

## Практическое занятие №8

### РАСЧЁТ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

Пример расчета усилительных каскадов.

#### Задача №1

**Дано:**

$$R_k = 5,1 \text{ кОм}$$

$$R_3 = 0,51 \text{ кОм}$$

$$R_H = 10 \text{ кОм}$$

$$R_r = 1 \text{ кОм}$$

$$h_{11Э} = 800 \text{ Ом}$$

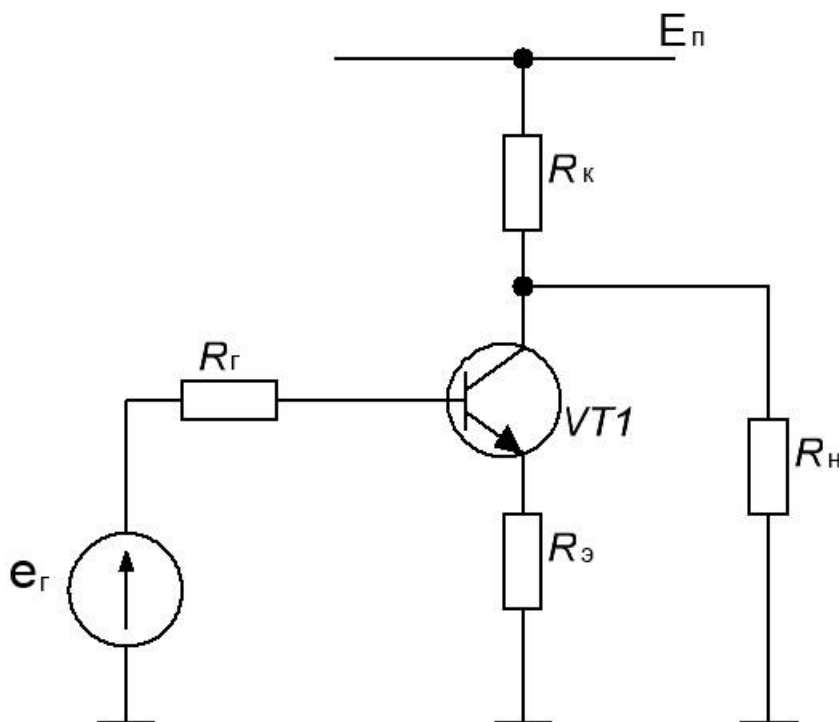
$$h_{21Э} = 5 \times 10^4$$

$$h_{12Э} = 48$$

$$h_{22Э} = 80 \text{ мкСм}$$

**Найти:**

$$K_U; K_I; R_{BX}; R_{ВЫХ};$$



**Решение.**

Все параметры в средних частотах, поэтому ёмкости не учитываются.

$$R_{BX} = R_6 + (r_3 + R_3) \times (1 + h_{21Э}) = r_6 + r_3 (1 + h_{21Э}) + R_3 (1 + h_{21Э});$$

$$R_{BX} = 800 + 0,51 \times 10^3 \times (1 + 48) = 25,8 \text{ кОм};$$

$$K_U = -\beta \frac{(R_k \parallel R_H)}{R_r + R_{BX}} = -\beta \frac{\frac{R_k \times R_H}{R_k + R_H}}{R_r + R_{BX}} = -\beta \frac{R_k \times R_H}{(R_r + R_{BX})(R_k + R_H)};$$

$$K_U = -48 \times \frac{5,1 \times 10}{(5,1 \times 10)(1 + 25,8)} = \frac{-2448}{15,1 \times 26,8} \approx -6;$$

$$K_I = \beta \frac{R_r}{R_r + R_{BX}} \times \frac{R_K}{R_K + R_H};$$

$$K_I = 48 \times \frac{1}{1 + 25,8} \times \frac{5,1}{5,1 + 10} = 1,8 \times 0,34 = 0,6;$$

$$R_{BЫX} = R_K \parallel r_{K}^* (1 + \beta \gamma_6);$$

$$r_{K}^* = \frac{1}{h_{22Э}};$$

$$r_{K}^* = \frac{1}{80 \times 10^{-6}} = 12,5 \text{ кОм};$$

$$\gamma_6 = \frac{R_Э}{R_Э + R_r};$$

$$\gamma_6 = \frac{0,51}{0,51 + 1} = 0,34;$$

$$R_{BЫX} = \frac{5,1 \times 216,5}{5,1 + 216,5} = \frac{1104,15}{221,5} \approx 5 \text{ кОм};$$

