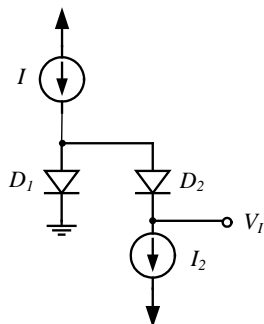


1. U kolu sa slike 1, diode D_1 i D_2 su identične. Poznato je $I=10\text{mA}$, $I_2=2\text{mA}$, $I_S=1\text{fA}$ na 27°C i parametar $n=1$.

- a) Odrediti napon V_I . Kolika treba da bude struja I_2 da bi izlazni napon V_I iznosio 50mV ?
 b) Ukoliko se dioda D_1 nalazi na temperaturi $T_1=27^\circ\text{C}$, a D_2 na temperaturi $T_2=57^\circ\text{C}$, odrediti napon V_I . Poznato je da I_S raste 15% na 1°C .



Slika 1.

Rešenje:

a) Očigledno je $V_I = V_{D1} - V_{D2}$, gde su V_{D1} i V_{D2} naponi direktno polarisanih dioda D_1 i D_2 . Ovi naponi se mogu dobiti iz statičke karakteristike diode $i_D = I_S(e^{v_D/nV_T} - 1)$ ukoliko su poznate struje dioda.

Struja diode D_1 je $I_1 = I - I_2 = 8\text{mA}$. Sada je

$$V_I = V_{D1} - V_{D2} = nV_T \ln \frac{I_1 + I_S}{I_S} - nV_T \ln \frac{I_2 + I_S}{I_S} = nV_T \ln \frac{I_1 + I_S}{I_2 + I_S}.$$

Kako je $n=1$, $V_T=25\text{mV}$ i $I_1, I_2 \gg I_S$, to je

$$V_I = V_T \ln \frac{I_1}{I_2}.$$

Dakle, $V_I = 25 \ln 4 \text{ mV} = 34,65\text{mV}$.

Ukoliko je $V_I = 50\text{mV}$, tada je $\frac{I_1}{I_2} = e^{V_I/V_T} = e^2 = 7,4$. Kako je $I_1 + I_2 = I$, to je $I_2 = \frac{I}{8,4} = 1,2\text{mA}$.

b) Parametar V_T zavisi od temperature po formuli $V_T = kT/q$ gde je k Bolcmanova konstanta, T apsolutna temperatura pn spoja i q naelektrisanje elektrona. U ovom slučaju je dakle $V_I = V_{D1} - V_{D2} = nV_{T1} \ln \frac{I_1 + I_{S1}}{I_{S1}} - nV_{T2} \ln \frac{I_2 + I_{S2}}{I_{S2}}$, gde su V_{T1} i V_{T2} odgovarajući temperaturni naponi. Inverzna struja zasićenja druge diode je takođe promenjena posšto se nalazi na višoj temperature i iznosi $I_{S2} = I_{S1}(1.15)^{(T_2 - T_1)} = 66.2\text{fA}$. Odavde je

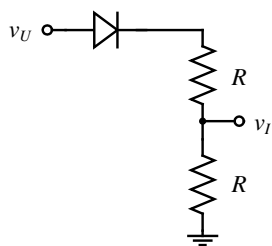
$$V_I = nV_{T1} \left(\ln \frac{I_1 + I_{S1}}{I_{S1}} - \frac{V_{T2}}{V_{T1}} \cdot \ln \frac{I_2 + I_{S2}}{I_{S2}} \right) = nV_{T1} \left(\ln \frac{I_1 + I_{S1}}{I_{S1}} - \ln \left(\frac{I_2 + I_{S2}}{I_{S2}} \right)^{\frac{V_{T2}}{V_{T1}}} \right)$$

što se uz $n=1$, $T_1=300\text{K}$, $T_2=330\text{K}$, $V_{T1}=25\text{mV}$ i $I_1, I_2 \gg I_S$ svodi na

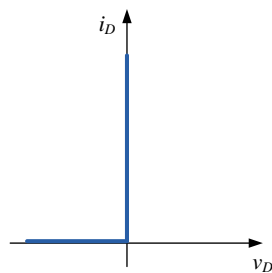
$$V_I = V_{T1} \ln \frac{I_1}{I_2^{\frac{V_{T2}/V_{T1}}}} \frac{I_{S2}^{V_{T2}/V_{T1}}}{I_{S1}} = 79,15\text{mV}.$$

