

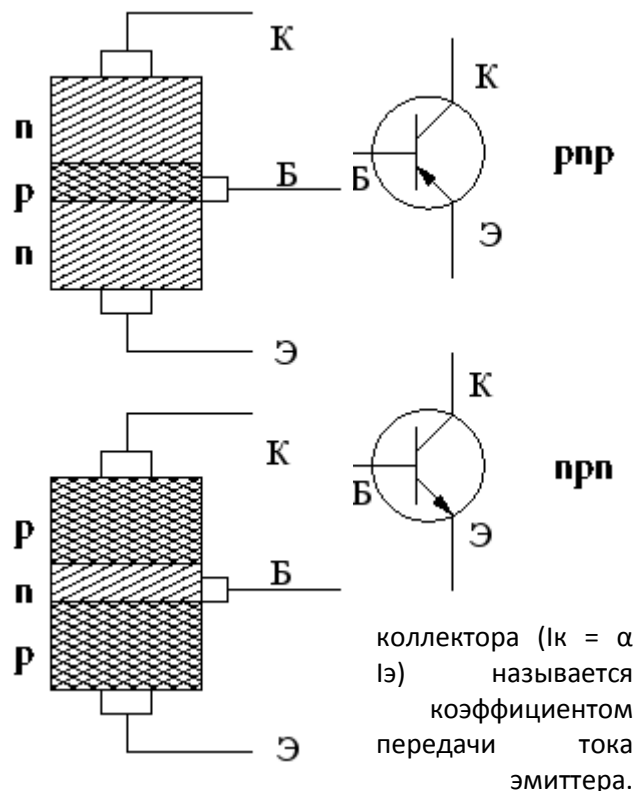
Б8 1. Биполярные транзисторы. Режимы работы биполярного транзистора.

Биполярный транзистор — трёхэлектродный полупроводниковый прибор, один из типов транзистора. Электроды подключены к трём последовательно расположенным слоям полупроводника с чередующимся типом примесной проводимости. По этому способу чередования различают npr и pnp транзисторы (n (negative) — электронный тип примесной проводимости, p (positive) — дырочный). В биполярном транзисторе, в отличие от других разновидностей, основными носителями являются электроны, и дырки (от слова «би» — «два»). Схематическое устройство транзистора показано на втором рисунке.

Электрод, подключённый к центральному слою, называют базой, электроды, подключённые к внешним слоям, называют коллектором и эмиттером. На простейшей схеме различия между коллектором и эмиттером не видны. В действительности же коллектор отличается от эмиттера, главное отличие коллектора — большая площадь $p-n$ -перехода. Кроме того, для работы транзистора абсолютно необходима малая толщина базы.

Принцип действия транзистора

В активном режиме работы транзистор включён так, что его эмиттерный переход смещён в прямом направлении (открыт), а коллекторный переход смещён в обратном направлении. Для определённости рассмотрим pnp транзистор, все рассуждения повторяются абсолютно аналогично для случая npr транзистора, с заменой слова «электроны» на «дырки», и наоборот, а также с заменой всех напряжений на противоположные по знаку. В pnp транзисторе электроны, основные носители тока в эмиттере, проходят через открытый переход эмиттер-база (инжектируются) в область базы. Часть этих электронов рекомбинирует с основными носителями заряда в базе (дырками), часть диффундирует обратно в эмиттер. Однако, из-за того что базу делают очень тонкой и сравнительно слабо легированной, большая часть электронов, инжектированных из эмиттера, диффундирует в область коллектора. Сильное электрическое поле обратного смещённого коллекторного перехода захватывает электроны (напомним, что они — неосновные носители в базе, поэтому для них переход открыт), и проносит их в коллектор. Ток коллектора, таким образом, практически равен току эмиттера, за исключением небольшой потери на рекомбинацию в базе, которая и образует ток базы ($I_{\text{э}} = I_{\text{б}} + I_{\text{к}}$). Коэффициент α , связывающий ток эмиттера и ток



Численное значение коэффициента α 0.9 — 0.999. Чем больше коэффициент, тем эффективней транзистор передает ток. Этот коэффициент мало зависит от напряжения коллектор-база и база-эмиттер. Поэтому в широком диапазоне рабочих напряжений ток коллектора пропорционален току базы, коэффициент пропорциональности равен $\beta = \alpha / (1 - \alpha) = (10 - 1000)$. Таким образом, изменяя малый ток базы, можно управлять значительно большим током коллектора.

