

Обеспечение диагностирования радиоэлектронных средств

ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Обеспечение диагностирования радиоэлектронных средств

Полупроводниковые элементы

Понимание основ теории полупроводников необходимо при тестировании этих элементов. Одним из первых известных полупроводниковых устройств являлся кристаллический детектор. Он состоял из кристаллического галенита с проволочным контактом и прижимающей пружиной. Это сочетание выпрямляло ток.

Кристалл галенита был ненадежен, он был первым шагом в применении полупроводников. Развитие современных диодов и транзисторов началось с базовой теории и разработки материалов p - и n -типа.

Обеспечение диагностирования радиоэлектронных средств

Полупроводниковые элементы

Для создания материалов p - и n -типа используется кристаллический германий или кремний. Атомный номер кремния 14, с 4 валентными электронами на внешней орбите. Атомный номер германия 32, и он также имеет 4 валентных электрона на внешней орбите (рис. 1.12).

Полупроводниковые элементы

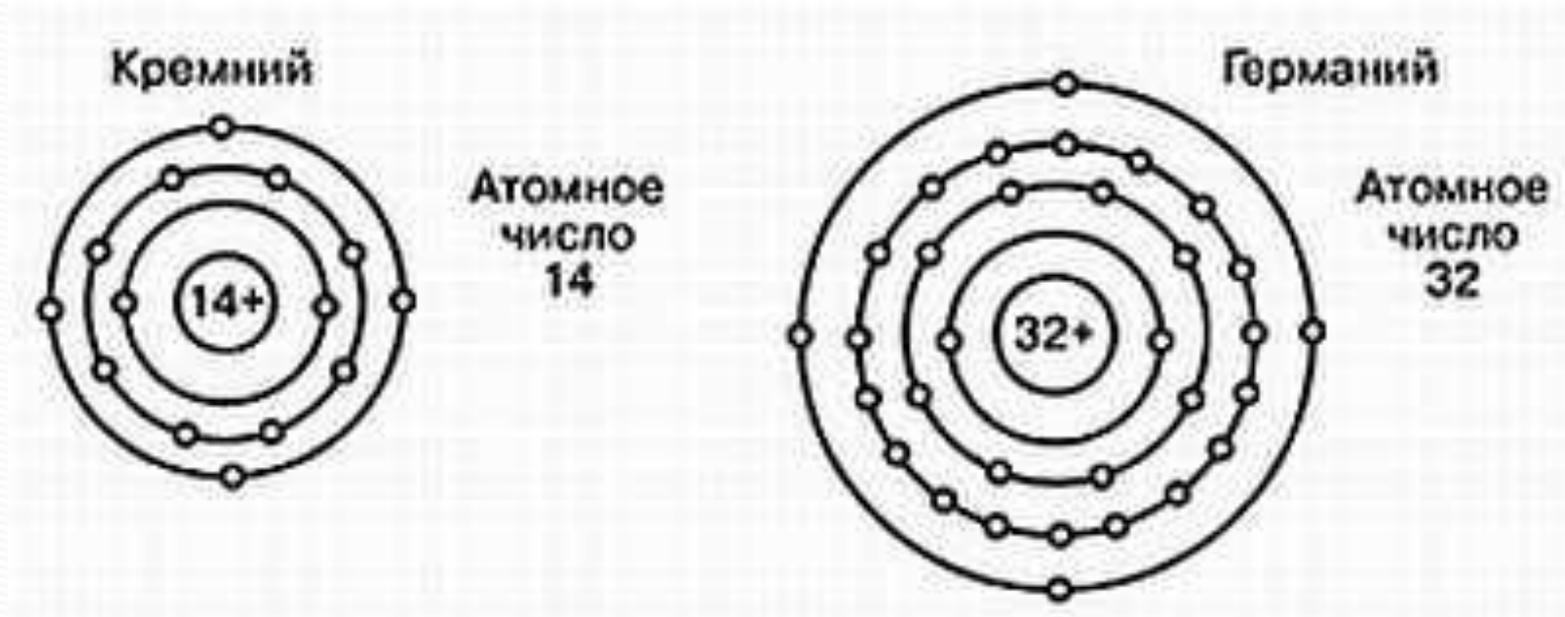


Рис. 1.12. Строение атомов кремния и германия

Полупроводниковые элементы

- Для образования материала p -типа, добавляются примеси, галлий или индий, которые называются трехвалентными, поскольку имеют 3 электрона на внешней оболочке. Когда галлий или индий добавляются к кремнию или германию (которые имеют валентность 4), место одного валентного электрона остается незанятым и называется дыркой. Оно имеет положительный заряд и в результате образуется материал p -типа. Примесь, которая приводит к образованию дырок, называется акцепторной (рис. 1.13).

Полупроводниковые элементы

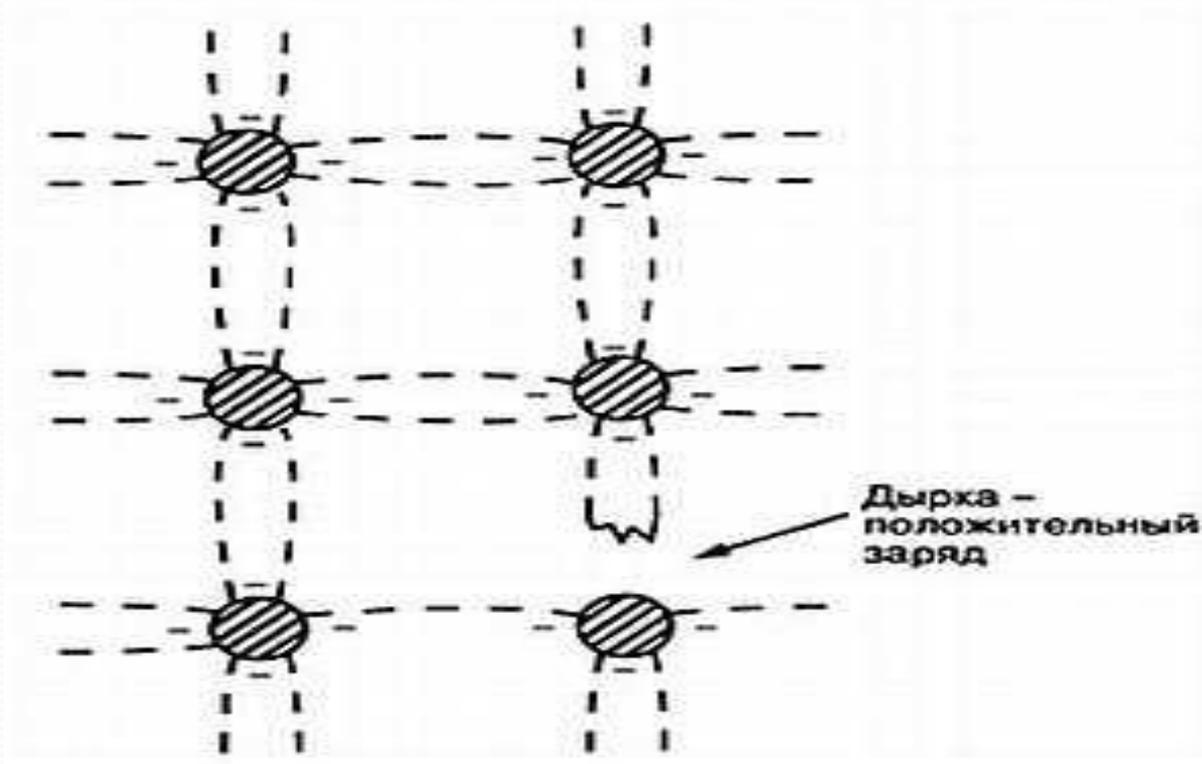


Рис. 1.13. Добавление акцепторной примеси в кристалл вызывает образование дырки, в результате образуется материал **p**-типа

Полупроводниковые элементы

Для формирования материала n-типа добавляется примесь из мышьяка или сурьмы. Она является пентавалентной, то есть имеющей 5 валентных электронов на внешней орбите. При добавлении в германий или кремний соединяется с 4 валентными электронами и образует 1 свободный электрон, который дает атому отрицательный заряд, поэтому эта примесь называется донорной (рис. 1.14).

