

## Практическое занятие №7

### РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

#### Теоретические сведения

Транзисторы в усилительных каскадах работают в активном режиме, который характеризуется тем, что эмиттерный  $p-n$ -переход транзисторов включен в прямом направлении, т.е. открыт, а коллекторный – в обратном направлении, т.е. закрыт. На открытом эмиттерном переходе кремниевого транзистора падает напряжение  $U_{бэ} = (0,6 \div 0,8)$  В, т.е. *разность потенциалов* между базой и эмиттером  $\varphi_б - \varphi_э = U_{бэ} = (0,6 \div 0,8)$  В.

Следует также учитывать, что токи в транзисторе, работающем в активном режиме, связаны следующими соотношениями:

$$I_э = I_к + I_б, I_к = \beta I_б, I_э = (\beta + 1)I_б.$$

При этом, как правило, коэффициент усиления базового тока  $\beta \gg 1$ , а это означает, что  $I_б \ll I_к, I_э$ .

И еще помним о том, что конденсаторы постоянный ток не пропускают, так что ветви с ними просто разрываем.

#### Задачи для решения

**Задача 1.** Рассчитать режим по постоянному току простейшего усилительного каскада с общим эмиттером, схема которого приведена на рис. 1 (найти значения токов  $I_б$  и  $I_к$  и напряжения покоя  $U_{кэ}$ ). При расчете учесть, что  $R_б = 910$  кОм,  $R_к = 5,1$  кОм,  $E = 10$  В, а  $\beta = 100$ . Как изменится режим покоя, если с ростом температуры  $\beta$  возрастет до 150? Считать, что  $U_{бэ} \approx 0,7$ .

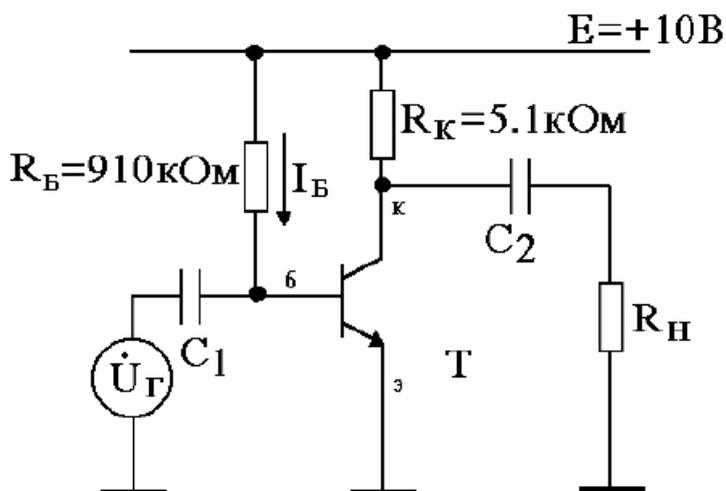


Рис. 1. Каскад с общим эмиттером со стабилизацией рабочей точки фиксированным током базы

### Методические указания к решению задачи 1

1. Сначала найдем ток базы, который течет от источника питания  $E$  в узел с потенциалом  $\varphi_6$  через резистор  $R_6$ :

$$I_6 = \frac{E - \varphi_6}{R_6} = \frac{E - U_{6э}}{R_6} = ?$$

2. Найдем коллекторный ток из найденного тока базы.

3. Определим напряжение  $U_{кэ}$  из известных значений  $E$ ,  $R_к$  и найденного тока  $I_к$ .

4. Определим  $I_к$  и  $U_{кэ}$  для значения  $\beta = 150$ .

**Задача 2.** Рассчитать по постоянному току транзисторный каскад с общим эмиттером, схема которого приведена на рис. 2. Параметры схемы и транзистора:  $E = 15$  В,  $R_1 = 100$  кОм,  $R_2 = 51$  кОм,  $R_3 = 4,3$  кОм,  $R_к = 5,1$  кОм,  $\beta = 100$ ,  $U_{6э} \approx 0,7$  В.

