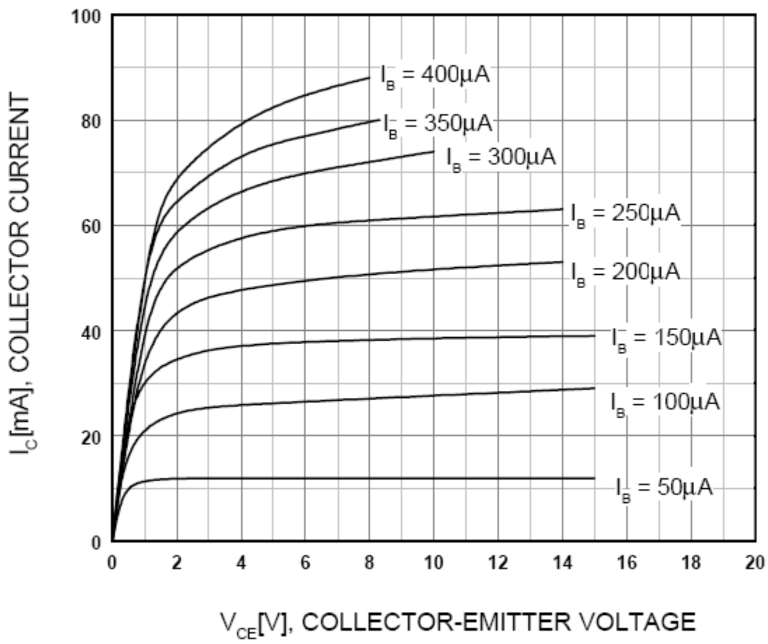
1. A bipoláris tranzisztor statikus jelleggörbéi és paraméterei

1.1. Az ábrán megadott kimeneti jelleggörbékkel jellemzett tranzisztornál rögzítettük a bázisáramot $I_B=150[\mu A]$ értékre. Mekkora lehet U_{CE} maximális értéke, ha a tranzisztor vesztesége nem haladhatja meg a $P_{Dmax}=300[mW]$ értéket.



Megoldás:
A tranzisztoron vesző összes teljesítmény a következő módon írható fel:

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

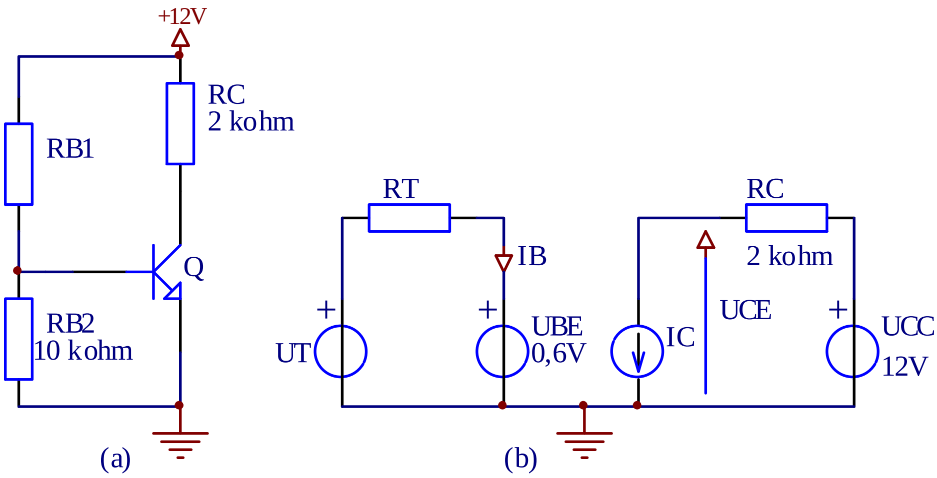
A második tag elhanyagolható, tekintettel arra, hogy aktív üzemben $U_{BE}<<U_{CE}$, $I_B<<I_C$.
A statikus jelleggörbékről leolvasható, hogy az adott I_B értéknél és néhány voltos U_{CE} feszültség mellett a kollektor áram $I_C \approx 38mA$. A teljesítményképletből:

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

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

2. A bipoláris tranzisztor munka-pontjának és munka-egyenesének meghatározása

2.1. Az (a) ábrán megadott kapcsolásban határozzuk meg a bipoláris tranzisztor kollektor áramát, bázis áramát és kollektor-emitter feszültségét R_{B1} két értékére: $R_{B11}=120\ [k\Omega]$, $R_{B12}=80\ [k\Omega]$. Adott: $U_{BE}=0{,}6[V]$, $\beta=100$, $U_{CES}=0{,}2V$.



(a) (b)

Megoldás:

A bemenő áramkört Thèvenin forrással helyettesítjük.

