

Полупроводники и полупроводниковые приборы

Полупроводники – это вещества, электронная проводимость которых резко изменяется по величине и по характеру в зависимости от условий.

Полупроводниками называют вещества, удельная проводимость которых имеет промежуточное значение между удельными проводимостями металлов и диэлектриков.

Граница между полупроводниками и диэлектриками условна, так как диэлектрики при высоких температурах могут вести себя как полупроводники, а чистые полупроводники при низких температурах – как диэлектрики.

Процессы электропроводности в полупроводниках во многом отличаются от процессов электропроводности в металлах. Наиболее важное отличие состоит в том, что в полупроводниках электропроводность осуществляется двумя различными видами движения электронов. Кроме того, проводимость полупроводников можно менять в широких пределах, добавляя ничтожно малые количества примесей.

Типичными полупроводниками являются германий (Ge) и кремний (Si).

5 B БОР	6 C УГЛЕРОД			
	14 Si КРЕМНИЙ	15 P ФОСФОР	16 S СЕРА	
	32 Ge ГЕРМАНИЙ	33 As МЫШЬЯК	34 Se СЕЛЕН	
	50 Sn ОЛОВО	51 Sb СУРЬМА	52 Te ТЕЛЛУР	53 I ИОД

Проводимость полупроводника зависит от:

- Температуры (при низкой t° ведет себя как диэлектрик, а при высокой t° - как проводник)
- Освещения
- Механической нагрузки
- Наличия электромагнитных полей
- Рентгеновского или радиоактивного излучения

Структура полупроводников (на примере Si)

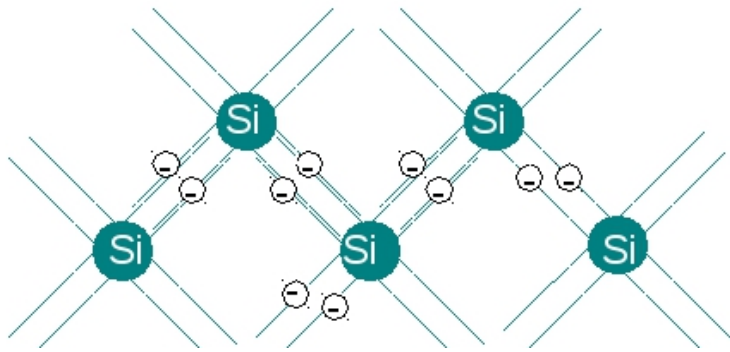
Это монокристалл в форме тетраэдра (на внешней оболочке 4 электрона)

Все атомы в кристаллической решетке находятся на равном расстоянии от соседних атомов

Электронные оболочки перекрывают друг друга

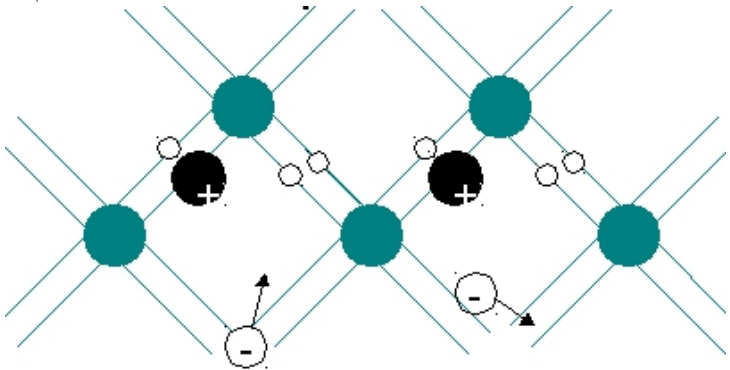
Валентные электроны становятся общими

Между атомами устанавливается прочная ковалентная связь.



При низких t° свободных зарядов нет, поэтому вещество является диэлектриком, при повышении t° происходит разрыв некоторых связей (т.к. амплитуда колебания атомов увеличивается) \Rightarrow появляются свободные электроны и «дырки»

«Дырка» – это место, образуемое в электронной связи после выхода электрона, которое имеет положительный заряд и ведет себя как положительная частица.



Число «дырок» всегда равно числу электронов! Процесс разрыва связей и заполнения дырок происходит непрерывно!

Дырочная проводимость (p) - электрический ток, связанный с непрерывным перемещением дырок.

Электронная проводимость (n) – электрический ток, представляющий собой упорядоченное движение электронов.

Если нет внешнего электрического поля, то электроны и «дырки» движутся хаотично;

Если создать внешнее электрическое поле, то электроны и «дырки» придут в упорядоченное движение: Электроны движутся против направлению поля, «дырки» движутся по направлению поля



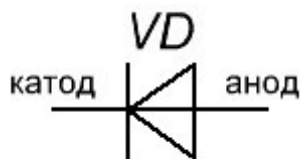
Электрический ток в полупроводнике – это упорядоченное движение электронов и «дырок» $I = I_e + I_{дырка}$

Диоды

Полупроводниковый диод или просто **диод** представляет из себя радиоэлемент, который пропускает электрический ток только в одном направлении и блокирует его прохождение в другом направлении.

По аналогии с гидравликой диод можно сравнить с обратным клапаном: устройством, которое пропускает жидкость только в одном направлении.

Выводы диода называются — **анод и катод**. Некоторые по ошибке называют их «плюс» и «минус». Это неверно. Так говорить нельзя.



Диоды пропускают электрический ток только от анода к катоду.

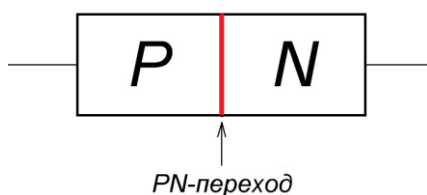
Где находится анод, а где катод очень легко запомнить, если вспомнить воронку для наливания жидкостей в узкие горлышки бутылок. Воронка очень похожа на схему диода. Наливаем в воронку, и жидкость у нас очень хорошо бежит, а если ее перевернуть, то попробуй налей-ка через узкое горлышко воронки

Для изготовления диодов используются полупроводники, в основном германий и кремний.

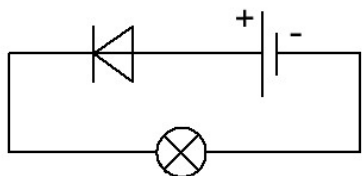
После того, как германий или кремний смешивают с мельчайшей долей мышьяка, образуется полупроводник N-типа. Или полупроводник P-типа, если смешать с индием.

