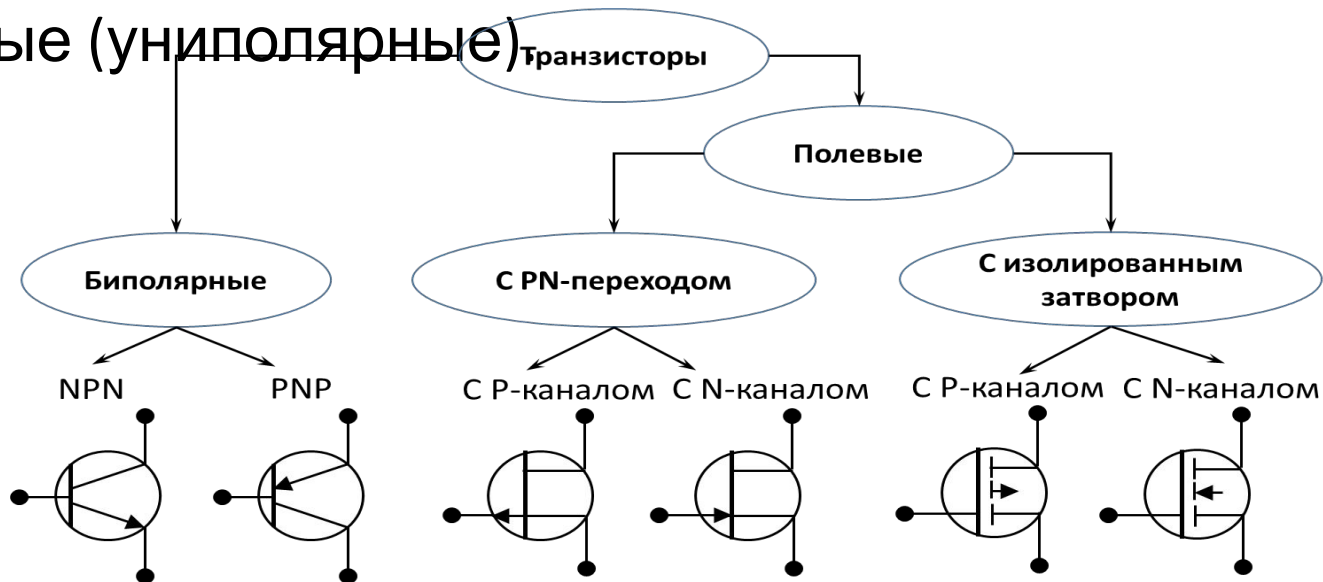


ТРАНЗИСТОРЫ биполярные.

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, р-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.

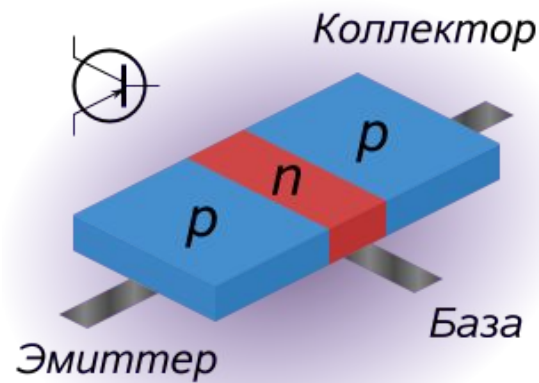
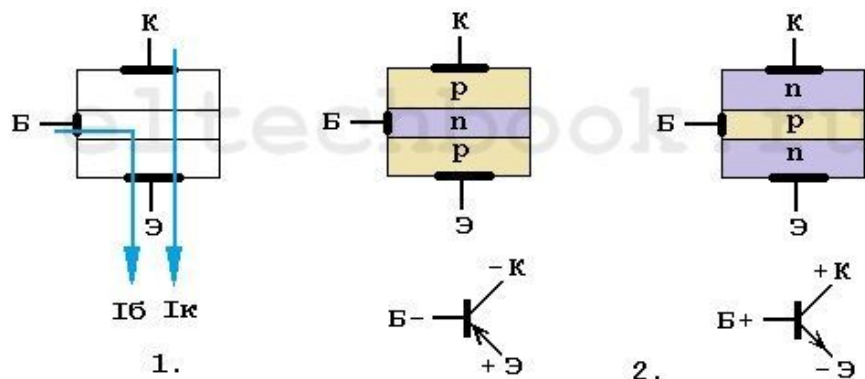
Биполярные транзисторы

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор, состоящий из трех областей с чередующимися типами электропроводности и пригодный для усиления мощности. Выпускаемые в настоящее время биполярные транзисторы можно классифицировать по следующим признакам:

- по материалу: германиевые и кремниевые;
- по виду проводимости областей: типа **p-n-p** и **n-p-n**;
- по мощности: малой ($P_{\max} \leq 0,3\text{Вт}$), средней ($P_{\max} \leq 1,5\text{Вт}$) и большой мощности ($P_{\max} > 1,5\text{Вт}$);
- по частоте: низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и СВЧ.

