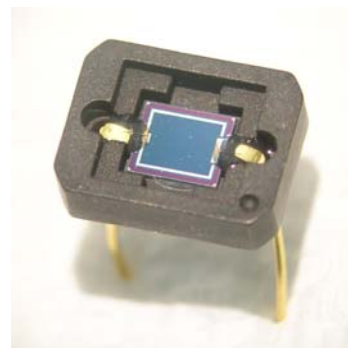


Delavnica SSS

Svetloba – elektronski detektorji in svetila

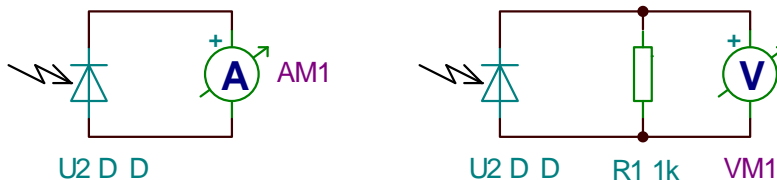
Senzorji, ki jih uporabljamo za detekcijo svetlobe pri šolskih poskusih, so navadno polprevodniškega tipa. Uporabljamo fotodiode (<http://en.wikipedia.org/wiki/Photodiode>) in fotoupore (<http://en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor>).

Fotodioda je sestavljena iz dveh plasti polprevodnika z različnimi tipi nečistoč. V tanki plasti med obema tipoma polprevodnika se prosti nosilci rekombinirajo, posledica pa je električno polje v tej plasti, ki ji pravimo tudi intrinzična plast. Foton, ki zadene intrinzično plast spoja PN v fotodiodi, sprosti nosilce naboja. Te nosilce omenjeno električno polje potegne v ustreznih tip polprevodnika, kjer so na razpolago za prevajanje.



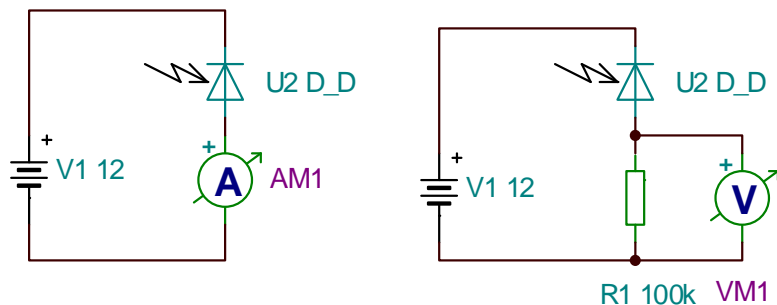
Fotodiodo uporabljamo v dveh načinih delovanja.

- Če fotodiodo kratko sklenemo, v posameznem tipu polprevodnika zbrani prosti nosilci povzročijo tok skozi kratkostični spoj. Kratkostični tok je sorazmeren številu prostih nosilcev, ta pa svetlobnemu toku, ki pada na diodo. Z merjenem toku skozi kratko sklenjeno fotodiodo torej merimo svetlobni tok. Tak način delovanja je v angleških besedilih označen z »photovoltaic mode«. Elektronska shema je na sliki spodaj.



Na levi shemi je uporabljen merilnik toka, na desni je le-ta zamenjan z merilnikom napetosti in vzporedno vezanim upornikom R1. Upornik R1 moramo izbrati tako, da padec napetosti na njem ni znaten v primerjavi s padcem napetosti na diodi (0,7V). Pri upornosti $1k\Omega$ bomo zato lahko merili kratkostične tokove do $100\mu A$; ti povzročijo padec napetosti do 100mV na uporniku R1, kar je dovolj malo.

