

# Elektronički Elementi i Sklopovi

---

Sadržaj predavanja:

1. LED diode
2. Sažetak predavanja o diodama
3. Teoretski zadaci sa diodama
4. Elektronički sklopovi sa diodama

# LED Diode

---

*LED dioda je poluvodički element (PN spoj) koji proizvodi vidljivo ili nevidljivo svjetlo kada je propusno polarizirana.*

Na propusno polariziranom PN spoju u blizini PN spoja dolazi do rekombinacije elektrona i šupljina. Kod rekombinacije, slobodni elektroni rekombiniraju sa šupljinama te prelaze iz vodljivog pojasa u valentni pojas.

Pri prelasku elektrona iz vodljivog pojasa u valentni pojas dolazi do otpuštanja energije.

Ta energija se može pojaviti u vidu topline ili u vidu vidljivog (ili nevidljivog) svjetla.

Kod silicija (Si) i germanija (Ge) energija najvećeg postotka slobodnih nosilaca koji rekombiniraju u blizini P-N spoja se oslobađa u vidu topline dok je postotak oslobođene energije u vidu svjetla zanemariv.

Zbog tog razloga, silicij i germanij se ne koristi za izradu LED diode.

# LED Diode

---

Diode izrađene od GaAs emitiraju svjetlo u infracrvenom području u procesu rekombinacije na PN spoju.

Iako je svjetlo GaAs dioda infracrveno (nevidljivo) takve diode imaju brojne primjene:

- sigurnosni sustavi
- industrijski detektori
- optocoupleri
- daljinski upravljači (garažna vrata, sustavi kućne zabave)

Onečišćenjem GaAs dioda pogodnim primjesama postiže se da se emitira vidljivo svjetlo raznih boja.

