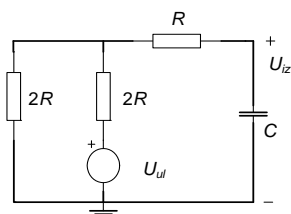


**PRVI MEĐUISPIT IZ ELEKTRONIKE 1**

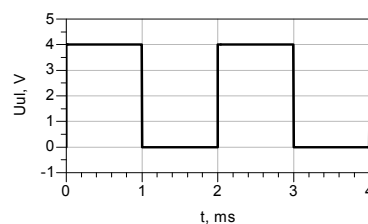
19.10.2009.

**PRVA SKUPINA ZADATAKA**

1. Za mrežu na slici 1 treba odrediti izlazni napon u stacionarnom stanju ako je na ulaz priključen napon na slici 2. Zadano je  $R=10\text{k}\Omega$ ,  $C=1\text{nF}$ .

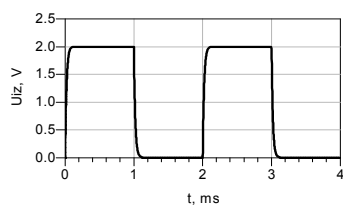


Slika 1. Mreža za 1. zadatak

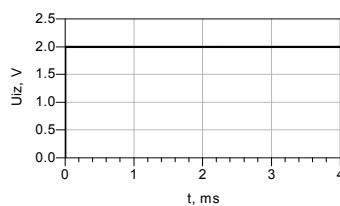


Slika 2. Ulazni napon

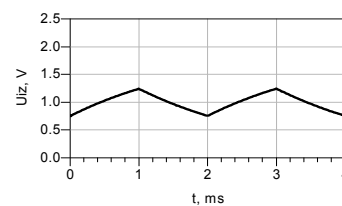
a)\*\*\*



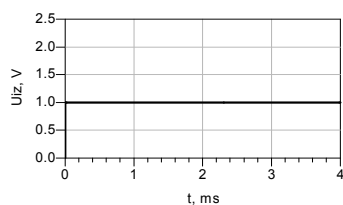
b)



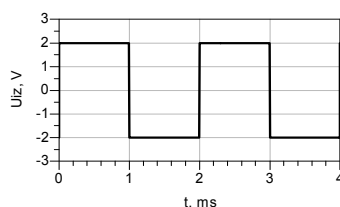
c)



d)

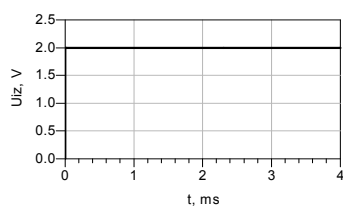


e)

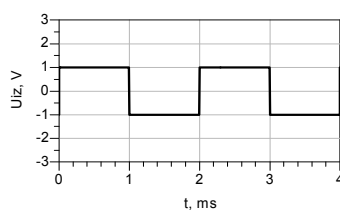


2. Ako se u mreži iz prošlog zadatka kondenzator zamjeni sa novim iznosa  $C=100\text{ }\mu\text{F}$  kako će onda izgledati izlazni napon?

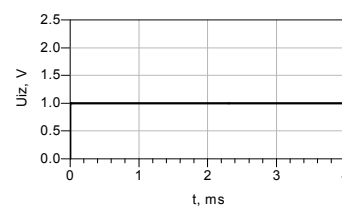
a)



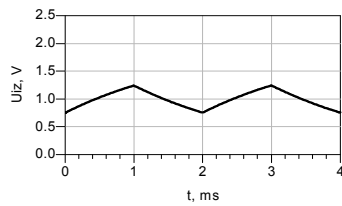
b)



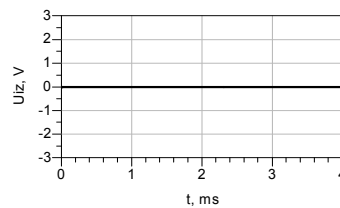
c)\*\*\*



d)



e)



3. Uzorak silicija je na sobnoj temperaturi, a Fermijeva energija se nalazi 0,2 eV iznad sredine zabranjenog pojasa. Ako se temperatura povisi za 100°C koji tip primjese treba dodati da  $E_F - E_{Fi}$  ostane nepromijenjen? Ako se nakon dodavanja druge primjese temperatura dodatno povisi za 100°C, što se dogodi s Fermijevom energijom.