Полупроводниковые элементы

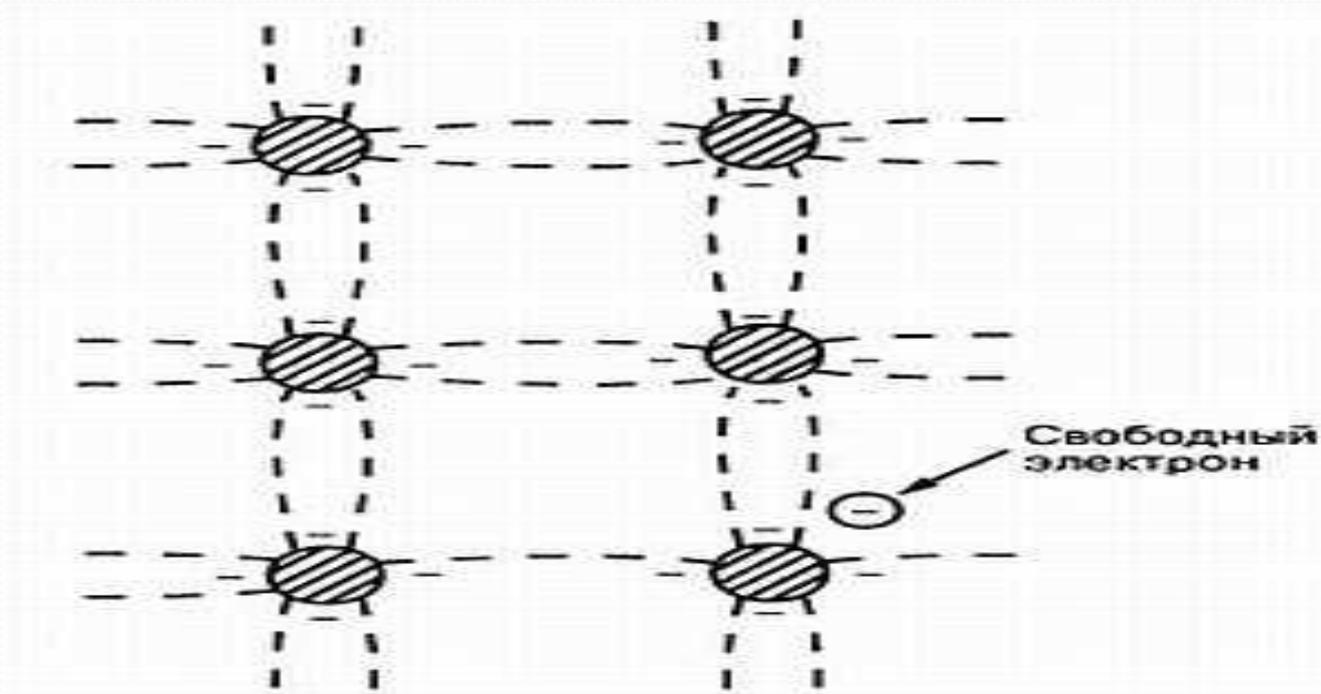


Рис. 1.14. Добавление донорной примеси в кристалл вызывает образование «лишнего» электрона, в результате образуется материал *n*-типа

Полупроводниковые элементы

Когда материалы p - и n -типа вступают в контакт, образуется p - n -переход. Такая структура называется диодом, поскольку она позволяет току проходить только в одном направлении. Когда к диоду подключена батарея таким образом, что положительный полюс батареи соединен с положительным полюсом диода, а отрицательный полюс батареи соединен с отрицательным полюсом диода, через диод течет ток. Это называется прямым смещением перехода (диода) и показано на рис. 1.15.

Полупроводниковые элементы

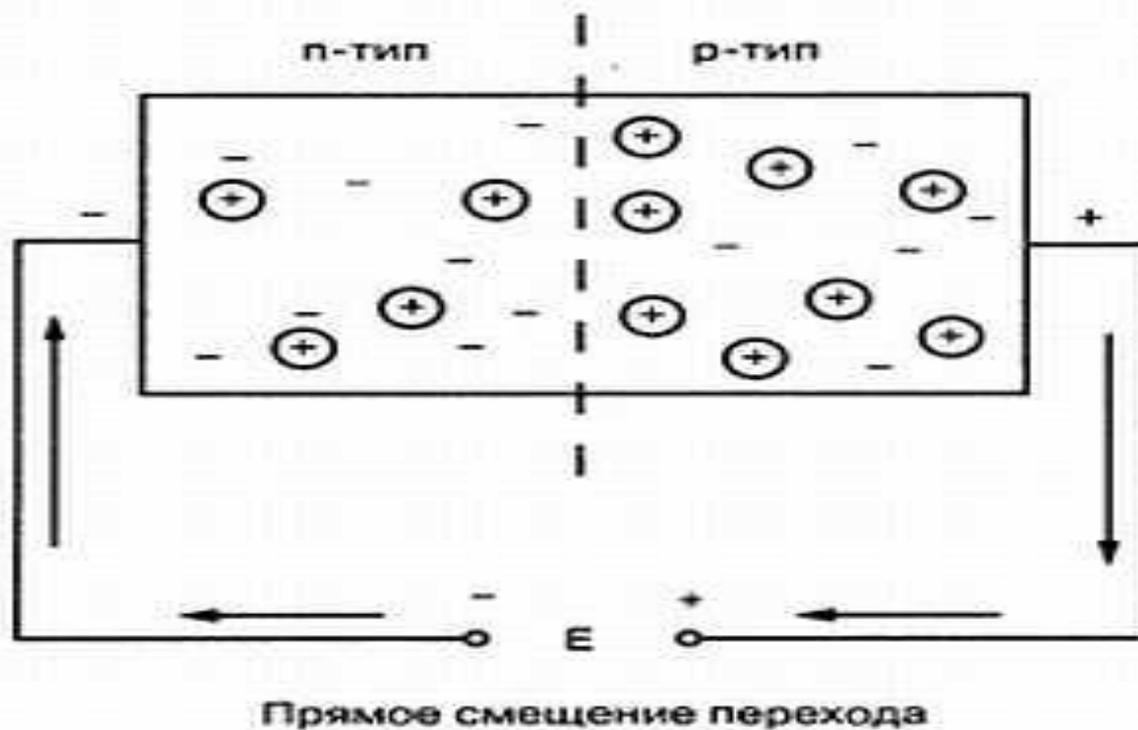


Рис. 1.15. Прямое смещение диода

Полупроводниковые элементы

Если положительный полюс напряжения приложен к зоне p с основными носителями заряда — дырками, а отрицательный полюс — к зоне n , где основные носители — электроны — под действием внешнего поля дырки будут отталкиваться положительным потенциалом, а электроны — отрицательным. Под действием этих сил дырки и электроны двигаются навстречу друг другу, к p - n переходу, где происходит их рекомбинация, и в цепи протекает ток.

Полупроводниковые элементы

Изменив полярность включения внешнего источника, можно добиться того, что дырки будут притягиваться к отрицательному полюсу, а электроны — к положительному. Под действием этих сил электроны и дырки будут двигаться в направлении от перехода, вследствие чего переход будет обеднен носителями заряда, число рекомбинаций значительно сократится и ток через переход будет близок к нулю. В этом случае говорят, что к переходу приложено обратное запирающее напряжение.

Обратно смещенный диод показан на рис. 1.6.

Полупроводниковые элементы

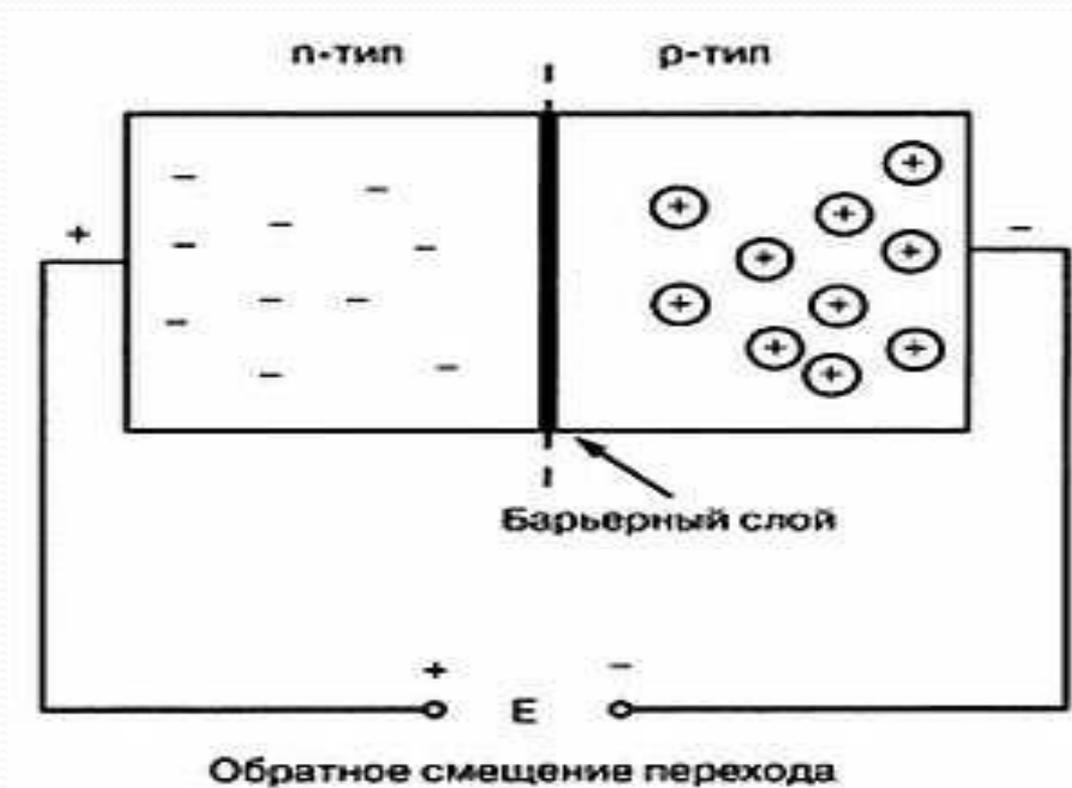


Рис. 1.16. Обратное смещенный диод

Полупроводниковые элементы

Положительная p -сторона диода называется анодом, а отрицательная n -сторона — катодом. Для специалиста важно хорошо разбираться в этом. Стрелка показывает p -сторону. Линия показывает сторону n . Линия или точка, поставленная изготовителем на диоде, показывает катод. Имейте в виду, что изготовители обычно отмечают катод полоской. Когда конец диода с полосой подключен к положительному полюсу источника питания, диод будет смещен в обратную сторону.

