

### 5.3. УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

В усилителе на БТ транзистор должен работать в активном режиме, при котором эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный — в обратном. В усилителях, показанных на рис. 5.2, *a* и рис. 5.3, смещение осуществляется отдельными источниками, однако в большинстве случаев вместо этих источников используются специальные цепи смещения.

В зависимости от способа смещения эмиттерного перехода различают усилители с фиксированным током базы, с фиксированным напряжением база — эмиттер и с цепью смещения с отрицательной обратной связью.

**Усилитель с фиксированным током базы.** Схема усилительного каскада с фиксированным током базы показана на рис. 5.7, *a*.

Расчет режима покоя начинается с построения выходной нагрузочной прямой на семействе статических выходных характеристик (рис. 5.7, *б*) в соответствии с уравнением

$$U_{кэ} = E_k - I_R R_k$$

и выбора рабочей точки  $I$  на выходных и входных (рис. 5.7, *б*, *в*) характеристиках. При заданных значе-

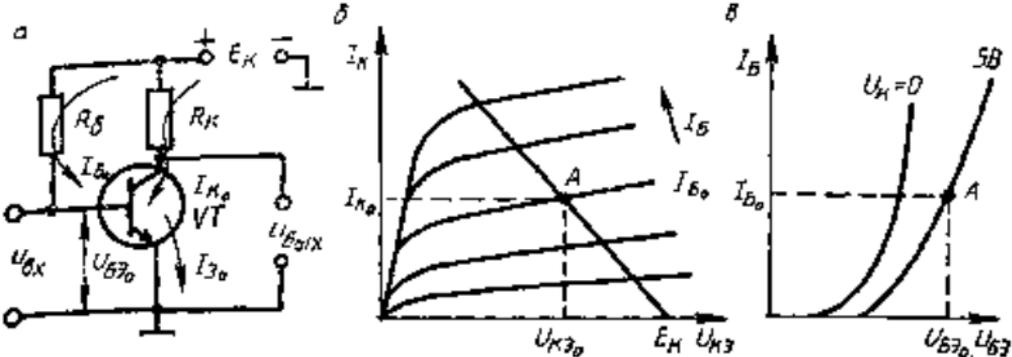


Рис. 5.7. Схема усилителя на БТ с фиксированным током базы (а) и характеристики транзистора (б, в)

ниях  $E_k$  и  $R_k$  режим покоя однозначно определяется значением тока базы  $I_{B0}$ , равным

$$I_{B0} = \frac{E_k - U_{BЭ0}}{R_б} \approx \frac{E_k}{R_б}$$

и не зависящим от типа транзистора, так как  $U_{BЭ0} \ll \ll E_k$ . Следовательно, формула для расчета сопротивления резистора  $R_б$  имеет вид

$$R_б = \frac{E_k - U_{BЭ0}}{I_{B0}} \approx \frac{E_k}{I_{B0}}$$

**Усилитель с фиксированным напряжением базы.** Ре-

жим покоя можно обеспечить и другим способом, задав,

наприм

переход

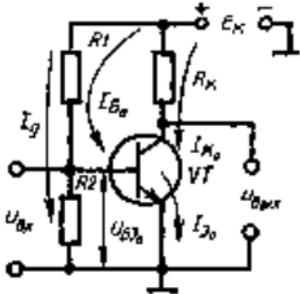


рис. 5.

Рис. 5.8. Схема усилителя на БТ с фиксированным напряжением базы

$R_2$

ход с резистора  $R_2$ . Таким образом, должно быть обеспе-

$$U_{R2} = I_A R_2 = U_{BЭ0},$$

чено равенство

$$U_{R2} = I_A R_2 = U_{BЭ0}, \quad R_1 R_2$$

где  $I_A$  — ток, протекающий через делитель  $R_1 R_2$ . Тогда

$$R_2 = \frac{U_{BЭ0}}{I_A}$$

того  
на  
пре-

$$R1 = \frac{U_{R1}}{I_1 + I_{B0}} = \frac{E_k - U_{B30}}{I_1 + I_{B0}}$$

Ток делителя  $I_A$  в маломощных каскадах предварительного усиления выбирают из условия  $I_1 = (5 \dots 10) I_{B0}$ , а в мощных каскадах — из условия  $I_A = (2 \dots 5) I_{B0}$ .

Недостатком усилителей с фиксированным током базы и с фиксированным напряжением база — эмиттер является их низкая температурная стабильность. Изменение температуры приводит к изменению тока базы (а также токов коллектора и эмиттера), что вызывает изменение режима покоя.

**Усилитель с эмиттерной термостабилизацией.** Для стабилизации режима покоя в усилитель вводят элементы или цепи, создающие ООС. На рис. 5.9, а показана схема усилителя с фиксированным напряжением база — эмиттер и последовательной ООС по току, образуемой резистором  $R3$  в цепи эмиттера.

В таком усилителе

$$U_{B30} = U_{R2} - U_{R3},$$

где  $U_{R2} = I_A R2$ ;  $U_{R3} = I_{30} R3$ .