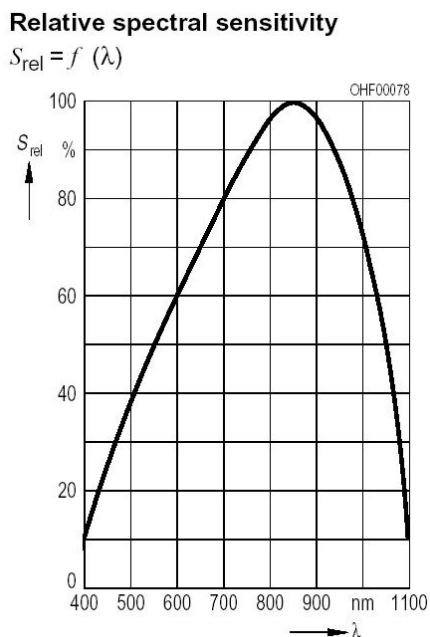
- Na fotodiodo lahko pritismo napetost v zaporni smeri. Zaradi pritisnjene napetosti tok ne teče, poveča pa se širina intrinzične plasti med obema tipoma polprevodnika. Foton, ki zadene to plast, sprosti naboje, ti pa povzročijo prevajanje fotodiode. Tok skozi fotodiodo, na katero je pritisnjena zaporna napetost, je zato sorazmeren svetlobnemu toku skozi diodo. Tak način delovanja je v angleških besedilih označen z »photoconductive mode«. Ker v tem načinu delovanja proste nosilce naboja v intrinzični plasti pomaga pobirati večje električno polje, je delovanja diode hitrejše.



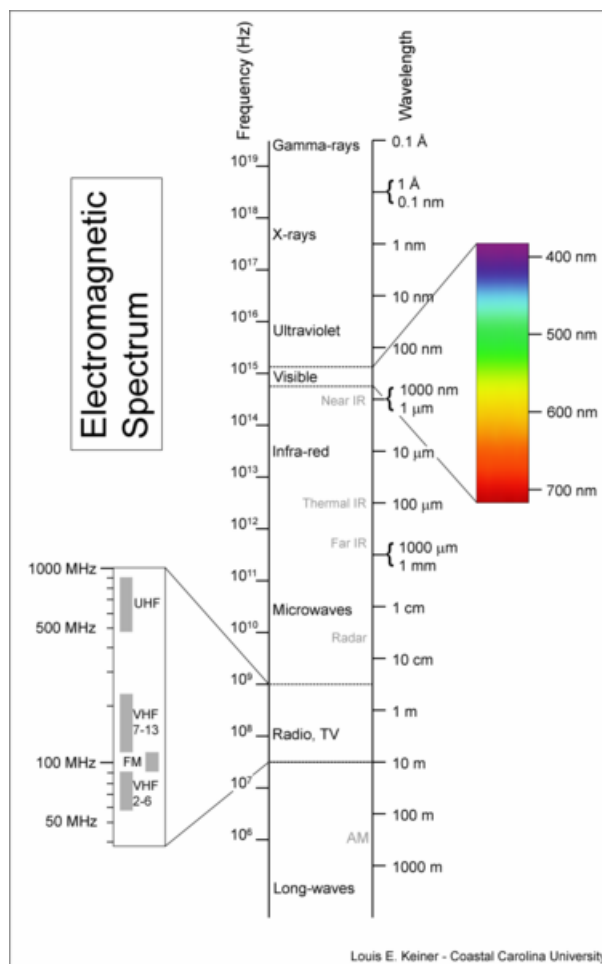
Na levi shemi merimo tok skozi diodo z merilnikom toka, na desni shemi merimo tok preko padca napetosti na uporniku R1. Pri tem načinu merjenja lahko izberemo R1, ki je mnogo večji od vrednosti, ki smo jo morali omejiti pri merjenju po prvem načinu. Paziti je treba le, da ostane padec napetosti na uporniku R1 manjši od napajalne napetosti V1. Za dane vrednosti bi torej lahko merili tokove do največ 100uA, pri tem bi bil padec napetosti na R1 do 10V.

Desni shemi lahko uporabimo tudi takrat, ko želimo meriti z osciloskopom ali računalniškim vmesnikom, saj oba merilnika merita padec napetosti, toka pa direktno ne znata meriti.

