

## 1.7 OPTOELEKTRONSKE KOMPONENTE

### Splošno

Foto-električni efekt je pojav, pri katerem svetloba vpliva ali spremeni fizikalne oz. kemične lastnosti neke snovi. V kolikor je komponenta taka, da je vpliv svetlobe reverzibilen ter se odraža na električnih lastnostih, potem se imenuje foto-električni pretvornik. Fizikalno to pomeni, da vpadli fotoni svetlobe v osvetljeni snovi izbijajo nosilce elektrine in posledično spremenijo električno prevodnost. Ločimo fotoefekt kjer nosilci izstopajo iz snovi (npr. cezijeva katoda vakuumске fotodiode) in fotoefekt pri polprevodniških materialih, kjer svetloba izbija nosilce toka v snovi (fotoupori) ali vpliva na zaporni tok PN spoja (fotodiode). Nosilci elektrine, nastali na podlagi svetlobe pomenijo nek naboj, ki povzroči po teoriji delovanja zaporne plasti električno polarizacijo. Zaradi tega bo osvetljeni PN spoj na svojih sponkah izkazoval električno napetost. V tem primeru postane fotodiode generator, ki požene električni tok preko upornosti bremena in ta učinek izkorišča fotoelement oz. solarna celica. Oba imata PN spoj v obliki velike površine, ki je izpostavljena svetlobi in ju največkrat izkoriščamo za pretvorbo sončne energije v električno.

### 1.7.1 LASTNOSTI FOTOELEKTRIČNIH PRETVORNIKOV

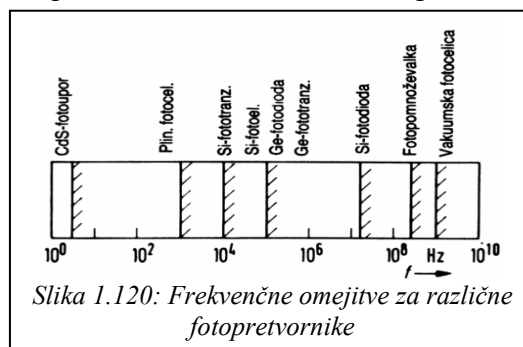
Poleg električnih parametrov (maksimalna napetost, maksimalni tok, maksimalna moč, temp. območje,...) moramo pri izbiri fotoelektričnih komponent upoštevati tudi s svetlobo povezane parametre.

Spektralna občutljivost podaja občutljivost glede na valovno dolžino svetlobe (nm) in je običajno podana z diagramom. Občutljivost je podana relativno, normalizirano glede na optimalno vrednost obravnavanega elementa.

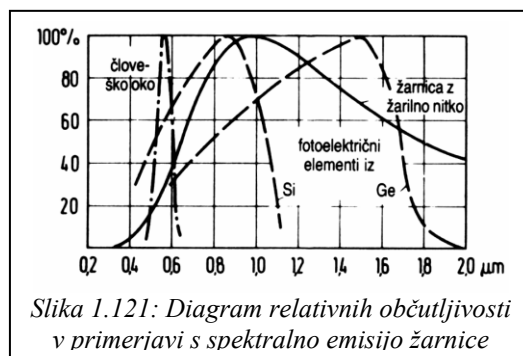
Frekvenčno področje ponazarja kako hitro električne spremembe še sledijo svetlobnim, kar je še posebej pomembno pri impulznem načinu delovanja v obliki digitalnega signala. Nekatere optoelektronske komponente so izrazito počasne (npr. CdS fotoupor) in so primerne le za počasne spremembe svetlobe (npr. avtomatsko prižiganje javne razsvetljave).

Občutljivost je seveda odvisna od aktivne površine (v  $\text{mm}^2$  oz.  $\text{cm}^2$  za solarne celice), s pomočjo katere z množenjem pretvarjamo vpadli svetlobni tok (lm) v osvetljenost (lx). Svetlobno okence je prozorno ali barvno kot filter, v obliki leče ali infrardečega filtra, ki je neprepusten za vidni spekter (npr. pri IR daljinskem upravljalniku).