Теперь если эти два полупроводника P и N - типа приварить вместе, на их стыке образуется PN-переход. Это и есть строение диода.

То есть диод состоит из PN-перехода.

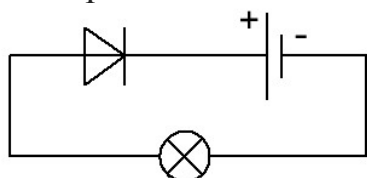


Как мы уже говорили, диод пропускает электрический ток только в одном направлении. Для того, чтобы это показать, давайте соберем простую схему.



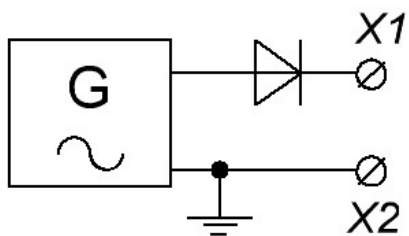
В результате, лампочка у нас прекрасно горит. Это говорит о том, что через диод проходит электрический ток. В этом случае говорят, что диод включен в прямом направлении.

Давайте теперь поменяем выводы диода. В результате, схема примет такой вид.

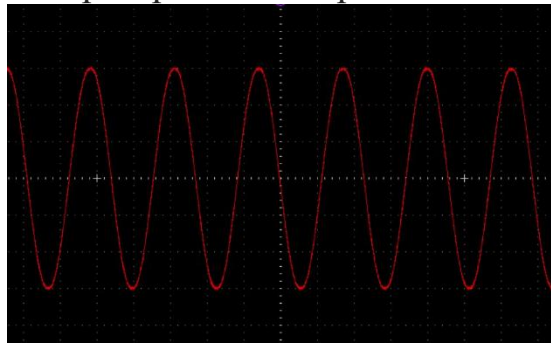


Лампочка не загорится, так как диод не пропускает электрический ток, то есть блокирует его прохождение, хотя источник питания и выдает необходимое напряжение.

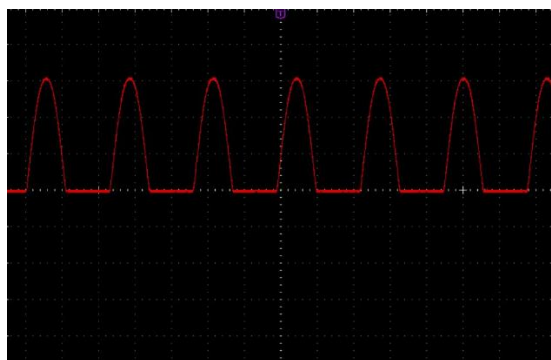
Итак, для того, чтобы рассмотреть работу диода в цепи переменного тока, давайте составим схему. Здесь мы видим генератор G, диод и два клеммника X1 и X2, с которых мы будем снимать сигнал с помощью осциллографа.



Генератор выдает переменное синусоидальное напряжение.

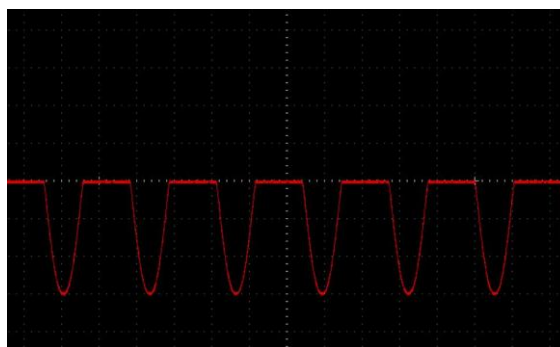
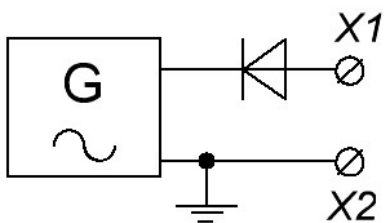


Цепляемся к клеммам X1 и X2 и видим вот такую осциллограмму.



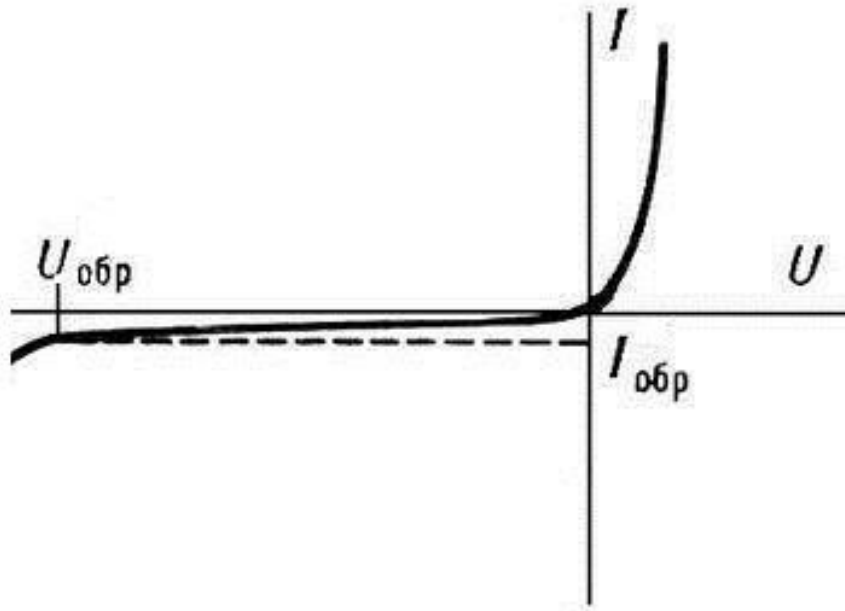
Диод вырезал нижнюю часть синусоиды, оставив только верхнюю часть.

Если поменять выводы диода, то он обрежет верхнюю часть синусоиды, то оставит нижнюю.



В цепи переменного тока диод выступает в качестве простейшего выпрямителя. Характеристики диода:

1) Обратное максимальное напряжение $U_{обр}$ — это такое напряжение диода, которое он выдерживает при подключении в обратном направлении, при этом через него будет протекать ток $I_{обр}$ — сила тока при обратном подключении диода. При превышении обратного напряжения в диоде возникает так называемый лавинный пробой, в результате этого резко возрастает ток, что может привести к полному тепловому разрушению диода.



