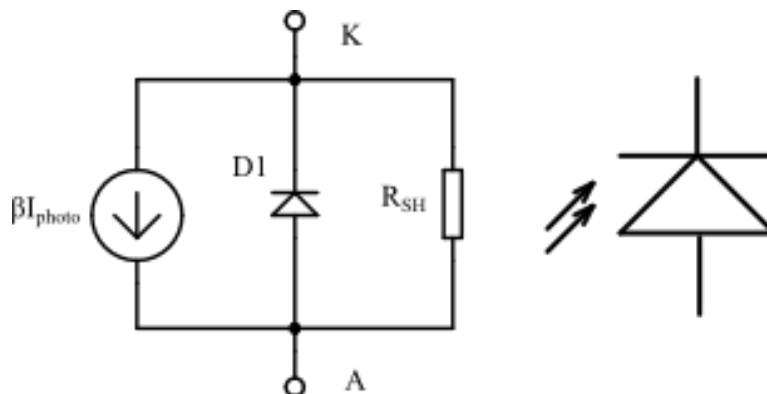
I. Režim fotodiode

U ovom režimu dioda je inverzno polarisana, i ukupnu struju diode čini fotostruja generisanih nosioca naelektrisanja i inverzna struja zasićenja fotodiode. Kako broj generisanih nosioca naelektrisanja praktično ne zavisi od vrednosti negativnog napona na diodi, u ovom režimu struja ne zavisi od napona i fotodiode se može modelovati izvorom konstantne struje, kontrolisanim intenzitetom upadne svetlosti i klasičnom diodom kroz koju u ovom režimu protiče inverzna struja zasićenja. Strujno-naponska karakteristika fotodiode prikazana je na slici.



Slika 1. Strujno-naponske karakteristike fotodiode

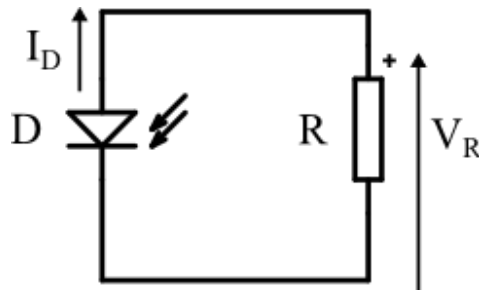
Sa grafika se vidi da sa porastom inverznog napona dolazi do blagog porasta struje. Ovo se može modelovati uvođenjem otpornika šanta u model diode, vezanog paralelno strujnom izvoru. Dodatna struja kroz diodu potiče od struje kroz ovaj otpornik i proporcijalna je naponu na diodi. Model fotodiode koji uključuje i ovaj otpornik prikazan je na narednoj slici.



Slika 2. Model fotodiode

II. Naponski režim (režim fotonaponske ćelije)

Kada se paralelno fotiodi di veže otpornik i fotiodi osvjetli, kroz nju će teći inverzna fotostruja i ona će se ponašati kao generator (slika 3). U ovom slučaju je struja kroz diodu i dalje negativna, ali napon na njoj je sada određen padom napona na otporniku koji potiče od fotostruje i biće pozitivan. Sa karakteristike fotodiode (slika 1) se vidi da sa porastom direktnog napona opada inverzna struja fotodiode sve dok jednog trenutka ne postane pozitivna. Ovo se može objasniti pomoću modela diode sa slike 2. Sa porastom direktne polarizacije počinje da vodi dioda D1, a kako je njena direktna struja suprotnog smera od fotostruje, doći će do umanjenja ukupne inverzne struje fotodiode.



Slika 3. Fotodioda u naponskom režimu.

4.3 Metod merenja

Snimanje karakteristika fotodiode u oba režima se najefikasnije i najpreciznije vrši pomoću instrumenta koji se zove „Source-Measure unit”, što se može prevesti kao izvor-merač. To su izvori konstantnog napona ili struje, koji mogu precizno da mere struju koju vuče priključeni potrošač kada rade kao izvori konstantnog napona, odnosno napon na potrošaču kada rade kao izvori konstantne struje. Pored toga, oni poseduju mogućnost ograničavanja vrednosti struje (režim konstantnog napona) ili napona (režim konstantne struje), što omogućava merenje bez upotrebe dodatnog otpornika za zaštitu koji unosi termički šum čime se umanjuje tačnost merenja.