**Ответ:**  $K_U \approx -6$ ;  $K_I = 0,6$ ;  $R_{BX} = 25,8 \text{ кОм}$ ;  $R_{BЫX} \approx 5 \text{ кОм}$ .

### Пример расчета:

#### Задача №2

**Дано:**

$$R_K = 5,1 \text{ кОм}$$

$$R_Э = 0,51 \text{ кОм}$$

$$R_H = 25,8 \text{ кОм}$$

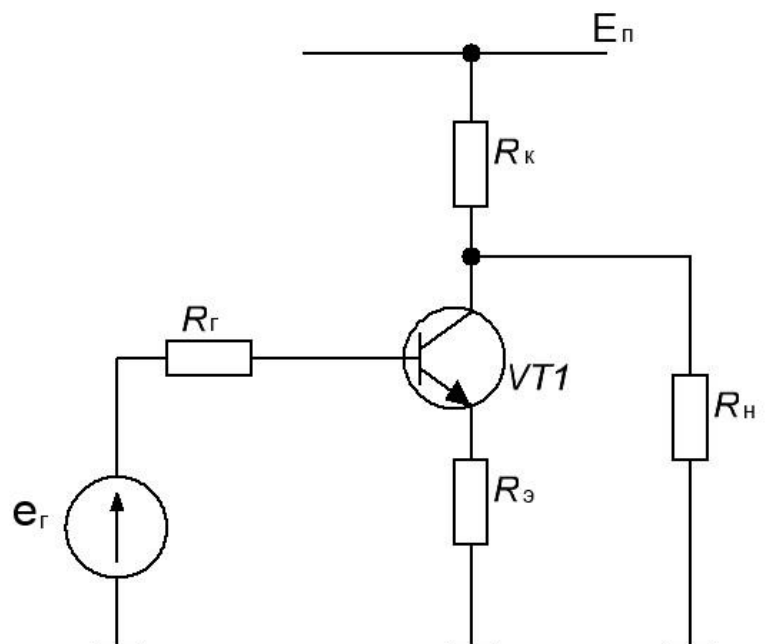
$$R_r = 1 \text{ кОм}$$

$$R_{BX} = 25,8 \text{ кОм}$$

$$h_{11Э} = 800 \text{ Ом}$$

$$h_{21Э} = 5 \times 10^{-4}$$

$$h_{12Э} = 48$$



$$h_{22Э} = 80 \text{ мкСм}$$

**Найти:**

$$K_U; K_I; R_{\text{ВЫХ}};$$

**Решение.**

Все параметры в средних частотах, поэтому ёмкости не учитываются.

$$K_U = -\beta \frac{(R_K \parallel R_H)}{R_I + R_{\text{ВХ}}} = -\beta \frac{\frac{R_K \times R_H}{R_K + R_H}}{R_I + R_{\text{ВХ}}} = -\beta \frac{R_K \times R_H}{(R_I + R_{\text{ВХ}})(R_K + R_H)};$$

$$K_U = -48 \times \frac{5,1 \times 25,8}{(5,1 + 25,8)(1 + 25,8)} = \frac{-6315,84}{30,9 \times 26,8} \approx -7,6;$$

$$K_I = \beta \frac{R_I}{R_I + R_{\text{ВХ}}} \times \frac{R_K}{R_K + R_H};$$

$$K_I = 48 \times \frac{1}{1 + 25,8} \times \frac{5,1}{5,1 + 25,8} = 1,8 \times 0,16 = 0,3;$$

