Optoelektronske komponente

UVOD

- Optoelektronske komponente su komponente koje proizvode svetlost ili reaguju na nju.
- Neke od optokomponenti su: LED diode, foto-tranzistori, foto-diode, foto-otpornici, razni svetlosni indikatori, opto-kapleri.
- Takođe u optoelektronske poluprovodničke komponente spadaju i laserske diode.

LED –LIGHT EMITTING DIODE

- LED, odnosno svetleća dioda (LED; Light-emiting diode) je posebna vrsta poluprovodničke diode koja emituje svetlost kada je propusno polarisana, tj.kada kroz nju teče struja.
- LED diode obično rade na talasnim dužinama oko 850nm i 1300nm (I i II optički prozor), i to samo u kombinaciji sa multimodnim vlaknima.

- Širina spektra ovih dioda je oko 30 ÷ 40nm, te se zato kod njih primenjuje samo intenzitetska modulacija (analogna ili digitalna).

- Osnovni kriterijum za primenu LED su sjajnost (radijansa) i brzina odziva (inercione osobine).

- Sjajnost je snaga zračenja emitovana sa jedinice emisione površine u jedinični prostorni ugao, i potebno je da bude što veća.

- Brzina odziva ograničava maksimalnu širinu spektra, kojim se može modulisati zračenje LED (maksimalno do oko 200MHz). Iz tog razloga potrebno je da inercija diode bude što manja.

- Svetleće diode, prema veličini emisione površine, možemo podeliti u dve grupe:

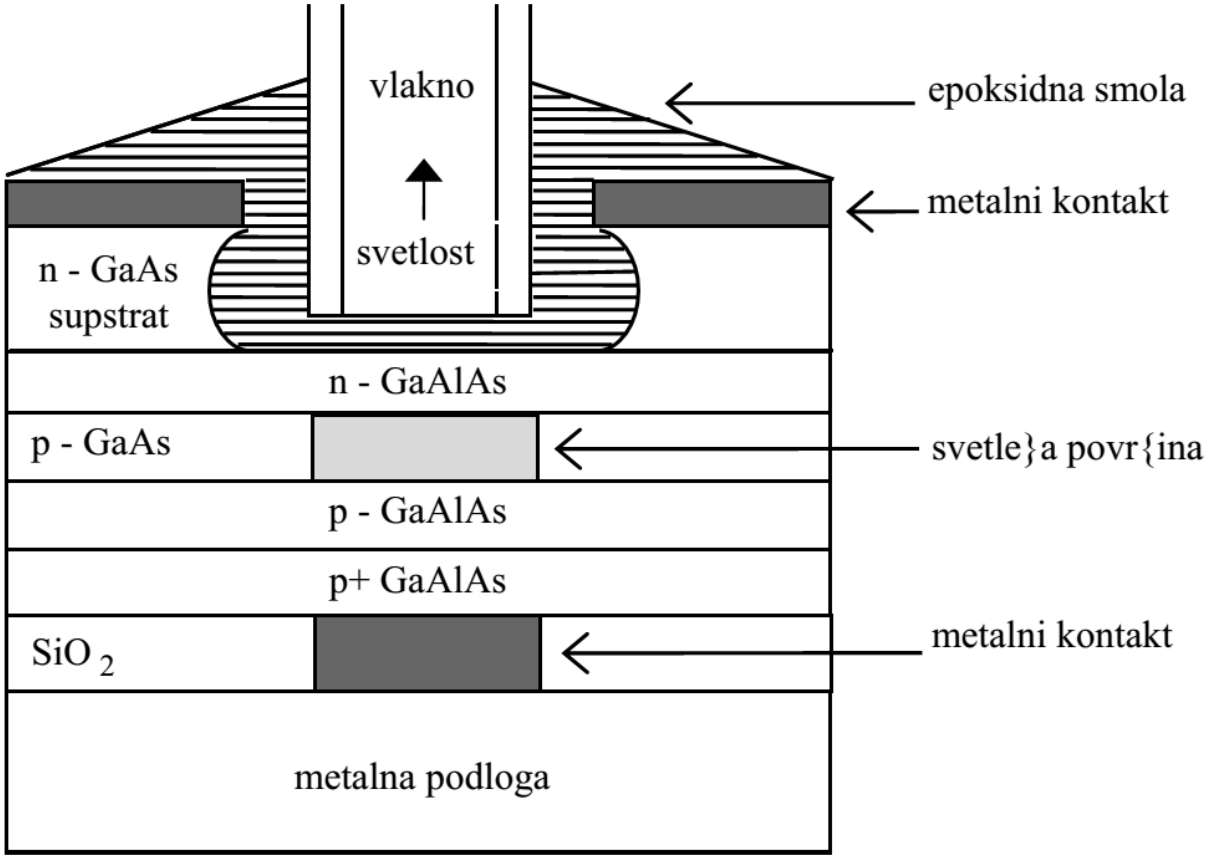
  - **Diode sa velikom emisionom površinom (0.2 ÷ 5.6mm^2) i slabim sjajem.**

    - Koriste se samo kod optičkih kablova, čiji su svetlovodi sačinjeni od 50 ÷ 1000 vlakana u obliku pletenice, pa im je poprečni presek približno jednak emisionoj površi diode.

  - Diode sa malom emisionom površinom (reda veličine 0.05mm^2) i velikim sjajem, za multimodno vlakno.

- Takođe, LED možemo podeliti na diode sa površinskim zračenjem (*Burrus*-ovog tipa) i diode sa bočnim zračenjem.

