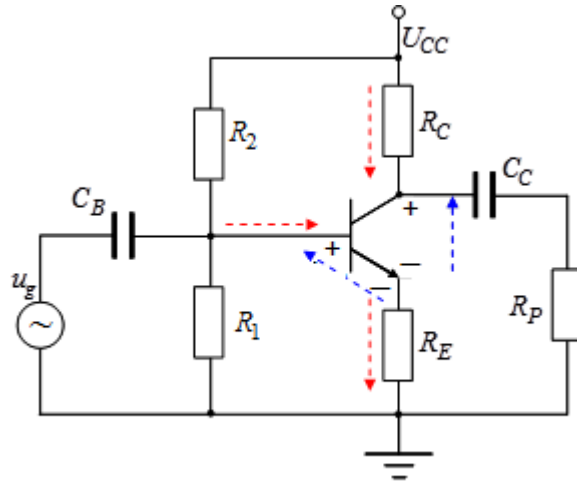
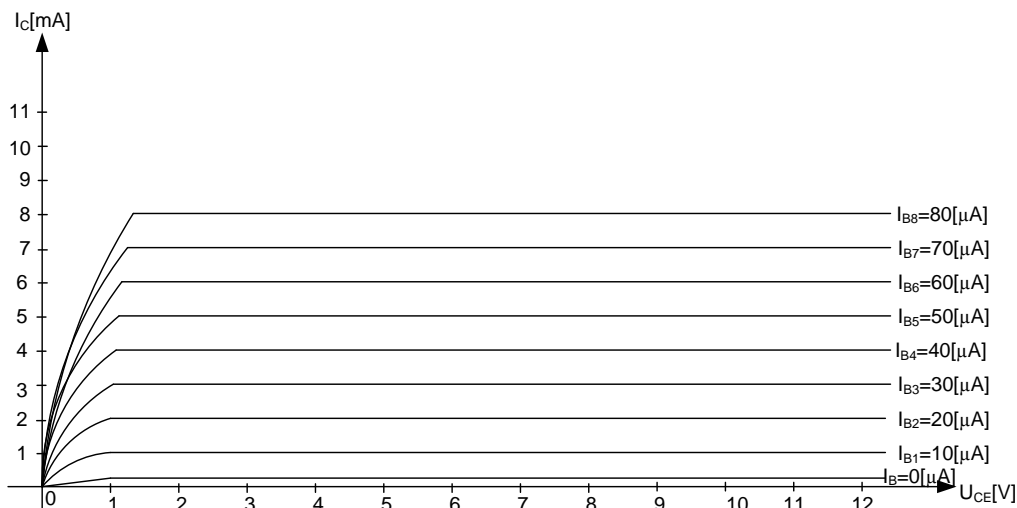


1. Za dani krug pojačala na slici 1. odgovori:
  - a) Koji je tranzistor prikazan na slici 1., o kojem spoju se radi i označi odgovarajuće elektrode? 2%
  - b) Označi odgovarajuće struje i napone na slici 1. 2%
  - c) Čime su određeni statički uvjeti rada (koje tri veličine), te ih izračunaj? 8%
  - d) U polju izlaznih karakteristika nacrtaj statički radni pravac i statičku radnu točku (slika 2.). 4%
  - e) Definiraj strujno pojačanje u ZE spoju i očitaj ga s dijagrama (slika 2.). 3%
  - f) Definiraj područja rada ovoga tranzistora i označi ih na izlaznim karakteristikama (slika 2.) 4%



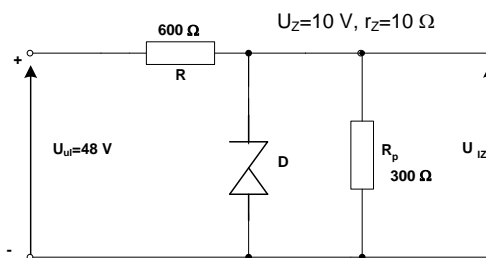
$U_{CC} = 12 \text{ V}$   
 $h_{FE} = 100 = \beta$   
 $R_1 = 8,26 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$   
 $R_E = 100 \Omega$   
 $R_C = 1 \text{ k}\Omega$   
 $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$   
 -----  
 $SRT, SRP = ?$

Slika 1.



