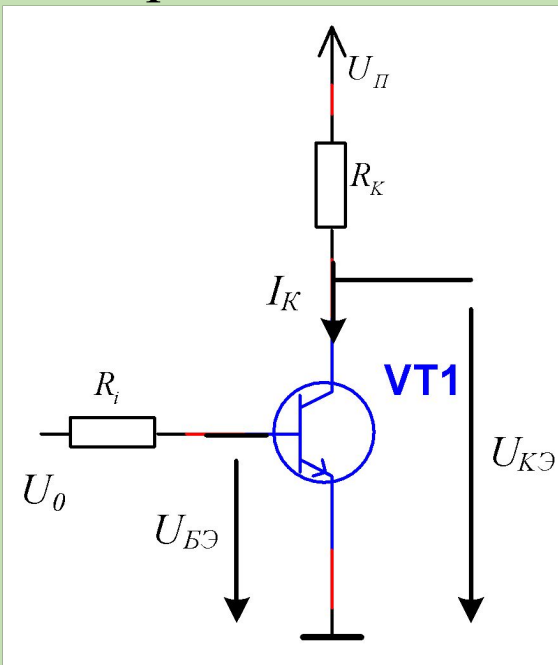


Задание рабочей точки транзистора (цепи смещения)

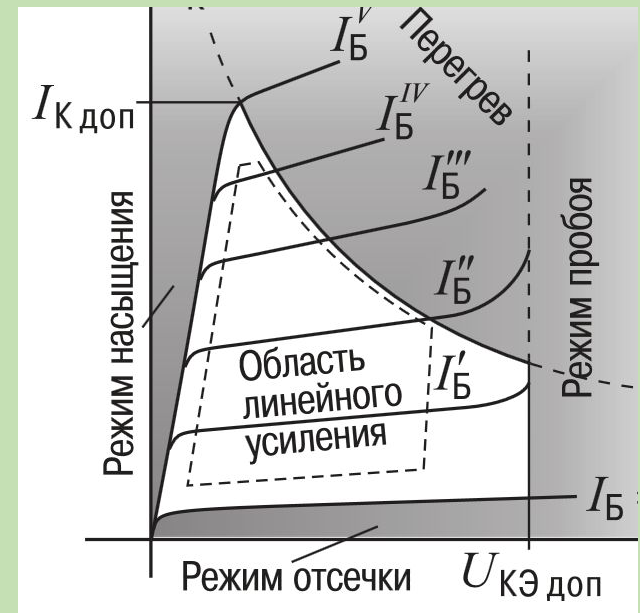
Ограничения рабочей точки смещения выходных характеристик

1. гипербола потерь
2. максимально допустимое напряжением коллектор-эмиттер
3. токи коллектора максимальный и минимальный
4. напряжение насыщения



