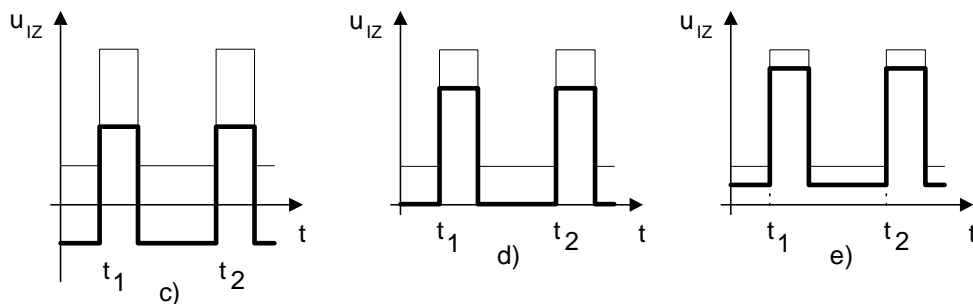
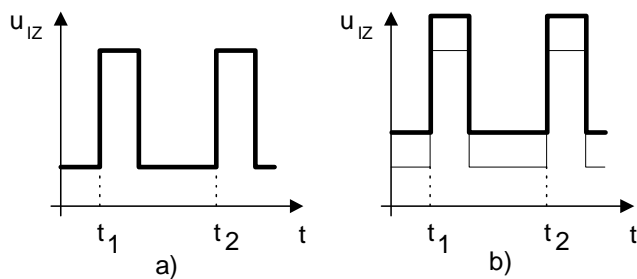
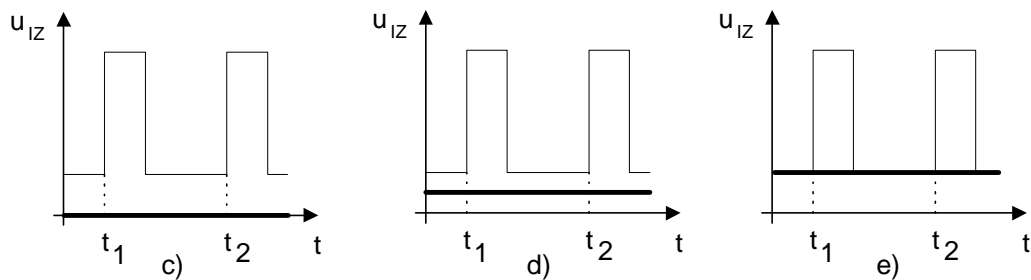
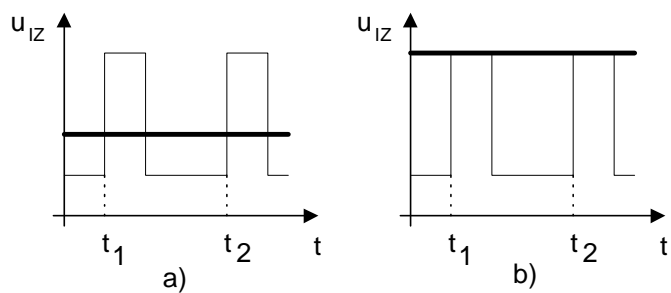


1. Na ulaz RC mreže doveden je napon prikazan na slici.

- Ako se zna da za vremensku konstantu RC mreže vrijedi da je $\tau = 1000(t_2 - t_1)$ odredi izlazni napon. (**odgovor: slika a) iz gornjih pet slika**)
- Ako se vremenska konstanta RC mreže promjeni tako da vrijedi $1000\tau = (t_2 - t_1)$ odredi kakav sada oblik ima izlazni napon. (**odgovor: slika a) iz donjih pet slika**)



2.

Silicijska pločica dopirana je s $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ i nalazi se na temperaturi od 300 K.

- a. Ako temperatura naraste na 350 K, specifična vodljivost:

Pada

- b. Ako se u istu silicijsku pločicu doda još $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ akceptora, specifična vodljivost na 300 K:

Pada

3.

