

ТРАНЗИСТОРЫ

Принцип действия,
классификация, области
применения

Транзистор — радиоэлектронный компонент из полупроводникового материала, обычно с тремя выводами, способный от небольшого входного сигнала управлять значительным током в выходной цепи, что позволяет его использовать для усиления, генерирования, коммутации и преобразования электрических сигналов.

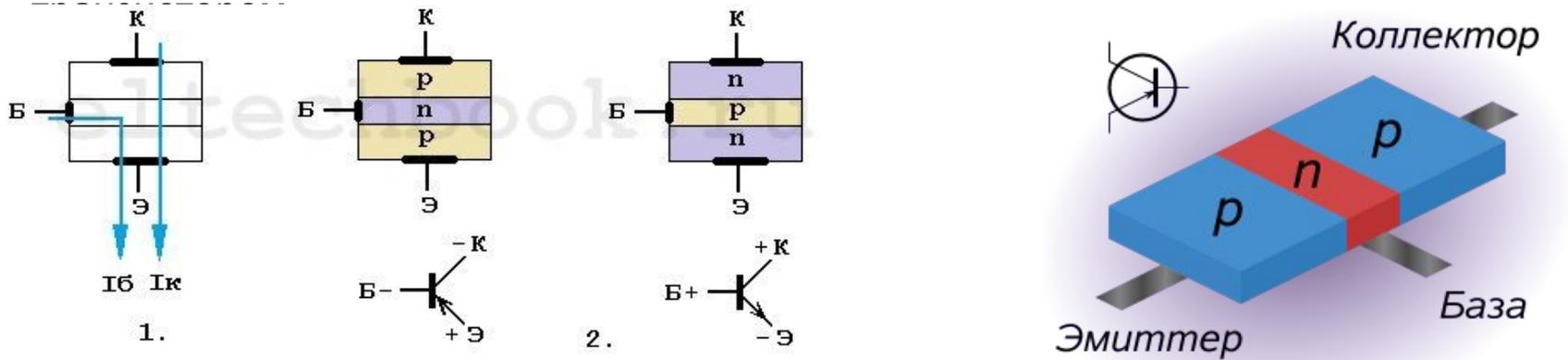
Транзисторы по структуре, принципу действия и параметрам делятся на два класса — **биполярные** и **полевые (униполярные)**.

В биполярном транзисторе используются полупроводники с обоими типами проводимости, он работает за счет взаимодействия двух, близко расположенных на кристалле, p-n переходов и управляется изменением тока через база-эмиттерный переход, при этом вывод эмиттера всегда является общим для управляющего и выходного токов.

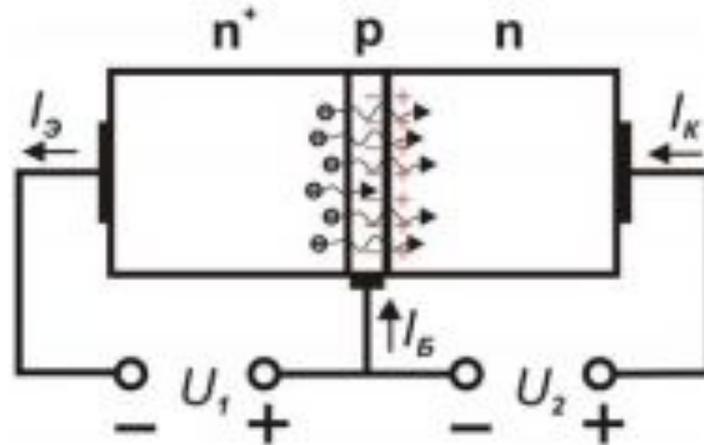
В полевом транзисторе используется полупроводник только одного типа проводимости, расположенный в виде тонкого канала, на который воздействует электрическое поле изолированного от канала затвора, управление осуществляется изменением напряжения между затвором и истоком. Полевой транзистор, в отличие от биполярного, управляется напряжением, а не током.