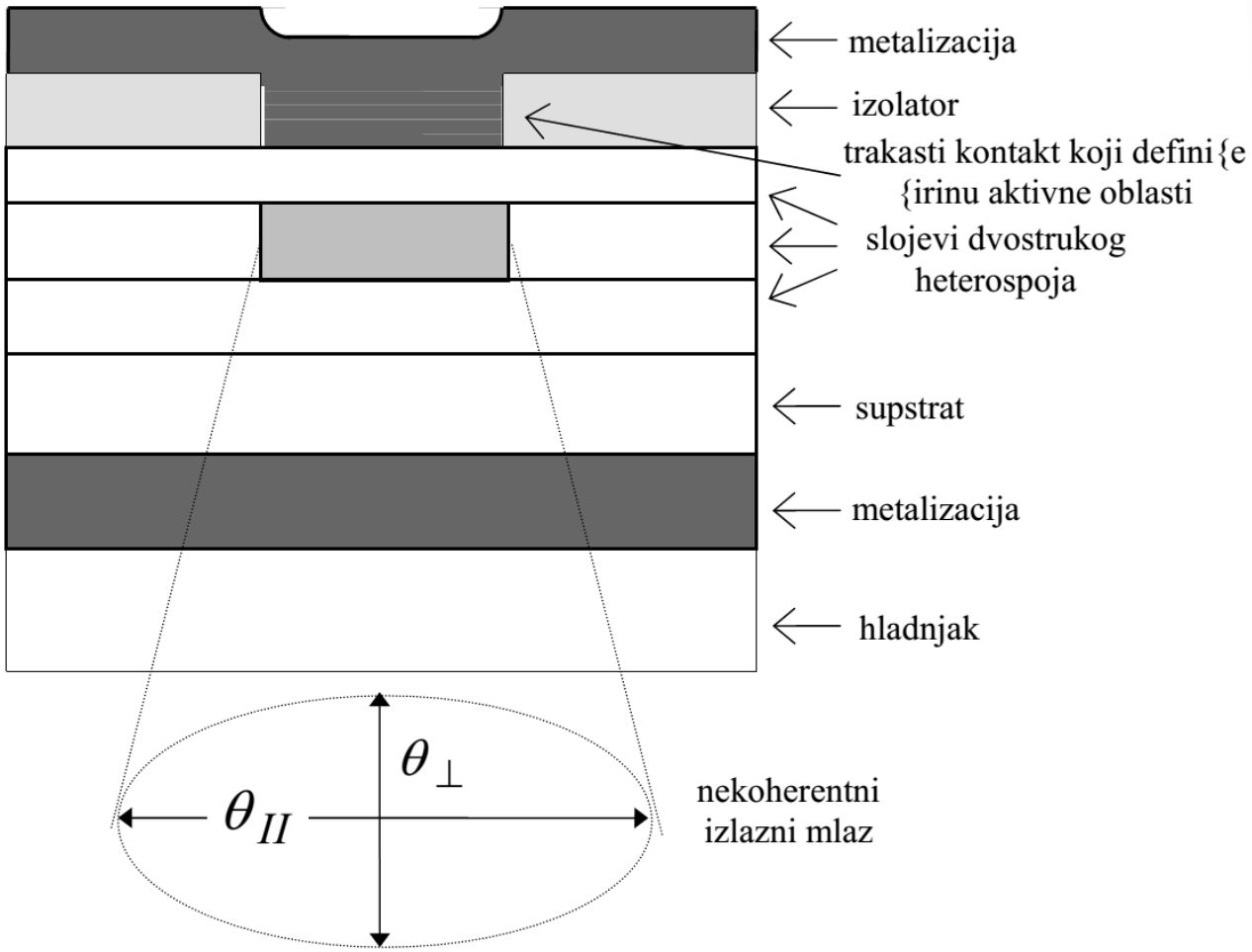
LED sa površinskim zračenjem



- Sloj u kojem se ostvaruje spontana emisija (aktivni sloj p-GaAs) smešten je između slojeva sa većim energetskim procepom, (slojevi n-GaAlAs i p-GaAlAs)
- Time se ostvaruje lokalizacija nosilaca naelektrisanja u aktivnom sloju. Aktivna oblast je kružnog oblika i obično je prečnika 50 μ m i debljine do 2,5 μ m.

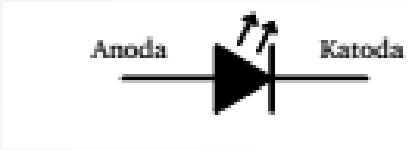
- Direktnom polarizacijom diode iz sloja n-GaAs , kroz sloj n-GaAlAs, injektuju se elektroni u p-GaAs zonu rekombinacije.
- Potencijalna barijera kod sloja p-GaAlAs zadržava elektrone u sloju p-GaAs, gde se formira visoka koncentracija istih, sa jakim rekombinacionim procesom.
- Deo rekombinacionog zračenja koji pada na sloj n-GaAlAs je koristan deo, koji se u ovom slučaju ne apsorbuje (jer GaAlAs ima veći energetski procep)

LED sa bočnim zračenjem

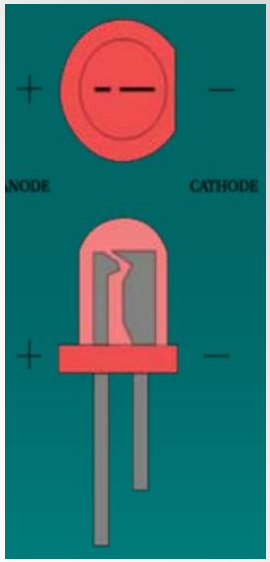


- Ove diode imaju bolje karakteristike od Barusovih dioda u pogledu: brzine odziva, veličine izlazne optičke snage i divergencije snopa zračenja.
- One imaju bočnu emisiju kao i poluprovodnički laseri. Slojevi dvostrukog heterospoja obrazuju planarni talasovod što dovodi do bolje usmerenosti izlaznog zračenja.

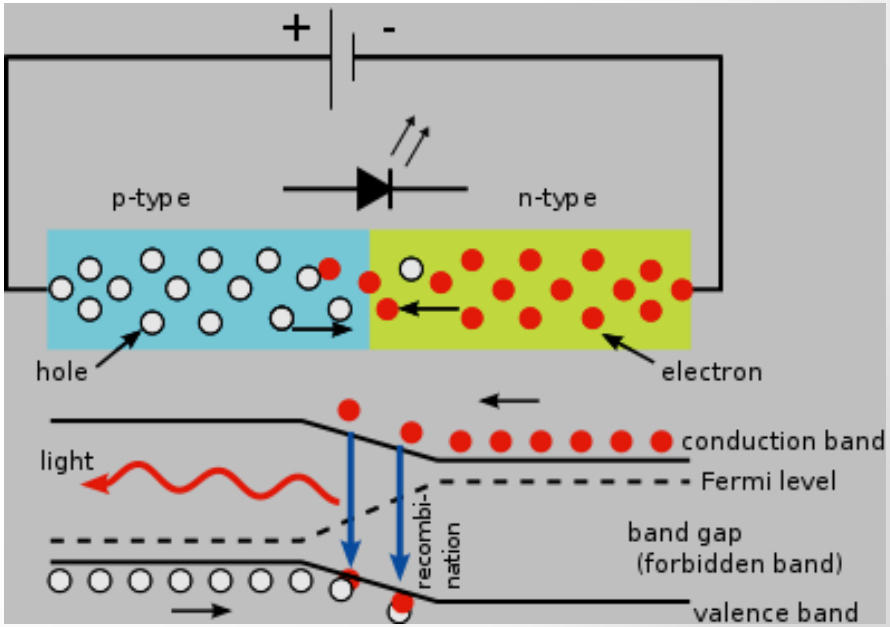
LED –Light emitting diode



Električni simbol LED diode.



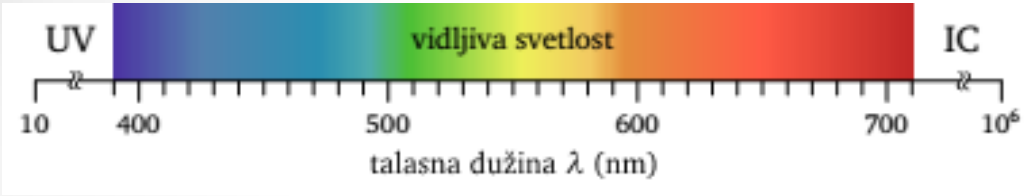
- Emisija svetlosti se dešava prilikom direktne polarizacije diode I ova pojava se naziva *elektroluminiscencija*.
- Suština pojave je u rekombinaciji elektrona iz provodne zone sa šupljinama u valentnoj zoni, prilikom koje se višak energije otpušta u obliku fotona.
- Kao i kod drugih dioda struja teče od P-strane, ili anode, ka N-strani, ili katodi, ali ne i u suprotnom smeru.
- Nosioci naelektrisanja elektroni i šupljine teku sa elektroda sa različitim naponima.
- Kada elektron naiđe na šupljinu, pada na niži energrtski nivo i oslobađa energiju u obliku fotona.



- LED diode se izrađuju od poluprovodničkih jedinjenja (GaAs, GaAsP, AlGaP, SiC, itd.).
- Za razliku od silicijuma, kod ovih jedinjenja u procesu rekombinacije elektronu za transfer energije nije potreban „posrednik“ u vidu centra zahvata ili drugog elektrona, već se proces odvija direktnim prelaskom elektrona iz provodne u valentnu zonu.
- Talasna dužina emitovane svetlosti, a time i njena boja, zavise od energetske barijere materijala koji čine p-n spoj.

- Kod silicijumskih i germanijumskih dioda, elektroni i šupljine se rekombinuju ne-zračećom tranzicijim, koja ne daje vidljivu emisiju, jer su oni materijali sa idirektnim prelazom.
- Materijali koji se koriste za izradu svetlećih dioda imaju direktni prelaz (direktnu energetsku barijeru) sa energijama koje odgovaraju skoro infracrvenoj, vidljivoj i skoro ultraljubičastoj svetlosti

- U zavisnosti od jedinjenja i konstrukcije diode, svetlost koja se emituje može imati različitu talasnu dužinu pa se proizvode ultraljubičaste, infracrvene, kao i diode koje emituju vidljivu svetlost.