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_K \parallel r_{\text{к}}^* (1 + \beta \gamma_6);$$

$$r_{\text{к}}^* = \frac{1}{h_{22Э}};$$

$$r_{\text{к}}^* = \frac{1}{80 \times 10^6} = 12,5 \text{ кОм};$$

$$\gamma_6 = \frac{R_3}{R_6 + R_I};$$

$$\gamma_6 = \frac{0,51}{0,51 + 1} = 0,34;$$

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{5,1 \times 216,5}{5,1 + 216,5} = \frac{1104,15}{221,5} \approx 5 \text{ кОм};$$

**Ответ:**  $K_U \approx -7,6$ ;  $K_I = 0,3$ ;  $R_{\text{ВЫХ}} \approx 5 \text{ кОм}$

## Пример расчета

### Задача №3

**Дано:**

$$R_K = 1 \text{ кОм}$$

$$R_3 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_H = 10 \text{ кОм}$$

$$R_r = 100 \text{ Ом}$$

$$h_{116} = 30 \text{ Ом}$$

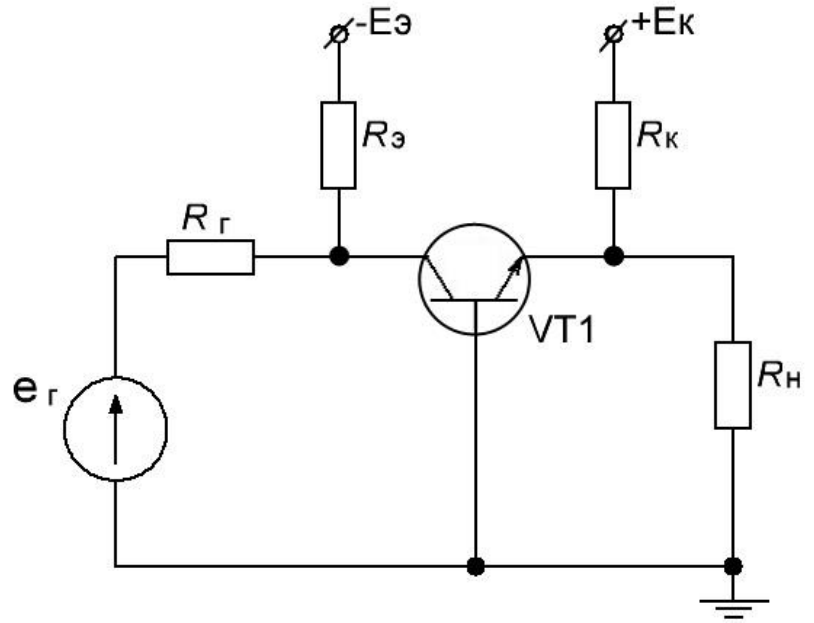
$$h_{126} = 10^{-4}$$

$$h_{216} = 0,99$$

$$h_{226} = 1 \text{ мкСи}$$

**Найти:**

$K_U$ ;  $K_I$ ;  $R_{\text{ВЫХ}}$ ;



**Решение.**

$$R_{\text{ВХ}} = h_{116} \parallel R_3;$$

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{30 \times 200}{230} = 26,1 \text{ Ом};$$

$$K_I = \alpha \times \frac{R_r}{R_r + R_{\text{ВХ}}} \times \frac{R_K}{R_K + R_H};$$

$$K_I = 0,99 \times \frac{100}{100 + 26,1} \times \frac{1}{1 + 10} = 0,071;$$

$$K_U = \frac{\alpha \times (R_K \parallel R_H)}{R_r + R_{\text{ВХ}}};$$

$$K_U = 0,99 \times \frac{10^6}{10^3 \times (100 + 26,1)} = \frac{0,9 \times 10^6}{126,1} = 7;$$