2) Максимальный прямой ток I_{np} — это максимальный ток, который может течь через диод в прямом направлении.

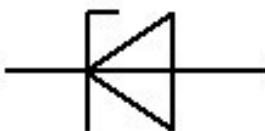
3) Максимальная частота Fd , которую нельзя превышать. Если частота будет больше, то диод будет работать неправильно.

Стабилитроны

Стабилитроны представляют из себя те же самые диоды. Даже из названия понятно, чтоб стабилитроны что-то стабилизируют. А стабилизируют они напряжение.

Стабилитрон — это **диод**, который предназначен для работы на обратной ветви вольт-амперной характеристики, в режиме пробоя. Служит для стабилизации напряжения.

Они должны подключаться противоположно, чем диоды. Анод на минус, а катод на плюс.



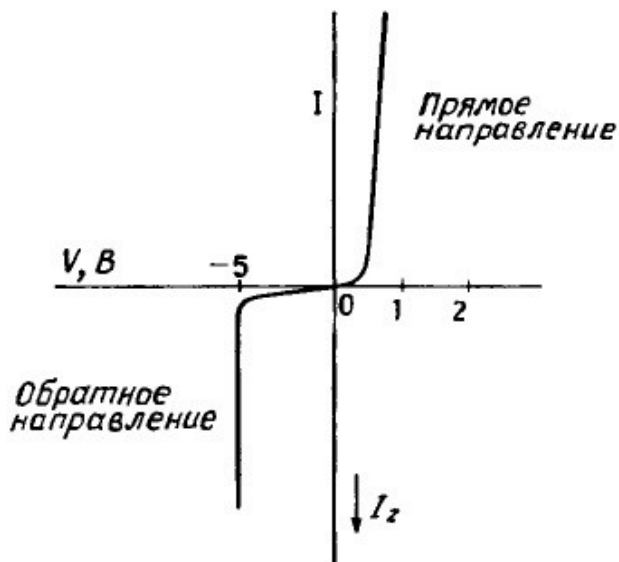
В Вольт амперной характеристике (ВАХ) диода используется положительная ветвь — прямое направление, а вот в стабилитроне другая часть ветки ВАХ — обратное направление.

16

Сила тока не должны быть больше, чем в описании на диоде, иначе он выйдет из строя от высокой температуры.

Главный параметр стабилитрона — это напряжение стабилизации ($U_{ст}$). Измеряется в Вольтах.

На графике вы видите стабилитрон с напряжением стабилизации 5 Вольт. Также есть диапазон силы тока, при котором будет работать стабилитрон — это минимальный и максимальный ток (I_{min} , I_{max}). Измеряется в Амперах.



Выглядят стабилитроны точно также, как и обычные диоды:

Светодиоды

Светодиоды — особый класс диодов, которые излучают видимый и невидимый свет.

Невидимый свет — это свет в инфракрасном или ультрафиолетовом диапазоне.

Но для промышленности все-таки большую роль играют светодиоды с видимым светом. Они используются для индикации, оформления вывесок, светящихся баннеров, зданий а также для освещения.



Светодиоды имеют такие же параметры, как и любые другие диоды, но обычно их максимальный ток значительно ниже.

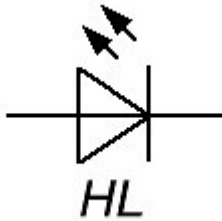
Предельное обратное напряжение ($U_{обр}$) может достигать 10 Вольт.

Максимальный ток (I_{max}) будет ограничиваться для простых светодиодов порядка 50 мА. Для осветительных больше. Поэтому при подключении обычного диода нужно вместе с ним последовательно подключать резистор.

Резистор можно рассчитать по нехитрой формуле, но в идеале лучше использовать переменный резистор, подобрать нужное свечение, замерять номинал переменного резистора и поставить туда постоянный резистор с таким же номиналом. Лампы освещения из светодиодов потребляют копейки электроэнергии и стоят дешево.

Очень большим спросом пользуются светодиодные ленты, состоящие из множества SMD светодиодов.

На схемах светодиоды обозначаются так:











Светодиоды делятся на индикаторные и осветительные.

Индикаторные светодиоды обладают слабым свечением и используются для индикации каких-либо процессов, происходящих в электронной цепи. Для них характерно слабое свечение и малый ток потребления

Ну и осветительные светодиоды — это те, которые используются в ваших китайских фонариках, а также в LED-лампах

Светодиод — это токовый прибор, то есть для его нормальной работы требуется номинальный ток, а не напряжение.

При номинальном токе на светодиоде падает некоторое напряжение, которое зависит от типа светодиода (номинальной мощности, цвета, температуры). Ниже табличка, показывающая какое падение напряжения бывает на светодиодах разных цветов свечения при номинальном токе:

Цвет	Напряжение
 Red	1.63 ~ 2.03
 Yellow	2.10 ~ 2.18
 Orange	2.03 ~ 2.10
 Blue	2.48 ~ 3.7
 Green	1.9 ~ 4.0
 Violet	2.76 ~ 4.0
 UV	3.1 ~ 4.4
 White	3.2 to 3.6

Тиристоры

Тиристоры представляют собой диоды, проводимость которых управляется с помощью третьего вывода — управляющего электрода (УЭ).



Основное применение тиристоров — это управление мощной нагрузкой с помощью слабого сигнала, подаваемого на управляющий электрод.

Выглядят тиристоры примерно как диоды или транзисторы.

Главный параметр — $I_{oc,cp}$ — среднее значение тока, которое должно протекать через тиристор в прямом направлении без вреда для прибора.

Немаловажным параметром является напряжение открытия тиристора — (U_y), которое подается на управляющий электрод и при котором тиристор полностью открывается.

Существуют также разновидности тиристоров — *динисторы и симисторы*.

У динисторов нет управляющего электрода и он выглядит, как обычный диод. Динисторы начинают пропускать через себя электрический ток в прямом включении, когда напряжение на нем превысит какое-то значение.

Симисторы — это те же самые триодные тиристоры, но при включении пропускают через себя электрический ток в двух направлениях, поэтому они используются в цепях с переменным током.

Транзистор — электронный полупроводниковый прибор, в котором ток в цепи двух электродов управляется третьим электродом.

Первыми были изобретены полевые транзисторы (1928 год), а биполярные появились в 1947 году в лаборатории Bell Labs. И это была, без преувеличения, революция в электронике.