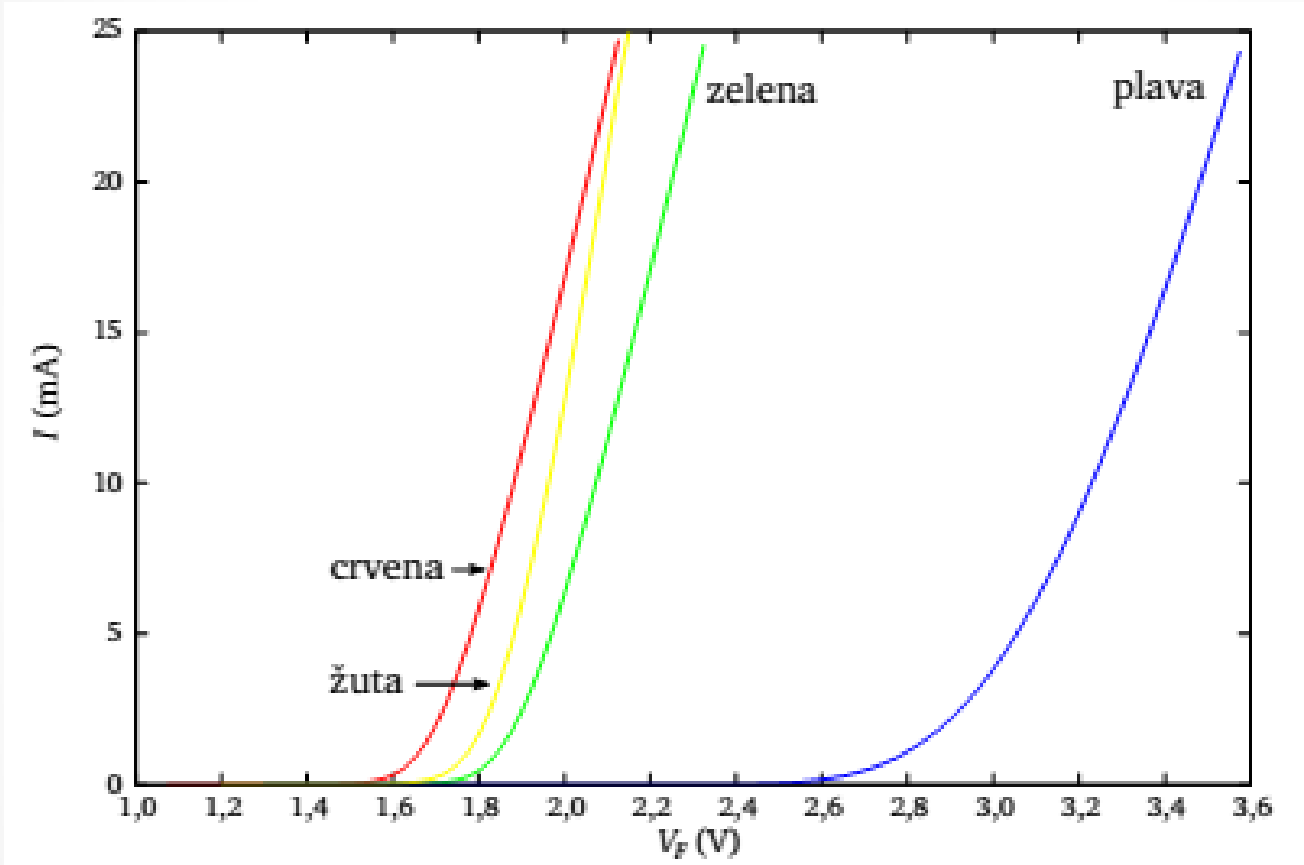


- Napon direktne polarizacije pri kome diode provode je različit za različite talasne dužine svetlosti .
- Jačina svetlosti zavisi od struje kroz diodu, a tipične vrednosti struja su:

Svetlost	$V_{F(typ)}$ (V)	$I_{F(typ)}$ (mA)
infracrvena	1,2	20–100
crvena	1,8	10–20
narandžasta	2,0	10–20
žuta	2,1	10–20
zelena	2,2	10–20
plava	3,5	20–30
bela	3,5	20–30
ultraljubičasta	3,6	20

- Prema jačini vidljive svetlosti koju emituju LED diode se dele na standardne i ultrasvetle (ultra bright).
- LED diode su predviđene da rade u režimu direktne polarizacije, a probojni napon pri inverznoj polarizaciji im je tipično −5 V.

- Strujno–naponske karakteristike LED dioda pri direktnoj polarizaciji

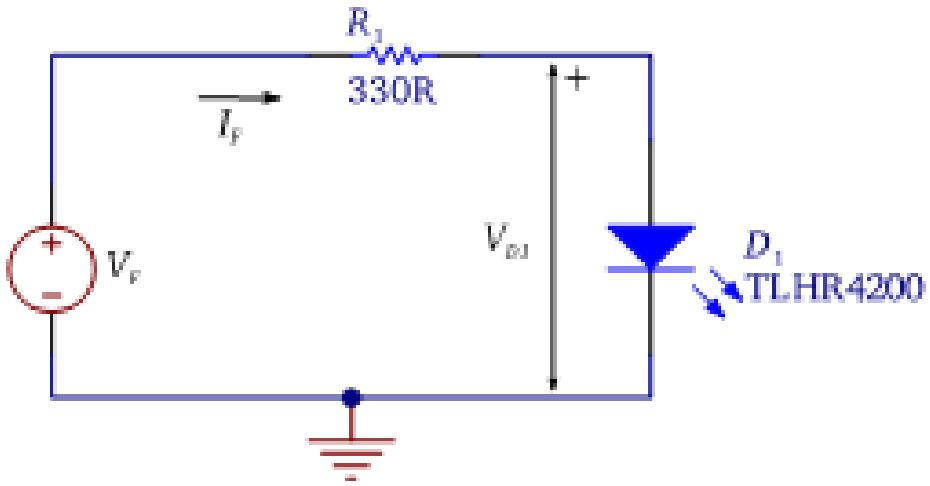


- Relativna jačina svetlosti koju emituje LED dioda se definiše kao:

  $I_{Vrel} = I_V / I_V(\lambda_p)$

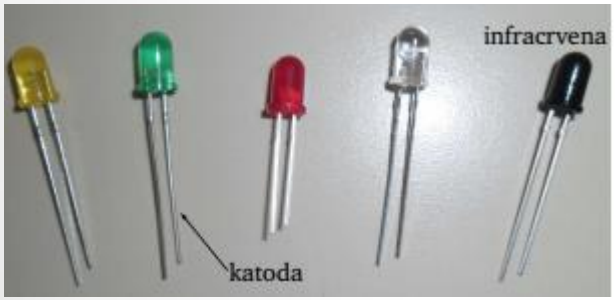
  pri čemu je λ_p talasna dužina pri kojoj je emitovana svetlost najjača (peak wavelength)

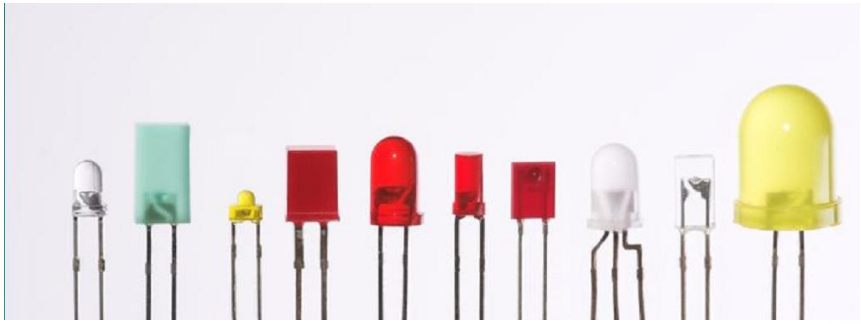
- Struja kroz LED diodu se ograničava otpornikom, kao što je ilustrovano na slici

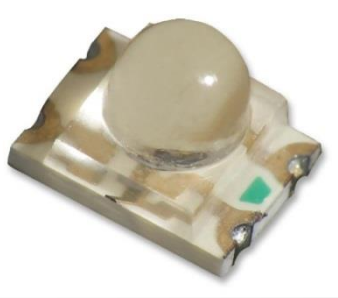


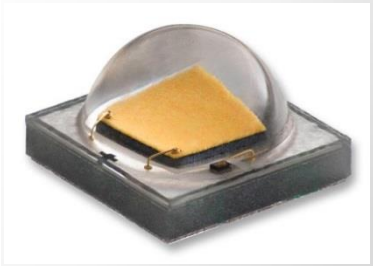
Osnovno kolo LED diode.