Рассмотрим, как осуществляется стабилизация режима в таком усилителе при изменении температуры (термостабилизация).

Увеличение температуры вызывает увеличение токов  $I_{B0}$ ,  $I_{30}$ ,  $I_{K0}$  и напряжения  $U_{R3} = I_{30} R3$ . Так как напряжение  $U_{R2}$  с изменением температуры практически не изменяется, то увеличение напряжения  $U_{R3}$  приводит к уменьшению напряжения  $U_{B30} = U_{R2} - U_{R3}$ . Уменьшение напряжения  $U_{B30}$  влечет за собой уменьшение токов транзистора. В результате изменения токов транзистора, вызванные изменением температуры, при наличии резистора  $R3$  оказываются меньшими, чем в усилителе без такого резистора. Поэтому резистор  $R3$  называют резистором термостабилизации.

Расчет сопротивлений резисторов  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$  осуществляется следующим образом:

$$R3 = U_{R3} / I_{30}.$$

В целях экономичности и получения удовлетворительной температурной стабильности напряжение  $U_{R3}$  выбирают в пределах

$$U_{R3} = (0,1 \dots 0,2) E_k.$$

Затем определяют

$$R2 = \frac{U_{БЭ0} + U_{R1}}{I_a}$$

и

$$R1 = \frac{E_k - U_{R2}}{I_a + I_{Б0}} = \frac{E_k - (U_{БЭ0} + U_{R1})}{I_a + I_{Б0}}$$

Рассмотренный вид стабилизации режима работы транзистора называют эмиттерной стабилизацией.

**Усилитель с коллекторной стабилизацией режима.** В данном усилителе (рис. 5.9, б) через резистор  $R1$  дейст-

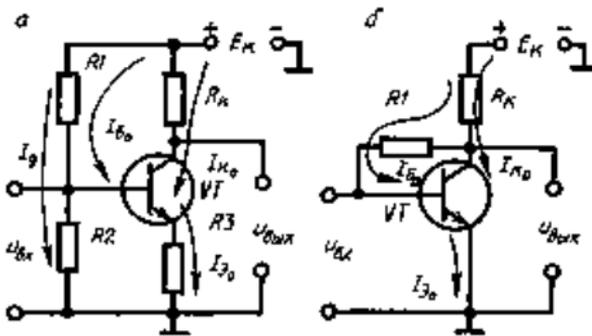


Рис. 5.9. Схемы усилителей на БТ с эмиттерной (а) и коллекторной (б) стабилизацией

вует параллельная ООС по напряжению. Сопротивление этого резистора рассчитывается по формуле

$$R1 = \frac{U_{КЭ0} - U_{БЭ0}}{I_{Б0}}$$

Стабилизация режима аокоя в таком усилителе заключается в следующем. Увеличение температуры приводит к увеличению токов  $I_{Б0}$ ,  $I_{К0}$  и  $I_{Э0}$ . В результате увеличивается напряжение  $U_{Rk} = I_{К0}R_k$ , а напряжение  $U_{КЭ0} = E_k - I_{К0}R_k$  уменьшается. Так как

$$I_{Б0} = \frac{U_{КЭ0} - U_{БЭ0}}{R1} \approx \frac{U_{КЭ0}}{R1},$$

то уменьшение  $U_{КЭ0}$  вызывает уменьшение тока  $I_{Б0}$  и, следовательно, уменьшение токов  $I_{К0}$ ,  $I_{Э0}$ .

**Коэффициент нестабильности.** Для количественной оценки термостабильности режима усилительных каскадов с ООС на БТ вводится коэффициент нестабильности  $N$ . Этот коэффициент показывает, во сколько раз температурные изменения коллекторного тока  $\Delta I_{К0}$  в усилителе

с ООС больше, чем температурные изменения коллекторного тока  $\Delta I_{K0}$  в усилителе с идеальной термостабилизацией режима, т. е.

$$N = \Delta I_{K0} / \Delta I_{K0}.$$

Для усилителя с ОЭ, схема которого показана на рис. 5.9, а, выражение коэффициента неустойчивости принимает вид

$$N = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э} R3 / (R3 + R_0)}, \quad (5.2)$$

где  $R_0 = R1 \parallel R2$  — сопротивление переменному току базовой цепи.

Согласно выражению (5.2), при  $R3 = 0$ , т. е. при отсутствии ООС,  $N_{\max} = h_{21э}$ . Если  $R3 \rightarrow \infty$ , то получим усилитель с идеальной термостабилизацией, у которого  $N_{\min} = 1$ . Таким образом, значения коэффициента неустойчивости могут составлять от 1 до  $h_{21э}$  и зависят от сопротивления резистора  $R3$  в цепи эмиттера.

Недостатком стабилизации режима с помощью ООС является увеличение расхода мощности, потребляемой усилителем от источника питания, и уменьшение коэффициента усиления. При усилении переменного напряжения последний недостаток устраняется шунтированием элементов ООС конденсаторами большой емкости.