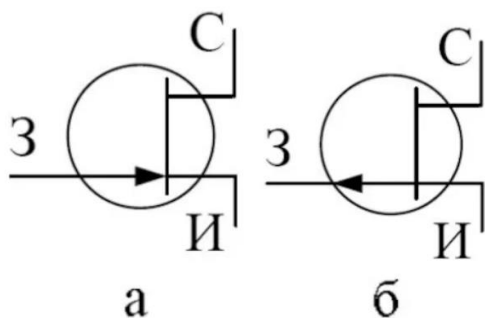
Очень быстро транзисторы заменили вакуумные лампы в различных электронных устройствах. В связи с этим возросла надежность таких устройств и намного уменьшились их размеры. И по сей день, насколько бы «навороченной» не была микросхема, она все равно содержит в себе множество транзисторов (а также диодов, конденсаторов, резисторов и проч.). Только очень маленьких.

Кстати, изначально «транзисторами» называли резисторы, сопротивление которых можно было изменять с помощью величины подаваемого напряжения. Если отвлечься от физики процессов, то современный транзистор тоже можно представить как сопротивление, зависящее от подаваемого на него сигнала.

ВИДЫ

В чем же отличие между полевыми и биполярными транзисторами? Ответ заложен в самих их названиях.

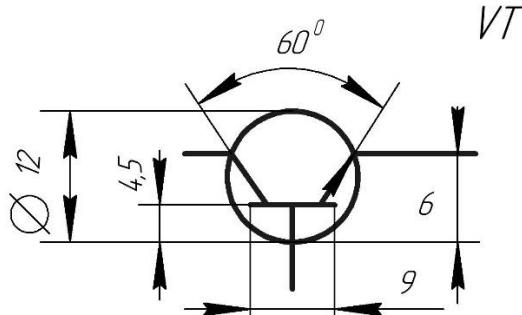
В полевом (он же униполярный) — **или электроны, или дырки**.



С – сток, З – затвор, И – исток.

В биполярном транзисторе в переносе заряда участвуют и электроны, и дырки.

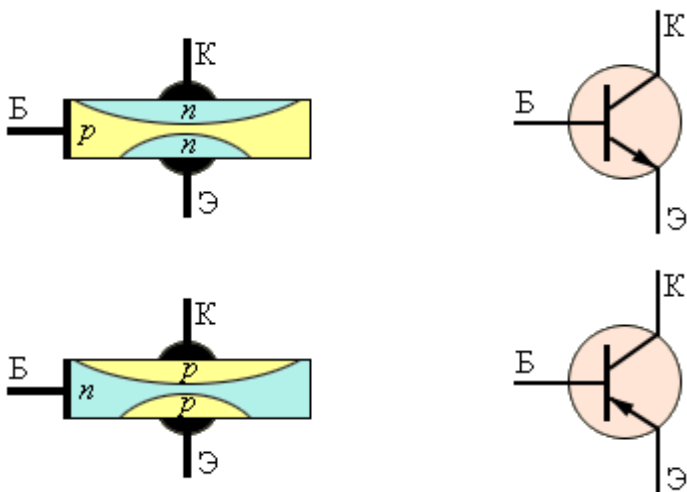
Также эти типы транзисторов разнятся по областям применения. Биполярные используются в основном в аналоговой технике, а полевые — в цифровой.



Биполярный транзистор состоит из трех областей: эмиттера, базы и коллектора, на каждую из которых подается напряжение.

Условные обозначения n-p-n и p-n-p транзисторов отличаются только направлением стрелочки, обозначающей эмиттер. Она показывает то, как течет ток в данном транзисторе.

Принцип работы. Основные характеристики



В зависимости от типа проводимости этих областей, выделяют n-p-n и p-n-p транзисторы.

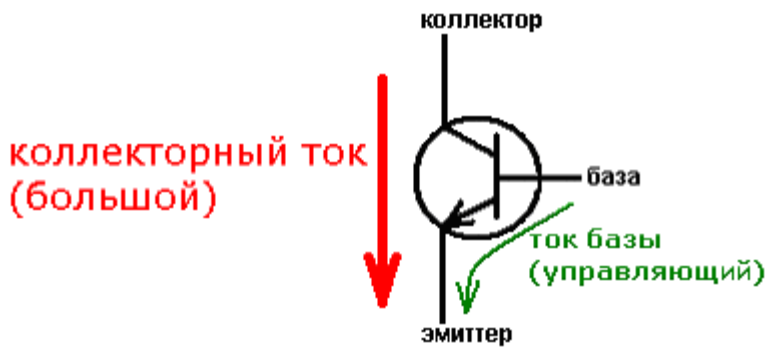
Обычно область коллектора шире, чем эмиттера.

Базу изготавливают из слаболегированного полупроводника (из-за чего она имеет большое сопротивление) и делают очень тонкой.

Поскольку площадь контакта эмиттер-база получается значительно меньше площади контакта база-коллектор, то поменять эмиттер и коллектор местами с помощью смены полярности подключения нельзя.

Таким образом, транзистор относится к несимметричным устройствам.

Между эмиттером и коллектором течет сильный ток (ток коллектора), а между эмиттером и базой — слабый управляющий ток (ток базы). Ток коллектора будет меняться в зависимости от изменения тока базы.



Рассмотрим p-n переходы транзистора. Их два: эмиттер-база (ЭБ) и база-коллектор (БК).

В активном режиме работы транзистора первый из них подключается с прямым, а второй — с обратным смещениями. Что же при этом происходит на p-n переходах?

Для большей определенности будем рассматривать n-p-n транзистор. Для p-n-p все аналогично, только слово «электроны» нужно заменить на «дырки».

Поскольку переход ЭБ открыт, то электроны легко «перебегают» в базу. Там они частично рекомбинируют с дырками, но большая их часть из-за малой толщины базы и ее слабой легированности успевает добежать до перехода база-коллектор. Который, как мы помним, включен с обратным смещением. А поскольку в базе электроны — неосновные носители заряда, то электрическое поле перехода помогает им преодолеть его. Таким образом, ток коллектора получается лишь немного меньше тока эмиттера.

Если увеличить ток базы, то переход ЭБ откроется сильнее, и между эмиттером и коллектором сможет проскочить больше электронов. А поскольку ток коллектора изначально больше тока базы, то это изменение будет весьма и весьма заметно.