- LED diode koje emituju vidljivu svetlost uobičajeno se koriste kao indikatori kod elektronskih uredaja.
- Enkapsulirane su u prozirna kućišta različitih oblika i optičkih svojstava.
- Standardne LED diode se najčešće nalaze u okruglim kućištima pri čemi je izvod katode kraći od izvoda anode.
- Pored toga, LED diode se pakuju i u SMD kućišta.
- U jednom kućištu mogu biti dve LED diode različitih boja i ovakva konfiguracija se naziva dvobojni (bicolor) LED.
- RGB LED diode su diode koje mogu da svetle bilo kojom bojom. One imaju četiri nožice, katodu i tri anode za svaku od RGB boja –crvenu (Red), zelenu (Green) i plavu (Blue). Kombinovanjem ove tri boje može se dobiti bilo koja boja.

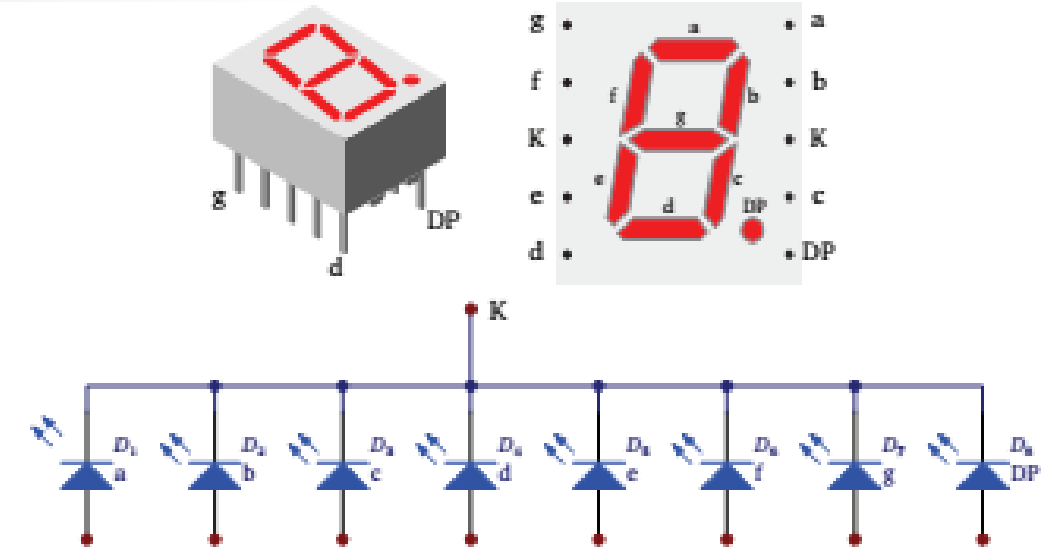








- Grupe LED dioda formiraju displeje, a široko je rasprostranjen 7–segmentni displej koji je pogodan za prikazivanje brojnih vrednosti kod mernih instrumenata i u mnogim drugim primerima.



Prikaz kućišta, raspored pinova i električna šema 7–segmentnog LED displeja u konfiguraciji sa zajedničkom katodom (analogna je konfiguracija sa zajedničkom anodom).

Generisanje cifara obavlja se pomoću namenskih integrisanih kola na koja se priključuje jedan ili više displeja.

Primena LED Dioda

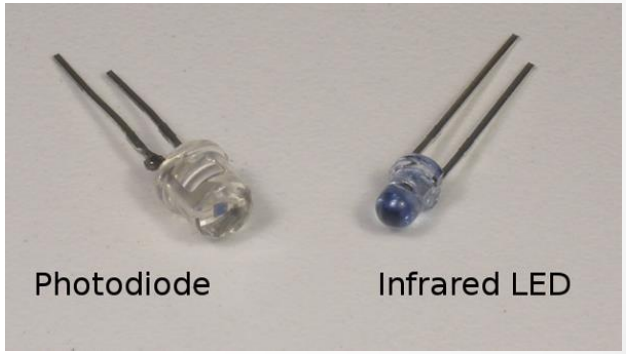
- LED diode se takođe koriste i za osvetljenje, pričemu se više dioda grupiše tako da formira jedno rasvetno telo koje se naziva LED lampa.
- U odnosu na ostale tipove rasvetnih tela, prednost LED lampi je u manjoj potrošnji i, eventualno, dužem veku trajanja.
- Posebnu vrstu LED dioda predstavljaju ***organske*** LED diode (OLED).
- Kod ovih dioda se između anode i katode nalazi dva ili više slojeva organskih molekula ili, češće, provodnih polimera.
- Ovi materijali emituju svetlost pod dejstvom primenjenog napona, što je pojava poznata pod nazivom ***elektrofosforescencija***.
- Tehnologija omogućava da se provodni polimeri raspršе u vidu spreja na supstrat i rasporede u vidu matrice, što OLED diode čini posebno pogodnim za izradu displeja TV prijemnika, monitora i mobilnih telefona.
- Infracrvene (IR) LED diode se koriste kod predajnika u daljinskim upravljačima elektronskih uredaja, sistemima za noćno osmatranje, industrijskim i medicinskim uredajima, itd.
- Utraljubičaste (UV) LED diode se najviše primenjuju u medicinskim uređajima, kao i u tehnologiji štampe na tkaninama.

Fotodiode

- Fotodiode takode spadaju u grupu optoelektronskih komponenata, a njihova osnovna karakteristika je da im se inverzna struja zasićenja menja sa promenom intenziteta upadne svetlosti

Električni simbol fotodiode.

- Kućišta fotodioda su ili prozirna ili se na njima nalazi otvor koji omogućava da svetlost dopre do samog čipa.



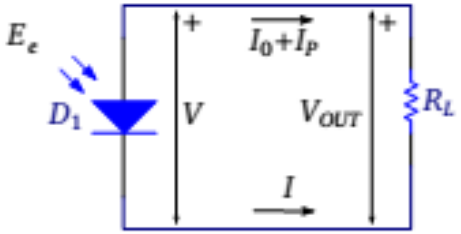
Fotodiode

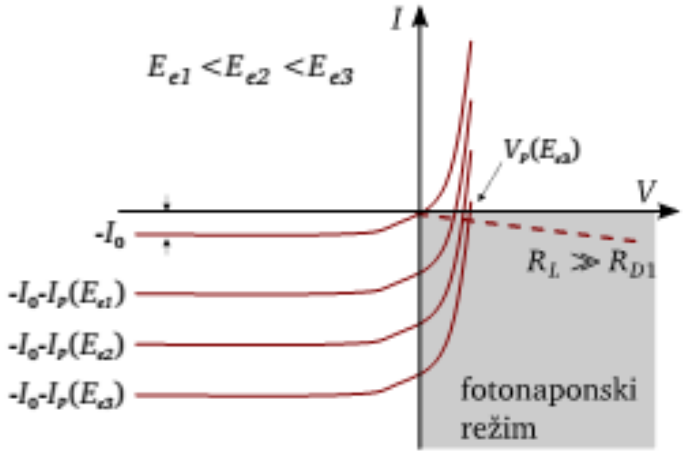
- Kada fotodioda nije osvetljena kroz nju teče inverzna struja zasićenja I_0 koja se naziva ***struja mraka* (dark current).**
- Pod dejstvom upadne svetlosti, unutar p–n spoja dolazi do generacije parova elektron–šupljina, pa se inverzna struja kroz diodu povećava.
- Struja koja potiče usled dejstva upadne svetlosti naziva se ***struja osvetljaja* (light current) ili *fotostruja*** I_P i superponira se na struju diode I_D:

$$I = I_0\left(exp\frac{V}{V_t} - 1\right) - I_p$$

pri čemu je V napon na fotodiodi.