$$I_K = \frac{U_{\Pi} - U_{КЭ}}{R_K}$$

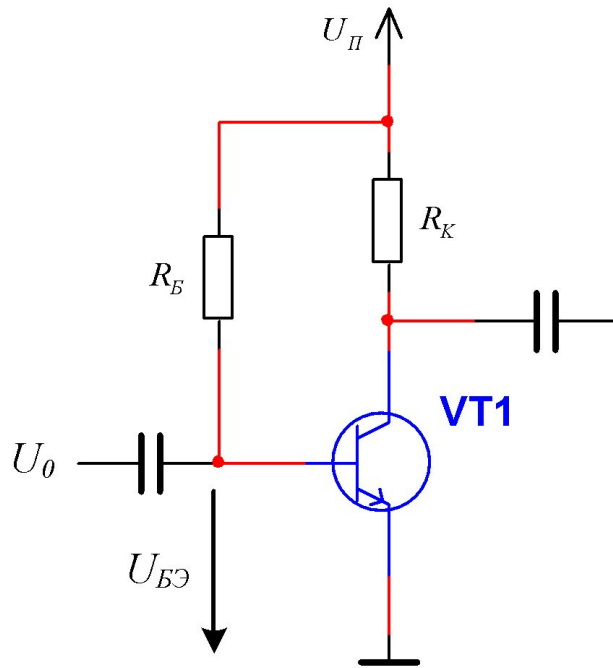
$$I_B = \frac{U_0 - U_{БЭ}}{R_i}$$



Рекомендации по выбору рабочей точки

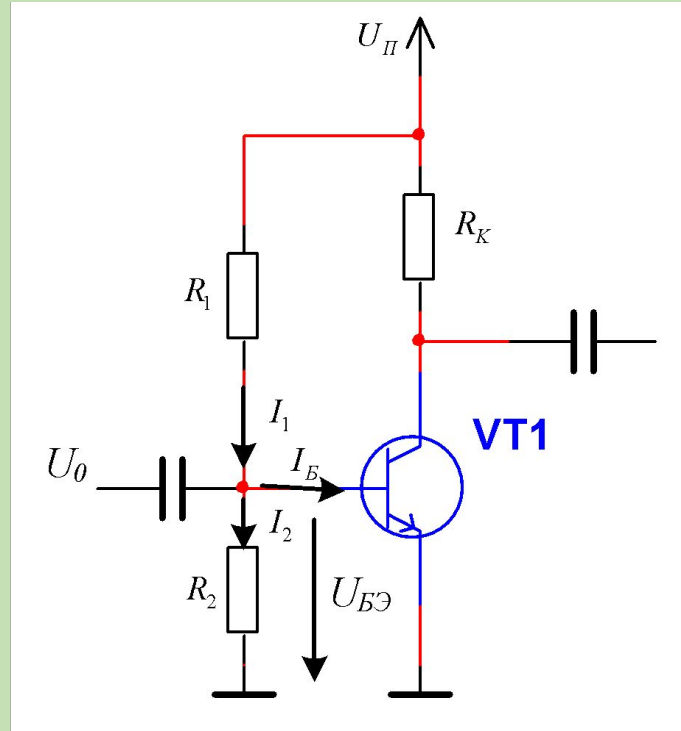
1. Максимальное удаление от границ области усиления (минимальные искажения)
2. Напряжение рабочей точки - середина напряжения питания (максимальный диапазон управления)
3. Выбор малых токов базы и коллектора (малые мощности потерь и низкий уровень шумов)

Структура с использованием сопротивления базы



$$I_B = \frac{U_{II} - U_{БЭ}}{R_B} \approx \frac{U_{II}}{R_B}$$

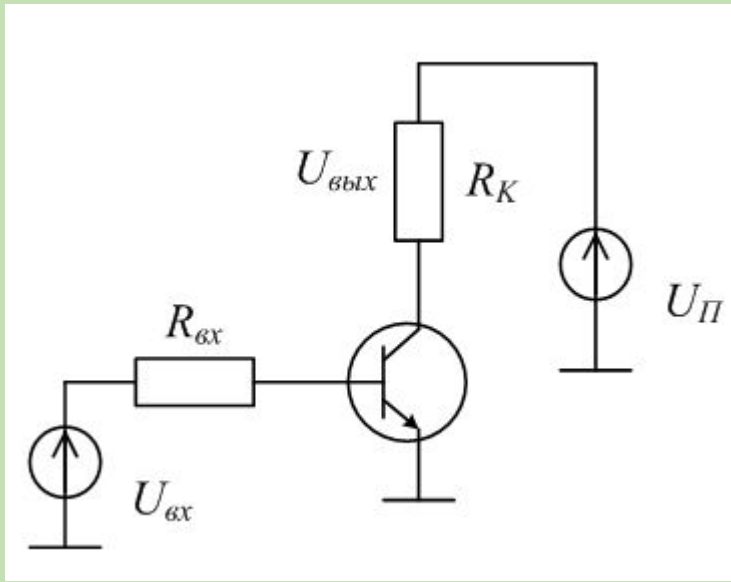
Структура с использованием делителя напряжения



$$I_B = I_1 - I_2 = \frac{U_{II} - U_{БЭ}}{R_1} - \frac{U_{БЭ}}{R_2} = \frac{U_{II} R_2 - U_{БЭ} (R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$$

$$U_{БЭ} = \frac{U_{II} R_2 - I_B R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (U_{II} - I_B R_1)$$