2. Za kolo sa slike 2. odrediti prenosnu funkciju $v_I = f(v_U)$ u slučaju modela diode:

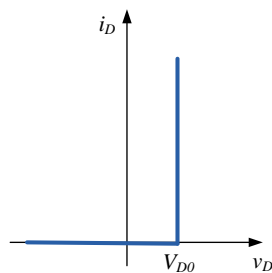
- a) sa slike 2a. – idealne diode;
 b) sa slike 2b.;
 c) sa slike 2c, uz pretpostavku da je $R = r_d$.



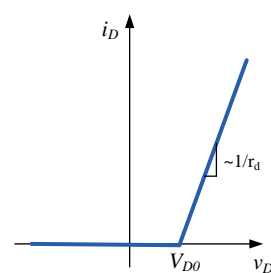
Slika 2.



Slika 2a.



Slika 2b.



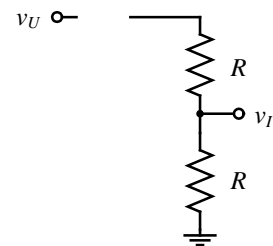
Slika 2c.

Rešenje:

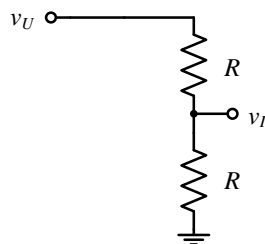
Ekvivalentna šema kola kada dioda ne provodi je prikazana na slici 2d.

Tada je $v_I = 0$.

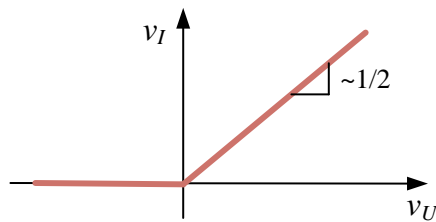
- a) Za $v_U \leq 0$ dioda ne provodi i $v_I = 0$. Za $v_U > 0$ dioda provodi i sa ekvivalentne šeme na slici 2e sledi da je $V_I = \frac{R}{R+R}V_U = \frac{V_U}{2}$ (slika 2f).
- b) Za $v_U \leq V_{D0}$ dioda ne provodi i $v_I = 0$. Za $v_U > V_{D0}$ dioda provodi i sa ekvivalentne šeme na slici 2g sledi da je $V_I = \frac{R}{R+R}(V_U - V_{D0}) = \frac{V_U - V_{D0}}{2}$ (slika 2i).
- c) Za $v_U \leq V_{D0}$ dioda ne provodi i $v_I = 0$. Za $v_U > V_{D0}$ dioda provodi i sa ekvivalentne šeme na slici 2j sledi da je $V_I = \frac{r_d}{r_d+2R}(V_U - V_{D0}) = \frac{V_U - V_{D0}}{3}$ (slika 2k).



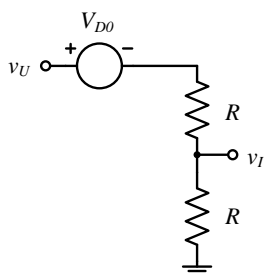
Slika 2d.



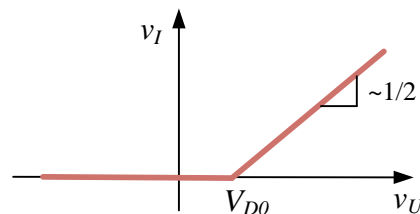
Slika 2e.



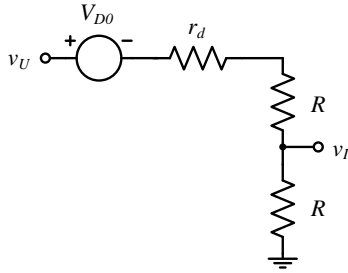
Slika 2f.



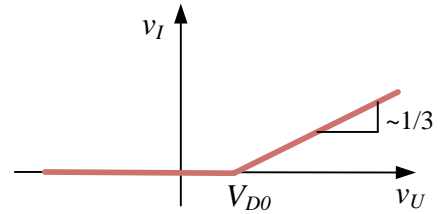
Slika 2g.