Osnovno kolo fotodiode ne uključuje primenu napona polarizacije

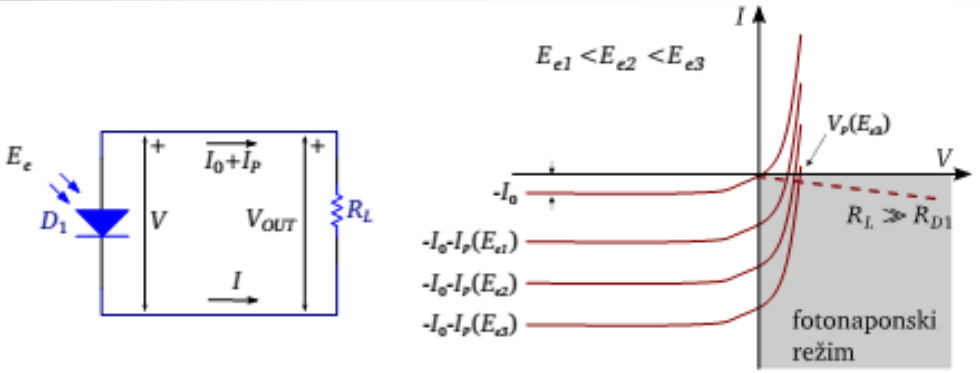




Fotodioda u fotonaponskom režimu

- Struja I_P se menja u zavisnosti od iradijanse E_e upadne svetlosti, tako da je pad napona na otporniku $V_{OUT} = V = (I_0 + I_P)R_L$.
- Treba primetiti da u ovom slučaju pad napona V_{OUT} teži da pozitivno polarize diodu.
- Zbog toga kroz diodu počinje da teče struja u smeru suprotnom od smera fotostruje.
- Kada struja I postane jednaka nuli, tada je napon na diodi:

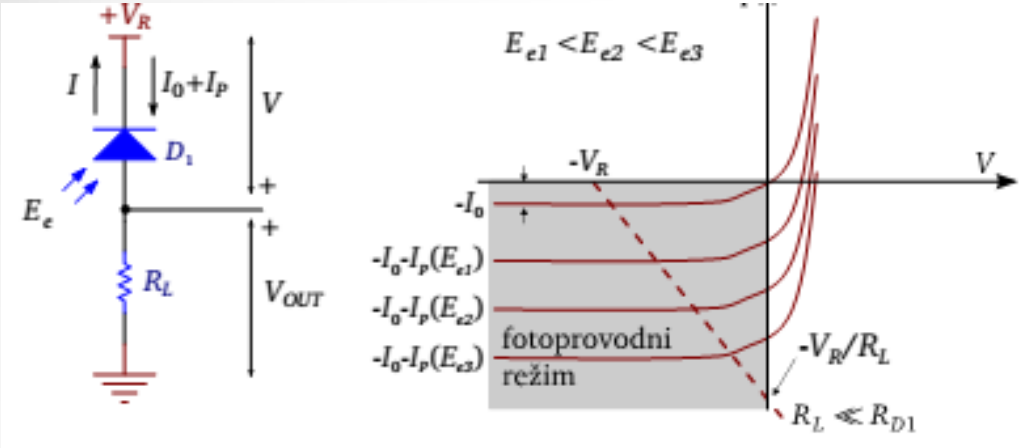
$$V_p(E_e) = V_t ln\left(\frac{I_p(E_e)}{I_0} + 1\right)$$



Fotodioda u fotonaponskom režimu

- Fotodioda se ponaša kao izvor jednosmernog napona, pa se pojava naziva fotonaponski efekat.
- Fotodioda radi u *fotonaponskom* (photovoltaic) režimu.
- Napon $V_P(E_e)$ naziva se *fotonapon*.
- Slično, struja $I_P(E_e)$ koja odgovara uslovu $V = 0$ naziva se *fotostruja*.
- Otpornik R_L mora biti mnogo veći od statičke otpornosti fotodiode R_{D1}
- Napon $V_P(E_e)$ ne može biti veći od maksimalnog napona direktne polarizacije koji je moguće dovesti na fotodiodu.
- Rad solarnih ćelija je upravo zasnovan na fotonaponskom efektu, odnosno direktnoj konverziji sunčeve svetlosti u napon.
- Uopšteno rečeno, solarne ćelije predstavljaju fotodiode koje se proizvode od sva tri tipa silicijuma.

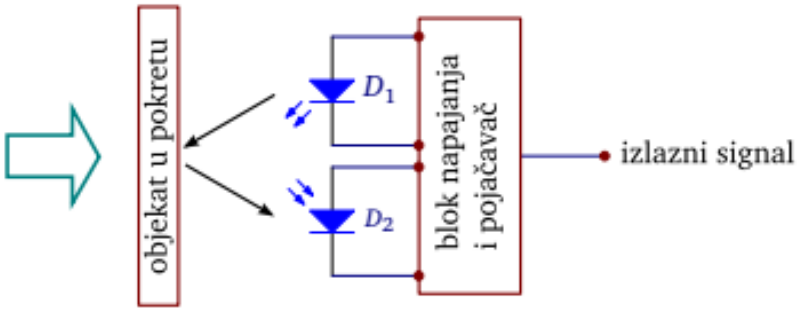
- Fotodioda se može iskoristiti i u režimu inverzne polarizacije



Fotodioda u fotoprovodnom režimu.

- U ovom slučaju je $V_{OUT} = (I_0 + I_P)R_L$, pa je odziv fotodiode na upadnu svetlost linearan, pod uslovom da se vrednost napona inverzne polarizacije izabere tako da je uvek ispunjen uslov $V_R > V_{OUT}$.
- Otpornik R_L mora biti mnogo manji od statičke otpornosti fotodiode R_{D1},
- Radna prava prikazana je na slici.
- U ovakvoj konfiguraciji fotodioda radi u ***fotoprovodnom* (photoconductive)** režimu.
- U fotoprovodnom režimu je odziv fotodiode na upadnu svetlost brži nego u fotonaponskom režimu jer je, zbog inverzne polarizacije, kapacitivnost p–n spoja manja.
- Zbog toga je i ukupna R_C konstanta kola manja.
- Tipično vreme odziva fotodiode na impulsnu svetlosnu pobudu je reda veličine nanosekunde.

- Fotodiode se primenjuju kao senzorski elementi u kolima za detekciju nivoa osvetljenosti prostora, medicinskim uređajima, čitačima elektronskih knjiga, kamerama, alarmnim uređajima, itd.