В биполярных транзисторах ток определяется движением носителей заряда двух типов: электронов и дырок (или основными и неосновными). Отсюда их название – биполярные.

В настоящее время изготавливаются и применяются исключительно транзисторы с плоскостными p-n- переходами.



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_C , 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 -

Основным элементом транзистора является кристалл, который представляет собой пластинку германия или кремния с созданными тремя областями с различной электропроводностью.

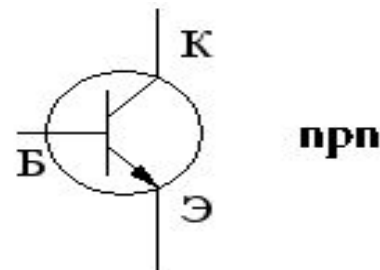
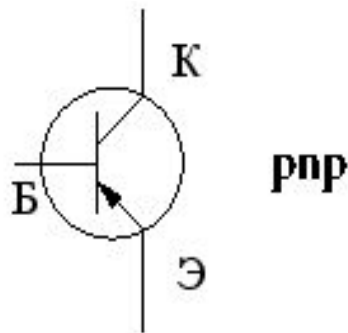
У транзистора типа n-p-n средняя область имеет дырочную, а крайние области – электронную электропроводность.

Транзисторы типа p-n-p имеют среднюю область с электронной, а крайние области с дырочной электропроводностью.

Средняя область транзистора называется базой, одна крайняя область – эмиттером, другая – коллектором. Таким образом в транзисторе имеются два p-n- перехода: эмиттерный – между эмиттером и базой и коллекторный – между базой и коллектором. Площадь эмиттерного перехода меньше площади коллекторного перехода.

Коллектором называют область, назначением которой является экстракция носителей заряда из базы. Базой является область, в которую инжектируются эмиттером носители заряда.

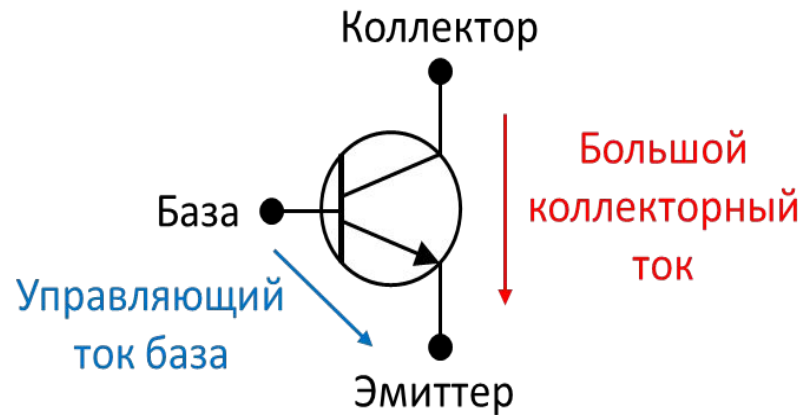
Концентрация основных носителей заряда в эмиттере во много раз больше концентрации основных носителей заряда в базе, а их концентрация в коллекторе несколько меньше концентрации в эмиттере. Поэтому проводимость эмиттера на несколько порядков выше проводимости базы, а проводимость коллектора несколько меньше проводимости эмиттера. Входная, или управляющая, цепь служит для управления работой транзистора. В выходной, или управляемой, цепи получают усиленные колебания. Источник усиливаемых колебаний включается во входную цепь, а в выходную включается нагрузка.



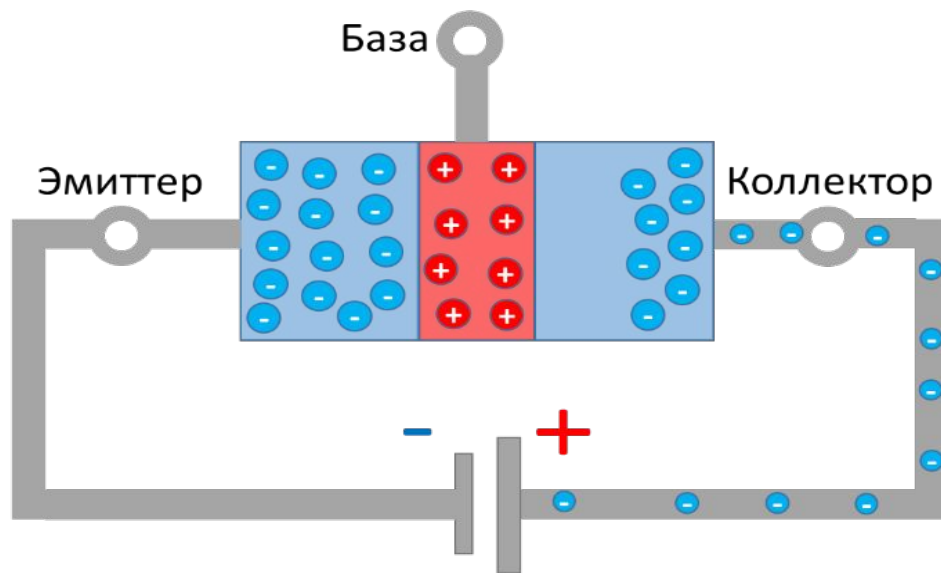
Условные обозначения биполярных транзисторов.

