

1.  $A_v, A_i, G_m, R_m, R_i, R_o, = ?$

$$I_1 = 10 \mu\text{A};$$

$$R_C = 1 \text{ k}\Omega;$$

$$C \rightarrow \infty;$$

$$R_{E1} = 1 \text{ k}\Omega;$$

$$V_{CC} = 10 \text{ V};$$

$$V_T = 25 \text{ mV};$$

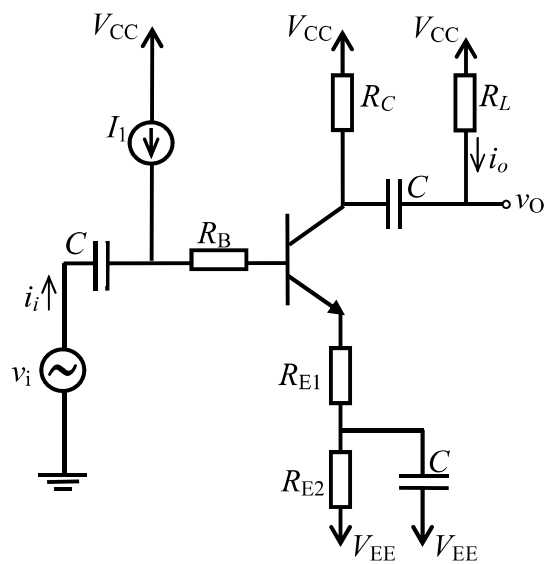
$$R_B = 10 \text{ k}\Omega;$$

$$\beta = 99;$$

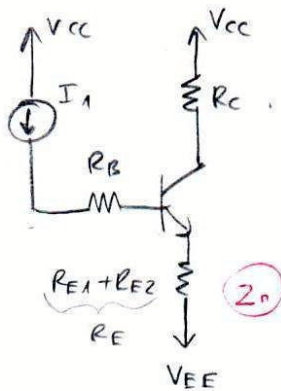
$$R_L = 1 \text{ k}\Omega;$$

$$R_{E2} = 5 \text{ k}\Omega;$$

$$V_{EE} = -10 \text{ V};$$



Решение (1):



$$I_B = I_1 = 10 \mu A \quad (2_n)$$

npetn.  $T \rightarrow NAP$

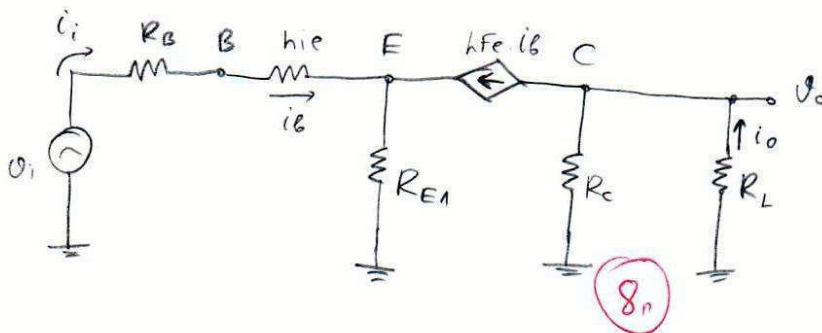
$$I_C = \beta I_B = 0,99 \text{ mA} \Rightarrow V_C = V_{CC} - R_C I_C = 9 \text{ V}$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B = 1 \text{ mA} \Rightarrow V_E = V_{EE} + R_E I_E = -4 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 13 \text{ V} > 0,2 \quad (\text{npetn. TOYHA})$$

$$h_{ie} = \frac{V_T}{I_B} = \frac{25 \text{ mV}}{10 \mu A} = 2,5 \text{ k}\Omega \quad (2_n)$$

Или можно 6n  
за  $h_{ie}$ , до с  
решено по  $R_{B1}$   
на 4n



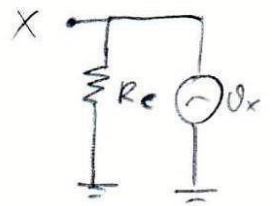
$$V_o = -h_{fe} \cdot i_b \cdot (R_C \parallel R_L)$$

$$V_i = (R_B + h_{ie}) i_b + R_E (1 + h_{fe}) i_b$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{h_{fe} (R_C \parallel R_L)}{R_B + h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E} = -0,44 \quad \frac{V}{V} \quad (3_n)$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_b} = R_B + h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E = 112,5 \text{ k}\Omega \quad (2_n)$$

$$R_o = \frac{V_x}{i_x} \Big|_{V_i=0} = \left\{ \begin{array}{l} A_{vo} \quad V_i = 0 \\ \text{Тогда } i_b = 0 \\ \text{и } h_{fe} \cdot i_b = 0 \end{array} \right\} = R_C = 1 \text{ k}\Omega \quad (3_n)$$



