

## Sadržaj MI-a

Iz povjerljivih izvora (citaj: asistenti na labosima :)) doznali smo (hvala ludi gmaže :)) kako će zadaci na MI-u biti kao zadaci iz PDF-ova za vježbu, a posto su takvi zadaci bili i za zadacu pokusat cemo (christair i ja) ih skupiti na jednome mjestu podijeljene po dijelovima gradiva da učenje bude lakše.

Sto se teoretskog dijela tice receno je kako će on biti kao labos. Sad, sto to znaci nisam siguran, no nadam se da to znaci da ni to neće biti tesko i da cemo imati ugodan MI.

**UPDATE:** Procesljali smo oba stara topica na kojem su bili rješavani zadaci i pokupili sve sto se moglo. Ako netko zeli, neka slobodno na PM salje postupke nacina rješavanja zadataka koji vec ne postoje. Takodjer, ako nesto ne stima javite itd. (you know the drill :))

Da ne duljim, evo sadržaja podijeljenog po temama...

1. Zadaci s pojacalima
2. Zadaci s RC i CR mrezama
3. Zadaci s poluvodicima

## Sluzbena obavijest o MI-u sa fer.hr-a

Meduispit se sastoji od dvije skupine zadataka.

Prvu skupinu čini pet teoretskih pitanja s ponuđenim odgovorima. Svako pitanje se sastoji od dva dijela ( $a$  i  $b$  dio zadatka) i donosi ukupno dva boda. Za netočne odgovore dobivaju se negativni bodovi **u iznosu od 25 % vrijednosti pitanja**. Prema tome, na prvoj skupini zadataka može se postići najviše 10 bodova. Taj dio ispita će se strojno očitavati i studenti će na ispitu dobiti obrazac za test.

Drugu skupinu zadataka čine tri zadatka od kojih svaki vrijedi 5 bodova. Na tim zadacima nema negativnih bodova i ispravljat će se ručno. Kod tih zadataka ocjenjivat će se točnost postupka kao i konačna rješenja. Točan postupak rješavanja sastoji se od početne formule, izvoda formule (ako zadatak to zahtjeva) te krajnjeg izraza s uvrštenim numeričkim vrijednostima. **Rješenja bez mjernih jedinica nisu točna rješenja.**

Papire sa zadacima studenti po završetku ispita ulažu u košuljicu koju će dobiti na ispitu i predaju ih dežurnom asistentu. Ovaj skup pitanja ukupno vrijedi 15 bodova.

Na ispitu se smije imati samo službene formule koje se mogu skinuti sa stranica predmeta ([link](#)). Obratite pažnju da imate najnoviju verziju formula jer je tokom semestra bilo promjena. **Na službene formule nije dozvoljeno pisati dodatne formule.** Uz službene formule smije se imati obični sci-kalkulator.

Napredni kalkulatori s memorijom i/ili grafičkim prikazom strogo su zabranjeni. Na međuispitu studenti moraju isključiti svoje mobitele. Studenti koji se ne pridržavaju navedenih pravila bit će udaljeni s ispita i prijavljeni disciplinskoj komisiji.

U ovoj temi će biti skupljena sva pitanja i svi odgovori za kolokvij iz labosa, s obzirom da je rečeno da bi slična pitanja mogla doći na MI. Razlika će biti u tome da će točni odgovori biti objašnjeni.

## ZADACI ZA PRVI KOLOKVIJ IZ LABORATORIJSKIH VJEŽBI IZ ELEKTRONIKE 1

### 1. Osciloskop koristimo kao

(odgovorio **christair**)

- a) univerzalni instrument (ampermetar i voltmetar istovremeno)
- b) ampermetar
- c) voltmetar**
- d) instrument za mjerenje isključivo izmjeničnih struja
- e) instrument za mjerenje isključivo izmjeničnih napona

*Osciloskop uvijek prikazuje ovisnost napona o vremenu. Dakle samo voltmetar. Osciloskop je sposoban prikazivati sve vrste napona - stalne i pulsirajuće istosmjerne te izmjenične.*

### 2. Kada mjerimo osciloskopom onda na ekranu mjerimo otklon zrake:

(odgovorio **christair**)

- a) uvijek u odnosu na liniju poravnatu sa sredinom ekrana
- b) uvijek u odnosu na liniju poravnatu s vrhom ekrana
- c) uvijek u odnosu na liniju koja predstavlja potencijal mase odnosno referentni potencijal**
- d) uvijek u odnosu na liniju poravnatu s dnom ekrana
- e) ništa od navedenog

*Na osciloskopu se za oba kanala (CH1 i CH2) da namještati referentna razina - GND. Osciloskop se prebaci u GND mod te se odredi po vertikali gdje će biti GND razina. Kasnije se napon očitava u odnosu na tu razinu.*

### 3. Kada mjerimo osciloskopom onda osjetljivost moramo postaviti na:

(odgovorio **christair**)

- a) najveću moguću
- b) bilo koju jer preciznost mjerenja ne ovisi o osjetljivosti
- c) najmanju moguću
- d) nije bitno jer tipka autoscale ionako pronađe optimalnu osjetljivost**
- e) ništa od navedenog

*Da, ako se koristite digitalnim osciloskopom. Uvijek je najbolje staviti što manju osjetljivost, pa postupno povećavati osjetljivost do optimalne razine.*

### 4. Mjerni instrument ne smije utjecati na veličine koje se njime mjere u nekom mjernom sklopu ili sustavu. Ampermetar mjeri struju i:

(odgovorio **christair**)

- a) spaja se u paralelu i ima veliki unutarnji otpor
- b) spaja se u paralelu i ima mali unutarnji otpor
- c) spaja se serijski i ima veliki unutarnji otpor
- d) spaja se serijski i ima mali unutarnji otpor**
- e) nije bitno kako se spoji, uvijek će točno mjeriti, a unutarnji otpor se sam podesi

*Idealnom ampermetru unutarnji otpor jednak je 0 kako bi se na njemu stvorio što manji pad napona. Ampermetar se spaja serijski kako bi mogao očitavati struju koja prolazi direktno kroz njega.*

### 5. Mjerni instrument ne smije utjecati na veličine koje se njime mjere u nekom mjernom sklopu ili sustavu. Voltmetar mjeri napon i:

(odgovorio **christair**)

- a) spaja se u paralelu i ima veliki unutarnji otpor**
- b) spaja se u paralelu i ima mali unutarnji otpor
- c) spaja se serijski i ima veliki unutarnji otpor
- d) spaja se serijski i ima mali unutarnji otpor
- e) nije bitno kako se spoji, uvijek će točno mjeriti, a unutarnji otpor se sam podesi

*Idealnom voltmetru unutarnji otpor je beskonačno velik kako bi što manje struje prošlo kroz njega, a što više kroz glavni dio kruga koji se promatra. Spaja se u paralelu kako bi mogao izračunati razliku potencijala (napon) između dvije točke gdje je spojen.*

**6. Kada želimo izmjeriti vremenski odnos dva naponska signala koristimo:**

(odgovorio **christair**)

- a) dva voltmetra
- b) dva kanala osciloskopa**
- c) voltmetar, ampermetar i mjerač faznog pomaka
- d) voltmetar i mjerač faznog pomaka
- e) ampermetar, otpornu dekadu i mjerač faznog pomaka

*Gotovo svaki osciloskop ima dva kanala. Označeni su oznakama CH1 i CH2.*

**7. Za sondu osciloskopa koristimo koaksijalni kabel:**

(odgovorio **christair**)

- a) zato jer jedino tako izmjenični signal možemo dovesti na ulazno pojačalo osciloskopa
- b) zbog neosjetljivosti na smetnje**
- c) iz povijesnih razloga
- d) zbog jednostavne montaže stezaljki („krokodilki“)
- e) ništa od navedenog

*Ostali ponuđeni odgovori su prilično besmisleni. Neosjetljivost na smetnje je glavni adut koaksijalnih (oklopljenih) kablova.*

**8. Kada promatramo periodičke signale na osciloskopu moramo:**

(odgovorio **christair**)

- a) postaviti okidanje (sinkronizaciju) na kanal na koji dovodimo promatrani signal**
- b) postaviti okidanje (sinkronizaciju) na onaj kanal koji je ostao slobodan
- c) promatrati isključivo oba kanala istovremeno da bi dobili mirnu sliku
- d) postaviti referentnu razinu na sredinu ekrana
- e) spojiti crnu stezaljku (krokodilku) slobodne sonde na masu

*Ukoliko je slika na osciloskopu nestabilna ili treperi, to se događa zbog ne postojanja okidanja (sinkronizacije) s izvorom. Okidanje je na osciloskopu označeno sa TRIGGER. Okidanje može biti vanjsko (vanjski izvor za sinkronizaciju) ili unutarnje, na vlastiti signal.*

**9. Osciloskopom frekvenciju možemo mjeriti:**

(odgovorio **christair**)

- a) direktno mjerenjem po vertikali (vertikalni otklon)
- b) indirektno mjerenjem po vertikali (vertikalni otklon)
- c) direktno mjerenjem po horizontali (horizontalni otklon)
- d) indirektno mjerenjem po horizontali (horizontalni otklon)**
- e) ništa od navedenog

*Horizontalna je komponenta uvijek vrijeme. Frekvencija je oduvijek bila  $1/T$ , a perioda  $T$  se lako očita s osciloskopa.*

**10. Kada mjerimo ampermetrom za što točnije mjerenje moramo postaviti:**

(odgovorio **christair**)

- a) najveću osjetljivost
- b) najmanju osjetljivost
- c) osjetljivost takvu da dobijemo maksimalni mogući otklon kazaljke**
- d) osjetljivost tako da nam se kazaljka poklopi s oznakom na mjernoj skali, a ne da se postavi između dvije oznake
- e) ništa od navedenog

*Analogni multimetri rade najmanju pogrešku pri mjerenju u zadnjoj trećini svoje skale. Dakle, kod svakog mjerenja, uvijek nastojte podesiti osjetljivost takvu da otklon bude što je moguće veći.*

**11. Odziv CR mreže na ekranu osciloskopa prikazan je na slici. Odrediti amplitudu od vrha do vrha za pravokutni napon na ulazu mreže. Zadana je osjetljivost kanala osciloskopa na kojem mjerimo (volts/div).**

(odgovorio **I V A N**, ispravio **mlaen**)

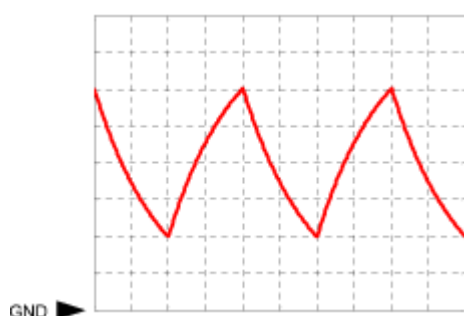


Rezultat: 4 div

Traži se amplituda ulaznog napona. Nije zadan volts/div.

**12. Odziv RC mreže na ekranu osciloskopa prikazan je na slici. Odrediti srednju vrijednost pravokutnog napona na ulazu mreže. Zadana je osjetljivost kanala osciloskopa na kojem mjerimo (volts/div). Markerom s lijeve strane ekrana označena je referentna razina.**

(odgovorio **I V A N**)

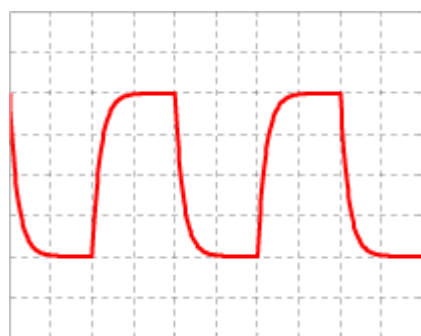


Rezultat: 4 div

Gledano bez istosmjerne komponente od 2 div, srednja vrijednost je od vrha do vrha / 2 = 2 div. Tome pribrojimo 2 div istosmjerne komponente = 4 div.

**13. Za odziv RC mreže prikazan na slici treba odrediti radi li se o odzivu na otporniku ili kondenzatoru te zaključiti kakav je odnos periode ulaznog pravokutnog napona i vremenske konstante RC mreže. (moguće su različite varijante ovog zadatka).**

(odgovorio **I V A N**)

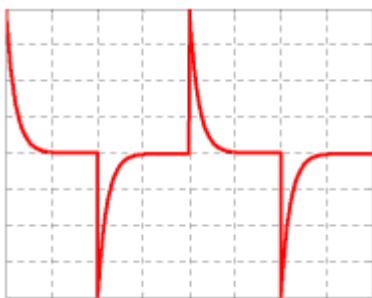


Napon sa slike je napon na kondenzatoru.  $\tau < T$  jer se kondenzator uspio nabiti i izbiti unutar vremena  $T$ .

"Trajanje prijelazne pojave mijenja se s omjerom vremenske konstante mreže ( $\tau$ ) i periode ulaznog pravokutnog napona  $T$ . Za manju konstantu  $\tau$  u odnosu na period  $T$  trajanje prijelazne pojave je kraće." -ele1 skripta

**14. Za odziv RC mreže prikazan na slici treba odrediti radi li se o odzivu na otporniku ili kondenzatoru te zaključiti kakav je odnos periode ulaznog pravokutnog napona i vremenske konstante RC mreže. (moguće su različite varijante ovog zadatka)**

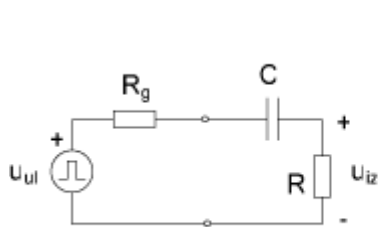
(odgovorio **I V A N**)



Odziv je na otporniku.