$R_{B1}=R_{B11}$ esetére érvényes:

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

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

A bázisáram értéke:

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

Aktív üzemet feltételezve:

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

A kollektor-emitter feszültséget a kimenő körből számítjuk. Erre a Kirchhoff második törvénye szerint felírható egyenlet:

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

$R_{B1}=R_{B12}$ esetére érvényes:

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

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

A bázisáram értéke:

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

Aktív üzemet feltételezve:

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

A kollektor-emitter feszültséget a kimenő körből számítjuk. Erre a Kirchhoff második törvénye szerint felírható egyenlet:

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

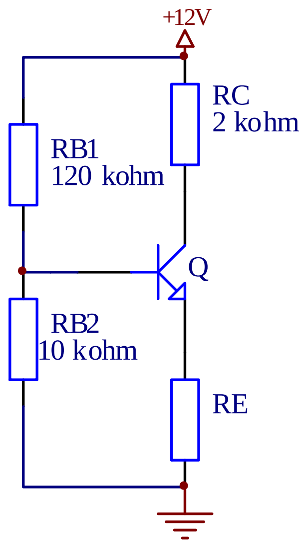
$$\Rightarrow\ U_{CE2}=12-R_C\cdot I_{C2}=12-2\cdot 10^3\cdot 8{,}25\cdot 10^{-3}=-4{,}5\ [V].$$

A kapott eredmény nem lehetséges, a kollektor-emitter feszültség nem lehet negatív, mert érvényes: $U_{CE} \geq U_{CES}$. Ilyen esetben a tényleges kollektor feszültség:
$U_{CE}=U_{CES}=0{,}2V$,
A kollektor áram pedig:

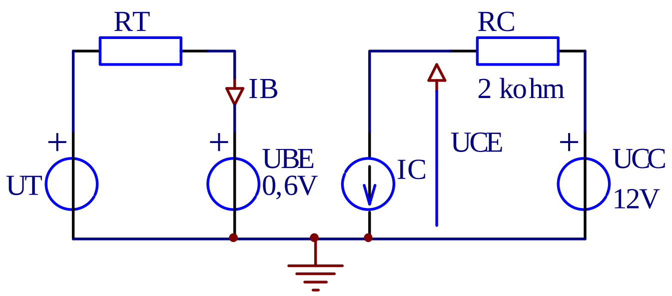
$$I_C = \frac{12 - U_{CES}}{R_C} = \frac{12 - 0{,}2}{2 \cdot 10^3} = 5{,}9\ [mA]$$

Ez esetben (telítési tartomány) érvényes: $I_{C2}=5{,}9\ [mA] < \beta \cdot I_{B2}=8{,}25\ [mA]$.

2.2. Határozzuk meg a rajzon látható bipoláris tranzisztor munka-pontját és munka-egyenesét $R_{E1}=0$ és $R_{E2}=100[\Omega]$ esetére! Adott: $U_{BE}=0{,}6[V]$, $\beta=100$.



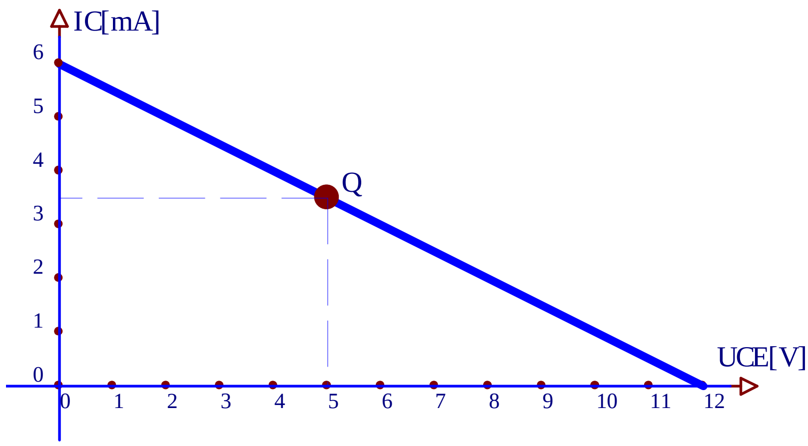
Megoldás:
Az első esetben ($R_E=R_{E1}$) érvényes a 11. gyakorlat 2.2.-es feladatában alkalmazott helyettesítő ábra:



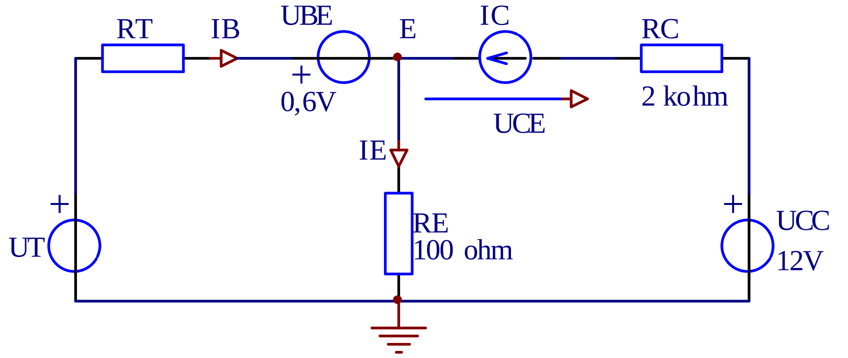
Ott megkaptuk: $I_{C1}=3{,}5[mA]$, $U_{CE1}=5[V]$, ami egyértelműen meghatározza a munka-pontot erre az esetre.
A munka-egyenes képletét már szintén levezettük erre az esetre:

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

A munka-egyenest és a munka-pontot erre az esetre a következő ábrán szemléltetjük:



A második esetben, ha $R_E = R_{E2} = 100[\Omega]$, a helyettesítő ábra a következőképpen módosul:



A munka-pont számításához felírjuk Kirchhoff második törvényét a bemenő áramkörre (bal oldali hurok):

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

Mivel $I_{E2} = I_{C2} + I_{B2} = \beta \cdot I_{B2} + I_{B2} = (\beta+1) \cdot I_{B2}$, következik:

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

Felhasználva a korábban kiszámított értékeket, a következő paramétereket kapjuk: $U_T = U_{T1} = 923[mV]$ *és* $R_T = R_{T1} = 9{,}23[k\Omega]$,

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

Innen következik:

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

A kollektor-emitter feszültséget a kimenő körre, Kirchhoff második törvénye alapján, felírt egyenletből kapjuk:

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

Illetve:

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

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

$$U_{CE2} = U_{CC} - I_{C2} \cdot \left[R_C + R_{E2}\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right] \quad \text{(a munkaegyenes egyenlete)}$$

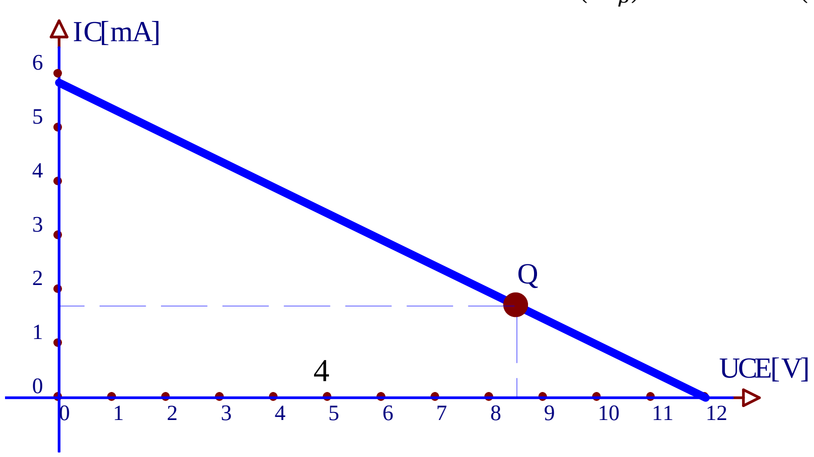
Behelyettesítve I_{C2} korábban kapott értékét megkapjuk a kollektor-emitter feszültség munka-ponti értékét:

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

A munka-egyenes az U_{CE} tengelyt $U_{CE0} = 12[V]$-ban metszi, az I_C tengelyt a következő pontban metszi:

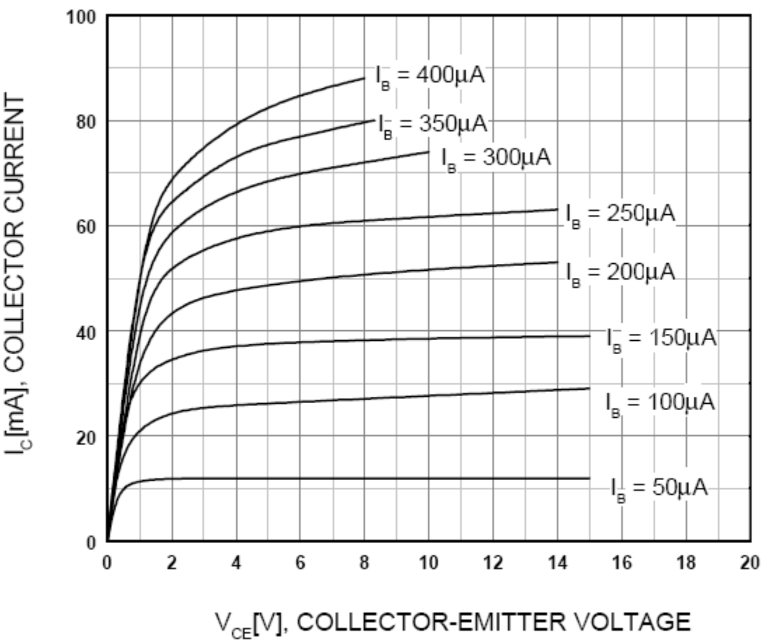
$$U_{CE2} = 0 = U_{CC} - I_{C20} \cdot \left[R_C + R_{E2}\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right] \quad \Longrightarrow \quad I_{C20} = \frac{U_{CC}}{R_C + R_{E2}\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} = \frac{12}{2 \cdot 10^3 + 100\left(1 + \frac{1}{100}\right)} =$$

