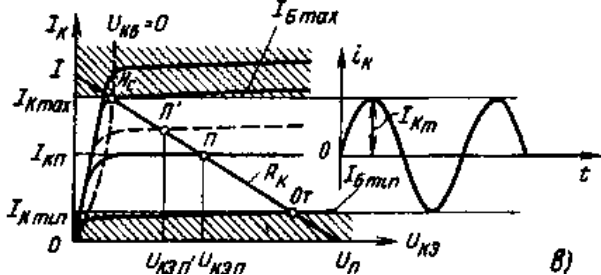


1. Классы усиления усилительных каскадов.

В зависимости от значения и знака напряжения смещения и напряжения сигнала в схеме транзисторного каскада возможны принципиально различные режимы его работы, называемых классами усиления. Для обозначения различных классов усиления используются прописные латинские буквы.

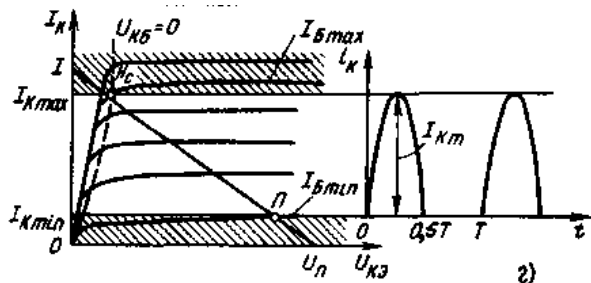
Класс усиления А

Режим работы транзисторного каскада, при котором ток в выходной цепи транзистора протекает в течение всего периода изменения напряжения входного сигнала. Рабочую точку выбирают в середине нагрузочной характеристики, поэтому всегда протекает ток смещения. Следовательно, КПД не превышает 50%. Маломощный усилитель.



Класс усиления В

Режим работы транзисторного каскада, при котором ток в выходной цепи транзистора протекает только в течение половины периода изменения напряжения входного сигнала. Состояние покоя рабочей точки находится в нижнем участке линии нагрузки R_K . Усилители большой мощности. Ограничения: пропускает только положительную составляющую волны.



Класс усиления АВ

Режим работы транзисторного каскада, при котором ток в выходной цепи транзистора протекает больше половины периода изменения напряжения входного сигнала. Транзистор начинает открываться при некотором пороговом напряжении. В отличие от класса В, поднимает рабочую точку на уровень этого напряжения. Отличается высоким КПД. Это каскады усиления мощности.

Класс усиления С

Режим работы транзисторного каскада, при котором ток в выходной цепи транзистора протекает на интервал меньше половины периода изменения напряжения входного сигнала, называется режимом усиления класса С. В режиме класса С транзистор больше

половины периода находится в состоянии отсечки. Мощные резонансные усилители.

Класс усиления Д

Режим работы транзисторного каскада, при котором в установившемся режиме усилительный элемент может находиться только в состоянии включено (режим насыщения) или выключено (режим отсечки). КПД близко к единице.

Класс усиления	Напряжение смещения	Ток покоя транзистора $I_{KП}$	Зависимость тока от времени	Примечание
А	>0	$I_{БП} h_{21Э}$		$I_{Kм} < I_{KП}$
АВ	>0	$I_{БП} h_{21Э}$		$I_{Kм} < I_{KП}$ $I_{Kм} < U_n/R_K$
В	$=0$	$I_{Kнч}$		$I_{Kм} \leq U_n/R_K$
С	<0	I_{K0}		$I_{Kм} \leq U_n/R_K$
Д	≤ 0	I_{K0}		$I_{Kм} = U_n/R_K$

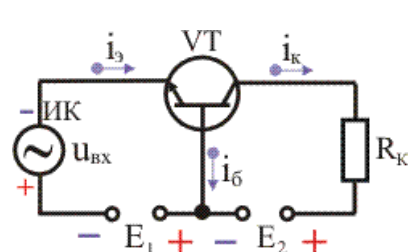
2. Биполярные транзисторы. Основные схемы включения.

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 npn и pnp транзисторы (n (negative) — электронный тип примесной проводимости, p (positive) — дырочный). В биполярном транзисторе, в отличие от других разновидностей, основными носителями являются и 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 ррп транзистор, все рассуждения повторяются абсолютно аналогично для случая рпр транзистора, с заменой слова «электроны» на «дырки», и наоборот, а также с заменой всех напряжений на противоположные по знаку. В ррп транзисторе электроны, основные