# LED Diode

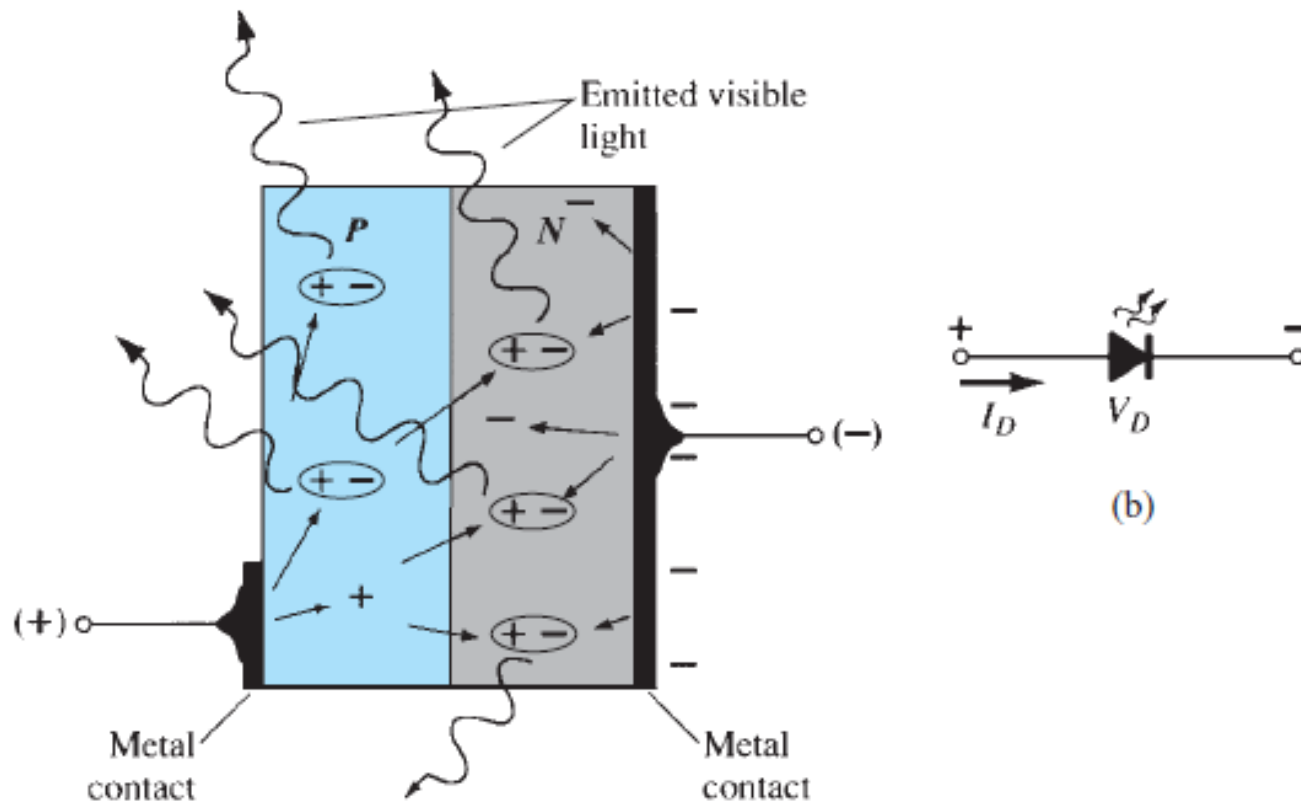
---

<b>Color</b>	<b>Construction</b>	<b>Typical Forward Voltage (V)</b>
Amber	AlInGaP	2.1
Blue	GaN	5.0
Green	GaP	2.2
Orange	GaAsP	2.0
Red	GaAsP	1.8
White	GaN	4.1
Yellow	AlInGaP	2.1

Elementi koji se koriste za dopiranje GaAs da se dobiju različite boje svijetla.

Iz tablice je vidljivo da LED diode različitih boja imaju različite napone koljena.

# LED Diode



Na slici je simbol LED diode (b).

Kod LED dioda je površina metala koji je spojen na izvode diode je manja nego kod običnih dioda iz razloga da se maksimizira proizvodnja svijetla.

*Frekvencijski opseg svjetlosnih valova koji se mogu proizvesti pomoću LED dioda je od 100 THz - 750 THz. Vidljivo svjetlo je u području od 400 - 750 THz.*

# LED Diode

---

Kada se govori o elektroluminescentnim poluvodičkim uređajima, najčešće govorimo o valnoj duljini emitiranog svjetla:

$$(1) \lambda = \frac{c}{f} [m]$$

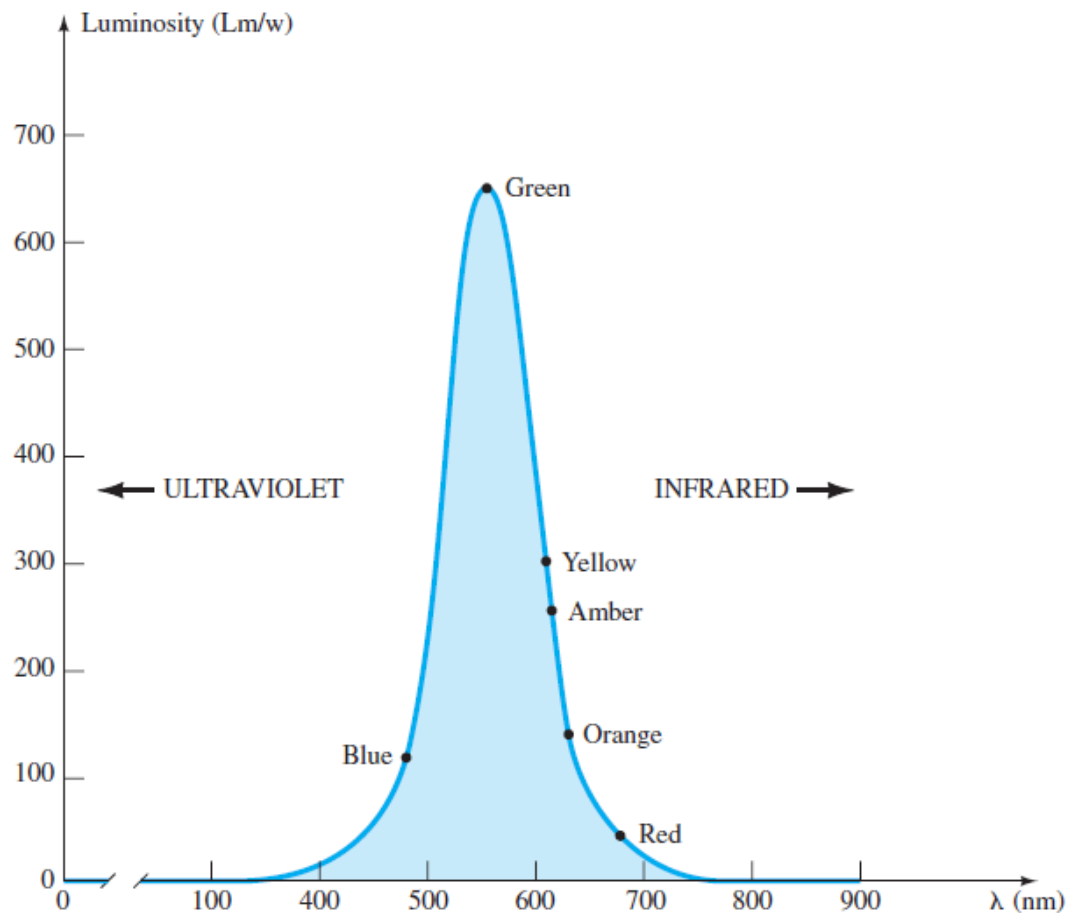
gdje je parametar  $c$  brzina svjetlosti u vakuumu  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Iz jednadžbe (1) se vidi da što je veća frekvencija to je manja valna duljina.