2. Za stabilizator sa Zenerovom diodom potrebno je odrediti:

- a) struju diode i potrošača te napon na potrošaču, (7%)
- b) promjenu izlaznog napona pri promjeni ulaznog napona za  $\pm 20\%$ , (5%)
- c) faktor stabilnosti sklopa S. (3%)

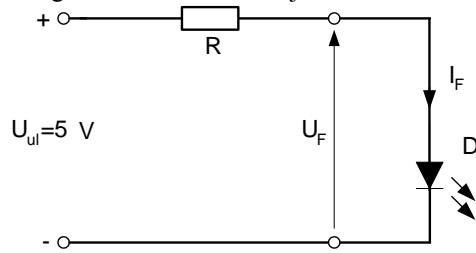


Slika 3.

3. a) Napiši Schokley-ovu jednadžbu, objasni odgovarajuće pojmove i izračunaj struju kroz diodu ako je  $U_D = 200 \text{ mV}$ ,  $U_T = 19,4 \text{ mV}$ ,  $I_S = 20 \text{ nA}$ . 6%
- b) Nacrtaj energetske dijagram poluvodiča. 4%
- c) Ako je pn spoj propusno polariziran što se događa s potencijalnom barijerom, kakav je ukupni potencijal i napiši izraz za struju kroz pn spoj. 5%

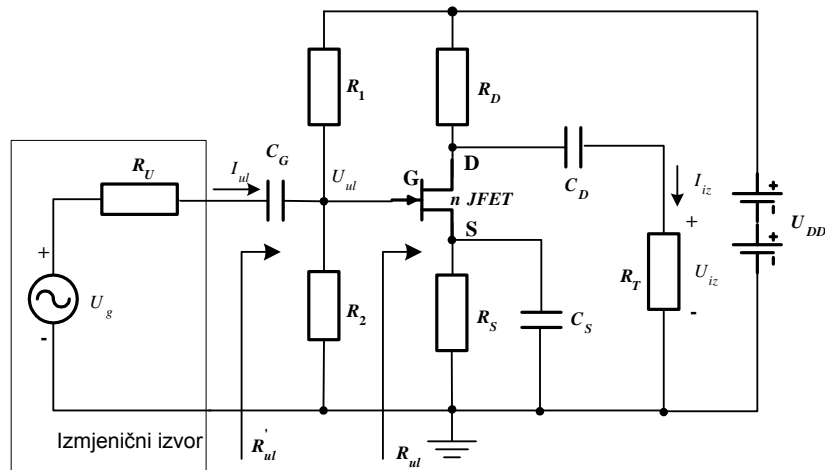
Osnove elektronike Kolokvij 1. 26.04.2012.

4. a) Izračunaj R u krugu na slici tako da struja  $I_F$  iznosi 20 mA,  $U_\gamma = U_F = 1,7$  V. 5%



- b) Princip rada kapacitivne diode i nacrtaj dijagram ovisnosti kapaciteta o naponu. 8%
5. Potrebno je izračunati naponsko pojačanje, ulazni i izlazni otpor ako je otpor  $R_S$  premošten kondenzatorom velikog kapaciteta: 14%

$g_m = 4$  mA/V  
 $1/r_d = g_d = 20 \cdot 10^{-6}$  S  
 $R_1 = 390$  k $\Omega$   
 $R_2 = 100$  k $\Omega$   
 $R_D = 1$  k $\Omega$   
 $R_S = 1$  k $\Omega$   
 $R_T = 2$  k $\Omega$