Slika 2h.

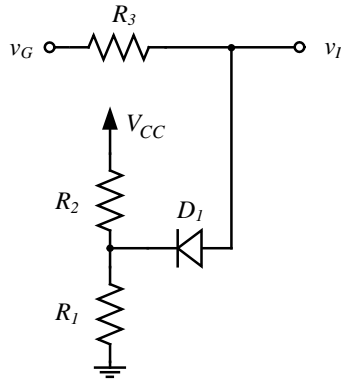


Slika 2i.



Slika 2j.

3. U kolu sa slike 3. pad napona na provodnoj diodi je $V_D = 0,7V$, dok su joj sve ostale karakteristike idealne. Poznato je $V_{CC} = 5V, R_1 = R_2 = 1k\Omega$ i $R_3 = 10k\Omega$. Odrediti zavisnost $v_I = f(v_G), -5V \leq v_G \leq 5V$.



Slika 3.

Rešenje:

Predstavljajući deo kola Tevenenovim generatorom, dobija se ekvivalentno kolo prikazano na slici 3a. Parametri Tevenenovog generatora su

$$V_T = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} = 2,5V \text{ i } R_T = R_1 \parallel R_2 = 500\Omega.$$

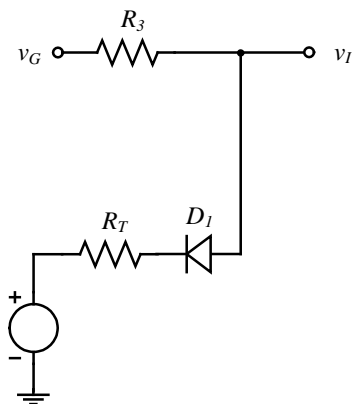
Za $v_G \leq V_D + V_T = 3,2V$ dioda ne provodi, a izlazni napon je $v_I = v_G$.

Za $v_G > V_D + V_T = 3,2V$ dioda provodi i izlazni napon je $V_I =$

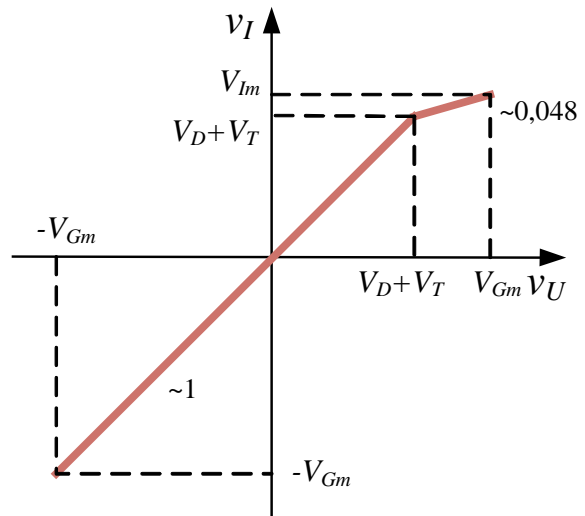
$$\frac{R_T v_G + R_3 (V_T + V_D)}{R_3 + R_T} = (47,6 \cdot 10^{-3} \cdot v_G + 3,05)V. \text{ Za } v_G = V_{Gm} = 5V$$

napon na izlazu je $V_{Im} = 3,29V$. Na slici 3.b prikazana je zavisnost $v_I =$

$f(v_U), -5V \leq v_U \leq 5V$.

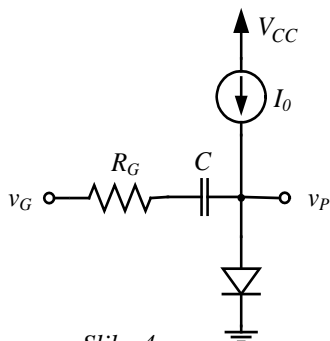


Slika 3a.



Slika 3b.

4. Za kolo sa slike 4. poznato je $V_T = 25\text{mV}$, $I_S = 1\text{fA}$, $v_G = V_m \sin(2\pi ft)$, $f = 1\text{kHz}$, $R_G = 50\Omega$ i $C \rightarrow \infty$. Odrediti i nacrtati zavisnost odnosa $a = \frac{v_p}{v_g}$ promenljive komponente napona v_p i promenljive komponente napona generatora v_g u funkciji struje strujnog izvora $a = f(I_0)$, $1\mu\text{A} \leq I_0 \leq 1\text{mA}$.



