

**Лабораторная работа № 04 ДО**  
**ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ**  
**БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА**

**Теоретическая справка**

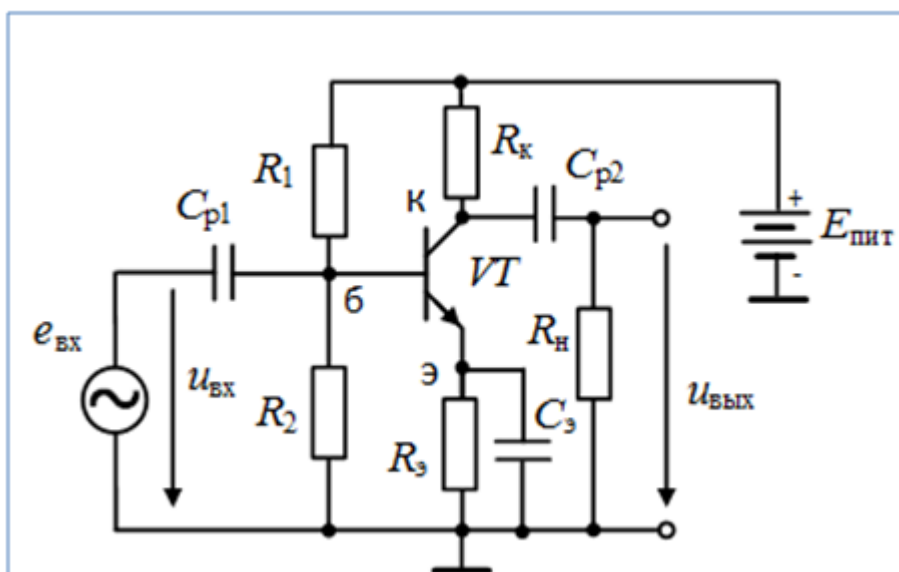
***Усилительный каскад на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером***

Рассмотрим усилитель, в котором транзистор включен по схеме с общим эмиттером, а для стабилизации положения рабочей точки используется отрицательная обратная связь по току (**рис. 1,а** или **рис 1,б**).

Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  являются разделительными:  $C_1$  препятствует связи источника входного сигнала и усилителя по постоянному току, а  $C_2$  служит для разделения по постоянному току коллекторной цепи и нагрузки. Емкости  $C_1$  и  $C_2$  выбирают такими, что на частоте переменной составляющей их сопротивлением можно было пренебречь. Резистор  $R_T$  учитывает внутреннее сопротивление источника сигнала. Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  образуют делитель напряжения, определяющий положение рабочей точки эмиттерного перехода.

Резистор в цепи коллектора преобразует изменение тока коллектора в выходное напряжение. На выходе цепи включен резистор нагрузки  $R_H$ , с которого снимается усиленный сигнал.

Резистор  $R_3$  является цепью отрицательной обратной связи. Конденсатор  $C_3$  в цепи эмиттера шунтирует резистор  $R_3$ . Ёмкость этого конденсатора выбирают такой, чтобы на нижней границе полосы пропускания усилителя  $X_{C3} \ll R_3$ . При наличии  $C_3$  *увеличивается коэффициент усиления переменной составляющей*.