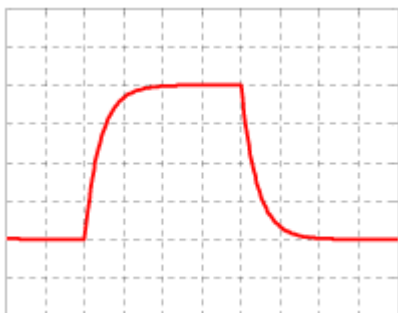
"Trajanje prijelazne pojave mijenja se s omjerom vremenske konstante mreže ( $\tau$ ) i periode ulaznog pravokutnog napona  $T$ . Za manju konstantu  $\tau$  u odnosu na period  $T$  trajanje prijelazne pojave je kraće." -ele1 skripta

**15. Na ulaz CR mreže priključen je generator pravokutnog napona. Amplituda ulaznog napona iznosi 3 V od vrha do vrha (razlika visoke i niske razine napona). Odziv na otporniku iznosa  $R=100$  prikazan je na ekranu osciloskopa. Osjetljivost kanala osciloskopa je postavljena na 0,5 V/div. Izračunati iznos unutarnjeg otpora generatora.,  $R_g$ .**



Odgovor: 15 oma (potrebno je objašnjenje, anyone?)

**16. Odziv RC mreže na ekranu osciloskopa prikazan je na slici. Odrediti iznos vremenske konstante. Prilikom promatranja odziva na osciloskopu odabrana je vremenska baza od 0.25 ms/div.**  
(odgovorio I V A N)



Odgovor: 0.1 ms

$t_r$  = rise time (vrijeme porasta) = vrijeme da izlazni napon poraste s 10% na 90% svoje konačne vrijednosti

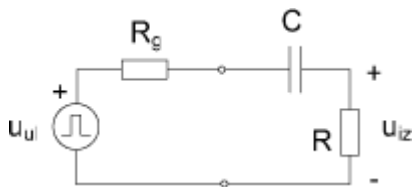
Gledamo otprilike s grafa gdje je 10% i 90% konačne vrijednosti, što je nešto manje od 1 div, recimo 0.9 div.

Dakle,

$$\tau = t_r / 2.2 = 0.9 * 0.25 / 2.2 = 0.1 \text{ ms}$$

**17. Odrediti vrijeme porasta izlaznog napona uiz za mrežu prikazanu slikom. Zadano je  $R=100$  ,  $C=1$   $\mu\text{F}$  i  $R_g=50$ .**

(odgovorio I V A N)

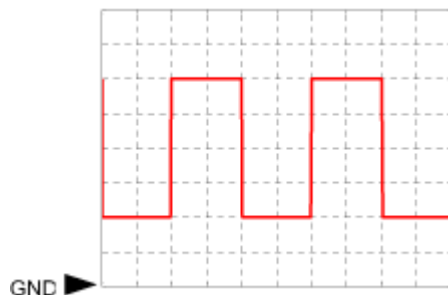


$$\tau = R_{uk} \cdot C = (R_g + R) \cdot C = 150 \text{ mikrosek}$$

$$t_r = 2.2 \cdot \tau = 0,33 \text{ ms}$$

**18. Na ulaz RC mreže dovodi se napon prikazan na ekranu osciloskopa. Kolika će biti srednja vrijednost na otporniku, a kolika na kondenzatoru. Markerom je označena referentna razina. Osjetljivost osciloskopa je 1V/div.**

(odgovorio **I V A N**)



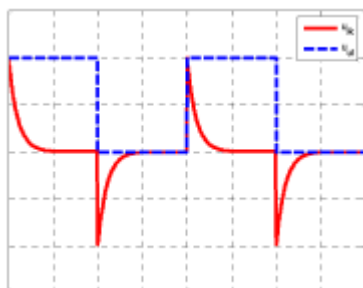
Odgovor: 0 V za kondenzator, 4 V za otpornik

Kondenzator ne propušta istosmjerni napon, tako da će na njemu biti samo izmjenična komponenta. Prikazani graf bez istosmjerne komponente je onaj kojem se srednja vrijednost nalazi u ishodištu.

Otpornik vidi sav napon, znači srednja vrijednost je jednaka 2V istosmjerne plus 2V izmjenične komponente.

**19. Slika prikazuje ulazni i izlazni napon CR mreže na ekranu osciloskopa. Što se događa s izlaznim naponom kada promijenimo istosmjernu vrijednost ulaznog napona (DC OFFSET)? uR uul**

(odgovorio asistent iz ele1)



Ne događa se ništa. (tako barem kaže asistent. nemamo detaljnije objašnjenje, anyone?)

**20. Osciloskopom je na izlazu RC mreže izmjereno vrijeme porasta  $t_r=1,5$  ms. Poznat je iznos otpornika  $R=5,6$  k. Koliki je iznos kapaciteta kondenzatora?**

(odgovorio **I V A N**)

$$\tau = t_r / 2.2 = 0.681 \text{ ms}$$

$$C = \tau / R = 0.121 \text{ mikroF}$$

**21. Ampermetar mjeri struju  $I=5$  mA, a voltmetar napon  $U=0,6$  V. Kolika je struja zasićenja diode? Pretpostaviti  $m \cdot U_T=25$  mV.**

Odgovor: 0.188 pA

**22. Struja zasićenja diode iznosi 0,1 nA. U mjernom sklopu na slici ampermetar pokazuje  $I=1$  mA dok voltmetar mjeri napon  $U=0,485$  V. Koliki je faktor idealnosti diode m?**

Odgovor: 0.03 /  $U_t$

**23. Struja zasićenja diode iznosi 0,1 nA. U mjernom sklopu na slici ampermetar pokazuje  $I=1$  mA dok voltmetar mjeri napon  $U=0,485$  V. Koliki je (unutrašnji) serijski otpor diode? Pretpostaviti**

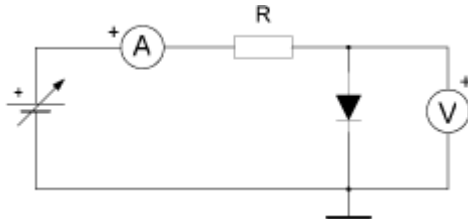
**UT=25 mV**

Odgovor: 83 oma

**24. Struja zasićenja diode iznosi 0,1 nA. U mjernom sklopu na slici ampermetar pokazuje I=1 mA dok voltmetar mjeri napon U=0,485 V. Koliki je napon na pn-spoju, a koliki na unutrašnjem serijskom otporu? Pretpostaviti UT=25 mV**

Odgovor: 0.402 kod pn prijelaza, 0.083 kod otpora

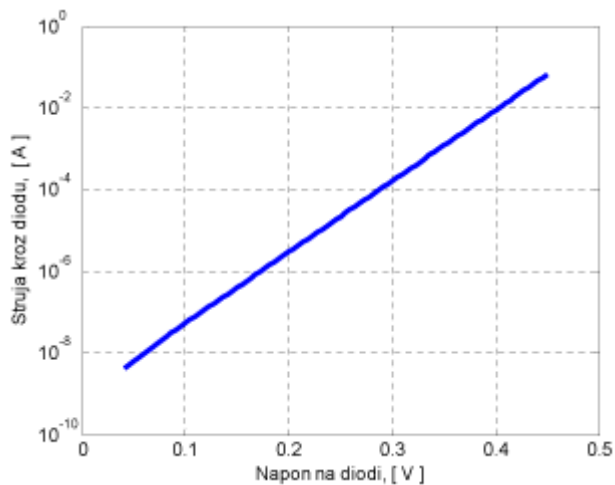
**Zadaci 21 - 24 bazirani su na istoj shemi (dolje) i na istoj formuli.**



$I_d$  - struja kroz diodu  
 $I_s$  - struja zasićenja diode  
 $U_d$  - napon diode  
 $U_t$  - naponski ekvivalent temperature  
 $m$  - faktor idealnosti / faktor injekcije

$U_t = T / 11609$   $T$  u Kelvinima  
 $I_d = I_s [\exp(U_d / (m \cdot U_t)) - 1]$

**25. Na slici je prikazana strujno – naponska karakteristika neke diode. Kolika je struja zasićenja za tu diodu?**



Produžite graf prema dolje, te na sjecištu grafa i ordinate očitajte vrijednost na ordinati. Rješenje je time  $10^{-9}$ , makar je sam postupak diskutabilan. Ne uzimati zdravo za gotovo.

## Zadaci s pojacalima

**UPDATE:** Kolega \*GOX\* rijesio je sve zadatke za vjezbu (one bez rjesenja) iz 1. cjeline (1. PDF-a), a tu datoteku mozete skinuti [ovdje](#).

### 1. (by Stealth)

**Ako je na izlaz naponskog pojačala priključeno trošilo  $R_{T1}=3.3k\Omega$ , na njemu je izmjeren izlazni napon 2.4V. Za koliko će se promijeniti izlazni napon ako pojačalo opteretimo s  $R_{T2}=4.7k\Omega$ ? Zadano je  $R_{i1}=900\Omega$ ,  $R_{i2}=1.2k\Omega$ .**

Krene se od:

$$A_V = U_{iz} / U_{ul} = A_v * R_T / (R_{iz} + R_T)$$

$$A_v = (U_{iz} * (R_{iz} + R_T)) / (U_{ul} * R_T)$$

Sad, sljedeći parametri su nam jednaki:  $A_{v1}=A_{v2}$ ,  $U_{ul1}=U_{ul2}$ ,  $R_{i1}=R_{i2}$ .  
Izjednačavamo po Avovima.

$$(U_{iz1} * (R_{iz} + R_{T1})) / (U_{ul} * R_{T1}) = (U_{iz2} * (R_{iz} + R_{T2})) / (U_{ul} * R_{T2})$$

Prebacimo na omjer Uizova, jer se traži povećanje u odnosu na originalni izlazni napon.

$$U_{iz2}/U_{iz1} = ((R_{iz} + R_{T1}) * R_{T2}) / ((R_{iz} + R_{T2}) * R_{T1})$$

Uvrste se početni  $R_{T1}$ ,  $R_{T2}$  i  $R_{iz}$  ( $U_{iz1}$  nam je nebitan jer se traži relativno povećanje, kao i  $R_{ul}$  jer sve rješavamo preko izlaznog dijela pojačala).

Za dane brojeve omjer  **$U_{iz2}/U_{iz1} = 1,086$ , dakle povećanje je 8.6%**, što je jedno od ponuđenih rješenja.

### 2. (by I V A N)

Izlazna struja neopterećenog strujnog pojačala iznosi:

$$I_{izl1} = U_{izl1} / R_{izl} = 10\text{mikroA}$$

A ulazna struja prema definiciji iznosi:

$$I_{ul} = I_{izl1} / A_i$$

I ona je nepromjenjiva (to jest ne mijenja se s promjenom opterećenja izlaza).

Kada opteretimo izlaz sa otporom tereta pojačanje iznosi:

$$I_{izl2} / I_{ul} = A_i * R_{izl} / (R_{izl} + R_t)$$

$$I_{izl2} = I_{ul} * A_i * R_{izl} / (R_{izl} + R_t) = I_{izl1} * R_{izl} / (R_{izl} + R_t) = 9.9\text{mikroA}$$

Znači, izlazna se struja nakon opterećenja neprimjetno snizila (što je i logično jer je  $R_{izl} \gg R_t$  pa je većina struje otišla na  $R_t$ )

Izlazni napon (tj. napon na otporu tereta):

$$U_{izl2} = I_{izl2} * R_t = 9.9\text{mV}$$

Omjer prvog i drugog napona [u postocima]:

$$U_{izl2} / U_{izl1} [\%] = 9.9 * 10^{-3} * 100 / 1 = 0.99 \% \approx 1\%$$



$$U_{i2} = 1\% U_{i1}$$

Znači,  $U_{i2}$  poprima jedan posto vrijednosti  $U_{i1}$  tj. padne za 99% početne vrijednosti napona (tj. napona neopterećenog strujnog pojačala).

Rješenje: **smanji se za 99%**

### 3. (by I V A N)

$$AV = 130$$

$$AV_g = 120$$

$$A_v = 140$$

$$R_g = 50\Omega$$

$$R_t = 5.6k\Omega$$

$$AV = A_v * R_t / (R_t + R_{i1})$$

$$R_{i1} = (A_v * R_t - AV * R_t) / AV$$

$$R_{i1} = 430\Omega$$

$$A_{vg} = AV * R_{ul} / (R_{ul} + R_g)$$

$$R_{ul} = A_{vg} * R_g / (AV - A_{vg})$$

$$R_{ul} = 600\Omega$$

Nadam se da je tu sve jasno!!!