Većina proizvođačkih specifikacija koriste jedinice kao što su nanometri (nm) ili anstromi (Å). Jedan anstrom iznosi  $10^{-10} \text{ m}$  ili 0.1nm.

Kada se govori o elektroluminescentnim poluvodičkim uređajima treba imati u vidu i karakteristike ljudskog oka.

*Raspon vidljivih valnih duljina za ljudsko oko je od 350nm-800nm sa najvećom osjetljivošću na valne duljine od 550nm.*

# LED Diode



Odziv prosječnog ljudskog oka na svjetlosne podržaje. Oko je najosjetljivije na zelenu boju a najmanje na crvenu i plavu boju.

To znači da crveno i plavo svjetlo mora imati daleko veći intenzitet od zelenog svjetla da bi ljudsko oko vidjelo te boje jednakim intenzitetom.

# LED Diode

---

Kada elektroni i šupljine rekombiniraju, elektroni koji prelaze iz vodljivog u valentni pojas oslobađaju energiju. Budući da silicij ima manju energiju zabranjenog pojasa većina energije se oslobodi u vidu topline. GaAs ima veću energiju zabranjenog pojasa od silicija i većina energije se oslobađa u vidu svjetlosnih valova. Energija koja se oslobodi prelaskom iz vodljivog u valentni pojas se može izraziti pomoću jednadžbe:

$$(2) E_g = \frac{hc}{\lambda}$$

gdje je  $E_g$  [J] energija zabranjenog pojasa,  $h = 6.626 \times 10^{-34}$  [J · s] je Planckova konstanta,  $c = 3 \times 10^8$  [ $\frac{m}{s}$ ] je brzina svjetlosti u vakuumu i  $\lambda$  je valna duljina svjetlosti izražena u metrima.

*Iz jednadžbe (2) je vidljivo da je valna duljina svjetla koje emitiraju LED diode obrnuto proporcionalna širini zabranjenog pojasa.*



# LED Diode

---

Različiti poluvodički materijali imaju različite širine zabranjenog pojasa pa tako emitiraju svjetla različitih valnih duljina.

GaAsP ima širinu zabranjenog pojasa  $E_g = 1.9 \text{ eV}$  pa tako emitira svjetlo valne duljine  $\lambda = 654 \text{ nm}$  (crvena boja). GaAs ima  $E_g = 1.43 \text{ eV}$  te emitira svjetlo valne duljine  $\lambda = 869 \text{ nm}$  (infracrveno svjetlo nevidljivo ljudskom oku).

Da bi se dobilo svjetlo točno određene boje potrebno je dopirati poluvodički materijal (GaAs) sa takvim nečistoćama da se dobije točno određena širina zabranjenog pojasa i posljedično boja svjetla (valna duljina).

*Kod praktične primjene LED dioda treba imati u vidu da je probojni napon na LED diodi daleko manji od probojnog napona standardnih Si dioda (-80V ili više). Kod LED dioda je probojni napon tipično između -3V i -5V.*

# LED Diode

---

Kod sklopova sa LED diodama, za standardne diode (crvena, zelena, žuta) možemo uzeti da je napon propusne polarizacije oko 2V te da kroz njih teče struja oko 20mA.

Ako koristimo bijele i plave LED diode kod njih su naponi koljena (propusna polarizacija) oko 4V za bijeli led i 5V za plavi LED. Struja je oko 20mA slično kao i kod crvene, zelene i žute LED diode.