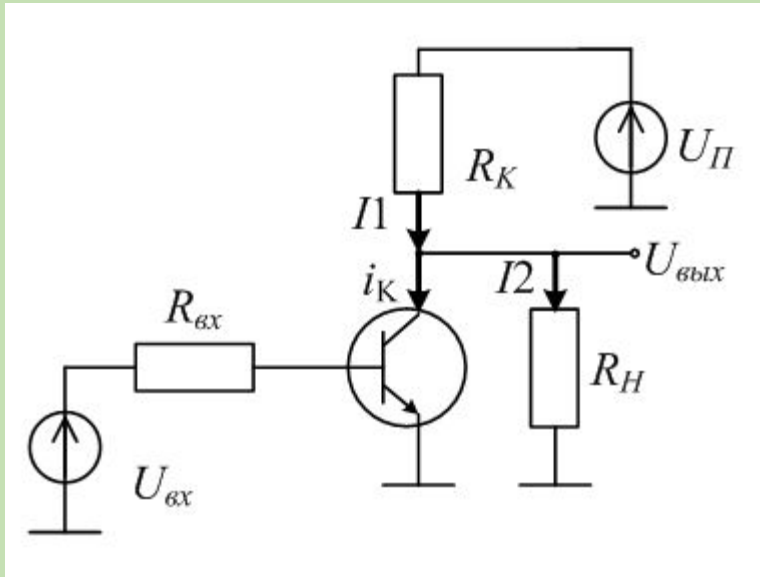
$$U_{БЭ} \approx \frac{R_2 U_{II}}{R_1 + R_2} \quad I_B \approx \frac{U_{II}}{R_1} - \frac{U_{БЭ}}{R_2} = \frac{U_{II}}{R_1} - \frac{U_{II}}{R_1 + R_2} = U_{II} \frac{R_2}{R_1 (R_1 + R_2)}$$



$$U_{6x} = u_c + U_{cM} \quad K_U = \frac{\Delta U_{6blx}}{\Delta U_{6x}}$$

$$\Delta U_{6blx} = \Delta U_{K\mathcal{O}} = I_K R_K = \beta I_B R_K = h_{21\mathcal{O}} I_B R_K$$

$$\Delta U_{6x} = \Delta U_{B\mathcal{O}} = I_B R_{6x} \quad K_U = \frac{h_{21\mathcal{O}} R_K}{R_{6x}}$$



$$I1 = i_K + I2 \quad I1 = \frac{U_{\Pi} - U_{6blx}}{R_K} \quad I2 = \frac{U_{6blx}}{R_H}$$

$$\frac{U_{\Pi} - U_{6blx}}{R_K} = i_K + \frac{U_{6blx}}{R_H}$$

$$U_{6blx} = \frac{\frac{U_{\Pi}}{R_K} - i_K}{\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_H}} = \frac{U_{\Pi} - i_K R_K}{1 + \frac{R_K}{R_H}}$$