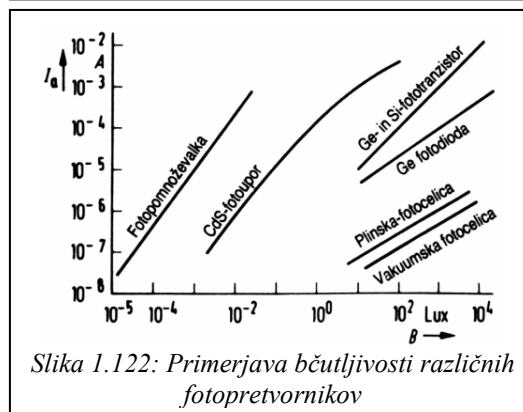
Področje uporabe je zelo obsežno od fotometričnih merilnikov, svetlobnih zapor in senzorjev do optičnih galvanskih ločitev in optičnega prenosa signalov (podatkov). S pomočjo kombiniranja foto občutljivih komponent z ostalimi so izdelani fototranzistorji, fototiristorji, optospojniki, fotoelektrični dajalniki impulzov ali pozicije, polprevodniški releji, optični senzorji (merilne letve, digitalna pomična merila, ..). Vakuumске in plinske fotodiode so izpodrinile polprevodniške izvedbe, vendar pa fotopomnoževalke še vedno veljajo za najobčutljujejše fotopretvornike.



Slika 1.120: Frekvenčne omejitve za različne fotopretvornike



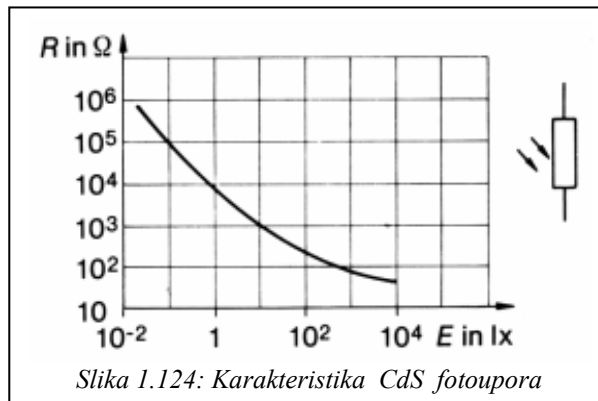
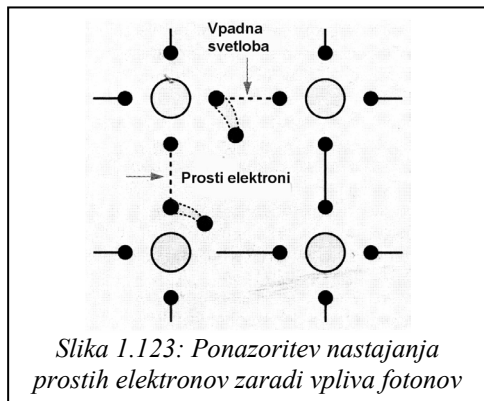
Slika 1.121: Diagram relativnih občutljivosti v primerjavi s spektralno emisijo žarnice



Slika 1.122: Primerjava občutljivosti različnih fotopretvornikov

### 1.7.2 FOTUOPOR

Za merjenje osvetljenosti, za krmiljenje osvetlitve in svetlobnih teles, so v uporabi fotoupori. Njihova značilnost je, da se jim pri osvetlitvi zniža upornost, ker fotoni izbijajo nove proste elektrone. Zaradi velike površine se upornost spreminja v velikem obsegu, vendar je karakteristika nelinearna.



