

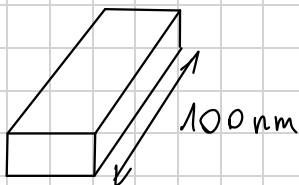
B1/210

konsultacje WT 12¹⁵-13⁰⁰

1 nieobecność nieusprawiedliwiona

$$N_A = 10^{16} / \text{cm}^3$$

$$n_i = 1,5 \cdot 10^{10} / \text{cm}^3$$



$$S = 10 \mu\text{m}^2$$

Si intrinsic $\mu_n = 1350 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$, $\mu_p = 480 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$

Si non-intrinsic $\mu_n = 1100 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$, $\mu_p = 400 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$

$$R = ?$$

$$\rho = \frac{1}{q(n\mu_n + p\mu_p)}$$

nukliowość - jak skutecznie nośniki się przemieszczają

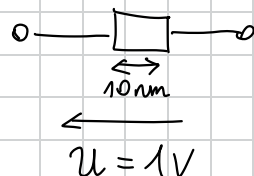
$$\rho = 2,28 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$$

$$\rho_{ni} = 1,56 \Omega \cdot \text{cm}$$

$$R_I = 22,8 \text{ M}\Omega$$

$$R_{NI} = 156 \Omega$$

$$t = ?$$



$$\mu_n = 1350 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

$$E = 1 \frac{\text{V}}{10 \text{ nm}} = 0,1 \cdot 10^9 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$V = E \cdot \mu_n = 13,5 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{s}}$$

$$t = 0,74 \text{ fs}$$

↳ nasycenie nośników

↳ depresja

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?

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

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

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

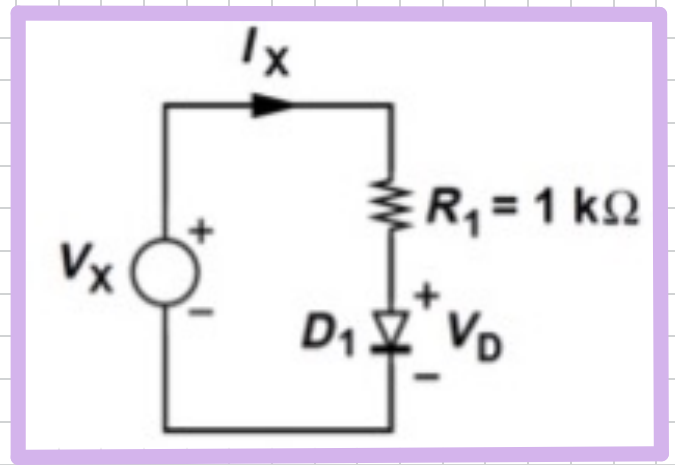
$$V_D = V_T \ln \frac{I_D}{I_S}$$

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

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

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 $I_X = 2.4\text{ mA}$

$$1\text{ k}\Omega \cdot 2.4\text{ mA} + 26\text{ mV} \cdot \ln \frac{2.4\text{ mA}}{10^{-16}\text{ A}} = 3.38\text{ V} > V_X = 3\text{ V}$$

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 $V_X = 3\text{ V}$

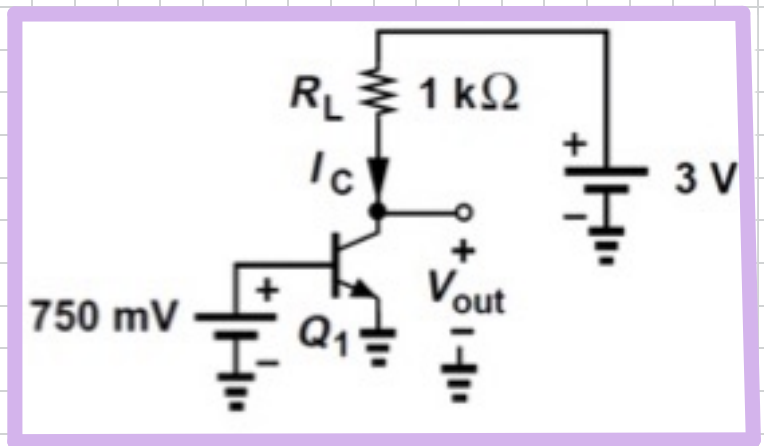
$$I_{X_1} = \frac{3 - 0.8}{1000}\text{ A} = 0.0022\text{ A} = 2.2\text{ mA}$$

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 $I_S = 5 \times 10^{-16} \text{ A}$.



