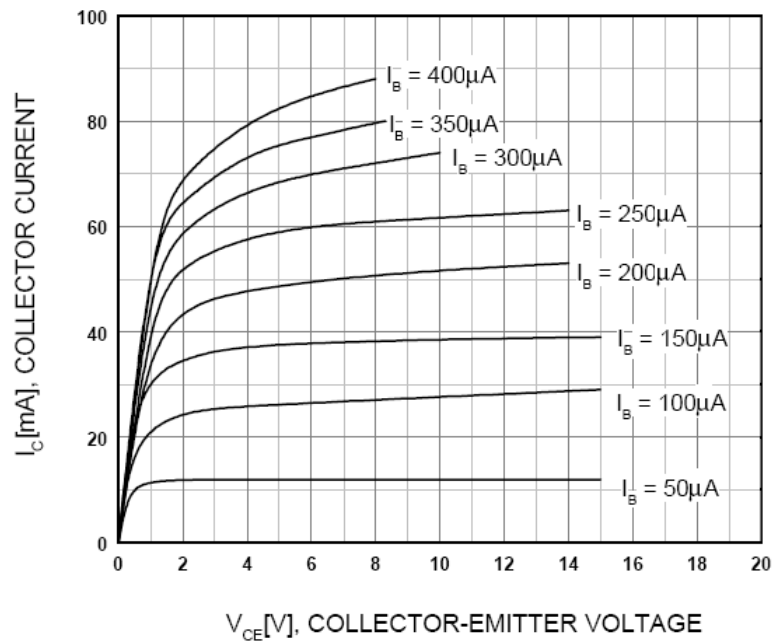


## 1. Statičke karakteristike i parametri bipolarnog tranzistora

1.1. Kod bipolarnog tranzistora koji se karakteriše izlaznim statičkim karakteristikama na slici smo fiksirali baznu struju na vrednost od  $I_B = 150[\mu A]$ . Kolika može biti maksimalna vrednost od  $U_{CE}$  ako gubici tranzistora ne smeju da premaše vrednost od  $P_{Dmax} = 300[mW]$ .



Rešenje:

Ukupni gubici tranzistora se mogu izraziti formulom:

$$P_D = U_{CE} \cdot I_C + U_{BE} \cdot I_B.$$

Sa obzirom na odnose  $U_{BE} \ll U_{CE}$ ,  $I_B \ll I_C$  koji važe u aktivnom režimu, drugi član u gornjoj formuli se može zanemariti.

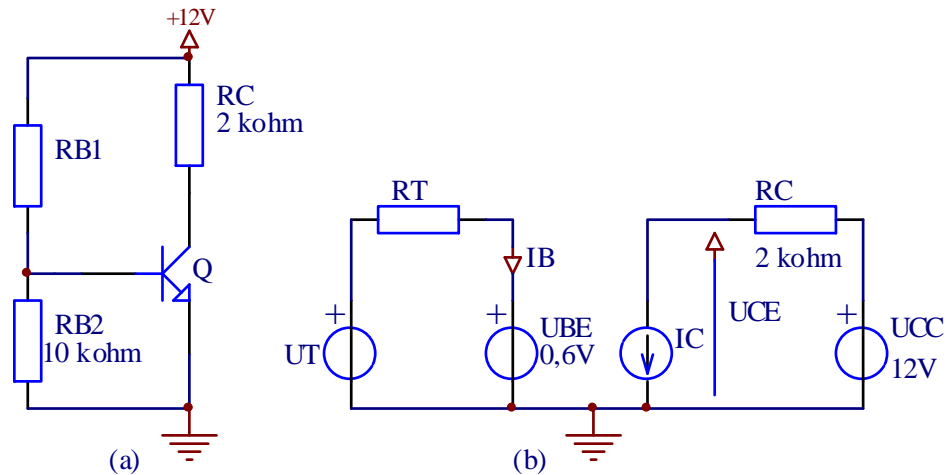
Kod zadate vrednosti bazne struje  $I_B$  i napona kolektor-emitor  $U_{CE}$  od nekoliko volti sa statičkih karakteristika dobija se  $I_C \approx 38 mA$ . Iz formule za snagu sledi:

$$U_{CE} = \frac{P_D}{I_C}.$$

$$\text{Oдавde: } U_{CEmax} = \frac{P_{Dmax}}{I_C} = \frac{300 \cdot 10^{-3}}{38 \cdot 10^{-3}} = 7,9[V]$$