$$U_{6blx}^{\sim} = i_K (R_K \parallel R_H)$$

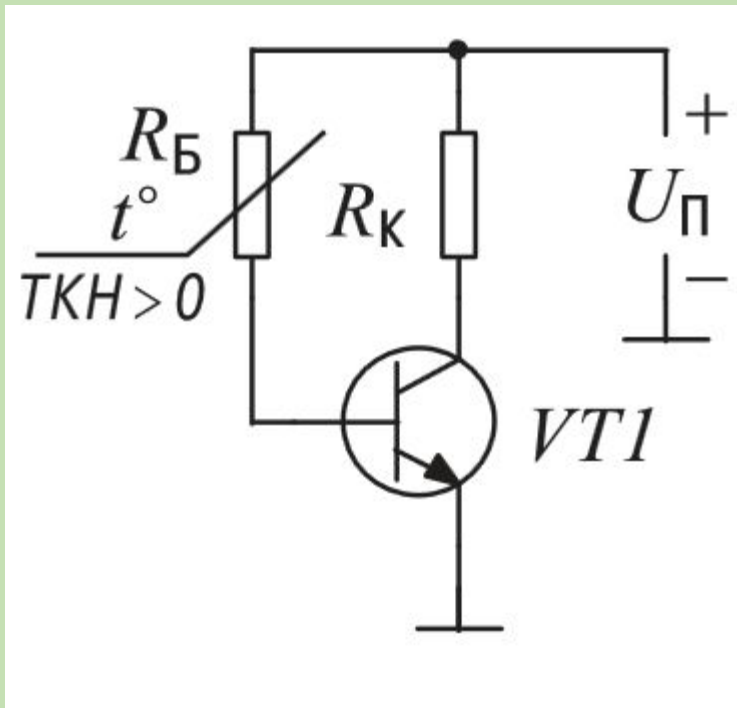
Методы стабилизации режимов работы

Влияющие факторы

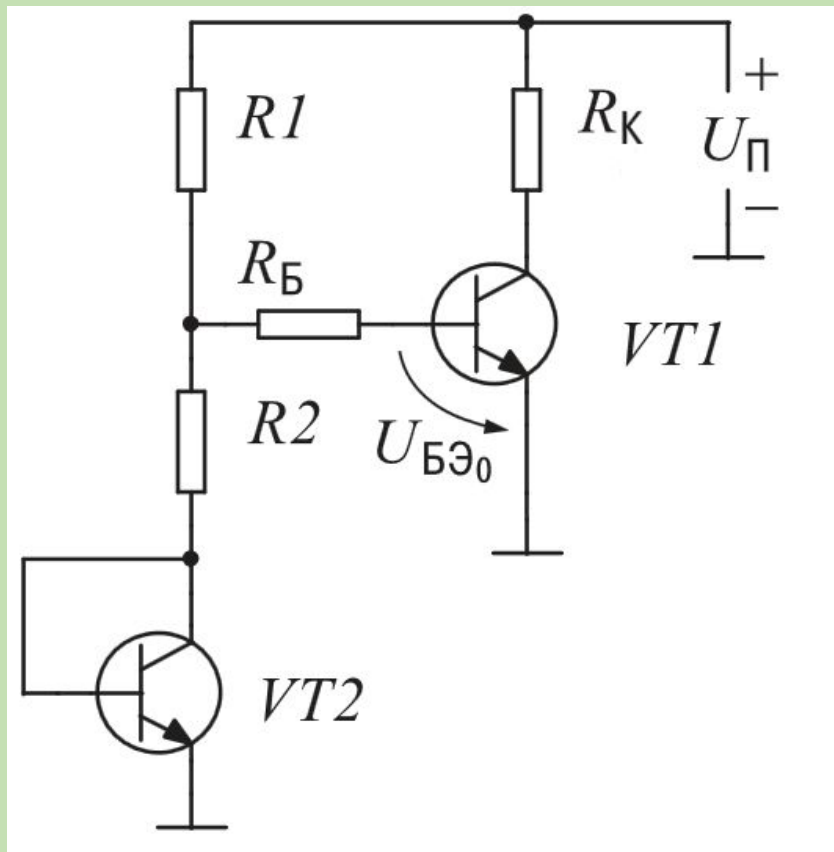
- температура
- напряжение питания
- сопротивление нагрузки

❑ Термокомпенсация

❑ Параметрическая стабилизация



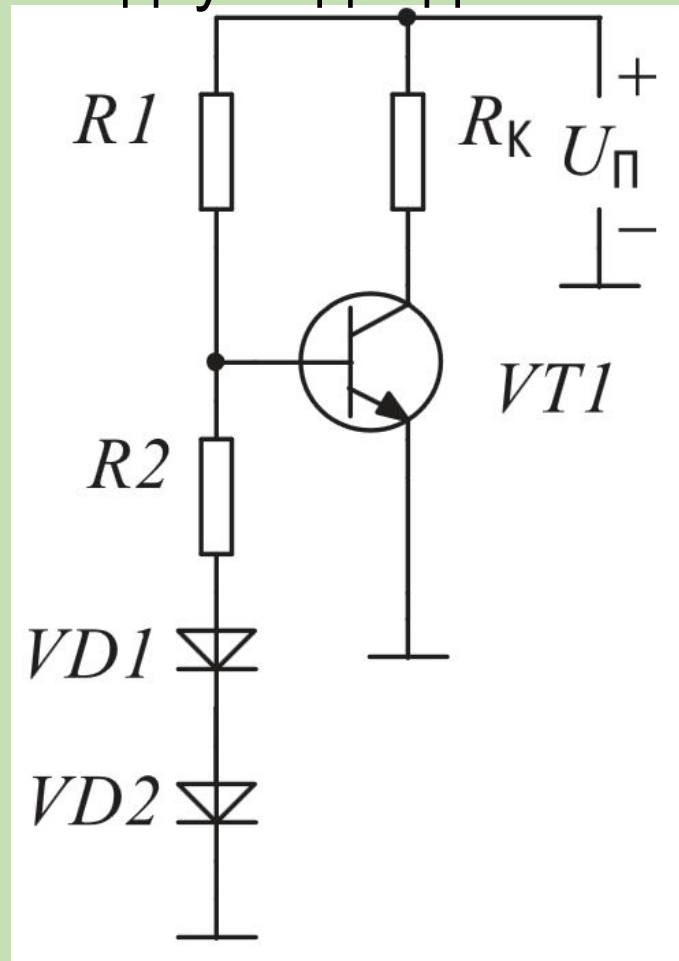
Термокомпенсация с помощью дополнительного транзистора