Таким образом, **произойдет усиление слабого сигнала, поступившего на базу.** Еще раз: сильное изменение тока коллектора является пропорциональным отражением слабого изменения тока базы.

На примере водопроводного крана. Вода в нем — ток коллектора, а управляющий ток базы — то, насколько мы поворачиваем ручку. Достаточно небольшого усилия (управляющего воздействия), чтобы поток воды из крана увеличился.

Помимо рассмотренных процессов, на p-n переходах транзистора может происходить еще ряд явлений.

Например, при сильном увеличении напряжения на переходе база-коллектор может начаться лавинное размножение заряда из-за ударной ионизации. А вкупе с туннельным эффектом это даст сначала электрический, а затем (с возрастанием тока) и тепловой пробой.

Однако, тепловой пробой в транзисторе может наступить и без электрического (т.е. без повышения коллекторного напряжения до пробивного). Для этого будет достаточно одного чрезмерного тока через коллектор.

Еще одно явление связано с тем, что при изменении напряжений на коллекторном и эмиттерном переходах меняется их толщина. И если база чрезмерно тонкая, то может возникнуть эффект смыкания (так называемый «прокол» базы) — соединение

коллекторного перехода с эмиттерным. При этом область базы исчезает, и транзистор перестает нормально работать.

Коллекторный ток транзистора в нормальном активном режиме работы транзистора больше тока базы в определенное число раз. Это число называется **коэффициентом усиления по току** и является одним из основных параметров транзистора. Обозначается оно **h_{21}** .

Если транзистор включается без нагрузки на коллектор, то при постоянном напряжении коллектор-эмиттер отношение тока коллектора к току базы даст **статический коэффициент усиления по току**. Он может равняться десяткам или сотням единиц, но стоит учитывать тот факт, что в реальных схемах этот коэффициент меньше из-за того, что при включении нагрузки ток коллектора закономерно уменьшается.

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.

Также транзисторы имеют **частотную характеристику**, которая характеризует способность транзистора усиливать сигнал, частота которого приближается к граничной частоте усиления. Дело в том, что с увеличением частоты входного сигнала коэффициент усиления снижается. Это происходит из-за того, что время протекания основных физических процессов (время перемещения носителей от эмиттера к коллектору, заряд и разряд барьерных емкостных переходов) становится соизмеримым с периодом изменения входного сигнала. Т.е. транзистор просто не успевает реагировать на изменения входного сигнала и в какой-то момент просто перестает его усиливать. Частота, на которой это происходит, и называется **граничной**.

Также параметрами биполярного транзистора являются:

- обратный ток коллектор-эмиттер
- время включения
- обратный ток колектора
- максимально допустимый ток

Режимы работы биполярного транзистора

Рассмотренный выше вариант представляет собой нормальный активный режим работы транзистора. Однако, есть еще несколько комбинаций открытости/закрытости p-n переходов, каждая из которых представляет отдельный режим работы транзистора.

1. Инверсный активный режим.

Здесь открыт переход БК, а ЭБ наоборот закрыт. Усилительные свойства в этом режиме, естественно, хуже некуда, поэтому транзисторы в этом режиме используются очень редко.

2. Режим насыщения.

Оба перехода открыты. Соответственно, основные носители заряда коллектора и эмиттера «бегут» в базу, где активно рекомбинируют с ее основными носителями. Из-за возникающей избыточности носителей заряда сопротивление базы и р-п переходов уменьшается. Поэтому цепь, содержащую транзистор в режиме насыщения можно считать короткозамкнутой, а сам этот радиоэлемент представлять в виде эквипотенциальной точки.

3. Режим отсечки.

Оба перехода транзистора закрыты, т.е. ток основных носителей заряда между эмиттером и коллектором прекращается. Потоки неосновных носителей заряда создают только малые и неуправляемые тепловые токи переходов. Из-за бедности базы и переходов носителями зарядов, их сопротивление сильно возрастает. Поэтому часто считают, что транзистор, работающий в режиме отсечки, представляет собой разрыв цепи.

4. Барьерный режим

В этом режиме база напрямую или через малое сопротивление замкнута с коллектором. Также в коллекторную или эмиттерную цепь включают резистор, который задает ток через транзистор. Таким образом получается эквивалент схемы диода с последовательно включенным сопротивлением. Этот режим очень полезный, так как позволяет схеме работать практически на любой частоте, в большом диапазоне температур и нетребователен к параметрам транзисторов.

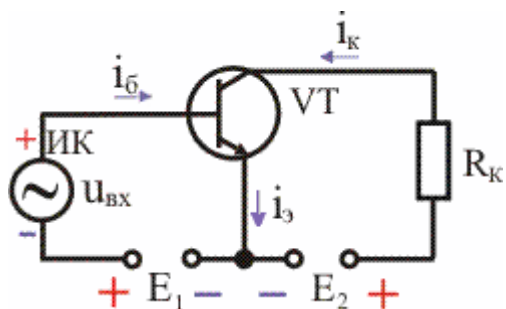
Схемы включения биполярных транзисторов

Поскольку контактов у транзистора три, то в общем случае питание на него нужно подавать от двух источников, у которых вместе получается четыре вывода.

Поэтому на один из контактов транзистора приходится подавать напряжение одинакового знака от обоих источников.

И в зависимости от того, что это за контакт, различают три схемы включения биполярных транзисторов: с общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК) и общей базой (ОБ). У каждой из них есть как достоинства, так и недостатки. Выбор между ними делается в зависимости от того, какие параметры для нас важны, а какими можно поступить.

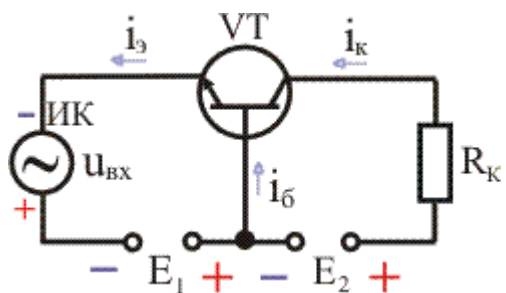
Схема включения с общим эмиттером



Эта схема дает наибольшее усиление по напряжению и току (а отсюда и по мощности — до десятков тысяч единиц), в связи с чем является наиболее распространенной. Здесь переход эмиттер-база включается прямо, а переход база-коллектор — обратно. А поскольку и на базу, и на коллектор подается напряжение одного знака, то схему можно запитать от одного источника. В этой схеме фаза выходного переменного напряжения меняется относительно фазы входного переменного напряжения на 180 градусов.