- a. Za silicijski pn -spoj na $T=350 \text{ K}$ sa koncentracijama primjesa iznosa $N_D=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ i $N_A=5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ i jednako širokim p i n stranama vrijedi (1 bod):

kontaktni potencijal iznosi 0,786 V, dominantna komponenta struje je šupljinska

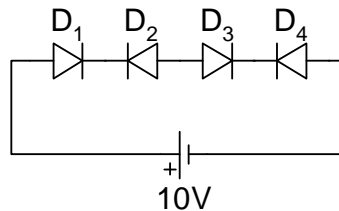
- b. Ako bi jače dopiranu stranu navedenog pn -spoja zamijenili metalom pri čemu bi nastao ispravljački spoj metal-poluvodič, taj spoj imao bi u usporedbi sa pn -spojem (1 bod):

manji napon koljena i veću brzinu rada

4.

Četiri diode spojene su u seriju prema slici. Dioda imaju struje zasićenja $I_{S1}=I_{S2}=I_S$, $I_{S3}=I_{S4}=2I_S$. Naponi proboja svih dioda veći su od 10V. Odrediti:

- na kojoj od dioda je najveći napon (po iznosu);
- omjer dinamičkih otpora diode D_1 i D_3 $\frac{r_{d1}}{r_{d3}}$.



GRUPE A i C

- zaporno D_2 i D_4 $I_{S2}=I_S < I_{S4}=2I_S \Rightarrow$ najveći napon na D_2 .
- $I=I_{S2}=I_S$
 $I_{S1}=I_S \quad I_{S3}=2I_S$

$$r_d = \frac{U_T}{I + I_S} \quad \frac{r_{d1}}{r_{d3}} = \frac{I + I_{S3}}{I + I_{S1}} = \frac{3I_S}{2I_S} = \frac{3}{2}$$

GRUPE B i D

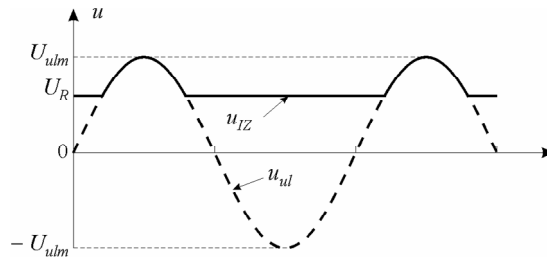
Verzija 2 $I_{S1}=I_{S2}=2I_S$, $I_{S3}=I_{S4}=I_S$

- zaporno D_2 i D_4 $I_{S2}=I_S > I_{S4}=2I_S \Rightarrow$ najveći napon na D_4 .
- $I=I_{S4}=I_S$
 $I_{S1}=2I_S \quad I_{S3}=I_S$

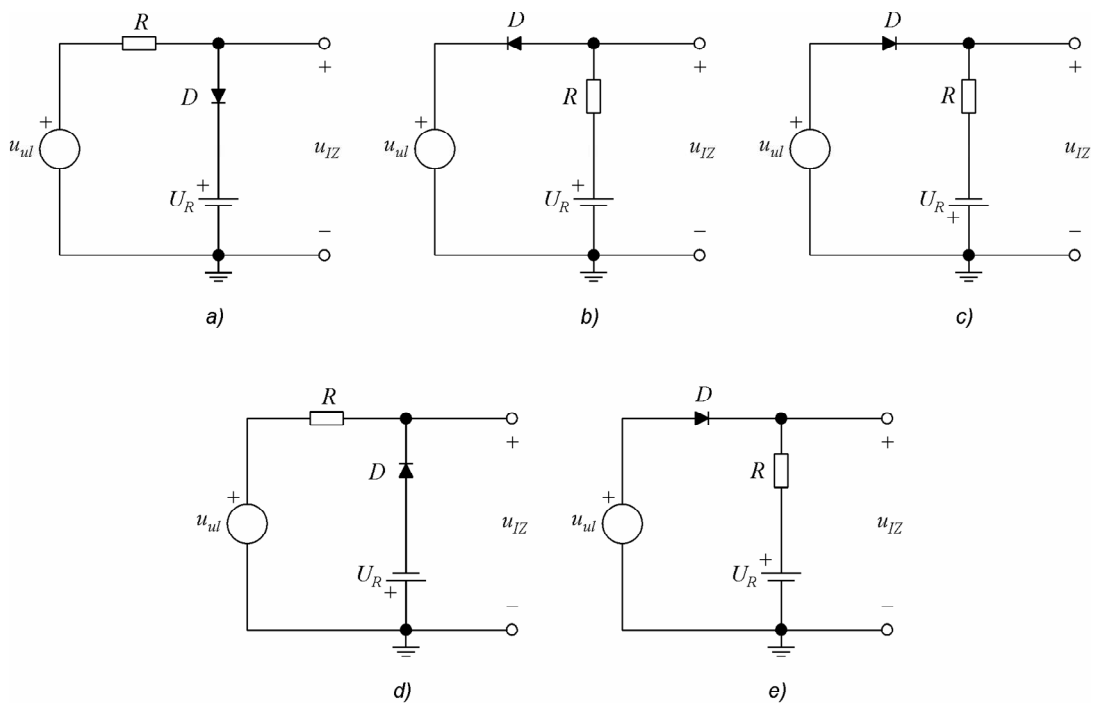
$$r_d = \frac{U_T}{I + I_S} \quad \frac{r_{d1}}{r_{d3}} = \frac{I + I_{S3}}{I + I_{S1}} = \frac{2I_S}{3I_S} = \frac{2}{3}$$