Rješenje:  **$R_{i1} = 430\Omega$ ,  $R_{ul} = 600\Omega$**

### 4. (by Frost)

**Na izlaz strujnog pojačala priključen je ampermetar koji je izmjerio 0,1mA. Kad priključimo voltmetar na izlaz on izmjeri 1V. Odrediti izlazni otpor  $R_{i1}$  i strujno pojačanje neopterećenog pojačala.  $A_i$ .**

a.  $R_{i1}=10k\Omega$   $A_i=200$

b.  $R_{i1}=10k\Omega$   $A_i=150$

-c.  $R_{i1}=10k\Omega$   $A_i$  nemože se odrediti

d.  $R_{i1}=50k\Omega$   $A_i$  nemože se odrediti.

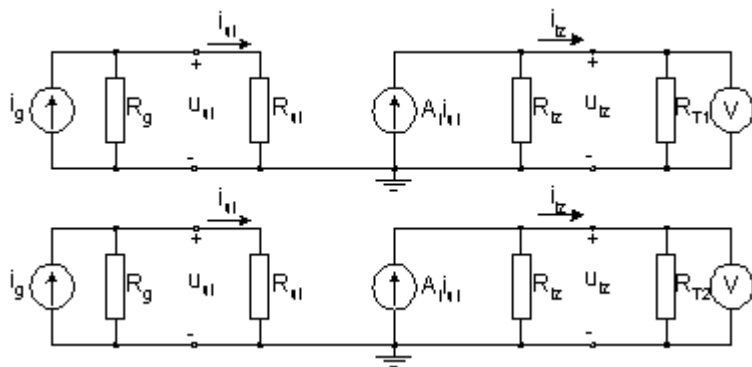
e.  $R_{i1}=50k\Omega$   $A_i=100$

jednostavno i glupo...:

dakle:  **$R_{i1}=U/I=1/0.1m=10k$** ,  **$A_i$  se ne može odrediti** jer nemamo podataka iz lijevog strujnog kruga...

### 5. (by ariel)

**Ako na izlaz naponskog pojačala priključeno trošilo  $R_{T1}=15k\Omega$  izmjeren je napon 4V. Za koliko će se promijeniti izlazni napon ako pojačalo opteretimo trošilom  $R_{T2}=27k\Omega$ . Zadano je  $R_{ul}=900\Omega$  i  $R_{i1}=6,8k\Omega$ .**



RJESENJE:

krećemo od formule izlaznog napona...

$U_{iz} = i_{iz} \cdot R_t = | \text{za } i_{iz} = \text{transformacija iz strujnog u naponski izvor} | ..$

dakle  $i_{iz} = A_i \cdot i_{ul} \cdot R_{iz} / (R_{iz} + R_t)$ , vraćamo u jed. za  $U_{iz}$

$U_{iz} = A_i \cdot i_{ul} \cdot R_{iz} / (R_{iz} + R_t) \cdot R_t ...$  uvrstimo podatke za  $R_{t1}$  i ispada  $A_i \cdot i_{ul} = 8,54 \cdot 10^{-4}$

e sad istu stvar ponovimo za  $R_{t2}$ , samo što u jednadžbu uvrstimo  $A_i \cdot i_{ul}$  (pojačanje je konstantno, bez obzira na promjenu  $R_t$ -a)

i sada dobijamo za  $U_{iz} = 4,64V ...$  a to je za 0,64 više od 4V, što predstavlja **povećanje od 16%...**

trebalo bi biti točno 😊

## 6. (by Vjeko)

Želimo da pojačalo ima naponsko pojačanje  $AV=100$  i naponsko pojačanje u odnosu na izvor  $AV_g=95$ . Odrediti ulazni i izlazni otpor naponskog pojačala ako je  $Av=200$ . Zadano je  $R_g=50\Omega$  i  $R_T=1k\Omega$ .

$$AV = Av \cdot R_T / (R_{iz} + R_T)$$

odavde:

$$R_{iz} = 1k \text{ ohm}$$

$$AV_g = Av \cdot R_T \cdot R_{ul} / [(R_{iz} + R_T) \cdot (R_g + R_{ul})]$$

odavde:

$$R_{ul} = 950 \text{ ohm}$$

## 7. (by unworthy)

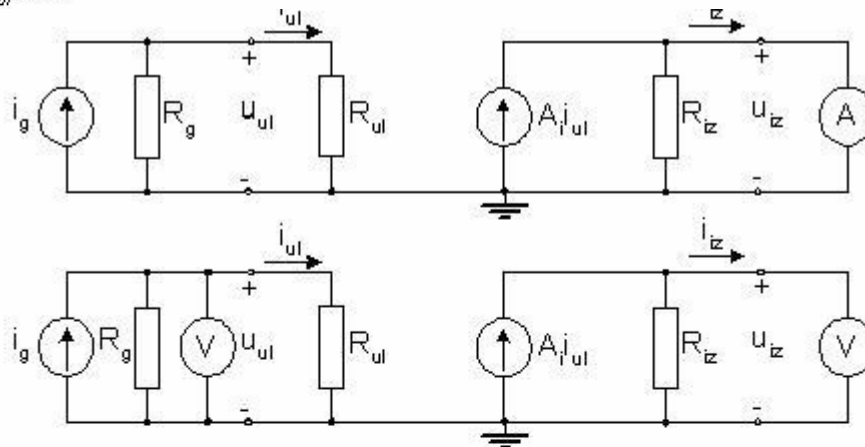
Želimo da pojačalo ima naponsko pojačanje  $AV=100$  i naponsko pojačanje u odnosu na izvor  $AV_g=80$ . Odrediti ulazni i izlazni otpor naponskog pojačala ako je  $Av=200$ . Zadano je  $R_g=50\Omega$  i  $R_T=1k\Omega$ .

$$AV = Av \cdot (R_T / (R_T + R_{iz})) \implies R_{iz} = 1000 \text{ ohm}$$

$$AV_g = AV \cdot (R_{ul} / (R_{ul} + R_g)) \implies R_{ul} = 200 \text{ ohm}$$

## 8. (by Alpha)

Na izlaz strujnog pojačala priključen je ampermetar koji je izmjerio 0,2mA. Kad priključimo voltmetar na izlaz on izmjeri 10V, a kod ga priključimo na ulaz izmjeri 2mV. Odrediti izlazni otpor  $R_{iz}$  i strujno pojačanje neopterećenog pojačala,  $A_i$ . Ako je ulazni otpor  $R_{ul}=1k\Omega$ .



- ☐ a.  $R_{iz}=50k\Omega$   $A_i$  nemože se odrediti.
- ☐ b.  $R_{iz}=100k\Omega$   $A_i=200$
- ☐ c.  $R_{iz}=100k\Omega$   $A_i$  nemože se odrediti
- ☐ d.  $R_{iz}=100k\Omega$   $A_i=100$

- ☐ e.  $R_{iz}=50k\Omega$   $A_i=100$

$$I_{iz} = 0.2 \times 10^{-3}$$

$$U_{iz} = 10$$

$$U_{ul} = 2 \times 10^{-3}$$

$$R_{ul} = 1 \times 10^3$$

!

$$R_{iz} = \frac{U_{iz}}{I_{iz}}$$

$$I_{ul} = \frac{U_{ul}}{R_{ul}}$$

$$A_i = \frac{I_{iz}}{I_{ul}}$$

Out[186]= 50000.

Out[187]=  $\frac{1}{500000}$

Out[188]= 100.

## 9. (by ĐeimsBond)

Ako na izlaz strujnog pojačala nije priključeno trošilo izmjeren je napon 5,5V(napon na stezaljkama gdje bi trebao biti  $R_t$ ). Za koliko će se promijeniti izlazni napon ako pojačalo opteretimo trošilom  $R_T=180k\Omega$ . Zadano je

**$R_{ul}=150k\Omega$  i  $R_{iz}=120k\Omega$ .**

Ja sam ga ovak računao. Ne znam jel točno, pretpostavljam da je. Ali volio bih da ga netko potvrdi.

Prvo sam krenuo od prvog crteža. Znači obično strujno pojačalo samo kaj mu je  $R_t=0$  oma.

Pošto nema nikakvog otpora pretpostavio sam da je izmjereni napon  $U=5.5V$  zapravo  $U_{iz}$ . Pa imamo samo  $R_{iz}$  i strujni izvor ( $A_i \cdot I_{ul}$ ) u desnom dijelu kruga. Iz čega slijedi:  $U_{iz1} = (A_i \cdot I_{ul}) \cdot R_{iz}$

Iz te relacije sam izračunao  $A_i \cdot I_{ul} = 0.045 \text{ mA}$ .

E onda sam pogledao čemu je jednak  $A_i$  (to je onaj mali  $i$ , ne veliki):

Formula kaže da je  $(A_i \cdot I_{ul}) = (I_{iz1} / I_{ul}) \cdot I_{ul} = 0.045 \text{ mA}$

Tu se skrate  $I_{ul}$  i ostane mi  $I_{iz1} = 0.045 \text{ mA}$ .

Drugi dio:

Pošto sada imam  $I_{iz1}$  išao sam odmah tražiti odnos  $I_{iz1}$  i  $I_{iz2}$ .

To sam napravio tako da sam izjednačio  $A_i$ -ove (sa malim  $i$ ):

$$(I_{iz1} \cdot (R_{iz} + R_{t1})) / I_{ul} \cdot R_{iz} = (I_{iz2} \cdot (R_{iz} + R_{t2})) / I_{ul} \cdot R_{iz}$$

Iz te relacije slijedi:

$$I_{iz2} = 2/5 \cdot I_{iz1} = 0.018 \text{ mA}$$

Sada imamo  $I_{iz2}$  i  $R_{t2}$  pa možemo i izračunati  $U_{iz2}$ .

$$U_{iz2} = I_{iz2} \cdot R_{t2} = 3.24V$$

I na kraju imamo napon prije priključenja trošila (5.5V) i napon poslije priključenja trošila (3.24V). Još treba izračunati postotak smanjenja drugog napona u odnosu na prvi.

$$5.5V = 100\%$$

$$3.24V = x\%$$

dobijemo da je  $x=58.9\%$  sto je cca 60%

**znači konačno rješenje je smanji se 40%**

## **10. (by tomi)**

**Ako na izlaz strujnog pojačala nije priključeno trošilo izmjereno je napon 1,5V.**

**Za koliko će se promijeniti izlazni napon ako pojačalo opteretimo trošilom**

**$R_T=100k\Omega$ . Zadano je  $R_{ul}=150k\Omega$  i  $R_{iz}=100k\Omega$ .**

Smanji se za 50% je rješenje, a postupak glasi:

Izlazna struja neopterećenog strujnog pojačala iznosi:

$$I_{izl1} = U_{izl1} / R_{izl} = 1,5 \cdot 10^{-5} A$$

A ulazna struja prema definiciji iznosi:

$$I_{ul} = I_{izl1} / A_i$$

Kada opteretimo izlaz sa otporom tereta pojačanje iznosi:

$$I_{izl2} / I_{ul} = A_i \cdot R_{izl} / (R_{izl} + R_t)$$

$$I_{izl2} = I_{ul} \cdot A_i \cdot R_{izl} / (R_{izl} + R_t) = I_{izl1} \cdot R_{izl} / (R_{izl} + R_t) = 7,5 \cdot 10^{-6} A$$

Izlazni napon (tj. napon na otporu tereta):  
 $U_{iz2} = I_{iz2} * R_t = 0,75V$

$$(U_{iz2}/U_{iz1})*100=50\%$$

### 11. (by P(M)ervan)

Na izlaz strujnog pojačala priključen je ampermetar koji je izmjerio 0,1mA. Kad priključimo voltmetar na izlaz on izmjeri 3,5V. Odrediti izlazni otpor  $R_{iz}$  i strujno pojačanje neopterećenog pojačala.  $A_i$ .

$$I_{iz}=0.1*10^{-3} A$$

$$U_{iz}=3.5V$$

$$R_{iz}=U_{iz}/I_{iz}$$

$$R_{iz}=3.5*10^4 \text{ Ohma}$$

$$\mathbf{R_{iz}=35 \text{ kOhma}}$$

$$A_i=I_{iz}/I_{ul}$$

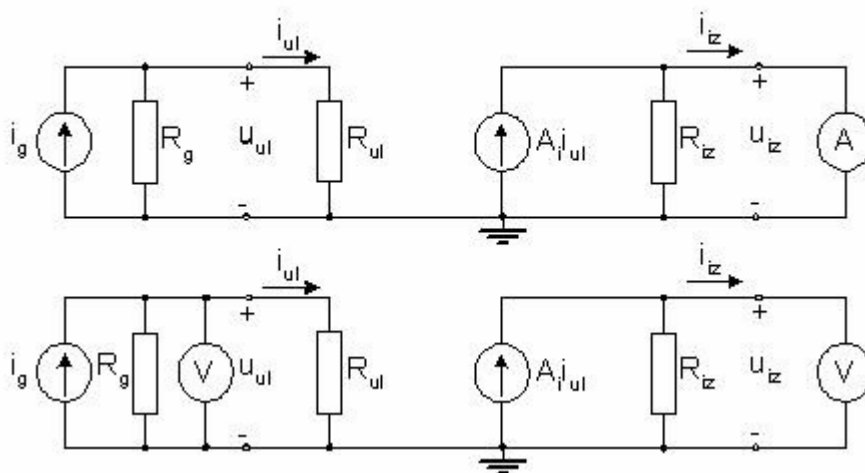
**$I_{ul}$  nije zadano, pa se  $A_i$  neda odrediti**

### 12. (by P(M)ervan)

Na izlaz strujnog pojačala priključen je ampermetar koji je izmjerio  $50\mu A$ .