$$T \uparrow \Rightarrow I_{КЭ1} \uparrow, I_{КЭ2} \uparrow \Rightarrow U_{К2} \downarrow \Rightarrow U_{1} \downarrow I_{01} \downarrow$$

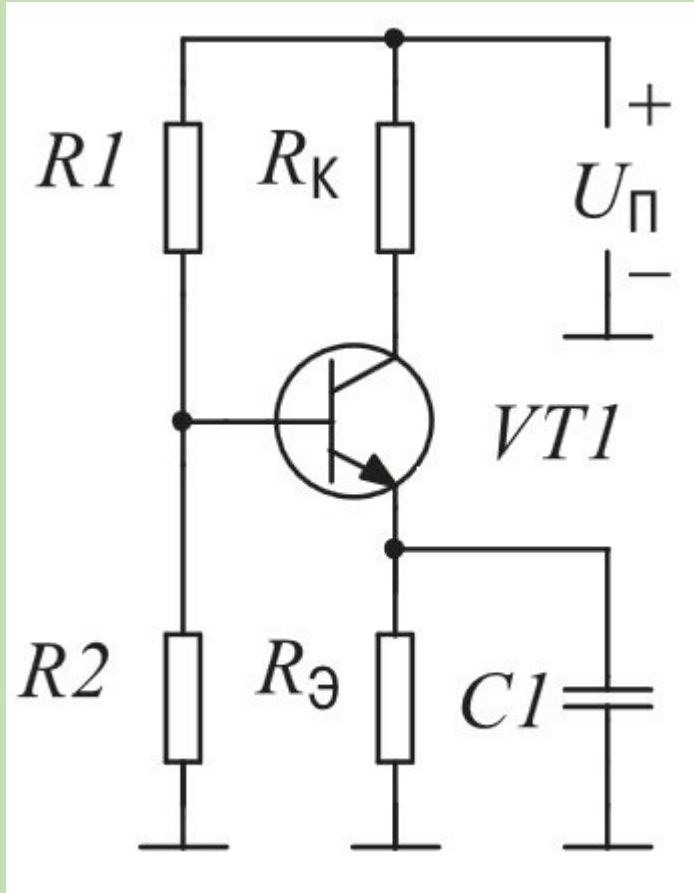
Термокомпенсация

двумя диодами



❑ Введение цепей обратной связи

Последовательная ООС по току в схеме с ОЭ



$$U_{\text{ex}} = U_{R2} = U_{\text{БЭ}} + U_{\text{Э}} \quad U_{\text{Э}} = R_{\text{Э}} i_{\text{Э}} = U_{\text{ООС}}$$

$$U_{\text{БЭ}} = U_{\text{ex ООС}} - U_{\text{ООС}}$$

$$b = \frac{\Delta U_{\text{OC}}}{\Delta U_{\text{блх}}} = \frac{\Delta i_{\text{Э}} R_{\text{Э}}}{\Delta i_{\text{К}} R_{\text{К}}} = \left| \Delta i_{\text{Э}} \approx \Delta i_{\text{К}} \right| \approx \frac{R_{\text{Э}}}{R_{\text{К}}}$$