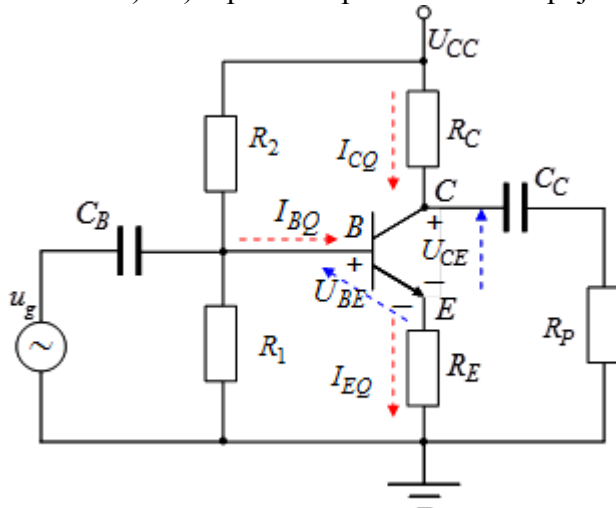
6. a) Definiiraj idealno naponsko pojačalo, shema, pojačanje i izračunaj naponsko pojačanje u broju puta i decibelima ako je  $U_{ul} = 1$  mV i  $U_{iz} = 1$  V. 10%
- b) Navedi primjene ZU, ZO i ZV sklopova. 10%

**KOLOKVIJ TRAJE 80 min.! Kriterij:**

nedovoljan (1)	0,0	49,9
dovoljan (2)	50,0	62,4
dobar (3)	62,5	74,9
vrlo dobar (4)	75,0	87,4
izvrstan (5)	87,5	100,0

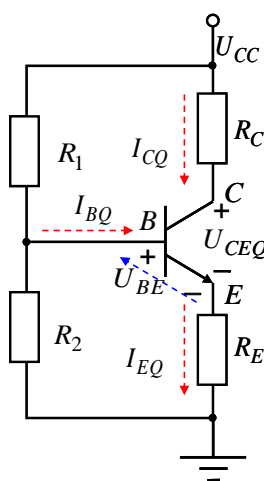
1. Rješenje:

a) i b) bipolarni npn tranzistor u spoju zajedničkog emitera (ZE).

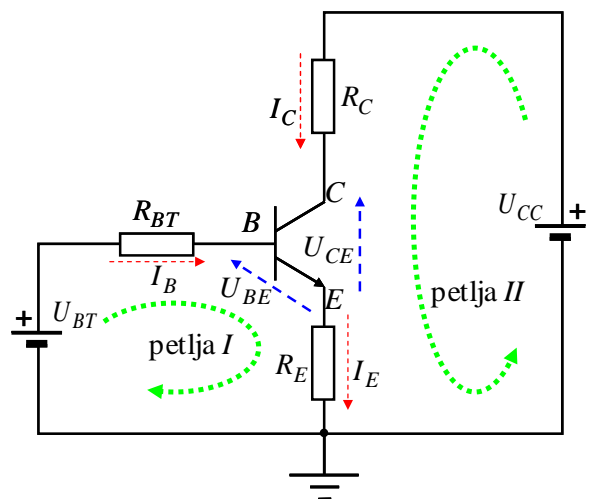


$U_{CC} = 12 \text{ V}$   
 $h_{FE} = 100 = \beta$   
 $R_1 = 8,26 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$   
 $R_E = 100 \Omega$   
 $R_C = 1 \text{ k}\Omega$   
 $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$   
 -----  
 $SRT, SRP = ?$

c) i d) Statički uvjeti, u polju izlaznih karakteristika su određeni s:  $I_B, I_C$  i  $U_{CE}$ .