Za snimanje karakteristike fotodiode koristi se SMU Keithley 2400, sa koga se konstantan napon direktno dovodi na fotodiodu sa ograničavanjem struje (compliance) na 1 mA, pri čemu će instrument meriti struju kroz diodu. Radi lakšeg rukovanja instrumentom on je pomoću GPIB i GPIBtoUSB interfejsa povezan na računar, sa koga se pomoću softvera podešava napon na diodi i čita izmerena vrednost struje. Ograničenje struje je unapred softverski podešeno na vrednost od 1 mA. Karakteristika fotodiode se snima za nekoliko različitih vrednosti osvetljenosti. Osvetljenost se podešava promenom intenziteta svetlosti sijalice podešavanjem izvora napajanja, a vrednost osvetljenosti se meri luksmetrom.

Postupak izrade vežbe dat je u sledećim koracima.

1. Snimiti karakteristiku fotodiode pri osvetljenosti od 500 lx.
 - i) Diodu namontiranu na protopločicu staviti na optičku klupu i povezati sa instrumentom.
 - ii) Snimiti karakteristiku fotodiode u režimu fotodiode povećavanjem negativne vrednosti napona od 0 V do -10 V sa koracima od 0.5 V.
 - iii) Snimiti karakteristiku fotodiode u režimu solarne ćelije povećavanjem pozitivne vrednosti napona počev od 0 V sa koracima od 50 mV sve dok struja fotodiode ne postane pozitivna.
2. Snimiti karakteristiku fotodiode za vrednosti osvetljenosti od 1000 i 1500 lx ponavljanjem celokupnog navedenog postupka.

4.4 Rezultati merenja

Nacrtati strujno-naponske karakteristike fotodiode u oba režima rada za različite vrednosti osvetljenosti.

Nacrtati strujno-naponske karakteristike fotodiode u naponskom režimu prateći konvenciju pozitivne struje u smeru suprotnom smeru direktne struje diode.

500 lx		1000 lx		1500 lx	
V [V]	I [μ A]	V [V]	I [μ A]	V [V]	I [μ A]
0		0		0	
-1		-1		-1	
-2		-2		-2	
-3		-3		-3	
-4		-4		-4	
-5		-5		-5	

V [mV]	I [μ A]	V [mV]	I [μ A]	V [mV]	I [μ A]
50		50		50	
100		100		100	
150		150		150	
200		200		200	
250		250		250	
300		300		300	
350		350		350	
400		400		400	
450		450		450	
500		500		500	