- a) treba dodati donore,  $E_F$  se približi sredini zabranjenog pojasa;\*\*\*
- b) treba dodati donore,  $E_F$  se približi vodljivom pojasu;
- c) treba dodati akceptore,  $E_F$  se ne mijenja;
- d) treba dodati akceptore,  $E_F$  se približi sredini zabranjenog pojasa;
- e) treba dodati akceptore,  $E_F$  se približi vodljivom pojasu;

4. Uzorak silicija je na sobnoj temperaturi, a Fermijeva energija se nalazi 0.2 eV iznad vrha valentnog pojasa. Koji nosioci dominiraju u driftnoj struji u opisanom uzorku? Što se dogodi sa specifičnom vodljivošću ako se uzorku dodatno dodaju jednake koncentracije donora i akceptora?

- a) elektroni, specifična vodljivost se ne mijenja;
- b) elektroni, specifična vodljivost poraste;
- c) šupljine, specifična vodljivost se smanji.\*\*\*
- d) šupljine, specifična vodljivost poraste;
- e) šupljine, specifična vodljivost se ne mijenja;

5. Poluvodič je dopiran donorima koncentracije  $N_D$  i akceptorima koncentracije  $N_A$ . Vrijedi da je  $N_D > N_A$ . Točna je sljedeća tvrdnja:

- a) Poluvodič je  $p$ -tip i vrijedi  $p = N_A - N_D$ ,
- b) Poluvodič je intrinzičan i vrijedi  $n = p = n_i$ ,
- c) Poluvodič je  $n$ -tip i vrijedi  $n - p = N_D - N_A$ ,\*\*\*
- d) Poluvodič je  $n$ -tip i vrijedi  $n = N_D - N_A$ ,
- e) Poluvodič je  $n$ -tip i vrijedi  $p \cdot n = (N_D - N_A) \cdot n_i$

6. Za koncentracije primjese silicijskog  $pn$ -spoja s jednako širokim  $p$  i  $n$  stranama vrijedi  $N_D = 10N_A$ . Za taj  $pn$  spoj vrijedi (1 bod):

- a) struja je dominantno šupljinska i osiromašeno područje se dominantno širi na  $p$ -stranu,
- b) struja je dominantno elektronska i osiromašeno područje se dominantno širi na  $n$ -stranu,
- c) struja je dominantno šupljinska i osiromašeno područje se dominantno širi na  $n$ -stranu,
- d) struja je dominantno elektronska i osiromašeno područje se dominantno širi na  $p$ -stranu,\*\*\*
- e) ne može se utvrditi na temelju danih podataka

7. Ako na diodu na sobnoj temperaturi ( $U_T = 25$  mV) priključimo napon opisan izrazom  $u_D = U_D + 5 \sin \omega t$ , mV kroz diodu poteče struja  $i_D = I_D + 1 \sin \omega t$ , mA. Koliki je iznos struje  $I_D$  na sobnoj temperaturi. Što se događa sa strujom  $I_D$  ako temperatura poraste, a priključeni napon ostane nepromijenjen?

- a)  $I_D = 0,2$  mA, struja raste s temperaturom
- b)  $I_D = 0,2$  mA, struja pada s temperaturom,
- c)  $I_D = 5$  mA, struja pada s temperaturom
- d)  $I_D = 5$  mA, struja raste s temperaturom,\*\*\*
- e)  $I_D = 2,5$  mA, struja se ne mijenja s temperaturom

8. Za silicijski  $pn$ -spoj priključen na vanjski napon  $U = 0,55 \text{ V}$  s koncentracijama primjesa iznosa  $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , te širokom  $p$  i uskom  $n$  stranom (za koje vrijedi da je širina  $n$  strane 40 puta manja od difuzijske duljine manjinskih nosilaca na  $p$  strani), uz pokretljivosti nosilaca  $\mu_n = 2\mu_p$ ,  $T=300\text{K}$ , vrijedi (1 bod):