Полупроводниковые элементы

Для проверки диода специалист может использовать или цифровой вольтметр, или устройство проверки диодов или транзисторов. При проверке диода с помощью омметра вы можете использовать метод измерения низкого/высокого сопротивления. Вы помещаете переключатель диапазонов на $R \times 100$ и подключаете прибор к выводам диода. При прямом смещении омметр должен показывать меньше: от нескольких десятков до нескольких сотен Ом (то есть низкое сопротивление). При обратном смещении омметр должен показывать десятки и сотни кОм (то есть высокое сопротивление). Такие показания означают, что диод, возможно, исправен. Если ваши измерения свидетельствуют в обоих случаях о высоких или низких значениях сопротивления, это означает, что диод, вероятно, неисправен. Рис. 1.17 показывает правильную проверку диода с помощью омметра.

Полупроводниковые элементы

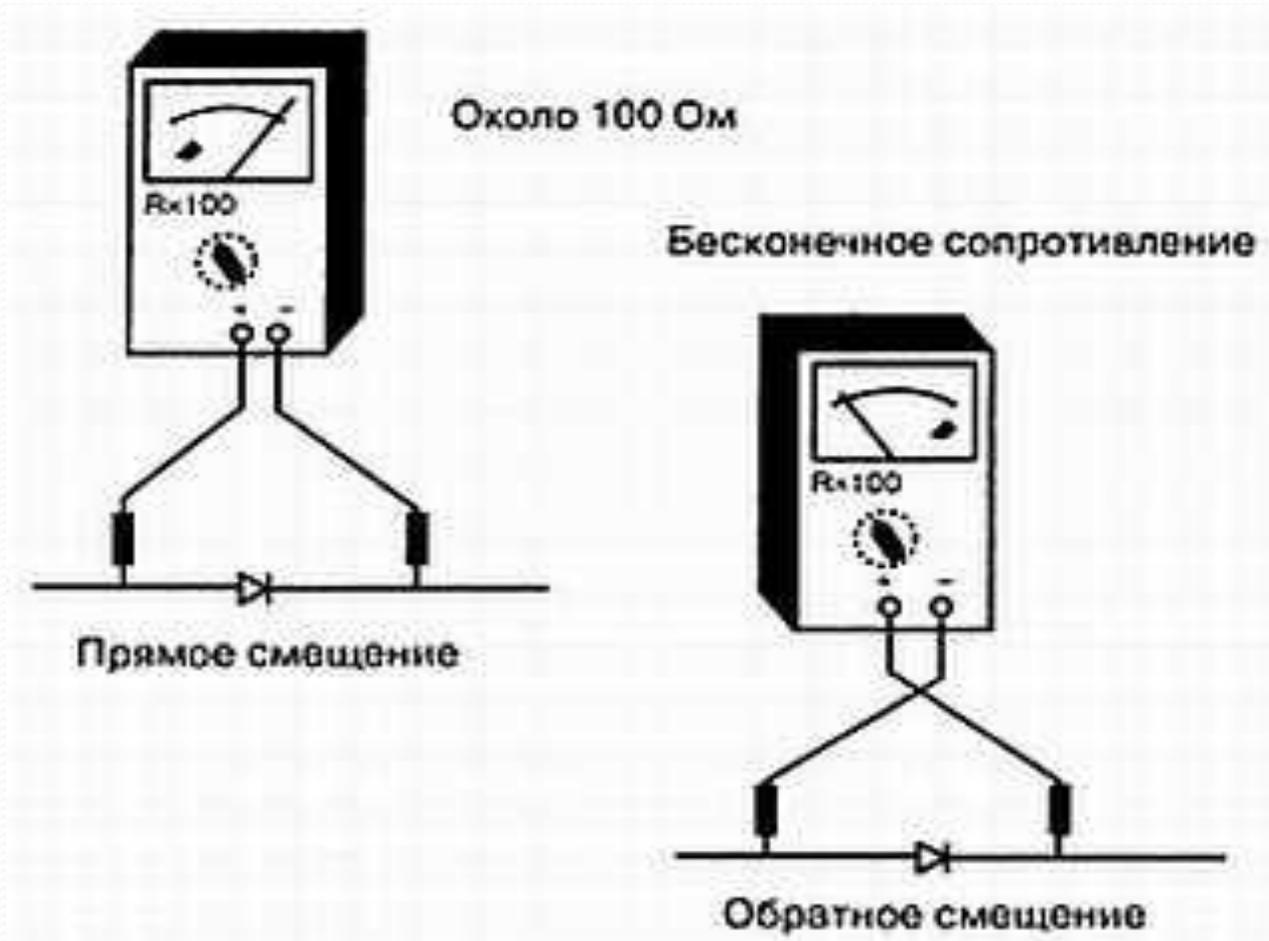


Рис. 1.17. Проверка диода с помощью омметра

Полупроводниковые элементы

Большинство диодов можно проверить с помощью омметра. Помните, что когда вы проводите измерения низкое/высокое, настоящая величина сопротивления диода не очень важна при изменении полярности подключения омметра. Если после проверки с помощью омметра остаются какие-либо сомнения, следует заменить диод. Кроме того, помните, что когда диод проверяется внутри цепи, его сопротивление может быть низким в обоих направлениях благодаря возможному шунтированию элементами прибора. Чтобы быть уверенным в исправности прибора, отпаяйте один вывод и снова проверьте диод с помощью омметра. Когда вы заменяете диод, имейте в виду, что он выдерживает только определенное напряжение при включении в обратном направлении. Это называется пиковым обратным напряжением диода. Никогда не превышайте этот параметр, иначе диод выйдет из строя.

Полупроводниковые элементы

Существуют различные типы диодов (стабилитроны, светодиоды, фотопроводящие, варисторы, туннельные), каждый из них имеет свои уникальные характеристики. Когда вы сомневаетесь в качестве прибора, наилучшим методом является замена. Например, стабилитроны могут работать при обратном смещении. Однако этот тип диодов заперт до определенного порога напряжения, или напряжения пробоя, а затем он проводит ток, сохраняя относительно постоянное напряжение. Такая работа дает стабилитрону возможность действовать как стабилизатор напряжения, и его можно использовать для источников питания со стабилизированным напряжением.

Полупроводниковые элементы

Транзистор фактически представляет собой два включенных во встречном направлении диода, комбинацию *p-n-p* или *n-p-n*. Первая область транзистора называется эмиттером, вторая — базой, третья — коллектором (рис. 1.18).

Полупроводниковые элементы

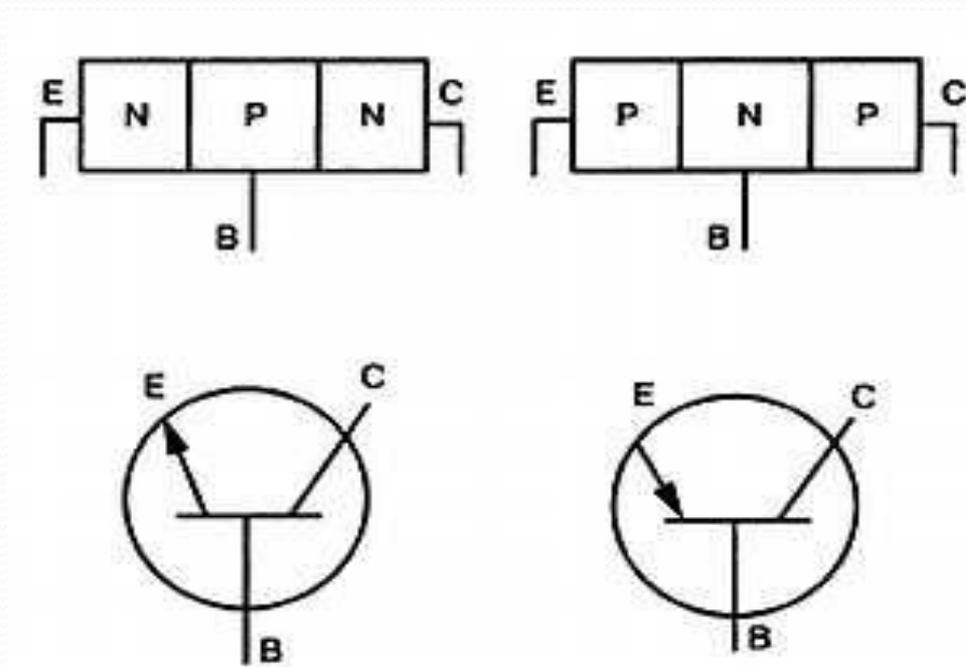


Рис. 1.18. *Три части транзистора*

Полупроводниковые элементы

Необходимо понимать принцип действия транзистора. Рис. 1.19 показывает n - p - n транзистор, где переход эмиттер-база смещен в прямом направлении, поэтому он имеет низкое сопротивление току.