# Sažetak predavanja o diodama

---

1. Karakteristika idealne diode je slična idealnom prekidaču s tom razlikom da idealna dioda propušta struju u *samo jednom smijeru*.
2. Idealna dioda se može predstaviti kratkim spojem kada vodi struju (propusna polarizacija) te otvorenim krugom kada je reverzno polarizirana.
3. Poluvodički materijali imaju vodljivost negdje između dobrog vodiča i izolatora.
4. Kada dva susjedna atoma ostvare kovalentnu vezu to znači da dijele elektrone iz valentnog pojasa.
5. Broj slobodnih nosioca u polivodičkom materijalu se znatno povećava sa povećanjem temperature.
6. Većina poluvodičkih materijala koji se koriste u elektronici imaju negativni temperaturni koeficijent (vidi 5), što znači da otpor pada s porastom temperature. Kod vodiča otpor raste s porastom temperature.

# Sažetak predavanja o diodama

---

7. Inrasični materijali su oni koji imaju najniži nivo nečistoća (najniži koji dopušta tehnologija). Ekstrisični materijali su materijali dopirani atomima nečistoća.
8. N tip poluvodiča se dobije tako što se dodaje atom donora koji ima 5 valentnih elektrona. P tip poluvodiča se dobija tako što se doda atom akceptora koji ima 3 valentna elektrona.
9. Regija u P-N spoju koja nema slobodnih nosioca (elektrona ili šupljina) se naziva *osiromašeno područje*.
10. Ako na diodu nije narinut napon kroz diodu ne teče nikakva struja.
11. Kad je dioda propusno polarizirana struja kroz diodu raste eksponencijalno ovisno o narinutom naponu.
12. Kad je dioda nepropusno polarizirana kroz nju teče mala reverzna struja sve dok napon nepropusne polarizacije toliko ne poraste da dosegne probojni napon.

# Sažetak predavanja o diodama

---

13. Reverzna struja se udvističući za svakih  $10^{\circ}\text{C}$  povećanja temperature.
14. Statički otpor diode je omjer napona na diodi i struje koja teče kroz diodu u statičkoj radnoj točki. Statički otpor se smanjuje sa povećanjem napona na diodi.
15. Napon koljena je  $0.7\text{V}$  za silicijeve diode i  $0.3\text{V}$  za germanijeve diode.
16. Disipacija snage na diodi je jednaka produktu napona na diodi i struje koja teče kroz diodu.
17. Kapacitivnost diode raste eksponencijalno sa naponom propusne polarizacije diode.
18. Struja koja teče kroz Zennerovu diodu ima smijer obrnut od smijera struje kod propusne polarizacije. Također polaritet Zennerovog napona je obrnu od polariteta napona propusne polarizacije.
19. Crvene, zelene i žute led diode svijetle kada je na njima napon od oko  $2\text{V}$ . Bijele i plave LED diode trebaju  $4\text{V}$  i  $5\text{V}$  da bi svijetlile.

# Sažetak predavanja o diodama

---

Jednadžbe:

$$(3) I_D = I_S(e^{V_D/nV_T} - 1) \quad V_T = \frac{kT}{q} \quad T_K = T_C + 273^\circ \quad k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$(4) V_K \cong 0.7V \text{ (Si)}$$

$$(5) V_K \cong 1.2V \text{ (GaAs)}$$

$$(6) V_K \cong 0.3V \text{ (Ge)}$$

$$(7) R_D = \frac{V_D}{I_D} \quad (\text{statički otpor diode})$$

$$(8) r_D = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \cong n \frac{26 \text{ mV}}{I_D} \quad (\text{dinamički otpor diode})$$

$$(9) r_{av} = \left. \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \right|_{pt.to pt.} \quad (\text{prosječni otpor diode})$$

$$(10) P_{D_{max}} = V_D I_D \quad (\text{maksimalna disipirana snaga})$$

# Teoretski zadaci o diodama

---

1. Objasnite (vlastitim riječima) što je to intrisični poluvodič, negativni temperaturni koeficijent i kovalentna veza.
2. Objasniti zašto poluvodič ima negativni temperaturni koeficijent i zašto vodič ima pozitivni temperaturni koeficijent.
3. Objasniti razliku između P tipa poluvodiča i N tipa poluvodiča.
4. Objasniti razliku između donorskih i akceptorskih nečistoća.
5. Objasniti razliku između većinskih i manjinskih nosioca naboja.
6. Skicirati kristalnu rešetku silicija (Si) kada je onečišćen atomima arsena (As)
7. Objasniti što se događa na PN spoju kada je propusno polariziran i kada je nepropusno polariziran.

# Teoretski zadaci o diodama

---

8. Izračunati termalni potencijal  $V_T$  za diodu na temperaturi od  $20^\circ\text{C}$ . Koristeći Shocklyevu jednadžbu treba izračunati struju kroz diodu  $I_D$  ako je reverzna struja zasićenja  $I_S = 40 \text{ nA}$ ,  $n = 2$  (napon diode je manji od napona koljena) i ako je napon na diodi  $V_D = 0.5\text{V}$ .
9. Pod pretpostavkom da je  $I_S = 5 \mu\text{A}$  na  $100^\circ\text{C}$  izračunati struju kroz diodu na  $100^\circ\text{C}$  koristeći parametre iz prethodnog zadatka ( $n = 2$ ,  $V_D = 0.5\text{V}$ ).
10. Koristeći Shocklyevu jednadžbu treba izračunati struju  $I_D$  koja teče kroz diodu na  $20^\circ\text{C}$  ako je dioda reverzno polarizirana  $V_D = -10\text{V}$  ( $I_S = 0.1 \mu\text{A}$ ,  $n = 2$ ). Da li je dobiveni rezultat očekivan i zašto?
11. Ako je struja kroz diodu  $I_D = 8 \text{ mA}$  ( $n = 1$ ) treba izračunati reverznu struju zasićenja  $I_S$  ako je napon na diodi  $V_D = 0.5\text{V}$  i temperatura  $25^\circ\text{C}$ .
12. Ako je struja kroz diodu  $I_D = 6 \text{ mA}$ ,  $V_T = 26 \text{ mV}$ ,  $n = 1$ ,  $I_S = 1 \text{ nA}$  izračunati napon na diodi  $V_D$ .

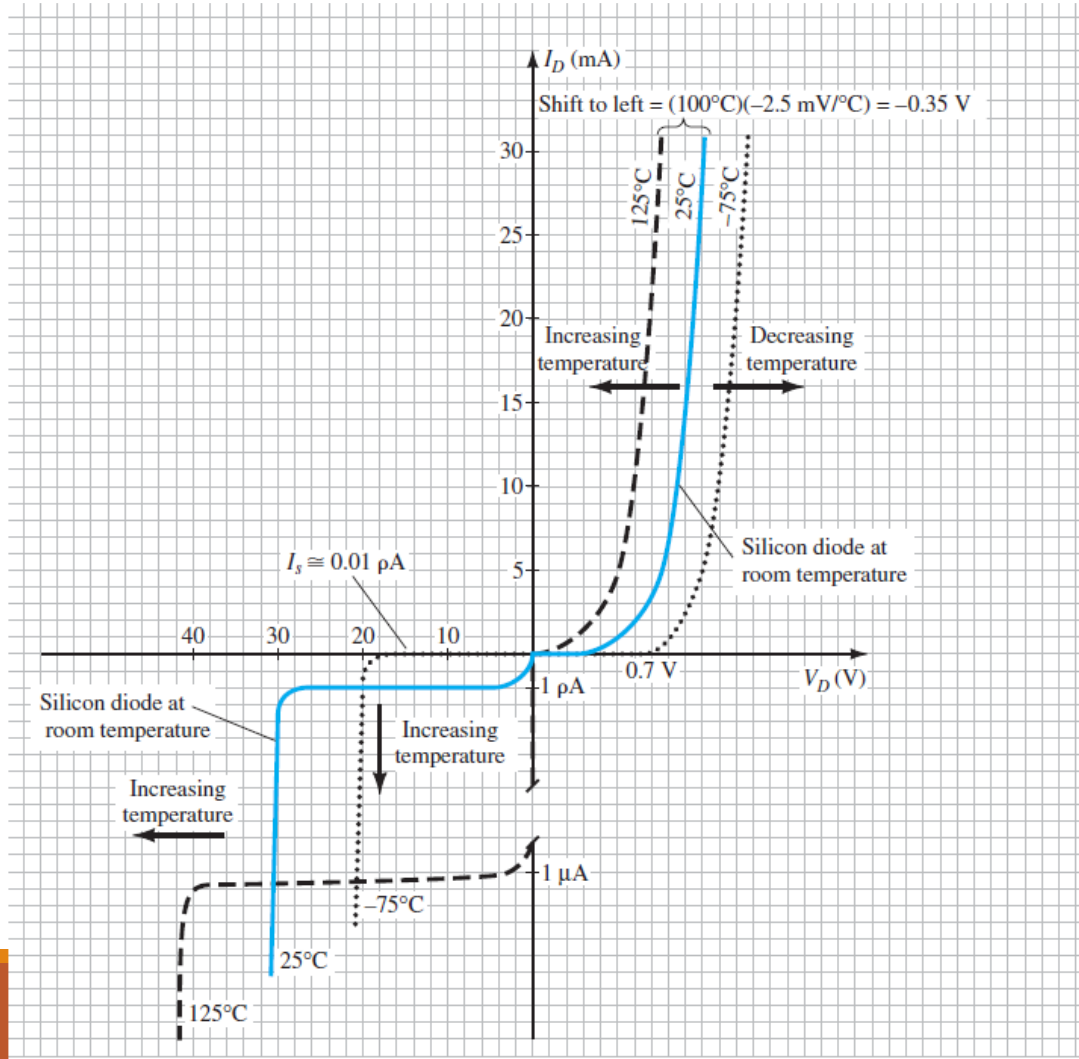


# Teoretski zadaci o diodama

---

17. Kod reverzne polarizacije diode, reverzna struja zasićenja iznosi  $I_S = 0.1 \mu A$  ( $20^\circ C$ ). Treba otprilike izračunati reverznu struju zasićenja pri istom reverznom naponu na  $40^\circ C$ .

# Teoretski zadaci o diodama



18. Iz karakteristike na slici treba odrediti pad napona  $V_D$  na diodi za struju  $I_D = 10 \text{ mA}$  za temperature  $-75^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$  i  $125^\circ\text{C}$ . Za svaku od temperatura treba izračunati reverznu struju zasićenja  $I_S$ .

# Teoretski zadaci o diodama

---

19. Nacrtati karakteristiku idealne diode. Nacrtati nadomjesni sklop idealne diode kad je dioda propusno i kad je nepropusno polarizirana. Objasniti nadomjesni sklop za oba slučaja (kad dioda vodi i ne vodi), tj. zašto je baš takav nadomjesni sklop prikladan?
20. Koja je bitna razlika između idealnog prekidača i idealne diode?
21. Izračunati statički otpor  $R_D$  za diodu iz zadatka 18. pri temperaturi  $25^\circ\text{C}$  ako je struja  $I_D$  koja teče kroz diodu  $I_D = 4 \text{ mA}$ .
22. Izračunati statički otpor  $R_D$  za diodu iz zadatka 18. pri temperaturi  $25^\circ\text{C}$  ako je struja  $I_D$  koja teče kroz diodu  $I_D = 15 \text{ mA}$ . Usporediti rezultate sa onima iz zadatka 21.
23. Izračunati statički otpor  $R_D$  za diodu iz zadatka 18. pri temperaturi  $25^\circ\text{C}$  za napone reverzne polarizacije od  $-10\text{V}$  i  $-30\text{V}$ . Usporediti rezultate i objasniti razliku!

# Teoretski zadaci o diodama

---

24. Izračunati statički i dinamički otpor za diodu iz zadatka 18 (na 25°C) pri struji propusne polarizacije od 10mA. Usporediti rezultate!

25. Za struju od 10mA izračunati dinamički otpor diode koristeći jednadžbu (8). Zatim treba odrediti dinamički otpor iz karakteristike na slici iz zadatka 18 (na 25°C) pod pretpostavkom da je AC struja na diodi sinusoidalnog oblika  $I_D = 10mA + 5mA \sin(\omega t)$ . Usporediti dobivene dinamičke otpore i objasniti razliku.

26. Izračunati dinamički otpor diode za struje  $I_D = 1mA$  i  $I_D = 15mA$  (na 25°C) . Zaključite što se generalno događa sa dinamičkim otporom diode ako struja propusne polarizacije raste.

27. Kapacitet diode je 8pF kad napon nije narinut na diodu. Napon koljena diode je  $V_K = 0.7V$  i faktor  $n = \frac{1}{2}$ . Koliki je kapacitet osiromašenog sloja ako je dioda reverzno polarizirana naponom od -5V ?

28. Odrediti temperaturni koeficijent nominalne 5V Zenner diode (nominalne vrijednosti su na 25°C) ako Zennerov napon padne na 4.8V na temperaturi 100°C.