$$K = h_{21\text{Э}} \frac{R_{\text{К}}}{R_{\text{ex}}}$$

$$K_{\text{ООС}} = \frac{K}{1 + bK} = \frac{h_{21\text{Э}} \frac{R_{\text{К}}}{R_{\text{ex}}}}{1 + \frac{R_{\text{Э}}}{R_{\text{К}}} h_{21\text{Э}} \frac{R_{\text{К}}}{R}} = \frac{h_{21\text{Э}} R_{\text{К}}}{R_{\text{ex}} + R_{\text{Э}} h_{21\text{Э}}}$$

$$R_{\text{ex ООС}} = R_{\text{ex}} (1 + bK) = R_{\text{ex}} \left(1 + \frac{R_{\text{Э}}}{R_{\text{К}}} h_{21\text{Э}} \frac{R_{\text{К}}}{R} \right) = R_{\text{ex}} + R_{\text{Э}} h_{21\text{Э}}$$

$$R_{\text{блх ООС}} = R_{\text{К}} + R_{\text{Э}} K = R_{\text{К}} + R_{\text{Э}} h_{21\text{Э}} \frac{R_{\text{К}}}{R_{\text{ex}}} = R_{\text{К}} \left(1 + h_{21\text{Э}} \frac{R_{\text{Э}}}{R_{\text{ex}}} \right)$$

Влияние последовательной ООС на стабильность тока в схеме с ОЭ

$$I_{\text{Э}} + \Delta I_{K \text{ Э}} = (h_{\text{Б1}} + \Delta h_{\text{Б21}}) (I_{\text{Э}} + \Delta I_{\text{Б}}) = h_{\text{Б1}} I_{\text{Э}} + \Delta h_{\text{Б1}} I_{\text{Э}} + h_{\text{Б21}} \Delta I_{\text{Б}} + \Delta h_{\text{Б21}} \Delta I_{\text{Б}}$$

$$\Delta I_{\text{Э}} = \Delta h_{\text{Б21}} I_{\text{Э}} + h_{\text{Б21}} \Delta I_{\text{Б}}$$

На основе теоремы об эквивалентном генераторе преобразуем исходную схему и находим $I_{\text{Б}}$, $\Delta I_{\text{Б}}$

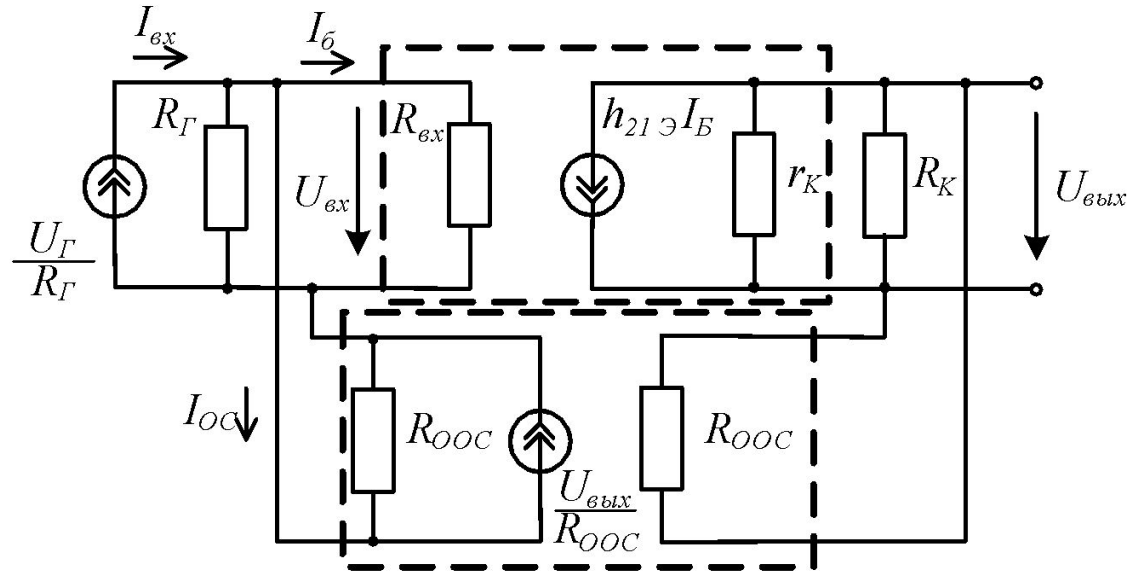
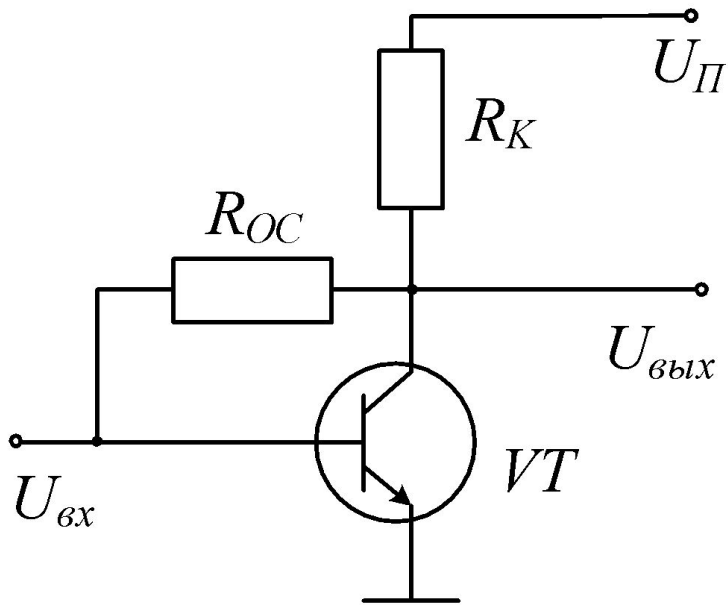
$$\Delta I_{K} = \frac{h_{21\text{Э}} (R_{\text{Б}} + R_{\text{Э}})}{R_{\text{Б}} + (1 + h_{21\text{Э}}) R_{\text{Э}}} \left(\frac{\Delta h_{21\text{Э}} I_{\text{Б}}}{h_{21\text{Э}}} - \frac{\Delta U_{\text{БЭ}}}{R_{\text{Б}} + R_{\text{Э}}} \right) \quad S_i = \frac{h_{21\text{Э}} (R_{\text{Б}} + R_{\text{Э}})}{R_{\text{Б}} + (1 + h_{21\text{Э}}) R_{\text{Э}}} \quad \text{- коэффициент неустойчивости}$$