Полупроводниковые элементы

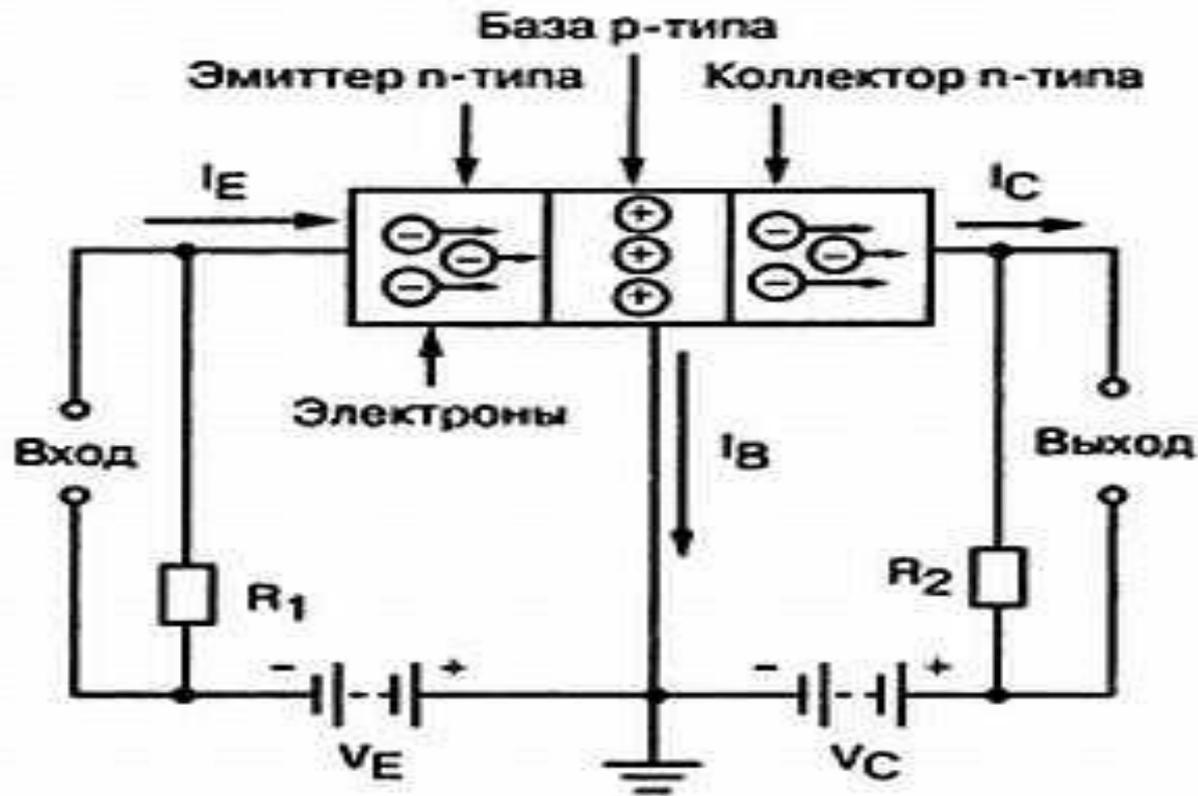


Рис. 1.19. Движение электронов в транзисторе n-p-n

Полупроводниковые элементы

Переход коллектор-база имеет высокое сопротивление, так как он смещен в обратном направлении. Отрицательный потенциал батареи заставляет электроны эмиттера направляться в базу и очень небольшое число этих электронов соединяться с положительными дырками, большинство же продолжает движение к области коллектора. Это происходит вследствие сильного действия положительного полюса батареи. Электроны замыкают цепь, возвращаясь к источнику питания. Помните, что новые дырки поступают в область базы от батареи, когда электроны заполняют старые.

Полупроводниковые элементы

Поскольку область коллектора имеет более высокое сопротивление, чем эмиттера, любое изменение тока в области эмиттера вызовет пропорциональную реакцию в области коллектора. Проходящий через транзистор сигнал будет, таким образом, усилен.

Величиной усиления сигнала можно управлять, регулируя поток электронов в область базы. Количество электронов, поступающих в область базы, определяет количество электронов, которые имеются в области коллектора. Регулирование числа электронов в базе называется смещением. В транзисторе прямое смещение (смещение перехода эмиттер-база) определяет усиление транзистора. Прямым смещением транзистора можно управлять, увеличивая или уменьшая напряжение или сопротивление области эмиттер-база (рис. 1.19).

Полупроводниковые элементы

Поведение потока электронов в транзисторе $p-n-p$ напоминает действия в транзисторе $n-p-n$, но ток образуется за счет движения дырок. Положительное воздействие батареи заставляет положительные дырки проходить из эмиттера через область база-коллектор и возвращаться к отрицательному полюсу батареи. Здесь снова, как в случае с электронами в транзисторе $n-p-n$, небольшое число вакансий заполняется электронами в области базы, но большинство дырок продолжает двигаться в область коллектора. Проводимость обеспечивается за счет тока дырок от эмиттера к коллектору. Поток электронов противоположен потоку дырок. Поэтому считается, что поток электронов в этой цепи идет в обратном направлении, от коллектора к эмиттеру. Пусть вас не смущает такое объяснение, в целом, основная функция обоих типов транзисторов в схемах одинакова. Оба транзистора усиливают ток (рис. 1.20).

Полупроводниковые элементы

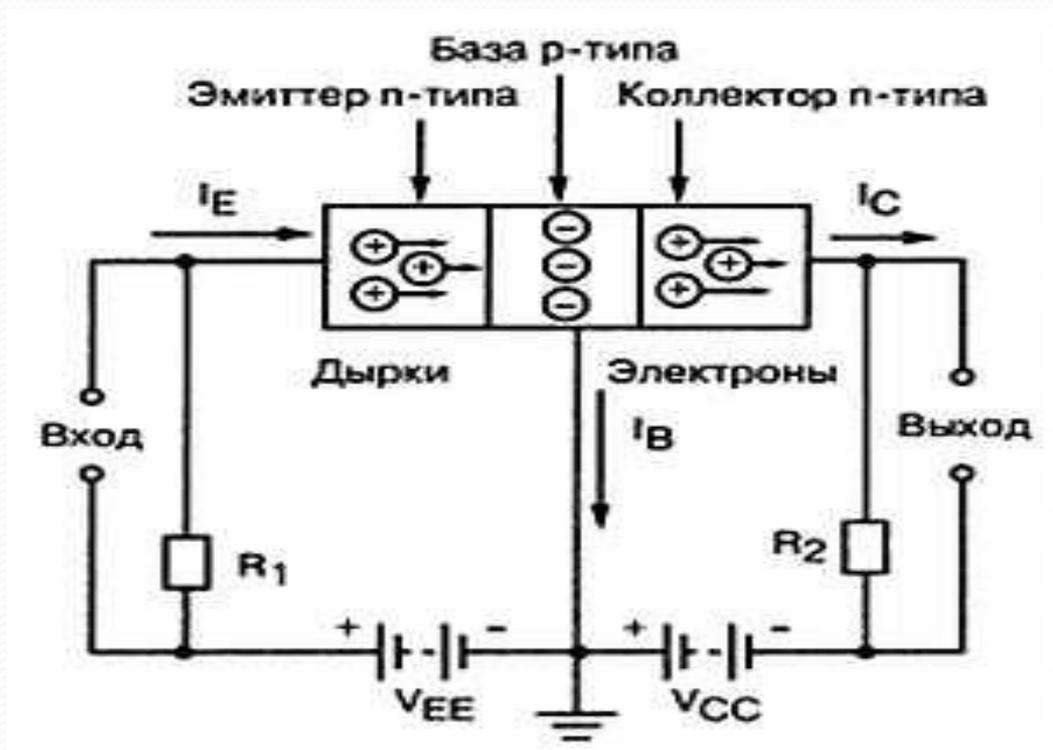


Рис. 1.20. Движение электронов в транзисторе p-n-p

Полупроводниковые элементы

Существуют три основные схемы включения транзисторов — с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. Каждая схема обладает собственными уникальными характеристиками.