Ulazni krug  
 nadomjestimo  
 Theveninovim  
 ekvivalentima  
 $U_{BT}$  i  $R_{BT}$



$$U_{BT} = U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \frac{8,26 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^3 + 8,26 \cdot 10^3} = \frac{99,12}{58,26} = 1,7 \text{ [V]}$$

$$R_{BT} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 \cdot 8,26 \cdot 10^6}{58,26 \cdot 10^3} = 7,1 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

A. Za **ulazni** krug (petlja I):

I KZ

$$U_{BT} = I_B R_{BT} + U_{BE} + I_E R_E$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_B = \frac{U_{BT} - U_{BE}}{R_{BT} + (\beta + 1)R_E} = \frac{1,7 - 0,6}{7100 + 101 \cdot 100} = \frac{1,1 \text{ [V]}}{17200 \text{ [\Omega]}}$$

$$I_C = \beta I_B \text{ (tranzistorsko djelovanje)}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = (100 + 1) \cdot 6,4 \text{ [\mu A]}$$

$$I_E = 6,46 \text{ [mA]}$$

$$\boxed{I_B = 64 \text{ [\mu A]}} \quad (1)$$

kako je:

$$I_C = \beta I_B$$

$$\beta = 100 \gg 1$$

$$\boxed{I_C = 100 \cdot 64 \text{ [\mu A]} = 6,4 \text{ [mA]}}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B \approx \beta I_B = I_C$$

$$\Rightarrow I_C = I_E$$

B. Za **izlazni** krug (petlja II):

$$U_{CC} = I_C R_C + U_{CE} + I_E R_E \quad \text{uz} \quad (I_C = I_E) \quad (2)$$

Jednadžba statičkoga radnog pravca (SRP) je:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$U_{CE} = 12 - 6,4 \cdot 10^{-3} (I + 0, I) \cdot 10^3 = 12 - 7,04 \approx 5 \text{ [V]}$$

Statička radna točka Q određena je sljedećim veličinama:

$$I_B = I_{BQ} = 64 \text{ [\mu A]}; \quad I_C = I_{CQ} = 6,4 \text{ [mA]}; \quad U_{CE} = U_{CEQ} = 5 \text{ [V]}$$

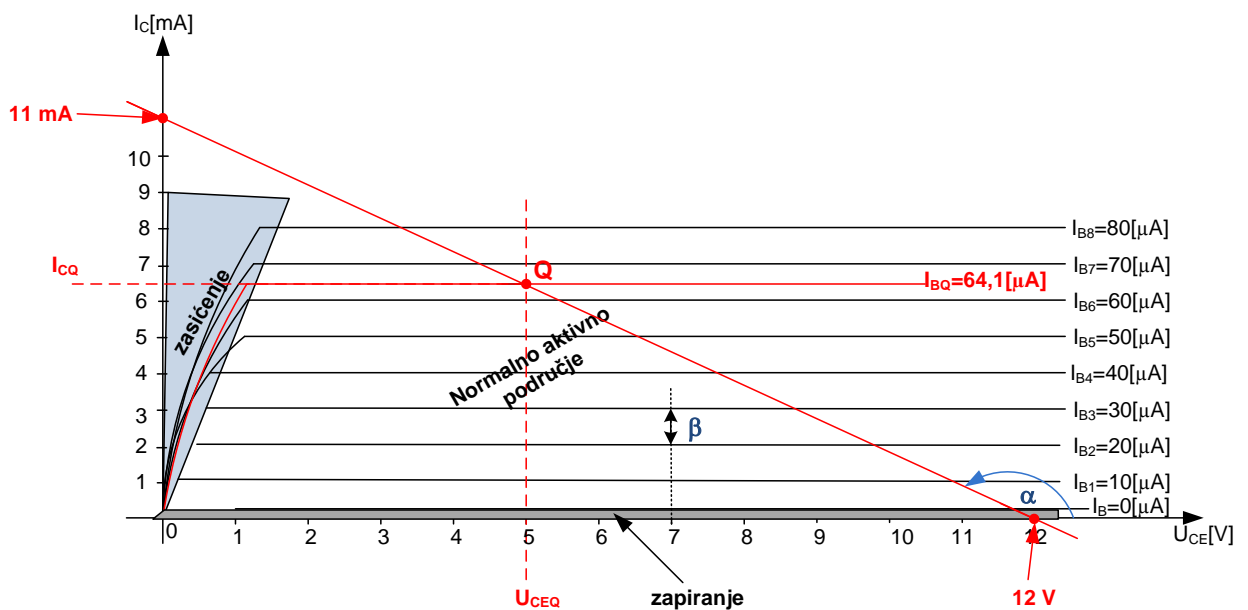
• Sada crtamo statički radni pravac (SRP) i statičku radnu točku SRT (Q):  
 Statički radni pravac:

za  $I_C = 0 \Rightarrow U_{CE} = U_{CC} = 12 \text{ [V]}$  ..... 1. točka

za  $U_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{U_{CC}}{R_C + R_E} \Rightarrow I_C = \frac{12 \text{ [V]}}{1,1 \cdot 10^3 \text{ [\Omega]}} = 11 \text{ [mA]}$  ..... 2. Točka

Statička radna točka: Q(64  $\mu$ A; 6,4 mA; 5 V)

Sada možemo nacrtati statički radni pravac i statičku radnu točku na izlaznim karakteristikama:



$$e) \beta = h_{FE} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Big|_{U_{CE} = konst.} = \frac{(3 - 2) \text{ mA}}{(30 - 20) \text{ \mu A}} = 100$$

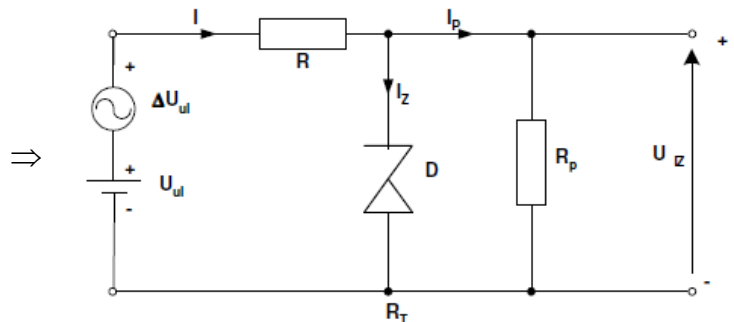
f) Ovisno o polaritetu napona priključenoga između emitera i baze, te kolektora i baze moguća su četiri područja rada tranzistora:

1. normalno aktivno područje: spoj emiter-baza je polariziran propusno, a spoj kolektor-baza nepropusno;
2. područje zasićenja: oba spoja su polarizirana propusno;
3. područje zapiranja: oba spoja su polarizirana nepropusno;
4. inverzno aktivno područje: spoj emiter-baza je polariziran nepropusno, a spoj kolektor-baza propusno

(kao emiter se upotrebljava elektroda kolektora).

2. Rješenje:

Ako promjenu ulaznog napona  $\Delta U_{ul}$  nadomjestimo izmjeničnim izvorom tada sklop možemo prikazati kao na slici 2.15.

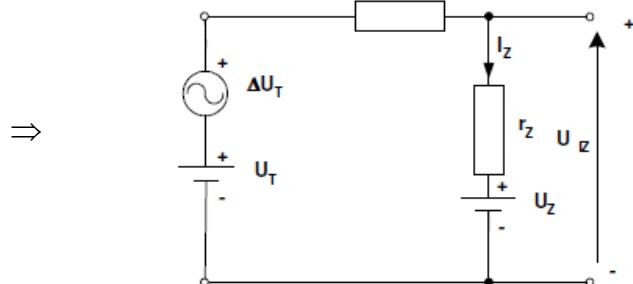


Ako sada ovaj sklop nadomjestimo Theveninom:

$$R_T = R \parallel R_p = 200 [\Omega]$$

$$U_T = U_{ul} \frac{R_p}{R_p + R} = 16 [\text{V}]$$

$$\Delta U_T = \pm 0,2 \cdot 18 = \pm 3,2 [\text{V}]$$



a)  $\Delta U_{ul} = 0 \text{ V}$

$$I_Z = \frac{U_T - U_Z}{R_T + r_Z} = 28,6 \text{ mA},$$

$$U_{IZ} = I_Z r_Z + U_Z = 10,286 \text{ V},$$

$$I_p = \frac{U_{IZ}}{R_p} = 34,3 \text{ mA}.$$

b)  $\Delta U_{ul} = \pm 0,2 \times 48 = \pm 9,6 \text{ V}$      $\Delta U_T = \pm 3,2 \text{ V}$