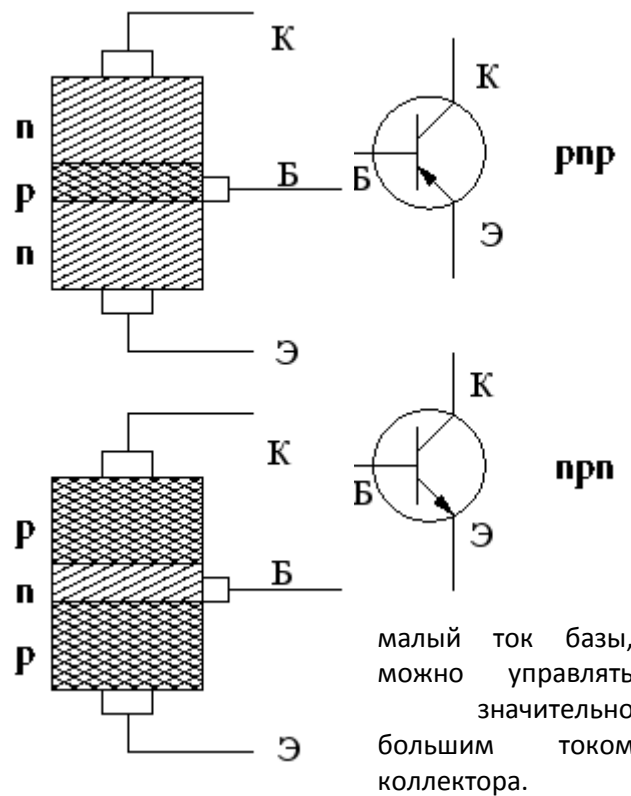
носители тока в эмиттере, проходят через открытый переход эмиттер-база (инжектируются) в область базы.

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 обратно 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 ($I_э = I_б + I_к$). Коэффициент α , связывающий ток эмиттера и ток коллектора ($I_к = \alpha I_э$) называется коэффициентом передачи тока эмиттера. 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

Схемы включения

Схема включения с общей базой Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями: коэффициент усиления по току $I_{в\text{ых}}/I_{в\text{х}}$. Для схемы с общей базой $I_{в\text{ых}}/I_{в\text{х}} = I_к/I_б = \alpha$ [$\alpha < 1$] входное сопротивление $R_{вхб} = U_{вх}/I_{вх} = U_{бэ}/I_б$. 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



Режимы работы биполярного транзистора

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

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

Основные параметры транзистора:

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

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

сопротивление Два разных источника напряжения для питания.

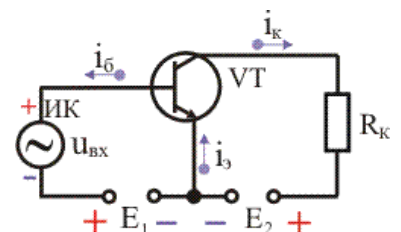
Достоинства:

Хорошие температурные и частотные свойства.

Схема включения с общим эмиттером

$I_{в\text{ых}} = I_к$ $I_{в\text{х}} = I_б$ $U_{вх} = U_{бэ}$ $U_{в\text{ых}} = U_{кэ}$

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

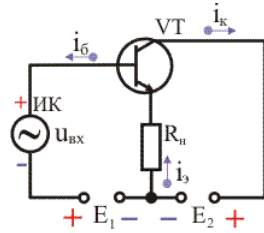


Недостатки: Худшие температурные и частотные свойства по сравнению со схемой с общей базой. Выходное переменное напряжение инвертируется относительно входного.

Схема с общим коллектором

$$I_{\text{вых}} = I_{\text{э}} \quad I_{\text{вх}} = I_{\text{б}} \quad U_{\text{вх}} = U_{\text{бк}} \quad U_{\text{вых}} = U_{\text{кэ}}$$

Достоинства: Большое входное сопротивление
Малое выходное сопротивление



Недостатки: Не усиливает напряжение

Схему с таким включением также называют «эмиттерным повторителем»

Основные показатели биполярного транзистора для различных схем его включения

Вид схемы	Токи		Напряжения		Основные параметры			Примечание
	$I_{\text{вх}}$	$I_{\text{вых}}$	$U_{\text{вх}}$	$U_{\text{вых}}$	k_U	k_I	$R_{\text{вх}}$	
1. общей базой	$I_{\text{э}}$	$I_{\text{к}}$	$U_{\text{эб}}$	$U_{\text{н}}$	$\alpha \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{вхб}}}$	α	$\frac{U_{\text{эб}}}{I_{\text{э}}}$	$k_I < 1, k_U > 1$
2. общим эмиттером	$I_{\text{б}}$	$I_{\text{к}}$	$U_{\text{эб}}$	$U_{\text{н}}$	$\beta \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{вхб}}}$	β	$\frac{U_{\text{эб}}}{I_{\text{э}}} (\beta + 1)$	$k_I > 1, k_U > 1$
3. общим коллектором	$I_{\text{б}}$	$I_{\text{э}}$	$U_{\text{кб}}$	$U_{\text{н}}$	$\frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{вхб}}}$	$\beta + 1$	$R_{\text{н}} (\beta + 1)$	$k_I > 1, k_U < 1$

3. Ключи на полевых транзисторах

Ключ – полупроводниковый прибор, действие которого основано на его включении, переключении и выключении.

