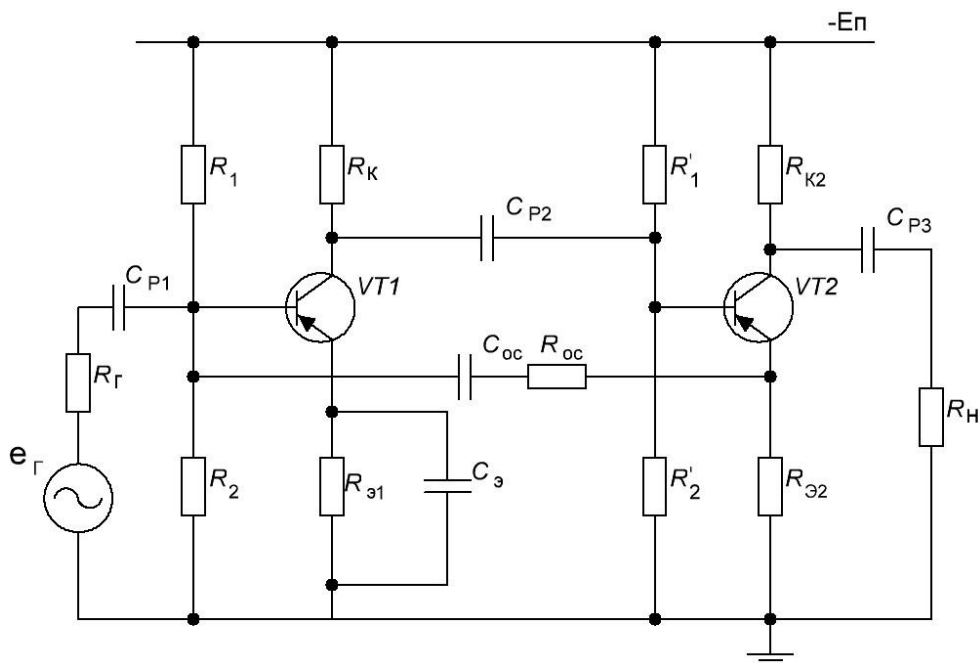


Практическое занятие №11

РАСЧЕТ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ В УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДАХ

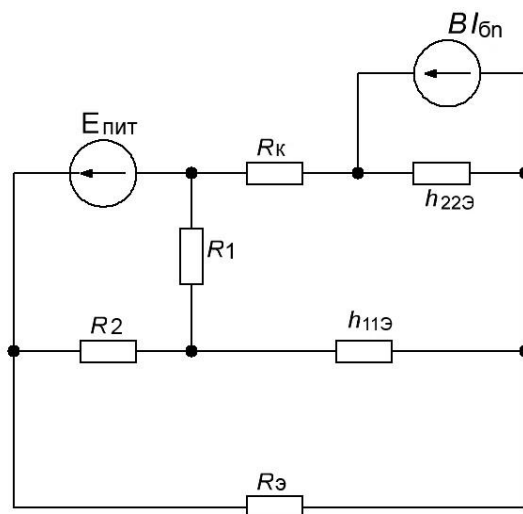
Расчёт обратной связи по току.



$$h_{11Э} = (\beta + 1) h_{11Б}, \text{ (} h \text{ параметры из справочника)}$$

Расчет 1-го каскада по постоянному току.

Решаем по МКТ



$$I_{11}(R_1 + R_2) + I_{22} R_1 + I_{33} R_2 = E_{\text{пит}}$$

$$I_{11} R_1 + I_{22}(R_1 + R_{K1} + h_{11Э} 1/h_{22Э}) - I_{33} h_{11Э} = -(I_{22} - I_{33}) \beta \times 1/h_{22Э}$$