Vežba 5: **Određivanje kontinualnog spektra fotoluminescentne diode**

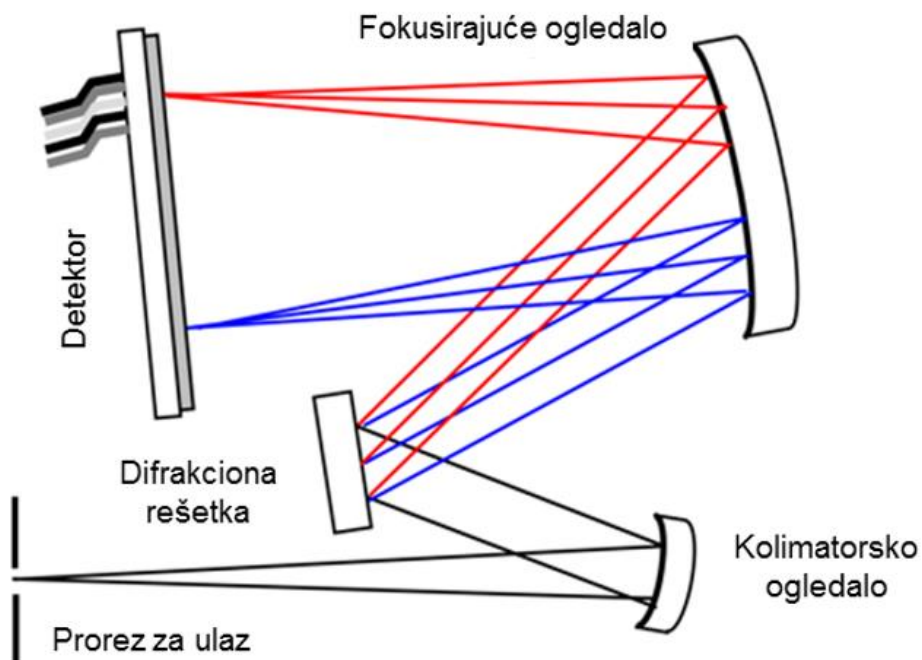
5.1 Cilj vežbe

Snimiti spektar emitovane svetlosti različitih LE dioda.

5.2 Opis aparature

Za određivanje talasnih dužina zračenja LE dioda koristi se spektrometar kompanije Avantes AvaSpec-2048.

Spektrometar ima priključno mesto za optički kabl, detektorski uređaj od 2048 piksela, kolimatorsko i fokusirajuće ogledalo i difrakcionu rešetku što se može videti na slici.



Uređaj se povezuje preko USB kabla, a kontroliše putem softverskog paketa AvaSoft 7.4, preko koga se takođe analiziraju podaci. Svetlost do spektrometra dopire preko optičkog kabla FC-xx800-2, koji se priključuje na konektor. Radi veće preciznosti i mogućnosti što tačnijeg merenja apsolutnog intenziteta svetlosti, optički kabl i spektrometar su zajedno kalibrisani u kompaniji Avantes.

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.

Za radni opseg i rezoluciju talasnih dužina najbitnije su dve karakteristike: tip difrakcione rešetke i veličina proreza koji se ugrađuje na ulazu u spektrometar. Difrakciona rešetka ugrađena u ovaj spektrometar ima 600 linija/mm, čime je moguće razdvajanje linija u opsegu

od 200 - 1100 nm, s tim što najveću efikasnost, od oko 75%, poseduje za talasne dužine u opsegu 300 - 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.

U našem slučaju, širina proreza je 10 μm , što u kombinaciji sa difrakcionom rešetkom daje minimalnu rezoluciju između dve bliske linije 0.27 nm. Pored pomenutih, kao bitnu karakteristiku treba istaći i činjenicu da je procenat izgubljene svetlosti ispod 0.1 %, a da je opseg integracionog vremena 10 μs – 10 min, gde integraciono vreme predstavlja interval za koji spektrometar registruje fotone posmatranog spektra.

5.3 Metod merenja

Na protopločici postaviti otpornik i LE diodu i povezati napajanje. Treba snimiti spektar emitovane svetlosti zelene, crvene i žute LE diode.

Na računaru startovati softverski paket Avaspec. U prozoru pored naziva Integration time ukucati 1000 i pritisnuti Enter. U prozoru pored naziva Average ukucati 10 i pritisnuti Enter. Integration time određuje koliko vremena spektrometar prikuplja svetlost. Broj u prozoru Average određuje broj merenja posle kojih se uzima srednja vrednost. Pritiskom na dugme Start počinje snimanje spektra. Posle nekoliko sekundi pojavljuju se rezultati merenja na grafiku. Pritiskom na Save dark (crni kvadrat), a zatim Setup/Subtract Saved Dark snima se pozadinski spektar, dok LE dioda ne svetli, i oduzima se od budućih merenja. Sledeći korak predstavlja snimanje spektra LE diode dok ona svetli i to se postiže pritiskom na File/Save/Experiment. Dobijene rezultate u obliku grafika potrebno je konvertovati u excel tabelu (File/Convert Graph/To Excel). Sačuvati fajl i u komentaru napisati o kojoj diodi se radi. Isti postupak sprovesti za sve tri diode. Na osnovu vrednosti iz tabela potrebno je nacrtati spektre svih korišćenih dioda na istom grafiku.