Режимы работы биполярного транзистора

Нормальный активный режим Переход эмиттер — база включен в прямом направлении (открыт), а переход коллектор — база — в обратном (закрыт)

Инверсный активный режим Эмиттерный переход имеет обратное включение, а коллекторный переход — прямое. **Режим насыщения** Оба $p-n$ перехода смещены в прямом направлении (оба открыты). **Режим отсечки** В данном режиме оба $p-n$ перехода прибора смещены в обратном направлении (оба закрыты).

Основные параметры транзистора:

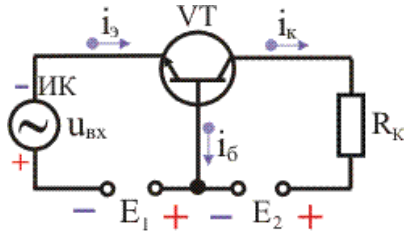
Коэффициенты усиления: по току $k_I = \Delta I_{\text{вых}} / \Delta I_{\text{вх}}$ по напряжению $k_U = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}}$ по мощности $k_P = \Delta P_{\text{вых}} / \Delta P_{\text{вх}}$

Сопротивления: входное $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} / I_{\text{вх}}$ выходное $R_{\text{вых}} = U_{\text{вых}} / I_{\text{вых}}$

Схемы включения

Схема включения с общей базой Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями: коэффициент усиления по току $I_{вых}/I_{вх}$. Для схемы с общей базой $I_{вых}/I_{вх}=I_к/I_э=\alpha$ [$\alpha<1$)] входное сопротивление $R_{вхб}=U_{вх}/I_{вх}=U_{бэ}/I_э$. Входное сопротивление для схемы с общей базой мало и составляет десятки Ом, так как входная цепь транзистора при этом представляет собой открытый эмиттерный переход транзистора.

Недостатки схемы с общей базой : Схема не усиливает ток, так как $\alpha < 1$ Малое входное сопротивление Два разных источника напряжения для питания.



$I_{вых}=I_к$ $I_{вх}=I_б$ $U_{вх}=U_{бэ}$ $U_{вых}=U_{кэ}$

Достоинства: Большой коэффициент усиления по току Большое входное сопротивление Можно обойтись одним источником питания

Недостатки: Худшие температурные и частотные свойства по сравнению со схемой с общей базой.

Выходное переменное напряжение инвертируется относительно входного.

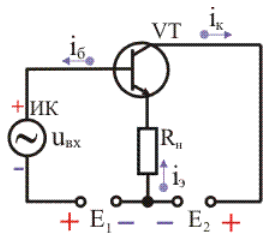
Схема с общим коллектором

$I_{вых}=I_э$ $I_{вх}=I_б$ $U_{вх}=U_{бк}$ $U_{вых}=U_{кэ}$

Достоинства: Большое входное сопротивление Малое выходное сопротивление

Недостатки: Не усиливает напряжение

Схему с таким включением называют «эмиттерным повторителем»



Достоинства: Хорошие температурные и частотные свойства.

Схема включения с общим эмиттером

Основные показатели биполярного транзистора для различных схем его включения

Вид схемы	Токи		Напряжения		Основные параметры			Примечание
	$I_{вх}$	$I_{вых}$	$U_{вх}$	$U_{вых}$	k_I	k_U	$R_{вх}$	
с общей базой	$I_э$	$I_к$	$U_{бэ}$	$U_{кэ}$	α	$\alpha \frac{R_n}{R_{вхб}}$	$\frac{U_{эб}}{I_э}$	$k_I < 1, k_U > 1$
с общим эмиттером	$I_б$	$I_к$	$U_{бэ}$	$U_{кэ}$	β	$\beta \frac{R_n}{R_{вхб}}$	$\frac{U_{эб}}{I_э} (\beta + 1)$	$k_I > 1, k_U > 1$
с общим коллектором	$I_б$	$I_э$	$U_{бк}$	$U_{кэ}$	$\beta + 1$	$\frac{R_n}{R_n + R_{вхб}}$	$R_{э} (\beta + 1)$	$k_I > 1, k_U < 1$

2. Усилительный каскад по схеме с общим эмиттером. Передаточная хар-ка и схема замещения.

Усилительный каскад с общим эмиттером.