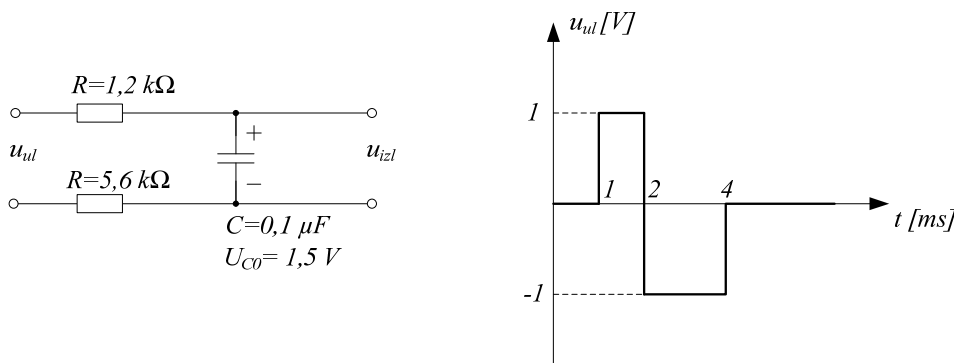
- Difuzijska struja elektrona veća je 2 puta od difuzijske struje šupljina.
- Difuzijska struja elektrona veća je 5 puta od difuzijske struje šupljina.\*\*\*
- Difuzijska struja elektrona jednaka je difuzijskoj struji šupljina.
- Difuzijska struja elektrona manja je 2 puta od difuzijske struje šupljina.
- Difuzijska struja elektrona manja je 5 puta od difuzijske struje šupljina

9. Za valnu duljinu  $\lambda$  na koju reagira fotodektorska dioda, te za polarizaciju diode pri detekciji, vrijedi:

- $\lambda \leq hc/E_G$ , propusna polarizacija;
- $\lambda \leq hc/E_G$ , zaporna polarizacija;\*
- $\lambda \geq hc/E_G$ , propusna polarizacija;
- $\lambda \geq hc/E_G$ , zaporna polarizacija;
- $\lambda \leq hc/E_G$ , polarizacija nije bitna.

## DRUGA SKUPINA ZADATAKA

**Zadatak 1.** Na slici je zadana RC mreža i napon koji je priključen na njezin ulaz.



**1.1.** Izračunati vrijednost izlaznog napona u  $t = 0 \text{ ms}$  (1 bod).

**1.2.** Izračunati vrijednost izlaznog napona u  $t = 1 \text{ ms}$  (1 bod).

**1.3.** Izračunati vrijednost izlaznog napona u  $t = 2 \text{ ms}$  (1 bod).

**1.4.** Izračunati vrijednost izlaznog napona u  $t = 4 \text{ ms}$  (1 bod).

**1.5.** Izračunati vrijednost izlaznog napona u  $t = 5 \text{ ms}$  (1 bod).

- 1.1.** (a)  $u_{iz}(0 \text{ ms}) = 1,235 \text{ V}$   
 (b)  $u_{iz}(0 \text{ ms}) = -1,5 \text{ V}$   
 (c)  $u_{iz}(0 \text{ ms}) = 1,5 \text{ V}^*$   
 (d)  $u_{iz}(0 \text{ ms}) = 0,265 \text{ V}$   
 (e)  $u_{iz}(0 \text{ ms}) = 1 \text{ V}$

- 1.2.** (a)  $u_{iz}(1 \text{ ms}) = 0,252 \text{ V}$   
 (b)  $u_{iz}(1 \text{ ms}) = 0,36 \text{ mV}$   
 (c)  $u_{iz}(1 \text{ ms}) = -0,345 \text{ V}$   
 (d)  $u_{iz}(1 \text{ ms}) = 0,345 \text{ V}^*$   
 (e)  $u_{iz}(1 \text{ ms}) = 1,345 \text{ V}$