$$I_{11} R_2 + I_{22} h_{11Э} - I_{33}(R_{Э1} + R_2 + h_{11Э}) = 0$$

где $I_{22} - I_{33} = I_{бП}$

$$I_{бП} = I_{22} - I_{33}$$

$$I_{ЭП} = -I_{33}$$

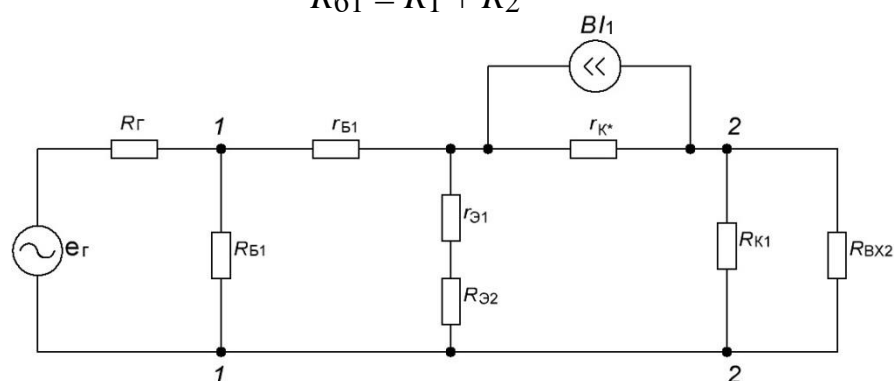
$$I_{кП} = -I_{22}$$

$$U_{кЭП} = (I_{кП} - \beta I_{бП}) \times 1/h_{22Э}$$

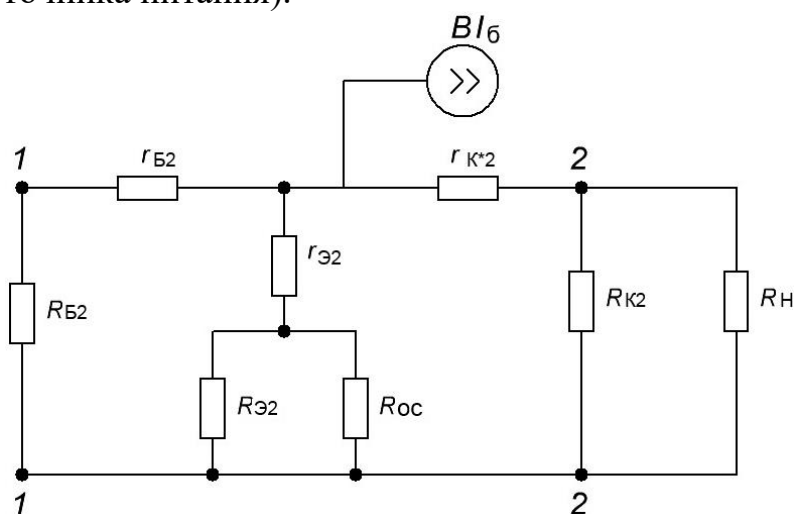
Расчет по переменному току для этого же каскада (с учетом пассивных элементов обратной связи). Рисуем эквивалентную схему транзистора в физических параметрах.