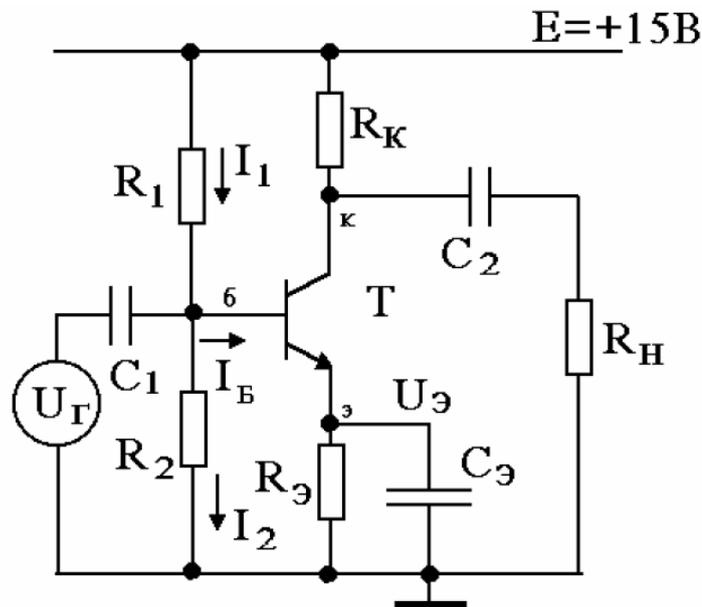


Рис. 2. Каскад с общим эмиттером со стабилизацией рабочей точки фиксированным потенциалом базы (с базовым делителем напряжения)

### Методические указания к решению задачи 2

1. Найдем потенциал  $\varphi_6$  – потенциал средней точки делителя напряжения  $R_1$ ,  $R_2$ . Для токов, протекающих в базовой цепи, как видно из рис. 2, выполняется соотношение:  $I_1 = I_2 + I_6$ . При этом в усилителях обычно входной ток делителя  $I_1 \gg I_6$ . С учетом этого, пренебрежем током базы на данном этапе, при первичном расчете потенциала базы:

$$\varphi_6 = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 = ?$$

2. Найдем потенциал эмиттера, зная потенциал базы и разность потенциалов  $U_{6э} \approx 0,7$  В.

3. Зная потенциал  $\varphi_э$  и сопротивление  $R_э$ , найдем ток эмиттера  $I_э$ .

4. Зная эмиттерный ток, найдем токи базы и коллектора.

5. Определим потенциал коллектора  $\varphi_k$  из известных значений  $E$ ,  $R_k$  и найденного тока  $I_k$ . Найдем значение  $U_{кэ} = \varphi_k - \varphi_э$ .

6. Уточним значение потенциала базы  $\varphi_б$  с учетом найденного значения тока базы:

$$I_1 = I_2 + I_б \Rightarrow \frac{E - \varphi_б}{R_1} = \frac{\varphi_б}{R_2} + I_б.$$

Подставив известные значения  $E$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  и  $I_б$ , найдем  $\varphi_б$ .

(Далее алгоритм можно повторить с п. 2: найти уточненное значение  $\varphi_э$ ,  $I_э$ ,  $I_k$ ,  $I_б$  и т.д. Но мы этого делать не будем))

**Задача 3.** Рассчитать по постоянному току эмиттерный повторитель (каскад с общим коллектором), схема которого приведена на рис. 3. Параметры схемы и транзистора:  $E = 15$  В,  $R_1 = 75$  кОм,  $R_2 = 150$  кОм,  $R_э = 9,1$  кОм,  $\beta = 100$ ,  $U_{бэ} \approx 0,7$  В.