### 1.7.3 FOTODIODA IN FOTOELEMENT

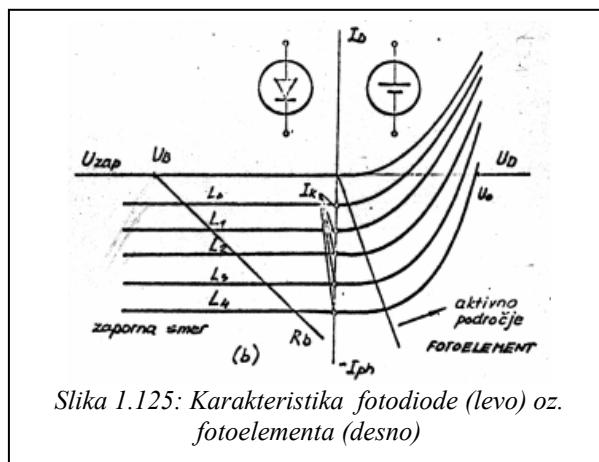
Fotodiodo predstavlja germanijev ali silicijev PN spoj, pri katerem je zaporna plast geometrično izoblikovana tako, da zavzame čim večjo površino. Tako je omogočeno, da čimveč svetlobe prodre do zaporne plasti kjer zaradi fotoefekta nastanejo nosilci elektrine. Tok v zaporni smeri postane odvisen od osvetljenosti. Velikost toka je odvisna od osvetljenosti, velikosti svetlobi izpostavljene zaporne plasti (aktivna površina) in tudi valovne dolžine svetlobe (vidni, infrardeči, UV spekter).

**Fotodioda** ima aktivno karakteristiko v zaporni smeri.

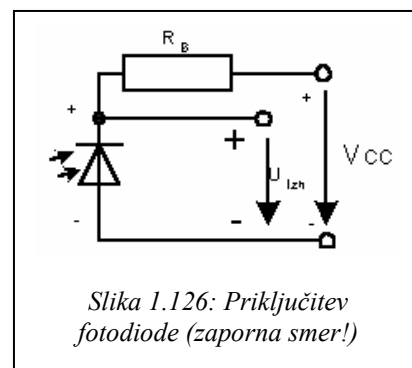
Običajno je delovni upor foto diode ohmski upor, ki je vezan od katode proti pozitivnemu potencialu.

Osvetljena foto dioda se v bistvu obnaša kot tokovni generator, ki povzroči na delovnem uporu sorazmeren padec napetost skoraj neodvisno od priključene napetosti. Napetost na fotodiodi je za padec napetosti  $U_{Rb}$  zmanjšana napajalna napetost.

Vendar pa lahko fotodiodo uporabljamo tudi v aktivnem področju, ki pa se nahaja v četrtem kvadrantu, kar izkoriščamo pri pretvorbi fotoenergije v električno.

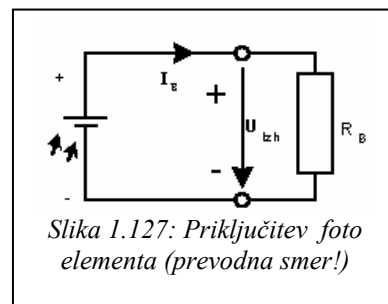


Medtem, ko imajo fotodiode (obremenitev v zaporni smeri), proti svetlobi odprto površino nekaj  $mm^2$ , imajo te ki so namenjene za pretvorbo svetlobne energije v električno, površino nekaj  $cm^2$ . Takšno fotodiodo imenujemo **fotoelement** in se uporablja v kombinaciji zaporedno/vzporedne povezave velikega števila enot za napajanje elektronskih sistemov preko svetlobne energije – solarna celica (ročne ure, kalkulatorji, satelitski sistemi,..)



V aktivnem področju povzroča zaradi bremena upadajoča napetost povečanje toka v prevodni smeri, kar predstavlja generator. Aktivno področje delovanja je omejeno na eni strani z napetostjo praznega teka  $U_0(R_b \rightarrow \infty)$  in kratkostičnim tokom  $I_k(R_b \rightarrow 0)$ . Kratkostični tok  $I_k$  je parameter, ki je proporcionalen osvetljenosti in aktivni površini oz.  $U_0$  kot posledica osvetljenosti foto diode.

Od materiala je odvisna maksimalna vrednost  $U_{0max}$ , ki je 0.5V za **Si** fotoelement. Maksimalni kratkostični tok in maksimalna napetost praznega teka sta karakteristična parametra foto elementa.



Slika 1.127: Priključitev foto elementa (prevodna smer!)