Но ко всем плюшкам схема с ОЭ имеет и существенный недостаток. Он заключается в том, что рост частоты и температуры приводит к значительному ухудшению усилительных свойств транзистора. Таким образом, если транзистор должен работать на высоких частотах, то лучше использовать другую схему включения. Например, с общей базой.

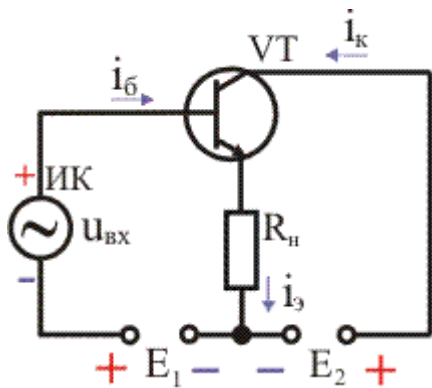
Схема включения с общей базой



Эта схема не дает значительного усиления сигнала, зато хороша на высоких частотах, поскольку позволяет более полно использовать частотную характеристику транзистора. Если один и тот же транзистор включить сначала по схеме с общим эмиттером, а потом с общей базой, то во втором случае будет наблюдаться значительное увеличение его граничной частоты усиления. Поскольку при таком подключении входное сопротивление низкое, а выходное — не очень большое, то собранные по схеме с ОБ каскады транзисторов применяют в антенных усилителях, где волновое сопротивление кабелей обычно не превышает 100 Ом.

В схеме с общей базой не происходит инвертирование фазы сигнала, а уровень шумов на высоких частотах снижается. Но, как уже было сказано, коэффициент усиления по току у нее всегда немного меньше единицы. Правда, коэффициент усиления по напряжению здесь такой же, как и в схеме с общим эмиттером. К недостаткам схемы с общей базой можно также отнести необходимость использования двух источников питания.

Схема включения с общим коллектором



Особенность этой схемы в том, что входное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. очень сильна отрицательная обратная связь.

Напомню, что отрицательной называют такую обратную связь, при которой выходной сигнал подается обратно на вход, чем снижает уровень входного сигнала. Таким образом происходит автоматическая корректировка при случайном изменении параметров входного сигнала

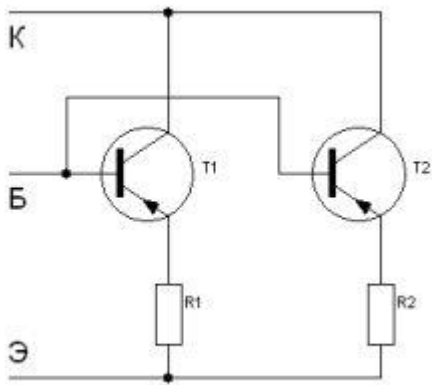
Коэффициент усиления по току почти такой же, как и в схеме с общим эмиттером. А вот коэффициент усиления по напряжению маленький (основной недостаток этой схемы). Он приближается к единице, но всегда меньше ее. Таким образом, коэффициент усиления по мощности получается равным всего нескольким десяткам единиц.

В схеме с общим коллектором фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением отсутствует. Поскольку коэффициент усиления по напряжению близок к единице, выходное напряжение по фазе и амплитуде совпадает со входным, т. е. повторяет его. Именно поэтому такая схема называется эмиттерным повторителем. Эмиттерным — потому, что выходное напряжение снимается с эмиттера относительно общего провода.

Такое включение используют для согласования транзисторных каскадов или когда источник входного сигнала имеет высокое входное сопротивление (например, пьезоэлектрический звукосниматель или конденсаторный микрофон).

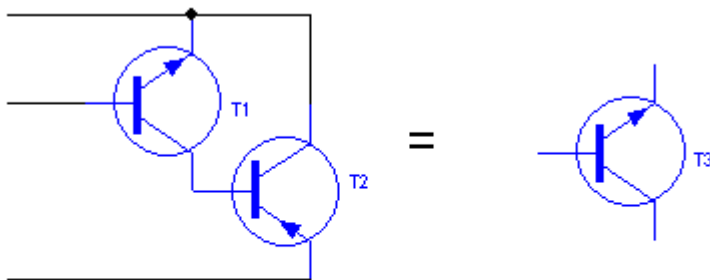
Два слова о каскадах

Бывает такое, что нужно увеличить выходную мощность (т.е. увеличить коллекторный ток). В этом случае используют параллельное включение необходимого числа транзисторов.



Естественно, они должны быть примерно одинаковыми по характеристикам. Но необходимо помнить, что максимальный суммарный коллекторный ток не должен превышать 1,6-1,7 от предельного тока коллектора любого из транзисторов каскада. Тем не менее (спасибо [wrewolf](#) за замечание), в случае с биполярными транзисторами так делать не рекомендуется. Потому что два транзистора даже одного типонаминала хоть немного, но отличаются друг от друга. Соответственно, при параллельном включении через них будут течь токи разной величины. Для выравнивания этих токов в эмиттерные цепи транзисторов ставят балансные резисторы. Величину их сопротивления рассчитывают так, чтобы падение напряжения на них в интервале рабочих токов было не менее 0,7 В. Понятно, что это приводит к значительному ухудшению КПД схемы.

Может также возникнуть необходимость в транзисторе с хорошей чувствительностью и при этом с хорошим коэффициентом усиления. В таких случаях используют каскад из чувствительного, но маломощного транзистора (на рисунке — VT1), который управляет энергией питания более мощного собрата (на рисунке — VT2).



$$h_{21Э} VT3 = h_{21Э} VT1 \times h_{21Э} VT2$$

Другие области применения биполярных транзисторов

Транзисторы можно применять не только в схемах усиления сигнала. Например, благодаря тому, что они могут работать в режимах насыщения и отсечки, их используют в качестве электронных ключей.

Также возможно использование транзисторов в схемах генераторов сигнала. Если они работают в ключевом режиме, то будет генерироваться прямоугольный сигнал, а если в режиме усиления — то сигнал произвольной формы, зависящий от управляющего воздействия.

Сглаживающие фильтры и стабилизаторы напряжения

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения.

Сглаживание пульсаций оценивают коэффициентом сглаживания q .