$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-V_o}{V_i} \cdot \frac{R_i}{R_L} = 49,5 \quad \frac{A}{A} \quad (1_n)$$

$$G_m = \frac{i_o}{V_i} = \frac{-V_o}{V_i} \cdot \frac{1}{R_L} = \frac{-A_v}{R_L} = 4,4 \cdot 10^{-4} \quad \frac{A}{V} \quad (1_n)$$

$$R_m = \frac{V_o}{i_i} = \frac{V_o}{V_i / R_i} = A_v \cdot R_i = -4,95 \cdot 10^4 \quad \frac{V}{A} \quad (1_n)$$

$$\Sigma = 25_n$$

1.  $A_v$ ,  $R_i$ ,  $R_o$  = ?

Познато е:

$C \rightarrow \infty$

$h_{ie1} = 1,2 \text{ k}\Omega$ ;

$h_{fe1} = \beta_1 = 104$ ;

$R_{B1} = R_{B2} = 47 \text{ k}\Omega$ ;

$R_{E1} = 2,2 \text{ k}\Omega$ ;

$R_{C1} = 1 \text{ k}\Omega$ ;

$h_{ie2} = 1 \text{ k}\Omega$ ;

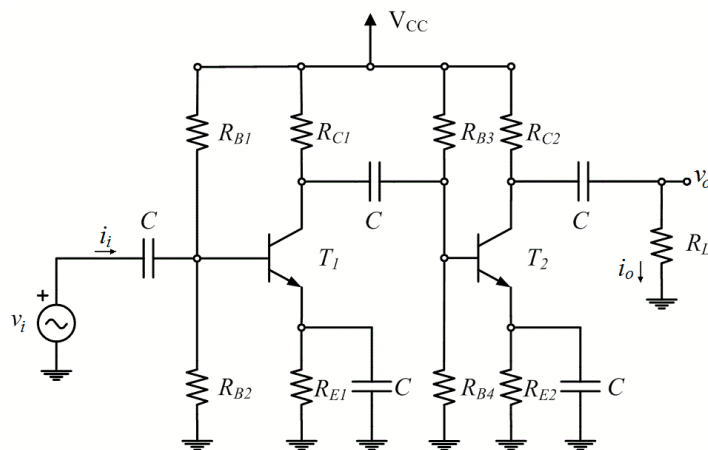
$h_{fe2} = \beta_2 = 89$ ;

$R_{B3} = R_{B4} = 100 \text{ k}\Omega$ ;

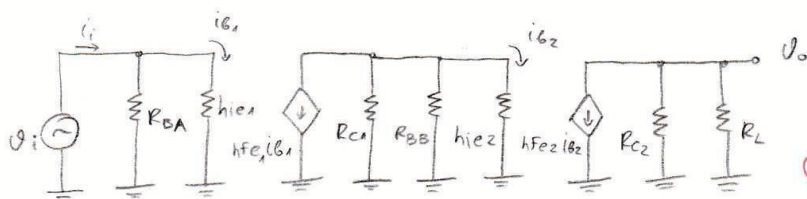
$R_{E2} = 1,8 \text{ k}\Omega$ ;

$R_{C2} = R_L = 2 \text{ k}\Omega$ ;

(Бонус 12п.:  $A_i$ ,  $G_m$ ,  $R_m$ ,  $V_{CC}$  = ?)