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

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

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

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

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 $\beta = 200$

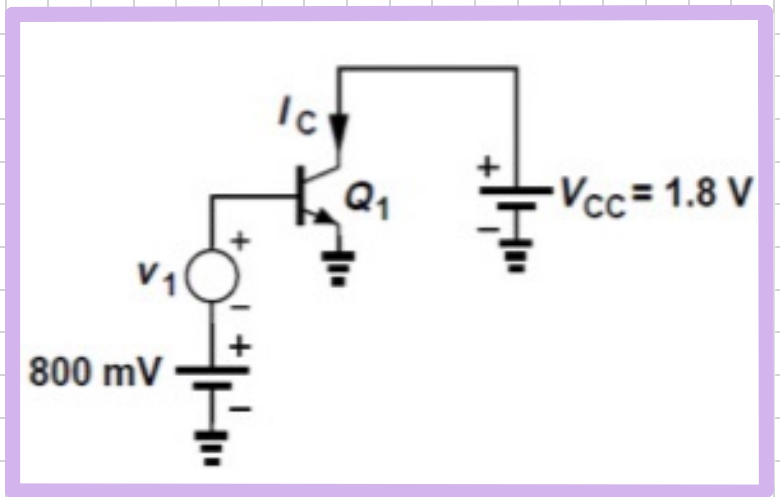
$$200 = \frac{1,69 \text{ mA}}{I_{B2}}$$

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

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

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.



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

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

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

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

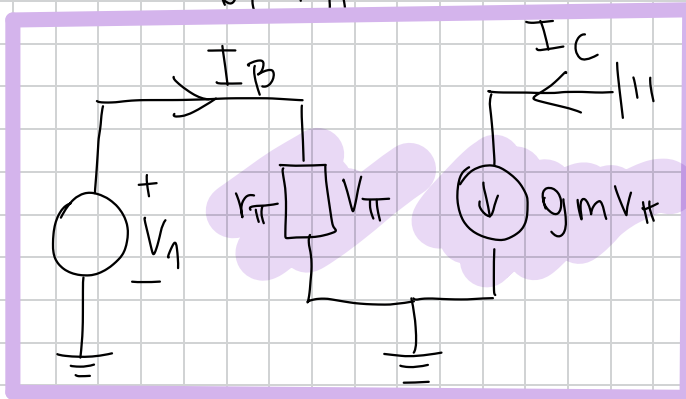
$$V_T = 26 \text{ mV}$$

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

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

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

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



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
zgodnie ze $I_S = 3 \cdot 10^{-13} \text{ mA}$

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.

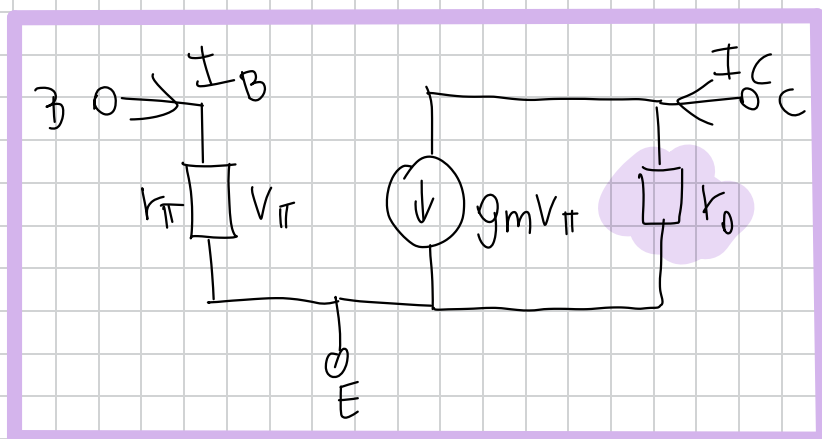
$$V_A = 20 \text{ V}$$

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

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

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 α oraz β tranzystora oraz oblicz V_C .

