



Експериментални задаци (20 поена): Одређивање ефикасности диоде која емитује светлост

Диоде које емитују светлост (LED—*Light Emitting Diode*) су полупроводнички извори светлости. Поред тога што се већ деценијама користе као светлосни индикатори, LED се последњих година све више користе и као замена за класичне сијалице, с обзиром да имају већу ефикасност.

Циљ овог експеримента је одређивање ефикасности црвене LED. Као детектор светлости користимо фотодиоду (*photodiode*—PD). Када се фотодиода у електричном колу осветли, кроз њу протиче струја која је пропорционална интензитету светлости (интензитет светлости представља енергију светлости која у јединици времена пада на јединичну површину, а јединица је W/m^2).

Експеримент се састоји из три дела: 1) Доказивање да је јачина струје која протиче кроз PD сразмерна интензитету светлости која на њу пада. 2) Налажење јачине струје кроз LED при којој је њена ефикасност максимална. 3) Одређивање ефикасности LED, тј. односа снаге укупног емитованог зрачења и снаге електричне струје утрошене за побуду LED.

Диода која емитује светлост. Као и код већине полупроводничких компоненти, рад LED се заснива на особинама р-п споја. При протикању електричне струје кроз LED, део електрона унутар р-п споја се рекомбинује са шупљинама, при чему се енергија ослобођена у тој рекомбинацији емитује у облику фотона енергије:

$$E_p = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

где су: c - брзина светлости

h - Планкова константа

λ - Таласна дужина емитоване светлости

ν - Фреквенца емитоване светлости

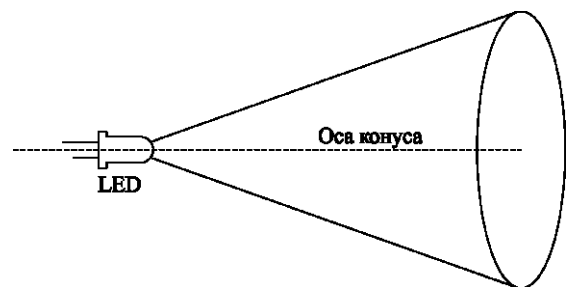
LED емитује светлост у виду радијално симетричног конуса (види слику), при чему интензитет светлости опада са квадратом растојања од LED.

Ефикасност η LED се дефинише као:

$$\eta = \frac{\Phi}{P_{LED}}$$

где је Φ укупна снага светлости коју LED излучује а $P_{LED} = I_{LED}V_{LED}$ представља електричну снагу на LED (I_{LED} и V_{LED} су јачина струје и напон на LED). За сваку LED постоји нека вредност струје I_{LED} при којој је ефикасност η максимална.

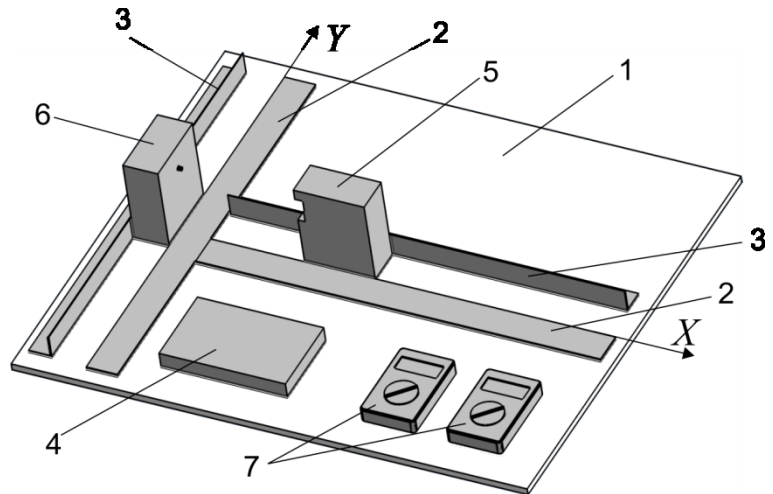
Фотодиода. Фотодиода претвара светлосну енергију у електричну енергију те се може користити за мерење интензитета светлости. Када светлост пада на фотоосетљиви део фотодиоде, један део упадних фотона ослобађа електроне у полупроводнику, што се манифестује као струја кроз фотодиоду. Јачина струје која се јавља у фотодиоди сразмерна је интензитету упадне светлости. Однос броја створених слободних електрона у јединици времена (N_e) и броја упадних фотона у јединици времена (N_p) представља квантну ефикасност q фотодиоде и дата је са $q = \frac{N_e}{N_p}$.