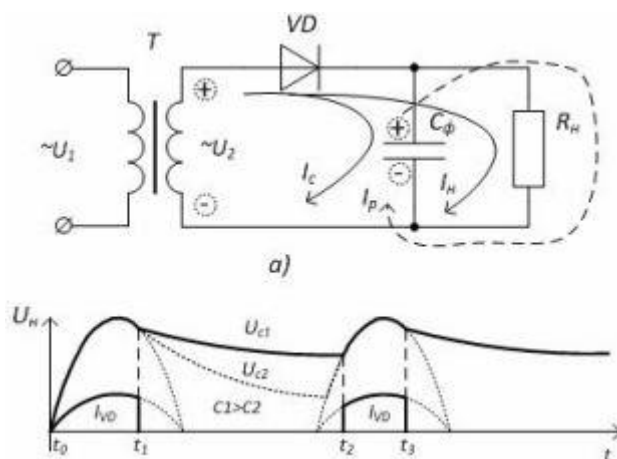
Основными элементами сглаживающих фильтров являются конденсаторы, катушки индуктивности и транзисторы, сопротивление которых различно для постоянного и переменного токов.

В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на однозвенные и многозвенные.

Емкостной фильтр представляет собой конденсатор большой емкости, который включается параллельно нагрузочному резистору R_H .

Конденсатор обладает большим сопротивлением постоянному току и малым сопротивлением переменному току.

Рассмотрим работу фильтра на примере схемы однополупериодного выпрямителя (рис. 1, а).



Однофазный однополупериодный выпрямитель с емкостным фильтром: а) схема б) временные диаграммы работы

При протекании положительной полуволны во временном промежутке $t_0 - t_1$ (рис. 2.63, б) протекает ток нагрузки (ток диода) и ток заряда конденсатора. Конденсатор заряжается и в момент времени t_1 напряжение на конденсаторе превышает спадающее напряжение вторичной обмотки – диод закрывается и во временной промежуток $t_1 - t_2$ ток в нагрузке обеспечивается разрядом конденсатора. Т.е. ток в нагрузке протекает постоянно, что значительно уменьшает пульсации выпрямленного напряжения.

Чем больше ёмкость конденсатора C_Φ , тем меньше пульсаций. Это определяется временем разряда конденсатора - постоянной времени разряда $\tau = C_\Phi R_H$.

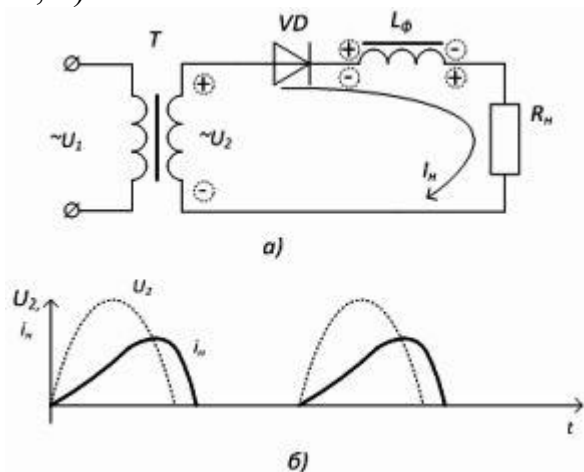
При $\tau > 10$ коэффициент сглаживания определяется по формуле $q = 2\pi f_c m C_\Phi R_H$, где f_c – частота сети, m – число полупериодов выпрямленного напряжения.

Емкостной фильтр целесообразно применять с высокоомным нагрузочным резистором R_H при небольших мощностях нагрузки.

Индуктивный фильтр (дрессель) включается последовательно с R_H (рис. 3, а).

Индуктивность обладает малым сопротивлением постоянному току и большим переменному.

Сглаживание пульсаций основывается на явлении самоиндукции, которая изначально препятствует нарастанию тока, а затем поддерживает его при уменьшении (рис. 2, б).



Однофазный однополупериодный выпрямитель с индуктивным фильтром: а) схема, б) временные диаграммы работы

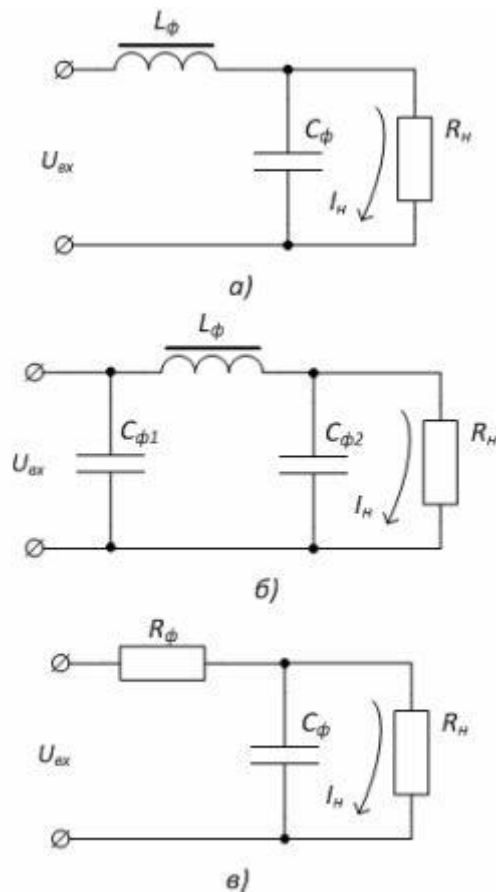
Индуктивные фильтры применяют в выпрямителях средней и большой мощностей, т. е. в выпрямителях, работающих с большими токами нагрузки.

Коэффициент сглаживания определяется по формуле: $q = 2\pi f_c m L_\phi / R_n$

Работа емкостного и индуктивного фильтра основана на том, что во время протекания тока, потребляемого из сети, конденсатор и катушка индуктивности запасают энергию, а когда тока от сети нет, либо он уменьшается, элементы отдают накопленную энергию, поддерживая ток (напряжение) в нагрузке.

Многозвенные фильтры используют сглаживающие свойства и конденсаторов и катушек индуктивности. В маломощных выпрямителях, у которых сопротивление нагрузочного резистора составляет несколько кОм, вместо дросселя L_ϕ включают резистор R_ϕ , что существенно уменьшает массу и габариты фильтра.

На рисунке 3 представлены типы многозвенных LC- и RC- фильтров.



