

5.6. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ

Эквивалентные схемы транзисторов. При работе полевого транзистора в усилительном режиме его можно рассматривать как линейный элемент и в расчетах заменять эквивалентной схемой, содержащей входную и выходную цепи.

При включении ПТ с общим истоком ввиду малого тока затвора можно считать, что активная составляющая входного сопротивления очень велика. В этом случае входную цепь ПТ можно отобразить емкостью $C_{зи}$ при $r_{ii} = 0$ или емкостью $C_{вх.л} = C_{зи} + C_{зс}(1 + K_{ii})$ при $r_{ii} \neq 0$.

Согласно выражению для динамической крутизны $S_d = I_{мс}/U_{мзш}$ и с учетом выражения (5.7) имеем

$$I_{мс} = S_d U_{мзш} = \frac{Y_{21} U_{мзш}}{1 + Y_{22} r_{ii}}. \quad (5.13)$$

Параметр Y_{21} , определяемый для ПТ из выражения

$$Y_{21} = \frac{di_c}{du_{зш}} \approx \frac{\Delta i_c}{\Delta U_{зш}} \text{ при } U_{си} = \text{const},$$

есть не что иное, как крутизна передаточной характеристики S (крутизна ПТ), а $Y_{22} = 1/r_i$, где $r_i = r_{си}$ — выходное дифференциальное сопротивление ПТ. С учетом этого выражение (5.13) можно представить в виде

$$I_{мс} = \frac{S r_i U_{мзш}}{r_i + r_{ii}}.$$

Умножая обе части этого равенства на $\sin \omega t$ и учитывая, что $S r_i = \mu$, получаем выражение, связывающее мгновенные значения тока стока и напряжения затвора ПТ:

$$i_c = \frac{\mu u_{зи}}{r_i + r_H}. \quad (5.14)$$

Данному выражению соответствует эквивалентная схема, приведенная на рис. 5.13, а.

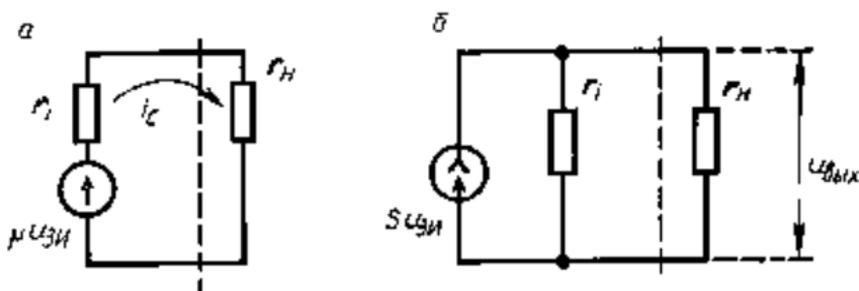


Рис. 5.13. Эквивалентные схемы полевых транзисторов

Напряжение, создаваемое в нагрузке усилителя, определяется из выраж $(u_{вых} = i_c r_H)$ и с учетом (5.14) из выражения

$$u_{вых} = \frac{\mu u_{зи}}{r_i + r_H} r_H = \frac{r_i r_H}{r_i + r_H} S u_{зи},$$

которому соответствует эквивалентная схема, показанная на рис. 5.13, б.

Для усилителя на биполярном транзисторе, включенном по схеме ОЭ, параметр

$$Y_{21} = \frac{di_k}{du_{бэ}} \approx \frac{\Delta i_k}{\Delta u_{бэ}} \text{ при } U_{кэ} = \text{const}$$

является крутизной передаточной характеристики БТ (крутизной БТ), которая в справочниках обычно не приводится. Однако параметры S и μ легко рассчитать по известным h -параметрам с помощью формул:

$$S = Y_{21э} = \frac{\Delta i_k}{\Delta u_{бэ}} \cdot \frac{\Delta i_B}{\Delta i_B} = \frac{h_{21э}}{h_{11э}};$$

$$\mu = S r_i = \frac{h_{21э}}{h_{22э}} \cdot \frac{1}{h_{22э}}.$$

Таким образом, выходную цепь полевого и биполярного транзистора на низких частотах можно представить в виде эквивалентной схемы с генератором напряжения $\mu u_{зи}$ или тока $S u_{зи}$ с внутренним (дифференциальным) сопротивлением r_i . Чтобы эти схемы были справедливы и для высоких частот, необходимо учесть частотную зависимость входящих в них элементов S , μ и r_i .

Представление полевых и биполярных транзисторов идентичными эквивалентными схемами позволяет осуще-

ставить единый подход к анализу усилителей на транзисторах.

Инвертирующие свойства усилителя отображаются знаком «минус» перед обозначением напряжения ЭДС эквивалентного генератора напряжения или перед обозначением тока эквивалентного генератора тока.

Эквивалентные схемы усилительных каскадов. Принципиальные схемы усилителей напряжения (УН) с резистивно-емкостными связями на полевых и биполярных транзисторах показаны соответственно на рис. 5.14, а и б.