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

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

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

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

$$I_E = I_C + I_B$$

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

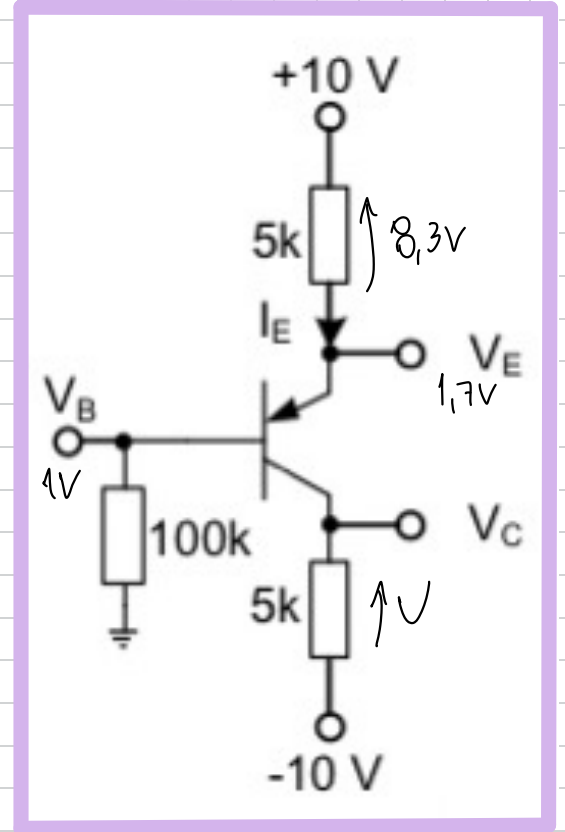
$$\alpha = \frac{1.65\text{ mA}}{1.66\text{ mA}} = 0.994$$

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

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

$$V + V_C = -10$$

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



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 $V_C = +5 \text{ V}$.

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

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

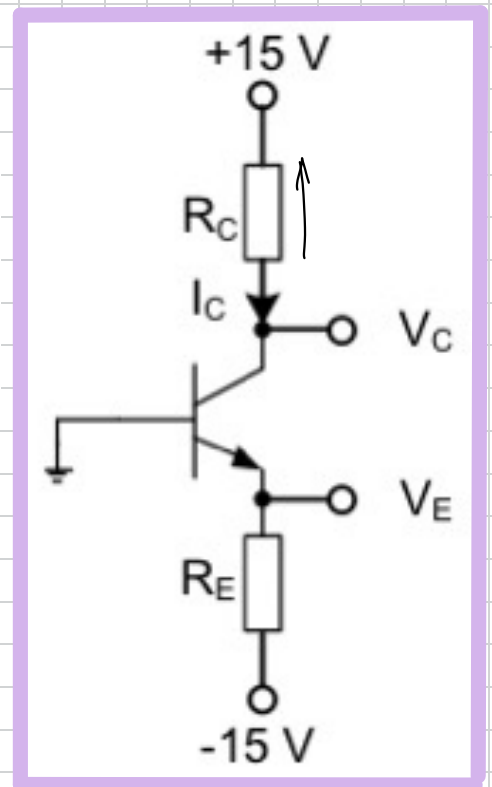
$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2 \text{ mA}}{100} = 2 \cdot 10^{-5} = 20 \mu\text{A}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

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

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

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



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 .

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

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

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

$$I_E = I_C + I_B$$

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

$$\beta I_B = I_C$$

$$I_E = 100 I_B + I_B$$

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

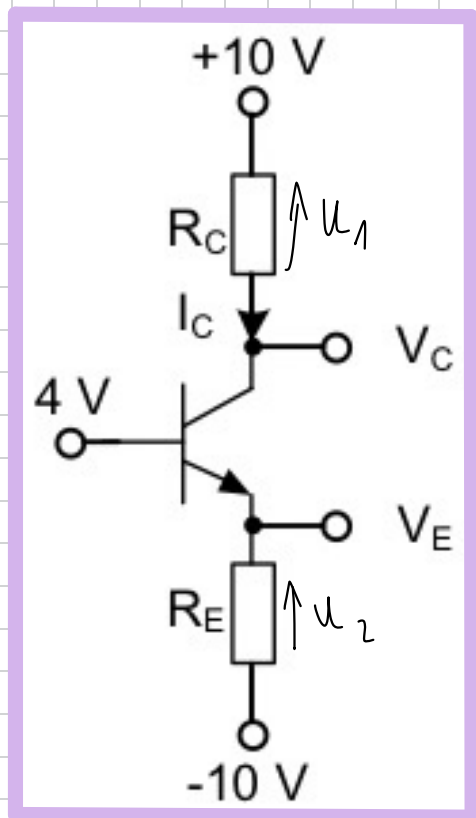
$$I_B = 39.9 \mu\text{A}$$

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

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

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

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



Zadanie nr 12:

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

$$V_E = 5,3V$$

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

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = \beta I_B + I_B$$

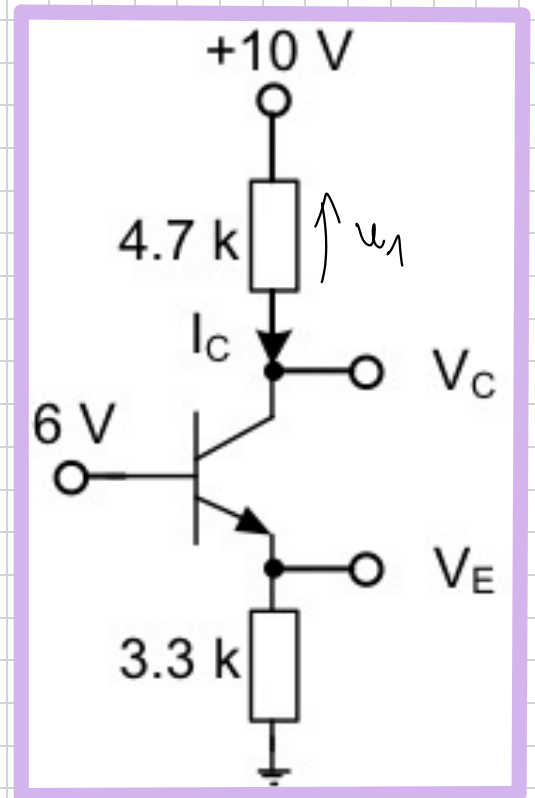
$$51 I_B = 1,61mA$$

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

$$I_C = 1,58mA$$

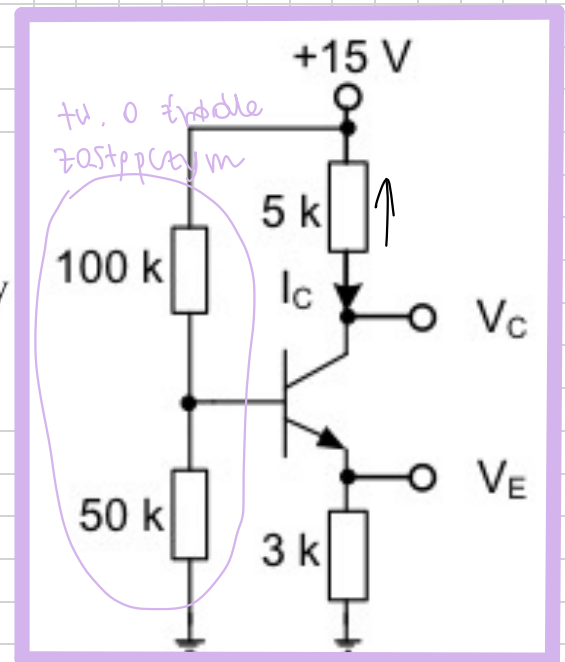
$$U_1 = 1,58mA \cdot 4,7k = 1,58mA \cdot 4700\Omega = 7,43V$$

$$V_C = 2,57V$$



Zadanie nr 13:

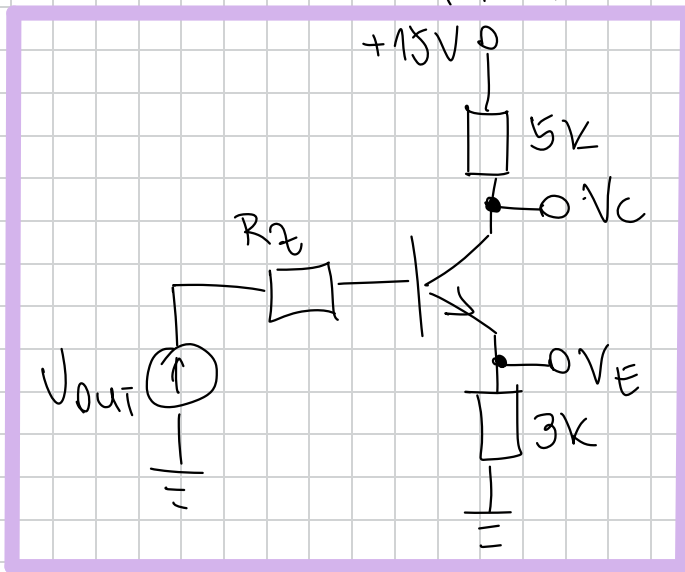
W układzie jak na rysunku $\beta = 100$. Wyznacz prądy tranzystora oraz napięcia V_C i V_E .