$$\lim_{R_{\text{Э}} \rightarrow 0} S_{\text{Э}} = h_{21} \quad \Delta I_{K} = \frac{\Delta h_{21\text{Э}} I_{\text{Б}}}{h_{21\text{Э}}}$$

$$\lim_{R_{\text{Э}} \rightarrow \infty} S_i \approx 1 \quad \Delta I_{\text{Э}} = \Delta h_{21\text{Э}} I_{\text{Э}} - h_{21} \frac{\Delta U_{\text{БЭ}}}{R_{\text{Б}}}$$

Параллельная ООС по напряжению в схеме с ОЭ

$$I_K = \frac{U_{\Pi} - U_{KЭ}}{R_K} \quad \Delta I_K = \frac{\Delta U_{KЭ}}{R_K}$$



$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{I_B h_{21\Omega} (r_K \parallel R_K)}{I_B} \approx h_{21\Omega} R_K$$

$$b = \frac{I_{\text{ООС}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{U_{\text{вых}} / R_{\text{ООС}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{1}{R_{\text{ООС}}}$$

$$K_{\text{ООС}} = \frac{K}{1 + bK} = \frac{h_{21\Omega} R_K}{1 + \frac{h_{21\Omega} R_K}{R_{\text{ООС}}}}$$

$$R_{\text{бх ООС}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{R_{\text{бх}} R_{\text{ООС}}}{R_{\text{бх}} + R_{\text{ООС}} + R_K h_{21\Omega}}$$

$$R_{\text{вых ООС}} = \frac{R_{\text{вых}}}{1 + h_{21\Omega} \left(\frac{R_K}{R_{\text{ООС}}} \right)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{solve, } a_1, a_2, a_3 \end{array} \right\} \rightarrow \left(\begin{array}{ccc} \frac{E_1 \cdot R_2 + E_1 \cdot R_3 - E_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} & \frac{E_2 \cdot R_1 - E_1 \cdot R_3 + E_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} & \frac{E_1 \cdot R_2 - E_2 \cdot R_1 + E_1 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \end{array} \right)$$