Решение:



$$R_{BA} = R_{B1} \parallel R_{B2} = 23 \text{ k}\Omega$$

$$R_{BB} = R_{B3} \parallel R_{B4} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-h_{fe2} i_{b2} \cdot (R_{C2} \parallel R_L)}{h_{ie1} i_{b1}} = \frac{-h_{fe2} (R_{C2} \parallel R_L) \left( -h_{fe1} i_{b1} \cdot \frac{R_{C1} \parallel R_{BB}}{R_{C1} \parallel R_{BB} + h_{ie2}} \right)}{h_{ie1} i_{b1}}$$

$$A_v = \frac{h_{fe1} h_{fe2}}{h_{ie1}} \cdot (R_{C2} \parallel R_L) \cdot \frac{R_{C1} \parallel R_{BB}}{R_{C1} \parallel R_{BB} + h_{ie2}} = 3818$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_{BA} \parallel h_{ie1} = 1142 \Omega$$

$$R_o = \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_i=0} = \left\{ \begin{array}{l} A_{vo} \quad v_i=0, \text{ Torad} \\ h_{fe1} i_{b1} = 0 \\ h_{fe2} i_{b2} = 0 \end{array} \right\} = R_{C2} = 2 \text{ k}\Omega$$

Бонус:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{v_o/R_L}{v_i/R_i} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_L} = 2180$$

$$G_m = \frac{i_o}{v_i} = \frac{A_v}{R_L} = 1,909 \text{ S}$$

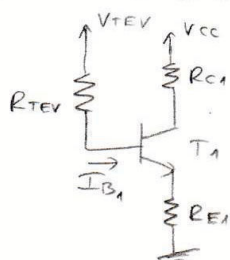
$$R_m = \frac{v_o}{i_i} = A_v \cdot R_i = 4,36 \text{ M}\Omega$$

→ За  $V_{CC}$ , може да се нацрта шемата за стат. режим за било кој од транзисторите.

→ Го одбурваме  $T_1$ :

$$V_{TEV} = \frac{V_{CC}}{2}$$

$$R_{TEV} = R_{B1} \parallel R_{B2} = 23 \text{ k}\Omega$$



$$I_{B1} = \frac{V_T}{h_{ie1}} = \frac{25 \text{ mV}}{1 \text{ k}\Omega} = 20,83 \mu\text{A}$$

$$V_{TEV} = R_{TEV} \cdot I_{B1} + V_{BEON} + R_{E1} \cdot (1 + \beta_1) I_{B1} = 6 \text{ V}$$

$$V_{CC} = 2 \cdot V_{TEV} = 12 \text{ V}$$

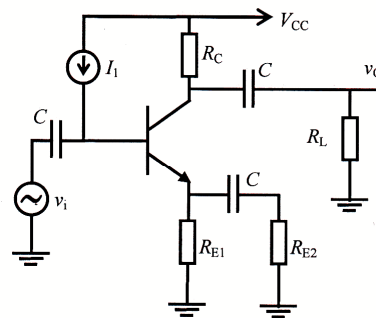
ПРОВЕРКА НАР:

$$\left. \begin{array}{l} V_{C1} = V_{CC} - R_{C1} \cdot I_{B1} \cdot \beta_1 = 9,83 \text{ V} \\ V_{E1} = R_{E1} \cdot I_{B1} (1 + \beta_1) = 4,81 \text{ V} \end{array} \right\} V_{CE1} > 0,2 \text{ V} \quad T$$

1. Употребувајќи го алгоритмот за анализа на засилувачи во режим на мали сигнали, за засилувачот прикажан на сликата да се определат напонското засилување  $A_v$ , влезната отпорност  $R_i$  и излезната отпорност  $R_o$ .

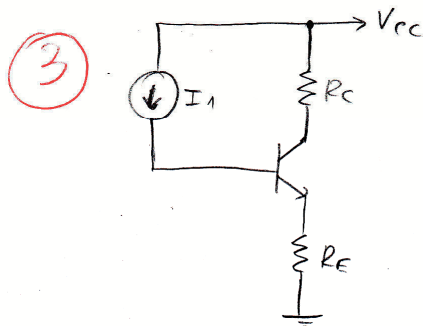
Познато е:

$$\begin{aligned} V_{CC} &= 12 \text{ V}; & \beta &= 100; & V_T &= 25 \text{ mV} \\ V_{BE,ON} &= 0,7 \text{ V}; & V_{CE,SAT} &= 0,2 \text{ V}; \\ R_{E1} &= 1 \text{ k}\Omega; & R_{E2} &= 10 \text{ }\Omega; & R_C &= R_L = 4 \text{ k}\Omega; \\ I_1 &= 10 \text{ }\mu\text{A}; & C &\rightarrow \infty \end{aligned}$$