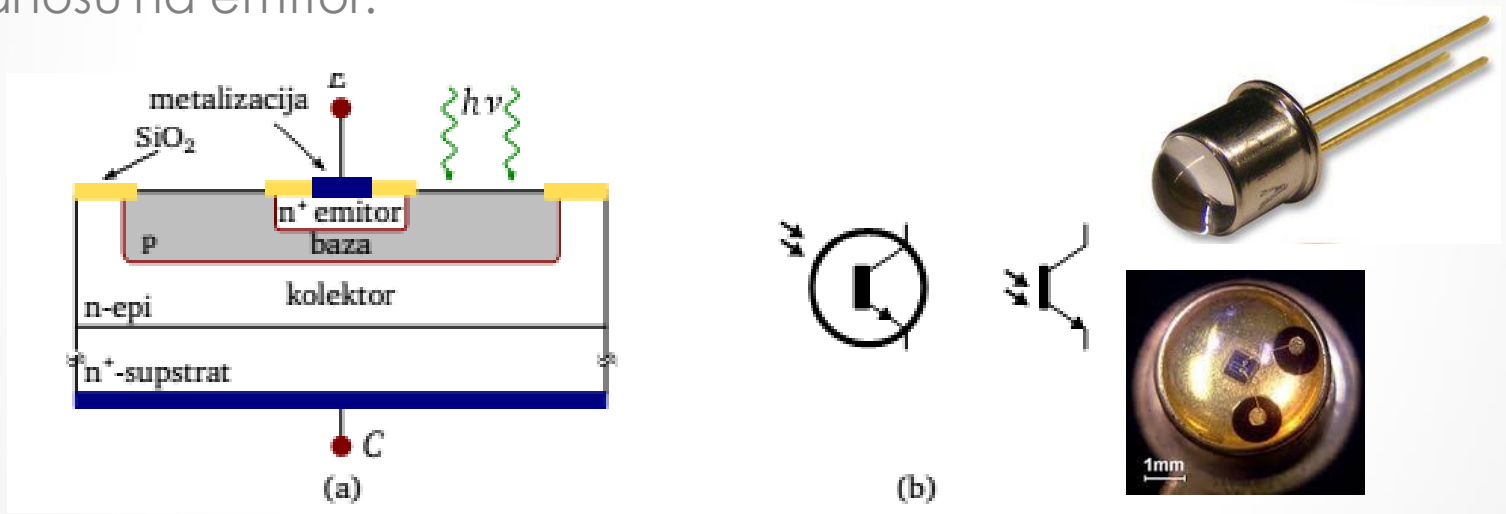


- Princip rada detektora na kratkim rastojanjima
- Detektor objekata na kratkim rastojanjima koristi infracrvenu LE diodu kao predajnik i fotodiodu kao prijemnik.
- Fotodioda registruje reflektovanu infracrvenu svetlost od objekta koji prilazi detektoru. Signal sa fotodiode se pojačava i prenosi na izlaz detektora. Uređaj u koji je detektor ugrađen reaguje na promenu amplitude izlaznog signala.
- Efektivni domet detektora je do nekoliko desetina cm i može se podešavati.

- Primenjuje se u industrijskim mašinama i uredajima kao sigurnosni prekidač (ako objekat uđe u radni prostor alata, kretanje alata se automatski zaustavlja).
- Takode se primenjuje i za automatsko otvaranje klizećih vrata.
- Primenjuje se i u mobilnim telefonima, za automatsko isključivanje ekrana osetljivog na dodir kada je telefon prislonjen na uho.

Fototranzistor

- Za razliku od standardnog bipolarnog tranzistora, fototranzistor se realizuje tako da mu je oblast baze izložena dejstvu upadne svetlosti.
- Pri tome su oblasti baze i kolektora po površini mnogo veće nego kod standardnog bipolarnog tranzistora.
- Tranzistor se polariše tako da mu je kolektor na pozitivnom potencijalu u odnosu na emitor.

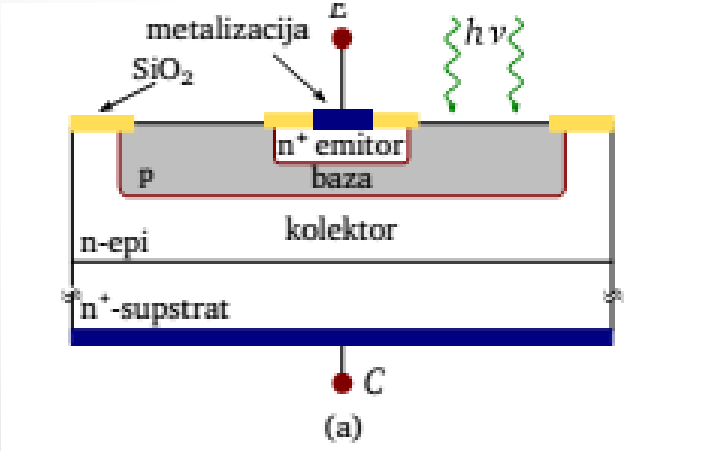


(a) Ilustracija tehnološke realizacije epitaksijalnog npn fototranzistora kao diskretne komponente i (b) električni simboli.

- Pod dejstvom upadne svetlosti, unutar osiromašene oblasti p–n spoja baza–kolektor dolazi do generacije parova elektron–šupljina.
- Pošto je spoj baza–kolektor inverzno polarisan, šupljine iz osiromašene oblasti prelaze u bazu, a elektroni u kolektor, čineći na taj način fotostruju I_P.
- Zbog toga se povećava pozitivni potencijal baze u odnosu na emitor.
- Efektivno, ovo se manifestuje kao porast struje baze kod standardnog bipolarnog tranzistora, tako da je struja kolektora fototranzistora:

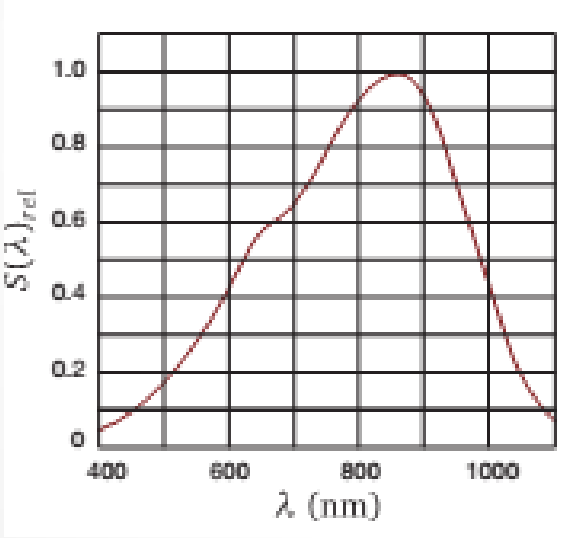
$$I_C \simeq \beta I_P .$$

- Treba primetiti da je kod fototranzistora $I_C = I_E$, jer je baza „otvorena“.
- Drugim rečima, struja baze ne postoji, a pojačava se samo fotostruja.
-

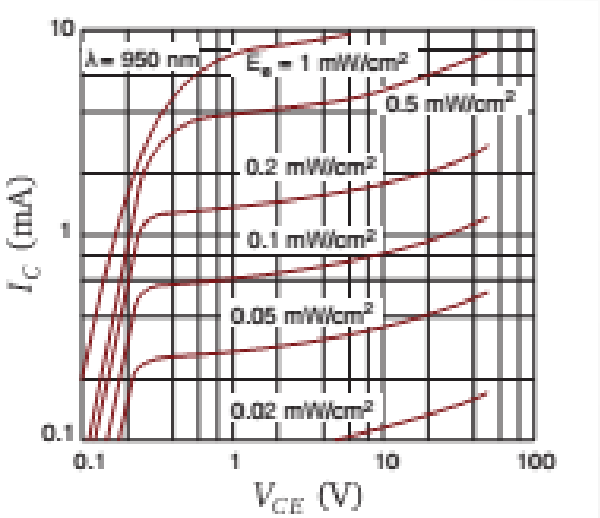


npn fototranzistor

- Umesto struje baze, na izlaznim karakteristikama tranzistora se kao parametar daje iradijansa upadne svetlosti E_e
- Struja kolektora kada tranzistor nije osvetljen naziva se *struja mraka* (collector dark current).
- Tipično je reda veličine nA, ali sa porastom temperature raste za više redova veličine i može da „maskira“ fotostruju.
- Za fototranzistor se definiše i relativna spektralna osetljivost, slično kao i kod fotodioda.