Биполярные транзисторы

Трехслойная полупроводниковая структура, состоящая из двух слоев полупроводника с одинаковым типом проводимости, разделенных тонким слоем полупроводника с другим типом проводимости, называется биполярным

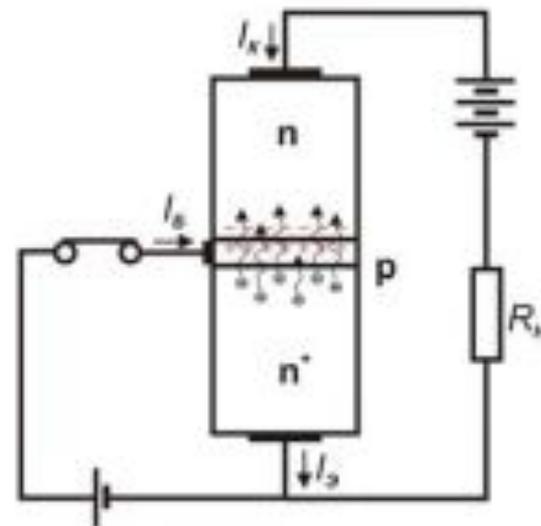
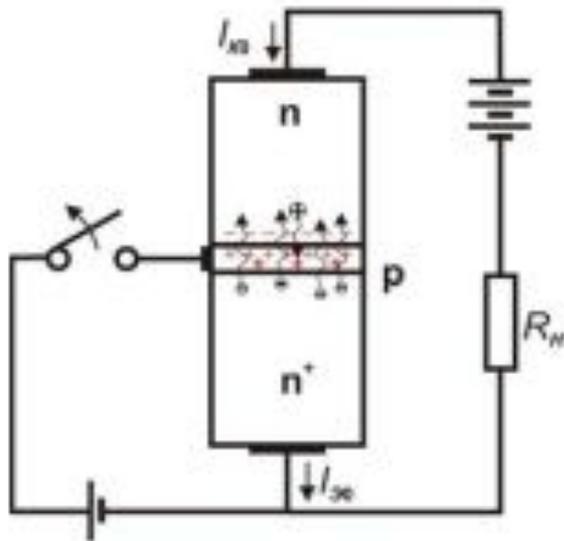


Биполярный транзистор состоит из трех слоев полупроводника, называемых "база" (Б), "коллектор" (К), "эмиттер" (Э). Ток, протекающий через переход база - эмиттер (I_B) вызывает изменения сопротивления зоны эмиттер - коллектор, соответственно изменяется ток коллектора I_K , причем его значения больше нежели базового. Это основной принцип работы биполярного транзистора. Поскольку материал транзистора полупроводник, то ток может протекать только в одном направлении, определяемом типом перехода. Соответственно этим определяется полярность подключения (тип проводимости) транзистора (прямая - p-n-p, обратная - n-p-n).



$n(+)$ – повышенная концентрация носителей => сильное легирование эмиттера
 Транзисторы n-p-n типа распространены существенно больше. Инжектируемыми носителями в этом случае являются электроны, подвижность которых в несколько выше, чем у дырок, что обуславливает большее быстродействие.

Принцип работы биполярного транзистора



$$I_k = \alpha I_э$$

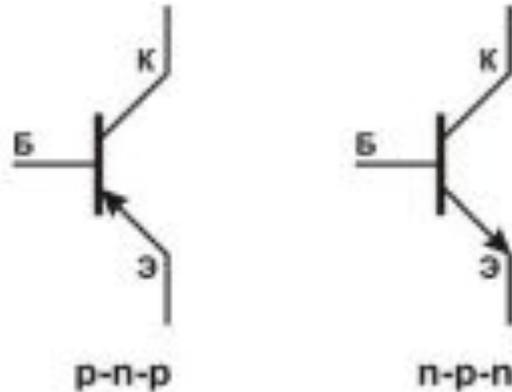
$$\alpha = 0,99 \div 0,999$$

α – коэффициент передачи эмитерного тока

$$\beta = \frac{I_k}{I_э - I_k} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} - 1} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \sim 10^2 \div 10^3$$

β – коэффициент усиления тока базы

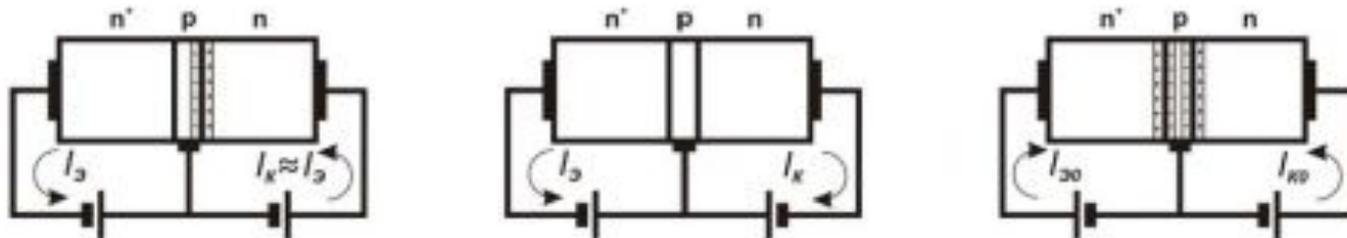
Виды биполярных транзисторов



Стрелочка всегда направлена от дырок электронам и показывает направление протекающего тока

Режимы работы и схемы включения БП транзисторов

Каждый из p-n переходов может быть включен как в прямом, так и в обратном направлении. В связи с этим различают три режима работы.