Решение:

Чекор 1: Којо за статички режим



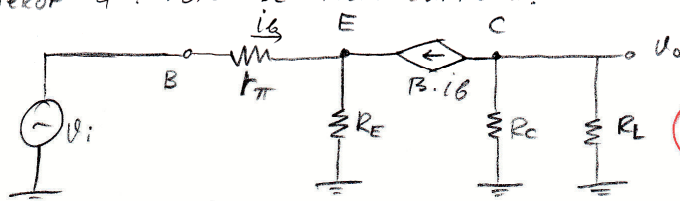
Чекор 2:  $I_B, I_C, V_{CE} = ?$

$$\begin{aligned} I_1 &= I_B = 10 \text{ }\mu\text{A} \\ I_C &= \beta \cdot I_B = 1 \text{ mA} \\ I_E &= (1 + \beta) I_B = 1,01 \text{ mA} \\ V_C &= V_{CC} - R_C I_C = 8 \text{ V} \\ V_E &= R_{E1} \cdot I_E = 1 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 7 \text{ V} \Rightarrow T \rightarrow \text{NAP}$$

Чекор 3: Динамички параметри на  $T$ :  $r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = 2,5 \text{ k}\Omega$

Чекор 4: Којо за мач сигнали:



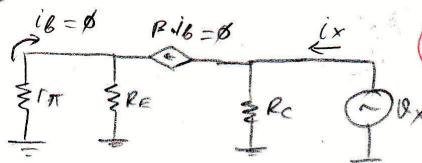
$$R_E = R_{E1} \parallel R_{E2}$$

Чекор 5: Анализа на којото

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-\beta \cdot i_b \cdot (R_C \parallel R_L)}{r_\pi \cdot i_b + R_E \cdot (1 + \beta) i_b} = -\frac{\beta \cdot (R_C \parallel R_L)}{r_\pi + R_E (1 + \beta)} = -57 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{v_i}{i_b} = \frac{r_\pi i_b + R_E (1 + \beta) i_b}{i_b} = r_\pi + R_E (1 + \beta) = 3,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_i=0} = R_C = 4 \text{ k}\Omega$$



3. Употребувајќи го алгоритмот за анализа на засилувачи, за засилувачот прикажан на сликата да се определат:

а) трансрезистивноста  $R_m = v_o / i_i$ .

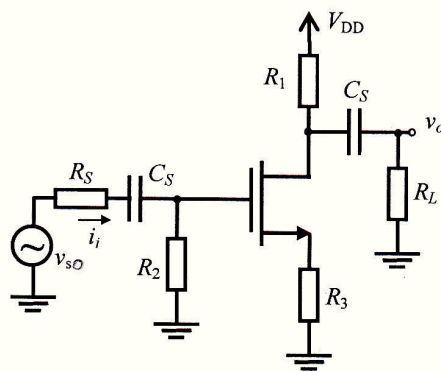
б) влезната отпорност  $R_i = v_s / i_i$ .

в) излезната отпорност  $R_o = v_x / i_x$ . (според дефиницијата)

$$R_1 = R_L = 5 \text{ k}\Omega; \quad R_S = 1 \text{ k}\Omega; \quad R_2 = 100 \text{ k}\Omega;$$

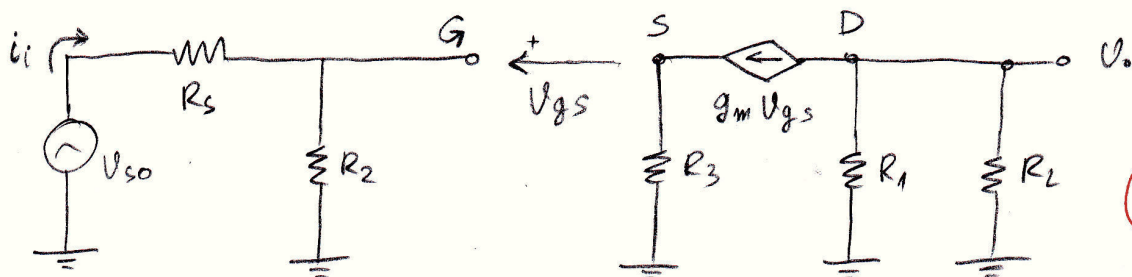
$$C_S, r_d \rightarrow \infty; \quad g_m = 4 \text{ mA/V}; \quad R_3 = 2,25 \text{ k}\Omega;$$

Помош: алгоритмот не мора да се работи целосно, бидејќи динамичките параметри на мосфетот  $g_m$  и  $r_d$  се познати, па некои чекори од алгоритмот можат да бидат изоставени.



