



### Zadanie nr 1:

Dla złącza półprzewodnikowego p-n i poziomów domieszkowania  $N_A = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  i  $N_D = 4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  oblicz potencjał wbudowany. Ile będzie wynosił ten potencjał jeśli poziom domieszkowania jednego z obszarów wzrośnie 10-cio krotnie?

$$V_{BI} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

$$\frac{kT}{q} \approx 26 \text{ mV}$$

$$n_i = 1,08 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

a. 
$$V_{BI} = 26 \text{ mV} \ln \frac{2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}}{(1,08 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3})^2}$$

$$V_{BI} = 0,768 \text{ V} \approx 770 \text{ mV}$$

b. 
$$V_{BI} = \frac{kT}{q} \ln \frac{10 N_A N_D}{n_i^2}$$

$$V_{BI} = 26 \text{ mV} \ln \frac{20 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}}{(1,08 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3})^2}$$

$$V_{BI} = 0,820 \text{ V} \approx 830 \text{ mV}$$

**Zadanie nr 2:**

Określ o ile musi się zmienić napięcie polaryzacji diody by jej prąd wzrósł 10-cio krotnie?

$$I_D = I_S \exp \frac{V_D}{V_T}$$

$$e^{\frac{V_D}{V_T}} = \frac{I_D}{I_S}$$

$$\frac{V_D}{V_T} = \ln \frac{I_D}{I_S}$$

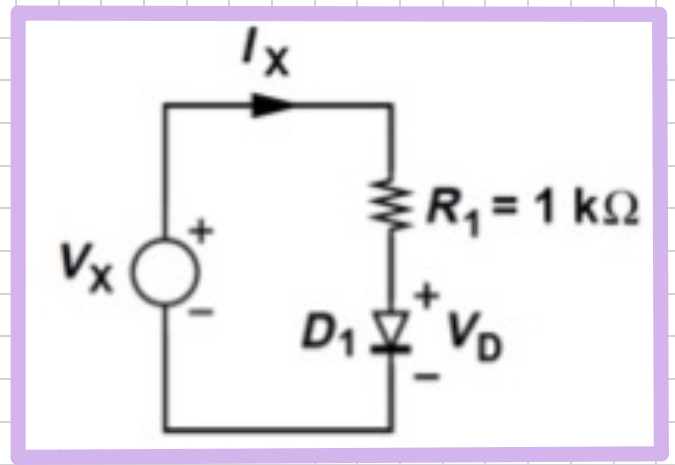
$$V_D = V_T \ln \frac{I_D}{I_S}$$

$$V_D' = V_T \ln \frac{10 I_D}{I_S}$$

$$\begin{aligned} V_D' - V_D &= V_T \left( \ln \frac{10 I_D}{I_S} - \ln \frac{I_D}{I_S} \right) = V_T \ln 10 = \\ &= 26 \text{ mV} \cdot \ln 10 \approx 0,060 \text{ V} = 60 \text{ mV} \end{aligned}$$

**Zadanie nr 3:**

Dla układu z rysunku obok oblicz prąd diody  $I_X$  dla  $V_X = 3\text{ V}$  i  $V_X = 1\text{ V}$  wykorzystując dwie metody: a) model eksponencjalny oraz b) zakładając napięcie diody  $V_{D, \text{on}} = 800\text{ mV}$ . Załóż  $I_S = 10^{-16}\text{ A}$ .



$$\begin{aligned} V_X &= I_X R_1 + V_D \\ I_X &= I_S \exp \frac{V_D}{V_T} \rightarrow V_D = V_T \ln \frac{I_X}{I_S} \\ V_X &= I_X R_1 + V_T \ln \frac{I_X}{I_S} \end{aligned}$$

a. sprawdzając dla  $I_X = 214\text{ mA}$

$$1\text{ k}\Omega \cdot 214\text{ mA} + 26\text{ mV} \cdot \ln \frac{214\text{ mA}}{10^{-16}\text{ A}} = 3,38\text{ V} > V_X = 3\text{ V}$$

trzeba zmniejszyć  $I_X$

b.