Рис. 1.21. и табл. 1.1. показывают их основные различия.

Полупроводниковые элементы

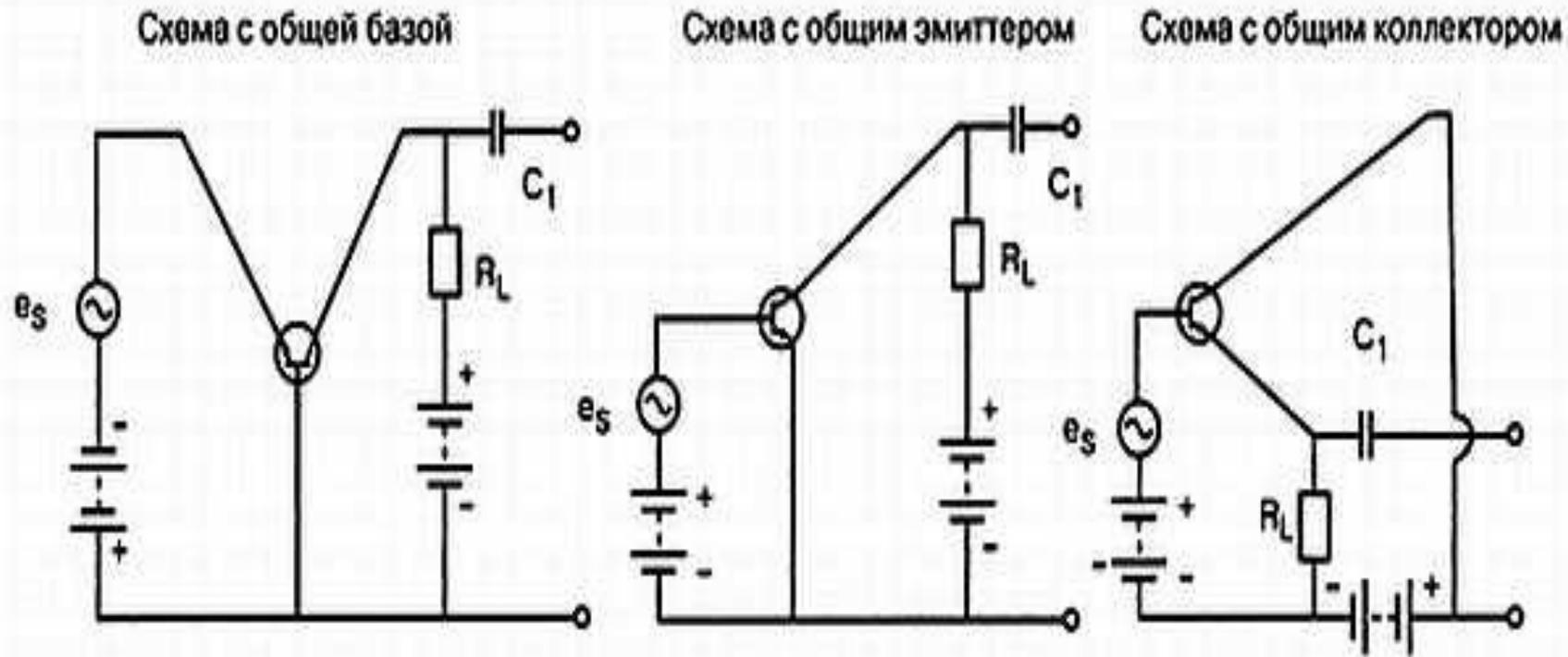


Рис. 1.21. Три основных схемы включения транзистора

Полупроводниковые элементы

Таблица 1.1. Характеристики трех основных схем включения транзистора

Функция транзистора	Схема с общей базой	Схема с общим эмиттером	Схема с общим коллектором
Коэффициент усиления по напряжению	Высокий	Высокий	Низкий
Коэффициент усиления по току	Низкий	Высокий	Высокий
Входной импеданс	Низкий	Умеренный	Высокий
Выходной импеданс	Высокий	Высокий	Низкий
Коэффициент усиления по мощности	Средний	Высокий	Умеренный

Рис. 1.21. Три основных схемы включения транзистора

Полупроводниковые элементы

Работа схем и рекомендации по поиску неисправностей в них более подробно обсуждаются в следующих главах. Транзисторы обычно тестируют с помощью специального устройства, или с помощью омметра (рис. 1.22).

Полупроводниковые элементы

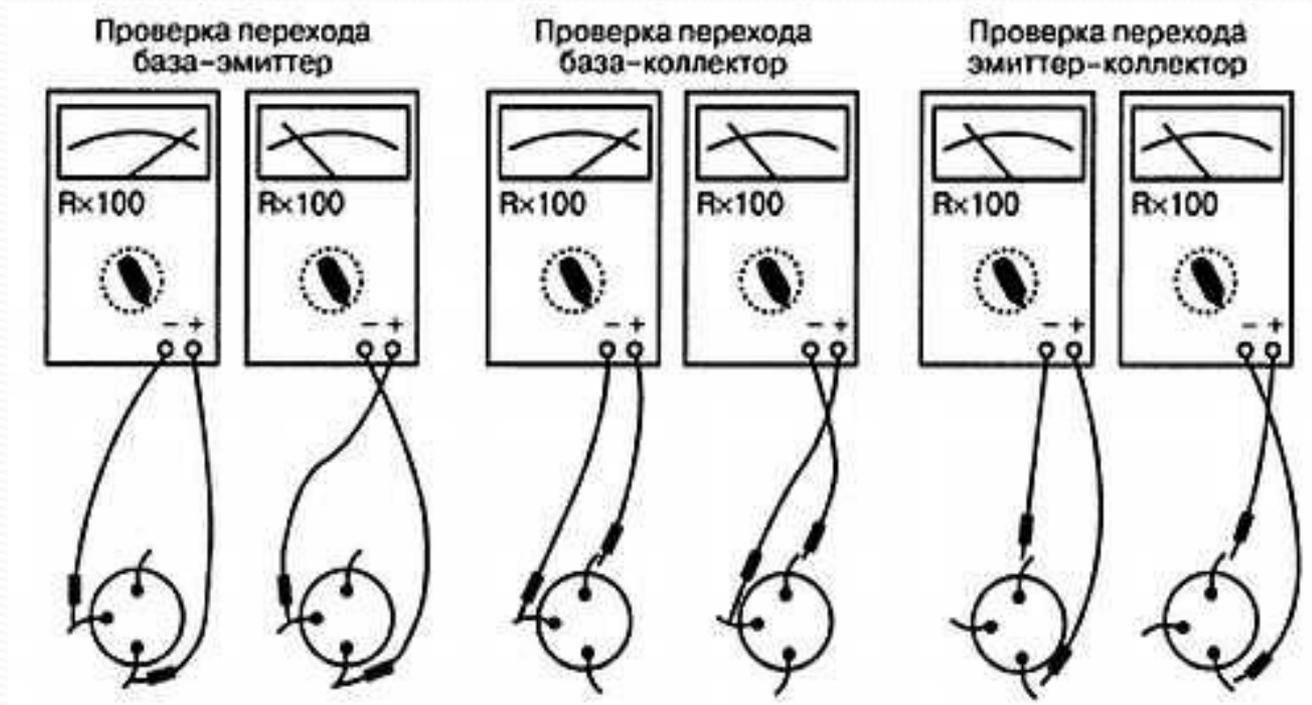


Рис. 1.22. Проверка транзистора на короткое замыкание и обрыв с использованием омметра

Полупроводниковые элементы

Имейте в виду; что транзистор фактически представляет собой два включенных в разные стороны диода и, следовательно, может быть проверен аналогично диоду. Для тестирования транзистора на короткое замыкание или обрыв подключите положительный контакт омметра ($R \times 100$) к базе, а отрицательный — к эмиттеру $n-p-n$ -транзистора. Теперь переход база-эмиттер смещен в прямом направлении и его сопротивление должно быть низким. Поменяв контакты местами мы сместим переход база-эмиттер в обратном направлении, и омметр будет показывать большое сопротивление. Переход коллектор-база проверяется аналогично.

Полупроводниковые элементы

- Помните, что всегда должны наблюдаться малые/большие показания омметра. Если при любом положении контактов прибора наблюдается большое сопротивление, это означает, что в транзисторе произошел обрыв, а в случае малого сопротивления в обоих измерениях — короткое замыкание (при проверке не включенного в схему транзистора).
- Во многих случаях можно проверить подобным образом транзисторы и в схеме. Если при тестировании в схеме данные показывают на вероятную неисправность транзистора, рекомендуется извлечь его из схемы и снова проверить.