$$\Delta U_{IZ} = \Delta U_T \cdot \frac{r_Z}{r_Z + R_T} = \pm 0,152 \text{ V}.$$

c) Faktor stabilnosti ili koeficijent prigušenja valovitosti, izravno govori o kvaliteti sklopa i dan je izrazom:

$$S = \frac{\Delta U_{IZ}}{\Delta U_{ul}} = \frac{0,152}{9,6} = 0,0158$$

$$3. \text{ a) } I = I_S \left( e^{\frac{qU_D}{kT}} - 1 \right) = I_S \left( e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1 \right)$$

$T$  ... apsolutna temperatura,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  ... Boltzmannova konstanta,

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ... iznos naboja elektrona,

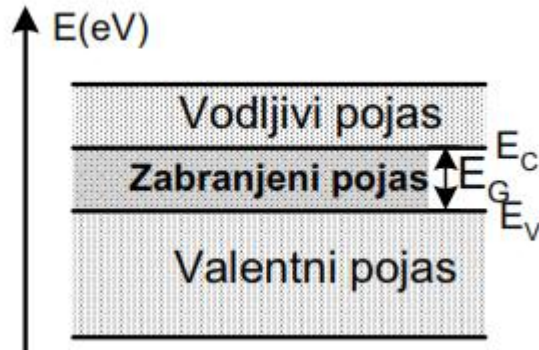
$U_D$  ... napon na diodi,

$I_S$  ... reverzna struja zasićenja,

$U_T$  ... napon na temperaturi  $T$  (na sobnoj temperaturi oko 26 mV)

$$I = I_S \left( e^{\frac{qU_D}{kT}} - 1 \right) = 20 \text{ [nA]} \left( e^{\frac{200 \text{ [mV]}}{19,4 \text{ [mV]}}} - 1 \right) = 0,6 \text{ [mA]}$$

b)



c) Za propusno polariziran  $PN$  spoj dolazi do smanjivanja potencijalne barijere u odnosu na ravnotežno stanje. Zbog toga se u slučaju kad je plus pol vanjskoga napona priključen na  $P$ -tip, difuzija većinskih nositelja olakšava, pa će doći do pojačane injekcije elektrona na  $P$ -stranu i šupljina na  $N$ -stranu. To će imati za posljedicu znatan porast difuzijskih struja  $I_{DN}$  i  $I_{DP}$ , koje se međusobno potpomažu. Većinski nositelji koji mogu difundirati preko barijere označeni su šrafiranim površinama.

$$I = I_{DN} + I_{DP} - I_{SN} - I_{SP} = I_D - I_S.$$

$I_{DN}$  – difuzijska struja elektrona (većinski na  $n$  strani)

$I_{DP}$  – difuzijska struja šupljina (većinski na  $p$  strani)

$I_{SN}$  – struja zasićenja elektrona (manjinski na  $p$  strani)

$I_{SP}$  – struja zasićenja šupljina (manjinski na  $n$  strani)

4. a)