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{к}} \parallel r_{\text{к}} (1 - \alpha \gamma_{\text{э}});$$

$$r_{\text{к}} = \frac{1}{h_{223}};$$

$$\gamma_{\text{э}} = \frac{r_{\text{б}}}{r_{\text{б}} + R_{\Gamma} + r_{\text{э}}};$$

$$r_{\text{б}} = \frac{h_{216}}{h_{226}};$$

$$r_{\text{б}} = \frac{10^{-4}}{10^{-6}} = 100;$$

$$r_{\text{э}} = h_{116} - r_{\text{б}} (1 - h_{216});$$

$$r_{\text{э}} = 30 - 100 (1 - 0,99) = 29;$$

$$\gamma_{\text{э}} = \frac{100}{100 + 100 + 29} = 0,44;$$

$$r_{\text{к}} (1 - \alpha \gamma_{\text{э}}) = \frac{1}{10^3} \times (1 - 0,99 \times 0,44) = 564,4 \times 10^3;$$

$$\gamma_{\text{э}} = \frac{0,51}{0,51 + 1} = 0,34;$$

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{10^3 \times 564,4 \times 10^3}{10^3 + 564,4 \times 10^3} \approx 1 \text{ кОм};$$

**Ответ:**  $K_U \approx 7$ ;  $K_I = 0,071$ ;  $R_{\text{ВЫХ}} \approx 1 \text{ кОм}$ .

**Пример расчета:**

**Задача №4**

**Дано:**

$$R_k = 1 \text{ кОм}$$

$$R_3 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_H = 26 \text{ Ом}$$

$$R_r = 100 \text{ Ом}$$

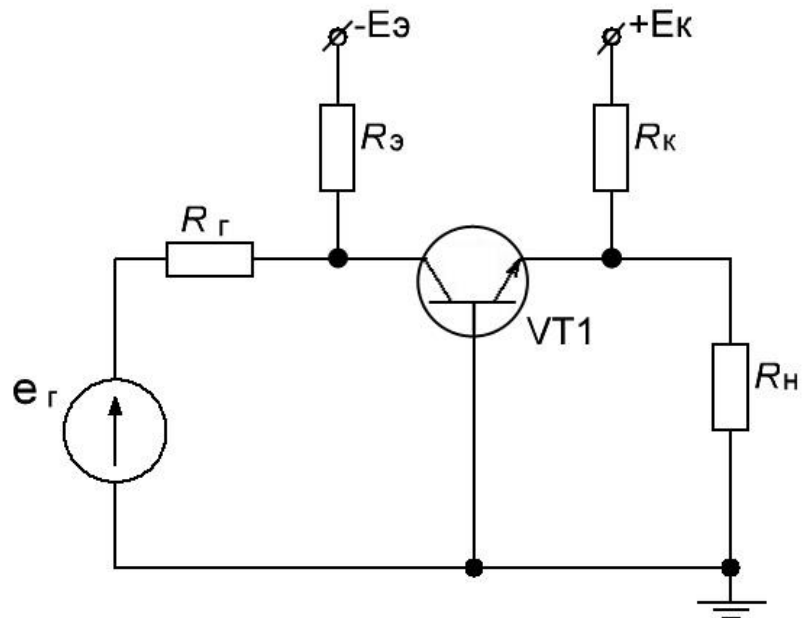
$$R_{\text{вых}} = 26 \text{ Ом}$$

$$h_{116} = 30 \text{ Ом}$$

$$h_{126} = 10^{-4}$$

$$h_{216} = 0,99$$

$$h_{226} = 1 \text{ мкСм}$$



**Найти:**

$K_U$ ;  $K_I$ ;

**Решение.**

$$K_I = \frac{\alpha \times R_r}{R_r + R_{\text{вх}}};$$

$$K_I = 0,99 \times \frac{100}{100 + 26} = 0,78;$$

$$K_U = \frac{\alpha \times (R_r \parallel R_H)}{R_r + R_{\text{вх}}};$$

$$R_k \parallel R_H = \frac{10^3 \times 26}{10^3 + 26} = 25,3 \text{ Ом};$$

$$K_U = 0,99 \times \frac{25,3}{100 + 26} = \frac{0,9 \times 25,3}{126,1} = 0,2 ;$$