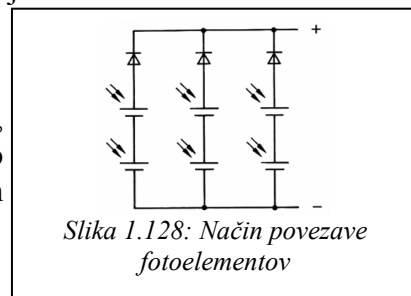
### 1.7.4 IRED- INFRARDEČA DIODA

Infrardeče svetleče diode (Ga As) delujejo na valovni dolžini okrog 900nm in omogočajo dosti višje svetlobne moči (100-500μW) kot svetleče diode v vidnem spektru (nekaj μW). Široko področje uporabe omogoča visoka mejna frekvenca (10MHz), nevidni spekter za človeka (alarmni sistemi) in dovolj moči za neposredno optično povezavo (komunikacijo) do nekaj 100m.

### 1.7.5 SOLARNA CELICA

Solarna celica je sestavljena iz množice povezanih fotoelementov, ki pretvarjajo svetlobno energijo v električno. Diode preprečujejo izenačevalne tokove, v primeru različne osvetlitve pri neenakih napetosti posameznih segmentov.

Izkoristek je okoli 11% in zavisi od spektralne sestave svetlobe. Solarna konstanta se glede na področje spreminja. Zunaj zemeljske atmosfere znaša okoli 135mW/cm<sup>2</sup>, na morski gladini ob sončnem dnevu pa je približno 106mW/cm<sup>2</sup>. Osnovni člen predstavlja Si PN spoj, za katerega je potek napetosti praznega teka oz. kratkostičnega toka prikazan na diagramu.



Slika 1.128: Način povezave fotoelementov

### 1.7.6 LASERSKA DIODA

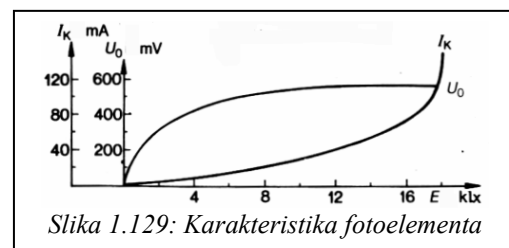
Nastanek svetlobe v laserski diodi temelji na tako imenovani inducirani emisiji. Zaradi rekombinacij ustvarjena svetloba inducira znotraj nadaljne rekombinacije, ki ji sledijo in pri tem emitirajo elektromagnetne valove iste valovne dolžine, energije, faze, polarizacije in iste smeri. Da se omogoči inducirana emisija mora imeti laserska dioda optični resonator (stranice z možnostjo odboja - ogledalo). Os izstopajočega svetlobnega žarka leži v sredini resonatorja, katerega debelina znaša samo 0,2 μm.

Animacijo delovanja laserja si lahko ogledate na naslovu:

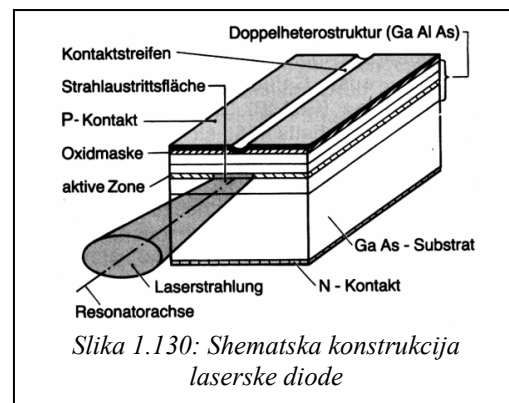
<http://physicsstudio.indstate.edu/java/physlets/java/laser/index.html>, skoraj vse o laserjih pa najdete na spletni strani: <http://www.bithose.com/serfaq/sam/laserdio.htm>

Visoka moč koncentracije laserskega žarka in številne modulatorske možnosti omogočajo izredno široko področje uporabe. Na sliki desno je shematski prikaz GaAlAs laserske diode. Z vsebnostjo količine aluminija je možno spreminjati emisijski maksimum na valovni dolžini med 820nm in 880nm.