Kad priključimo voltmetar na izlaz on izmjeri 5V, a kod ga priključimo na ulaz izmjeri 1mV.

Odrediti izlazni otpor  $R_{iz}$  i strujno pojačanje neopterećenog pojačala.  $A_i$ . Ako je ulazni otpor  $R_{ul}=1k\Omega$ .



- ☐ a.  $R_{iz}=50k\Omega \ A_i=50$
- ☐ b.  $R_{iz}=100k\Omega \ A_i=50$
- ☐ c.  $R_{iz}=50k\Omega \ A_i$  nemože se odrediti.

$$R_{iz} = U_{iz} / I_{iz}$$

$$R_{iz} = 100 \text{ k}\Omega$$

$$I_{ul} = U_{ul} / R_{ul}$$

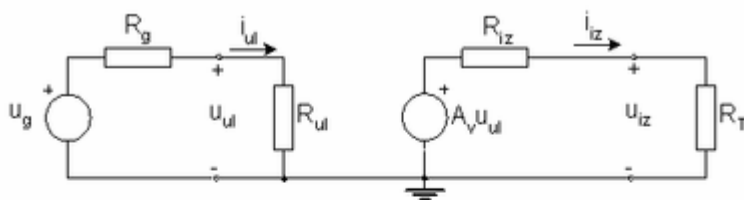
$$I_{ul} = 1 \text{ }\mu\text{A}$$

$$A_i = I_{iz} / I_{ul}$$

$$A_i = 50$$

### 13. (by cox3.14)

Želimo da pojačalo ima naponsko pojačanje  $AV=330$  i naponsko pojačanje u odnosu na izvor  $AV_g=220$ . Odrediti ulazni i izlazni otpor naponskog pojačala ako je  $Av=440$ . Zadano je  $R_g=50?$  i  $R_T=300?$ .



- a.  $R_{ul}=100\Omega, R_{iz}=100\Omega$
- b.  $R_{ul}=200\Omega, R_{iz}=100\Omega$
- c.  $R_{ul}=200\Omega, R_{iz}=200\Omega$
- d.  $R_{ul}=100\Omega, R_{iz}=200\Omega$
- e.  $R_{ul}=150\Omega, R_{iz}=270\Omega$

Rjesenje je **a.  $R_{ul}=100?$ ,  $R_{iz}=100?$**

a postupak je ovaj

$$AV = A_v * R_T / (R_T + R_{iz})$$

$$R_{iz} = (A_v * R_T - AV * R_T) / AV$$

$$AV_g = AV * R_{ul} / (R_{ul} + R_g)$$

$$R_{ul} = AV_g * R_g / (AV - AV_g)$$

## Zadaci s RC i CR mrežama

### 1. (by I V A N)

$$\tau = R * C = 4.7 \text{ milisek}$$

Nazovimo sada sa  $U_0$  minimalni iznos izlaznog napona, a sa  $U_1$  maksimalan iznos izlaznog napona.

$$U_0 = U_{0n} * [1 - \exp(-T_2/\tau)] + U_1 * \exp[-T_2/\tau]$$

$$U_1 = U_{1n} * [1 - \exp(-T_1/\tau)] + U_0 * \exp[-T_1/\tau]$$

$$(1) U_0 = 0,173 + 0,653 * U_1$$

$$(2) U_1 = 0,202 + 0,899 * U_0$$

U zadatku se traži  $U_0$  pa drugu jednadžbu uvrštavamo u prvu:

$$U_0 = 0,173 + 0,653 * (0,202 + 0,899 * U_0)$$

$$0,413 * U_0 = 0,305$$

$$U_0 = 0,74 \text{ V}$$

Rješenje: **0.74V**

### 2. (by I V A N)

**Na ulaz CR mreže u trenutku  $t_1=2$  ms dovodi se pravokutni impuls amplitude  $U_0=6$  V i trajanja  $T=3$  ms. U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi  $U_{C0}=12$  V. Izračunati izlazni napon u trenutku  $t_2$  netom prije skoka ulaznog napona. Zadno je  $C=1 \mu\text{F}$  i  $R=4,7 \text{ k}\Omega$ . U intervalu vremena od  $t=0$  do dolaska impulsa ulazni napon je jednak 0.**

$$\tau = 4.7 \text{ milisek}$$

$$U_C(0) = 12 \text{ V}$$

$$U_R(0-) = -12 \text{ V}$$

$$U_R(0+) = -12 \text{ V}$$

U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi 12V dok je na otporu -12V (zbroy svih padova napona u zatvorenom strujnom krugu mora biti jednak nula)

$$U_C(t_1) = U_C(0) * \exp(-t_1/\tau) = 7,841 \text{ V}$$

$$U_R(t_1-) = -7.841 \text{ V}$$

$$U_R(t_1+) = -1,841 \text{ V}$$

U trenutku  $t=t_1$  napon je na kondenzatoru pao na 7.841V (kondenzator se praznio). Kod otpornika je napon trenutak prije nailaska impulsa -7.841V dok je u trenutku nailaska -1.841V ( $U_R+U_C-U_0 = 0$ ).

Zatim se do trenutka  $t=t_2$  kondenzator počeo puniti (makar se to po vrijednosti ne vidi)

$$U_C(t_2) = U_C(t_1) + (U_0 - U_C(t_1)) * [1 - \exp(-T/\tau)] = 6.972 \text{ V}$$

$$U_R(t_2-) = -0.972 \text{ V}$$

$$U_R(t_2+) = -6.972 \text{ V}$$

Napon na otporniku prije pada vrijednosti napona na izlazu iznosi  $U_R+U_C-U_0 = 0$  tj.  $U_R = -U_C + U_0$ .

Rješenje:  **$U_R = -0.972 \text{ V}$**

### 3. (by Frost)

**Na ulaz RC mreže u trenutku  $t_1=0.8$  ms dovodi se pravokutni impuls amplitude  $= -2.4$  V i trajanja  $T=1$  ms. U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi  $=3$  V. Izračunati izlazni napon u trenutku  $t_2$ . Zadno je  $C=1 \mu\text{F}$  i  $R=2,2 \text{ k}\Omega$ .**

RJESENJE:

dakle imam  $U_{C0} = 3 \text{ V}$  sto znaci da ce se do impulsa kondenzator izbijati, odnosno to trenutka  $t_1 = 0.8 \text{ ms}$ , stoga imamo:

$\tau = RC$

$$U_{iz}(t_1) = U_{C0}(e^{(-t/\tau)}) = 3 * (e^{(-0.8/2.2)}) = 2.085 \text{ V}$$

Dalje vrijedi da je sad pocetni napon  $U_{ct} = U_{iz}(t_1)$ , dolazi impuls, te se krece nabijati kondenzator do trenutka  $t_2 = 1.8 \text{ ms}$ , sto znaci da je vrijeme  $t = t_2 - t_1 = 1 \text{ ms}$ , stoga imamo:

$$U_{iz}(t_2) = U_{ct} + (U_0 - U_{ct}) * (1 - e^{(-t/\tau)}) = 2.085 + (-2.4 - 2.085) * (1 - e^{(-1/2.2)})$$

**$U_{iz}(t_2) = 0.04456$**  .... tako neki broj sto je jednako 0.45 zbog zaokruzivanja.

#### 4. (by unworthy)

**Na ulaz CR mreže u trenutku  $t_1 = 1 \text{ ms}$  dovodi se pravokutni impuls amplitude  $U_0 = 3,3 \text{ V}$  i trajanja  $T = 0,5 \text{ ms}$ . U trenutku  $t = 0$  napon na kondenzatoru iznosi  $U_{C0} = 3,3 \text{ V}$ . Izračunati izlazni napon u trenutku  $t_2$  netom prije skoka ulaznog napona. Zadno je  $C = 1 \text{ } \mu\text{F}$  i  $R = 2,2 \text{ k}\Omega$ . U intervalu vremena od  $t = 0$  do dolaska impulsa ulazni napon je jednak 0.**

**moj rj.:  $0.96 \text{ V}$**

mora biti zadovoljena jednadžba  $U(\text{ulazno}) = U(\text{kapacitet}) + U(\text{otpor})$ .  
kako je  $U_C = 3.3 \implies U_R = -3.3$  u trenutku 0.

sad nakon trenutka 0, slijedi period od jedne ms gdje nema ulaznog napona.

kondenzator se izbija i pada mu napon

$$U_C = 0 + (3.3 - 0) \exp(-1/2.2) = 2.09 \implies U_R \text{ nakon } 1 \text{ ms} = -2.09.$$

sada dolazi visoka razina ulaznog napona. napon na R-u se skokovito mijenja i skoči za iznos visoke razine:

$$U_R = -2.09 + 3.3 = 1.21$$

sad jer postoji napon kondenzator cijedi otpor i napon na njemu pada nakon još 0.5 ms

$$\mathbf{U_R = 0 + (1.21 - 0) \exp(-0.5/2.2) = 0.96 \text{ V}}$$

#### 5. (by fistrich)

**Generator pravokutnog impulsa spojen je na ulaz CR mreže. Oblik generiranog impulsa prikazan je slikom uz  $t_1 = 0,25 \text{ ms}$ ,  $U_0 = 1,5 \text{ V}$  i  $T = 0,1 \text{ ms}$ . U trenutku  $t = 0$  napon na kondenzatoru iznosi  $U_{C0} = -0,9 \text{ V}$ . Izračunati izlazni napon u trenutku  $t_2$  netom prije skoka ulaznog napona. Zadno je  $C = 1 \text{ } \mu\text{F}$ ,  $R = 100 \text{ } \Omega$  i  $R_g = 50 \text{ } \Omega$ . U intervalu vremena od  $t = 0$  do dolaska impulsa  $u_g = 0$ .**

Dakle za one koje zanima ide:

Budući da imamo  $R_g$  (unutrasnji otpor generatora) situacija je malo drugacija nego obicno. Uzimamo  $R_{uk}$

DO  $t_1$ :

$$R_{uk} = R_g + R$$

$$\tau = R_{uk} * C$$

$$U_c = U_{C0} * e^{(-t_1/\tau)}$$

$$U_c = -0.17 \text{ V} \implies U_{ruk1} = 0.17 \text{ V}$$

OD  $t_1$  do kraja:

$$U_{ruk} = U_0 + U_{ruk1}$$

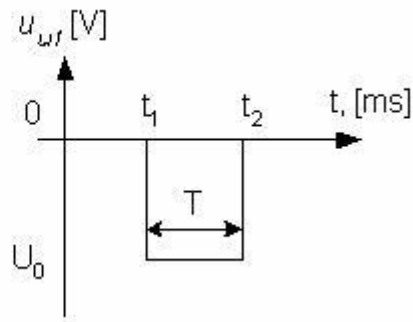
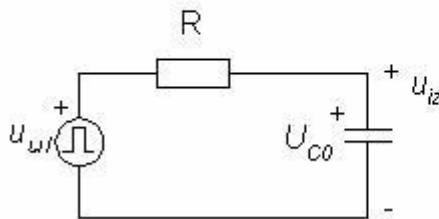
$$U_{iz} = (R / (R + R_g)) * U_{ruk} * e^{(-T/\tau)}$$

$$\mathbf{U_{iz} = 0.572 \text{ V}}$$



## 6. (by Alpha)

Na ulaz RC mreže u trenutku  $t_1=2$  ms dovodi se pravokutni impuls amplitude  $\square = -7$  V i trajanja  $T=2$  ms. U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi  $\square = 1.5$  V. Izračunati izlazni napon u trenutku  $t_2$ . Zadano je  $C=1$   $\mu$ F i  $R=5,6$  k $\Omega$ .



- ☐ a.  $u_{iz}(t_2) = -0,74$  V
- ☐ b.  $u_{iz}(t_2) = -1,37$  V
- ☐ c.  $u_{iz}(t_2) = -1,05$  V
- ☐ d.  $u_{iz}(t_2) = -3,06$  V
- ☐ e.  $u_{iz}(t_2) = -2,10$  V

In[149]:= **Uc0 = 1.5**

**U = -7**

**R = 5.6  $\times 10^3$**

**Cap = 1  $\times 10^{-6}$**

**t = 2  $\times 10^{-3}$**

**t0 = 0**

**t1 = 2  $\times 10^{-3}$**

**t2 = 4  $\times 10^{-3}$**

**T = R  $\times$  Cap**

**U0 = 0**

$$Uc1 = Uc0 + (U0 - Uc0) \left( 1 - \exp\left[-\frac{t1 - t0}{T}\right] \right) \quad t0 = 0 \text{ ms} \rightarrow t1 = 2 \text{ ms}$$

$$Uc = Uc1 + (U - Uc1) \left( 1 - \exp\left[-\frac{t2 - t1}{T}\right] \right) \quad t1 = 2 \text{ ms} \rightarrow t2 = 4 \text{ ms}$$

Out[159]= 1.04951

Out[160]= -1.36798

## 7. (by itomic)

Izračunati minimalni iznos izlaznog napona RC mreže u stacionarnom stanju uz ulazni pravokutni napon zadan slikom. Vrijednosti veličina na slici su  $U_{ULV} = 4,5$  V,  $U_{ULN} = 0,5$  V,  $T_1 = 0,1$  ms,  $T_2 = 0,25$  ms. Zadano je  $R = 3,3$  k $\Omega$  i  $C = 100$  nF.

