

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-

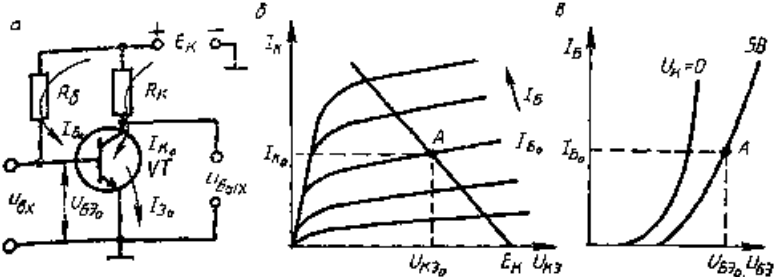


Рис. 5.7. Схема усилителя на БТ с фиксированным током базы (а) и характеристики транзистора (б, в)

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

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

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

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

Усилитель с фиксированным напряжением базы. Ре-

жим покоя можно обеспечить и другим способом, задав,

наприм

переход

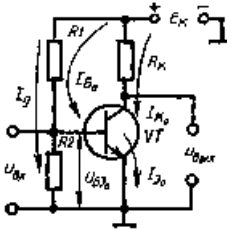


Рис. 5.8. Схема усилителя на БТ с фиксированным напряжением базы

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

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

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-

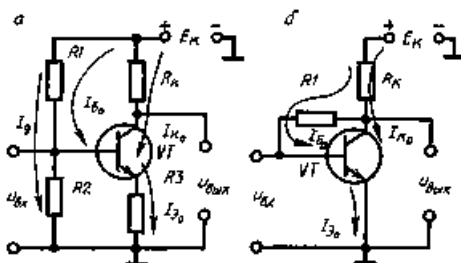


Рис. 5.9. Схемы усилителей на БТ с эмиттерной (а) и коллекторной (б) стабилизацией

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 $U_{R_k} = I_{K0}R_k$, а напряжение $U_{КЭ0} = E_k - I_{K0}R_k$ 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 ΔI_{K0} в усилителе

с ООС больше, чем температурные изменения коллекторного тока ΔI_{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.