5.

a. Koji od ograničavača ograničava izlazni napon prema slici?



Točan odgovor je pod e)



b. Na izlazne priključke ograničavača priključeno je trošilo otpora R_T . Kakav treba biti otpor otpornika R u odnosu na otpor propusno polarizirane diode r_d , te u odnosu na otpor trošila R_T da bi vrijedio prikazani valni oblik izlaznog napona u_{Iz} ?

$$R \ll R_T, R \gg r_d$$

Zadatak 1.

Silicij je dopiran jednom primjesom. Koncentracija elektrona na temperaturi $T = 25^\circ\text{C}$ iznosi $n = 2,5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$. Na temperaturi $T = 25^\circ\text{C}$ pokretljivosti nosilaca iznose $1400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ i $420 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

- Izračunati specifičnu vodljivost na temperaturi $T = 25^\circ\text{C}$ (2 boda)
- Izračunati specifičnu vodljivost na temperaturi $T = 200^\circ\text{C}$. Kada temperatura poraste sa 25 na 200°C pokretljivosti se promijene za 55%. (3 boda)

Rješenje:

- Na $T_1 = 25^\circ\text{C} = 25 + 273 = 298 \text{ K}$:

$$n_{i1} = C_1 T_1^{3/2} \exp\left(-\frac{E'_{G0}}{2 E_{T1}}\right) = 3,07 \cdot 10^{16} \cdot 298^{3/2} \exp\left(-\frac{1,196 \cdot 11600}{2 \cdot 298}\right) = 1,23 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_1 = \frac{n_i^2}{n_1} = \frac{(1,23 \cdot 10^{10})^2}{2,5 \cdot 10^5} = 6,03 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3} = N_A$$

$$\sigma_1 = q(\mu_{n1} n_1 + \mu_{p1} p_1)$$

$$\mu_n > \mu_p \rightarrow \mu_{n1} = 1400 \text{ cm}^2/\text{Vs}, \mu_{p1} = 420 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$n_1 \ll p_1 = N_A$$

$$\sigma_1 = q \mu_{p1} N_A = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 420 \cdot 6,03 \cdot 10^{14} = 40,5 \text{ mS/cm}$$

- Na $T_2 = 200^\circ\text{C} = 200 + 273 = 473 \text{ K}$:

$$n_{i2} = C_1 T_2^{3/2} \exp\left(-\frac{E'_{G0}}{2 E_{T2}}\right) = 3,07 \cdot 10^{16} \cdot 473^{3/2} \exp\left(-\frac{1,196 \cdot 11600}{2 \cdot 473}\right) = 1,35 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

nije više $N_A \gg n_i$

$$p_2 = \frac{N_A + \sqrt{N_A^2 + 4 n_{i2}^2}}{2} = \frac{6,03 \cdot 10^{14} + \sqrt{(6,03 \cdot 10^{14})^2 + 4 \cdot (1,35 \cdot 10^{14})^2}}{2} = 6,32 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}.$$

$$n_2 = \frac{n_i^2}{p_2} = \frac{(1,35 \cdot 10^{14})^2}{6,32 \cdot 10^{14}} = 2,88 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

$$\mu_{n2} = 0,45 \mu_{n1} = 0,45 \cdot 1400 = 630 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$\mu_{p2} = 0,45 \mu_{p1} = 0,45 \cdot 420 = 189 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$\sigma_2 = q(\mu_{n2} n_2 + \mu_{p2} p_2) = 22 \text{ mS/cm}$$

Zadatak2.

Koncentracije primjesa na n i p strani diode iznose $N_D=5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ i $N_A=2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Vrijedi $L_p \ll w_n$ i $L_n \gg w_p$. Parametri manjinskih nosilaca su $\mu_n=550 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p=350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\tau_p=1 \text{ }\mu\text{s}$. Površina pn spoja iznosi $S=5 \text{ mm}^2$.

- Izračunati struju zasićenja. (2 boda)
- Izračunati struju kroz diodu uz priključen propusni napon $U=0,55 \text{ V}$. (1 bod)
- Izračunati rubne i ravnotežne koncentracije te nacrtati raspodjele manjinskih nosilaca za zadani propusni napon. (1 bod)
- Izračunati dinamički otpor uz zadani napon. (1 bod)

Temperatura je $T=300 \text{ K}$. Pretpostaviti $m=1$.

Rješenje:

a) Zadana je dioda s uskom p stranom ($L_n \gg w_p$) i širokom n stranom ($L_p \ll w_n$). Struja zasićenja za takvu diodu je:

$$I_s = q \cdot S \cdot \left(D_n \cdot \frac{n_{0p}}{w_p} + D_p \cdot \frac{p_{0n}}{L_p} \right)$$

Za manjinske nosioce na p -strani računamo:

$$n_{0p} = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(1,45 \cdot 10^{10})^2}{2 \cdot 10^{17}} = 1,05 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$D_n = \mu_n \cdot U_T = \mu_n \cdot \frac{T}{11600} = 550 \cdot \frac{300}{11600} = 14,22 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Za manjinske nosioce na n -strani računamo:

$$p_{0n} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1,45 \cdot 10^{10})^2}{5 \cdot 10^{15}} = 4,2 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$$

$$D_p = \mu_p \cdot U_T = \mu_p \cdot \frac{T}{11600} = 350 \cdot \frac{300}{11600} = 9,05 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p} = \sqrt{9,05 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 30,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm} = 30,1 \text{ }\mu\text{m} \ll w_n$$

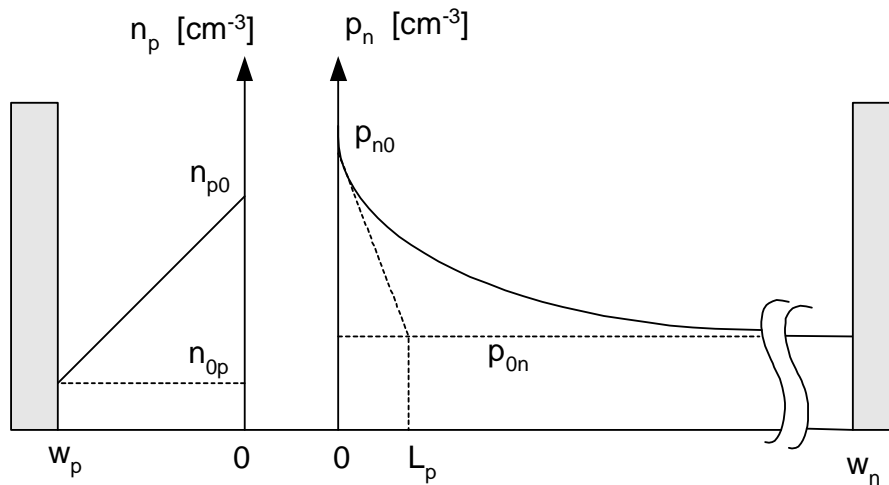
Uvrštenjem u gornju jednadžbu dobivamo:

$$I_S = q \cdot S \cdot \left(D_n \cdot \frac{n_{0p}}{w_p} + D_p \cdot \frac{p_{0n}}{L_p} \right) = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot \left(14,22 \cdot \frac{1,05 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^{-4}} + 9,05 \cdot \frac{4,2 \cdot 10^4}{30,1 \cdot 10^{-4}} \right) = 2,21 \cdot 10^{-12} \text{ A} = 2,21 \text{ pA}$$

b) Uz zadani napon kroz diodu poteče:

$$I = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{m \cdot U_T}\right) - 1 \right) = 2,21 \cdot 10^{-12} \cdot \left(\exp\left(\frac{0,55}{1 \cdot \frac{300}{11600}}\right) - 1 \right) = 3,8 \text{ mA}$$

c)