Slika 4.

Ova zavisnost prikazana je slikom 4c.

Rešenje:

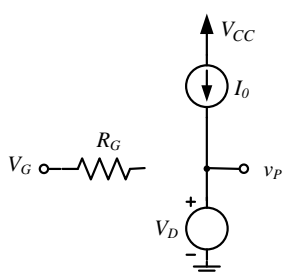
Ekvivalentne šeme za jednosmeran režim i za režim malih signala date su na slikama 4a. i 4b.

Dinamička otpornost diode je $r_d = \frac{V_T}{I_0}$.

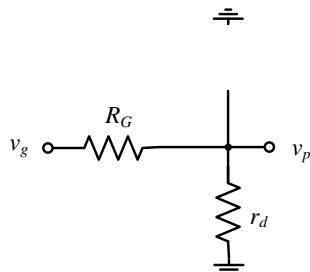
Sa šeme za male signale se dobija

$$a = \frac{v_p}{v_g} = \frac{r_d}{R_G + r_d} = \frac{V_T/I_0}{R_G + V_T/I_0}$$

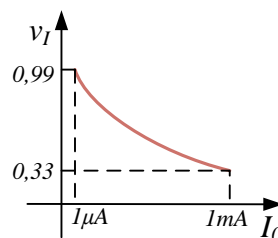
$$a = \frac{1}{1 + R_G I_0 / V_T} = \frac{1}{1 + 2000 I_0}$$



Slika 4a.

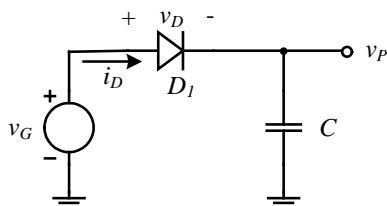


Slika 4b.



Slika 4c.

5. U kolu sa slike 5. može se smatrati da je dioda idealna, dok je $C = 100\text{nF}$. Ako je $v_G = V_m \sin(2\pi ft)$, $V_m = 12\text{V}$, $f = 1\text{kHz}$, odrediti i nacrtati vremenske dijagrame struje diode i_D i napona v_P i v_D u toku prve dve periode ulaznog napona. Smatrati da je u početnom trenutku kondenzator bio prazan.



Slika 5.

Rešenje:

Kako je u početnom trenutku $v_p = 0$ i v_G raste, to dioda provodi u nekom intervalu $0 \leq t \leq t_1$. Dok dioda provodi je $v_p = v_G$. Struja diode $D1$ jednaka je struji kondenzatora C , koju možemo izračunati pošto je poznat napon $v_C = v_p$. Dakle, dok dioda provodi, važi

$$i_D(t) = i_C(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt} = C \frac{dv_p(t)}{dt} = C \frac{dv_G(t)}{dt} = CV_m \cos \omega t, \quad 0 \leq t \leq t_1.$$