Ответ:  $K_U \approx 0,2$ ;  $K_I = 0,78$

### Задача №5

Дано:

$$R_{\beta 1} = 51 \text{ кОм}$$

$$R_{\beta 2} = 10 \text{ кОм}$$

$$R_k = 2 \text{ кОм}$$

$$R_3 = 680 \text{ Ом}$$

$$h_{21} = \beta = 50$$

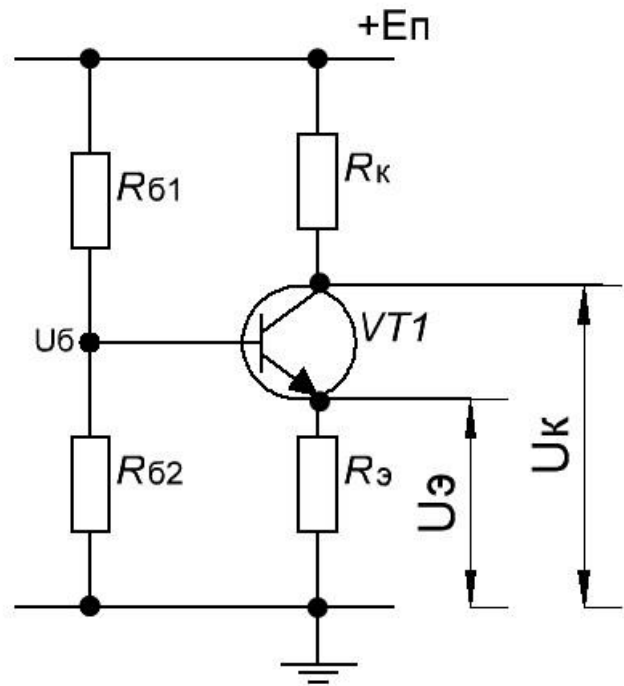
$$E_{\pi} = 12 \text{ В}$$

$$U_{\beta 0} = 0,7 \text{ В}$$

Транзистор: n-p-n

Найти:

$$U_{\beta 3}; I_{\beta \pi}; I_{k\pi}; I_{3\pi}$$



Решение.

Для получения РТ используем  $R_{\beta 1}$  и  $R_{\beta 2}$ .  $R_3$  отчисляет температурную стабилизацию.

$$U_{\beta} = E_{\pi} \times \frac{R_{\beta 2}}{R_{\beta 1} + R_{\beta 2}};$$

$$U_{\beta} = 12 \times \frac{10 \times 10^3}{61 \times 10^3} \approx 1,97 \text{ В} ;$$

$$U_3 = U_{\beta} - U_{\beta 0} ;$$

$$U_3 = 1,97 - 0,7 \approx 1,27 \text{ В} ;$$

$$I_{\text{ЭП}} = \frac{U_{\text{Э}}}{R_{\text{Э}}};$$

$$I_{\text{ЭП}} = \frac{1,27}{680} = 1,9 \text{ mA};$$

$$I_{\text{ЭП}} \approx I_{\text{КП}};$$

$$I_{\text{КП}} \approx 1,9 \text{ mA};$$

$$U_{\text{К}} = E_{\text{П}} - I_{\text{КП}} \times R_{\text{К}};$$

$$U_{\text{К}} = 12 - 1,9 \times 2 = 8,2 \text{ mA};$$

$$U_{\text{КП}} = U_{\text{К}} - U_{\text{Э}};$$

$$U_{\text{КП}} = 8,2 - 1,27 = 6,9 \text{ B};$$

$$I_{\text{БП}} = \frac{I_{\text{КП}}}{\beta};$$

$$I_{\text{БП}} = \frac{1,9 \times 10^{-3}}{50} = 0,038 \text{ mA};$$

**Ответ:**  $I_{\text{БП}} = 0,038 \text{ mA}$ ;  $I_{\text{КП}} \approx 1,9 \text{ mA}$ ;  $I_{\text{ЭП}} = 1,9 \text{ mA}$ ;  $U_{\text{БЭП}} \approx 1,97 \text{ B}$ .