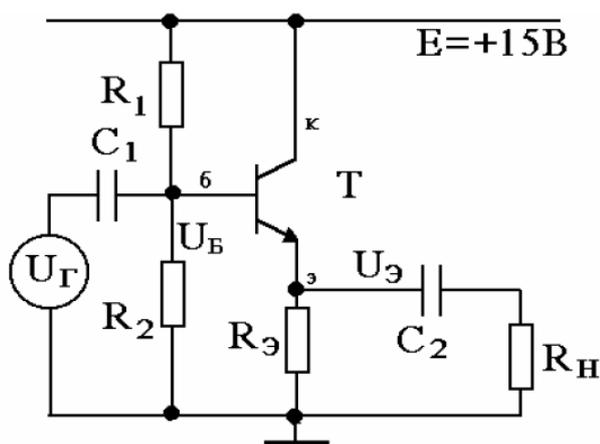


Рис. 3. Каскад с общим коллектором со стабилизацией рабочей точки фиксированным потенциалом базы (с базовым делителем напряжения)

### Методические указания к решению задачи 3

1. Найдем потенциал базы в соответствии с п. 1 методических указаний к задаче 2.

2. Найдем потенциал эмиттера, как в задаче 2. Найдем напряжение  $U_{кэ} = E - \varphi_э$ .

3. Найдем токи эмиттера и базы, как в задаче 2.

4. Уточним значение потенциала базы  $\varphi_б$  с учетом найденного значения тока базы, как в задаче 2.

5. Уточним значение потенциала эмиттера  $\varphi_э$  и напряжения  $U_{кэ}$ .

**Задача 4.** Составив для показанного на рис. 3 усилительного каскада с общим коллектором схему замещения по постоянному току с использованием кусочно-линейной статической модели биполярного транзистора (рис. 4), найти значения токов  $I_б$  и  $I_k$  и напряжений  $U_{бэ}$  и  $U_{кэ}$ . Параметры схемы и модели транзистора:  $E = 15$  В,  $R_1 = 75$  кОм,  $R_2 = 150$  кОм,  $R_э = 9,1$  кОм,  $U_{бэ0} \approx 0,6$  В,  $r_{вх} = 100$  Ом,  $\beta = 100$ ,  $r_{вых} = 10$  кОм.

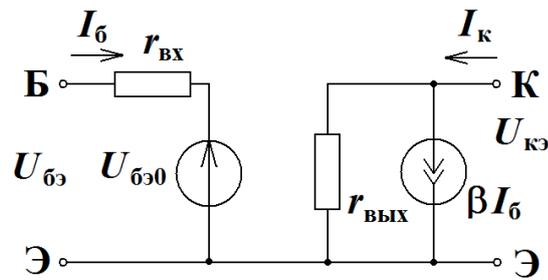


Рис. 4. Кусочно-линейная модель биполярного транзистора для статического анализа

#### Методические указания к решению задачи 4

Схема замещения показанного на рис. 3 эмиттерного повторителя показана на рис. 5. Мы отбросили (разорвали) ветви с конденсаторами, поскольку они не пропускают постоянный ток. Для удобства восприятия схемы мы «поделили» источник питания  $E$  между входной и выходной цепью, хотя это один и тот же источник.