Tw. Thevenina - dowolny obwód można zastąpić obwodem równoważnym złożonym z szeregowo połączonym idealnego źródła napięcia $V_{Ther} = V_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ i impedancji zastępczej danego obwodu.

$$V_{Ther} = 15V \cdot \frac{50k}{150k} = 5V$$

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



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

$$I_C = I_B \beta$$

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

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

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

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

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

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

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

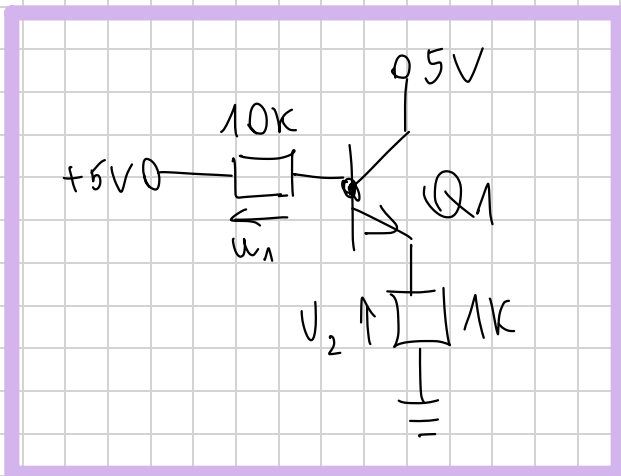
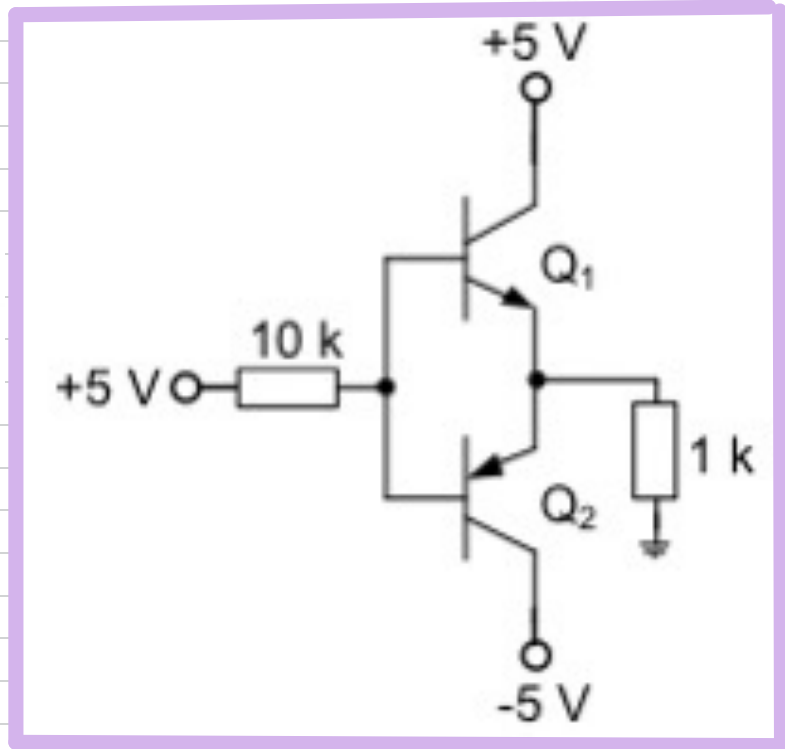
$$I_E = 1,28 \text{ mA} \rightarrow V_E = 3,87 \text{ V}$$

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 przenieść:



$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_E = 101 I_B$$

$$V_{BE} = 0,7V$$

$$V_C = +5V$$

$$5 - U_1 - U_2 - 0,7 = 0$$

$$4,3 = U_1 + U_2$$

$$4,3 = 10k \cdot I_B + 1k \cdot I_E$$

$$4,3 = 10k I_B + 1k \cdot 101 I_B$$

$$4,3 = 10000 I_B + 101000 I_B$$

$$4,3 = 111000 I_B$$

$$I_B = 38,74 \mu A$$

$$I_C = 3,874 mA$$

$$I_E = 3,91 mA$$

$$U_1 = 38,74 \mu A \cdot 10000 \Omega = 0,3874V$$

$$V_B = 5 - 0,3874V = 4,6V$$

$$V_E = 4,6V - 0,7V = 3,9V$$

$$V_C = 5V$$

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?

$$I_B = \frac{1 \text{ mA}}{100} = 10 \mu\text{A}$$

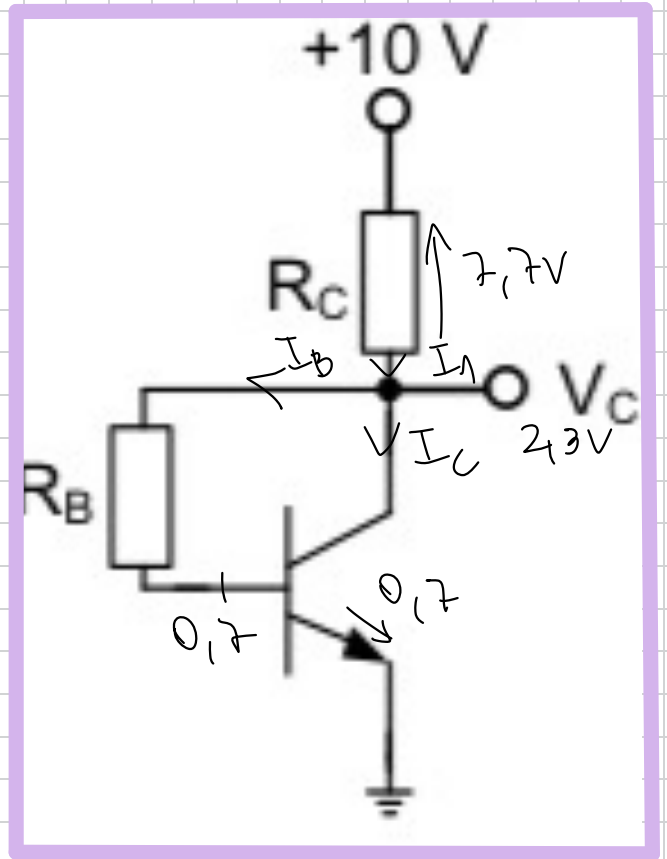
$$I_1 = I_B + I_C \quad (\text{PPK})$$

$$I_1 = 10 \mu\text{A} + 1 \text{ mA} = \\ = 1,01 \text{ mA} = I_E$$

$$R_C = \frac{7,7 \text{ V}}{1,01 \text{ mA}} \approx 7,6 \text{ k}\Omega$$

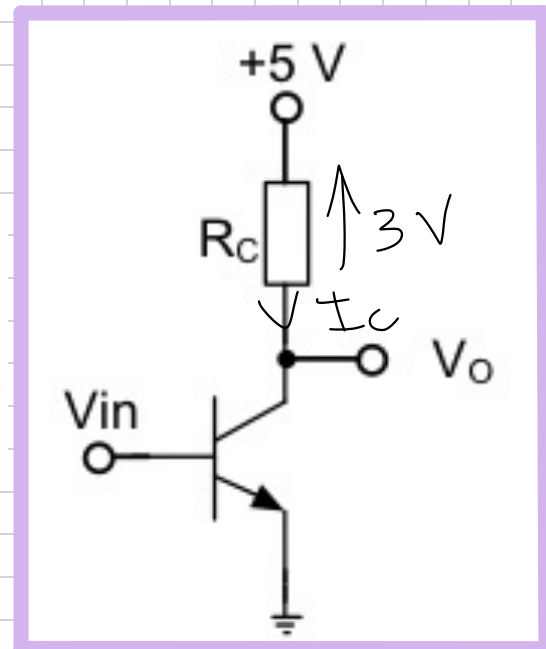
zakładając $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ najwyższy możliwy spadek na R_B wynosi $1,6 \text{ V}$

$$R_B = \frac{U}{I} = \frac{1,6 \text{ V}}{10 \mu\text{A}} = 160 \text{ k}\Omega - \text{max}$$