$$R'_{oc} = R'_{oc} + R_{Э2}$$

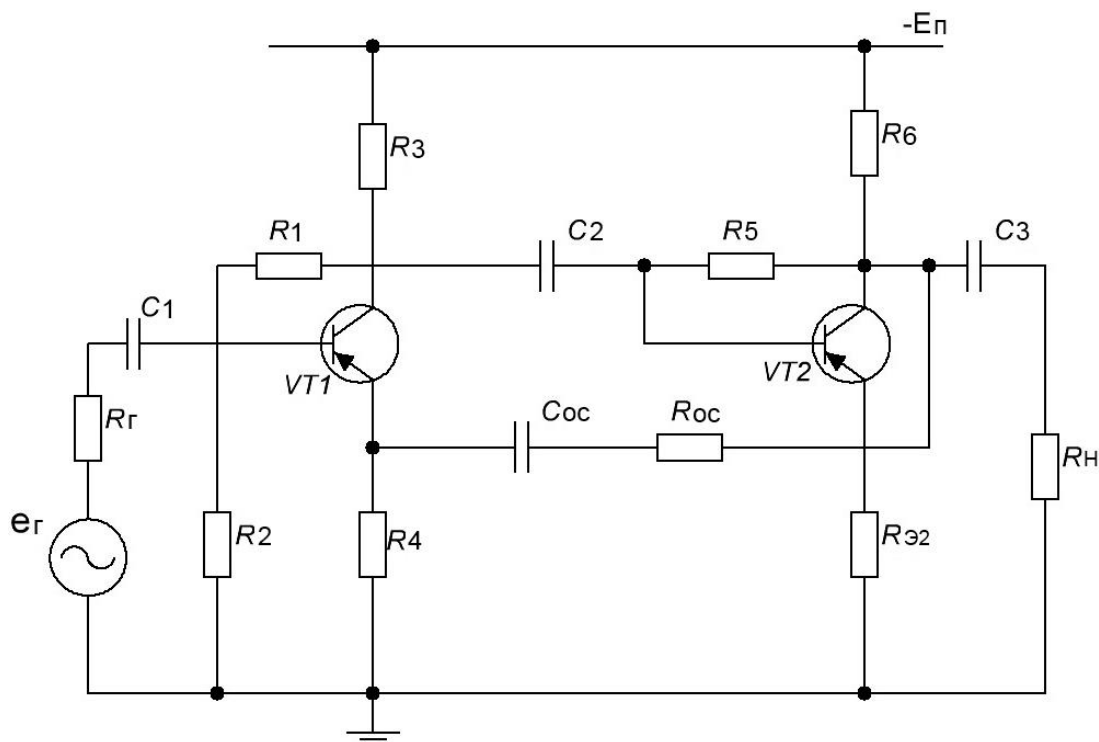
$$R_{б1} = R_1 + R_2$$



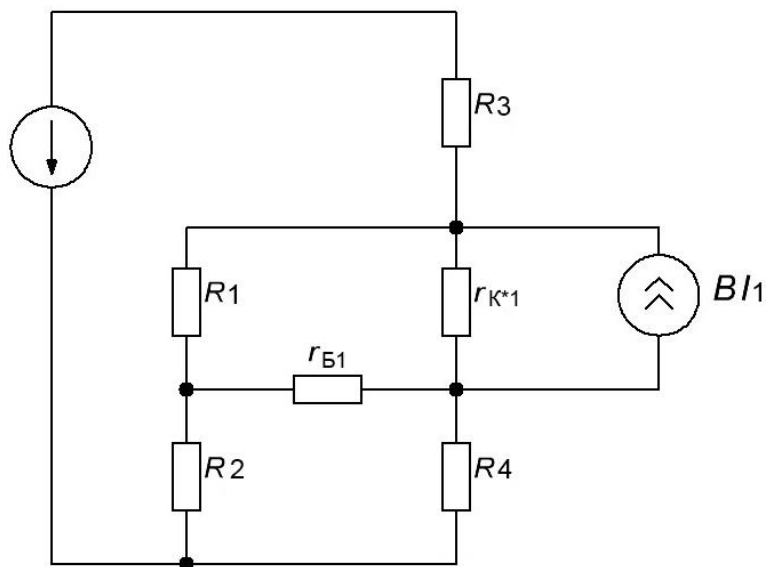
Расчет 2-го каскада по переменному току (каскад работает от идеального источника питания).



Расчет обратной связи по напряжению.



Расчет 1-го каскада по постоянному току.



$$r_{б1} = h_{11э}$$

$$I_3(R_1 + R_2 + R_3) - I_2 R_2 + I_1 R_1 = E_{пит}$$

$$-I_3 R_1 + I_1(R_1 + r_{к*1} + r_{б1}) + I_2 r_{б1} = \beta_1(I_2 + I_1) \times r_{к*1},$$

$$-I_3 R_2 + I_2(R_2 + R_4 + r_{б1}) - I_1(R_{э1} + R_2 + h_{11э}) = 0$$

$$I_{\text{БП1}} = I_1 + I_2$$

$$I_{\text{ЭП1}} = -I_1$$

$$I_{\text{КП1}} = -I_2$$

$$U_{\text{КЭП}} = E_{\text{П}} - I_{\text{КП1}}(R_3 + R_4)$$

Расчет 2-го каскада по переменному току.

Для второго каскада убираем сопротивление R_2 и решаем аналогично.