Физика работы транзистора заключается в том, что между эмиттером и коллектором течет большой ток (ток коллектора), а между эмиттером и базой — слабый управляющий ток (ток базы). Ток коллектора будет меняться в зависимости от изменения тока базы.

Для понимания этого процесса рассмотрим p-n переходы транзистора. Для примера возьмем транзистор с n-p-n переходом. Принцип работы транзистора p-n-p аналогичен, только полярность напряжения между коллектором и эмиттером будет противоположной.



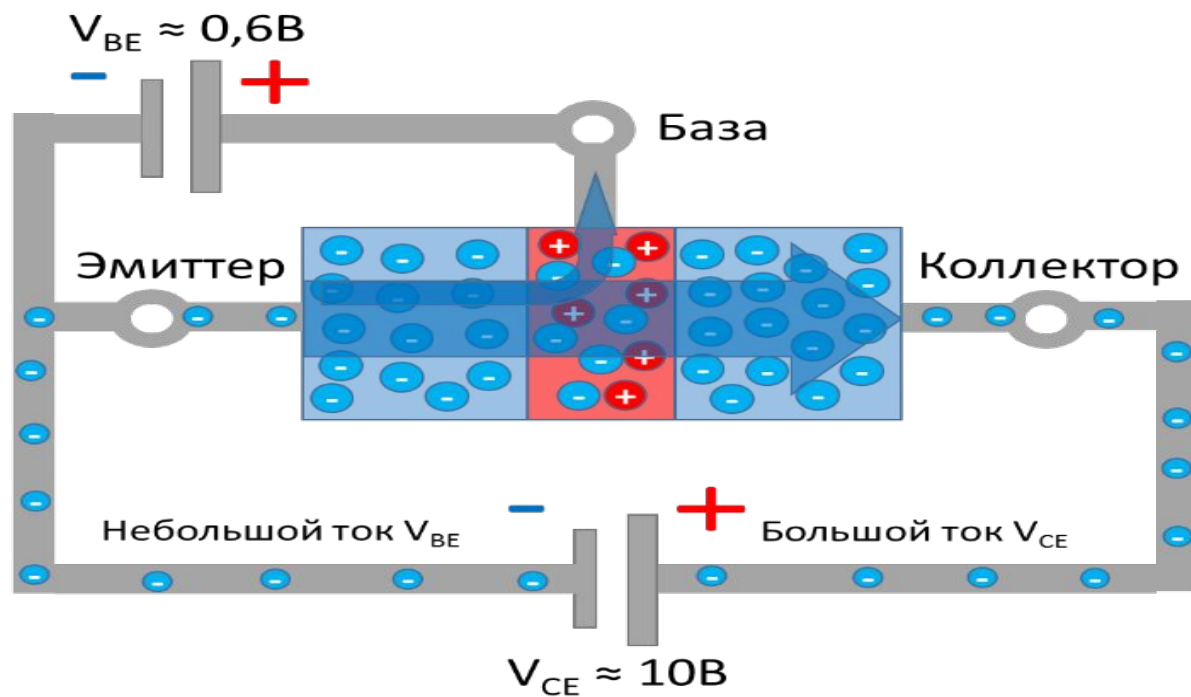
Как известно, в полупроводниках с веществом р-типа находятся положительно заряженные ионы - дырки. Вещество n-типа насыщено отрицательно заряженными электронами. В транзисторе концентрация электронов в области N значительно превышает концентрацию дырок в области P. Если подключить источник напряжения между коллектором и эмиттером $V_{кЭ}$ то под его действием, электроны из N области начнут притягиваться к плюсу и собираться возле коллектора.



Однако ток не потечет, потому что электрическое поле источника напряжения не достигает эмиттера. Этому мешает толстая область полупроводника коллектора плюс область полупроводника базы.

Теперь подключим напряжение между базой и эмиттером $V_{БЭ}$, но значительно ниже чем напряжение $V_{кЭ}$ (для кремниевых транзисторов минимальное необходимое $V_{БЭ} - 0,6В$).