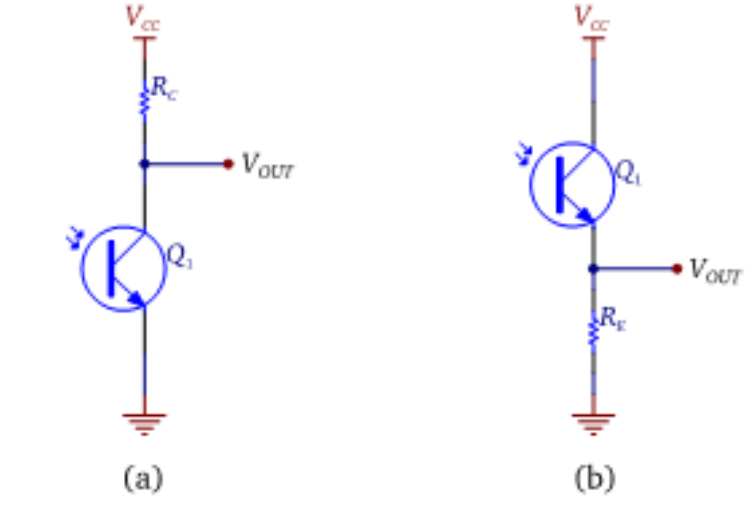
Relativna spektralna osetljivost fototranzistora



Izlazne karakteristike fototranzistora

Primena Fototranzistora

- Česta primena fototranzistora je ostvarivanje funkcije elektronskog prekidača koji reaguje na upadnu svetlost.
- Moguće su dve konfiguracije, sa zajedničkim emitorom i zajedničkim kolektorom,
- U oba slučaja vrednosti otpornika se biraju tako da tranzistor bude u zasićenju.



Fototranzistor u konfiguraciji sa zajedničkim emitorom (a) i zajedničkim kolektorom (b).

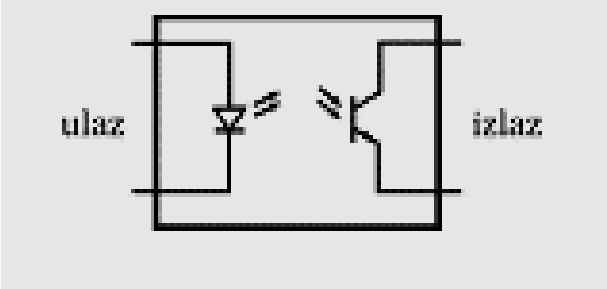
- Sa nailaskom upadne svetlosti napon na izlazu u konfiguraciji sa zajedničkim emitorom je $V_{OUT} = V_{CE(sat)} \simeq 0$ V, dok je u konfiguraciji sa zajedničkim kolektorom $V_{OUT} = V_{CC} - V_{CE(sat)} \simeq V_{CC}$.
- Maksimalna prekidačka učestanost fototranzistora je ~ 100kHz.

Primena Fototranzistora

- Fototranzistor se može upotrebiti i u aktivnom režimu rada, tipično kao senzor intenziteta svetlosti.
- Međutim, generisana fotostruja nije idealno linearno proporcionalna intenzitetu upadne svetlosti.
- U tom slučaju je na izlazu tranzistora potrebno dodatno elektronsko kolo koje će izvršiti linearizaciju odziva tranzistora na svetlosnu pobudu.
- Za proizvodnju fototranzistora se, pored silicijuma, koriste i poluprovodnička jedinjenja (GaAlAs, GaAs, InGaP, itd.).

Optokapler

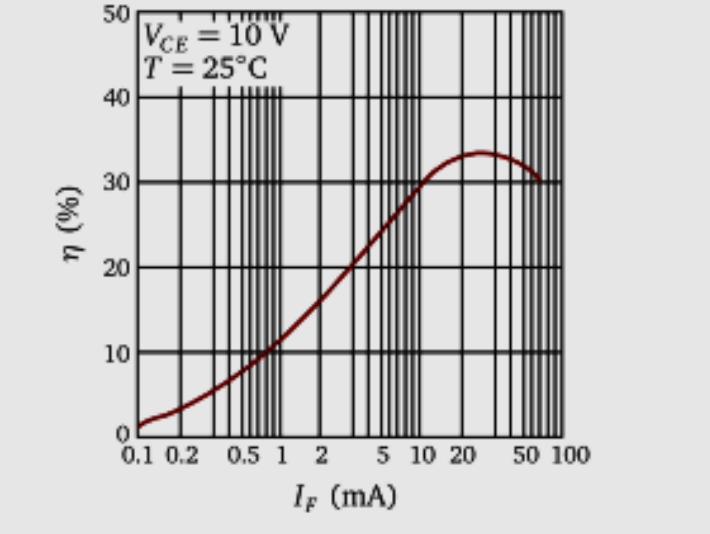
- Optokapler je komponenta koja se sastoji od LED diode i fototranzistora integrisanih u jednom kućištu.



Električni simbol optokaplera

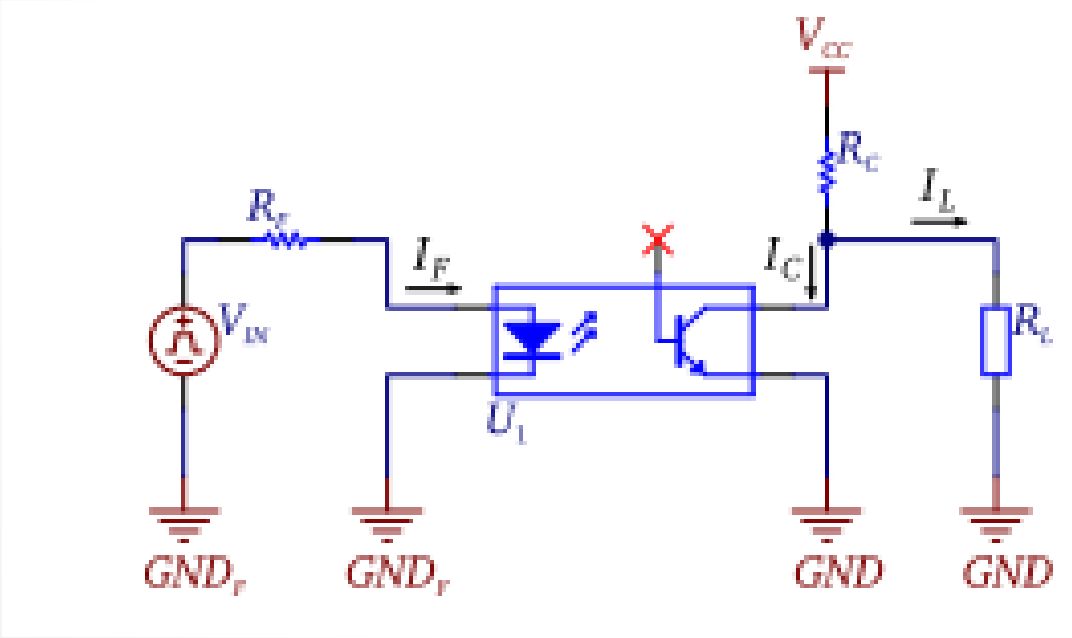
- Optokapler predstavlja komponentu sa svetlosnom spregom između ulaza i izlaza.
- Signal sa ulaza izaziva emisiju svetlosti LED diode.
- Ova svetlost predstavlja pobudu fototranzistora, tako da se na izlazu pojavljuje odgovarajući signal.
- Ulaz i izlaz su međusobno galvanski izolovani.
- Galvanska izolacija čini optokapler pogodnim za primenu u svim uređajima kod kojih korisnik može doći u dodir sa potencijalno opasnim nivoima signala (merni instrumenti, medicinski uređaji, telekomunikacioni uređaji, itd.)
- Optokapler se takođe može koristiti za prilagođenje naponskih nivoa između dva kola, kao i za smanjenje uticaja elektronskog šuma.