### Пример расчета:

#### Задача №6

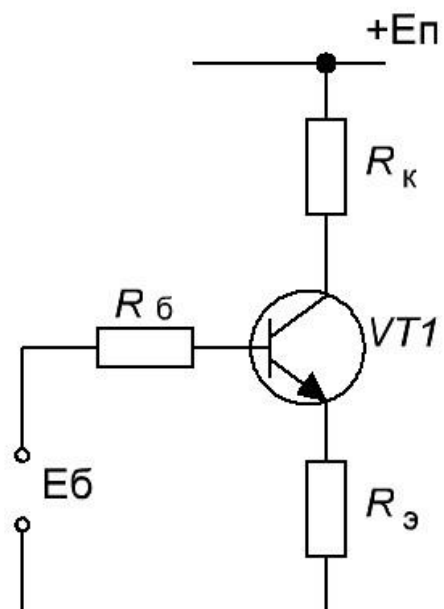
**Дано:**

$$R_{\text{Б1}} = 51 \text{ кОм}$$

$$R_{\text{Б2}} = 10 \text{ кОм}$$

$$R_{\text{К}} = 2 \text{ кОм}$$

$$R_{\text{Э}} = 680 \text{ Ом}$$





$$h_{21Э} = \beta = 50$$

$$E_{\Pi} = +12 \text{ В}$$

**Найти:**

$$U_{\text{кп}}; I_{\text{бп}}; I_{\text{кп}}; I_{\text{эп}}$$

**Решение.**

$$E_{\delta} = E_{\Pi} \times \frac{R_{\delta 2}}{R_{\delta 1} + R_{\delta 2}};$$

$$E_{\delta} = 12 \times \frac{10 \times 10^3}{61 \times 10^3} \approx 1,97 \text{ В};$$

$$R_{\delta} = R_{\delta 1} \parallel R_{\delta 2};$$

$$R_{\delta} = \frac{R_{\delta 1} \times R_{\delta 2}}{R_{\delta 1} + R_{\delta 2}} = \frac{51 \times 10^3 \times 10 \times 10^3}{61 \times 10^3} = 8,36 \text{ кОм};$$

$$I_{\text{бп}} = \frac{E_{\delta} - U_{\delta 0}}{[R_{\delta} + (1 + h_{21Э}) \times R_{\text{э}}]};$$

$$I_{\text{бп}} = \frac{1,97 - 0,7}{[8,36 + (1 + 100) \times 680] \times 10^3} = 0,016 \text{ мА};$$

$$I_{\text{кп}} = I_{\text{бп}} \times h_{21Э};$$

$$I_{\text{кп}} = 0,016 \times 100 = 1,6 \text{ мА};$$

$$U_{\text{кп}} = E_{\Pi} - I_{\text{кп}} \times R_{\text{к}} - I_{\text{эп}} \times R_{\text{э}};$$

$$U_{\text{кп}} = 12 - 1,6 \times 2 - 1,6 \times 680 \times 10^3 = 7,7 \text{ В}$$

**Ответ:**  $I_{\text{бп}} = 0,016 \text{ мА}; I_{\text{кп}} \approx 1,6 \text{ мА}; I_{\text{эп}} = 1,6 \text{ мА}; U_{\text{кп}} \approx 7,7 \text{ В}.$

**Пример расчета:**

**Задача №7**

**Дано:**

$$R_K = 2 \text{ кОм}$$

$$h_{21Э} = \beta = 150$$

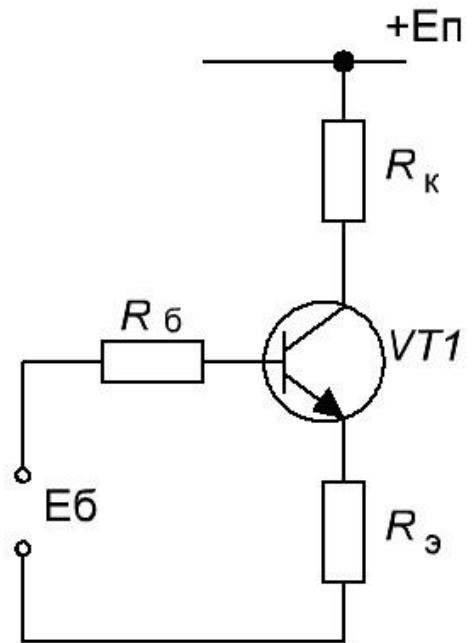
$$E_{\Pi} = +12 \text{ В}$$

$$U_K = 9 \text{ В}$$

$$U_3 = 1,7 \text{ В}$$

**Найти:**

$$R_{61}; R_{62}; R_3$$



**Решение.**

При выборе  $R_{61}, R_{62}, U_3 = (10 - 20)\% \times E_{\Pi}; U_K \geq E_{\Pi}/2$ .