Полупроводниковые элементы

Использование омметра является способом, который помогает определить, какому назначению соответствует конкретный вывод и/или качество транзистора. Сначала найдите эмиттер и коллектор, используя руководство изготовителя со схемой или с помощью измерений малое/большое омметром. Поместите один контакт омметра на эмиттер, а другой — на коллектор. Омметр покажет некую величину. Теперь закоротите базу на эмиттер. Сопротивление на приборе должно возрасти. При замыкании базы на коллектор сопротивление должно уменьшаться (рис. 1.23).

Полупроводниковые элементы

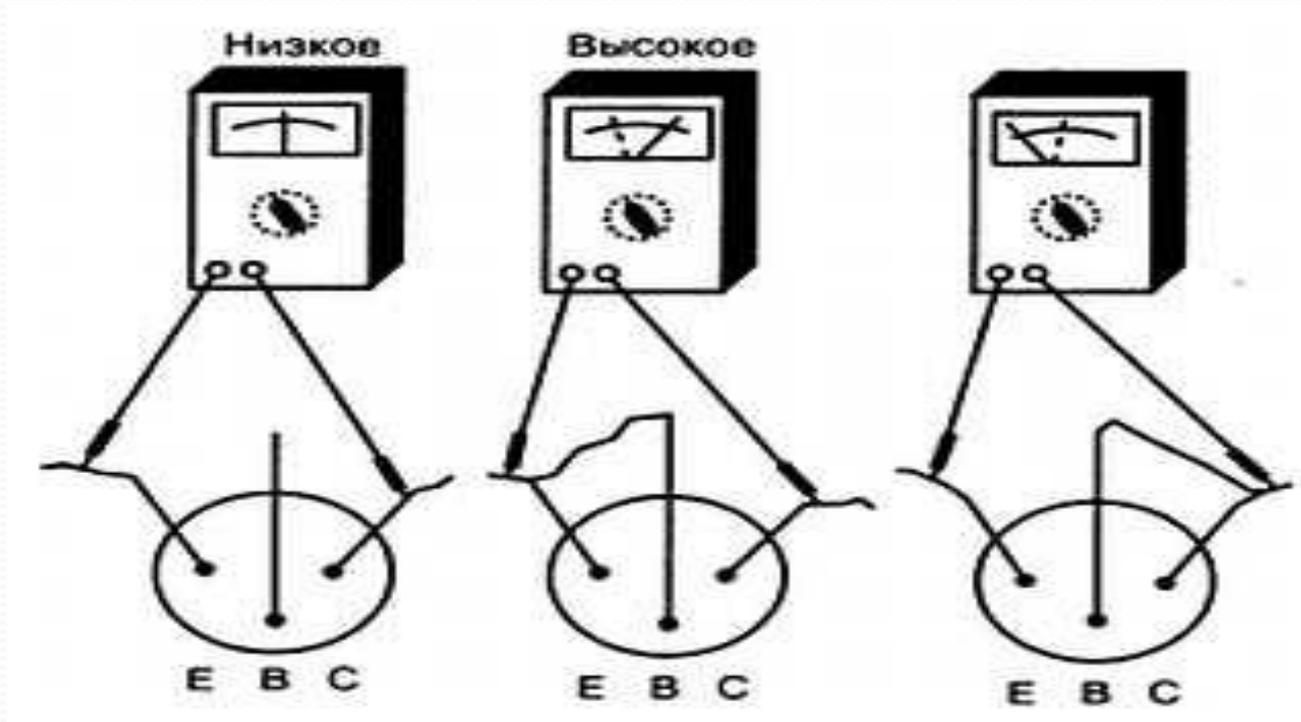


Рис. 1.23. Проверка качества транзистора с помощью омметра

Полупроводниковые элементы

Полевой транзистор (ПТ) представляет собой класс приборов, который часто используется в электронных схемах. Хотя по внешнему виду он похож на биполярный транзистор (*n-p-n* и *p-n-p*), полевой транзистор имеет другую конструкцию: три вывода — исток, затвор и сток, которые соответствуют эмиттеру, базе и коллектору биполярного транзистора (рис. 1.24).

Полупроводниковые элементы

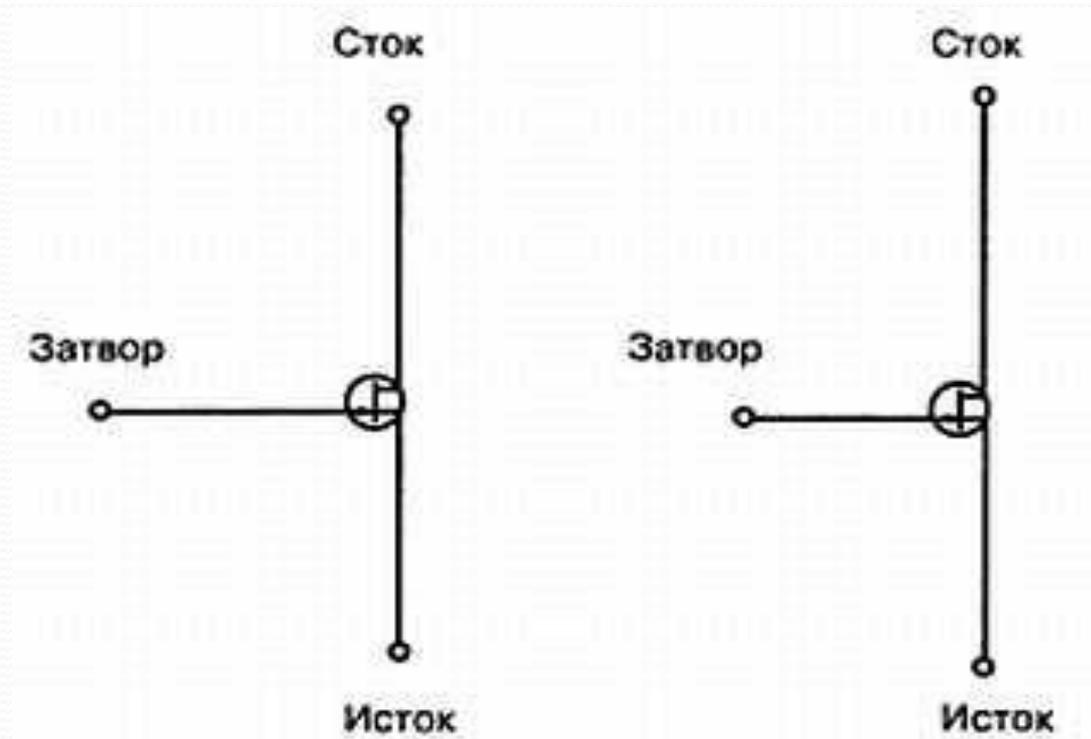


Рис. 1.24. Изображение на схеме полевых транзисторов с каналами n и p типа

Полупроводниковые элементы

Движение заряженных частиц происходит между истоком и стоком по «резистивной», то есть образованной полупроводниковой подложкой, части ПТ. Затвор представляет собой диодный переход, который смещен в обратном направлении, в отличие от прямо смещенного перехода биполярного транзистора. Поэтому затвор имеет очень высокое сопротивление, обеспечивая высокий входной импеданс, необходимый во многих цепях.

Полупроводниковые элементы

Устройство, имеющее плоскостной затвор, называется полевым транзистором с управляющим $p-n$ -переходом между затвором и каналом. Такой ПТ можно проверить с помощью омметра аналогично биполярному транзистору. Омметр ($R \times 100$) покажет результаты, аналогичные измерениям диода (большое/малое сопротивление) между стоком и затвором. Подобным же образом проверяется переход исток-затвор. Большие величины сопротивления, измеренные омметром, в обоих случаях указывает на обрыв в транзисторе, малые — на замыкание. В исправном транзисторе омметр при включении между истоком и стоком показывает малое сопротивление при любой полярности. Большое сопротивление при обоих измерениях указывает на обрыв в цепи (рис. 1.25).