- Karakteristilčan parametar optokaplera je efikasnost sprege η (coupling ef-ficiency).
- Definiše se kao odnos struje kolektora fototranzistora I_C i struje fotodiode pri direktnoj polarizaciji I_F :
- $\eta = I_C/I_F \cdot 100$ (%).



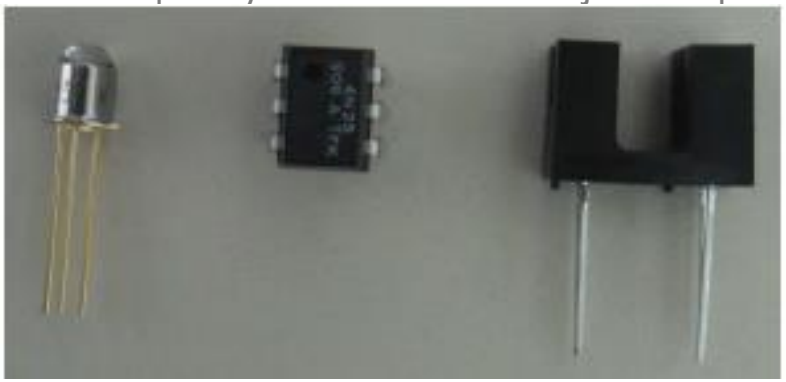
- Ovaj parametar se još naziva i prenosnim odnosom struja (CTR - Current Tran-sfer Ratio).
- Vrednost efikasnosti sprege zavisi i od temperature. Za optokapler je od značaja i maksimalni napon izolacije i on tipično iznosi nekoliko kV (za veće vrednosti može doći do električnog proboja između ulaza i izlaza kola).

- Optokapler se može polarisati tako da izlazni tranzistor bude u aktivnom
- režimu ili u zasićenju.
- Kada je izlazni tranzistor u zasićenju, optokapler predstavlja prekidač sa svetlosnom spregom.
- Na ulaz optokaplera se dovodi digitalni signal,koji može predstavljati izlaz nekog senzora. Na izlazu optokaplera se kao opterećenje najčešće pojavljuje neko logičko kolo.
- Treba primetiti da postoje dve nezavisne mase, ulaznog i izlaznog kola.



Kolo za polarizaciju optokaplera.

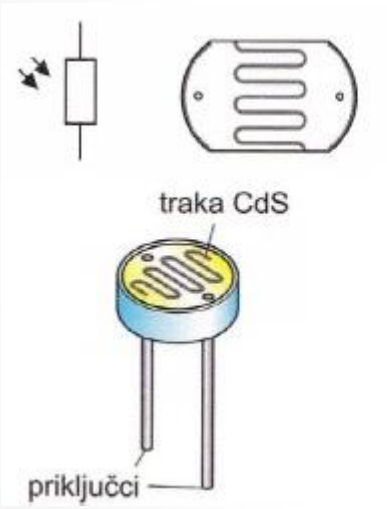
- Zbog relativno velikih tolerancija efikasnosti sprege i nelinearne zavisnosti od struje I_F, standardni optokapleri nisu posebno pogodni za primene u kojima izlazni tranzistor treba da radi u aktivnoj oblasti.
- U takvim primenama se obično zahteva linearna zavisnost između struja I_F i I_C pa je poželjno upotrebiti tzv. linearne optokaplere (high linearity optocouplers).
- U širokoj upotrebi je varijanta optokaplera koja se naziva optički prekidač (optical switch, optoinerrupter). U ovom slučaju se optokapler nalazi u kućištu sa procepom

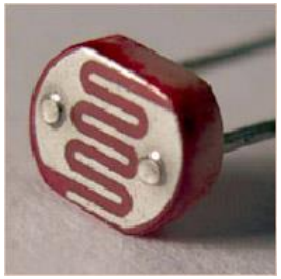


- Procep na sredini kućišta omogućava da optokapler reaguje svaki put kada se između LED diode i fototranzistora pojavi netransparentni objekat.
- Optički prekidači se primenjuju u fotokopir mašinama, štampačima, čitačima kartica, itd.
- Posebnu primenu nalaze u proizvodnim postrojenjima, gde se koriste unutar mašina za detekciju komada repromaterijala ili poluproizvoda.
- Često se izlaz optičkog prekidača povezuje na ulaz digitalnog brojača, što je korisno na linijama za pakovanje.

Fotootpornik

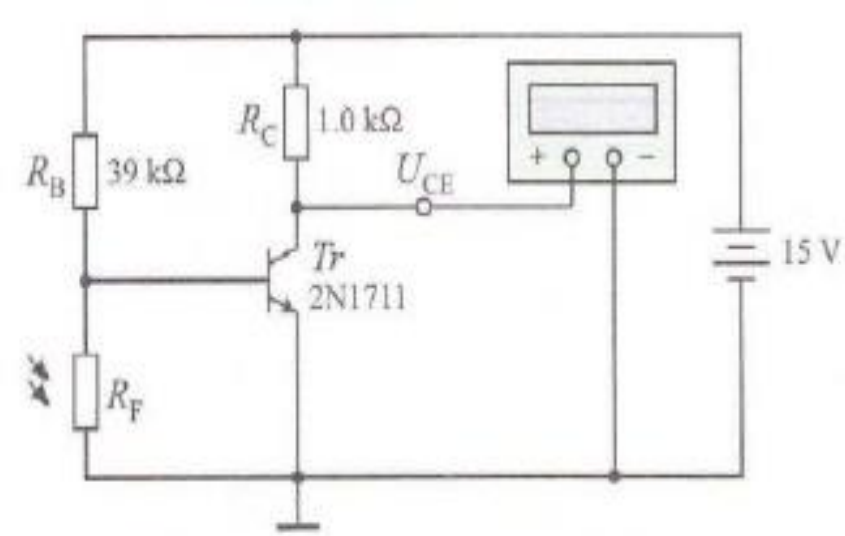
- **Fotootpornik** (***photoresistor*** **ili** ***light dependent resistor - LDR***) je otpornik, čiji se električni otpor smanjuje s povećanjem intenziteta upadne svetlosti.
- Fotootpornik se izrađuje od poluprovodnika sa velikim električnim otporom.
- Ako svetlo padne na fotootpornik, sa dovoljno velikom frekvencijom (granična frekvencija), poluprovodnik će upiti fotone svetlosti i izbaciti elektrone, koji stvaraju elektročnu struju, u zatvorenom strujnom kolu.





- Osvetljenjem fotootpornika stvaraju se parovi nosilaca naelektrisanja elektron-šupljina, a time se povećava provodnost materijala, tj. smanjuje električni otpor.

- Za izradu fotootpornika primjenjuju se kadmijum sulfid (CdS), kadmijum selenid (CdSe),germanijum (Ge), olovo sulfid (PbS), indijeum antimonid (InSb) i olovo selenid (PbSe)
- Izrađuju se tako da se kadmijum sulfid rasporedi u vijugavom obliku na keramičkoj podlozi kako bi se postigla veća površina
- Fotootpornici se upotrebljavaju za merenje osvetljenosti, osobito u fotografiji i kao sklopke u uređajima za brojanje, automatsko zatvaranje vrata, automatsko osvetljavanje i u alarmnim uređajima.
- U takvim uređajima fotootpornik je ugrađen u delitelj napona u bazi tranzistora za uključivanje.



Uključivanje tranzistorske sklopke pomoću fotootpornika