Решение: ТРГНУВАМЕ ВОДНЕШИ ОД ЧЕКОР 4

КОЛО ЗА МАЛИ СИГНАЛИ:



5

$$д) \quad R_m = \frac{v_o}{i_i} = - \frac{g_m v_{gs} (R_1 \parallel R_L)}{\frac{1 + R_3 g_m}{R_2} \cdot v_{gs}} = - \frac{g_m R_2 (R_1 \parallel R_L)}{1 + R_3 g_m} = \boxed{-100 \text{ k}\Omega}$$

$$v_o = -g_m v_{gs} \cdot (R_1 \parallel R_L)$$

$$v_{so} = i_i \cdot (R_S + R_2)$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_{so} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_S} - R_3 \cdot g_m \cdot v_{gs}$$

$$v_{gs} = \frac{v_{so} \frac{R_2}{R_2 + R_S}}{1 + R_3 \cdot g_m} = \frac{i_i \cdot (R_S + R_2) \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_S}}{1 + R_3 g_m}$$

$$v_{gs} = \frac{R_2}{1 + R_3 g_m} \cdot i_i \Rightarrow i_i = \frac{1 + R_3 g_m}{R_2} \cdot v_{gs}$$

6

$$б) \quad R_i = \frac{v_s}{i_i} = \frac{i_i \cdot (R_S + R_2)}{i_i} = R_S + R_2 = \boxed{101 \text{ k}\Omega}$$

2

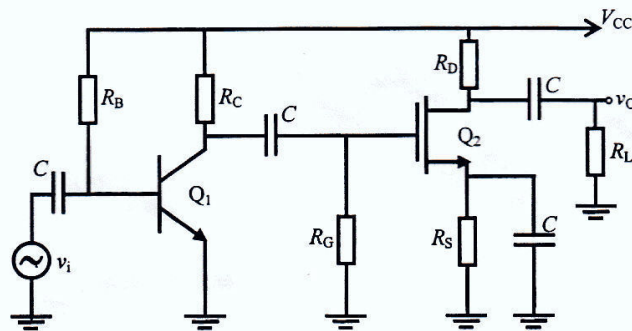
$$в) \quad R_o = \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_{so} = 0} = R_1 = \boxed{5 \text{ k}\Omega}$$

2

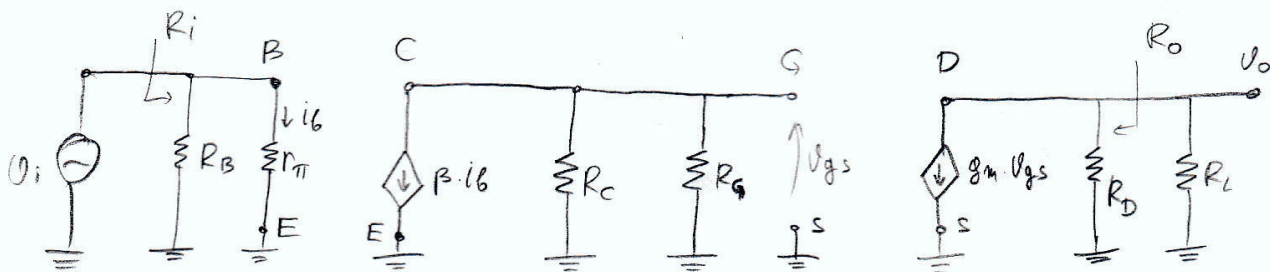


3. Употребувајќи го алгоритмот за анализа на засилувачи во режим на мали сигнали, за засилувачот прикажан на сликата да се определат напонското засилување  $A_v$ , влезната отпорност  $R_i$  и излезната отпорност  $R_o$ .