Многоступенчатые фильтры: а) Г - образный LC, б) П- образный LC, в) RC - фильтр

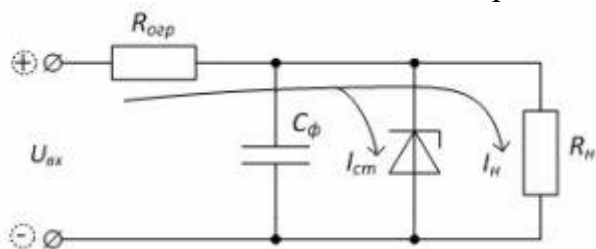
Стабилизаторы предназначены для стабилизации постоянного напряжения (тока) на нагрузке при колебаниях сетевого напряжения и изменении потребляемого нагрузкой тока.

Стабилизаторы подразделяются на стабилизаторы напряжения и тока, а также на параметрические и компенсационные.

Стабильность выходного напряжения оценивают коэффициентом стабилизации $K_{ст}$.

Параметрический стабилизатор основан на использовании элемента с нелинейной характеристикой - полупроводникового стабилитрона. Напряжение на стабилитроне почти постоянно при значительном изменении обратного тока через прибор.

Схема параметрического стабилизатора приведена на рисунке 4. Входное напряжение $U_{вх}$ распределяется между ограничивающим резистором $R_{огр}$ и параллельно включенными стабилитроном VD и резистором нагрузки R_n .



Параметрический стабилизатор

При увеличении входного напряжения ток через стабилитрон увеличится, значит, увеличится ток через ограничивающий резистор, и на нём будет происходить большее падение напряжения, а напряжение нагрузки останется неизменным.

Параметрический стабилизатор имеет $K_{ст}$ порядка 20 - 50.

Недостатками такого типа стабилизаторов являются малые токи стабилизации и низкий КПД.

Параметрические стабилизаторы применяют в качестве вспомогательных опорных источников напряжения, а также когда ток нагрузки невелик - не более сотен миллиампер.

Компенсационный стабилизатор использует в качестве ограничивающего резистора переменное сопротивление транзистора.

С ростом входного напряжения возрастает и сопротивление транзистора, соответственно с уменьшением напряжения уменьшается сопротивление. При этом напряжение на нагрузке остается неизменным.

Схема стабилизатора на транзисторах представлена на рисунке 5. Принцип регулирования выходного напряжения $U_{Rн}$ основан на изменении проводимости регулирующего транзистора VT1.

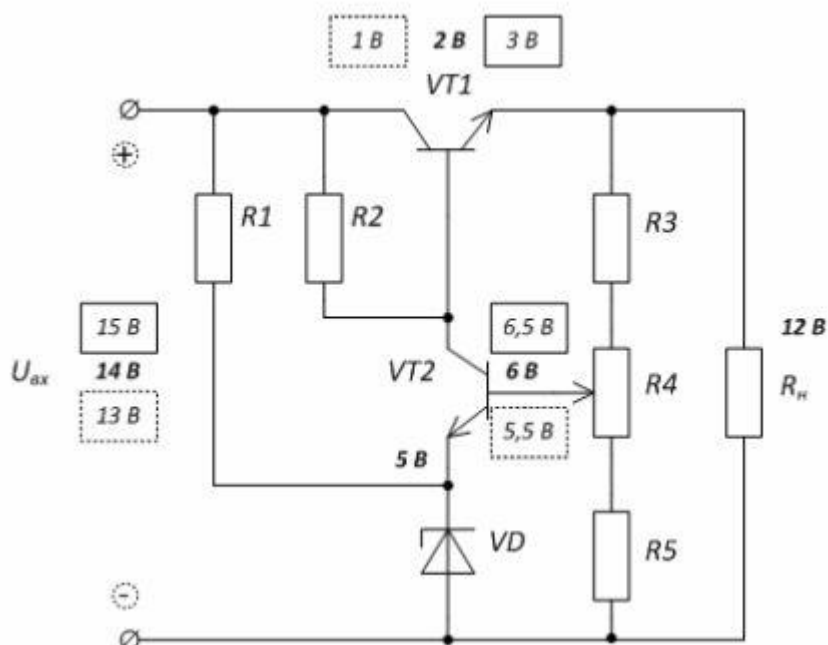
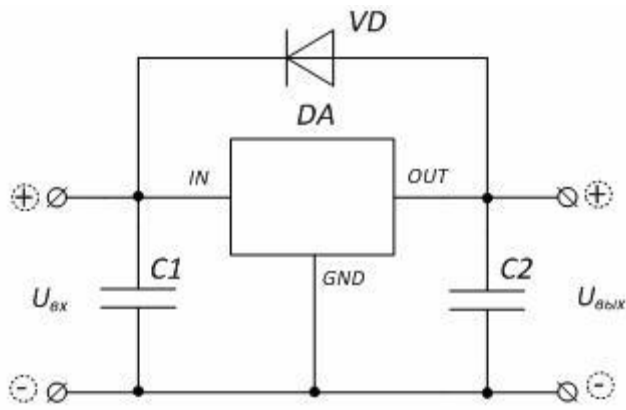


Схема компенсационного стабилизатора напряжения

На транзисторе VT2 собрана схема сравнения напряжений и усилитель постоянного тока. В цепь его базы включена измерительная цепь R3, R4, R5, в цепь эмиттера - источник опорного напряжения R1VD.

Например, при увеличении входного напряжения, выходное также возрастёт, что приведёт к росту напряжения на базе транзистора VT2, в тоже время потенциал эмиттера VT2 останется прежним. Это приведёт к увеличению тока базы, а значит и тока коллектора транзистора VT2 – потенциал базы транзистора VT1 уменьшится, транзистор подзакроется и на нём будет происходить большее падение напряжения, а выходное напряжение останется неизменным.

На сегодняшний день стабилизаторы выпускают в виде интегральных схем. Типовая схема включения интегрального стабилизатора изображена на рисунке 6.



Типовая схема включения интегрального стабилизатора напряжения

Обозначение выводов микросхемы стабилизатора: "IN" – вход, "OUT" – выход, "GND" -общий (корпус). Если стабилизатор регулируемый, то имеется вывод "ADJ" - регулировка.

Выбор стабилизатора производится исходя из значения выходного напряжения, максимального тока нагрузки и диапазона изменения входного напряжения.