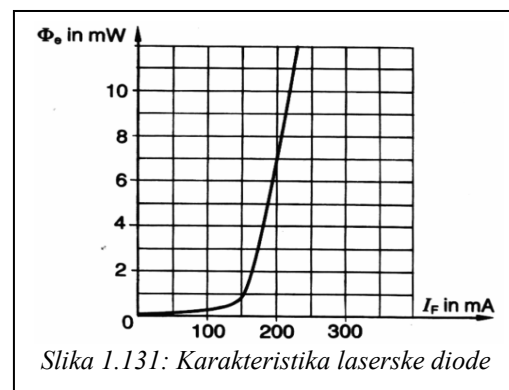
Običajno je v istem ohišju še fotodiode, katera se uporablja za meritev moči laserske svetlobe.



Slika 1.129: Karakteristika fotoelementa



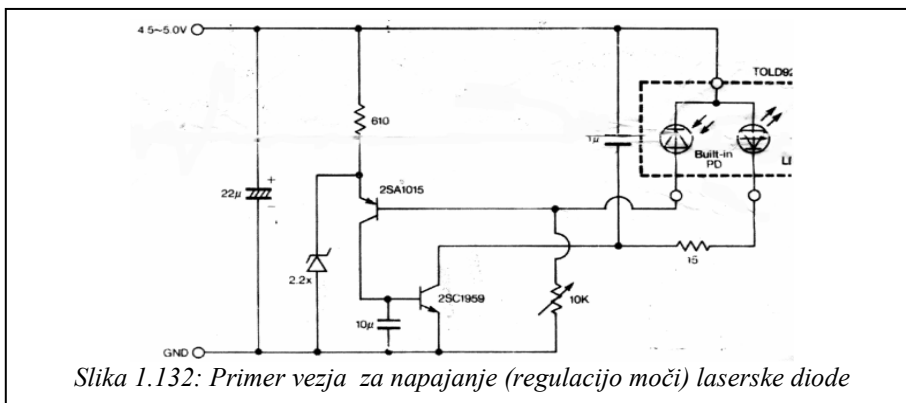
Slika 1.130: Shematska konstrukcija laserske diode



Slika 1.131: Karakteristika laserske diode

Laserska dioda ima temperaturno in napetostno nestabilno karakteristiko, zato potrebuje za stabilno delovanje regulacijsko vezje za krmiljenje toka, ki zagotavlja konstantno izhodno moč laserskega žarka.

Enostaven primer takšnega vezja prikazuje sledeča slika.

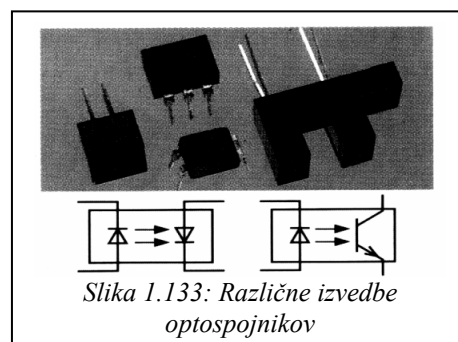


Slika 1.132: Primer vezja za napajanje (regulacijo moči) laserske diode

### 1.7.7 OPTOSPOJNIK (optocoupler, optointerrupter)

Pri optospojniku so v istem ohišju združeni oddajnik, prenosni kanal in sprejemnik svetlobe. Glede na namen uporabe in način delovanja (digitalni signal, analogni signal, mehanska prekinjevalna bariera,...) obstajajo številne izvedbe.