$$U_{RK} = E_{\Pi} - U_K;$$

$$U_{RK} = 12 - 9 = 3 \text{ В};$$

$$I_{кп} = \frac{U_{RK}}{R_K};$$

$$I_{кп} = \frac{3}{2 \times 10^3} = 1,5 \text{ мА};$$

$$I_{эп} = \frac{I_{кп} \times (1 + h_{21Э})}{h_{21Э}};$$

$$I_{эп} = \frac{1,5 \times 10^{-3} \times (1 + 150)}{150} = 1,51 \text{ мА};$$

$$I_{6п} = \frac{I_{кп}}{h_{21Э}};$$

$$I_{6\Pi} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{150} = 10 \text{ мкА} ;$$

$$U_{\text{кп}} = U_{\text{к}} - U_{\text{э}} ;$$

$$U_{\text{кп}} = 9 - 1,7 = 7,3 \text{ В} ;$$

$$R_{\text{э}} = \frac{U_{\text{э}}}{I_{\text{э\Pi}}} ;$$

$$R_{\text{э}} = \frac{1,7}{1,51 \times 10^{-3}} = 1,13 \text{ кОм} ;$$

$$R_{\text{б}} = \frac{R_{\text{э}} \times h_{21}}{10} ;$$

$$R_{\text{б}} = \frac{1,13 \times 150}{10} = 17 \text{ кОм} ;$$

$$E_{\text{б}} = U_{\text{э}} + U_{\text{б0}} + I_{\text{б\Pi}} \times R_{\text{б}} ;$$

$$E_{\text{б}} = 1,7 + 0,7 + 0,01 \times 17 = 2,57 \text{ В} ;$$

$$R_{\text{б1}} = \frac{R_{\text{б}} \times E_{\text{п}}}{E_{\text{б}}} ;$$

$$R_{\text{б1}} = \frac{17 \times 10^3 \times 12}{2,57} = 79 \text{ кОм} ;$$

$$R_{\text{б2}} = \frac{R_{\text{б}}}{1 + \frac{E_{\text{б}}}{E_{\text{к}}}} ;$$

$$R_{\text{б2}} = \frac{17 \times 10^3}{1 + \frac{2,57}{12}} = 14 \text{ кОм} ;$$