Самым распространенным включением есть схема с ОЭ. Все

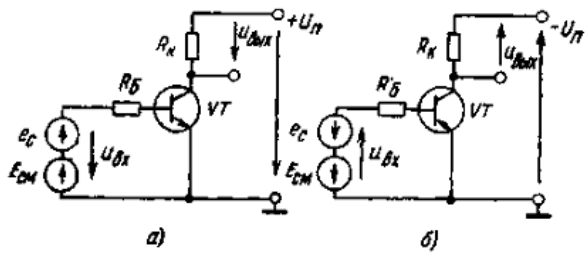


Рис. 6.1. Обобщенная схема усилительного каскада на биполярном транзисторе типов n-p-n (а) и p-n-p (б)

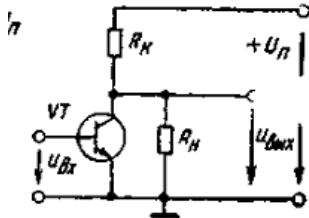


Рис. 6.2. Усилительный каскад с внешней нагрузкой

разновидности этой схемы можно свести к виду рис 6.1 а) для n-p-n и б) для p-n-p. Вых напряжение также может сниматься с дополнительного резистора Rн. рис 6.2

В подключении рис 6.1 а) выходное напр имеет такую

же фазу и равно

$u_{вых} = i_к R_к.$

В подключении

Рис 6.2 фазы отличаются на π

$$u_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{п}} - i_{\text{к}} R_{\text{к}}}{1 + R_{\text{к}}/R_{\text{н}}}$$

$R_{\text{б}}$ – балластный резистор, служит для линеаризации входной хар-ки. Причем $R_{\text{б}} \gg R_{\text{вх}}$. Тогда

$$i_{\text{к}} = i_{\text{б}} h_{21\text{э}} = h_{21\text{э}} u_{\text{вх}} / (R_{\text{б}} + R_{\text{н}}) \approx h_{21\text{э}} u_{\text{вх}} / R_{\text{б}}$$

На вход подают $u_{\text{вх}} = u_{\text{с}} + u_{\text{см}}$, то есть сигнал и смещение, которое обеспечивает требуемый режим работы каскада.

Для построения схем используют ВАХ входную и выходную.

Используя метод пересечения на входной хар-ке а) находят точку покоя П.

На выходной ей будет соответствовать точка П. Эти точки соответствуют напряжениям и токам покоя базы.

Если изменить входное напряжение это вызовет $\Delta U_{\text{бэ}}$ относительно напряжения покоя, а это в свою очередь $\Delta U_{\text{кэ}}$ (на графиках). То есть существует пропорциональность.

$$K_{U_{\text{к}}} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}}$$

Для данной схемы $h_{12\text{э}} = h_{22\text{э}} = 0$ (нет ОС)
Тогда

$$\Delta U_{\text{вых}} = \Delta U_{\text{кэ}} = h_{21\text{э}} \Delta I_{\text{б}} R_{\text{к}};$$

$$\Delta U_{\text{вх}} = \Delta U_{\text{бэ}} = \Delta I_{\text{б}} R_{\text{вх}}.$$

Коэффициент усиления

$$K_{U_{\text{к}}} = h_{21\text{э}} R_{\text{к}} / R_{\text{вх}}$$

С учетом балластного сопротивления

$$K_{U0} = K_{U_{\text{к}}} K_{\text{дел}} = h_{21\text{э}} R_{\text{к}} / (R_{\text{б}} + R_{\text{н}}),$$

Входное и выходное сопротивление:

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{б}} + R_{\text{вх}} \approx R_{\text{б}};$$

$$R_{\text{вых}} = R_{\text{вых т}} = 1/h_{22\text{э}},$$

Для схемы на рис 6.2

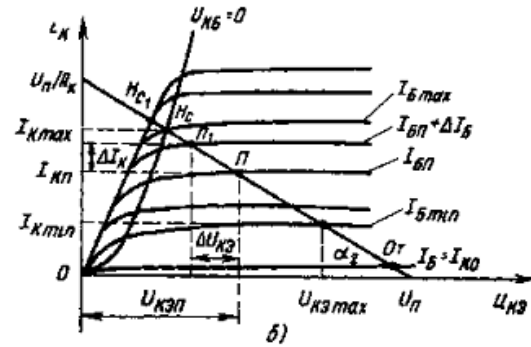
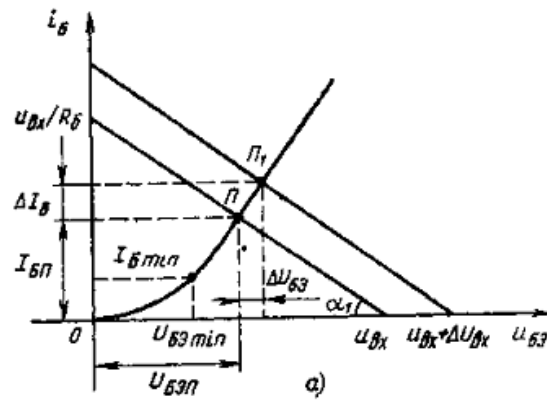
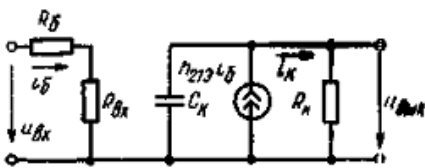
$$R_{\text{вых}} = R_{\text{вых т}} R_{\text{к}} / (R_{\text{вых т}} + R_{\text{к}}) \approx R_{\text{к}}$$