## 2. Određivanje radne tačke i radne prave bipolarnog tranzistora

2.1. Za vezu bipolarnog tranzistora na slici (a) odrediti struju kolektora, struju baze i napon kolektor-emitor za dve vrednosti otpornosti  $R_{B1}$ :  $R_{B11}=120 [k\Omega]$  i  $R_{B12}=80 [k\Omega]$ .  
Poznato je:  $U_{BE}=0,6[V]$ ,  $\beta=100$ ,  $U_{CES}=0,2V$ .



Rešenje:

Ulazno kolo se zamenjuje Thèvenin-ovim generatorom.

Za slučaj  $R_{B1}=R_{B11}$  važi:

$$U_{T1} = \frac{R_{B2}}{R_{B2} + R_{B11}} \cdot 12 = \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 120 \cdot 10^3} \cdot 12 = 923[mV]$$

$$R_{T1} = \frac{R_{B11} \cdot R_{B2}}{R_{B11} + R_{B2}} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 120 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 120 \cdot 10^3} = 9,23[k\Omega].$$

Vrednost bazne struje je:

$$I_{B1} = \frac{U_{T1} - U_{BE}}{R_{T1}} = \frac{0,923 - 0,6}{9,23 \cdot 10^3} = 35[\mu A].$$

Pretpostavljajući aktivni režim, sledi:

$$I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} = 100 \cdot 35 \cdot 10^{-6} = 3,5 [mA].$$

Napon kolektor-emitor se računa iz izlaznog strujnog kola. U tu svrhu potrebno je napisati jednačinu po drugom Kirchhoff-ovom zakonu:

$$U_{CE1} + R_C \cdot I_{C1} - 12 = 0 \Rightarrow U_{CE1} = 12 - R_C \cdot I_{C1} = 12 - 2 \cdot 10^3 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = 5 [V].$$

Za slučaj  $R_{B1}=R_{B12}$  važi:

$$U_{T2} = \frac{R_{B2}}{R_{B2} + R_{B12}} \cdot 12 = \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 80 \cdot 10^3} \cdot 12 = 1,33[V]$$

$$R_{T2} = \frac{R_{B2} \cdot R_{B12}}{R_{B2} + R_{B12}} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 80 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 80 \cdot 10^3} = 8,89[k\Omega].$$

Vrednost bazne struje je:

$$I_{B2} = \frac{U_{T2} - U_{BE}}{R_{T2}} = \frac{1,33 - 0,6}{8,89 \cdot 10^3} = 82,5[\mu A].$$

Opet, pretpostavljajući aktivni režim, sledi:

$$I_{C2} = \beta \cdot I_{B2} = 100 \cdot 84 \cdot 10^{-6} = 8,25[mA].$$

Napon kolektor-emitor se računa iz izlaznog strujnog kola. U tu svrhu potrebno je napisati jednačinu po drugom Kirchhoff-ovom zakonu:

$$U_{CE2} + R_C \cdot I_{C2} - 12 = 0$$

$$\Rightarrow U_{CE2} = 12 - R_C \cdot I_{C2} = 12 - 2 \cdot 10^3 \cdot 8,25 \cdot 10^{-3} = -4,5 [V].$$

Dobijeno rešenje nema smisla, napon kolektor-emitor ne može biti negativan pri pozitivnom naponu napajanja, uvek važi:  $U_{CE} \geq U_{CES} > 0$ .