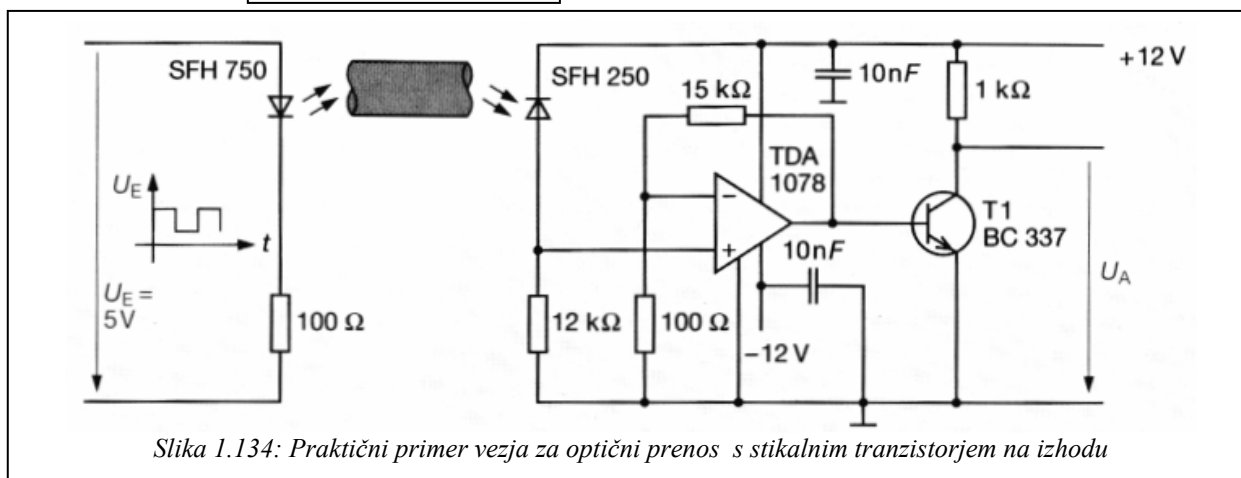
Kot oddajnik je uporabljena ena ali več IR svetlečih diod, ki s pomočjo vhodnega toka (1-30mA) generirajo svetlobni žarek, ki preko optičnega medija deluje na fotoobčutljivo komponento na izhodu.



Slika 1.133: Različne izvedbe optospojnikov

Na izhodu so lahko fotodiode, različne izvedbe fototranzistorjev, tiristorji in integrirani digitalni gradniki (vrata, triggerji,...), ter tudi ojačevalniki analognega signala. Glede na številne izvedbe so tudi nekateri značilni parametri specifični (npr. linearnost), za večino pa je bistvena izolacijska upornost (najmanj  $10^{11} \Omega$ ) oziroma največja ločilna napetost. Poleg tega je značilen sklopni faktor CTR, ki predstavlja razmerje med izhodnim in vhodnim tokom.

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \cdot 100\%$$



Slika 1.134: Praktični primer vezja za optični prenos s stikalnim tranzistorjem na izhodu

## 1.7.8 KRITERIJI ZA OCENO NEVARNOSTI LASERSKIH NAPRAV

Po DIN IEC 76 (CO) 6/VDE 0837 so laserji razdeljeni v 5 jakostnih razredov in sicer:

### KLASA 1

Nenevarno za človekove oči.

Maximalna izhodna moč je  $69 \times 10^{-6}$  W, pri valovni dolžini svetlobe npr. 700nm.

### KLASA 2

Nenevarno za človekove oči v primeru kratkotrajne izpostave svetlobi (refleks zaprtja vek - pogled v žarek je lahko največ do 0,24 sekunde).

Maximalna izhodna moč je 1mW.

### KLASA 3A

Nenevarno za človekove oči pri času izpostave svetlobe do 0,25 sekunde.

Nevarno za oči pri uporabi optičnih instrumentov, ki manjšajo premer svetlobnega žarka.

Maximalna izhodna moč je 5mW in moč osvetlitve  $2,5 \text{ mW/cm}^2$ .

### KLASA 3B

Nevarno za človekove oči in v posebnih primerih tudi za kožo!

Maximalna moč je do 0,5W.

### KLASA 4

Zelo nevarno za človekove oči in za kožo. Nevarnost opeklin!

Maximalna moč laserja presega 0,5W.

Primer:

Izstopajoča moč laserskega peresa pri CD predvajalniku ustreza klasi 1, vendar bi v primeru delovanja zunaj tega območja, že spadala v klaso 3B!

Naprave z lasersko svetlobo morajo biti označene z normiranimi varnostnimi simboli.

Npr:

