

PN SPOJ – DIODA

Napomena: Izvođenja su data radi potpunosti materijala.

Ugrađeni napon u prelaznoj oblasti *pn* spoja

Posmatramo dijagram energetske nivoa na p-n spoju. Kada elektroni iz provodne zone n tipa poluprovodnika prelaze u provodnu zonu poluprovodnika p tipa nailaze na potencijalnu barijeru. Energija potrebna za prelaz definiše ugrađeno električno polje, tj. ugrađeni napon u prelaznoj oblasti. Slično važi i za šupljine pri prelazu iz p u n tip poluprovodnika. Ovaj napon se ne može meriti, jer bi se stvorila barijera između sonde i poluprovodnika što poništava V_{bi} .

ZADATAK 1. Kapacitivnost prostornog naelektrisanja skokovitog PN spoja pri naponu polarizacije $V_1 = -5$ V je $C_1 = 20$ pF, a pri $V_2 = -6$ V je $C_2 = 18.5$ pF. Odrediti kapacitivnost C_3 pri polarizaciji $V_3 = -8$ V.

Rešenje:

$$C = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{V}{V_{bi}}}}, \quad \text{Nepoznate veličine su } V_{bi} \text{ i } C_0$$

Pri zadatim polarizacijama, kapacitivnosti prostornog naelektrisanja PN spoja C_1 i C_2 iznose:

$$C_1 = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{V_1}{V_{bi}}}} \quad \text{i} \quad C_2 = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{V_2}{V_{bi}}}}$$

Deljenjem ova dva izraza dobija se:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\sqrt{1 - \frac{V_2}{V_{bi}}}}{\sqrt{1 - \frac{V_1}{V_{bi}}}}$$

Daljim kvadriranjem dobiće se:

$$\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^2 = \frac{1 - \frac{V_2}{V_{bi}}}{1 - \frac{V_1}{V_{bi}}} = \frac{\frac{V_{bi} - V_2}{V_{bi}}}{\frac{V_{bi} - V_1}{V_{bi}}} = \frac{V_{bi} - V_2}{V_{bi} - V_1} \quad \rightarrow \quad \left(\frac{C_1}{C_2}\right)^2 \cdot (V_{bi} - V_1) = V_{bi} - V_2$$

Iz ovog izraza moguće je doći do izraza za određivanje napona V_{bi} , jer su svi ostali parametri poznati:

$$V_{bi} \left[\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^2 - 1 \right] = \left(\frac{C_1}{C_2}\right)^2 V_1 - V_2$$

Konačan izraz i vrednost je:

$$V_{bi} = \frac{\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^2 V_1 - V_2}{\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^2 - 1} = \frac{\left(\frac{20 \text{ pF}}{18.5 \text{ pF}}\right)^2 (-5) - (-6)}{\left(\frac{20 \text{ pF}}{18.5 \text{ pF}}\right)^2 - 1} = 0.9264 \text{ V}$$

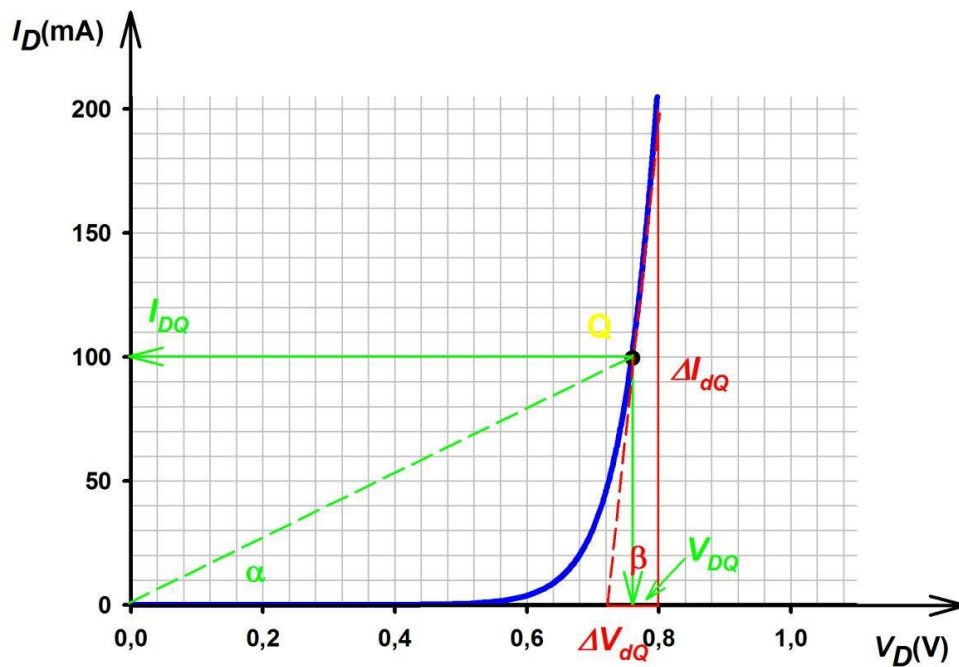
Vraćanjem ove vrednosti u neki od početnih izraza za kapacitivnost, moguće je odrediti C_0 :

$$C_1 = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{V_1}{V_{bi}}}} \rightarrow C_0 = C_1 \sqrt{1 - \frac{V_1}{V_{bi}}} = 20 \text{ pF} \sqrt{1 - \frac{(-5 \text{ V})}{0.9264 \text{ V}}} = 50.585 \text{ pF}$$

Svi parametri su određeni, pa se za kapacitivnost pri polarizaciji $V_3 = -8 \text{ V}$ dobija:

$$C_3 = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{V_3}{V_{bi}}}} = \frac{50.585 \text{ pF}}{\sqrt{1 - \frac{(-8 \text{ V})}{0.9264 \text{ V}}}} = 16.3 \text{ pF}$$

Otpornost diode



Statička (DC) otpornost diode u radnoj tački Q se definiše kao:

$$R_S = \frac{V_{DQ}}{I_{DQ}}$$

Dinamička (AC) otpornost diode se definiše kao:

$$r_d = \frac{\Delta V_{dQ}}{\Delta I_{dQ}} = \frac{1}{\text{tg } \beta}$$

Dinamička otpornost može se odrediti na osnovu Šoklijevog izraza za struju diode:

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{V_t}} - 1 \right)$$

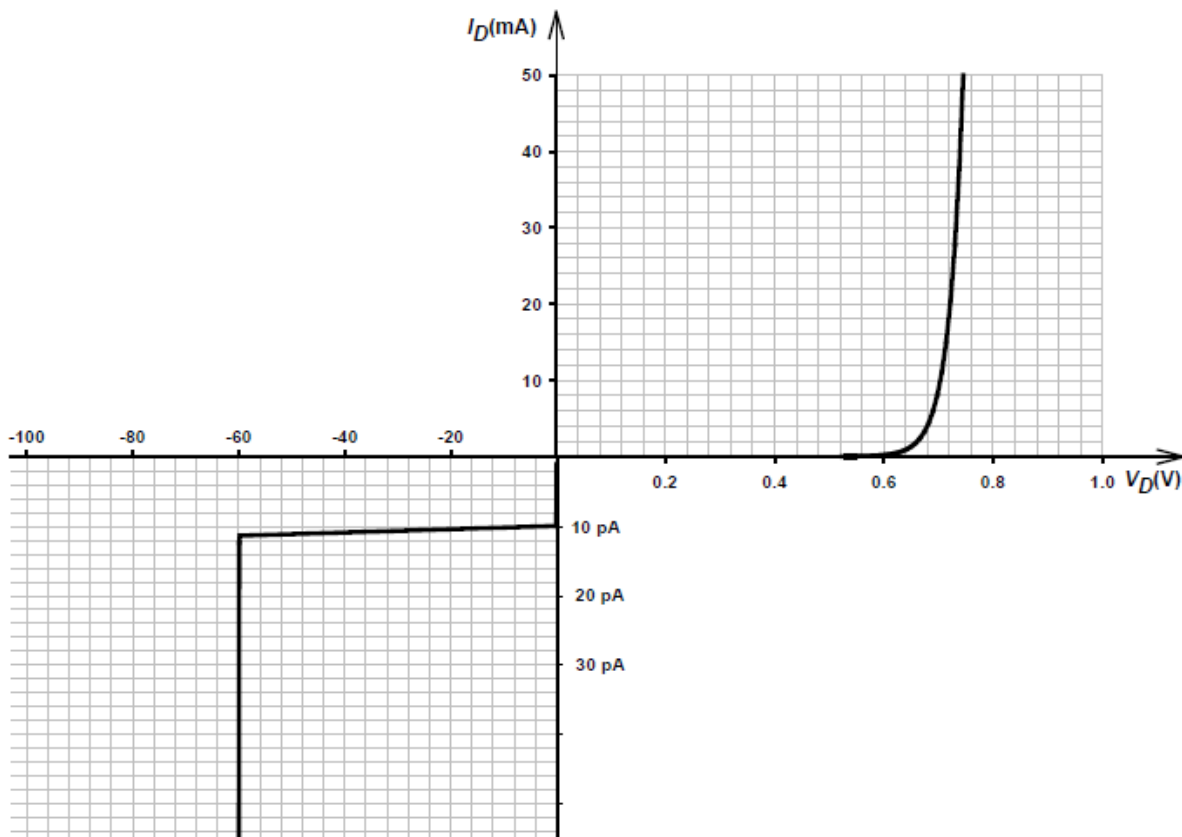
tako da je:

$$r_d = \frac{dV_D}{dI_D} = \frac{1}{\frac{dI_D}{dV_D}} = \frac{1}{d \left[I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_t}} - 1 \right) \right]} = \frac{1}{I_s \cdot e^{\frac{V_D}{nV_t}} \cdot \frac{1}{nV_t}} = \frac{nV_t}{I_D}$$

pri čemu je $n = 2$ za napone manje od napona vođenja a $n = 1$ za napone veće od napona vođenja diode. Ovde nisu uključene otpornosti tela i kontakata diode.

ZADATAK 2. Za diskretnu Si diodu (1N4001) čija je strujno-naponska karakteristika na sobnoj temperaturi data na slici:

- Odrediti statičku i dinamičku otpornost, kao i otpornost na osnovu Šoklijevog izraza za $I_{D1} = 4 \text{ mA}$ i $I_{D2} = 24 \text{ mA}$,
- Odrediti dinamičku otpornost i probojni napon u inverznom režimu rada,
- Odrediti kolika greška se unosi u razmatranje kola koje sadrži ovu diodu ukoliko se upotrebi praktičan model umesto realnog pri struji od 24 mA ,
- Koliki napon je potreban da bi struja diode bila 30 mA na temperaturama $100 \text{ }^\circ\text{C}$ i $-55 \text{ }^\circ\text{C}$?



Rešenje:

- Za struju $I_{D1} = 4 \text{ mA}$, sa karakteristike se očitava napon $V_{D1} = 0.68 \text{ V}$, pa statička otpornost iznosi:

$$R_{S1} = \frac{V_{D1}}{I_{D1}} = \frac{0.68 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 170 \text{ } \Omega$$

Sa karakteristike očitava se da pri promeni napona $\Delta V_{D1} = 0.08 \text{ V}$, dolazi do promene struje $\Delta I_{D1} = 9 \text{ mA}$, pa će dinamička otpornost biti:

$$r_{d1} = \frac{\Delta V_{D1}}{\Delta I_{D1}} = \frac{0.08 \text{ V}}{9 \text{ mA}} = 8.89 \Omega$$

Dinamička otpornost na osnovu Šoklijevog izraza je:

$$r_{dš1} = \frac{nV_t}{I_{D1}} = \frac{2 \cdot 26 \text{ mV}}{4 \text{ mA}} = 13 \Omega$$

uzima se da je $n = 2$ pošto dioda još uvek ne vodi (ne protiče značajna struja).

Za struju $I_{D2} = 24 \text{ mA}$, sa karakteristike očitava se napon $V_{D2} = 0.72 \text{ V}$, pa statička otpornost iznosi:

$$R_{S2} = \frac{V_{D2}}{I_{D2}} = \frac{0.72 \text{ V}}{24 \text{ mA}} = 30 \Omega$$

Sa karakteristike očitava se da pri promeni napona $\Delta V_{D2} = 0.02 \text{ V}$ dolazi do promene struje $\Delta I_{D2} = 14 \text{ mA}$, pa će dinamička otpornost biti:

$$r_{d2} = \frac{\Delta V_{D2}}{\Delta I_{D2}} = \frac{0.02 \text{ V}}{14 \text{ mA}} = 1.43 \Omega$$

Dinamička otpornost na osnovu Šoklijevog izraza je:

$$r_{dš2} = \frac{nV_t}{I_{D2}} = \frac{1 \cdot 26 \text{ mV}}{24 \text{ mA}} = 1.083 \Omega$$

uzima se da je $n = 1$ pošto dioda vodi (protiče značajna struja).

b) Probojni napon iznosi $V_R = -60 \text{ V}$. Dinamička otpornost u inverznom režimu rada je:

$$r_{dR} = \frac{\Delta V_{DR}}{\Delta I_{DR}} = \frac{60 \text{ V}}{2 \text{ pA}} = 30 \text{ T}\Omega$$

c) Praktični model diode podrazumeva da je napon na diodi isti za sve struje i jednak je naponu vođenja diode, a smatra se da iznosi 0.7 V .

Sa karakteristike realnog modela očitano je napon na diodi pri struji od 24 mA i on iznosi 0.72 V .

Razlika ovih napona je 0.02 V što bi predstavljalo grešku kada bi se umesto realnog koristio praktičan model.

d) Poznato je da se strujno-naponska karakteristika pomera ulevo za 2 mV pri porastu temperature za $1 \text{ }^\circ\text{C}$, pa tu činjenicu iskoristiti za proračun. U suštini, ukoliko se temperatura povećava, ista struja će proticati pri manjem naponu, a u slučaju da se temperatura smanjuje, onda se očekuje ista struja pri većem naponu.

Formula pomoću koje se vrši proračun za vrednost napona V_T na nekoj temperaturi T , ukoliko je poznat pad napona $V_{25^\circ\text{C}}$ na referentnoj temperaturi T_{25} je:

$$V_T = V_{25^\circ\text{C}} - (T - T_{25^\circ\text{C}}) \cdot 2 \cdot 10^{-3}$$

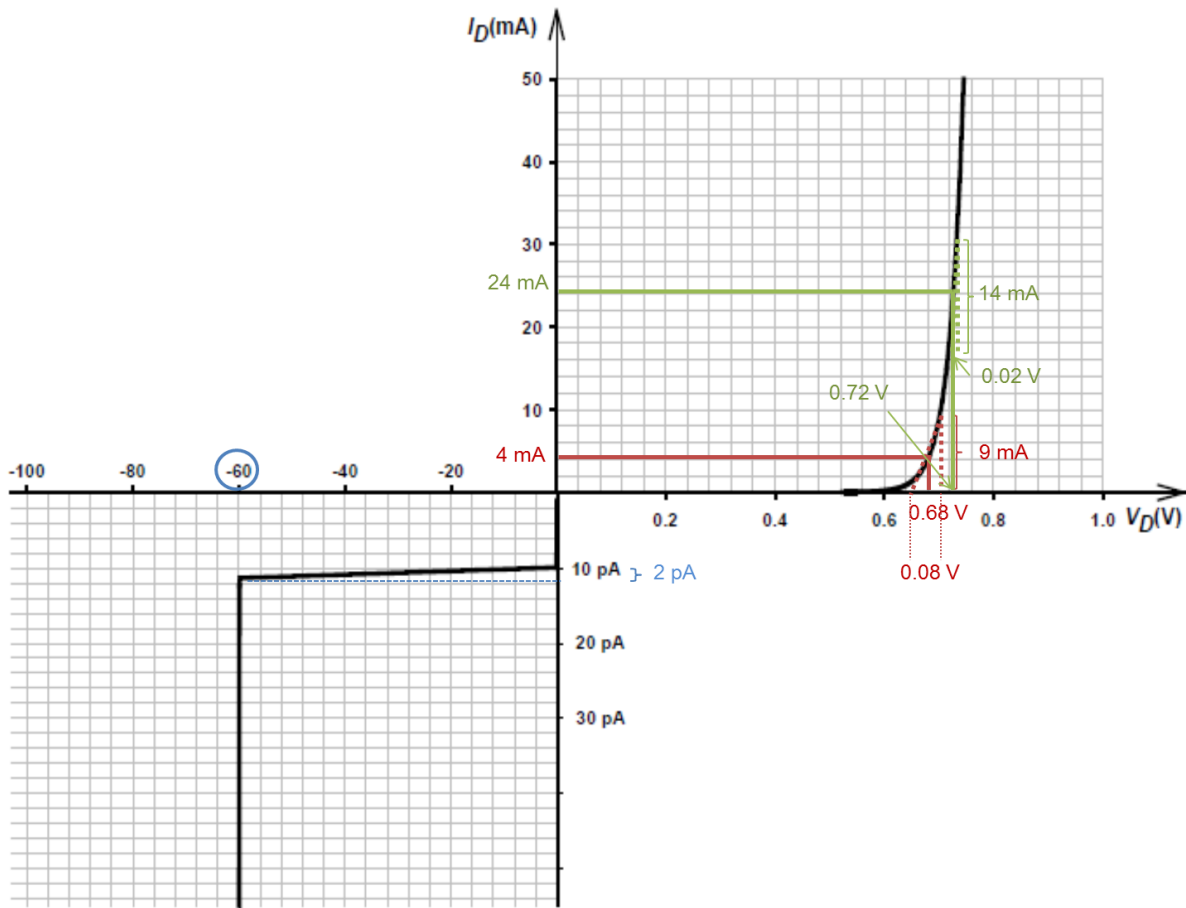
Na sobnoj temperaturi od $25 \text{ }^\circ\text{C}$, pri struji od 30 mA napon je jednak 0.73 V .

Na $100 \text{ }^\circ\text{C}$ će ista struja teći kroz diodu pri naponu:

$$V_{100^\circ\text{C}} = V_{25^\circ\text{C}} - (T_{100^\circ\text{C}} - T_{25^\circ\text{C}}) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.73 \text{ V} - (100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}} = 0.58 \text{ V}$$

Sa druge strane, da bi se postigla ista struja kroz diodu na temperaturi $-55 \text{ }^\circ\text{C}$, potreban napon biće:

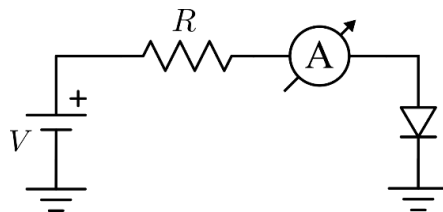
$$V_{-55^\circ\text{C}} = V_{25^\circ\text{C}} - (T_{-55^\circ\text{C}} - T_{25^\circ\text{C}}) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.73 \text{ V} - (-55^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}} = 0.89 \text{ V}$$



Primena dioda

Napomena: Primena dioda u ispravljачkim kolima (jednostrani i dvostrani ispravljачi), kliperima, klamperima i množačima biće obrađena u okviru vežbi na računaru (kroz simulaciju u LT Spice-u) i na laboratorijskim vežbama (praktična realizacija).

ZADATAK 3. U kolu sa slike iskorišćena je silicijumska dioda čija je inverzna struja zasićenja $I_S = 6.4 \cdot 10^{-14}$ A a izmerena struja u kolu je 10 mA. Odrediti vrednost otpornosti otpornika R i napone na otporniku i diodi. Poznato je: $V = 5$ V. Ukoliko se silicijumska dioda zameni LED diodom koja vodi pri $V_{LED} = 2$ V, odrediti otpornosti otpornika R tako da struja kroz LED diodu bude $I_{LED} = 20$ mA.



Rešenje:

Napon na diodi se može odrediti iz Šoklijevog izraza za struju diode (struju koju meri ampermetar):

$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \approx I_S \cdot e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

$$\frac{I_D}{I_S} = e^{\frac{V_D}{V_T}} \quad / \ln$$

$$\ln \frac{I_D}{I_S} = \frac{V_D}{V_T} \quad \rightarrow \quad V_D = V_T \cdot \ln \frac{I_D}{I_S} = 0.67 \text{ V}$$

Dato kolo se može opisati jednačinom iz koje se može odrediti vrednost otpornika R :

$$V = R \cdot I_D + V_D \quad \rightarrow \quad R = \frac{V - V_D}{I_D} = 433 \Omega$$

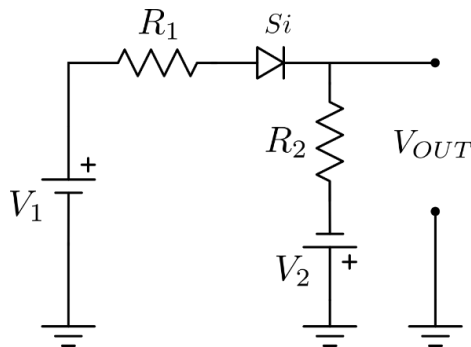
Napon na otporniku iznosi:

$$V_R = R \cdot I_D = 4.33 \text{ V}$$

Kada se Si dioda zameni LED diodom dobija se da je otpornost R :

$$R = \frac{V - V_{LED}}{I_{LED}} = 150 \Omega$$

ZADATAK 4. Za redno diodno kolo sa slike odrediti struju u kolu i napon V_{OUT} . Poznato je: $V_1 = 10 \text{ V}$, $V_2 = 5 \text{ V}$, $R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega$, $V_{Si} = 0.7 \text{ V}$.

**Rešenje:**

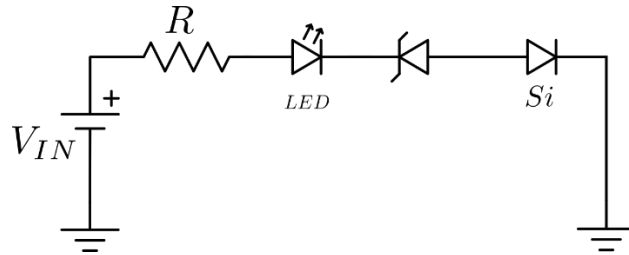
Kolo sa slike može se opisati jednačinom odakle se određuje vrednost struje:

$$V_1 = R_1 \cdot I + V_{Si} + R_2 \cdot I - V_2 \quad \rightarrow \quad I = \frac{V_1 - V_{Si} + V_2}{R_1 + R_2} = 2.07 \text{ mA}$$

Izlazni napon iznosi:

$$V_{OUT} = R_2 \cdot I - V_2 = -0.44 \text{ V}$$

ZADATAK 5. Za kolo na slici odrediti maksimalnu vrednost otpornika za koju će LED dioda svetleti punim sjajem na $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, ako je $V_{IN} = 12\text{ V}$. Parametri dioda su: $V_{Si}(T_0 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}) = 0.7\text{ V}$, $V_{LED}(T_0 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}) = 5\text{ V}$, $V_Z(T_0 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}) = 3.3\text{ V}$, $T_{CZ} = -0.072\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{V}$.



Rešenje:

Da bi LED dioda svetlela punim intenzitetom potrebno je da struja kroz nju bude $I_{LED} = 20\text{ mA}$. Što znači da bi se na temperaturi $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ovo kolo moglo opisati jednačinom odakle se određuje otpornost R :

$$V_{IN} = R \cdot I_{LED} + V_{LED} + V_Z + V_{Si} \rightarrow R = \frac{V_{IN} - V_{LED} - V_Z - V_{Si}}{I_{LED}} = \frac{12\text{ V} - 5\text{ V} - 3.3\text{ V} - 0.7\text{ V}}{20\text{ mA}} = 150\ \Omega$$

Na temperaturi $T = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ pad napona na Zenerovoj i silicijumskoj diodi će se promeniti dok se za LED diodu smatra da pad napona ostaje isti.

Kod silicijumske diode se sa povećanjem temperature strujno-naponska karakteristika pomera ulevo za $2\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, to znači da će napon na njoj iznositi:

$$V_{Si}(75\text{ }^{\circ}\text{C}) = V_{Si}(25\text{ }^{\circ}\text{C}) - \Delta T \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.7 - (75 - 25) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.6\text{ V}$$

Za Zener diodu važi:

$$V_Z(75\text{ }^{\circ}\text{C}) = V_Z(25\text{ }^{\circ}\text{C}) + \Delta V_Z$$

ΔV_Z se određuje preko poznatog temperaturnog koeficijenta i Zenerovog napona:

$$\Delta V_Z = \frac{T_{CZ}}{100} \cdot \Delta T \cdot V_Z = \frac{-0.072\ \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}}{100\ \%} \cdot (75\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}) \cdot 3.3\text{ V} = -0.1188\text{ V}$$

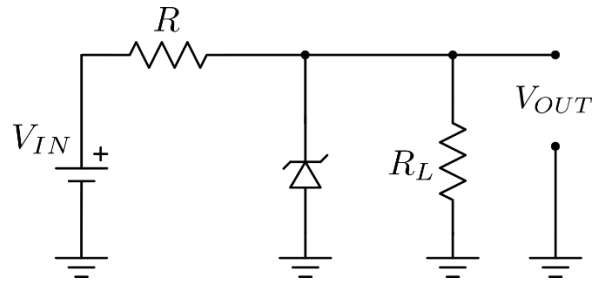
Pa se za napon na Zener diodi na temperaturi od $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ dobija:

$$V_Z(75\text{ }^{\circ}\text{C}) = 3.3 + (-0.1188) = 3.1812\text{ V}$$

I na kraju otpornost se nalazi kao:

$$R = \frac{V_{IN} - V_{LED} - V_Z(75\text{ }^{\circ}\text{C}) - V_{Si}(75\text{ }^{\circ}\text{C})}{I_{LED}} = 160.94\ \Omega$$

ZADATAK 6. U kolu stabilizatora napona (slika) iskorišćena je Zener dioda, čiji je Zenerov napon: $V_Z = 6.8 \text{ V}$. Poznato je: $R = 100 \Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$.



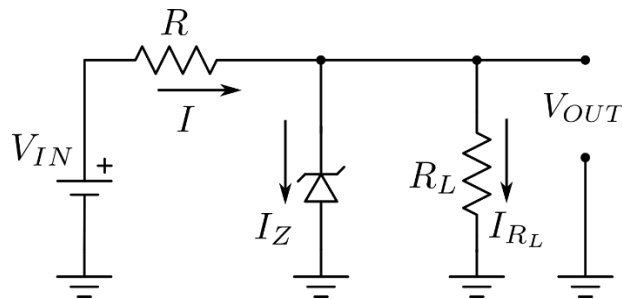
- Odrediti minimalnu vrednost napona V_{IN} za koju će kolo ispravno raditi,
- Odrediti maksimalnu vrednost napona V_{IN} koja sme da se dovede na ulaz a da dioda ne pregori, ako je maksimalna dozvoljena disipacija na diodi $P_{max} = 220 \text{ mW}$,
- Ako se kolo napaja sa $V_{IN} = 12 \text{ V}$, odrediti opseg otpornosti potrošača za koje će kolo ispravno raditi, ako je maksimalna dozvoljena disipacija na diodi $P_{max} = 220 \text{ mW}$,
- Ova Zenerova dioda (6.8 V na $25 \text{ }^\circ\text{C}$) ima pozitivni temperaturni koeficijent $0.05 \text{ } \%/^\circ\text{C}$. Odrediti Zenerov napon na $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Rešenje:

- Zener dioda i potrošač R_L su vezani paralelno, što znači da je napon na njima isti. Taj napon je ujedno izlazni napon V_{OUT} . U slučaju ispravnog rada ovog kola (kada kolo radi kao stabilizator), podrazumeva se da je izlazni napon V_{OUT} konstantan i jednak Zenerovom naponu V_Z . Ukoliko se uoči naponski razdelnik koji formiraju otpornik R i potrošač R_L , dato kolo se može opisati jednačinom iz koje će se odrediti minimalna vrednost ulaznog napona:

$$V_{OUT} = V_Z = \frac{R_L}{R_L + R} \cdot V_{INmin} \quad \rightarrow \quad V_{INmin} = \frac{V_Z \cdot (R_L + R)}{R_L} = \frac{6.8 \text{ V} \cdot (1000 + 100) \Omega}{1000 \Omega} = 7.48 \text{ V}$$

- Kroz otpornik R protiče struja koja je jednaka zbiru struje kroz Zener diodu i kroz potrošač. Struju Zener diode odrediti na osnovu poznate maksimalne snage disipacije Zener diode P_{max} i pada napona na njoj V_Z . Struju kroz potrošač R_L odrediti na osnovu pada napona na njemu V_Z i njegove otpornosti R_L .



Dato kolo se može opisati jednačinom:

$$V_{INmax} = R \cdot I + V_Z = R \cdot (I_Z + I_{R_L}) + V_Z = R \cdot \left(\frac{P_{max}}{V_Z} + \frac{V_Z}{R_L} \right) + V_Z$$

$$V_{INmax} = 100 \cdot \left(\frac{0.220 \text{ W}}{6.8 \text{ V}} + \frac{6.8 \text{ V}}{1000 \Omega} \right) + 6.8 \text{ V} = 10.72 \text{ V}$$

- Za određivanje minimalne vrednosti otpornosti opterećenja kolo posmatrati kao razdelnik napona u slučaju pod a) ukoliko je priključeno na ulazni napon $V_{IN} = 12 \text{ V}$:

$$R_{Lmin} = \frac{V_Z}{V_{IN} - V_Z} \cdot R = \frac{6.8 \text{ V}}{12 \text{ V} - 6.8 \text{ V}} \cdot 100 \Omega = 130.8 \Omega$$

Za određivanje maksimalne vrednosti otpornosti opterećenja kolo posmatrati kao u slučaju pod b) kad je priključeno na ulazni napon $V_{IN} = 12 \text{ V}$:

$$R_{Lmax} = \frac{V_Z}{\frac{V_{IN} - V_Z}{R} - \frac{P_{max}}{V_Z}} = \frac{6.8 \text{ V}}{\frac{12 - 6.8 \text{ V}}{100 \Omega} - \frac{0.220 \text{ W}}{6.8 \text{ V}}} = 346 \Omega$$

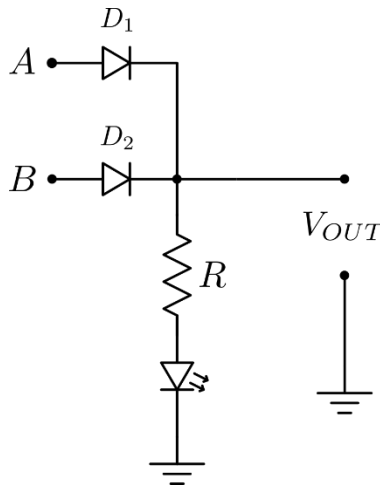
d) Promena Zenerovog napona na temperaturi od $100 \text{ }^\circ\text{C}$ iznosi:

$$\Delta V_Z = \frac{T_{CZ}}{100} \cdot \Delta T \cdot V_Z = \frac{0.05 \frac{\%}{^\circ\text{C}}}{100 \%} \cdot (100 - 25)^\circ\text{C} \cdot 6.8 \text{ V} = 0.255 \text{ V}$$

Pa se za Zenerov napon dobija:

$$V_Z(100 \text{ }^\circ\text{C}) = 6.8 \text{ V} + 0.255 \text{ V} = 7.055 \text{ V}$$

ZADATAK 7. Kolo sa slike je ILI (OR) gejt. Diode D_1 i D_2 su identične i napon vođenja je 0.7 V pri temperaturi $25 \text{ }^\circ\text{C}$.



a) Popuniti tabelu i odrediti vrednost otpornosti otpornika R , ako je struja neophodna da LED dioda daje intenzivnu svetlost 10 mA , pri čemu je napon na njoj 2 V . Koristiti praktični model diode.

$A[\text{V}]$	$B[\text{V}]$	$V_{OUT}[\text{V}]$	$I_{D_1}[\text{mA}]$	$I_{D_2}[\text{mA}]$
0	0			
0	5			
5	0			
5	5			

b) Za koliko će se promeniti izlazni napon ako se temperatura poveća na $55 \text{ }^\circ\text{C}$? Smatrati da se otpornost otpornika i napon na LED diodi ne menjaju sa temperaturom.

Rešenje:

- a) Kada su ulazi A i B na logičkoj nuli, neće voditi ni dioda D_1 ni dioda D_2 , pa će i izlazni napon biti jednak nuli, kao i struje kroz obe diode.

Kada je jedan od ulaza na logičkoj jedinici (5 V) a drugi na logičkoj nuli (0 V), samo jedna dioda vodi pa će izlazni napon biti jednak ulaznom naponu umanjenom za napon vođenja pomenute diode:

$$V_{OUT} = V_A - V_{D1} = 5 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 4.3 \text{ V} \quad \text{ili} \quad V_{OUT} = V_B - V_{D2} = 5 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 4.3 \text{ V}$$

S obzirom da u ovom slučaju vodi samo jedna dioda, struja kroz tu diodu će biti jednaka struji LED diode. To znači da je struja kroz diodu koja vodi 10 mA, a kroz diodu koja ne vodi 0 mA.

Kada su oba ulaza na logičkoj jedinici (5 V), vode obe diode. I u ovom slučaju će izlazni napon biti jednak ulaznom naponu umanjenom za pad napona na jednoj diodi (zato što su diode D_1 i D_2 vezane paralelno) $V_{OUT} = 4.3 \text{ V}$. Međutim ukupna struja kroz LED diodu je zbir struja dioda D_1 i D_2 , što znači da će u ovom slučaju struja kroz obe diode biti 5 mA.

$A[\text{V}]$	$B[\text{V}]$	$V_{OUT}[\text{V}]$	$I_{D1}[\text{mA}]$	$I_{D2}[\text{mA}]$
0	0	0	0	0
0	5	4.3	0	10
5	0	4.3	10	0
5	5	4.3	5	5

Vrednost otpornika R se može odrediti iz jednačine:

$$V_{OUT} = R \cdot I_{LED} + V_{LED} \quad \rightarrow \quad R = \frac{V_{OUT} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{4.3 \text{ V} - 2 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 230 \Omega$$

- b) Napon na diodama D_1 i D_2 pri temperaturi $T = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ će biti:

$$V_{D1,2}(55 \text{ }^\circ\text{C}) = V_{D1,2}(25 \text{ }^\circ\text{C}) - \Delta T \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.7 - (55 - 25) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.64 \text{ V}$$

To znači da će se izlazni napon biti:

$$V_{OUT}(55 \text{ }^\circ\text{C}) = 5 \text{ V} - 0.64 \text{ V} = 4.36 \text{ V}$$

Odnosno izlazni napon se promeni za $\Delta V_{OUT} = 4.36 \text{ V} - 4.3 \text{ V} = 0.06 \text{ V}$.

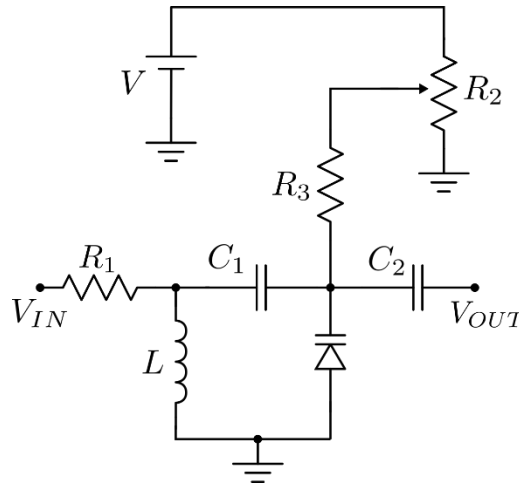
ZADATAK 8. Na slici je prikazano kolo filtera propusnika opsega koje se koristi u radio uređajima. Varikap dioda služi za podešavanje rezonantne frekvencije. Zavisnost kapacitivnosti varikap diode od primenjenog napona data je u tabeli:

V_R	0 V	-2 V	-20 V
C	40 pF	22 pF	

- a) Odrediti kapacitivnost diode kada se primeni napon od -20 V, ako je faktor CR (odnos kapacitivnosti diode pri inverznom naponu 2 V i 20 V) jednak 5,

b) Ako je upotrebljen kalem inuktivnosti $L = 82 \text{ nH}$ odrediti opseg frekvencija koje će propustiti filter ako se napon V_R menja od 0 V do -20 V .

C_1 i C_2 su coupling (blok) kondenzatori i ne utiču na rezonantnu učestanost.

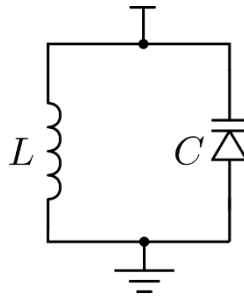


Rešenje:

a) Ukoliko je poznat CR faktor, kapacitivnost pri inverznom naponu od 20 V iznosiće:

$$C_{20} = \frac{C_2}{CR} = \frac{22 \text{ pF}}{5} = 4.4 \text{ pF}$$

b) Posmatrati uprošćeno paralelno LC rezonantno kolo, gde kondenzator predstavlja varikap dioda kapacitivnosti C .



Uslov da bi dato kolo bilo u rezonanci je $X_L = X_C$, pa važi:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad \rightarrow \quad 2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot C} \quad \rightarrow \quad f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Pa se za frekvencije dobija:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_0}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot \sqrt{82 \cdot 10^{-9} \cdot 40 \cdot 10^{-12}}} = 87.8 \text{ MHz}$$

$$f_{20} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_{20}}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot \sqrt{82 \cdot 10^{-9} \cdot 4.4 \cdot 10^{-12}}} = 265 \text{ MHz}$$

ZADATAK 9. Projektovati LED niz za novogodišnje lampione sastavljen od 64 crvene diode, čiji je napon vođenja 2.5 V pri struji od 30 mA, korišćenjem minimalnog broja otpornika za ograničenje struje. Napon napajanja je 12 V.

Rešenje:

Otpornik se vezuje redno kako bi ograničio struju kroz diodu, tj. kroz sve elemente u datoj grani. Minimalni broj otpornika se nalazi za maksimalan broj LED dioda u jednoj grani. Broj LED dioda koje se mogu vezati redno zavisi od napona napajanja i u ovom slučaju iznosi:

$$\frac{12 \text{ V}}{2.5 \text{ V}} = 4.8 \text{ diode}$$

Ovo znači da je moguće redno vezati maksimalno 4 LED diode. Vezivanjem 4 LED diode na red ostvariće se pad napona na njima:

$$4 \cdot 2.5 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

Što znači da će pad napona na otporniku biti:

$$12 \text{ V} - 10 \text{ V} = 2 \text{ V}$$

S obzirom da je neophodno da struja kroz LED diode bude 30 mA, to znači da treba iskoristiti otpornike vrednosti:

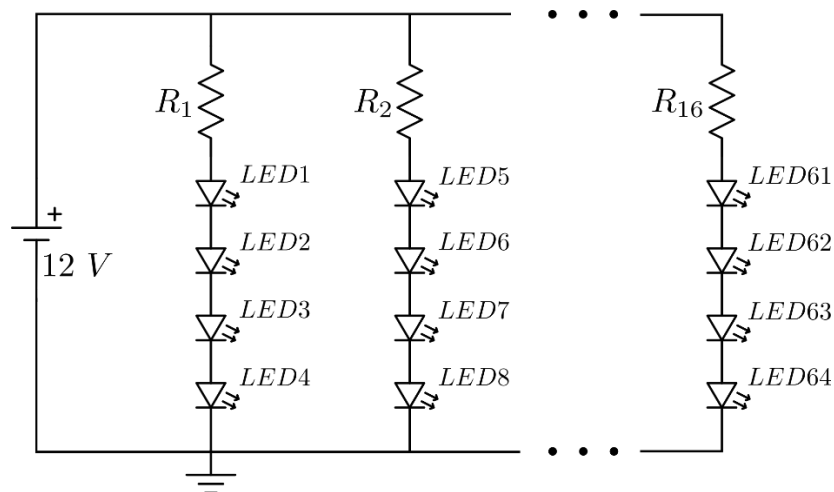
$$R = \frac{V}{I} = \frac{2 \text{ V}}{30 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 66.7 \Omega$$

Izabrati otpornik iz standardnog niza otpornosti od 68 Ω.

Uslov je da se LED niz sastoji od 64 diode, a zna se da je u jednoj grani moguće vezati maksimalno 4 LED diode, što znači da je potrebno:

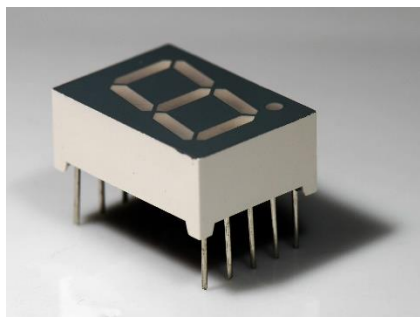
$$\frac{64}{4} = 16 \text{ grana, tj. otpornika}$$

Zaključak: Za realizaciju željenog LED niza, potrebno je 16 paralelnih grana, i u svakoj grani 4 redno vezane LED diode, kao što je ilustrovano na slici ispod.

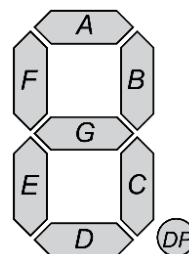


ZADATAK 10. Povezati 7-segmentni displej tako da na njemu bude ispisan broj „5“. Napon potreban da bi svetleo jedan segment displeja je 2 V. Maksimalna struja koja sme da protekne kroz LED diodu koja čini jedan segment displeja je 30 mA. Napon logičke jedinice jednak je 5 V. Dati rešenja sa zajedničkom anodom i zajedničkom katodom.

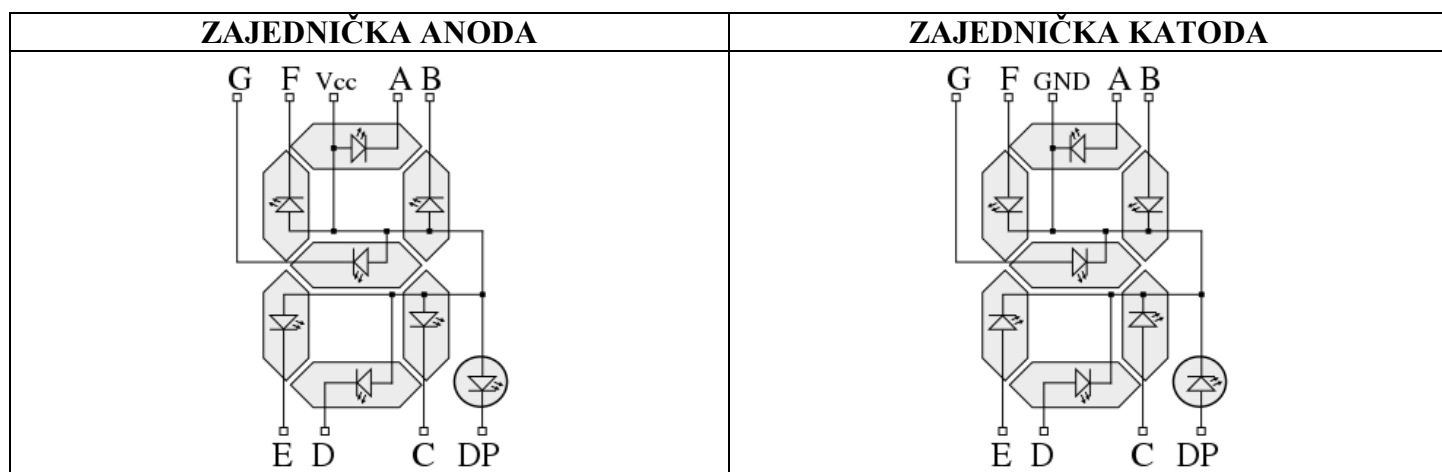
Rešenje:



Izgled 7-segmentnog displeja



Segmenti 7-segmentnog displeja

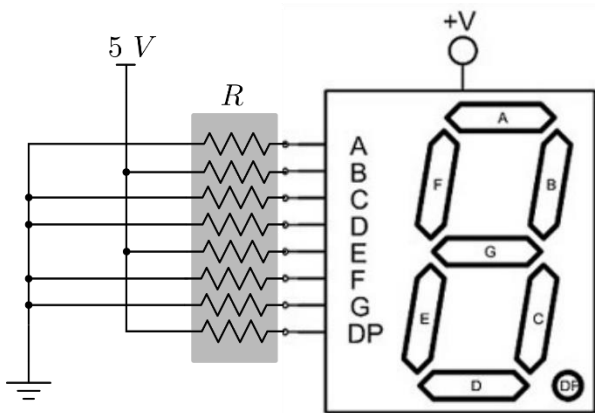


Da bi bilo ispisano „5“ na displeju potrebno je da svetle segmenti: A, F, G, C i D. Ostali segmenti treba da budu isključeni. Da bi struja kroz svaki segment displeja bila ograničena na 30 mA potrebno je na svaki segment vezati otpornik vrednosti:

$$V = R \cdot I_{LED} + V_{LED} \quad \rightarrow \quad R = \frac{V - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 2}{30 \cdot 10^{-3}} = 100 \Omega$$

Rešenja u konfiguraciji sa zajedničkom anodom i katodom su prikazana na slici ispod.

ZAJEDNIČKA ANODA



ZAJEDNIČKA KATODA