Vidio sam da je par ljudi tražilo ovaj zadatak pa evo mog rješenja

$$U_p = U_{ulv} + (U_n - U_{ulv}) \cdot e^{(-T_1/CR)}$$

$$U_n = U_{uln} + (U_p - U_{uln}) \cdot e^{(-T_2/RC)}$$

Iz toga se izračuna  $U_n$  što je i rješenje, ja sam dobio 1.25 što mi je i ponuđeno.

### 8. (bi tomi)

Na ulaz CR mreže u trenutku  $t_1 = 5$  ms dovodi se pravokutni impuls amplitude  $U_0 = -10$  V i trajanja  $T = 4$  ms. U trenutku  $t = 0$  napon na kondenzatoru iznosi  $U_{C0} = 10$  V. Izračunati izlazni napon u trenutku  $t_2$  netom prije skoka ulaznog napona. Zadano je  $C = 1$   $\mu$ F i  $R = 8,2$  k $\Omega$ . U intervalu vremena od  $t = 0$  do dolaska impulsa ulazni napon je jednak 0.

Rješenje ti je -9,476V

Evo postupak:

$$\tau = R \cdot C$$

$$U_C(0) = 10V$$

$$U_R(0^-) = -10V$$

$$U_R(0^+) = -10V$$

$$U_C(t_1) = U_C(0) \cdot \exp(-t_1/\tau) = 5,435V$$

$$U_R(t_1^-) = -5,435V$$

$$U_R(t_1^+) = -15,435V \text{ ----} \rightarrow U_R + U_C - U_0 = 0 \quad U_R = -U_C + U_0 = -15,435V$$

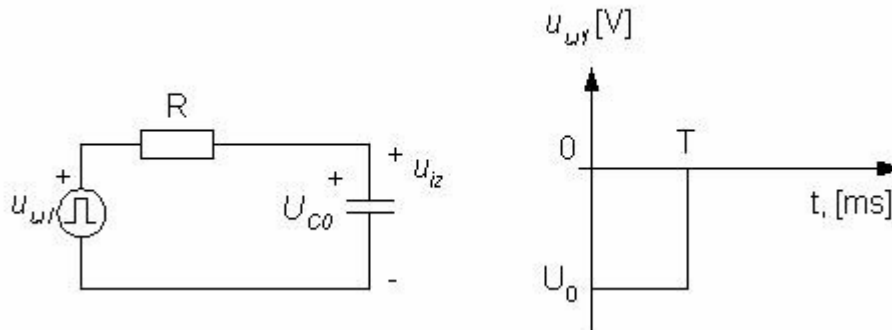
$$U_C(t_2) = U_C(t_1) + (U_0 - U_C(t_1)) \cdot [1 - \exp(-T/\tau)] = -0,524V$$

$$U_R(t_2^-) = 0,524V$$

$$U_R = -U_C + U_0 = 0,524 - 10 = -9,476V$$

### 9. (by P(M)ervan)

Na ulaz RC mreže u trenutku  $t=0$  dovodi se pravokutni impuls amplitude  $U_0 = -5 \text{ V}$  i trajanja  $T=0.2 \text{ ms}$ . U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi  $U_{C0} = 3 \text{ V}$ . Izračunati izlazni napon u  $t=T$ . Zadno je  $C=100 \text{ nF}$  i  $R=3,3 \text{ k}\Omega$ .

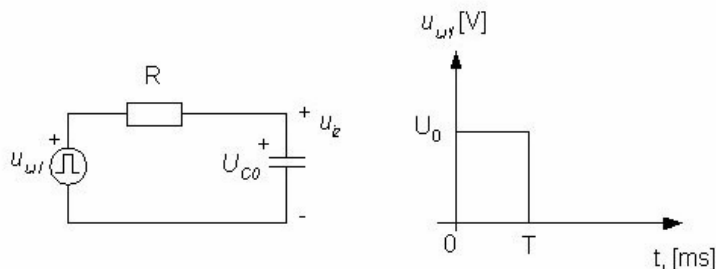


- ☐ a.  $u_{iz}(T) = 2,09 \text{ V}$
- ☐ b.  $u_{iz}(T) = 6,36 \text{ V}$
- ☐ c.  $u_{iz}(T) = -3,63 \text{ V}$
- ☐ d.  $u_{iz}(T) = -0,64 \text{ V}$
- ☐ e.  $u_{iz}(T) = -0,73 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \tau &= R \cdot C = 3.3 \cdot 10^{-4} \\ U_C(T) &= U_{iz}(T) \\ U_C(T) &= U_{C0} + (U - U_{C0})[1 - e^{-(T-\tau)/\tau}] \\ U_C(T) &= 3 + (-5 - 3)[1 - e^{-(T-\tau)/\tau}] \\ U_C(T) &= 3 + (-8)[0.4545] \\ U_C(T) &= 3 - 3.636 \\ U_C(T) &= -0.64 \text{ V} \end{aligned}$$

### 10. (by bubac)

Na ulaz RC mreže u trenutku  $t=0$  dovodi se pravokutni impuls amplitude  $U_0 = 1,8 \text{ V}$  i trajanja  $T=0,1 \text{ ms}$ . U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi  $U_{C0} = 0,2 \text{ V}$ . Izračunati izlazni napon u  $t=T$ . Zadno je  $C=10 \text{ nF}$  i  $R=10 \text{ k}\Omega$ .



$$\begin{aligned} U &= U_{C0} + (U_0 - U_{C0})(1 - e^{-f}) \\ f &= -T/\tau \\ \tau &= R \cdot C \end{aligned}$$

## 11. (by P(M)ervan)

Izračunati minimalni iznos izlaznog napona RC mreže u stacionarnom stanju uz ulazni pravokutni napon zadan slikom. Vrijednosti veličina na slici su  $U_{ULV} = -0,5 \text{ V}$ ,  $U_{ULN} = -2 \text{ V}$ ,  $T_1 = 0,5 \text{ ms}$ ,  $T_2 = 2 \text{ ms}$ . Zadano je  $R = 4,7 \text{ k}\Omega$  i  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ .

$$\tau = R \cdot C = 4,7 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{izv} = U_{ulv} + (U_{izn} - U_{ulv}) \cdot e^{(-T_1/\tau)} = -0,5 + (U_{izn} + 0,5) \cdot 0,9 = 0,9 \cdot U_{izn} - 0,05$$

$$U_{izn} = U_{uln} + (U_{izv} - U_{uln}) \cdot e^{(-T_2/\tau)} = -2 + (U_{izv} + 2) \cdot 0,65 = 0,65 \cdot U_{izv} - 0,7$$

$$U_{izn} = 0,65 \cdot (0,9 \cdot U_{izn} - 0,05) - 0,7$$

$$U_{izn} = 0,585 \cdot U_{izn} - 0,7325$$

$$U_{izn}(1 - 0,585) = -0,7325$$

$$U_{izn} = -1,765 \text{ V}$$

## 12. (by P(M)ervan)

Izračunati minimalni iznos izlaznog napona CR mreže u stacionarnom stanju uz ulazni pravokutni napon zadan slikom. Vrijednosti veličina na slici su  $U_{ULV} = 3,3 \text{ V}$ ,  $U_{ULN} = 0,5 \text{ V}$ ,  $T_1 = 1 \text{ ms}$ ,  $T_2 = 2 \text{ ms}$ . Zadano je  $R = 2,2 \text{ k}\Omega$  i  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ .

$$\tau = R \cdot C = 2,2 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{izn2} = U_{izn1} \cdot e^{(-T_2/\tau)}$$

$$U_{izv2} = U_{izv1} \cdot e^{(-T_1/\tau)}$$

$$(\Delta U) = U_{ulv} - U_{uln} = 2,8$$

$$\Delta U_{ul} = U_{izv2} - U_{izn1}$$

$$\Delta U_{ul} = U_{izv1} - U_{izn2}$$

$$U_{izv2} - U_{izn1} = U_{izv1} - U_{izn2}$$

$$U_{izv1} \cdot e^{(-T_1/\tau)} - U_{izn1} = U_{izv1} - U_{izn1} \cdot e^{(-T_2/\tau)}$$

$$U_{izv1}(e^{(-T_1/\tau)} - 1) = U_{izn1}(1 - e^{(-T_2/\tau)})$$

$$U_{izv1} = U_{izn1} \cdot (1 - e^{(-T_2/\tau)}) / (e^{(-T_1/\tau)} - 1)$$

$$U_{izv1} = -1,62 \cdot U_{izn1}$$

$$U_{izv2} = U_{izv1} \cdot e^{(-T_1/\tau)} = \Delta U_{ul} + U_{izn1} = \Delta U_{ul} - U_{izv1} / 1,62$$

$$U_{izv1} = 1,62 \cdot \Delta U_{ul} / (1,62 \cdot e^{(-T_1/\tau)} + 1)$$

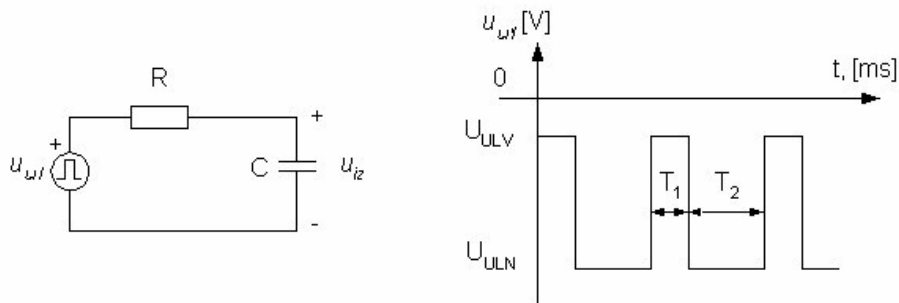
$$U_{izv1} = 2,24$$

$$U_{izn1} = 2,24 / (-1,62) = -1,38 \text{ V}$$

Nadam se da je točno, drugu vrijednost dobiješ na isti način, i pogledaš koja je najniža od ovih  $U_{izn}$

### 13. (by Summer)

Izračunati minimalni iznos izlaznog napona **RC** mreže u stacionarnom stanju uz ulazni pravokutni napon zadan slikom. Vrijednosti veličina na slici su  $U_{ULV} = -0,5 \text{ V}$ ,  $U_{ULN} = -3,3 \text{ V}$ ,  $T_1 = 1 \text{ ms}$ ,  $T_2 = 2 \text{ ms}$ . Zadano je  $R = 2,2 \text{ k}\Omega$  i  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ .



- ☐ a.  $(u_{iz})_{\min} = -4,73 \text{ V}$
- ☐ b.  $(u_{iz})_{\min} = -1,63 \text{ V}$
- ☐ c.  $(u_{iz})_{\min} = -1,87 \text{ V}$
- ☐ d.  $(u_{iz})_{\min} = -1,93 \text{ V}$
- ☐ e.  $(u_{iz})_{\min} = -2,75 \text{ V}$

$\tau = RC$

zatim izračunaj  $U_{ULV} - U_{ULN} = \Delta U$

računaj  $U_1$  prema formuli na str 15 (zadaci - uvod)

to uvrstiš u  $U_1 \cdot \exp(-T_1/\tau) - U_{izn1} = \Delta U$

iz tog dobiješ  $U_{izn1}$

### 14. (bi I V A N)

Na ulaz RC mreže u  $t=0$  dovodi se pravokutni impuls amplitude **1.5 V** i trajanja  **$T=0.2 \text{ ms}$** . U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru je **-0.2 V**. Izračunaj izlazni napon u trenutku  $t=T$ . Zadano  **$C=22 \text{ nF}$**  i  **$R=10$**

$$U = 1,5 \text{ V}$$

$$T = 0,2 \text{ ms}$$

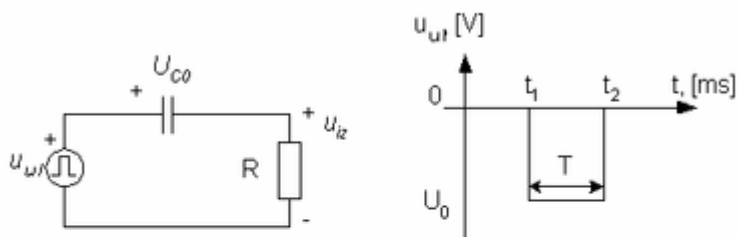
$$\tau = R \cdot C$$

$$U_c(0) = -0,2 \text{ V}$$

$$U_c(t) = U_c(0) + (U - U_c(0)) \cdot [1 - \exp(-T/\tau)]$$

### 15. (by cox3.14)

Na ulaz CR mreže u trenutku  $t_1=1 \text{ ms}$  dovodi se pravokutni impuls amplitude  **$U_0 = -3,3 \text{ V}$**  i trajanja  **$T=0,5 \text{ ms}$** . U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi  **$U_{C0} = 5 \text{ V}$** . Izračunati izlazni napon u trenutku  $t_2$  netom prije skoka ulaznog napona. Zadano je  **$C=1 \text{ }\mu\text{F}$**  i  **$R=2,2 \text{ k}\Omega$** . U intervalu vremena od  $t=0$  do dolaska impulsa ulazni napon je jednak 0.