$$\begin{aligned} V_X &= I_X R_1 + V_D \\ I_X &= \frac{V_X - V_D}{R_1} \end{aligned}$$

dla  $V_X = 3\text{ V}$

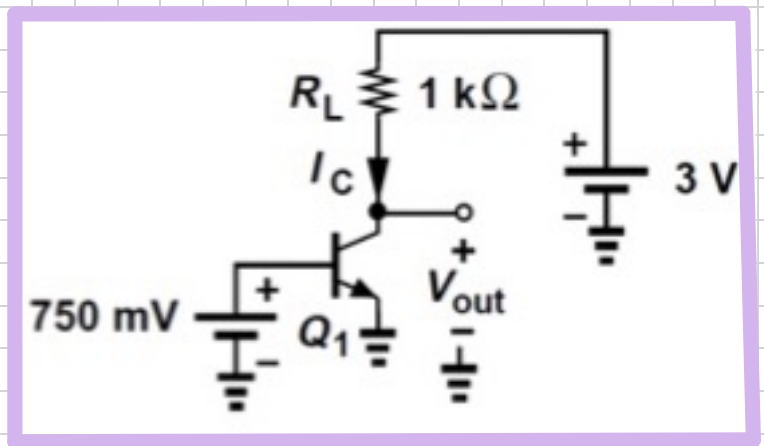
$$I_{X_1} = \frac{3 - 0,8}{1000}\text{ A} = 0,0022\text{ A} = 2,2\text{ mA}$$

dla  $V_X = 1\text{ V}$

$$I_{X_2} = \frac{1 - 0,8}{1000}\text{ A} = 0,0002\text{ A} = 0,2\text{ mA}$$

**Zadanie nr 4:**

Dla układu z rysunku obok oblicz napięcie wyjściowe.  
Założ  $I_S = 5 \times 10^{-16} \text{ A}$ .



$$I_C = I_S \exp \frac{V_{BE}}{V_T}$$

$$I_C = 5 \cdot 10^{-16} \cdot e^{\frac{0,75 \text{ V}}{0,026 \text{ V}}} = 1,69 \text{ mA}$$

$$U_R = 0,00169 \text{ A} \cdot 1000 \Omega = 1,69 \text{ V}$$

$$(NPN) V_{out} = 3 \text{ V} - 1,69 \text{ V} = 1,31 \text{ V}$$

### Zadanie nr 5:

Sprawdź jak zmieniają się prądy tranzystora bipolarnego jeśli jego wzmocnienie prądowe, na wskutek rozrzutów technologicznych, będzie miało wartość z przedziału  $\beta = 50 \div 200$ ? Załóż  $I_S = 5 \times 10^{-16}$  A oraz  $V_{BE} = 750$  mV.

$$I_C = I_S \exp \frac{V_{BE}}{V_T}$$

$$I_C = 1,69 \text{ mA}$$

I  $\beta = 50$

$$50 = \frac{1,69 \text{ mA}}{I_{B1}}$$

$$I_{B1} = 0,03 \text{ mA}$$

$$I_{E1} = 1,69 + 0,03 = 1,72 \text{ mA}$$

II  $\beta = 200$

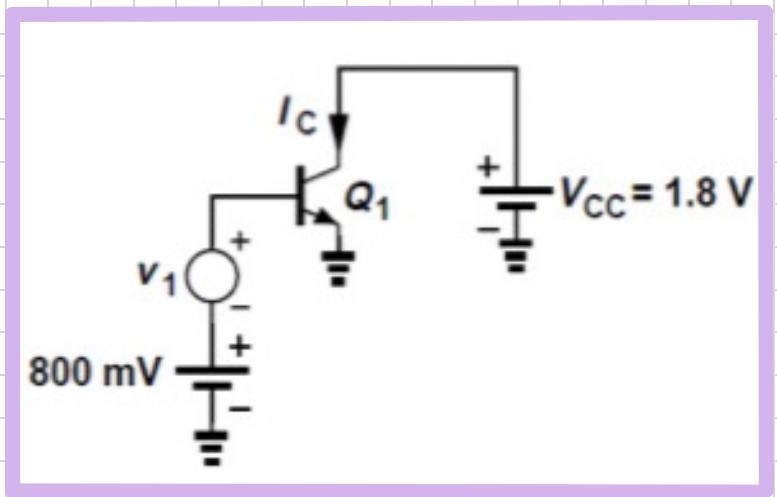
$$200 = \frac{1,69 \text{ mA}}{I_{B2}}$$

$$I_{B2} \approx 0,009 \text{ mA}$$

$$I_{E2} = 1,7 \text{ mA}$$

**Zadanie nr 6:**

Dla układu z rysunku obok oszacuj parametry małosygnałowe tranzystora oraz określ amplitudy prądów bazy oraz kolektora dla zmian napięcia wejściowego 1 mV. Załóż  $\beta = 100$  oraz  $I_S = 3 \times 10^{-16} \text{ A}$ . Narysuj model małosygnałowy układu.