U takvim slučajevima važi:

$$U_{CE} = U_{CES} = 0,2V,$$

Struja kolektora je:

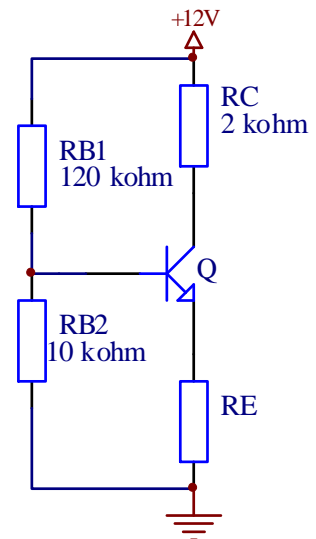
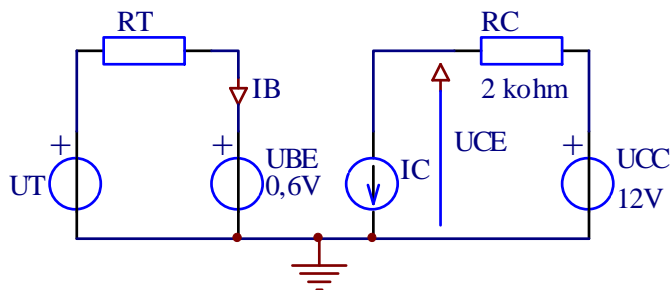
$$I_C = \frac{12 - U_{CES}}{R_C} = \frac{12 - 0,2}{2 \cdot 10^3} = 5,9 [mA]$$

U ovom slučaju (režim zasićenja) važi:  $I_{C2} = 5,9 [mA] < \beta \cdot I_{B2} = 8,25 [mA]$ .

2.2. Odrediti radnu tačku i radnu pravu bipolarnog tranzistora na slici za slučajeve  $R_{E1} = 0$  i  $R_{E2} = 100[\Omega]$ ! Dato je:  $U_{BE} = 0,6[V]$ ,  $\beta = 100$ .

Rešenje:

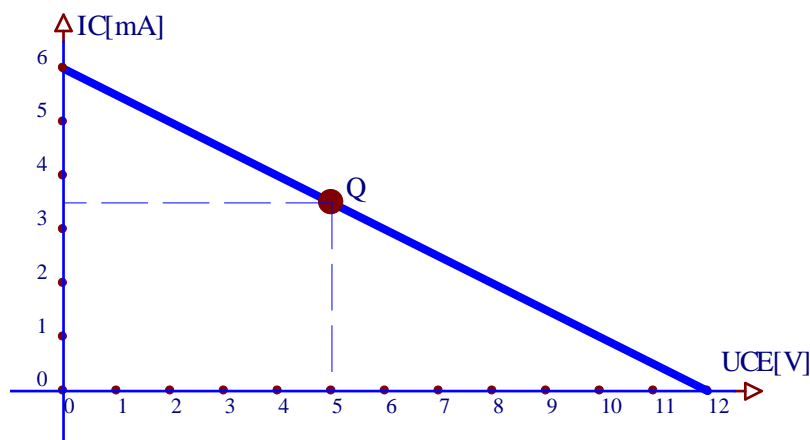
U prvom slučaju ( $R_E = R_{E1}$ ) važi ekvivalentna šema data u zadatku 2.1, slika (a):