**Ответ:**  $R_{\text{б1}} = 79 \text{ кОм}$ ;  $R_{\text{б2}} = 14 \text{ кОм}$ ;  $R_{\text{э}} = 1,13 \text{ кОм}$ .

**Пример расчета:**

**Задача №8**

**Дано:**

$$R_{\beta 1} = 100 \text{ кОм}$$

$$R_{\beta 2} = 51 \text{ кОм}$$

$$R_k = 2 \text{ кОм}$$

$$R_3 = 0,51 \text{ кОм}$$

$$h_{21Э} = \beta = 49$$

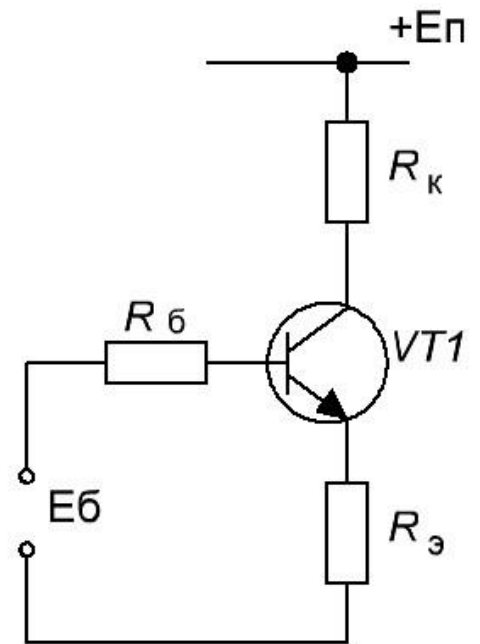
$$E_{\pi} = 15 \text{ В}$$

$$I_{K0} = 10 \times 10^{-6} \text{ А}$$

**Найти:**

$$U_{\text{кп}}$$

**Решение.**



$$E_{\beta} = E_{\pi} \times \frac{R_{\beta 2}}{R_{\beta 1} + R_{\beta 2}};$$

$$E_{\beta} = \frac{15 \times 51}{151} \approx 5,1 \text{ В};$$

$$R_{\beta} = R_{\beta 1} \parallel R_{\beta 2};$$

$$R_{\beta} = \frac{R_{\beta 1} \times R_{\beta 2}}{R_{\beta 1} + R_{\beta 2}} = \frac{51 \times 100}{151} = 33,77 \text{ кОм};$$

$$I_{\beta} = \frac{E_{\beta}}{[R_{\beta} + (1 + h_{21Э}) \times R_3]};$$

$$I_{\beta} = \frac{5,1}{[33,77 + (1 + 49) \times 0,51] \times 10^3} = 87 \text{ мкА};$$

$$U_6 = E_{\Pi} - I_6 \times R_6 ;$$

$$U_6 = 5,1 - 0,087 \times 33,77 = 2,16 \text{ В};$$

$$I_k = I_6 \times h_{21Э} + I_{K0} ;$$

$$I_k = 49 \times 87 + 10^{-6} = 4,27 \text{ мА} ;$$

$$U_k = E_k - I_k \times R_k ;$$

$$U_k = 15 - 4,27 \times 2 = 6,4 \text{ В};$$

**Ответ:**  $U_{кп} = 6,4 \text{ В}$ .

### Задачи:

1. В схеме используется транзистор с коэффициентом передачи  $\beta=50$  и обратным током коллектора  $I_{к60}=10\text{мкА}$ . Напряжение источника питания  $E_{\Pi}=-15\text{В}$ . Определить сопротивления  $R_6$  и  $R_{\Pi}$ , если ток коллектора  $I_k=1\text{мА}$ , напряжение коллектор-эмиттер  $U_{кэ}=-6\text{В}$ . Рассчитать входное сопротивление каскада с ОЭ при следующих данных: транзистор КТ503А,  $h_{11э}=1,4\text{кОм}$ ,  $R_6=7,4\text{кОм}$ .

2. Для схемы усилительного каскада с ОЭ определить входное напряжение, обеспечивающее получение выходного напряжения  $U_{\text{вых}} = U_{\Pi}/2$ . Параметры схемы:  $U_{\Pi} = 15 \text{ В}$ ,  $R_k = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_6 = 50 \text{ Ом}$ . Транзистор КТ830А.  $h_{21Э} = 25$ . Входные и выходные характеристики транзистора приведены на рис. 1, б, в.

3. Для схемы усилительного каскада с ОЭ имеем:  $R_{61} = 1,8 \text{ кОм}$ ,  $R_{62} = 2,4 \text{ кОм}$ ,  $R_k = 1 \text{ кОм}$ ,  $VT - \text{КТ830А}$ ,  $U_{\Pi} = 20 \text{ В}$ ,  $h_{21Э} = 20$ ,  $u_{\text{вх}} = 2,8 + 0,7 \sin \omega t$ ;  $\omega = 100\pi$ . Определить  $i_k$  и  $u_{\text{вых}}$ .

4. Биполярный транзистор имеет следующие справочные данные:  $h_{21Э} = 13-50$ ;  $f_{h_{21Э}} = 10 \text{ МГц}$ . Чему равен его коэффициент передачи в схеме с ОЭ на частоте  $20\text{МГц}$ . Можно ли использовать его в схеме усилителя с ОБ для работы на частоте  $500\text{МГц}$ ? Чему равна предельная частота работы этого транзистора?