$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_C = I_S \exp \frac{V_{BE}}{V_T}$$

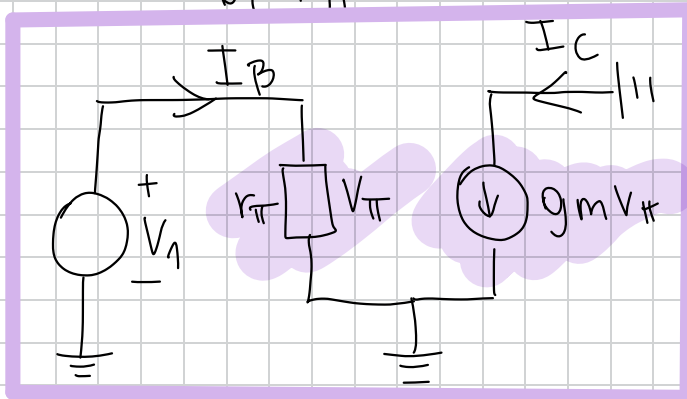
$$V_T = 26 \text{ mV}$$

$$I_C = 3 \cdot 10^{-16} \text{ A} \cdot e^{\frac{800 \text{ mV}}{26 \text{ mV}}}$$

$$I_C = 6,92 \text{ mA}$$

$$g_m = \frac{6,92 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,27 \frac{1}{\Omega} \rightarrow \text{siemens}$$

$$r_\pi = \frac{100}{0,27 \frac{1}{\Omega}} = 370 \Omega$$



z modelu małosygnałowego wynika że  $V_1 = V_\pi$

$$\Delta I_C = g_m V_\pi = g_m V_1 = 0,27 \frac{1}{\Omega} \cdot 1 \text{ mV} = 0,27 \text{ mA}$$

$$\Delta I_B = \frac{V_1}{r_\pi} = \frac{1 \text{ mV}}{370 \Omega} = 2,7 \mu\text{A}$$

1 mV  
↑

**Zadanie nr 7:**

Prąd kolektora tranzystora bipolarnego  $I_C = 1 \text{ mA}$  a napięcie  $V_{CE} = 2 \text{ V}$ . Określ ile musi wynosić napięcie  $V_{BE}$  by prąd  $I_C$  nie uległ zmianie, jeśli  $V_A = \infty$  lub  $V_A = 20 \text{ V}$ .

$$I_C = (I_S \exp \frac{V_{BE}}{V_T}) (1 + \frac{V_{CE}}{V_A})$$

$I_S$  zaawansuj jest stałe więc  
zauważam że  $I_S = 3 \cdot 10^{-13} \text{ mA}$

a.  $V_A = \infty$

$$I_C = (I_S \exp \frac{V_{BE}}{V_T}) (1 + \frac{2}{\infty}) \rightarrow 0$$

$$V_{BE} = V_T \ln \frac{I_C}{I_S} = 26 \text{ mV} \cdot \ln \frac{1 \text{ mA}}{3 \cdot 10^{-13} \text{ mA}} = 749,7 \text{ mV}$$

b.  $V_A = 20 \text{ V}$

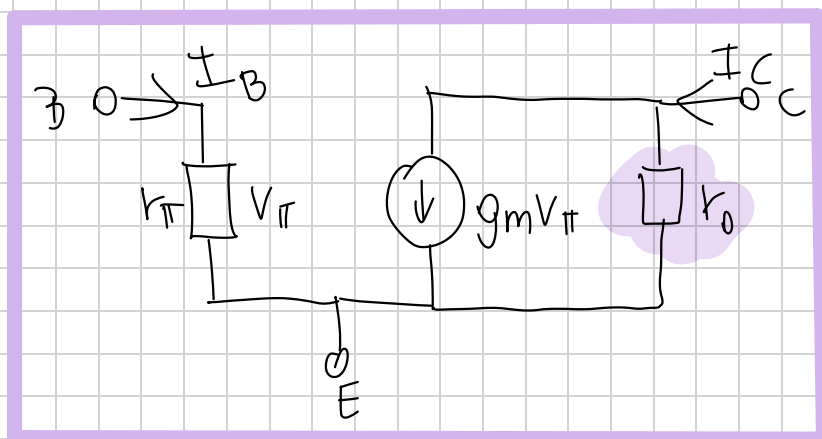
$$V_{BE} = V_T \ln \frac{I_C}{I_S (1 + \frac{V_{CE}}{V_A})} = 26 \text{ mV} \cdot \ln \frac{1 \text{ mA}}{3 \cdot 10^{-13} \text{ mA} \cdot \frac{22}{20}} =$$