- a.  $u_{iz}(t_2) = -4,62 \text{ V}$
- b.  $u_{iz}(t_2) = -5,16 \text{ V}$
- c.  $u_{iz}(t_2) = -3,68 \text{ V}$
- d.  $u_{iz}(t_2) = -3,27 \text{ V}$
- e.  $u_{iz}(t_2) = 0,026 \text{ V}$

Rjesenje je **b.  $u_{iz}(t_2) = -5,16 \text{ V}$**

a postupak je

$$U_c(0) = 12\text{V}$$

$$U_r(0-) = -12\text{V}$$

$$U_r(0+) = -12\text{V}$$

U trenutku  $t=0$  napon na kondenzatoru iznosi 12V dok je na otporu -12V (zbroy svih padova napona u zatvorenom strujnom krugu mora biti jednak nula)

$$U_c(t_1) = U_c(0) * \exp(-t_1/\tau) = 7,841\text{V}$$

$$U_r(t_1-) = -7.841\text{V}$$

$$U_r(t_1+) = -1,841\text{V}$$

U trenutku  $t=t_1$  napon je na kondenzatoru pao na 7.841V (kondenzator se praznio). Kod otpornika je napon trenutak prije nailaska impulsa -7.841V dok je u trenutku nailaska -1.841V ( $U_r + U_c - U_0 = 0$ ).

Zatim se do trenutka  $t=t_2$  kondenzator počeo puniti (makar se to po vrijednosti ne vidi)

$$U_c(t_2) = U_c(t_1) + (U_0 - U_c(t_1)) * [1 - \exp(-T/\tau)] = 6.972\text{V}$$

$$U_r(t_2-) = -0.972\text{V}$$

$$U_r(t_2+) = -6.972\text{V}$$

Napon na otporniku prije pada vrijednosti napona na izlazu iznosi  $U_r + U_c - U_0 = 0$  tj.  $U_r = -U_c + U_0$ .

Rješenje:  $U_r = -0.972\text{V}$

## Zadaci s poluvodicima - svojstva materijala

### 1. (by Trotter & IVEK)

Za skokoviti pn-spoj izračunati širinu osiromašenog područja na  $T=350\text{ K}$  u stanju ravnoteže (napon na pn spoju je  $U=0\text{ V}$ ). Koncentracije dopanada na p i n strani su  $N_A=5 \cdot 10^{17}\text{ cm}^{-3}$  i  $N_D=5 \cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ . Koliki je kapacitet osiromašenog sloja ako je površina pn-spoja  $S=100\text{ }\mu\text{m}^2$ ?  
dakle:

izračunamo  $db$  (širina područja) =  $\sqrt{(2 \cdot \epsilon / q) \cdot ((N_A + N_D) / (N_A \cdot N_D)) \cdot (U_k - U)}$

$U_k = U_T \cdot \ln((N_A \cdot N_D) / (n_i)^2)$  - ova formula vrijedi kad je pn spoj u ekstrinzičnom području (skripta - str.87)

$U_T = T / 11600$

$n_i = 4,96 \cdot 10^{11}$  - u skripti ima, ne treba računati

$\epsilon$  = epsilon nula \* epsilon relativni (valjda je za silicij, ne piše mi)

i tako nakon računanja sa hrpom decimala i potencija dođemo do db

$C_b = \epsilon \cdot S / db$  - paziti na to da se SI jedinice slažu! (u ovom slučaju površina pločice odskake u  $\mu\text{m}^2$  je, a treba biti u  $\text{cm}^2$ )

i meni ispadne  **$C_b = 70,2\text{ fF}$**

Rjesenje na papiru by IVEK:

Handwritten solution on grid paper:

$T = 325\text{ K}$   
 $U = 0,3\text{ V}$   
 $N_A = 5 \cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$   
 $N_D = 5 \cdot 10^{15}\text{ cm}^{-3}$   
 $S = 25 \cdot 10^{-8}\text{ m}^2$

---

$U_T = \frac{T}{11600} = 0,028017$   
 $n_i = C_1 T^{3/2} \exp\left(\frac{-E'_g}{2E_T}\right)$   
 $= 9,67 \cdot 10^{10}\text{ cm}^{-3}$   
 $U_k = U_T \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right) = 0,6726$   
 $E = \epsilon_0 \epsilon_r$   
 $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$   
 $db = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \cdot \frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \cdot (U_k - U)}$   
 $db = 0,0000325$   
 $C_b = \frac{\epsilon S}{db} = 7,95 \cdot 10^{-15}\text{ F}$   
 $= 7,95\text{ fF}$

## 2. (by I V A N)

Prvo ćemo izračunati intrinzičnu koncentraciju da bi potom izračunali koncentraciju šupljina te s time i s kojom je primjesom silicij dopiran (tj. da li je n-tipa ili p-tipa).

$$n_i(380K) = 2,685 * 10^{12}$$

$$p = (n_i)^2 / n = 7.21 * 10^{17}$$

Vidimo da je  $p \gg n$  pa je silicij p-tipa te je dopiran sa  $N_{aneto} = p - n = 7.21 * 10^{17}$ .

Sada prelazimo na temperaturu  $T_2 = 450K$ . Intrinzična koncentracija na toj temperaturi iznosi:

$$n_i(450K) = 5.919 * 10^{13}$$

$N_{aneto} \gg n_i$  (poluvodič je i dalje u ekstrinzičnom temperaturnom području) pa je i:  
 $p \approx N_{aneto} = 7.21 * 10^{17}$  (vidljivo je i povećanje koncentracije elektrona ali su oni još puno manji od koncentracije šupljina).

Rješenje:  **$p(450K) = 7.2 * 10^{17}$**

## 3. (by I V A N)

**Silicij je dopiran jednom primjesom. Koncentracija elektrona na  $T=400K$  iznosi  $n=10^8 \text{ cm}^{-3}$ . Izračunati specifičnu vodljivost na  $T=300 \text{ K}$  ako su pokretljivosti na toj temperaturi  $600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  i  $250 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ .**

Prvo ćemo izračunati intrinzičnu koncentraciju da bi potom izračunali koncentraciju šupljina te s time i s kojom je primjesom silicij dopiran (tj. da li je n-tipa ili p-tipa).

$$n_i(400K) = 7,362 * 10^{12}$$

$$p = (n_i)^2 / n = 5.42 * 10^{17}$$

Vidimo da je  $p \gg n$  pa je silicij p-tipa te je dopiran sa  $N_{aneto} = p - n = 5.42 * 10^{17}$ .

Sada prelazimo na temperaturu  $T_2 = 300K$ . Intrinzična koncentracija na toj temperaturi iznosi:

$$n_i(300K) = 1,45 * 10^{10}$$

$N_{aneto} \gg n_i$  (poluvodič je i dalje u ekstrinzičnom temperaturnom području) pa je i:  
 $p \approx N_{aneto} = 5.42 * 10^{17}$  (vidljivo je i povećanje koncentracije elektrona ali su oni još puno manji od koncentracije šupljina).

Pošto je  $p \gg n$  specifičnu vodljivost određuje samo koncentracija šupljina:

$$\text{Spec. vodljivost} = q * p * \mu_i(p) = 21.67 \text{ S/cm}$$

Rješenje: **Spec. vodljivost = 21.67 S/cm**

## 4. (by mala\_\_plava)

**Za skokoviti pn-spoj izračunati širinu osiromašenog područja na  $T=325 \text{ K}$  u stanju ravnoteže (napon na pn-spoju je  $U=0V$ ), Koncentracije dopanada na  $p$  i  $n$**



**strani su  $N_a = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_d = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Koliki je kapacitet osiromašenog sloja ako je površina pn-spoja  $S = 25 \text{ } \mu\text{m}^2$ ?**

$$T = 325 \text{ K}$$

$$U = 0 \text{ V}$$

$$N_a = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_d = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$S = 25 \times 10^{-8} \text{ kvadratnih cm}$$

$$p = 5 \times 10^{16}$$

$$n = 5 \times 10^{15}$$

$$n_i = 9.669 \times 10^{10}$$

$$U_k = 0.6727$$

$$d_b = 4.3749 \times 10^{-5}$$

$$C_b = 5.9196 \times 10^{-15}$$

### 5. (by saint)

**Silicij je dopiran jednom primjesom. Koncentracija šupljina na  $T = 450 \text{ K}$  iznosi  $p = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ . Izračunati specifičnu vodljivost na  $T = 300 \text{ K}$  ako su pokretljivosti na toj temperaturi  $600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  i  $250 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ .**

zadatak je sličan zadacima primjer 2.6 u skripti i zad. 6 u "osnovina svojstva poluvodica"

prvo izračunamo  $n_i$  na  $T = 450 \text{ K}$ ,  $n_i = 5,919 \times 10^{13}$ ,

zatim izračunamo  $n$ ,  $\rightarrow n = (n_i^2/p) = 3.505 \times 10^{17}$ ,

posto je  $n \gg p$  specifičnu vodljivost računamo prema:

$$\sigma = q \cdot n \cdot \mu(n) = \mathbf{33,634 \text{ S/cm}^2}$$
, pri čemu je  $\mu(n) = 600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

### 6. (by blacky)

**Silicij je dopiran jednom primjesom. Koncentracija elektrona na  $T = 300 \text{ K}$  iznosi  $n = 10^3 \text{ cm}^{-3}$ . izračunati specifičnu vodljivost na  $T = 350 \text{ K}$  ako su pokretljivosti na toj temperaturi  $750$  i  $300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ .**

$$n_i(T = 300 \text{ K}) = 1,45 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$n \gg n_i \Rightarrow p\text{-tip } p = n_i^2/n = 2,1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_i(T = 350) = 4,96 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3} \quad p \gg n_i \quad p\text{-tip}$$

$$N_a = p = 2,1 \times 10^{17}$$

$$n = n_i^2/p = 1.17 \times 10^6 \text{ zanemarujemo } n \text{ jer je } p \gg n$$

$$\sigma = q \cdot \mu(p) \cdot p = 10,1 \text{ S/cm}$$

### 7. (by Vjeko)

**Silicij je dopiran jednom primjesom. Fermijeva energija na  $T = 400 \text{ K}$  nalazi se  $0,25 \text{ eV}$  od dna vodljivog pojasa. Odrediti tip i koncentraciju primjesa koju treba dodati u silicij da se Fermijeva energija na istoj temperaturi pomakne za  $0,05 \text{ eV}$  prema vrhu valentnog pojasa.**

$$N_c = C \cdot (T^{3/2}) = 5.656 \times 10^{19}$$

$$n = N_c \cdot e^{[-(E_c - E_f)/kT]} = 5.656 \times 10^{19} \cdot e^{[-(E_c - E_c + 0.25)/(8.62 \times 10^{-5} \cdot 400)]} = 4.0144171 \times 10^{16}$$

za pomak od  $0.05 \text{ eV}$ :

$$n = N_c \cdot e^{[-(E_c - E_f)/kT]} = 5.656 \cdot 10^{19} \cdot e^{[-(E_c - E_c + 0.3)/(8.62 \cdot 10^{-5} \cdot 400)]} = 9.4155371 \cdot 10^{15}$$

$$N_a = N_d - n = 3.07 \cdot 10^{16}$$

za potpuno objašnjenje pogledati u zadatke za vježbu zadaci\_SVOJSTVA zadatak 5.

## 8. (by boysee and I V A N)

Koncentracije primjese na n i p strani diode iznose  $N_D = 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_A = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Parametri manjinskih nosilaca su  $\mu_n = 500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p = 300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\tau_n = 0,5 \text{ }\mu\text{s}$ ,  $\tau_p = 1 \text{ }\mu\text{s}$ . Površina pn spoja iznosi  $S = 0,1 \text{ mm}^2$ . Izračunati struju zasićenja na  $T = 320 \text{ K}$ . Vrijedi  $L_p \ll w_n \text{ }\mu\text{m}$  i  $L_n \gg w_p \text{ }\mu\text{m}$ . Kolika struja poteče kroz diodu kad se na nju priključi napon  $U = 0,5 \text{ V}$ ? Pretpostaviti  $m = 1$ .

Prvo računam  $I(s) = q \cdot S \cdot (D(n) \cdot n(0_p)/w(p) + D(p) \cdot p(0_n)/L(p))$  OK!!!

$$n_i = 3,07 \cdot 10^{16} \cdot 320^{1,5} \cdot \exp(-1,196 \cdot 11600/(2 \cdot 320)) = 6,77 \cdot 10^{10}$$

S time da:

$$n(0_p) = n_i^2 / N(A) = 9167$$

$$D(n) = \mu_i(n) \cdot U(T) = 13,8$$

$$L(n) = \sqrt{D(n) \cdot \tau(n)} = 2,63 \cdot 10^{-3}$$

$$p(0_n) = n_i^2 / N(D) = 9,167 \cdot 10^5$$

$$D(p) = \mu_i(p) \cdot U(T) = 8,3$$

$$L(p) = \sqrt{D(p) \cdot \tau(p)} = 2,88 \cdot 10^{-3}$$

Uvrstavanjem u onu gornju formulu ispada:

$$I(s) = 6,25 \cdot 10^{-13} \text{ A}$$

I sada vrijedi:  $I = I(s) \cdot (\exp(U/m \cdot (T)) - 1)$

i to ispada: **I = 46,5 mikroA**

## 9. (by I V A N)

Koncentracije primjese na n i p strani diode iznose  $N_D = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Parametri manjinskih nosilaca su  $\mu_n = 800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p = 280 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\tau_n = 0,8 \text{ }\mu\text{s}$ ,  $\tau_p = 0,4 \text{ }\mu\text{s}$ . Površina pn spoja iznosi  $S = 0,1 \text{ mm}^2$ . Izračunati struju zasićenja na  $T = 320 \text{ K}$ . Vrijedi  $L_p \gg w_n = 2 \text{ }\mu\text{m}$  i  $L_n \ll w_p$ . Kolika struja poteče kroz diodu kad se na nju priključi napon  $U = 0,5 \text{ V}$ ? Pretpostaviti  $m = 1$ .