Полупроводниковые элементы

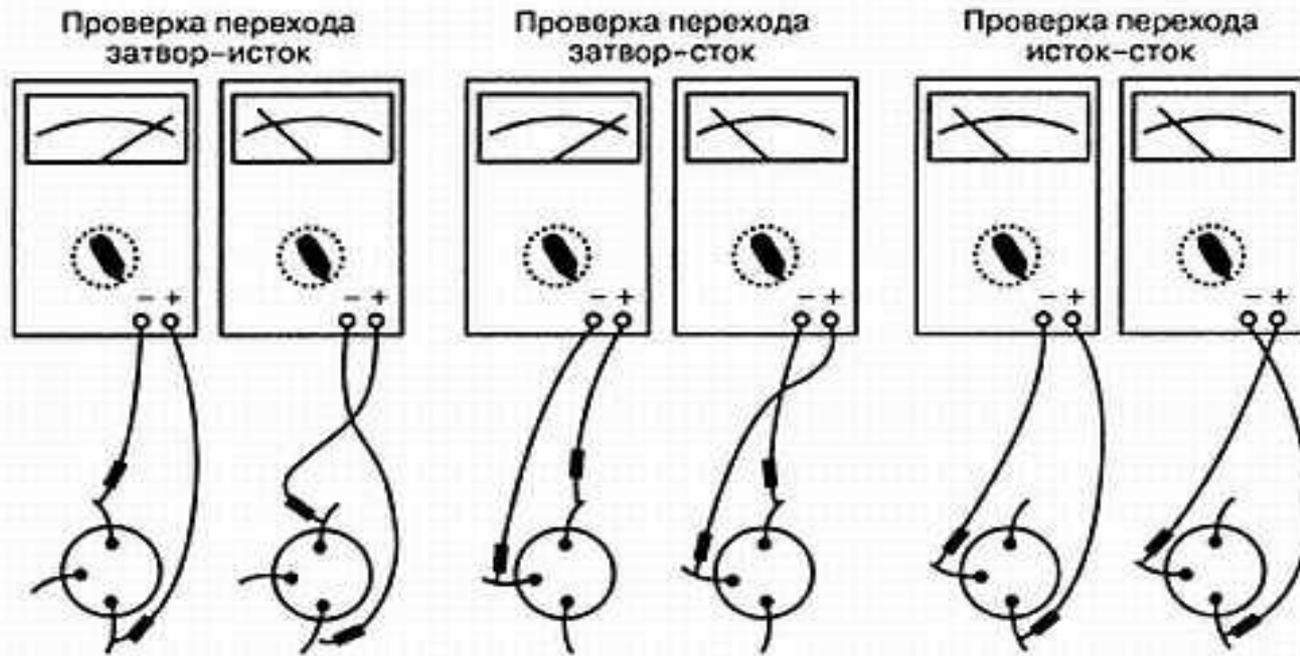


Рис. 1.25. Проверка полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом на обрыв и короткое замыкание с использованием омметра

Полупроводниковые элементы

Аббревиатура *МОП* обозначает металл-оксид-полупроводниковый полевой транзистор. Прибор называют также полевым транзистором с изолированным затвором, поскольку затвор здесь электрически изолирован от канала исток-сток (то есть от полупроводниковой подложки) тонким слоем диоксида кремния (рис. 1.26).

Полупроводниковые элементы

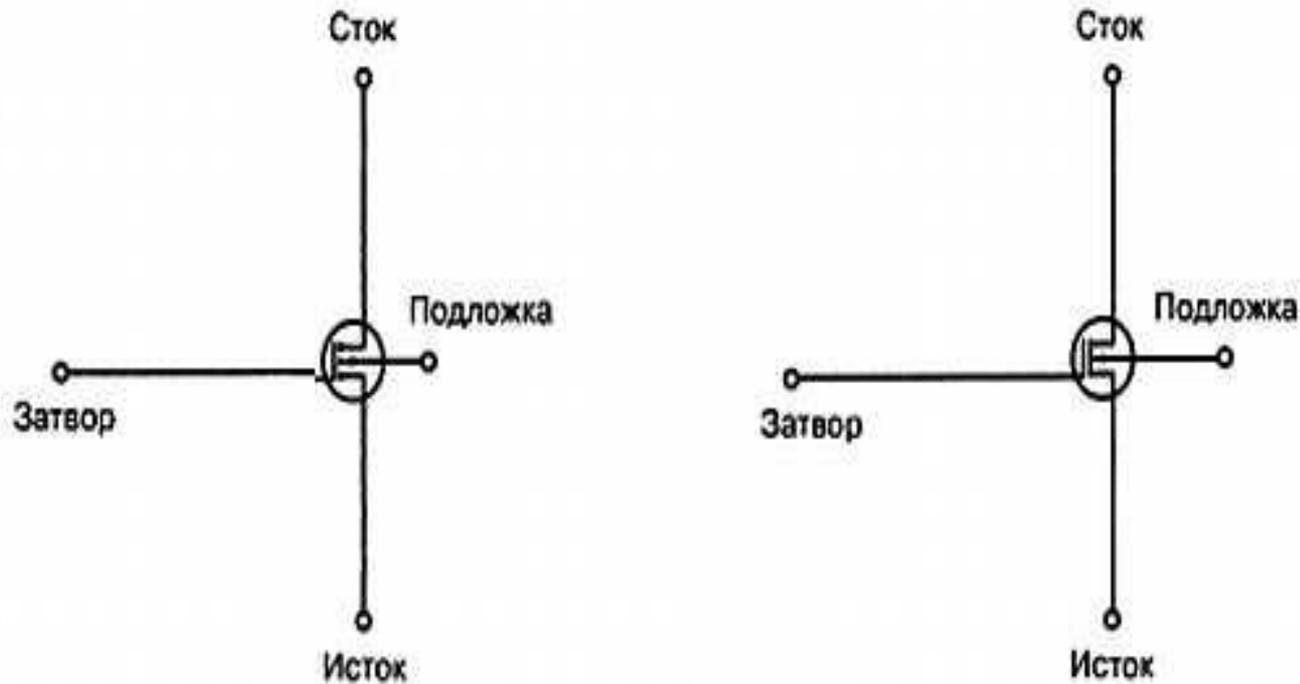


Рис. 1.26. Схематическое изображение МОП-транзисторов с n - и p -каналом

Полупроводниковые элементы

МОП-транзистор может иметь канал p -типа или n -типа. Ток, протекающий в p -канале, уменьшается за счет положительного напряжения и увеличивается при приложении отрицательного напряжения. Существует три основных типа МОП-транзисторов, различающиеся по зависимости состояния канала от напряжения на затворе.

Полупроводниковые элементы

1. При прямом смещении проводит ток от истока к стоку и остается в режиме «отсечки» (то есть тока нет) при нулевом смещении.
2. Проводит при нулевом смещении и уменьшает ток при обратном смещении, а при достаточном обратном смещении переходит в режим отсечки.
3. При нулевом смещении обладает определенной проводимостью. При обратном смещении ток уменьшается, а при прямом возрастает.

Полупроводниковые элементы

- Транзисторы МОП имеют высокий входной импеданс, кроме того, они чувствительны к статическому электричеству и с ними надо обращаться аккуратно.
- По этой причине при перемещении у МОП-транзисторов затвор и исток закорачиваются. Для этого их выводы скручиваются вместе, или на них надевается специальная пружина. Защищенный МОП-транзистор с двойным затвором позволяет решить эту проблему, правда, за счет уменьшения входного сопротивления (рис. 1.27).

Полупроводниковые элементы

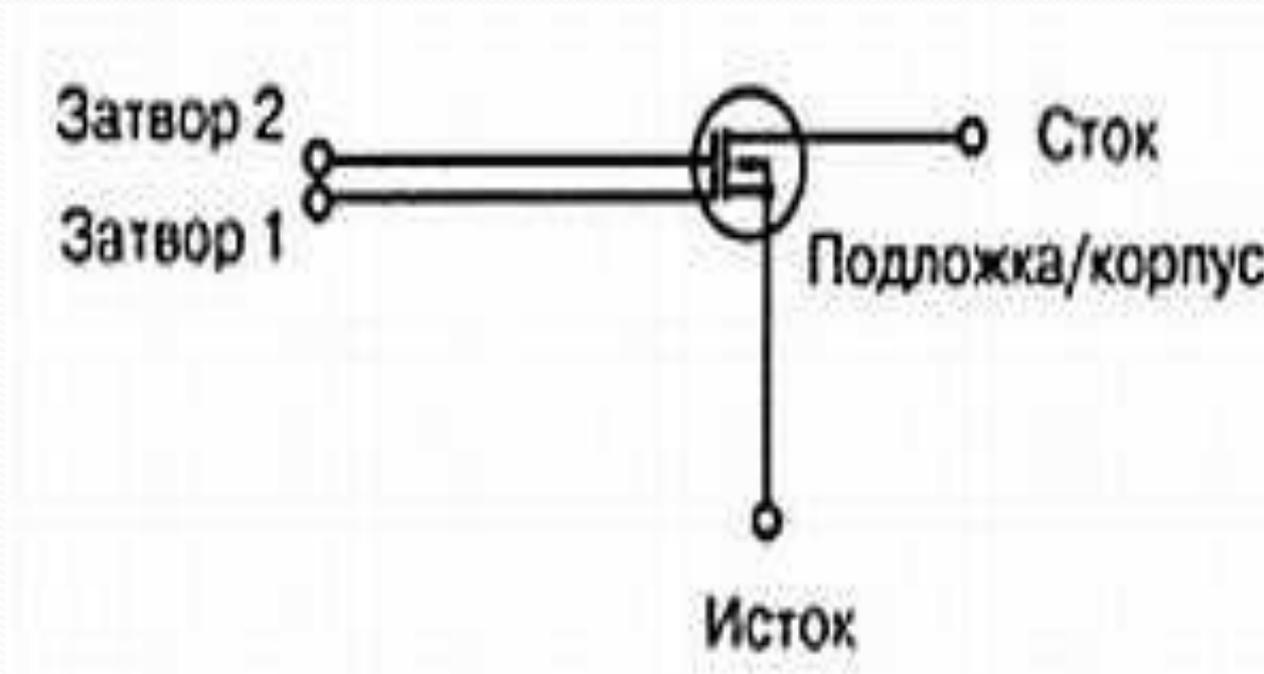


Рис. 1.27. Схематическое изображение двухзатворного МОП-транзистора и каналом n -типа

Полупроводниковые элементы

При соединении выводов затворов вместе он работает как обычный МОП-транзистор, и его можно проверить с помощью омметра. Между затвором и стоком или истоком должно быть нулевое сопротивление. Какие-либо показания омметра означают короткое замыкание. Для проверки состояния перехода сток-исток подключите между затвором и стоком резистор 15 кОм. Если сопротивление изменяется, это означает, что MOSFET исправен. Но имейте в виду, что наилучшим способом проверки является замена или использование тестового оборудования (рис. 1.28).