$$= 747,2 \text{ mV}$$



### Zadanie nr 8:

Określ parametry małosygnałowe tranzystora bipolarnego jeśli  $I_C = 1 \text{ mA}$ ,  $\beta = 100$ ,  $V_A = 15 \text{ V}$ .  
Narysuj jego model małosygnałowy.



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 38,4 \frac{1}{\Omega}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{38,4 \frac{1}{\Omega}} = 2,6 \Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{15 \text{ V}}{0,001 \text{ A}} = 15 \text{ k}\Omega$$

$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1 \text{ mA}}{100} = 10 \mu\text{A}$$

### Zadanie nr 9:

W układzie jak na rysunku  $V_B = 1\text{ V}$  a  $V_E = 1.7\text{ V}$ .  
Wyznacz  $\alpha$  oraz  $\beta$  tranzystora oraz oblicz  $V_C$ .

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = \frac{8.3\text{ V}}{5000\Omega} = 1.66\text{ mA}$$

$$I_B = \frac{1\text{ V}}{100000\Omega} = 10\mu\text{A}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = I_E - I_B = 1.66\text{ mA} - 10\mu\text{A} = 1.65\text{ mA}$$

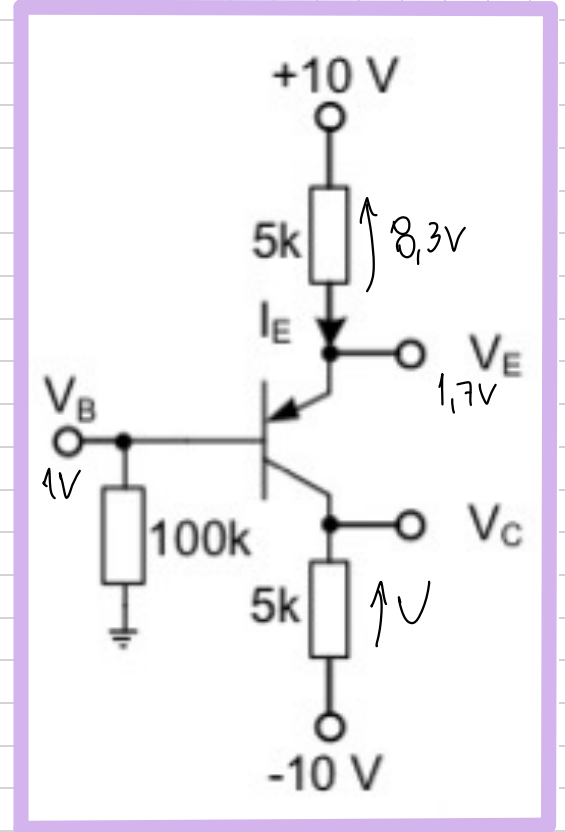
$$\alpha = \frac{1.65\text{ mA}}{1.66\text{ mA}} = 0.994$$

$$\beta = \frac{1.65\text{ mA}}{10\mu\text{A}} = 165$$

$$V = 1.65\text{ mA} \cdot 5000\Omega = 8.25\text{ V}$$

$$V + V_C = -10$$

$$V_C = -18.25\text{ V}$$



**Zadanie nr 10:**

W układzie jak na rysunku  $\beta = 100$  i dla  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$  dla  $I_C = 1 \text{ mA}$ . Zaprojektuj tak układ by  $I_C = 2 \text{ mA}$  oraz  $V_C = +5 \text{ V}$ .