Апаратура

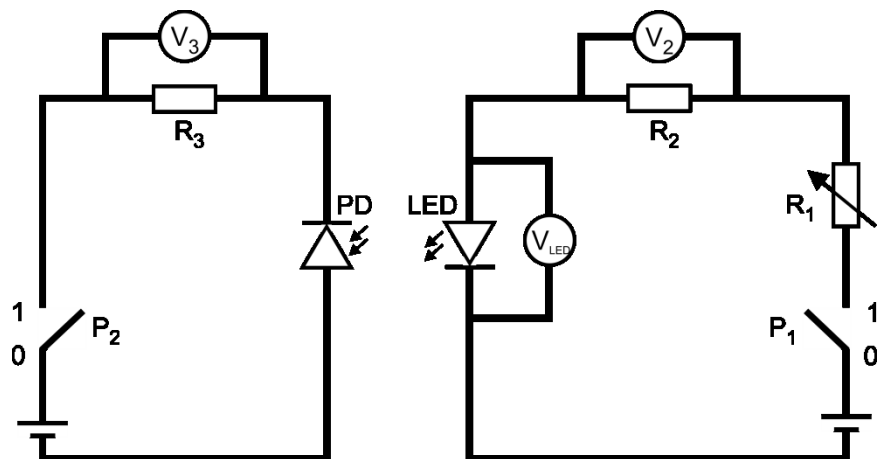
Апаратура за експеримент садржи:

1. дрвено постоље на коме су постављени остали елементи,
2. лењире,
3. вођице,
4. кутију са електричним колом,
5. пластичну кутију са монтираном LED и каблом за прикључивање на електрично коло,
6. пластичну кутију са монтираном фотодиодом и каблом за прикључивање на електрично коло,
7. два инструмента који омогућавају мерење напона, са кабловима и одговарајућим конекторима. Да би се инструмент користио за мерење напона, потребно је преклопник поставити у положај који је означен са DCV или $V_{\text{---}}$, у зависности од инструмента (уколико инструмент који сте добили нема ниједну од тих ознака позовите члана комисије).



Слика 1. Шематски приказ апаратуре.

На дрвеном постољу постављене су вођице тако да пластичне кутије могу да клизе по постољу у простору између вођица и лењира, дуж X и Y правца. Кутију са монтираном LED поставити на вођицу дуж X правца, а кутију са фотодиодом на вођицу дуж Y правца (види слику 1). На кутији са фотодиодом се налази налепница са цртом која означава положај центра фотодиоде. Све елементе повезати као на шеми приказаној на слици 2.



Слика 2. Шема електричног кола.

Конектори на кабловима за LED и фотодиоду су асиметрични и могу се прикључити само у адекватној оријентацији. Кутије са LED и фотодиодом се по потреби могу причврстити у неком положају помоћу лептирасте навртке и подлошке које се налазе на полеђини кутија.



Експеримент

МЕРА ОПРЕЗА: НЕ ГЛЕДАТИ ДИРЕКТНО У LED КАДА ЈЕ УКЉУЧЕНА.

НАПОМЕНЕ:

- (1) Као реперну тачку за мерење положаја кутије са LED користити предњу страницу кутије, тј. страницу са отвором за LED.
- (2) Пре почетка мерења поставити кутије тако да се фотодиода нађе хоризонтално (дуж Y-осе) у центру светлосног снопа емитованог од стране LED. Поставите кутију са LED у положај $x = 0$ cm на лежиру. Коришћењем променљивог отпорника R_1 струју кроз LED поставити на вредност при којој је напон V_2 око 1,5 V. Лагано померајте кутију са фотодиодом и посматрајте промену струје кроз фотодиоду. Положај фотодиоде у коме је струја кроз њу максимална је истовремено и положај у коме је фотодиода у центру снопа.
- (3) При сваком мерењу интензитета светлости коју емитује LED користећи фотодиоду, потребно је извршити корекцију услед доприноса амбијенталног осветљења. Струју амбијенталног осветљења снимати при искљученој LED.
- (4) У овом задатку не захтева се да процењујете грешке тражених величина.