Človeško oko zaznava nekatere valovne dolžine svetlobe bolje, druge slabše. Na desni je podan spekter elektromagnetnega valovanja. Podobno tudi fotodiode niso enako občutljive za različne valovne dolžine svetlobe. Spektralna občutljivost tipične fotodiode (BPW34S) je na sliki spodaj

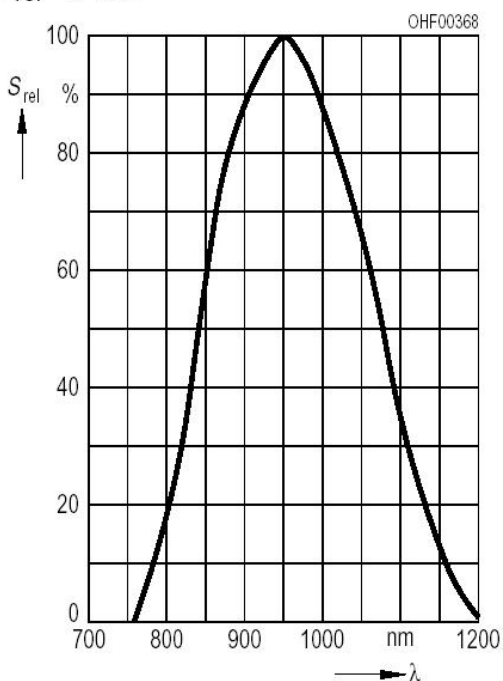


BPW34S



Relative spectral sensitivity

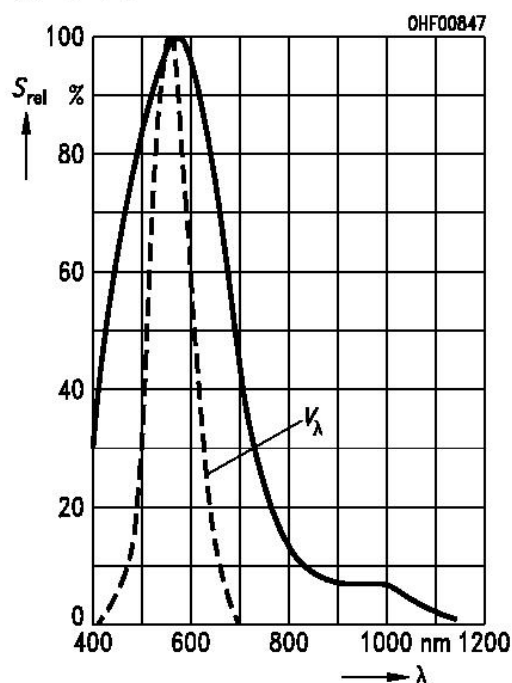
$$S_{rel} = f(\lambda)$$



BPW34FS

Relative spectral sensitivity

$$S_{rel} = f(\lambda)$$



BPW21

Tipična fotodiode je torej najbolj občutljiva pri valovnih dolžinah infrardeče svetlobe 850nm, pri vidni svetlobi (400nm do 700nm) pa bistveno manj. Nekatere fotodiode so opremljene s filtri, ki prepuščajo svetlobo samo določene valovne dolžine, tipični predstavniki so infrardeče diode, ki so zaprte v neprozorno plastiko. Spektralna občutljivost tipičnega predstavnika BPW34FS je na sliki zgoraj levo.

Včasih želimo s fotodiode meriti svetlobo tako, kot jo zaznava naše oko. Takrat izberemo fotodiode, ki imajo vgrajen takoimenovani »fotopični« filter. Ta modificira spektralno občutljivost diode tako, da je podobna občutljivosti človekovega očesa. Spektralna občutljivost tipičnega predstavnika BPW21 je na sliki zgoraj desno. Črtkana krivulja predstavlja spektralno občutljivost človeškega očesa, polna črta pa diode.

Omenjene fotodiode so le malo občutljive za modro ali vijolično svetlobo. Obstajajo pa fotodiode, ki so posebej prirejene za detekcijo svetlobe do ultravijolične, taka je na primer SFH281.

V kompletu senzorjev Vernier sta na razpolago dve fotodiode. Enostavna, ki je zaprta v sivo cev, je po svoji spektralni občutljivosti podobna navadni fotodiode za vidno svetlobo (BPW34S). Senzor, ki je umerjen v luxih, pa vsebuje fotodiode s fotopičnim filtrom, kakršna je na primer BPW21.