**Рис. 1,а (n-p-n транзистор)**

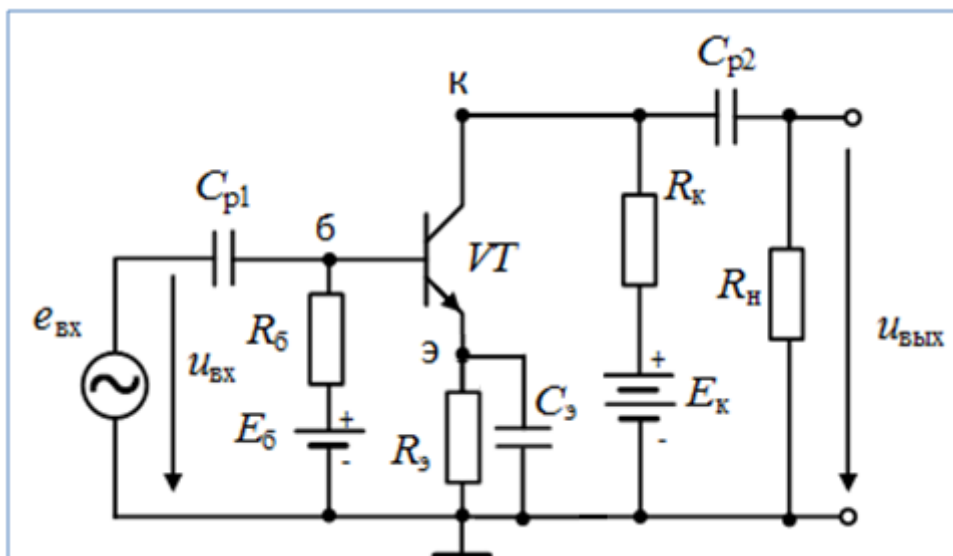


Рис. 1,б (*n-p-n* транзистор)  $E_6 = E_{\text{пит}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$   $R_6 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

Поскольку в схеме действуют источники переменного (источник сигнала на входе) и постоянного напряжения, для расчета используем метод наложения. Проанализируем цепь отдельно для постоянной и переменной составляющих. Напомним, что анализ по постоянной составляющей называют анализом в режиме большого сигнала, а по переменной составляющей – анализом в режиме малого сигнала.

Для определения переменных составляющих как правило используются аналитические методы расчета, основанные на использовании эквивалентных схем. Если амплитуда переменных составляющих значительно меньше постоянных составляющих токов и напряжений, то используется **малосигнальная эквивалентная схема**, например, в ***h*-параметрах**.

Используя ***h*-параметры** можно составить уравнения для приращений токов и напряжений:

$$\begin{aligned} \Delta U_{6э} &= h_{11э} \Delta I_6 + h_{12э} \Delta U_{кэ} \\ \Delta I_к &= h_{21э} \Delta I_6 + h_{22э} \Delta U_{кэ} \end{aligned}$$

### ***Методика графического определения *h* – параметров транзистора***

Располагая вольтамперными характеристиками транзистора, можно графическим путем определить низкочастотные значения *h*-параметров. Для определения *h*-параметры необходимо задать рабочую точку, например, А ( $I_{6А}$ ,  $U_{6эА}$ ), в которой требуется найти параметры (рис. 2,а).

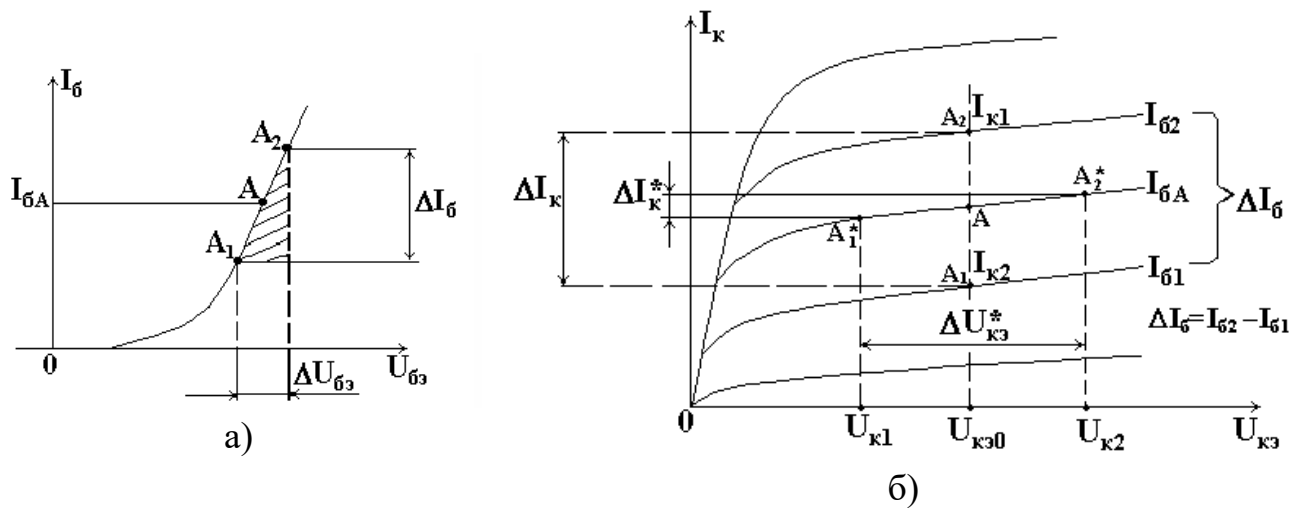


Рис. 2

Параметры  $h_{11э}$  и  $h_{12э}$  находят по входной характеристике  $U_{63} = f_1(I_6)|_{U_{к3}=\text{const}}$ .