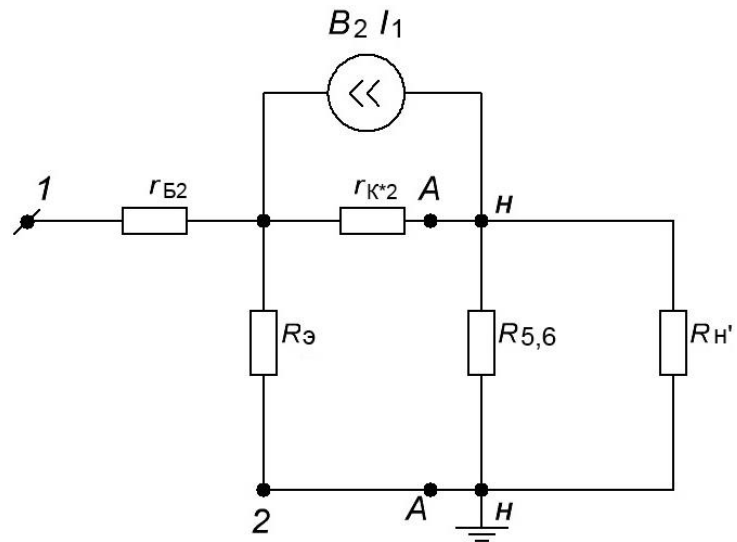
2-ой каскад по переменному току.

$$R_{5,6} = R_5 \parallel R_6$$

$$R'_{\text{H}} = R_{\text{H}} \parallel (R_{\text{Ос}} + R_4)$$

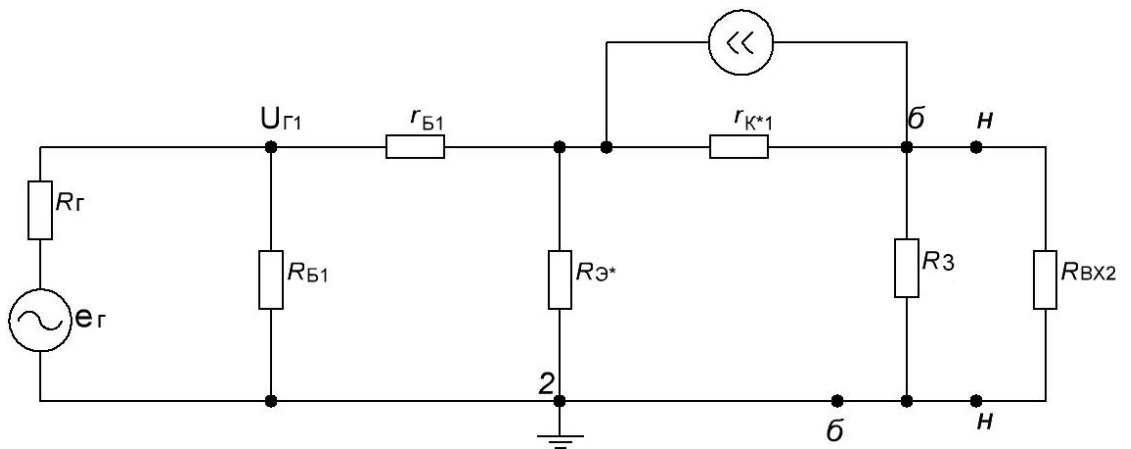
$$R''_{\text{H}} = R'_{\text{H}} \parallel R_{5,6}$$

$$R_3 = r_{\text{Э2}} + R_7$$



Расчет 1-го каскада по переменному току.

Эквивалентная схема 1-го каскада.