- 1.3.** (a)  $u_{iz}(2 \text{ ms}) = 1,381 \text{ V}$   
 (b)  $u_{iz}(2 \text{ ms}) = 0,965 \text{ V}$   
 (c)  $u_{iz}(2 \text{ ms}) = 0,849 \text{ V}^*$   
 (d)  $u_{iz}(2 \text{ ms}) = 1,079 \text{ V}$   
 (e)  $u_{iz}(2 \text{ ms}) = 1,619 \text{ V}$

- 1.4.** (a)  $u_{iz}(4 \text{ ms}) = -0,902 \text{ V}^*$   
 (b)  $u_{iz}(4 \text{ ms}) = -0,575 \text{ V}$   
 (c)  $u_{iz}(4 \text{ ms}) = -0,018 \text{ V}$   
 (d)  $u_{iz}(4 \text{ ms}) = -0,994 \text{ V}$   
 (e)  $u_{iz}(4 \text{ ms}) = -0,148 \text{ V}$

- 1.5.** (a)  $u_{iz}(5 \text{ ms}) = -0,208 \text{ V}^*$   
 (b)  $u_{iz}(5 \text{ ms}) = -0,58 \text{ mV}$   
 (c)  $u_{iz}(5 \text{ ms}) = -0,132 \text{ V}$   
 (d)  $u_{iz}(5 \text{ ms}) = -4,1 \text{ mV}$   
 (e)  $u_{iz}(5 \text{ ms}) = -0,230 \text{ V}$

**Zadatak 2.** Silicij je dopiran donorima koncentracije  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Pokretljivosti elektrona i šupljina na 300 K su  $800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  i  $300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ . Odrediti:

- 2.1. Intrinzičnu koncentraciju slobodnih nosilaca ako je silicij doveden na temperaturu pri kojoj je širina zabranjenog pojasa  $1,11 \text{ eV}$ .  
 2.2. Specifičnu vodljivost na 300 K.  
 2.3. iznos napona spojenog na silicijski otpornik načinjen od ovako dopiranog silicija oblika kvadra duljine  $L = 1 \text{ cm}$  i površine presjeka  $S = 1 \text{ mm}^2$  ako struja koja teče kroz otpornik iznosi  $76,9 \text{ mA}$  (električno polje u poluvodiču je homogeno;  $T = 300 \text{ K}$ ).  
 2.4. Koncentraciju slobodnih nosilaca u siliciju pri temperaturama  $T = 300 \text{ K}$  i  $T = 400 \text{ K}$ .  
 2.5. Položaj Fermijeve energije pri temperaturi  $300 \text{ K}$  prije i poslije dodatnog dopiranja s akceptorima koncentracije  $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

**2.1.**

- a)  $n_i = 1,2 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$   
 b)  $n_i = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$   
 c)  $n_i = 5,1 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$   
 d)  $n_i = 9,7 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$   
 e)  $n_i = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$  \*\*\*

**2.2.**

- a)  $\sigma = 1,76 \text{ S/cm}$   
 b)  $\sigma = 1,28 \text{ S/m}$   
 c)  $\sigma = 0,48 \text{ S/cm}$   
 d)  $\sigma = 1,28 \text{ S/cm}^{***}$   
 e)  $\sigma = 0,48 \text{ S/m}$

**2.3.**

- a)  $U = 16 \text{ V}$   
 b)  $U = 0,06 \text{ V}$   
 c)  $U = 0,6 \text{ V}$   
 d)  $U = 0,16 \text{ V}$   
 e)  $U = 6 \text{ V}^{***}$

**2.4.**

- a)  $n(300\text{K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(300\text{K}) = 2,1 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ;  $n(400\text{K}) = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(400\text{K}) = 5,2 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$   
 b)  $n(300\text{K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(300\text{K}) = 2,1 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ;  $n(400\text{K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(400\text{K}) = 1,3 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-3}$   
 c)  $n(300\text{K}) = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(300\text{K}) = 2,1 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ;  $n(400\text{K}) = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(400\text{K}) = 5,2 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$   
 d)  $n(300\text{K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(300\text{K}) = 2,1 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ;  $n(400\text{K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(400\text{K}) = 5,2 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$  \*\*\*  
 e)  $n(300\text{K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(300\text{K}) = 1,1 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$ ;  $n(400\text{K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $p(400\text{K}) = 2,8 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3}$