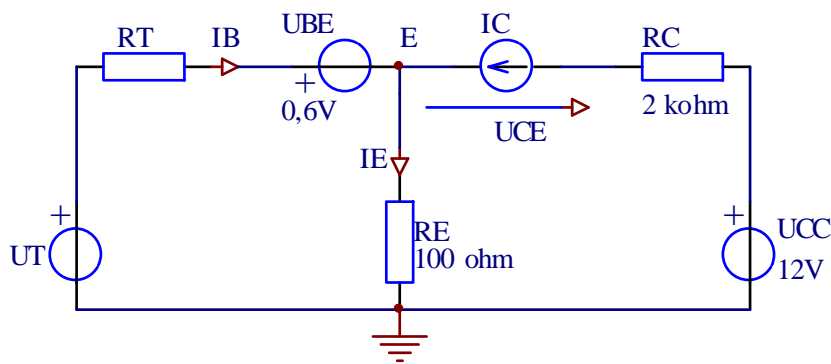
Tamo je dobijeno:  $I_{C1} = 3,5[mA]$ ,  $U_{CE1} = 5[V]$ , što jednoznačno određuje radnu tačku. Jednačina radne prave je takođe izvedena za taj slučaj:

$$U_{CE1} + R_C \cdot I_{C1} - 12 = 0 \Rightarrow I_{C1} = \frac{12 - U_{CE1}}{R_C} = 6 \cdot 10^{-3} - \frac{U_{CE1}}{2 \cdot 10^3}$$

Na sledećoj slici prikazana je radna prava i radna tačka za taj slučaj:



U **drugom** slučaju,  $R_E=R_{E2}=100[\Omega]$ , ekvivalentna šema se modifikuje kao na slici:



Za određivanje radne tačke potrebno je napisati drugi Kirchhoff-ov zakon za ulazno kolo (petlja sa leve strane):

$$U_T - R_T \cdot I_{B2} - U_{BE} - R_{E2} \cdot I_{E2} = 0.$$

Pošto je  $I_{E2}=I_{C2}+I_{B2}=\beta \cdot I_{B2}+I_{B2}=(\beta+1) \cdot I_{B2}$ , sledi:

$$U_T - R_T \cdot I_{B2} - U_{BE} - R_{E2} \cdot (\beta + 1) \cdot I_{B2} = 0. \Rightarrow I_{B2} = \frac{U_T - U_{BE}}{R_T + (\beta + 1) \cdot R_{E2}}.$$

Koristeći ranije izračunate vrednosti, dolazimo do sledećih parametara:

$$U_T=U_{T1}=923[mV] \text{ i } R_T=R_{T1}=9,23[k\Omega],$$

$$I_{B2} = \frac{0,923 - 0,6}{9,23 \cdot 10^3 + (100 + 1) \cdot 400} = 16,7[\mu A]$$

Oдавде sledi:

$$I_{C2} = \beta \cdot I_{B2} = 1,67[mA],$$

Napon kolektor-emitor se dobija ako napišemo jednačinu po drugom Kirchhoff-ov zakon za izlazno kolo:

$$U_{CC} - R_C \cdot I_{C2} - U_{CE2} - R_{E2} \cdot I_{E2} = 0 \Rightarrow U_{CE2} = U_{CC} - R_C \cdot I_{C2} - R_{E2} \cdot I_E.$$

Odnosno:

$$U_{CE2} = U_{CC} - R_C \cdot I_{C2} - R_{E2} \cdot (I_{C2} + I_{B2}) = U_{CC} - R_C \cdot I_{C2} - R_{E2} \cdot \left( I_{C2} + \frac{I_{C2}}{\beta} \right).$$

$$U_{CE2} = U_{CC} - R_C \cdot I_{C2} - R_{E2} \cdot \left( I_{C2} + \frac{I_{C2}}{\beta} \right) = U_{CC} - R_C \cdot I_{C2} - R_{E2} \cdot I_{C2} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$U_{CE2} = U_{CC} - I_{C2} \cdot \left[ R_C + R_{E2} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right] \text{ (jednačina radne prave)}$$