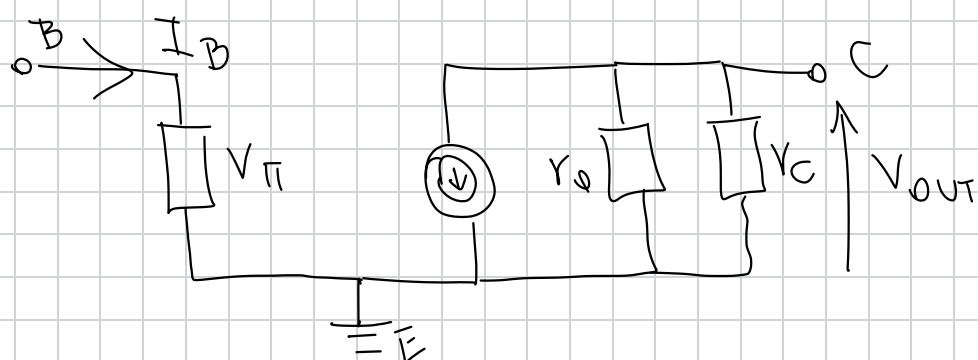


Zadanie nr 16:

Korzystając z modelu małego i wielosygnałowego oszacuj wzmacnienie układu jeśli $V_O = 2\text{ V}$, $R_C = 1\text{ k}\Omega$ a zmiana sygnału wejściowego V_{in} wynosi $\pm 5\text{ mV}$.



Wzmacniacz odwracający -
 V_{in} rośnie, V_{out} maleje



rezystancja i impedancja wejściowa

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_B} = \frac{\beta}{\beta I_B} = \beta \frac{V_T}{I_C}$$

$$K_V = \frac{r_{OUT}}{r_{in}}$$

$$V_{BE} = 0,7\text{ V} \Rightarrow V_B = 0,7\text{ V} = V_{\pi}$$

$$U_1 = I_C \cdot R_C$$

$$3 = 1\text{ k} \cdot I_C$$

$$I_C = 3\text{ mA}$$

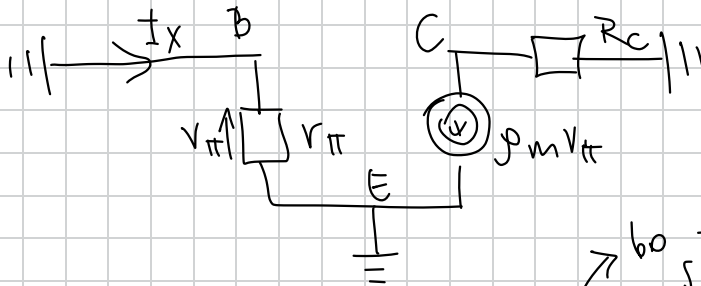
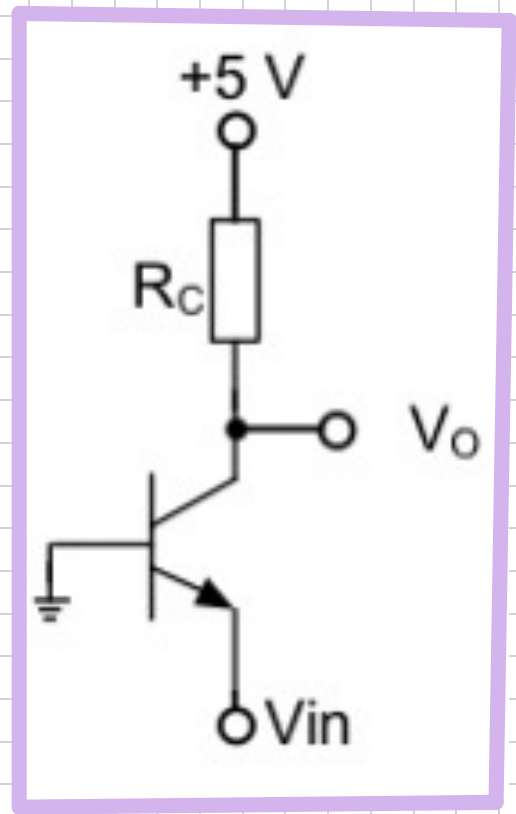
$$I_C = \beta I_B$$