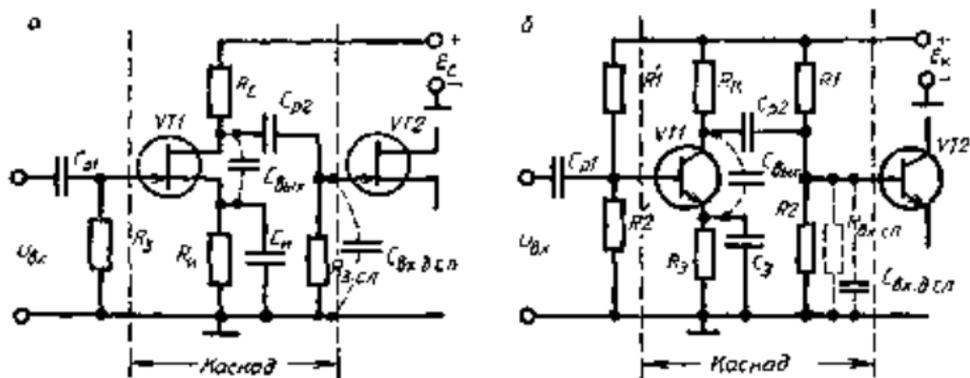


Рис. 5.14. Схемы усилителей переменного напряжения на полевых (а) и биполярных (б) транзисторах

В усилительный каскад на транзисторе $VT1$ входит часть схемы, заключенная между затвором (или базой) транзистора $VT1$ без учета цепей смещения и источника сигнала и затвором (или базой) транзистора $VT2$, включая цепи смещения транзистора $VT2$ и его входное сопротивление, которое образует нагрузку усилительного каскада на $VT1$.

Переход от принципиальной схемы усилительного каскада к его эквивалентной схеме по переменному току осуществляется следующим образом. Активный элемент заменяется генератором тока $-S u_{вх}$ (или генератором напряжения $-\mu u_{вх}$) с внутренним сопротивлением $r_{си}$ или $r_{кэ}$. К выходным зажимам полученного таким образом генератора в соответствии с принципиальной схемой подключаются все элементы каскада, оказывающие сопротивление переменному току, а также междуэлектродные емкости и емкости монтажа. Источник питания в эквивалентной схеме отсутствует, так как его сопротивление переменному току близко к нулю. Поскольку сопротивления конденсаторов $C_{и}$ и $C_{э}$ для переменного тока малы, то цепи

$R_{\text{и}}C_{\text{и}}$ и $R_{\text{з}}C_{\text{з}}$ в эквивалентных схемах по переменному току также будут отсутствовать. Не войдут в них и входные цепи, так как они находятся за пределами границ усиительных каскадов (рис. 5.15).

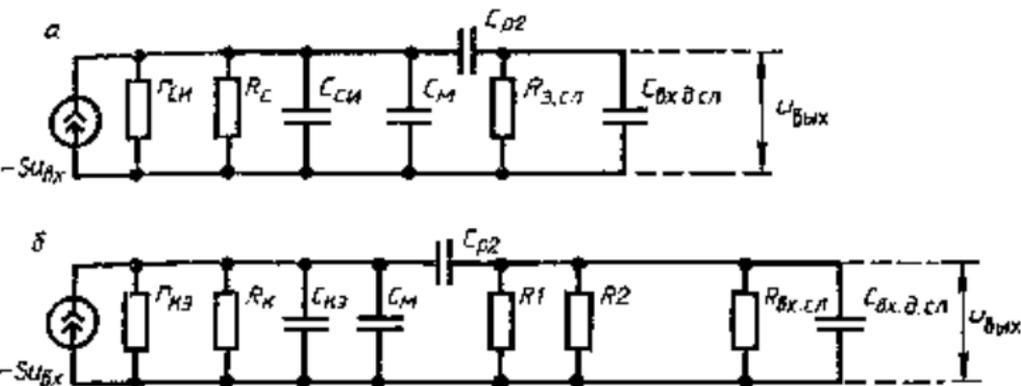


Рис. 5.15. Эквивалентные схемы усилителей переменного напряжения на полевых (а) и биполярных (б) транзисторах

Сравнивая полученные эквивалентные схемы, легко заметить полное сходство их левых частей до конденсатора C_{p2} включительно. Элементы, представленные справа от конденсатора C_{p2} , отображают внешнюю нагрузку каскада, которая включает в себя активную и емкостную составляющие. С учетом этого замечания усилители на ПТ и БТ можно представить обобщенной эквивалентной схемой по переменному току (рис. 5.16). Входящие в эту

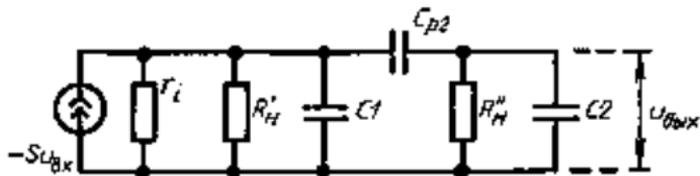


Рис. 5.16. Обобщенная эквивалентная схема транзисторного усилителя

схему элементы определяются типом усилителя. Так, например, для усилителя на ПТ: $g_i = g_{сш}$; $R'_н = R_c$; $C1 = C_{сш} + C_{м}$, где $C_{м}$ — емкость монтажа; $R''_н = R_{з.с.л}$; $C2 = C_{вх.д.с.л}$;

а для усилителя на БТ: $g_i = g_{кз}$; $R'_н = R_k$; $C1 = C_{кз} + C_{м}$; $R''_н = R_{экв}$, где $R_{экв}$ — эквивалентное сопротивление, образованное делителем $R1, R2$ и входным сопротивлением транзистора $VT2$, $C2 = C_{вх.д.с.л}$ — входная динамическая емкость следующего каскада.