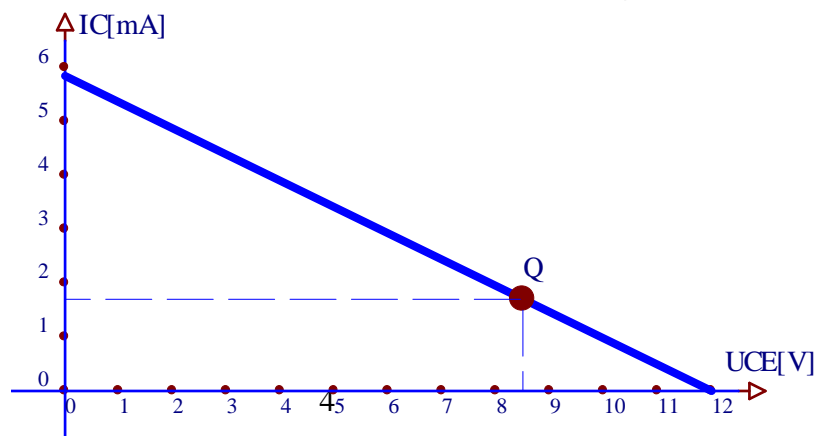
Uvrštavajući ranije dobijenu vrednost za  $I_{C2}$  dolazimo do vrednosti napona kolektor-emitor u radnoj tački:

$$U_{CE2} = 12 - 1,67 \cdot 10^{-3} \left[ 2 \cdot 10^3 + 100 \left( 1 + \frac{1}{100} \right) \right] = 8,49V$$

Radna prava seče osu  $U_{CE}$  u tački  $U_{CE0}=12[V]$ , a osu  $I_C$  seče u sledećoj tački:

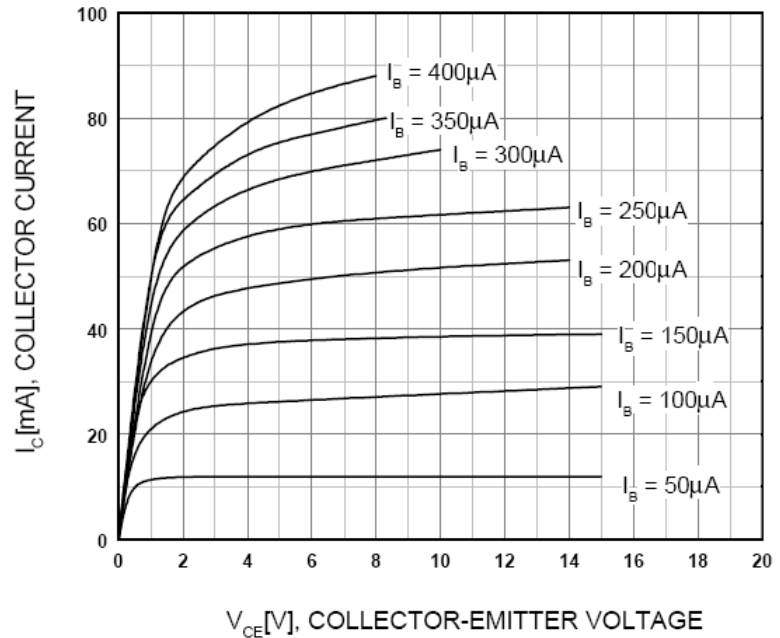
$$U_{CE2} = 0 = U_{CC} - I_{C20} \cdot \left[ R_C + R_{E2} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right] \Rightarrow I_{C20} = \frac{U_{CC}}{R_C + R_{E2} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)} = \frac{12}{2 \cdot 10^3 + 100 \left( 1 + \frac{1}{100} \right)} =$$

$$= 5,7[mA]$$



### 3. Određivanje parametara modela bipolarnog tranzistora u režimu malih signala

3.1. Na slici su prikazane izlazne karakteristike jednog bipolarnog tranzistora. Odrediti parametre modela tranzistora za režim malih signala ( $g_m$ ,  $r_\pi$ ) u radnoj tački koja je određena vrednostima:  $I_B = 100 [\mu A]$  i  $U_{CE} = 5 [V]$ ! Dato je:  $U_T = kT/e = 25 [mV]$ .