Нормальный активный режим

Переход эмиттер-база включен в прямом направлении (открыт), а переход коллектор-база — в обратном (закрит) $U_{ЭБ} > 0$; $U_{КБ} < 0$ (для транзистора p-n-р типа), для транзистора n-p-n типа условие будет иметь вид $U_{ЭБ} < 0$; $U_{КБ} > 0$.

Инверсный активный режим

Эмиттерный переход имеет обратное включение, а коллекторный переход — прямое.

Режим насыщения

Оба p - n перехода смещены в прямом направлении (оба открыты). Если эмиттерный и коллекторный p - n -переходы подключить к внешним источникам в прямом направлении, транзистор будет находиться в режиме насыщения. Диффузионное электрическое поле эмиттерного и коллекторного переходов будет частично ослабляться электрическим полем, создаваемым внешними источниками $U_{Эб}$ и $U_{Кб}$. В результате уменьшится потенциальный барьер, ограничивавший диффузию основных носителей заряда, и начнется проникновение (инжекция) дырок из эмиттера и коллектора в базу, то есть через эмиттер и коллектор транзистора потекут токи, называемые токами насыщения эмиттера ($I_{Э.нас}$) и коллектора ($I_{К.нас}$).

Напряжение насыщения коллектор-эмиттер ($U_{КЭ.нас}$) - это падение напряжения на открытом транзисторе (смысловой аналог $R_{си.отк}$ у полевых транзисторов). Аналогично **напряжение насыщения база-эмиттер** ($U_{БЭ.нас}$) - это падение напряжения между базой и эмиттером на открытом транзисторе.

Режим отсечки

В данном режиме коллекторный p - n переход смещён в обратном направлении, а на эмиттерный переход может быть подано как обратное, так и прямое смещение, не превышающее порогового значения, при котором начинается эмиссия неосновных носителей заряда в область базы из эмиттера (для кремниевых транзисторов приблизительно 0,6—0,7 В). Режим отсечки соответствует условию $U_{Эб} < 0,7$ В, или $I_{Б} = 0$.

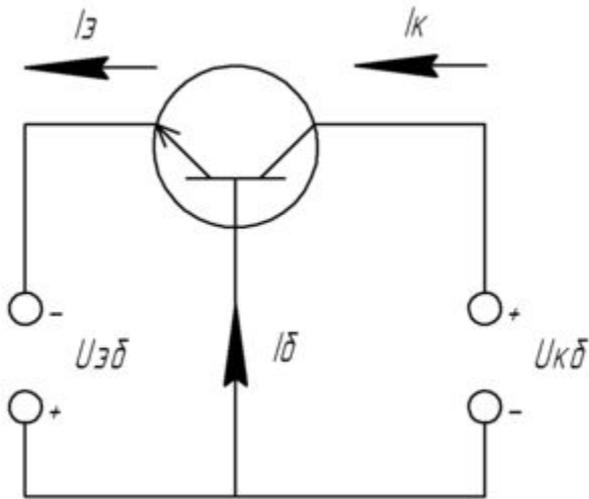
Барьерный режим

В данном режиме **база** транзистора по постоянному току соединена накоротко или через небольшой резистор с его **коллектором**, а в **коллекторную** или в **эмиттерную** цепь транзистора включается резистор, задающий ток через транзистор. В таком включении транзистор представляет из себя своеобразный диод, включенный последовательно с токозадающим резистором. Подобные схемы каскадов отличаются малым количеством комплектующих, хорошей развязкой по высокой частоте, большим рабочим диапазоном температур, нечувствительностью к параметрам транзисторов

Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями:

- Коэффициент усиления по току $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}}$.
- Входное сопротивление $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}}$.

Схема включения с общей базой



Среди всех трех конфигураций обладает наименьшим входным и наибольшим выходным сопротивлением. Имеет коэффициент усиления по току, близкий к единице, и большой коэффициент усиления по напряжению. Фаза сигнала не инвертируется.