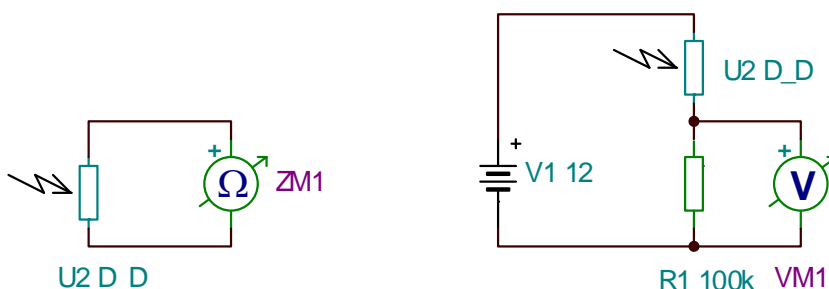
Fototranzistorji so v osnovi fotodiode, ki jim je v istem ohišju dodan tranzistor tako, da ta ojačuje tok fotodiode. Tak element je sicer bolj občutljiv za svetlobo, zaradi vgrajenega

ojačevalnika pa je počasnejši (če hipoma spremenimo jakost svetlobnega toka, ki pada na detektor, bo fototranzistor reagiral počasneje od fotodiode) in deluje samo v konfiguraciji b).

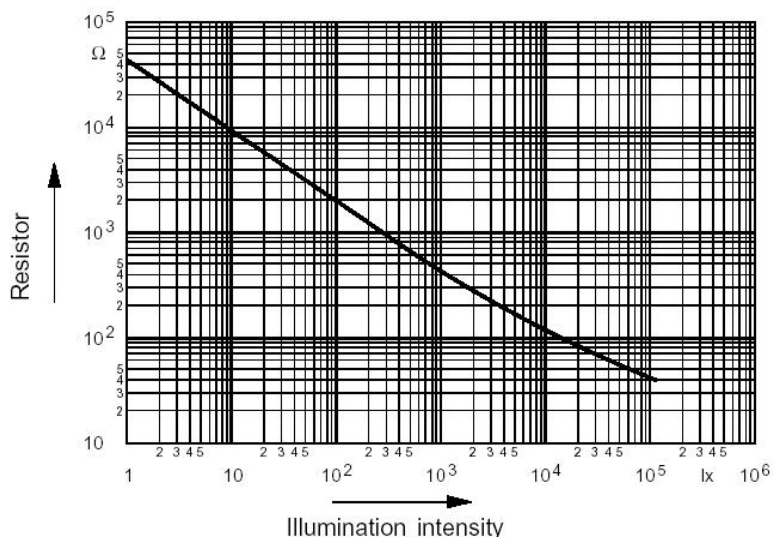
Fotoupornik je narejen na osnovi kadmijevega sulfida, polprevodniškega materiala z veliko upornostjo. Ko svetloba zadane površino materiala, tvori proste nosilce naboja, ki prispevajo k prevajanju (<http://en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor>).



Pri teh elementih je upornost odvisna od jakosti svetlobnega toka, ki ga zaznavajo. Za merjenje torej lahko uporabimo merilnik upornosti, slika levo spodaj. Kadar želimo meriti z osciloskopom ali vmesnikom, lahko uporabimo vezje na sliki spodaj desno.



Odziv fotoupora na svetlobo ni linearen. Tipična odvisnost upornosti od osvetljenosti je na sliki desno. Pri fotouporu je zanimiva njegova spektralna občutljivost, ki jo je mogoče s pravilno izbiro materiala potegniti daleč v infrardeče območje. Zato so fotoupore uporabljali tudi za toplotno sledenje izstrelkom.



Šibke vire svetlobe detektiramo s fotopomnoževalkami in plazovitimi diodami (<http://en.wikipedia.org/wiki/Photomultiplier>) (http://en.wikipedia.org/wiki/Avalanche_photodiode)

Preverimo:

1. Ali jakost svetlobnega toka res upada s kvadratom razdalje od svetila?

Svetila

Klasično električno svetilo – žarnica, oddaja svetlobo zaradi tega, ker je kovinska nitka segreta do te mere, da oddaja svetlobo. Pri tem se le del energije, ki ogreva kovinsko nitko, spremeni v svetlobo.