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

$$I \frac{0,65\text{ V} \cdot \beta}{3\text{ mA}} = \beta \cdot 0,26\text{ mV}$$

Zadanie nr 17:

Oszacuj wzmocnienie napięciowe układu oraz rezystancję wejściową jeśli $\beta = 100$, $R_C = 7.5 \text{ k}\Omega$ oraz $I_C = 0.5 \text{ mA}$.



$$K_V = \frac{V_{O \text{ JT}}}{V_{IN}} = \frac{g_m v_{\pi} \cdot R_C}{-v_{\pi}}$$

bo to spada

$$K_V = \frac{0.5 \text{ mA} \cdot 7.5 \text{ k}\Omega}{26 \text{ mV}} = 144.2 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

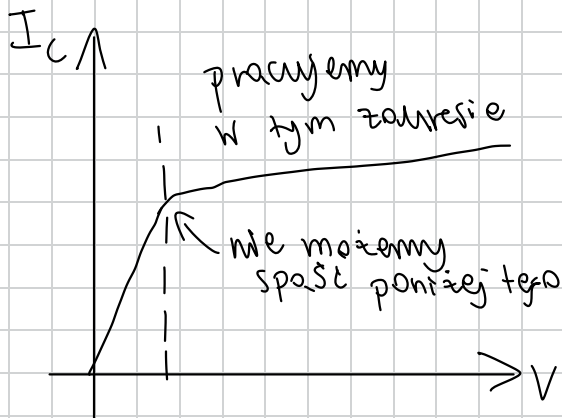
$$V_O = -g_m v_{\pi} \cdot R_C, \quad v_{\pi} = -V_{IN}$$

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}}$$

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} = \frac{v_{\pi}}{\frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} + g_m v_{\pi}} = \frac{1}{\frac{1}{r_{\pi}} + g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

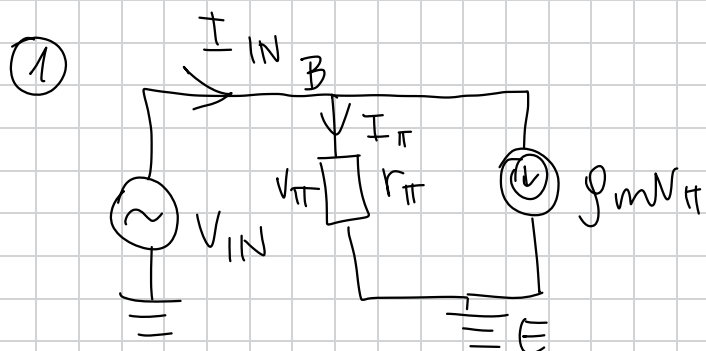
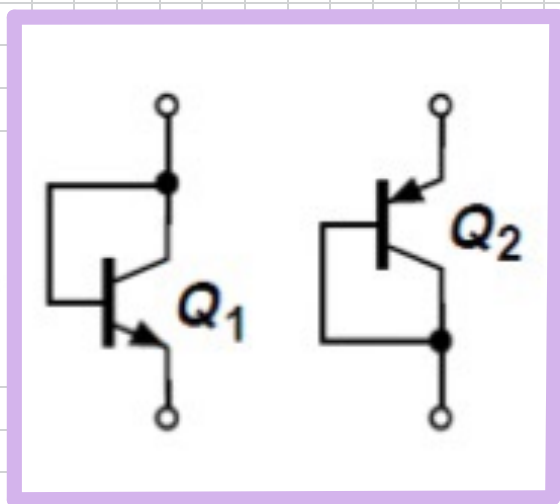
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.5 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0.02 \frac{1}{\Omega}$$

$$R_{IN} = 50 \Omega$$



Zadanie nr 18:

Określ wejściową małosygnałową rezystancję układu z rysunku obok oraz narysuj jego schemat małosygnałowy.



$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} = \frac{V_{BE}}{\beta_m V_{BE} + \frac{V_{BE}}{r_{\pi}}} = \frac{1}{g_m + \frac{1}{r_{\pi}}} = \frac{1}{g_m + \frac{\beta_m}{\beta}} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$I_N = \beta_m V_{BE} + \frac{V_{BE}}{r_{\pi}}$$

$$V_{IN} = V_{BE}$$