Определим  $h_{11э}$  для заданной рабочей точки А ( $I_{6A}$ ,  $U_{63A}$ ). На входной характеристике находим точку А, соответствующую заданной рабочей точке (рис. 2,а). Выбираем вблизи рабочей точки А две вспомогательные точки  $A_1$  и  $A_2$  (приблизительно на одинаковом расстоянии), определим по ним  $\Delta U_{63}$  и  $\Delta I_6$  и рассчитаем входное дифференциальное сопротивление, по формуле:

$$h_{11э} = (\Delta U_{63} / \Delta I_6)|_{U_{к3}=\text{const}}.$$

Приращения  $\Delta U_{63}$  и  $\Delta I_6$  выбираю так, чтобы не выходить за пределы линейного участка, примерно (10-20)% от значений напряжения и тока в рабочей точке.

Графическое определение параметра  $h_{12э} = \Delta U_{63} / \Delta U_{к3}$  затруднено, так как семейство входных характеристик при различных  $U_{к3} > 0$  практически сливается в одну.

Параметры  $h_{22э}$  и  $h_{21э}$  определяются из семейства выходных характеристик транзистора  $I_к = f_1(U_{к3})$  (рис. 2,б).

Параметр  $h_{21э} = (\Delta I_к / \Delta I_6)|_{U_{к3}=\text{const}}$  находится в заданной рабочей точке А ( $I_{кA}$ ,  $U_{к3A}$ ). Приращение тока базы  $\Delta I_6$  следует брать вблизи выбранного значения тока базы  $I_{6A}|_{U_{к3}=U_{к3A}}$ , как  $\Delta I_6 = I_{62} - I_{61}$ . Этому приращению  $\Delta I_6$  соответствует приращение коллекторного тока  $\Delta I_к = I_{к2} - I_{к1}$  (см. рис. 2,б). Тогда коэффициент передачи тока базы можно рассчитать по формуле  $h_{21э} = (\Delta I_к / \Delta I_6)|_{U_{к3}=\text{const}}$ .

Параметр  $h_{22э} = (\Delta I_к / \Delta U_{к3})|_{I_6=\text{const}}$  определяется по наклону выходной характеристики (рис. 2,б) в заданной рабочей точки А ( $I_{кA}$ ,  $U_{к3A}$ ), где  $\Delta U_{к3}|_{I_6=I_{6A}} = U_{к2} - U_{к1}$  — приращение коллекторного напряжения, вызывающие приращение коллекторного тока  $\Delta I_к^*$ . При этом из семейства выходных

характеристик следует выбирать ту характеристику, которая снята при выбранном значении тока базы  $I_6 = I_{6A}$ .

Если рабочая точка не лежит ни на одной из выходных характеристик, приведенных на ВАХ, то надо провести самостоятельно дополнительную характеристику, соответствующую току базы  $I_{6A}$ .

### ***Основные параметры усилительного каскада***

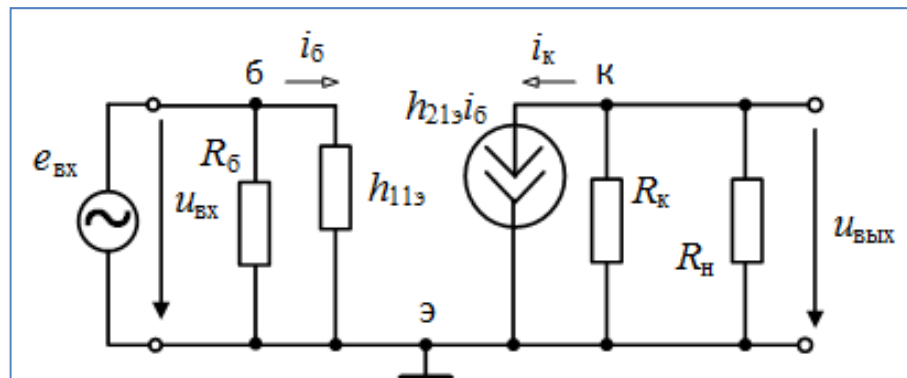
Основными параметрами усилительного каскада являются коэффициент усиления, входное и выходное сопротивления. Определим эти параметры, используя малосигнальную схему замещения с  $h$  – параметрами.