Поскольку область P очень тонкая, плюс источника напряжения, подключенного к базе, сможет "дотянуться" своим электрическим полем до N области эмиттера, то под его действием электроны направятся к базе. Часть из них начнет заполнять находящиеся там дырки (рекомбинировать). Другая часть не найдет себе свободную дырку, потому что в результате следствием базового напряжения ниже концентрации электронов в эмиттере. Большинство из них направится в сторону коллектора, поскольку там напряжение намного выше. Так же этому способствует небольшая толщина центрального слоя. Какая-то часть электронов, хоть гораздо меньшая, все равно потечет в сторону плюса базы.



В итоге получаем два тока: небольшой - от базы к эмиттеру $I_{БЭ}$,
 и большой - от коллектора к эмиттеру $I_{КЭ}$.
 Если увеличить напряжение на базе, то в прослойке P
 соберется еще больше электронов. В результате немного
 усилится ток базы, и значительно усилится ток коллектора.
 Таким образом, при небольшом изменении тока базы I_B , сильно
 меняется ток коллектора I_K . Так и происходит усиление сигнала
 в биполярном транзисторе.

Соотношение тока коллектора I_K к току базы I_B называется коэффициентом усиления по току.

Для схем с общей базой этот коэффициент обозначается буквой α с общим эмиттером буквой β

$$\alpha = \frac{I_K}{I_E}, \text{ при } U_{КБ} \text{ const}$$

$$\beta = \frac{I_K}{I_B} \text{ при } U_{КЭ} \text{ const}$$

Этот параметр является одним из основных параметров транзистора.

Вторым немаловажным параметром является **входное сопротивление** транзистора. Согласно закону Ома, оно представляет собой отношение напряжения между базой и эмиттером к управляющему току базы. Чем оно больше, тем меньше ток базы и тем выше коэффициент усиления.

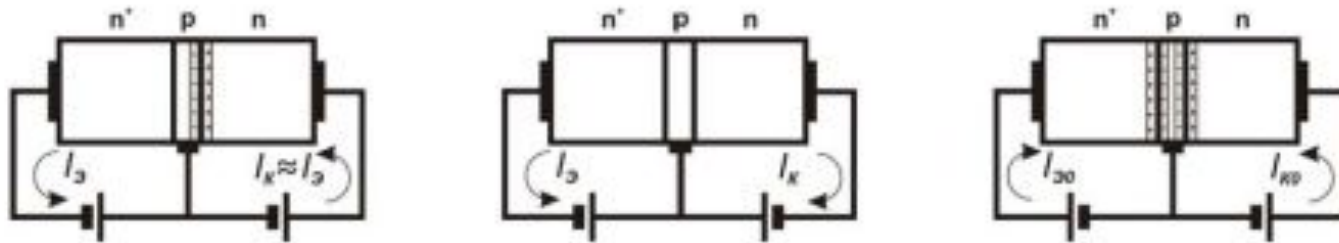
Третий параметр биполярного транзистора — **коэффициент усиления по напряжению**. Он равен отношению амплитудных или действующих значений выходного (эмиттер-коллектор) и входного (база-эмиттер) переменных напряжений. Поскольку первая величина обычно очень большая (единицы и десятки вольт), а вторая — очень маленькая (десятые доли вольт), то этот коэффициент может достигать десятков тысяч единиц. Стоит отметить, что каждый управляющий сигнал базы имеет свой коэффициент усиления по напряжению.

$$K_U = \frac{U_2}{U_1}$$

где U_2 - изменение напряжения на выходе, а U_1 - изменение напряжения на входе.

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

| Напряжения на эмиттере, базе, коллекторе (U_E, U_B, U_C) | Смещение перехода база-эмиттер для типа n-p-n | Смещение перехода база-коллектор для типа n-p-n | Режим для типа n-p-n |
|--|---|---|---------------------------|
| $U_E < U_B < U_C$ | прямое | обратное | нормальный активный режим |
| $U_E < U_B > U_C$ | прямое | прямое | режим насыщения |
| $U_E > U_B < U_C$ | обратное | обратное | режим отсечки |
| $U_E > U_B > U_C$ | обратное | прямое | инверсный активный режим |

| Напряжения на эмиттере, базе, коллекторе (U_E, U_B, U_C) | Смещение перехода база-эмиттер для типа p-n-p | Смещение перехода база-коллектор для типа p-n-p | Режим для типа p-n-p |
|--|---|---|---------------------------|
| $U_E < U_B < U_C$ | обратное | прямое | инверсный активный режим |
| $U_E < U_B > U_C$ | обратное | обратное | режим отсечки |
| $U_E > U_B < U_C$ | прямое | прямое | режим насыщения |
| $U_E > U_B > U_C$ | прямое | обратное | нормальный активный режим |