$R_G = R_C = 20 \text{ k}\Omega$ ;  $R_S = R_D = R_L = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $R_B = 2 \text{ k}\Omega$ ;  $C \rightarrow \infty$   
 За  $Q_1$ :  $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$ ;  $\beta = 100$ ; За  $Q_2$ :  $g_m = 2 \text{ mA/V}$ ;  $r_d = \infty$ ;



Решение :



$$R_i = R_B \parallel r_\pi = 1 \text{ k}\Omega$$

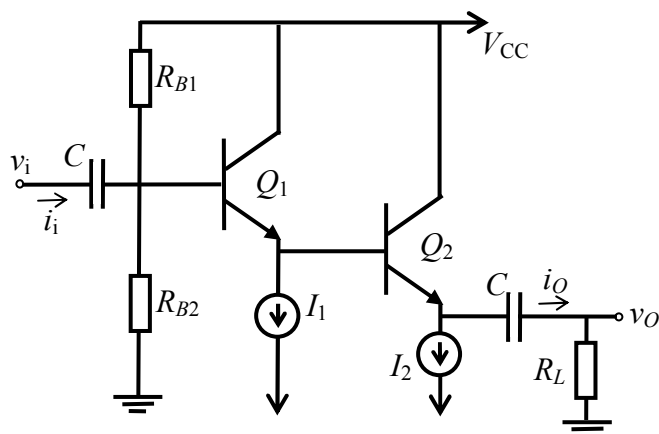
$$R_o = R_D = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m \cdot v_{gs} \cdot (R_D \parallel R_L)}{r_\pi \cdot i_b} = \frac{-g_m (R_D \parallel R_L) [-\beta \cdot i_b \cdot (R_C \parallel R_G)]}{r_\pi \cdot i_b}$$

$$A_v = \frac{g_m (R_D \parallel R_L) \cdot \beta \cdot (R_C \parallel R_G)}{r_\pi} = \frac{2 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot 0.5 \text{ k}\Omega \cdot 100 \cdot 10 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega}$$

$$A_v = 500$$

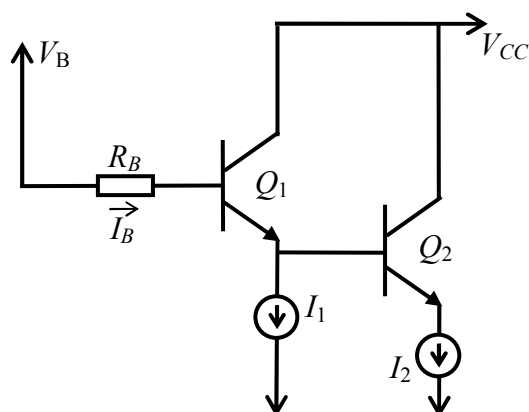
3. Во колото на сликата да се одредат напонското засилување  $A_v$ , струјното засилување  $A_i$ , влезната отпорност  $R_i$  и излезната отпорност  $R_o$ .



$$\begin{aligned} V_{CC} &= 9 \text{ V} & C &\rightarrow \infty \\ V_{BE,ON} &= 0,7 \text{ V} & V_{CE,SAT} &= 0,2 \text{ V} \\ R_{B1} &= R_{B2} = 1 \text{ M}\Omega & R_L &= 1 \text{ k}\Omega \\ \beta_1 &= 20 & \beta_2 &= 200 \\ I_1 &= 20 \text{ }\mu\text{A} & I_2 &= 2 \text{ mA} \\ V_T &= 25 \text{ mV} \end{aligned}$$

**Решение:**

Шема за еднонасочен режим:



По употреба на теорема на Тевенена:

$$\begin{aligned} V_B &= \frac{V_{CC}}{2} = 4,5 \text{ V} \\ R_B &= R_{B1} \parallel R_{B2} = 500 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Одредување на работните точки ( $I_{BQ}$ ,  $I_{CQ}$ ,  $V_{CEQ}$ ):

Претпоставката е дека транзисторите се наоѓаат во НАР подрачјето на работа.

$$I_{E2} = 2 \text{ mA} \Rightarrow I_{B2} = \frac{I_{E2}}{1 + \beta_2} = 9,95 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{E1} = I_1 + I_{B2} = 29,95 \text{ }\mu\text{A} \Rightarrow I_{B1} = \frac{I_{E1}}{1 + \beta_1} = 1,43 \text{ }\mu\text{A}$$

$$V_{B1} = V_B - R_B I_{B1} = 3,785 \text{ V}$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE,ON} = 3,085 \text{ V}$$

$$V_{E2} = V_{E1} - V_{BE,ON} = 2,385 \text{ V}$$

$$V_{C1} = V_{C21} = V_{CC} = 9 \text{ V}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 5,915 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 6,615 \text{ V}$$

$$\Rightarrow Q_1 \rightarrow \text{NAP}$$

$$\Rightarrow Q_2 \rightarrow \text{NAP}$$

Претпоставката е точна!