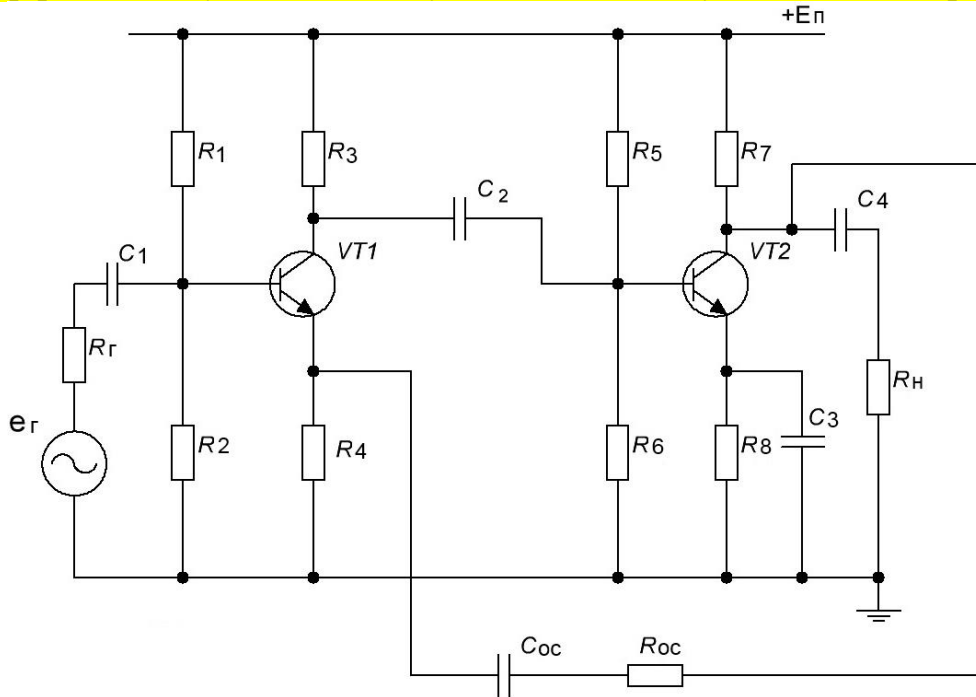
$$R_6 = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{\text{Э}*} = r_{\text{Э1}} + R_4 \parallel (R_{\text{Ос}} + R_{\text{H}})$$

$$R_{к}^* = R_3 \parallel R_{BX2}$$

$$R_{г}^* = R_{г} \parallel R_6$$

Пример расчета двухкаскадного усилителя по току с ООС по напряжению.



Рассчитать каскад по току с учётом пассивных элементов ОС, коэффициенты усиления K_U для каждого каскада считается отдельно, затем перемножается.

$$K_{oc} = \frac{K_{\Sigma}}{1 - K_{\Sigma} \gamma}$$

Расчет начинается с выходного каскада.

Дано:

- $R_5 = 2 \text{ кОм}$
- $R_6 = 0,5 \text{ кОм}$
- $R_7 = 0,5 \text{ кОм}$
- $R_8 = 0,5 \text{ кОм}$
- $R_4 = 0,5 \text{ кОм}$
- $R_H = 2 \text{ кОм}$
- $R_{oc} = 1 \text{ кОм}$
- $h_{21Э} = 100$
- $h_{11Э} = 1 \text{ кОм}$
- $h_{22Э} = 10^{-4}$

Решение.

$$K_U = -\frac{U_H}{U_1} = \frac{I_H}{I_6} \times \frac{R'_H}{h_{11Э}}$$

$$\frac{I_K}{I_6} = h_{21Э} \times j_{*K} \approx h_{21Э} = 100$$

$$j_{*K} \approx 1$$

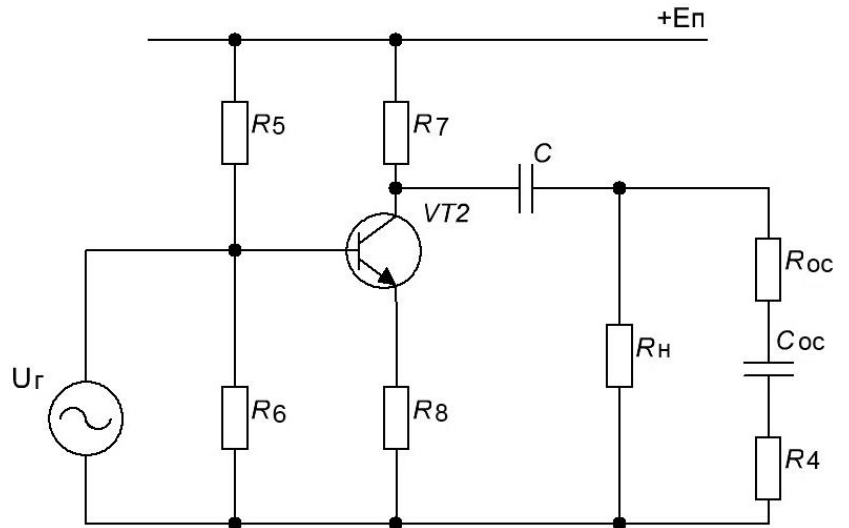
$$j_{*K} = \frac{r_{*K}}{r_{*K} + R'_H} = \frac{10}{10 + 1,3} \approx 0,885$$

$$R'_H = R_K \parallel R_H = \frac{2 \times 4}{2 + 4} = 1,3 \text{ кОм}$$

$$I_H = \frac{I_K \times [R_H \parallel (R_{oc} + R_4)]}{R_7 + R_H \parallel (R_{oc} + R_4)} = 0,6 I_K$$

$$\begin{cases} \frac{I_K}{I_6} = 100 \\ \frac{I_H}{I_K} = 0,6 \end{cases} \Rightarrow \frac{I_H}{I_6} = 60$$