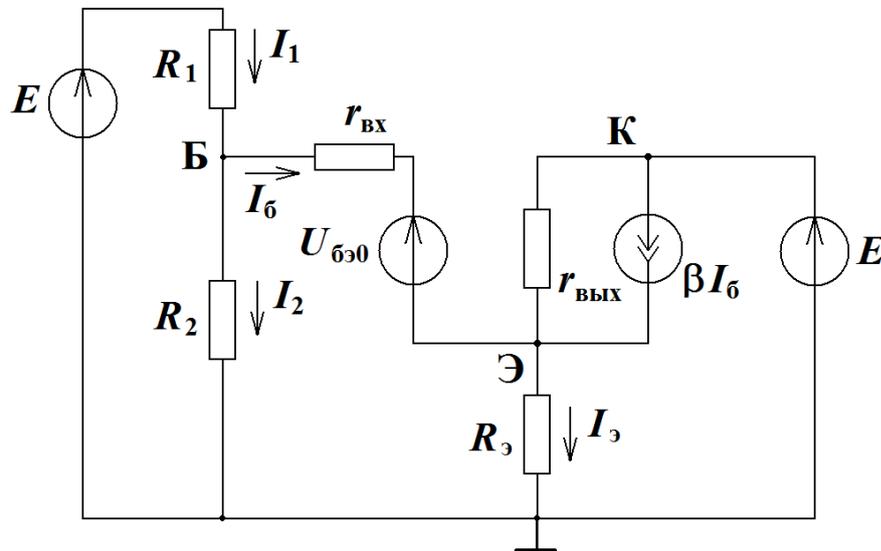


Рис. 5. Схема замещения по постоянному току каскада с общим коллектором

Составим систему уравнений по методу узловых потенциалов для схемы замещения. Нам уже известен потенциал узла коллектора, к которому подключен источник  $E$ , т.е.  $\varphi_K = E$ . Потенциалы  $\varphi_B$  и  $\varphi_E$  неизвестны, их и будем искать. Получим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \varphi_B (g_1 + g_2 + g_{ВХ}) - \varphi_E g_{ВХ} = E \cdot g_1 + U_{бэ0} \cdot g_{ВХ}; \\ -\varphi_B g_{ВХ} + \varphi_E (g_3 + g_{ВХ} + g_{ВЫХ}) = \beta I_6 + E \cdot g_{ВЫХ} - U_{бэ0} \cdot g_{ВХ}, \end{cases}$$

где  $g = 1/R$  – проводимость соответствующей ветви.

Во втором уравнении системы ток  $I_6$  нам также неизвестен, т.е. получается на 2 уравнения 3 неизвестных. «Избавимся» от «лишнего» неизвестного, выразив его через искомые потенциалы:

$$I_6 = (\varphi_B - \varphi_E) g_{ВХ}.$$

Получим

$$\begin{cases} \varphi_6(g_1 + g_2 + g_{\text{ВХ}}) - \varphi_3 g_{\text{ВХ}} = E \cdot g_1 + U_{630} \cdot g_{\text{ВХ}}; \\ -\varphi_6 g_{\text{ВХ}} + \varphi_3(g_3 + g_{\text{ВХ}} + g_{\text{ВЫХ}}) = \beta(\varphi_6 - \varphi_3 - U_{630})g_{\text{ВХ}} + E \cdot g_{\text{ВЫХ}} - U_{630} \cdot g_{\text{ВХ}}, \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} \varphi_6(g_1 + g_2 + g_{\text{ВХ}}) - \varphi_3 g_{\text{ВХ}} = E \cdot g_1 + U_{630} \cdot g_{\text{ВХ}}; \\ -\varphi_6(\beta + 1)g_{\text{ВХ}} + \varphi_3(g_3 + (\beta + 1)g_{\text{ВХ}} + g_{\text{ВЫХ}}) = E \cdot g_{\text{ВЫХ}} - U_{630}(\beta + 1)g_{\text{ВХ}}. \end{cases}$$

Подставляем в систему известные значения  $E$ ,  $U_{630}$ ,  $\beta$  и найденные из известных сопротивлений проводимости  $g$  и решаем ее любым известным способом, находя значения  $\varphi_6$  и  $\varphi_3$ .

Далее из найденных значений  $\varphi_6$  и  $\varphi_3$  можно найти значения токов и напряжений схемы:

$$I_1 = \frac{E - \varphi_6}{R_1}; \quad I_2 = \frac{\varphi_6}{R_2}; \quad I_6 = \frac{\varphi_6 - \varphi_3 - U_{630}}{r_{\text{ВХ}}}; \quad U_{63} = \varphi_6 - \varphi_3; \quad U_{\text{кз}} = E - \varphi_3.$$

*Подсказка: поскольку в системе участвуют очень малые величины проводимостей ( $10^{-4}$  и даже  $10^{-5}$  См), это может привести к большим погрешностям при подсчете. Рекомендуется сначала помножить левую и правую части каждого уравнения системы, например, на 1000 или даже на 10000 и затем уже решать.*