Одредување на динамичките параметри на транзисторот ( $h_{ie}$ ,  $h_{fe}$ ,  $h_{re}$ ,  $h_{oe}$ ) :

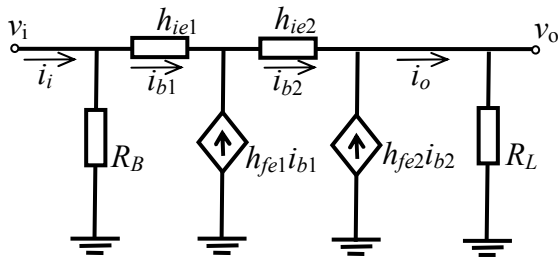
хибриден-h модел на транзисторот:

$$h_{ie1} = \frac{V_T}{I_{B1}} = 17,5 \text{ k}\Omega \quad h_{ie2} = \frac{V_T}{I_{B2}} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

$$h_{fe1} = \beta_1 = 20 \quad h_{fe2} = \beta_2 = 200$$

$$h_{re} \approx 0 \quad h_{oe} \approx 0$$

Цртање на еквивалентна шема на засилувачот за мали сигнали :



Анализа на засилувачот, и одредување на бараните параметри : (Се бара  $A_v$ ,  $A_i$ ,  $R_i$ ,  $R_o$ )

$$v_o = R_L (1 + h_{fe2}) i_{b2} = R_L (1 + h_{fe2}) (1 + h_{fe1}) i_{b1}$$

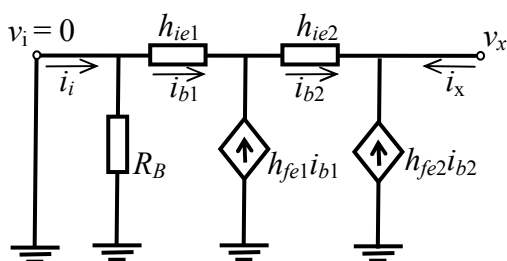
$$v_i = h_{ie1} i_{b1} + h_{ie2} i_{b2} + R_L i_o = h_{ie1} i_{b1} + h_{ie2} (1 + h_{fe1}) i_{b1} + R_L (1 + h_{fe1}) (1 + h_{fe2}) i_{b1}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_L (1 + h_{fe2}) (1 + h_{fe1})}{h_{ie1} + h_{ie2} (1 + h_{fe1}) + R_L (1 + h_{fe1}) (1 + h_{fe2})} = 0,98 \approx 1$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_B \parallel \frac{v_i}{i_{b1}} = R_B \parallel [h_{ie1} + h_{ie2} (1 + h_{fe1}) + R_L (1 + h_{fe1}) (1 + h_{fe2})] = 448 \text{ k}\Omega$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{R_i}{R_L} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_L} \approx 448$$

За наоѓање на излезната отпорност, го исклучуваме генераторот  $v_i$ , го отстрануваме отпорникот  $R_L$ , и на негово место додаваме фиктивен генератор  $v_x$ , низ кој тече струја  $i_x$ .



$$R_o = \left. \frac{v_x}{i_x} \right|_{v_i=0} = \frac{-h_{ie1} i_{b1} - h_{ie2} i_{b2}}{-(1 + h_{fe2}) i_{b2}}$$

$$R_o = \frac{h_{ie1} i_{b1} + h_{ie2} (1 + h_{fe1}) i_{b1}}{(1 + h_{fe2}) (1 + h_{fe1}) i_{b1}}$$

$$R_o = \frac{h_{ie1} + h_{ie2} (1 + h_{fe1})}{(1 + h_{fe2}) (1 + h_{fe1})} = 16,6 \Omega$$

Добиените резултати се во рамките на очекувањата за засилувач во спој со **заеднички колектор**: **мало напонско** и **големо струјно** засилување, **голема влезна** и **мала излезна** отпорност. Ваков засилувач се вика уште и напонско следило.