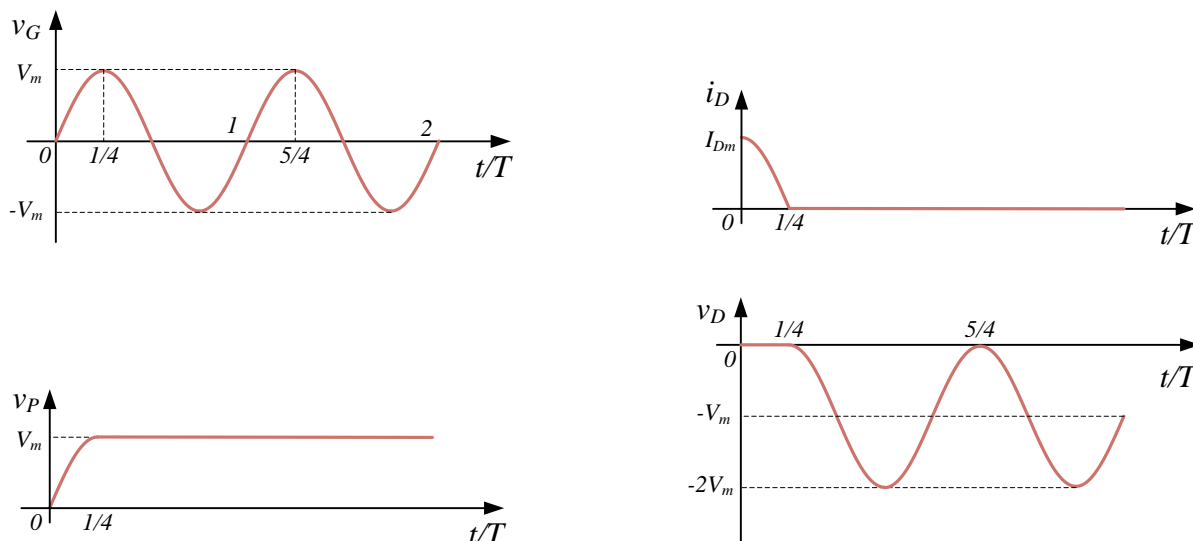
Maksimalna struje diode u ovom intervalu je $i_{Dm} = \omega CV_m = 7,54\text{mA}$.

Dioda će prestati da provodi u trenutku kada je $i_D = 0$, što se poklapa sa trenutkom opadanja napona v_G . Dakle $t_1 = T/4$, $v_p(T/4) = V_m$. Kada dioda ne provodi, struja kondenzatora je $i_C = 0$, time

se napon na kondenzatoru ne menja i ostaje $v_P = v_C = V_m$. Nadalje je $v_G \leq v_P = V_m$ zbog čega dioda ne provodi, što znači da je za $t > t_1$ i dalje $v_P = V_m$ i dioda ne provodi.

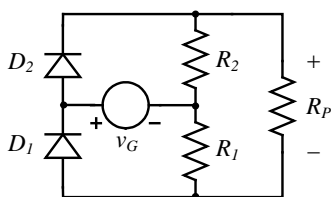
Za $0 \leq t \leq t_1$ dioda provodi pa je $v_D = 0$. Za $t > t_1$ dok dioda ne provodi je $v_D = v_G - v_P = V_m \sin \omega t - V_m$. Maksimalni inverzni napon na diodi je $v_{Dinvmax} = 2V_m = 24V$.

Na slici 5a. prikazani su vremenski dijagrami traženih zavisnosti.



Slika 5a.

6. U kolu sa slike 6. diode imaju napon praga provođenja $V_D = 0,7V$. Poznato je $R_1 = R_2 = 2,2k\Omega$ i $R_P = 6,8k\Omega$. Odrediti i nacrtati prenosnu karakteristiku $v_P = f(v_G)$, $-12V \leq v_G \leq 12V$.

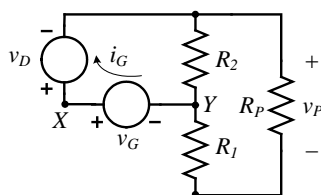


Slika 6.

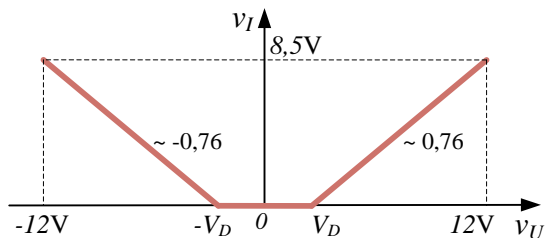
Rešenje:

Kada je $v_G \geq V_D$ provodi dioda D_2 (slika 6a). Može se zaključiti da dioda D_1 ne provodi ukoliko se uoči da su svi potencijali u kolu između potencijala tačaka X i Y (svi elementi osim naponskog generatora su reaktivno-pasivni). Time je katoda diode D_1 na većem potencijalu od anode.

Prema slici 6a. je $v_P = \frac{R_P}{R_P + R_1} (v_G - V_D) = 0,76 \cdot (v_G - V_D)$. Za $v_G \leq 0$ je zbog (anti)simetrije kola $v_P = -0,76 \cdot (v_G + V_D)$. Prenosna karakteristika prikazana je na slici 6b.