Передаточная функция:

$$W(p) = K_{U0} / (Tp + 1), \quad (6.12)$$

где K_{U0} — коэффициент усиления каскада по постоянному току, который определяется из (6.5); $T = \tau_{\alpha} / (1 - \alpha) + C_{\text{к}} R_{\text{к}}$ — постоянная времени каскада. Следовательно, частотная характеристика каскада в области высоких частот имеет одну асимптоту с наклоном — 20 дБ/дек.

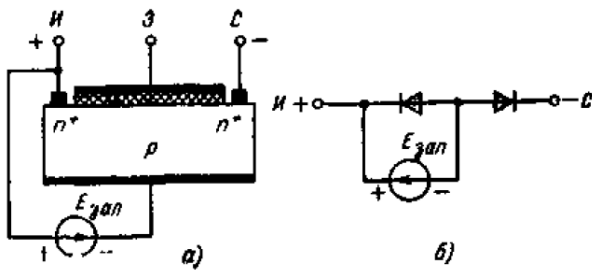
Схема замещения:



3. Особенности работы полевого транзистора в ключевом режиме при изменении полярности напряжения сток-исток..doc

Работа полевого транзистора при смене полярности напряжения сток-исток.

Вольтамперная характеристика полевых транзисторов при малых напряжениях $U_{\text{си}}$ показывает что, выходные характеристики практически линейны, причем их наклон пропорционален управляющему напряжению ($U_{\text{зи}}$). При смене напряжения на стоке в некоторых пределах эта линейность не нарушается. Эта особенность позволяет использовать полевой транзистор как в схемах коммутации при изменяющейся полярности входного напряжения $u_{\text{вх}}$, так и схемах аналоговых управляемых делителей напряжения, работающих в цепях постоянного или переменного тока. Определим максимально допустимое обратное напряжение $U_{\text{си}}$. Для полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом максимальное сечение токопроводящего канала при смене полярности напряжения сток—исток сохраняется при условии отсутствия прямого тока р-п-перехода. Для кремниевого транзистора можно полагать, что это условие выполняется, если р-п-переход между затвором и стоком смещен в прямом направлении не более чем на 0,4...0,5В ($U_{\text{эс}} < 0,4...0,5\text{В}$) или $|U_{\text{си инв}}| \leq |U_{\text{зи}}| + 0,4...0,5\text{В}$.



10.20 Топология (а) и схема замещения (б) полевого транзистора с дополнительным источником смещения

Для МДП-транзисторов этот диапазон может быть расширен при условии, если на подложку относительно истока подать запирающее напряжение (рис. 10.20). В этом случае $|U_{\text{си инв}}| \leq |U_{\text{ззп}}| + 0.4 \dots 0.5 \text{ В}$. Начальные участки выходных характеристик полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом и изолированным затвором приведены соответственно на рис. 10.21, а, б.

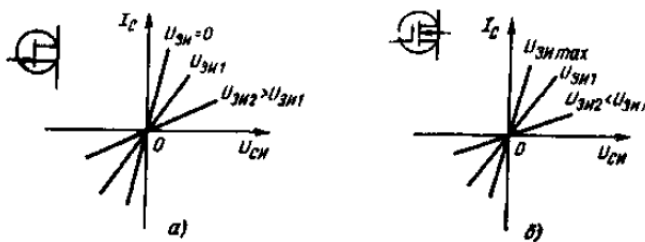


Рис. 10.21. Начальные участки выходных ВАХ полевого транзистора с р-п-переходом (а) и МДП-транзистора (б)

В соответствии с приведенными характеристиками для полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом R_{min} соответствует $U_{\text{зи}} = 0$ (рис. 10.21, а), а для полевых транзисторов с изолированным затвором R_{min} соответствует $U_{\text{зи max}}$ (рис. 10.21, б).