$$R = \frac{U_{ul} - U_F}{I_F} = 165 \text{ [\Omega]}$$

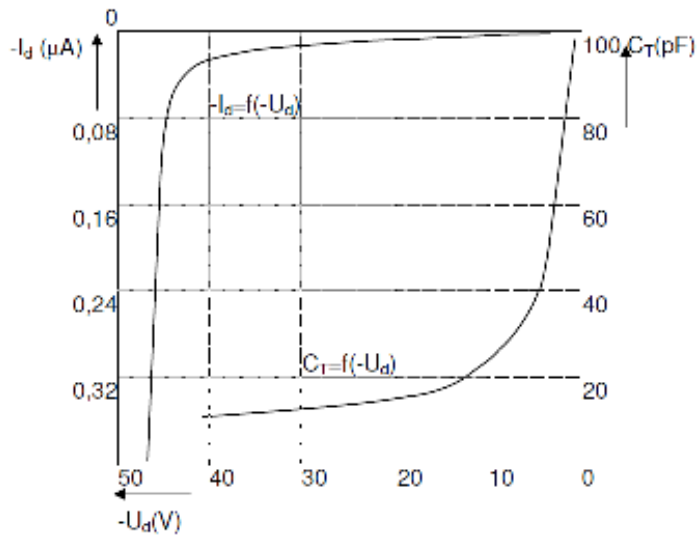
b) Širina ovoga područja nije konstantna već ovisi o koncentraciji primjesa na  $p$ - i  $n$ -strani

poluvodiča. Naime, ona je uža što su koncentracije primjesa na  $p$  i  $n$ -strani veće i dublje prodire u onu stranu koja ima manju koncentraciju primjesa, što znači da nije simetrična.

Kapacitet se javlja zbog prostornoga naboja (zaporna kapacitivnost) i zbog difuzije elektrona i

šupljina (difuzijska kapacitivnost), bez obzira na polaritet priključenoga napona.

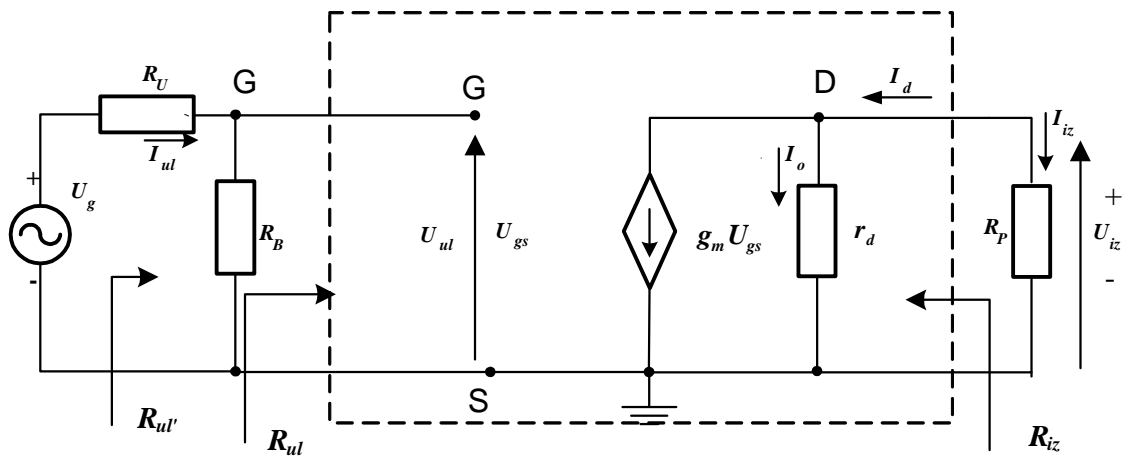
Kada je dioda polarizirana nepropusno, dominira zaporna kapacitivnost (depletion capacitance), a kada je polarizirana propusno, dominira difuzijska kapacitivnost. Kod kapacitivnih dioda iskorištava se **zaporna kapacitivnost**.



5.