Ravnatežne koncentracije su izračunate u a) dijelu zadatka

$$n_{0p} = 1,05 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3} \quad \text{i} \quad p_{0n} = 4,2 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$$

Rubne koncentracije su:

$$n_{p0} = n_{0p} \cdot \exp\left(\frac{U}{U_T}\right) = 1,05 \cdot 10^3 \cdot \exp\left(\frac{0,55}{\frac{300}{11600}}\right) = 1,81 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

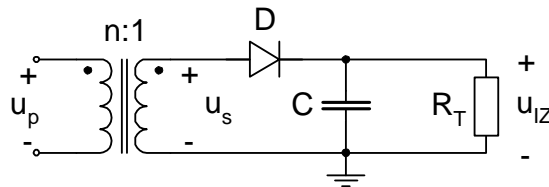
$$p_{n0} = p_{0n} \cdot \exp\left(\frac{U}{U_T}\right) = 4,2 \cdot 10^4 \cdot \exp\left(\frac{0,55}{\frac{300}{11600}}\right) = 7,24 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

d) dinamički otpor uz propusni napon $U=0,55 \text{ V}$:

$$r_d = \frac{U_T}{I + I_S} \approx \frac{U_T}{I} = \frac{\frac{300}{11600}}{3,8 \cdot 10^{-3}} = 6,8 \text{ } \Omega$$

Zadatak 3.

Za poluvalni ispravljač s kapacitivnim opterećenjem odrediti kapacitet C i omjer transformacije transformatora n tako da faktor valovitosti iznosi $r=4,9 \cdot 10^{-3}$ i srednja vrijednost napona trošila $U_{IZ}=21,5V$. Zadano je $R_T=540\Omega$, efektivni napon primara $U_{pef}=230V$ i frekvencija napona primara $f=50Hz$.



Rješenje:

Amplituda napona na sekundaru jednaka je:

$$U_{sm} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{pef}}{n}$$

$$U_{izm} = U_{sm}$$

Faktor valovitosti se može izračunati prema izrazu:

$$r = \frac{U_{izvef}}{U_{IZ}} = 4,9 \cdot 10^{-3}$$

gdje je U_{izvef} efektivna vrijednost napona valovitosti:

$$U_{izvef} = \frac{U_{izm} \frac{T}{2C \cdot R_T}}{\sqrt{3}} = \frac{U_{izm}}{2\sqrt{3} \cdot C \cdot R_T \cdot f}$$

i U_{IZ} srednja vrijednost izlaznog napona:

$$U_{IZ} = U_{izm} - U_{izvm} = U_{izm} - U_{izm} \frac{1}{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f} = U_{izm} \frac{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f - 1}{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f}$$

Uvrštavanjem dvaju predhodnih izraza u izraz za faktor valovitosti dobivamo:

$$r = \frac{\frac{U_{izm}}{2\sqrt{3} \cdot C \cdot R_T \cdot f}}{\frac{U_{izm} \frac{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f - 1}{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f}}{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f - 1} = 4,9 \cdot 10^{-3}$$

Iz gornjeg izraza slijedi:

$$C = \frac{1 + \sqrt{3} \cdot r}{2\sqrt{3} \cdot r \cdot R_T \cdot f} = \frac{1 + \sqrt{3} \cdot 4,9 \cdot 10^{-3}}{2\sqrt{3} \cdot 4,9 \cdot 10^{-3} \cdot 540 \cdot 50} = 2,2mF$$

Iz izraza za srednju vrijednost izlaznog napona dobivamo:

$$U_{izm} = U_{iz} \cdot \frac{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f}{2 \cdot C \cdot R_T \cdot f - 1} = 21,5 \cdot \frac{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 540 \cdot 50}{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 540 \cdot 50 - 1} = 21,68V$$

Iz amplitude napona na sekundaru dobivamo omjer transformacije transformatora n :

$$n = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{pef}}{U_{sm}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{pef}}{U_{izm}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 230}{21,68} = 15$$