$$\text{dla } V_C = 5 \text{ V}$$

$$R_C = \frac{15 - 5}{2 \text{ mA}} = 5000 \Omega = 5 \text{ k}\Omega$$

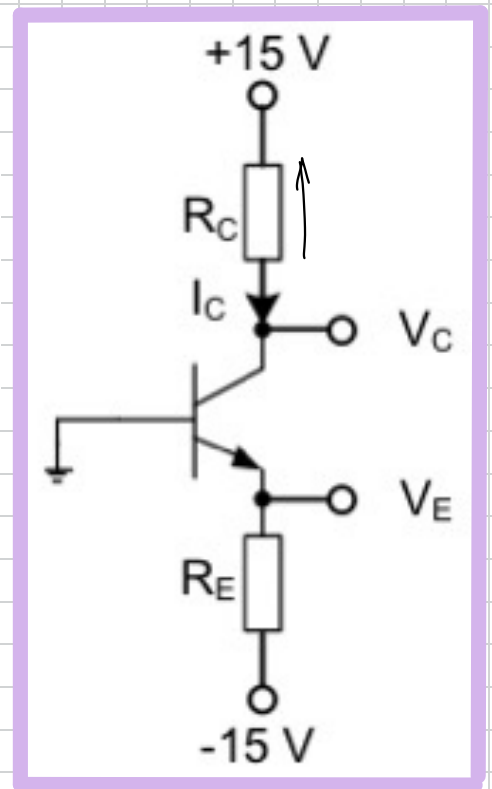
$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2 \text{ mA}}{100} = 2 \cdot 10^{-5} = 20 \mu\text{A}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_E = 2 \text{ mA} + 20 \mu\text{A} = 2.02 \text{ mA}$$

$$V_E = -0.7 \text{ V}$$

$$R_E = \frac{14.3 \text{ V}}{2.02 \text{ mA}} = 7.07 \text{ k}\Omega$$



**Zadanie nr 11:**

W układzie jak na rysunku  $\beta = 100$ ,  $R_C = 0.47 \text{ k}$ ,  $R_E = 3.3 \text{ k}$ .  
Wyznacz prądy tranzystora oraz napięcia  $V_C$  i  $V_E$ .

$$V_B = 4 \text{ V}$$

$$V_E = 3.3 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{13.3 \text{ V}}{3300 \Omega} = 4.03 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$\beta I_B = I_C$$

$$I_E = 100 I_B + I_B$$

$$101 I_B = 4.03 \text{ mA}$$

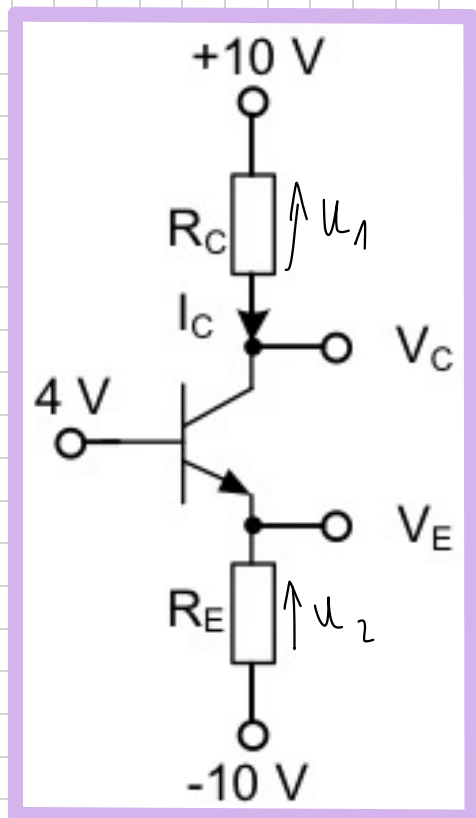
$$I_B = 39.9 \mu\text{A}$$

$$I_C = 3.99 \text{ mA}$$

$$U_1 = I_C \cdot R_C = 3.99 \text{ mA} \cdot 0.47 \text{ k}\Omega =$$

$$= 3.99 \text{ mA} \cdot 470 \Omega = 1.88 \text{ V}$$

$$V_C = 10 - 1.88 = 8.12 \text{ V}$$



**Zadanie nr 12:**

W układzie jak na rysunku  $\beta = 50$ . Wyznacz prądy tranzystora oraz napięcia  $V_C$  i  $V_E$ .

$$V_E = 5,3V$$

$$I_E = \frac{5,3V}{3300\Omega} = 1,61mA$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = \beta I_B + I_B$$