$$R_B = R_1 \parallel R_2 \cong 80 \text{ k}\Omega$$

$$R_P = R_D \parallel R_T = 0,667 \text{ k}\Omega$$



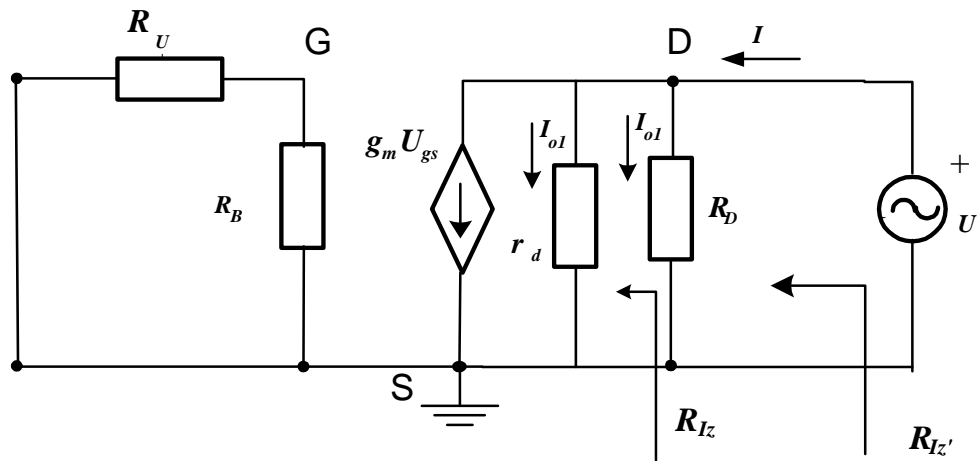
$$A_V = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} \quad U_{ul} = U_{gs} \quad -g_m U_{ul} = U_{iz} \left( \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_p} \right)$$

$$A_V = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = \frac{-g_m}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_p}} = \frac{-g_m * R_p}{1 + g_d * R_p} = \frac{-4 * 0,667}{1 + 20 * 10^{-6} * 667} = \frac{-2,668}{1,01334} = -2,63$$

Ulazni otpor je ulazni otpor FET-a  $\rightarrow \infty!!!!$

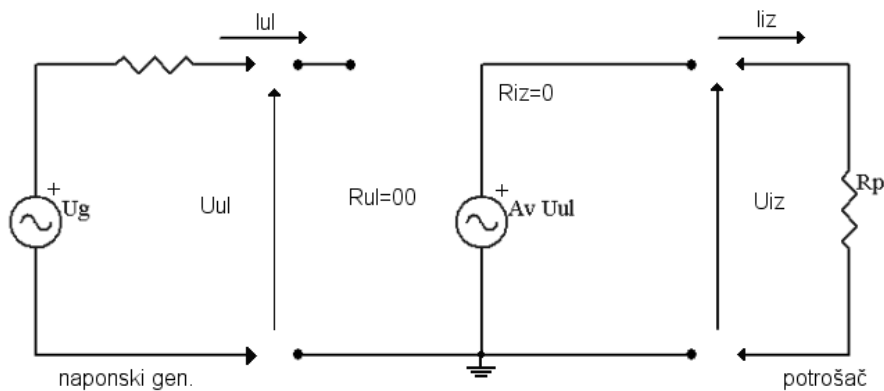
$$R_{UL'} = R_B \cong 80 \text{ k}\Omega$$

Izlazni otpor računamo tako da otvorimo izlazne stezaljke ( $R_P \rightarrow \infty$ ), narinemo naponski izvor U i kratkospojimo U<sub>g</sub>!



$$U_{gs} = 0 \Rightarrow R_{LZ} = r_d = 50k\Omega \Rightarrow R_{LZ}' = \frac{U}{I} = R_D \parallel r_d \cong 1k\Omega$$

6. a)



$$U_{iz} = A_v U_{ul} = A_v U_g \neq f(R_p)$$

$A_v \rightarrow$  ne ovisi o  $R_p$  i o frekvenciji signala.

Pod idealnim naponskim pojačalom podrazumijevamo zavisni naponski izvor u izlaznom krugu s elektromotornom silom diktiranom ulaznim naponom.

$$A_v = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = \frac{1000mV}{1mV} = 1000 \Rightarrow A_v(dB) = 20 \log A_v = 20 * 3 = 60dB$$

b)

- ZU spoj - Uobičajeni sklopovi za naponsko i strujno pojačanje u niskofrekvencijskom i visokofrekvencijskom području.
- ZO spoj - Predpojačala, izolaciona pojačala (transformatori impedancije).
- ZV spoj - Sklopovi za mjerne svrhe, antenska pojačala s prilagođenjem snage.