Mali podsjetnik prvo:

1. slučaj:  $w_n \gg L_p$  i  $w_p \gg L_n$  - u formulu se uvršava redom  $L_n$  i  $L_p$

2. slučaj:  $L_p \gg w_n$  i  $L_p \gg w_p$  - u formulu se uvršava redom  $w_p$  i  $w_n$

3. slučaj:  $L_p \gg w_n$  i  $L_n \ll w_p$  - u formulu se uvršava redom  $L_n$  i  $w_n$

4. slučaj:  $L_p \ll w_n$  i  $L_n \gg w_p$  - u formulu se uvršava redom  $w_p$  i  $L_p$

Ti imaš 3. slučaj. Dakle, formula ti je oblika:

$$I_s = q \cdot S \cdot [(D_n \cdot n(0_p) / L_n) + (D_p \cdot p(0_n) / w_n)]$$

$$n_i = 6,76 \cdot 10^{10}$$

$$n(0_p) = (n_i)^2 / N_a = 4,57 \cdot 10^5$$

$$p(0_n) = (n_i)^2 / N_d = 9140$$

$$D_n = \mu_i(n) * U_t = 22,07$$

$$D_p = \mu_i(p) * U_t = 7,72$$

$$L_n = \sqrt{D_n * \tau(n)} = 4,2 * 10^{-3}$$

$$w_n = 2 * 10^{-4}$$

$$S = 10^{-3}$$

$$I_s = 4,4 * 10^{-13}$$

$$I = I_s * [\exp(U / U_t) - 1] = 32,74 \text{ mikroA}$$

**Rješenje: 32,7 mikroA**

### 10. (by I V A N)

Izračunati iznos otpora silicijske pločice duljine 20  $\mu\text{m}$  i površine presjeka 0,1  $\text{mm}^2$  na temperaturi  $T = 475 \text{ K}$ . Pločica je dopirana s  $N_A = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_D = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Pokretljivosti nosilaca na  $T = 300 \text{ K}$  su 800 i 300  $\text{cm}^2/\text{Vs}$ . Porastom temperature na 475 K pokretljivosti se promijene 20 %.

$$n_i = 1,44 * 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$X = N_D - N_A = 5 * 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = [X + \sqrt{X^2 + 4 * (n_i)^2}] / 2 = 5,38 * 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$p = (n_i)^2 / n = 3,85 * 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

$$\mu_i(n)(475\text{K}) = 0,8 * 800 = 640$$

$$\mu_i(p)(475\text{K}) = 0,8 * 300 = 240$$

$s = \text{spec vodljivost}$

$$s = q (\mu_i(n) * n + \mu_i(p) * p) = 56,56 * 10^{-3} \text{ S/cm}$$

$$l = 2 * 10^{-3} \text{ cm}$$

$$S = 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$R = s^{-1} * l / S = 35,36 \text{ oma}$$

**Rješenje: 35,36 oma**

### 11. (by P(M)ervan)

Koncentracije primjesa na  $n$  i  $p$  strani diode iznose  $N_D = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

Parametri manjinskih nosilaca su  $\mu_n = 800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p = 280 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\tau_n = 0,8 \text{ }\mu\text{s}$ ,  $\tau_p = 0,4 \text{ }\mu\text{s}$ .

Površina  $p-n$  spoja iznosi  $S = 0,2 \text{ mm}^2$ . Izračunati struju zasićenja na  $T = 320 \text{ K}$ . Vrijedi  $L_p \gg w_n = 2 \text{ }\mu\text{m}$  i  $L_n \ll w_p$ .

Kolika struja poteče kroz diodu kad se na nju priključi napon  $U = 0,5 \text{ V}$ ? Pretpostaviti  $m = 1$ .

☐ a.  $I=9,74 \mu\text{A}$

☐ b.  $I=23,1 \mu\text{A}$

☐ c.  $I=58 \mu\text{A}$

☐ d.  $I=8,67 \mu\text{A}$

☐ e.  $I=65,4 \mu\text{A}$

$$q=1.602 \cdot 10^{-19}$$

$$n_p = n_i^2 / N_A = 458025.3$$

$$D_n = u_n \cdot U_t = 800 \cdot 320 / 11600 = 22.07$$

$$L_n = \sqrt{D_n \cdot \tau_n} = 42.01 \cdot 10^{-4}$$

$$p_n = n_i^2 / N_D = 9160.5$$

$$D_p = u_p \cdot U_t = 280 \cdot 320 / 11600 = 7.724$$

$$L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p} = 17.58 \cdot 10^{-4}$$

$$S = 0.2 \cdot 10^{-2} \text{ (ovo je zato kaj se mora pretvorit u cm}^2\text{)}$$

$$w_n = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (ovo je zato kaj se mora pretvorit u cm)}$$

$$I_s = q \cdot S \cdot (D_n \cdot n_p / L_n + D_p \cdot p_n / w_n) = 8.83 \cdot 10^{-13} \text{ A}$$

$$I = I_s (e^{(U/mU_t)} - 1) = \mathbf{65.4 \mu\text{A}}$$

## 12. (by P(M)ervan)

Silicij je dopiran akceptorima koncentracije  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  i donorima koncentracije  $N_D = 8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ .

Izračunati koncentraciju šupljina na temperaturi  $T = 500 \text{ K}$ .

☐ a.  
 $p(500\text{ K}) = 3,24 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$

☐ b.  
 $p(500\text{ K}) = 2,05 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

☐ c.  
 $p(500\text{ K}) = 5,1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

☐ d.  
 $p(500\text{ K}) = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

☐ e.  
 $p(500\text{ K}) = 1,8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

$$n_i = 3,07 \cdot 10^{16} \cdot 500^{1,5} \cdot e^{(-1,196 \cdot 11600 / (2 \cdot 500))} = 3,23 \cdot 10^{14}$$

$$N_A - N_D = 2 \cdot 10^{15} = \text{pop}$$

$$p(500) = n_i^2 / \text{pop} = 5,21 \cdot 10^{13} \text{ ---> MALČICE KRIVO OBJAŠNJENJE ISPOD}$$

EDIT: e dea, ja već predao a sada otkrio grešku , ajde hvala bogu nije različit rezultat, ako se pop računa prema onoj dužoj formuli dobije se  $2,051 \cdot 10^{15}$  i onda  $p(500)$  **daje**  $5,11 \cdot 10^{13}$

### 13. (by I V A N)

**Silicij je dopiran jednom primjesom. Fermijeva energija na  $T = 300\text{K}$  nalazi se  $0,25\text{eV}$  od dna vodljivog pojasa. Odrediti tip i koncentraciju primjesa koju treba dodati u silicij da se Fermijeva energija na istoj temperaturi pomakne za  $0,05\text{eV}$  prema dnu vodljivog pojasa.**

$$n_i(300\text{K}) = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_c = C \cdot T^{1,5} = 3,67 \cdot 10^{19}$$

Znači prvo moramo odrediti da li je silicij n-tipa ili p-tipa:

$$\text{Zadano nam je: } E_f = E_c - 0,25\text{eV}$$

$$\text{Kada bi poluvodič bio intrizičan vrijedilo bi: } E_f = E_c - 0,56\text{eV.}$$

Iz ovoga svega zaključujemo da se radi o n-tipu poluvodiča (fermijeva energija je između intrizične fermijeve energije i dna vodljivog pojasa).

Znači:

$$n_1 = N_c \cdot \exp(-0,25/E_t) = 2,32 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

Pošto je  $n \gg n_i$  i  $N_d$  onda iznosi  $2,32 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

E sad "približimo" fermijevu energiju dnu vodljivog pojasa. Novi  $E_f$  izgleda ovako:  $E_f = E_c - 0,20 \text{ eV}$

$$n_2 = N_c \cdot \exp(-0,20/E_t) = 1,6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

Znači kada je  $E_f$  bio  $E_c - 0,25 \text{ eV}$  imali smo  $2,32 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  elektrona, a ako želimo  $E_f = E_c - 0,20 \text{ eV}$  onda moramo dodati  $n_2 - n_1$  elektrona tj.  $1,38 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

**Rješenje:  $N_d = 1,38 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$**

#### 14. (by nina)

Izračunati iznos otpora silicijske pločice dužine  $50 \mu\text{m}$  i površine presjeka  $1 \text{ mm}^2$  na temperaturi  $T = 525 \text{ K}$ . Pločica je dopirana s  $N_A = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_D = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ .

Pokretljivosti nosilaca na  $T = 300 \text{ K}$  su  $750$  i  $280 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ . Porastom temperature na  $525 \text{ K}$  pokretljivosti se promijene  $25 \%$ .

- ☐ a.  $R = 3,82 \Omega$
- ☐ b.  $R = 25,5 \Omega$
- ☐ c.  $R = 636 \Omega$
- ☐ d.  $R = 5,56 \Omega$
- ☐ e.  $R = 6,36 \Omega$

$$N_{\text{neto}} = N_A - N_D = 2 \cdot 10^{14}$$

$$n_i = 6,746 \cdot 10^{14}$$

$N_{\text{neto}} \gg n_i$  - ne vrijedi

$$p = \{ [N_{\text{neto}} + \sqrt{N_{\text{neto}}^2 + 4 \cdot n_i^2}] \} / 2 = 7,82 \cdot 10^{14}$$

$$n = n_i^2 / p = 5,82 \cdot 10^{14}$$

$$\sigma = q(n \cdot 0,75 \cdot n_i(p) + p \cdot 0,75 \cdot n_i(p)) = 0,078655$$

$$R = l / (\sigma \cdot S) = 6,36$$

#### 15. (by nina)

Za skokoviti pn-spoj izračunati širinu osiromašenog područja na  $T = 325 \text{ K}$  uz napon na pn spoju  $U = -3 \text{ V}$ . Koncentracije dopanada na p i n strani su  $N_A = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Koliki je kapacitet osiromašenog sloja ako je površina pn-spoja  $S = 25 \mu\text{m}^2$ ?

$$d_b = \sqrt{[2 \cdot 11,7 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \cdot (1/N_A + 1/N_D) \cdot (U_k - U)] / q}$$

$$U_k = u_t \ln[(N_A \cdot N_D) / n_i^2]$$

$$n_i = 9,669 \cdot 10^9$$

i kad to izračunaš uvrsti u  **$C_b = (11,7 \cdot 8,854 \cdot 10^{-14} \cdot S) / d_b$**

#### 16. (by Pis3)

**Koncentracije primjesa na n i p strani diode iznose  $N_D=5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_A=10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Parametri manjinskih nosilaca su  $\mu_n=700 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p=320 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\tau_n=0,5 \text{ }\mu\text{s}$ ,  $\tau_p=0,8 \text{ }\mu\text{s}$ . Površina pn spoja iznosi  $S=0,1 \text{ mm}^2$ . Izračunati struju zasićenja na  $T=325 \text{ K}$ . Vrijedi  $L_p \gg w_n=1,8 \text{ }\mu\text{m}$  i  $L_n \gg w_p=2 \text{ }\mu\text{m}$ . Kolika struja poteče kroz diodu kad se na nju priključi napon  $U=0,5 \text{ V}$ ? Pretpostaviti  $m=1$ .**

formula ti je oblika:

$$I_s = q \cdot S \cdot [(D_n \cdot n_{0p} / w_p) + (D_p \cdot p_{0n} / w_n)]$$

$$n_i = 9,65 \cdot 10^{10}$$

$$n_{0p} = 9,312 \cdot 10^4$$

$$p_{0n} = 1,86 \cdot 10^6$$

$$D_n = 19,61$$

$$D_p = 8,97$$

$$L_n = 0,00313$$

$$L_p = 0,00268$$

$$w_n = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

$$w_p = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$S = 10^{-3}$$

$$I_s = 1,63 \cdot 10^{-11}$$

$$\mathbf{I = 0,92 \text{ mA}}$$

## 17. (by I V A N)

**Koncentracije primjesa na n i p strani diode iznose  $N_D=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_A=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Parametri manjinskih nosilaca su  $\mu_n=800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p=280 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\tau_n=0,8 \text{ }\mu\text{s}$ ,  $\tau_p=0,4 \text{ }\mu\text{s}$ . Površina pn spoja iznosi  $S=0,1 \text{ mm}^2$ . Izračunati struju zasićenja na  $T=320 \text{ K}$ . Vrijedi  $L_p \gg w_n=2 \text{ }\mu\text{m}$  i  $L_n \ll w_p$ . Kolika struja poteče kroz diodu kad se na nju priključi napon  $U=0,5 \text{ V}$ ? Pretpostaviti  $m=1$ .**