**2.5.**

- a) prije dodatnog dopiranja:  $E_c - 0,139 \text{ eV}$ ; poslije dodatnog dopiranja:  $E_v + 0,103 \text{ eV}$   
 b) prije dodatnog dopiranja:  $E_v + 0,212 \text{ eV}$ ; poslije dodatnog dopiranja:  $E_c - 0,176 \text{ eV}$   
 c) prije dodatnog dopiranja:  $E_v + 0,177 \text{ eV}$ ; poslije dodatnog dopiranja:  $E_c - 0,141 \text{ eV}$   
 d) prije dodatnog dopiranja:  $E_v + 0,139 \text{ eV}$ ; poslije dodatnog dopiranja:  $E_c - 0,103 \text{ eV}$   
 e) prije dodatnog dopiranja:  $E_c - 0,212 \text{ eV}$ ; poslije dodatnog dopiranja:  $E_v + 0,176 \text{ eV}$  \*\*\*

**Zadatak 3.** Silicijska  $pn$  dioda na  $p$  strani ima koncentraciju akceptora  $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Pokretljivost elektrona na  $p$  strani iznosi  $900 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , a šupljina na  $n$  strani  $350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ . Vrijeme života manjinskih nosilaca na  $p$  i  $n$  strani je jednako i iznosi  $1 \mu\text{s}$ . Širine  $p$  i  $n$  strana su puno veće od difuzijskih duljina. Površina presjeka  $pn$  spoja iznosi  $1 \text{ mm}^2$ , a temperatura  $T = 300 \text{ K}$ .

- 3.1. Ako je koncentracija donora na  $n$  strani jednaka koncentraciji akceptora na  $p$  strani i iznosi  $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  kako se odnose elektronska i šupljinska komponenta struje zasićenja  $I_S$ ?  
 3.2. Koliko treba iznositi koncentraciju donora na  $n$  strani  $N_D$  da bi elektronska i šupljinska komponenta struje zasićenja  $I_S$  bile jednake?  
 3.3. Izračunati struju kroz diodu ako je na njoj priključen napon  $U = 0,7 \text{ V}$ . Koncentracija donora  $N_D$  je kao pod b).  
 3.4. Koliki je dinamički otpor diode za napon  $U = 0,7 \text{ V}$ ? Koncentracije donora  $N_D$  na  $n$  strani je jednaka koncentraciji akceptora  $N_A$  na  $p$  strani ( $N_D = N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  kao u 3.1. dijelu zadatka).  
 3.5. Izračunati koncentraciju manjinskih elektrona na granici osiromašenog sloja i kvazineutrnog područja  $p$  strane ako je priključen napon na diodi  $U = 0,7 \text{ V}$ .

**3.1.**

- a)  $1,604^*$   
 b)  $4,123$   
 c)  $17,00$   
 d)  $N_A/N_D$   
 e)  $2,571$

**3.2.**

- a)  $N_D = 0,388 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$   
 b)  $N_D = 2,425 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$   
 c)  $N_D = 6,24 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  \*  
 d)  $N_D = 0,6236 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$   
 e)  $N_D = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

**3.3.**

- a)  $I_D = 1250 \text{ mA}$   
 b)  $I_D = 10 \text{ mA}$   
 c)  $I_D = 1,85 \text{ nA}$   
 d)  $I_D = 18,5 \text{ mA}^*$   
 e)  $I_D = 200 \mu\text{A}$

**3.4.**

- a)  $r_d = 0,5 \Omega$   
 b)  $r_d = 1,72 \text{ m}\Omega^*$   
 c)  $r_d = 10,1 \Omega$   
 d)  $r_d = 1,4 \Omega$   
 e)  $r_d = \text{beskonačan}$

**3.5.**

- a)  $n_{p0} = 1,196 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  \*  
 b)  $n_{p0} = 2,102 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$   
 c)  $n_{p0} = 2,102 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-3}$   
 d)  $n_{p0} = 1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$   
 e)  $n_{p0} = n_{0p}$