Коэффициент усиления по току: $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}} = I_{\text{К}}/I_{\text{Э}} = \alpha$ [$\alpha < 1$].

Входное сопротивление $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}} = U_{\text{бэ}}/I_{\text{э}}$.

Входное сопротивление для схемы с общей базой мало и не превышает 100 Ом для маломощных транзисторов, так как входная цепь транзистора при этом представляет собой открытый эмиттерный переход транзистора.

Достоинства

- Хорошие температурные и частотные свойства.
- Высокое допустимое напряжение

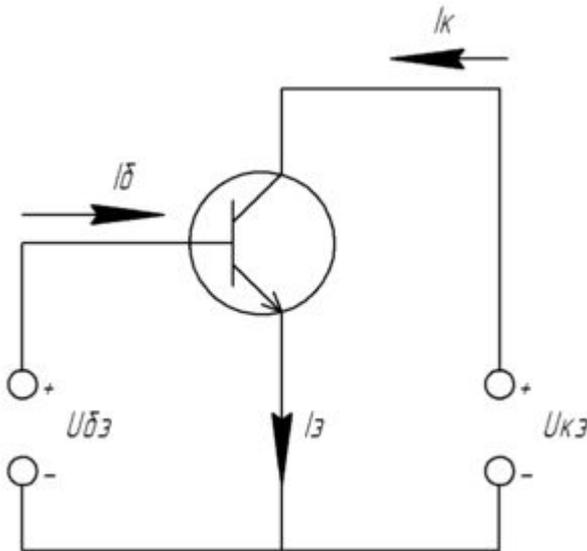
Недостатки схемы с общей базой

- Малое усиление по току, так как $\alpha < 1$
- Малое входное сопротивление
- Два разных источника напряжения для питания.

Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями:

- Коэффициент усиления по току $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}}$.
- Входное сопротивление $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}}$.

Схема включения с общим эмиттером



$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{К}} \quad I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Б}} \quad U_{\text{ВХ}} = U_{\text{бэ}} \quad U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{кэ}}$$

Коэффициент усиления по току: $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}} = I_{\text{К}}/I_{\text{Б}} = I_{\text{К}}/(I_{\text{Э}} - I_{\text{К}}) = \alpha/(1-\alpha) = \beta$ [$\beta \gg 1$].

Входное сопротивление: $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}} = U_{\text{бэ}}/I_{\text{Б}}$.

Достоинства

- Большой коэффициент усиления по току.
- Большой коэффициент усиления по напряжению.
- Наибольшее усиление мощности.
- Можно обойтись одним источником питания.
- Выходное переменное напряжение инвертируется относительно входного.

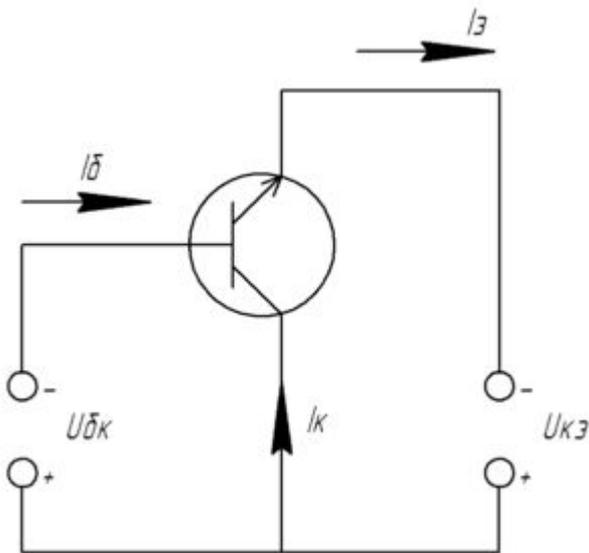
Недостатки

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

Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями:

- Коэффициент усиления по току $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}}$.
- Входное сопротивление $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}}$.

Схема включения с общим эмиттером



$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{Э}} \quad I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Б}} \quad U_{\text{ВХ}} = U_{\text{БК}} \quad U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{КЭ}}$
 Коэффициент усиления по току: $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Э}}/I_{\text{Б}} = I_{\text{Э}}/(I_{\text{Э}} - I_{\text{К}}) = 1/(1-\alpha) = \beta \quad [\beta \gg 1]$.

Входное сопротивление: $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}} = (U_{\text{БЭ}} + U_{\text{КЭ}})/I_{\text{Б}}$.