Mali podsjetnik prvo:

1. slučaj:  $w_n \gg L_p$  i  $w_p \gg L_n$  - u formulu se uvršava redom  $L_n$  i  $L_p$
2. slučaj:  $L_p \gg w_n$  i  $L_p \gg w_p$  - u formulu se uvršava redom  $w_p$  i  $w_n$
3. slučaj:  $L_p \gg w_n$  i  $L_n \ll w_p$  - u formulu se uvršava redom  $L_n$  i  $w_n$
4. slučaj:  $L_p \ll w_n$  i  $L_n \gg w_p$  - u formulu se uvršava redom  $w_p$  i  $L_p$

Ti imaš 3. slučaj. Dakle, formula ti je oblika:

$$I_s = q \cdot S \cdot [(D_n \cdot n_{0p} / L_n) + (D_p \cdot p_{0n} / w_n)]$$

$$n_i = 6,76 \cdot 10^{10}$$

$$n_{0p} = 4,57 \cdot 10^5$$

$$p_{0n} = 9140$$

$$D_n = 22,07$$

$$D_p = 7,72$$

$$L_n = 4,2 * 10^{-3}$$

$$L_p = 1,76 * 10^{-3}$$

$$w_n = 2 * 10^{-4}$$

$$S = 10^{-3}$$

$$I_s = 4,4 * 10^{-13}$$

**I = 32,74 mikroA**

**18. (by I V A N)**

**Silicij je dopiran jednom primjesom. Koncentracija elektrona na T=530 K iznosi  $n=5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ . Izračunati koncentraciju šupljina na T=300 K.**

$$n_i(530K) = 7,75 * 10^{14}$$

$$p = (n_i)^2 / n = 1,2 * 10^{15}$$

$$N_a - N_d = p - n = 7 * 10^{14}$$

$$n_i(300K) = 1,45 * 10^{10}$$

$$N_a - N_d \gg n_i$$

pa je rezultat  **$p = 7 * 10^{14}$**

**19. (by nina)**

**Silicij je dopiran jednom primjesom. Koncentracija šupljina iznosi na T=300K  $p=10^{13} \text{ cm}^{-3}$  izračunati spec. vodljivost na 350K ako su pokretljivosti 730 i  $300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  na toj temperaturi**

$$\text{pri } T=300K \quad n_i = 1,45 * 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = n_i^2 / p = 2,1 * 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$n \gg n_i$  znači imamo n-tip poluvodiča

$$\text{pri } T=350K \quad n_i = 4,96 * 10^{11} \text{ cm}^{-3}$$

n-ostaje isti, tj.  $n = 2,1 * 10^{17} \text{ cm}^{-3}$

$$p = n_i^2 / n = 1,17 * 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$n \gg p \rightarrow$  pa p možemo zanemariti

$$\sigma = q * n * \mu_n(p) = 24,53 \text{ S/cm}$$

Trebalo bi biti točno...pozdrav!!

**Kolega NiMzQ je bio dovoljno požrtvovan da svojih 20-ak riješenih zadataka na papiru pretipka za objavu na fer2.net. Objavljujemo ih ovdje:**

**FER.hr > Elektronika 1 > Zadaci za vježbu > Svojstva materijala (poluvodiča)**

**VJ. 1.**

**a) T=300K**

$$n_i = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T)$$

$$n_i[300] = 1,45 * 10^{10}$$

$$p_0 = N_a \gg n_i$$

$$n_0 = n_i^2 / N_a = 4,205 * 10^4$$

**b) T=550K**

$$n_i = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,318 * 10^{15}$$

kako je  $N_a$  reda potencije od  $n_i$  moramo  $p_0$  izračunati, a to radimo preko ove formule:



$$p_0 = 1/2 * (Na + \sqrt{Na^2 + 4ni^2}) = 5,326 * 10^{15}$$

$$n_0 = ni^2 / p_0 = 3,26 * 10^{14}$$

## VJ. 2.

### a) T=350K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 4,96 * 10^{11}$$

ni >> p<sub>0</sub> pa zaključujemo da je silicij dopiran sa donorima  
 $N_d = n_0 = ni^2 / p_0 = 2,46 * 10^{16}$

### b) T=550K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,318 * 10^{15}$$

kako je ni reda potencije N<sub>d</sub> racunamo n<sub>0</sub> po ovoj formuli:

$$n_0 = 1/2 * (N_d + \sqrt{N_d^2 + 4ni^2}) = 2,46 * 10^{16}$$

$$p_0 = ni^2 / n_0 = 7,06 * 10^{13}$$

## VJ. 3.

### a) T=500K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 3,24 * 10^{14}$$

$$n_0 = ni^2 / p_0 = 1,05 * 10^{14}$$

$$Na = n_0 - p_0 = 8,95 * 10^{14}$$

### b) T=300K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,45 * 10^{10}$$

$$p_0 = Na \gg n_0$$

$$n_0 = ni^2 / Na = 2,35 * 10^5$$

## VJ. 4.

### a) T=450K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 5,92 * 10^{13}$$

$$p_0 = ni^2 / n_0 = 3,5 * 10^{15} = Na$$

### b) T=300K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,45 * 10^{10}$$

$$n_0 = ni^2 / Na = 6 * 10^4$$

## VJ. 5.

$$T = 450K$$

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 5,92 * 10^{13}$$

$$p_0 = ni^2 / n_0 = 3,5 * 10^{16}$$

$$n_0 < p_0 = Na \rightarrow p\text{-tip}$$

## VJ. 6.

$$T = 350K$$

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 4,96 * 10^{11}$$

$$n_0 \gg ni \rightarrow n\text{-tip}$$

## VJ. 7.

$$T = 200C = 473K$$

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,34 * 10^{14}$$

$$n_0 = ni^2 / p_0 = 1,82 * 10^{15} = N_d \rightarrow n\text{-tip}$$

## VJ. 8.

### a) T=300K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,45 * 10^{10}$$

$$N_d - Na \gg ni$$

$$N_d - Na = n_0 = 0,25 * 10^{15}$$

$$p = ni^2 / n_0 = 8,41 * 10^{15}$$

### b) T=473K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,34 * 10^{14}$$

$$n_0 = 1/2 * ((N_d - Na) + \sqrt{(N_d - Na)^2 + 4ni^2}) = 3,08 * 10^{14}$$

$$p_0 = ni^2 / n_0 = 5,8 * 10^3$$

## VJ. 9.

### a) T=300K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 1,45 * 10^{10}$$

$$Na - N_d = 0,5 * 10^{15} = p_0$$

$$n_0 = ni^2 / p_0 = 4,205 * 10^5$$

### b) T=450K

$$ni = C_1 * T^{3/2} * \exp((-1,196 * 11600)/T) = 5,92 * 10^{13}$$

$$p_0 = 1/2 * ((Na - N_d) + \sqrt{(Na - N_d)^2 + 4ni^2}) = 5,07 * 10^{14}$$

$$n_0 = ni^2 / p_0 = 6,91 * 10^{12}$$

## VJ. 10.

a)  $T=300K$

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 1,45 \cdot 10^{10}$$

$$p_0 = n_i^2 / n_0 = 4,205 \cdot 10^{12}$$

b)  $T=450K$

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 5,92 \cdot 10^{13}$$

$$p_0 = n_i^2 / n_0 = 7 \cdot 10^{19}$$

$N_a = p(450) - p(300) = 7 \cdot 10^{19}$ ....samo da napomenem da tu imam malo odstupanje jer u rjesenju pise da je

$N_a = 6,99 \cdot 10^{19}$  no ne vidim pogriješku u postupku

## VJ. 11.

a)  $T=300K$

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 1,45 \cdot 10^{10}$$

$$n_0 = n_i^2 / p_0 = 2,1025 \cdot 10^5$$

b)  $T=550K$

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 1,318 \cdot 10^{15}$$

$$n_0 = n_i^2 / p_0 = 1,737 \cdot 10^{15}$$

$$N_d = n(550) - n(300) = 1,737 \cdot 10^{15}$$

## VJ. 12.

a)  $E_c - E_f = E_c - 0,18eV \rightarrow n\text{-tip}$

$$E_f = E_g / 2 = (E_g + aT) = 0,55975 = 0,56eV$$

$$n_0 = C T^{3/2} \exp((E_f - E_c) / kT) = C T^{3/2} \exp(((E_c - 0,18 - E_c) \cdot 11600) / T) = 3,48 \cdot 10^{16} = N_d$$

$$p_0 = n_i^2 / n_0 = 6,03 \cdot 10^3$$

da bi  $E_f$  bila  $0,18eV$  moramo dodati  $3,48 \cdot 10^{16}$  supljina, sada je  $E_f = E_f0$  pa treba dodati jos jednom  $3,48 \cdot 10^{16}$  supljina da bi  $E_f$  bila  $0,18eV$  iznad valentnog pojasa., tj

$$N_a = 2 \cdot N_d = 6,96 \cdot 10^{16}$$

## VJ. 13.

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 6,37 \cdot 10^{14}$$

$$n_0 = 1/2(N_d + \sqrt{N_d^2 + 4n_0^2}) = 1,31 \cdot 10^{15}$$

$$p_0 = n_i^2 / n_0 = 3,098 \cdot 10^{14}$$

$$\text{vodljivost} = q(u_1 n_0 + u_2 p_0) = 0,105 \text{ S/cm}$$

## VJ. 14.

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 7,22 \cdot 10^{12}$$

$$p_0 = n_i^2 / n_0 = 2,1 \cdot 10^{16}$$

$$p_0 \gg n_0$$

$$\text{vodljivost} = u_2 p_0 q = 1,075 \text{ S/cm}$$

## VJ. 15.

a)  $T=525K$

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 6,4 \cdot 10^{14}$$

$$n_i^2 = n_0^2 / 10$$

$$n_0 = \sqrt{n_i^2 \cdot 10} = 2,13 \cdot 10^{15}$$

$n_0 = 1/2(N_d + \sqrt{N_d^2 + 4n_i^2})$ ....odatle izrazimo  $N_d$  zato sto se on nece promjeniti kada se smanji temp na  $300K$

$$N_d = (n_0^2 - n_i^2) / n_0 = 1,917 \cdot 10^{15} = n_0 \gg n_i \text{ (300)}$$

$$\text{vodljivost} = u_1 q N_d = 0,276 \text{ S/cm}$$

## VJ. 16.

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 7,22 \cdot 10^{12}$$

$$p_0 / 10^5 = n_i^2 / p_0$$

$$p_0 = 2,284 \cdot 10^{15}$$

$$n_i(300) = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 1,45 \cdot 10^{10}$$

$$p_0 \gg n_i$$

$$\text{vodljivost} = u_2 p_0 q = 0,128$$

$$r_o = 1 / \text{vodljivost} = 7,82 \text{ Ohm cm}$$

## VJ. 17.

kod ovog zadatka mi ne ispada nikako dobro rjesenje....pa necu postati postupak jer je mozda kriv (makar mislim da je rjesenje krivo a i zadatak cudno postavljen)

## VJ. 18.

a)  $T=300K$

$$N_d - N_a = n_0 = 0,1 \cdot 10^{15}$$

$$\text{vodljivost} = u_1 n_0 q = 14,4 \text{ mS/cm}$$

b)  $T=450K$

$$n_i = C_1 T^{3/2} \exp((-1,196 \cdot 11600)/T) = 5,92 \cdot 10^{13}$$

$N_{d\text{neto}} = 10^{14}$   
 $n_0 = 1/2(N_d^2 + \sqrt{N_d^2 + 4n_i^2}) = 1,27 \cdot 10^{14}$   
 $p_0 = n_i^2/n_0 = 2,75 \cdot 10^{13}$

....u zadatku pise da se prmjeni pokretljivost za 15% porastom temperature, jedono moze pasti jer **vibracije kristalne rešetke postaju intenzivnije čime se povećava vjerovatnost sudara elektrona s automima i driftna struja se smanjuje** pa pisemo

$\text{vodljivost} = 0,85 \cdot q \cdot (p_0 \cdot u_2 + n_0 \cdot u_1) = 16,8538 \text{ mS/cm}$

### **VJ. 19.**

**a) ro je max -->vodljivost je min**

vodljivost ce biti min kada je

$N_1 = N_d$

$N_2 = N_a$

$p_0 = N_a - N_d = 5 \cdot 10^{16}$

vodljivost je  $u_2 \cdot p_0 \cdot q = 2,8 \text{ S/cm}$

$r_{\text{max}} = 1/\text{vodljivost} = 0,357 \text{ ohmcm}$

**b)ro je min -->vodljivost je max**

$N_1 = N_{d1}$

$N_2 = N_{d2}$

$n_0 = N_{d1} + N_{d2} = 15 \cdot 10^{16}$

vodljivost =  $n_0 \cdot q \cdot u_1 = 21,6 \text{ S/cm}$

$r_{\text{min}} = 1/\text{vodljivost} = 0,0463 \text{ ohmcm}$

### **VJ. 20.**

$l = 10 \mu\text{m}$

$S = 1 \mu\text{m}^2$

vodljivost =  $100 \text{ S/cm} = 0,01 \text{ S}/\mu\text{m}$

$U = 1,8 \text{ V}$

$R = l/(S \cdot \text{vodljivost}) = 1000 \text{ ohma}$

$I = U/R = 1,8 \text{ mA}$