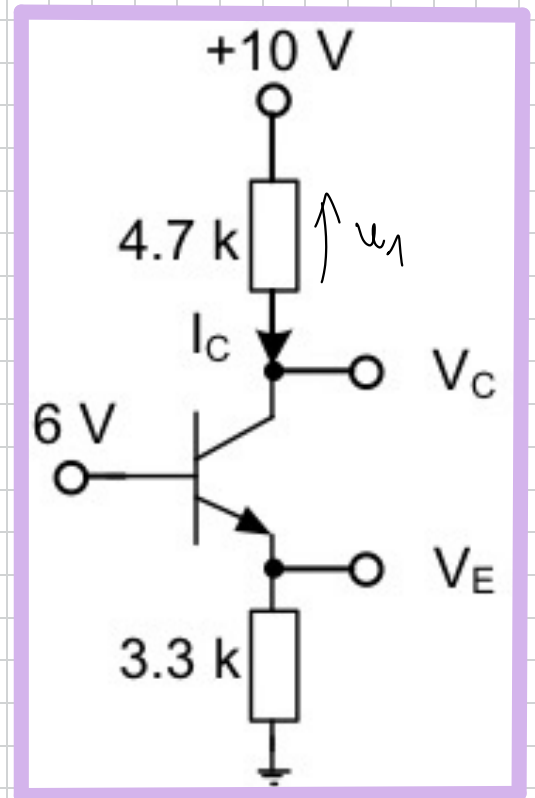
$$51 I_B = 1,61mA$$

$$I_B = 31,57\mu A$$

$$I_C = 1,58mA$$

$$U_1 = 1,58mA \cdot 4,7k = 1,58mA \cdot 4700\Omega = 7,43V$$

$$V_C = 2,57V$$



### Zadanie nr 13:

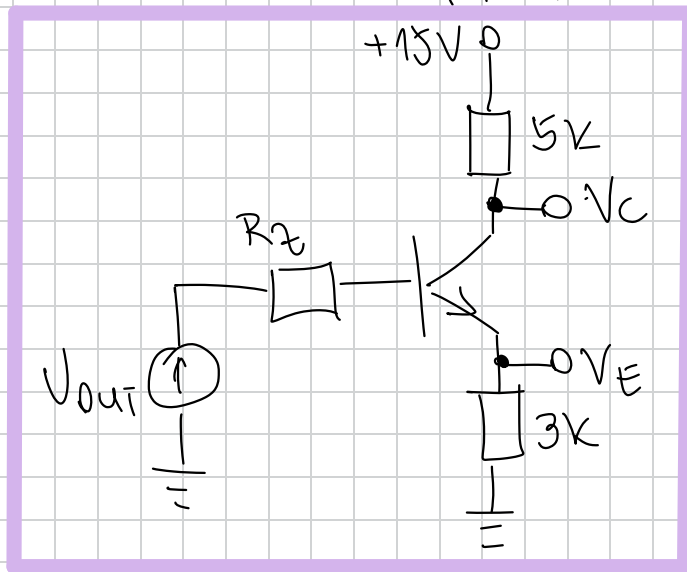
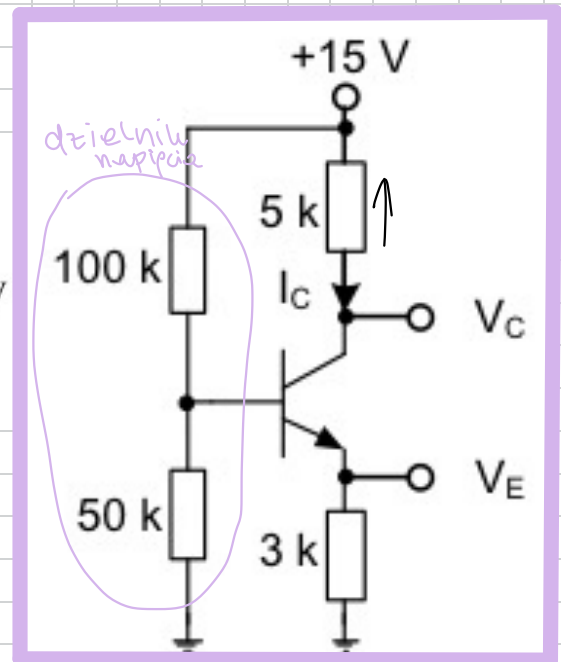
W układzie jak na rysunku  $\beta = 100$ . Wyznacz prądy tranzystora oraz napięcia  $V_C$  i  $V_E$ .