Rešenje:

Mirna struja kolektora se može očitati sa dijagrama:

$$I_C = 26 [mA].$$

Pošto je radna tačka u aktivnom režimu, važi:

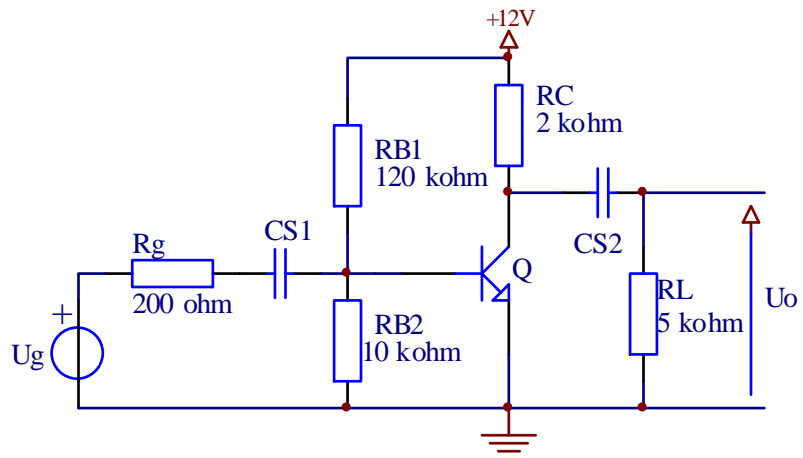
$$I_C = \beta \cdot I_B \rightarrow \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 260.$$

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} = 1,04 [S]$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{260}{1,04} = 250 [\Omega].$$

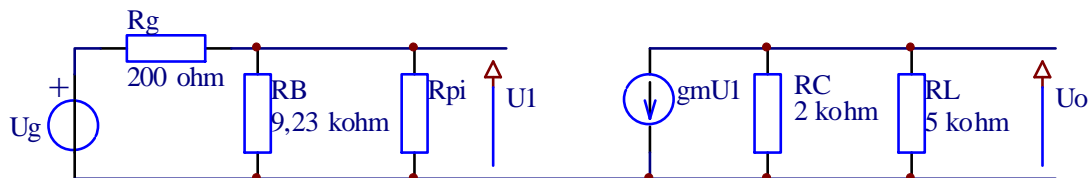
#### 4. Proračun parametara jednotranzistorskih pojačavača

4.1. Odrediti naponsko pojačanje  $A_u = u_o / u_g$  jednotranzistorskog pojačavača na slici (polazna šema je ona analizirana u zadatku 2.1) i njegovu ulaznu otpornost  $R_i = i_g / u_g$ . Dato je:  $\beta = 100$ ,  $I_C = 3,5 [mA]$ ,  $kT/e = U_T = 25 [mV]$ .



Rešenje:

Odgovarajuća ekvivalentna šema (model) za režim malih signala je:



Parametri modela za režim malih signala imaju vrednosti:

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} = 0,14 [S],$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0,14} = 714 [\Omega].$$

Napon  $u_1$  se računa na sledeći način:

$$u_1 = \frac{R_B || r_\pi}{R_g + R_B || r_\pi} \cdot u_g = \frac{9230 || 714}{200 + 9230 || 714} \cdot u_g = 0,768 \cdot u_g$$

Izlazni napon se računa po formuli:

$$u_o = -g_m \cdot u_1 \cdot (R_C || R_L) = -0,14 \cdot (2000 || 5000) \cdot u_1 = 200 \cdot u_1.$$

Na bazi ovih rezultata naponsko pojačanje je:

$$A_u = \frac{u_o}{u_g} = \frac{u_o}{u_1} \cdot \frac{u_1}{u_g} = -153,6$$

Ulazna otpornost je:

$$R_i = \frac{u_g}{i_g} = R_g + R_B || r_\pi = 200 + 9230 || 714 = 863 [\Omega].$$