Задатак 1. Линеарност фотодиоде (5 поена)

- 1.1 Измерити зависност струје кроз фотодиоду од положаја LED (при чему треба извршити корекцију за допринос амбијенталног осветљења тој струји). Притом фотодиоду треба поставити тако да се нађе у центру светлосног снопа који емитује LED и њен положај не треба мењати. Положај LED мењати померањем кутије са LED дуж X-осе, и као променљиву мерити растојање од нултог подеока на лежиру до предње странице кутије. Струју кроз фотодиоду (I_{PD}) одређивати мерењем напона на отпорнику R_3 . Коришћењем променљивог отпорника R_1 , струју кроз LED поставити на вредност при којој је напон V_2 око 3 V. Измерити најмање 10 тачака. Резултате мерења приказати табеларно. **(2 поена)**
- 1.2 Користећи мерења урађена у делу 1.1 извршити линеаризацију добијене зависности и цртањем одговарајућег графика показати да је струја кроз фотодиоду сразмерна интензитету светлости која пада на њу. **(3 поена)**

Задатак 2. Максимална ефикасност LED (5 поена)

- 2.1 Измерити зависност струје кроз фотодиоду (при чему треба извршити корекцију на допринос амбијенталног осветљења тој струји) од струје кроз LED. Мерења вршити при фиксираном положају LED од $x = 0$ cm на лежиру. Положај фотодиоде не мењати. Струју кроз фотодиоду (I_{PD}) одређивати мерењем напона на отпорнику R_3 . Струју кроз LED одређивати мерењем напона на отпорнику R_2 . Напон на LED мерити директно. Напон на отпорнику R_2 и напон на LED мерити наизменично користећи један уређај за мерење напона. Промену јачине струје кроз LED вршити променљивим отпорником R_1 . Измерити најмање 20 тачака у интервалу напона од 0-2 V на отпорнику R_2 и најмање 5 тачака у интервалу напона од 2-6 V на отпорнику R_2 . Резултате мерења приказати табеларно. **(3 поена)**
- 2.2 Нацртати одговарајући график и са њега очитати струју кроз LED при којој је ефикасност η LED максимална. Тражену струју је довољно одредити са прецизношћу ± 2 mA. **(2 поена)**



Задатак 3. Ефикасност LED при датој струји (10 поена)

- 3.1 Измерити зависност струје кроз фотодиоду (при чему треба извршити корекцију на допринос амбијенталног осветљења тој струји) од у-координате њеног положаја, при струји кроз LED од 5 mA. Притом је довољно вршити мерења само за једну страну у односу на центар светлосног снопа LED. Сва мерења вршити при фиксираном положају LED од $x = 0$ cm на лењиру, а фотодиоду померати. Имати у виду да је фотоосетљиви део фотодиоде квадратног облика странице $a = 1$ mm. Струју кроз фотодиоду (I_{PD}) одређивати мерењем напона на отпорнику R_3 . Резултате мерења приказати табеларно и графички. **(3 поена)**
- 3.2 На основу мерења извршених у делу 3.1. (и коришћењем одговарајућих математичких релација и/или графика) одредити ефикасност η LED при струји од 5 mA. **(7 поена)**

Бројне вредности које можете користити у свим деловима задатка:

Квантна ефикасност фотодиоде $q = 0,73$.

Фотоосетљиви део фотодиоде је облика квадрата странице $a = 1$ mm.

Таласна дужина светлости коју емитује LED $\lambda = 620$ nm.

Планкова константа $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js.

Наелектрисање електрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Брзина светлости у вакууму $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s.

R_1 подесив (логаритамски у опсегу до 100 k Ω).

$R_2 = 300 \Omega$.

$R_3 = 100$ k Ω .

Аутори задатка:

др Ненад Лазаревић и мр Новица Пауновић, Институт за физику, Београд

Рецензенти:

др Ненад Вукмировић, Јакша Вучичевић, др Дарко Танасковић и др Александар Крмпот,
Институт за физику, Београд

Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа:

др Александар Крмпот, Институт за физику, Београд