Существует несколько схем ключей на полевых транзисторах для:

-аналоговых переключателей

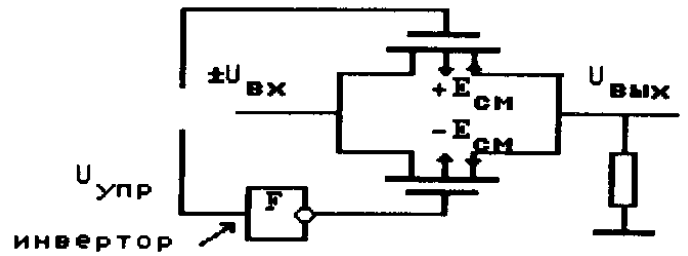


рис. 6.13. Комплементарный аналоговый переключатель.

Принцип работы

Если $U_{\text{управляющее}}$ находится в состоянии логической единицы, то транзисторы открыты и следовательно на выходе будет $U_{\text{входа}}$ – ключ в открытом состоянии.

Если $U_{\text{управляющее}}$ находится в состоянии логического нуля, то транзисторы закрыты и следовательно на выходе будет 0 – ключ в закрытом состоянии.

Следует отметить что ключ неинвертирующий.

-цифровые переключатели

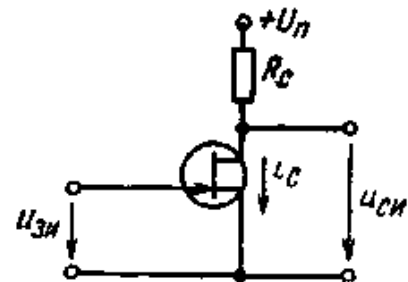


Схема цифрового ключа на полевом транзисторе с р-л-переходом

Принцип работы

Если $U_{\text{вход}}$ в состоянии логической единицы, то транзистор открыт следовательно $U_{\text{вых}}$ равно 0.

Если на входе напряжения нет, то транзистор в закрытом состоянии – напряжение питания пойдет на выход. То есть установится уровень логической единицы. Это инвертирующий ключ.

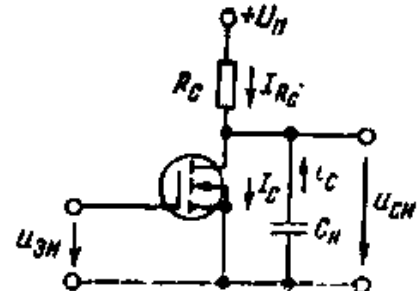


Схема ключа на МДП-трлшисторе с интуирированным каналом

В этой цепи конденсатор ограничивает ток стока.

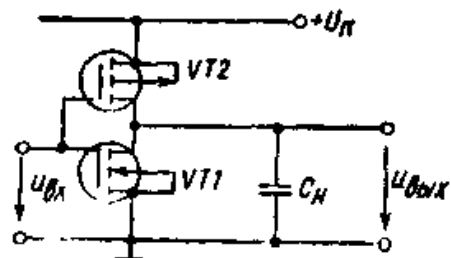
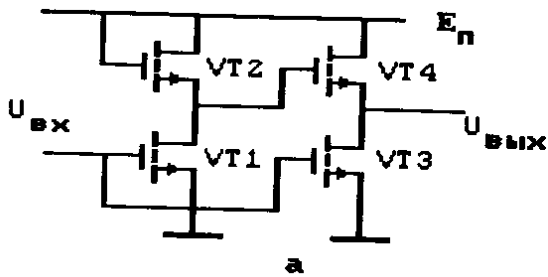


Схема КМОП-ключа



МДП ключ с динамической нагрузкой

В отличие от линейных или не линейных элементов динамическая нагрузка принимает два состояния: включено или выключено, то есть R_{MAX} или R_{MIN} .

Особенности ключей на полевых транзисторах:

- ♦ полевые транзисторы обладают исключительно малыми входными токами, а, значит, составляющая помехи, обусловленная входными токами (см. выше) будет минимальна;
- ♦ температурный коэффициент крутизны полевого транзистора меньше температурного коэффициента ρ биполярного транзистора;
- ♦ полевые транзисторы имеют принципиальную возможность управления со стороны подложки, что позволяет расширить их функциональные возможности.
- ♦ Возможность смены полярности (статические характеристики расположены в двух квадрантах)
- ♦ Недостаток: изменение сопротивления транзистора при изменении $U_{\text{вх}}$
- ♦ Статическое напряжение постоянно, влияет только динамическая составляющая.