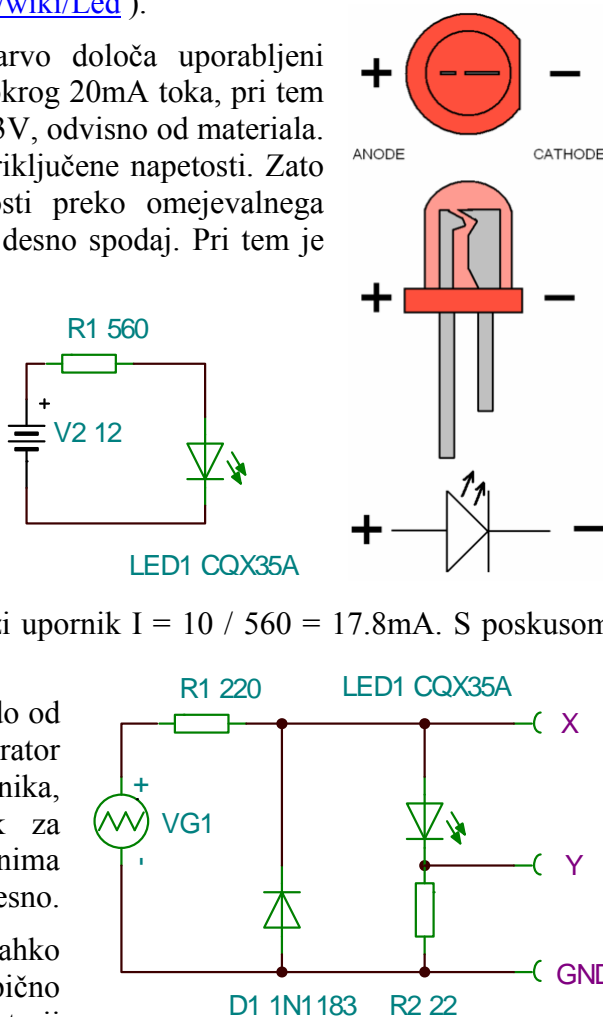
Polprevodniška tehnologija je dosegla stopnjo, ko je mogoče izdelovati polprevodniška svetila; LE diode že nameščajo v avtomobilske žaromete, uporabljamo jih za osvetljevanje stanovanj. Pri tem lahko z izbiro polprevodnikov in primesi dosežemo poljubno barvo iz vidnega spektra, na razpolago pa so tudi že diode za infrardečo in ultravijolično svetlobo. S pomočjo ultravijolične svetlobe in konverzijskih premazov je mogoče izdelati svetila, ki oddajajo belo svetlobo (<http://en.wikipedia.org/wiki/Led>).

Le dioda oddaja enobarvno svetlobo. Barvo določa uporabljeni material. Tipični LED potrebuje za delovanje okrog 20mA toka, pri tem je padec napetosti na njem od 1.6V do nekako 3V, odvisno od materiala. Tok skozi diodo je eksponentno odvisen od priključene napetosti. Zato LE diodo vedno priključimo na vir napetosti preko omejevalnega upornika R1, ki določa tok skozi diodo, slika desno spodaj. Pri tem je potrebno nekaj približnega računanja, kadar toka ni treba natančno določiti ali pa reševanje nelinearnih enačb, kadar želimo tok natančno določiti. Gre seveda tudi tako, da upornik R1 zamenjamo z merilnikom toka in trimerjem, kateremu je upornost mogoče spreminjati.

Če za shemo desno privzamemo, da je padec napetosti na LED dva volta, ostane na uporniku $12V - 2V = 10V$, kar da tok skozi upornik $I = 10 / 560 = 17.8mA$. S poskusom lahko preverimo točnost ocene.

Če želimo izmeriti odvisnost toka skozi diodo od napetosti na diodi, potrebujemo le šolski generator trikotne napetosti majhne frekvence, dva upornika, LE diodo in na primer Vernier vmesnik za računalnik, ki je opremljen z dvema napetostnima sondama. Shema vezja za merjenje je na sliki desno.

Upornik R1 omejuje maksimalni tok, ki lahko teče skozi LE diodo na $VG1_{max} / 220$, kar tipično znaša $12 / 220 = 54mA$. Ker so šolski generatorji prirejeni za bremena 50Ω , jih s takim tokom lahko obremenimo. Na sponki Y lahko odčitamo padec napetosti na uporniku R2, ki je posledica toka skozi LE diodo. Vrednost R2 je majhna zato, da je padec napetosti na uporniku zanemarljiv s padcem napetosti na uporniku R1, ki določa tok skozi diodo. Dioda D1 je dodana v vezje zato, ker LE diode ne prenesajo reverznih napetosti nad 5V, dioda D1 pa jih omeji na 0,7V. Generator naj daje napetost trikotne oblike in maksimalne amplitude (verjetno nekako 12V). Frekvenca signala naj bo majhna, morda 100Hz.