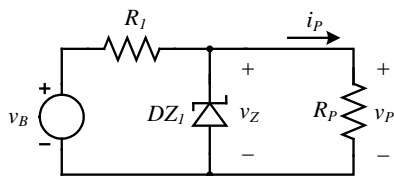
Slika 6a.



Slika 6b.

7. Za kolo sa slike 7. poznato je $R_1 = 500\Omega$ i $V_Z = 4,7V$.

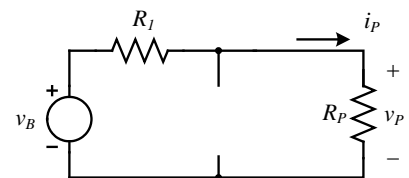
- a) Ako je $R_P = 1k\Omega$, odrediti i nacrtati zavisnost napona na potrošaču v_P od napona za napajanje v_B , $v_P = f(v_B)$, $0 \leq v_B \leq 10V$.
Ako je $v_B = V_B = 10V$ i $0 \leq R_P \leq \infty$, odrediti i nacrtati zavisnost:
- b) napona na potrošaču u funkciji otpornosti potrošača $v_P = g(R_P)$;
- c) snage koja se disipira na diodi u funkciji otpornosti potrošača $P_Z = h(R_P)$.



Slika 7.

Rešenje:

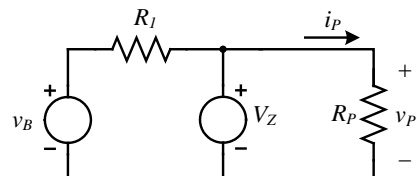
a) Ekvivalentna šema kola dok Zener dioda ne radi prikazana je na slici 7a, dok je na slici 7b. prikazana ekvivalentna šema kada Zener dioda



Slika 7a.

provodi u oblasti proboja.

Dok Zener dioda ne uđe u oblast proboja, napon na potrošaču je $v_P = \frac{R_P}{R_P + R_1} v_B = \frac{2}{3} v_B$. Dioda ulazi u oblast proboja pri naponu V_{B1} za koji je $v_P = V_Z$. Dakle, $2V_{B1}/3 = V_Z$, $V_{B1} = 1,5V_Z = 7,05V$. Za $v_B > V_{B1}$ Zener dioda radi u oblasti proboja, pa je $v_P = V_Z$ (slika 7c).



Slika 7b.

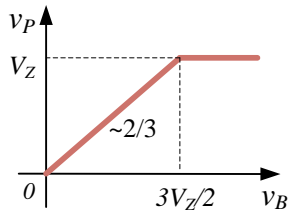
b) Dioda ne provodi sve dok je $v_P \leq V_Z$ odnosno $\frac{R_P}{R_P + R_1} v_B \leq V_Z$.

Dakle, za $R_P \leq R_{P1} = \frac{R_1 V_Z}{V_B - V_Z} = 443,3\Omega$ dioda ne provodi i napon na potrošaču je

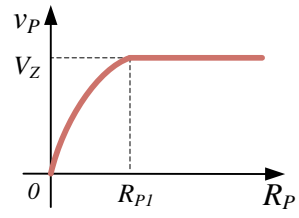
$$v_P = \frac{R_P}{R_P + R_1} v_B = \frac{v_B}{1 + R_1/R_P}.$$

Za $R_P > R_{P1}$ dioda provodi u oblasti proboja pa je $v_P = V_Z = 4,7V$ (slika 7d).

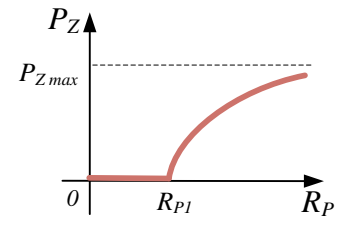
- c) Dok dioda ne provodi struja joj je nula pa je $P_Z = v_Z i_Z = 0$. Kada dioda provodi je $v_P = V_Z$ i $i_Z = i_{R1} - i_P = \frac{v_B - V_Z}{R_1} - \frac{V_Z}{R_P}$, pa je $P_Z = v_Z i_Z = V_Z \left(\frac{v_B - V_Z}{R_1} - \frac{V_Z}{R_P} \right) = (0,05 - 22,1/R_P)W$ (slika 7e).



Slika 7c.



Slika 7d.



Slika 7e.