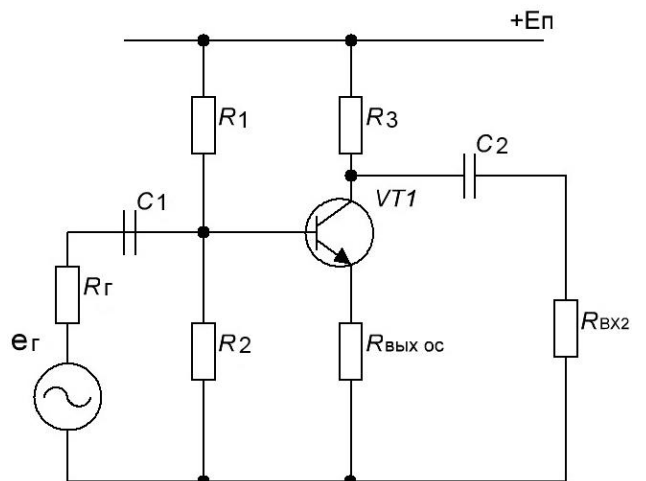
$$K_U = -\frac{U_H}{U_1} = -\frac{60 \times 1,3}{1} = -78$$



- $R_1 = 20 \text{ кОм}$
- $R_2 = 2,5 \text{ кОм}$
- $R_3 = 2 \text{ кОм}$
- $R_Г = 1 \text{ кОм}$

$$R_{\text{ВЫХ OC}} = R_4 \parallel R_{oc} = \frac{10 \times 0,5}{10,5} \approx 0,5$$

$$R_{\text{BX2}} = R_4 \parallel R_{oc} \parallel h_{11Э}$$



$$K_{U1} = -K_I \times \frac{R'_H}{R_{BX}}$$

$$K_I = \frac{I_{H1}}{I_{B1}}$$

$$\frac{I_{K1}}{I_{B1}} = 100 I_{K1}$$

$$I_H = \frac{I_{K1} \times R_{BX2}}{R_{BX2} + R_{BX2}}$$

$$R_{BX1} = h_{11\Theta} + R_{ВЫХ\text{ OC}} (1 + h_{21\Theta})$$

$$R'_H = R_{BX2} \parallel R_3 \approx 0,5 \text{ кОм}$$

$$R_{BX1} = 51,5 \text{ кОм}$$

$$I_H = I_{K1} \times 0,3$$

$$\frac{I_{K1}}{I_{B1}} = 30$$

$$K_{U1} = -30 \times \frac{0,5}{51,5} = -0,3$$

Пример расчета последовательной ООС по току.

Дано:

$$R_1 = 20 \text{ кОм}$$

$$R_2 = 2,5 \text{ кОм}$$

$$R_3 = 2 \text{ кОм}$$

$$R_4 = 0,5 \text{ кОм}$$

$$R_5 = 20 \text{ кОм}$$

$$R_6 = 2,5 \text{ кОм}$$

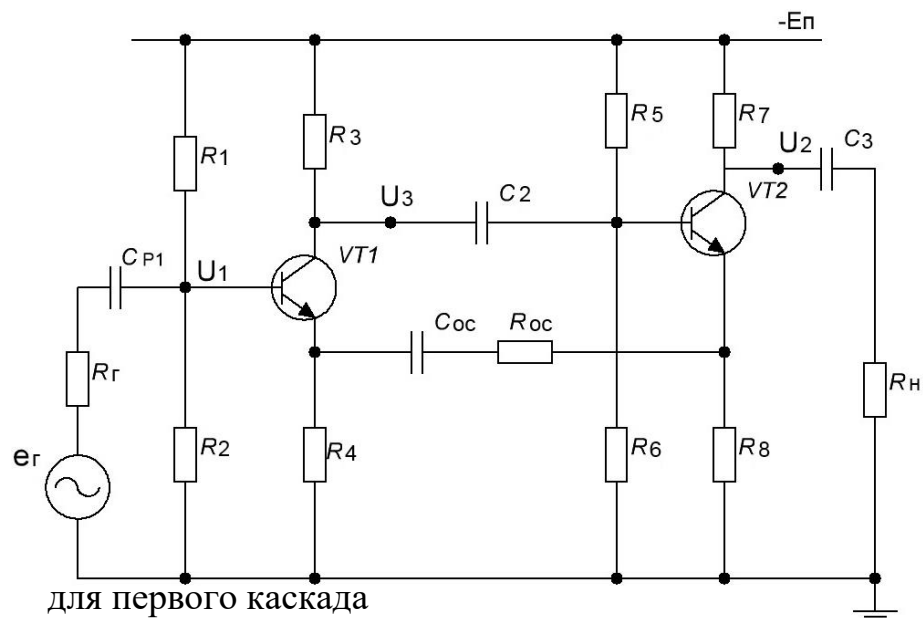
$$R_7 = 2 \text{ кОм}$$

$$R_8 = 0,5 \text{ кОм}$$

$$R_H = 4 \text{ кОм}$$

$$R_{OC} = 10 \text{ кОм}$$

$$\beta = 80$$



$$S = \frac{I_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}$$

$$K = \frac{U_{ВЫХ}}{I_{ВХ}} = S \times R'_H$$

$$R'_H = R_3 \parallel R_5 \parallel R_6 \parallel R_{BX2}$$

$$R_{BX2} = \beta \times R_8$$

$$K_1 = \frac{U_3}{U_1} = -0,84 \quad (K_{U1})$$

$$K_2 = \frac{U_2}{U_3} \approx -0,9 \quad (K_{U1})$$

$$K'_1 = \frac{U_3}{e_\Gamma} = -0,56$$

$$S'_1 = \frac{-0,56}{R'_H} \approx -0,56 \frac{mA}{B}$$

$$S'_2 = \frac{K_2}{R'_{H2}} = \frac{-0,9}{1,3K} \approx -0,7 \frac{mA}{B}$$

$$R'_{H2} = R_7 \parallel R_H$$

$$S_\Sigma = S'_1 \times S'_2$$

$$S_{oc} = \frac{S_\Sigma}{1 - S_\Sigma \times \alpha \times \gamma \times Z_{BX.CB}} = \frac{0,392}{1 - 0,392 \times 0,31 \times 0,048 \times 0,48} = 0,393$$

$$Z_{BX.OC} = Z_{BX} (1 + S_\Sigma \times \alpha \times \gamma \times Z_{BX.CB})$$

$$\alpha = \frac{R_{BЫX}}{R_{BЫX} + R_{BX.CB} + R_H}$$

$$\gamma = \frac{R_4}{R_{oc} + R_4}$$

$$R_{BЫX} = R_7 = 2 \text{ КОМ}$$

$$S_\Sigma = -0,56 \times (-0,7) = 0,392$$

$$\gamma = \frac{0,5}{10 + 0,5} = 0,048$$

$$R_{BX2} = 80 \times 0,5 = 40 \text{ КОМ}$$

$$\alpha = \frac{2}{2 + 0,48 + 4} = 0,31$$

$$Z_{BX.CB} = Z_{oc} \parallel (Z_1 + Z_2)$$

$$Z_{BX} = h_{11\Theta} = 3,2 \text{ КОМ} = R_{BX} = h_{11\Theta}(1 + h_{11\Theta})$$

$$Z_{BЫX} = R_{BЫX} = R_7 = 2 \text{ КОМ}$$

$$Z_{BX.CB} = 0,5 \parallel (0,5 + 10) = \frac{0,5 \times 10,5}{0,5 + 10,5} = 0,48 \text{ КОМ}$$

$$Z_{BX.OC} = 3,2 \times (1 + 0,392 \times 0,31 \times 0,048 \times 0,48) = 3,21$$

$$Z_{BЫX.OC} = 2 \times (1 + 0,392 \times 0,048 \times 0,48) = 2,02$$