Na Vernier vmesnik priključimo oba signala X in Y ter poženemo periodično zajemanje, ki naj pokrije nekaj period vzbujačnega signala. Vzorčenje naj bo dovolj gosto.

Iz zajetih vzorcev lahko narišemo odvisnost toka skozi LE diodo od napetosti na njej, vendar je treba prej še malo računati. Tom skozi diodo izračunamo v novem stolpcu kot kvocient odčitkov Y in upornosti $R_2 = 22\Omega$. Napetost na LE diodi izračunamo v novem stolpcu kot razliko odčitkov $X - Y$. Preostane še risanje diagrama odvisnosti toka od napetosti.

Na enak način lahko določimo katerokoli karakteristiko elektronske komponente, le vrednosti upornikov bo morda treba prilagoditi velikosti opazovanih vrednosti.

Če želimo narediti enakovreden diagram še za žarnico, potrebujemo ojačevalnik trikotnega signala. Generator namreč ne more dati toka, ki je potreben za žarenje žarilne nitke v žarnici. Poleg tega je treba še zmanjšati frekvenco trikotne napetosti, saj žarilna nitka ne more slediti hitrim spremembam pogonskega toka.

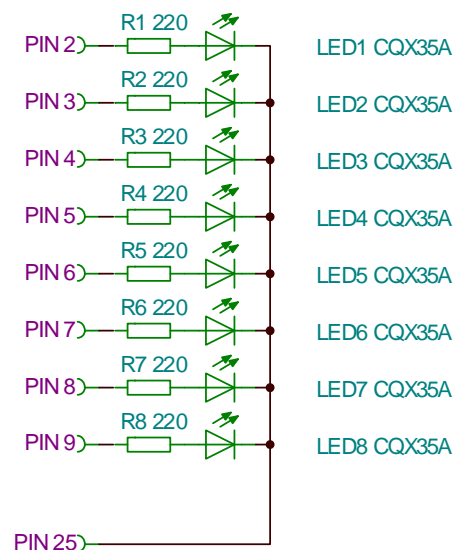
Zanimivo je preveriti, kako se jakost svetlobnega toka spreminja v odvisnosti od toka skozi LE diodo ali moči na njej. V ta namen lahko uporabimo eno od zgoraj omenjenih vezij, ki ga priključimo na tretji napetostni vhod merilnika Vernier. Lahko pa tudi uporabimo enega od svetlobnih senzorjev iz zbirke Vernier. Z nekaj računanja se da narisati diagram, ki kaže željene odvisnosti.

Enak poskus opravimo še za žarnico in pridemo do zanimivih ugotovitev.

LE dioda hitro reagira na spremembo toka skozi njo. To trditev lahko preverimo tako, da diodo priključimo preko upornika na vir pravokotne napetosti in opazujemo prižiganje in ugašanje. Bolje bo šlo, če z diodo mahamo. Videti bo kratko črtico takrat, ko LE dioda sveti in temo preostali čas. Tudi z našimi počasnimi očmi lahko detektiramo hitre pojave. Pojav je lažje opazovati v temi.

Efekt, ki ga naše oči zaznajo ob premikanju utripajoče LE diode lahko izkoristimo za predstavo. Priključimo osem LE diod na vir osmih različnih pravokotnih napetosti ter z osmerčkom LE diod pomahajmo. Videli bomo vzorec, ki je odvisen od zaporedja pravokotnih napetosti na LE diodah. To zaporedje lahko definira na primer računalnik. Potem je treba le še napisati ustrezen program in že bo mogoče z mahanjem osmerčka LE diod pričarati različne svetlobne napise... Shema priključitev osmih LE diod na printerski konektor (LPT1) osebnega računalnika je na sliki desno, program pa lahko dobite pri meni.

Preverimo lahko tudi trditev, da oko vidi povprečno vrednost svetlobnega toka...



Dušan Ponikvar

FMF, januar 2007