Dzielnik napięcia - z jednego napięcia wejściowego uzyskuje się kilka niższych napięć wyjściowych

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_{out} = 15V \cdot \frac{50k}{150k} = 5V$$

$$R_2 = \frac{50k \cdot 100k}{50k + 100k} = 33,33k\Omega$$



$$U_{out} = I_B R_E + V_{BE} + R_E I_E$$

$$I_C = I_B \beta$$

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{I_C}{\beta}$$

$$= \frac{(\beta + 1) I_C}{\beta} = \frac{(\beta + 1) \beta I_B}{\beta} =$$

$$= (\beta + 1) I_B$$

$$U_{out} = I_B R_E + V_{BE} + R_E (\beta + 1) I_B$$

$$I_B (R_E + \beta R_E + R_E) = U_{out} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{5 - 0,7}{33,33k + 300k + 3k} = \frac{4,3}{336330} = 12,78 \mu A$$

$$I_C = 1,28 \text{ mA} \rightarrow V_C = 9,6 \text{ V}$$

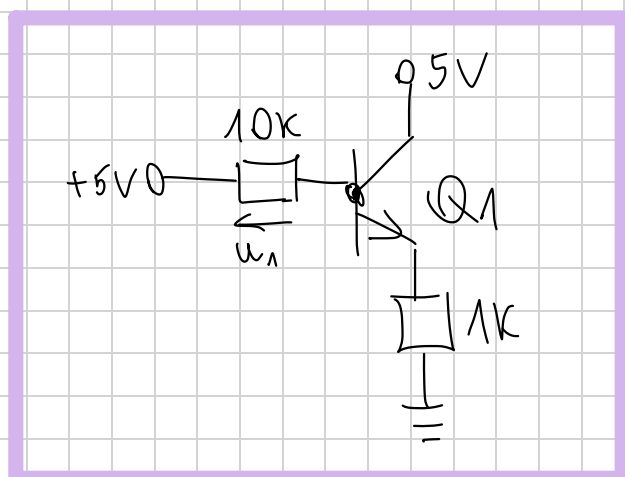
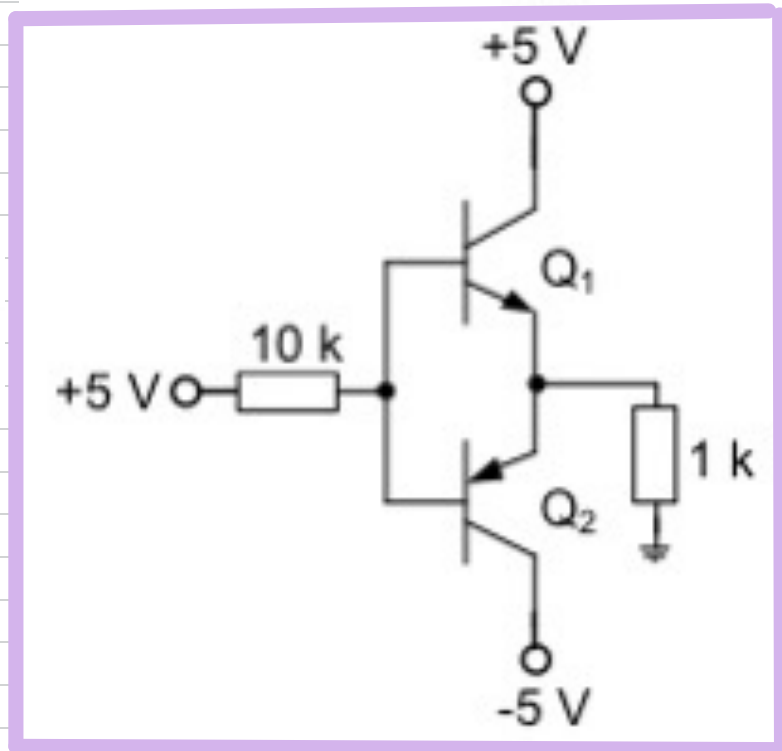
$$I_E = 1,28 \text{ mA} \rightarrow V_E = 3,87 \text{ V}$$

**Zadanie nr 14:**

W układzie jak na rysunku  $\beta = 100$ . Wyznacz prądy oraz napięcia występujące w obwodzie.

tranzystor  $Q_2$  się  
nie otworzy, napięcie  
bazy jest wyższe  
niż napięcie emitera

układ można przenysować:



**Zadanie nr 15:**

W układzie jak na rysunku  $\beta = 100$  oraz  $I_C = 1 \text{ mA}$ .  
Zaprojektuj tak układ by  $V_C = 2.3 \text{ V}$ . W jakim zakresie  
będzie mógł zmieniać się sygnał wyjściowy?