Достоинства

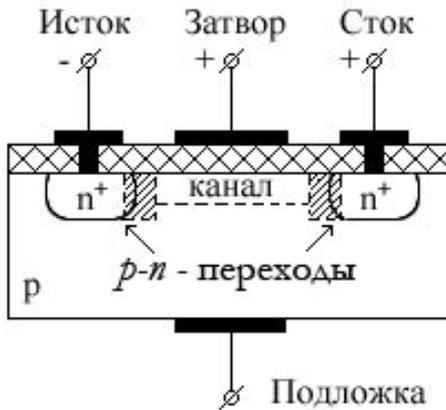
- Большое входное сопротивление.
- Малое выходное сопротивление.

Недостатки

- Коэффициент усиления по напряжению меньше 1.

Схему с таким включением называют «*эмиттерным повторителем*».

Полевые транзисторы



Полевой транзистор – это полупроводниковый полностью управляемый ключ, управляемый электрическим полем. Это главное отличие с точки зрения практики от биполярных транзисторов, которые управляются током. Электрическое поле создается напряжением, приложенным к затвору относительно истока. Полярность управляющего напряжения зависит от типа канала транзистора.

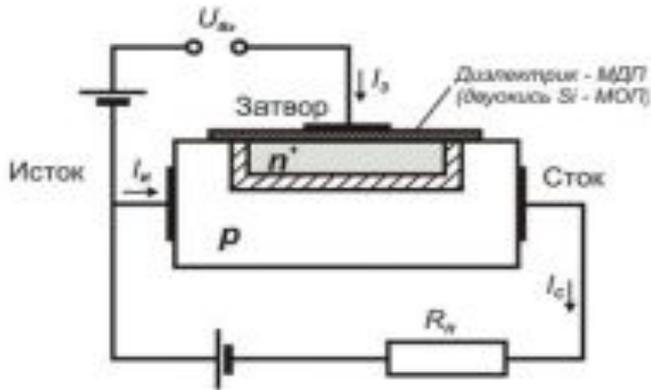
В полевых транзисторах в зависимости от типа канала ток осуществляется только одним типом носителей дырками или электронами. В биполярных транзисторах ток формировался из двух типов носителей зарядов – электронов и дырок, независимо от типа приборов. Полевые транзисторы в общем случае можно разделить на:

- транзисторы с управляющим p-n-переходом;
- транзисторы с изолированным затвором.

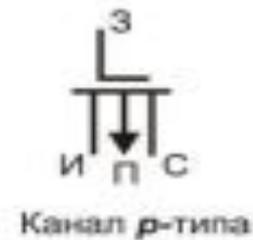
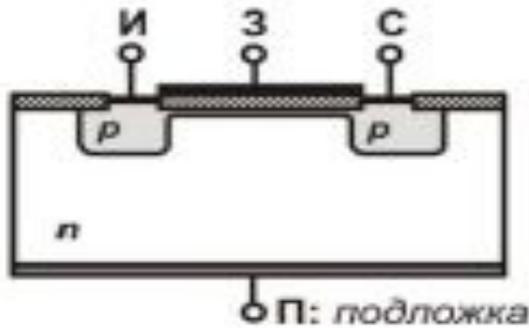
И те и другие могут быть n-канальными и p-канальными, к затвору первых нужно прикладывать положительное управляющее напряжение для открытия ключа, а для вторых – отрицательное относительно истока.

У всех типов полевых транзисторов есть три вывода:

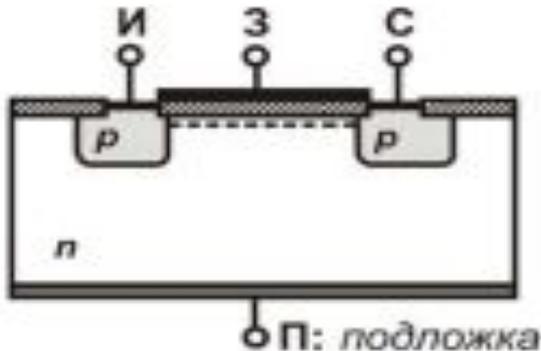
1. Исток (источник носителей заряда, аналог эмиттера на биполярном).
2. Сток (приемник носителей заряда от истока, аналог коллектора биполярного транзистора).
3. Затвор (управляющий электрод, аналог сетки на лампах и базы на биполярных транзисторах).



Металл-оксид-полупроводник (МОП)



МДП-транзистор со встроенным



МДП-транзистор с индуцированным каналом