В современных справочниках  $h$ -параметры, как правило, не задаются. В этом случае их можно приближенно определить через рабочий ток транзистора  $I_{KA}$  и коэффициент усиления  $\beta$  следующим образом:

$$h_{11э} \approx \beta \frac{\varphi_T}{I_{KA}}, \quad h_{21э} = \beta, \quad h_{22э} \approx 0.$$

Здесь  $\varphi_T$  – тепловой потенциал, который для комнатной температуры  $+20^\circ\text{C}$  примерно равен 25 мВ.

***При отсутствии обратной связи по переменной составляющей***, то есть при наличии шунтирующего конденсатора  $C_3$  можно использовать малосигнальную схему, представленную на **рис. 3**.



**Рис. 3**

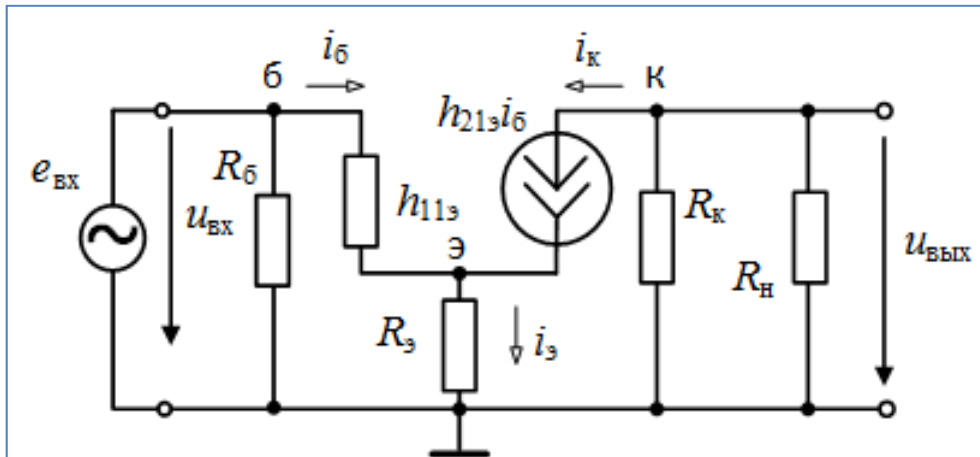
***Коэффициент усиления по напряжению***

$$K_u = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} = \frac{-h_{21э}(R_K \parallel R_H)}{h_{11э}}.$$

$$\text{Входное сопротивление } R_{\text{ВХ}} = \frac{u_{\text{ВХ}}}{i_{\text{ВХ}}} = R_6 \parallel h_{11э}$$

**Выходное сопротивление**  $R_{\text{ВЫХ}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{i_{\text{ВЫХ}}} = R_{\text{К}}$

**При наличии обратной связи по переменной составляющей**, то есть при отсутствии шунтирующего конденсатора  $C_{\text{э}}$  можно использовать малосигнальную схему, представленную на **рис. 4**.



**Рис. 4**

**Коэффициент усиления по напряжению**

$$K_u = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} = -h_{21э} \frac{R_{\text{К}} \parallel R_{\text{Н}}}{h_{11э} + R_3(1 + h_{21э})} \approx -\frac{R_{\text{К}} \parallel R_{\text{Н}}}{R_3},$$

при  $R_{\text{Н}} \rightarrow \infty$  (режим холостого хода)  $K_u|_{\text{хх}} \approx -\frac{R_{\text{К}}}{R_3}.$

**Входное сопротивление**  $R_{\text{ВХ}} = \frac{u_{\text{ВХ}}}{i_{\text{ВХ}}} = R_6 \parallel [h_{11э} + (1 + h_{21э})R_3]$

**Выходное сопротивление**  $R_{\text{ВЫХ}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{i_{\text{ВЫХ}}} = R_{\text{К}}$