$= 5{,}7[mA]$



3. A bipoláris tranzisztort helyettesítő kisjelű modell paramétereinek meghatározása

3.1. Az ábrán egy bipoláris tranzisztor kimeneti jelleggörbéit láthatjuk. Számítsuk ki az I_B=*100 [μA]* és U_{CE}=*5 [V]* értékekkel megadott munka-pontban a tranzisztor kisjelű modelljének paramétereit (g_m, r_π)! Adott U_T=*kT/e=25[mV]*.



Megoldás:
A tranzisztor nyugalmi kollektor árama a megfelelő diagramról leolvasva:
I_C=*26 [mA]*.
Mivel aktív üzemről van szó, érvényes:

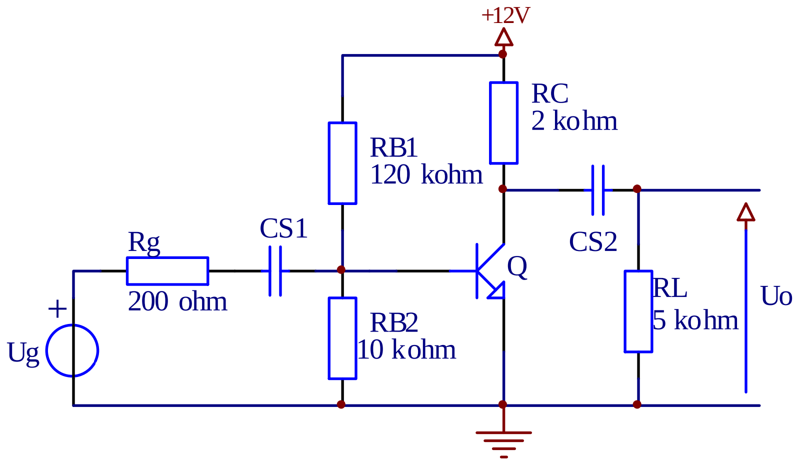
$$I_C = \beta \cdot I_B \quad \rightarrow \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 260.$$

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

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

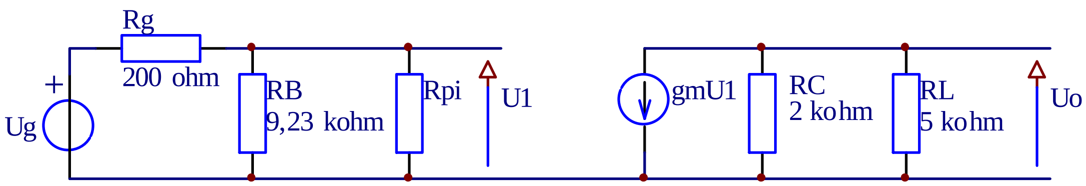
4. Egytranzisztoros erősítők paramétereinek számítása

4.1. Határozzuk meg az ábrán látható egytranzisztoros erősítő feszültségerősítését (az 1.1. feladatban használatos kapcsolási rajz lett kiegészítve) $A_u=u_o/u_g$ és bemeneti ellenállását $R_i=i_g/u_g$. Ismert $\beta=100$, $I_C=3{,}5[mA]$, $kT/e=U_T=25[mV]$.



Megoldás:

Kis jelekre a megfelelő helyettesítő ábra (modell) a következő:



A tranzisztor kisjelű modelljének paraméterei:

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

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

Az u_1 feszültség számítása:

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

A kimeneti feszültség számítása:

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

Ezek az eredmények alapján a feszültségerősítés:

$$A_u = \frac{u_o}{u_g} = \frac{u_o}{u_{1g}} \cdot \frac{u_1}{u_g} = -153{,}6$$

A bemeneti ellenállás:

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