Полупроводниковые элементы

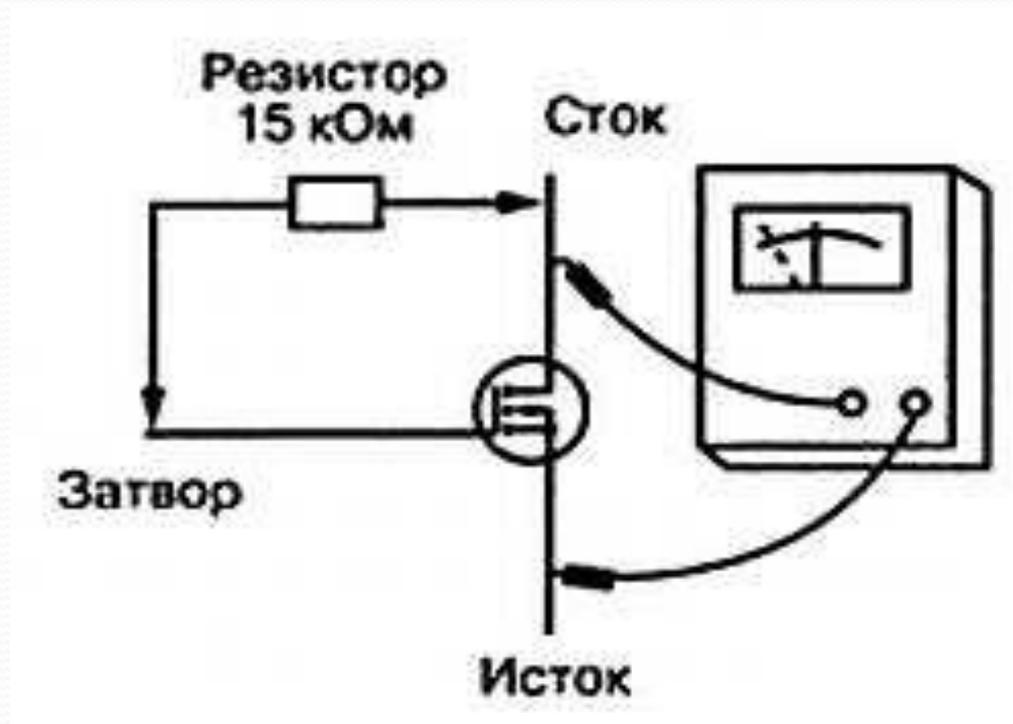


Рис. 1.28. Проверка МОП-транзистора на обрыв и короткое замыкание с использованием омметра

Полупроводниковые элементы

Методы тестирования транзистора:

- ◆ измерения напряжения;
- ◆ нагревание и/или охлаждение;
- ◆ контроль прохождения сигналов;
- ◆ замену;
- ◆ запираение транзистора.

Полупроводниковые элементы

Измерения напряжения могут быть полезны для определения работоспособности схемы с транзистором. Например, на схеме изготовителем указаны номинальные рабочие значения напряжения. Если в транзисторе обрыв или он не проводит ток, то напряжение на коллекторе будет полным — 10 В, а не 6 В как в обычном состоянии. Когда прибор закорочен, через него будет течь чрезмерный ток. Это увеличит нагрузку цепи. Поэтому если напряжение на коллекторе низкое, это может указывать на короткое замыкание транзистора или наличие неисправного резистора смещения (рис. 1.29).

Полупроводниковые элементы

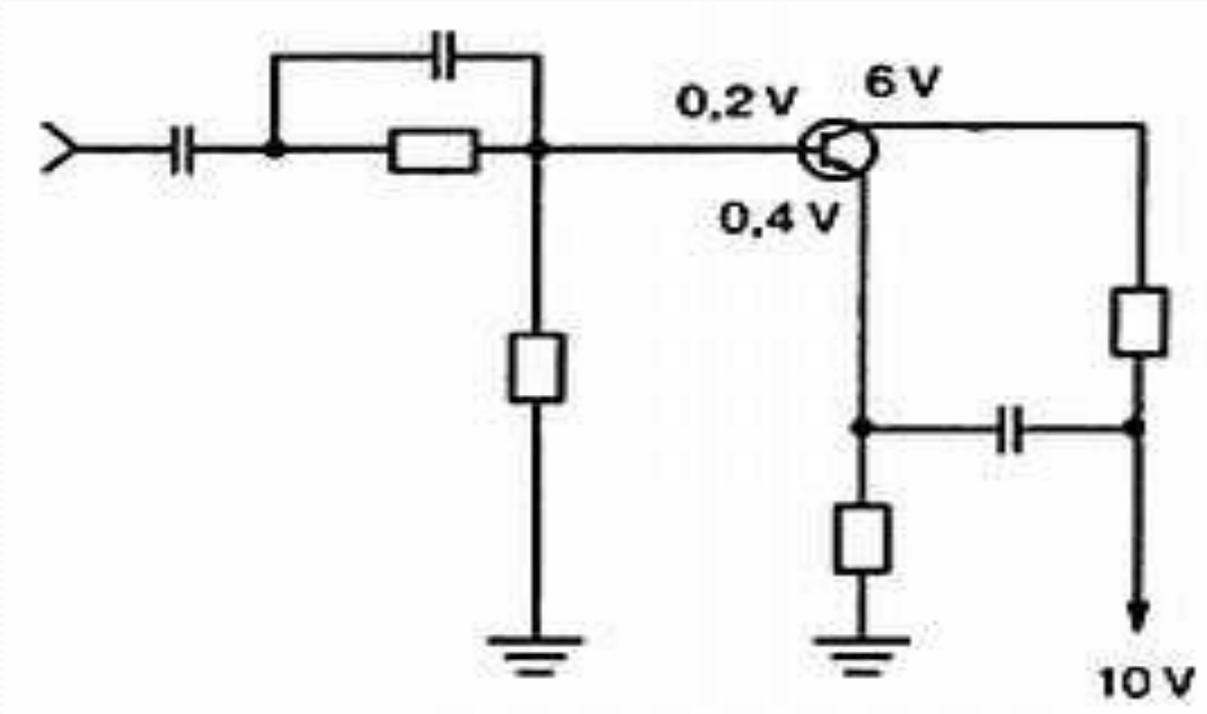


Рис. 1.29. Типичные рабочие напряжения транзистора

Полупроводниковые элементы

Часто можно проверить транзисторы при помощи температурного теста. Сначала нагрейте предположительно неисправный прибор с помощью фена или горячего жала паяльника. Если это вызывает пробой, используйте химический охладитель или холодный воздух от вентилятора. Если при охлаждении транзистор возобновляет нормальную работу, его можно считать неисправным. Термозависимый режим работы обычно свидетельствует о неисправности и чреват выходом из строя при продолжительной работе.

Полупроводниковые элементы

Повышение температуры увеличивает количество заряженных частиц, что в свою очередь вызывает выделение тепла, которое заставляет проводить еще больший ток. В конце концов, транзистор разрушает себя. Такой процесс называется *тепловой пробой*. Помните: не следует без особой надобности подвергать прибор слишком сильной тепловой атаке, так как это может привести к фатальным повреждениям.

Полупроводниковые элементы

Контроль прохождения сигналов также может быть использован для локализации неисправного транзистора. Например, подавая сигнал в каждый каскад приемника, начиная с динамика и продвигаясь к входному каскаду, вы найдете место, где неисправный транзистор (в котором произошел, например, обрыв) не позволяет сигналу пройти.

Полупроводниковые элементы

Замена транзистора может быть эффективна для определения неисправного прибора. Помните, что при этом вы, должны использовать аналогичную модель. Многие специалисты предпочитают сначала присоединить новый транзистор к обратной стороне печатной платы, где расположены дорожки, чтобы удостовериться, что подозреваемый прибор действительно неисправен. Это может сэкономить ценное рабочее время.

Другой прием заключается в замыкании базы и эмиттера, при котором происходит запираение транзистора (рис. 1.30).

Полупроводниковые элементы

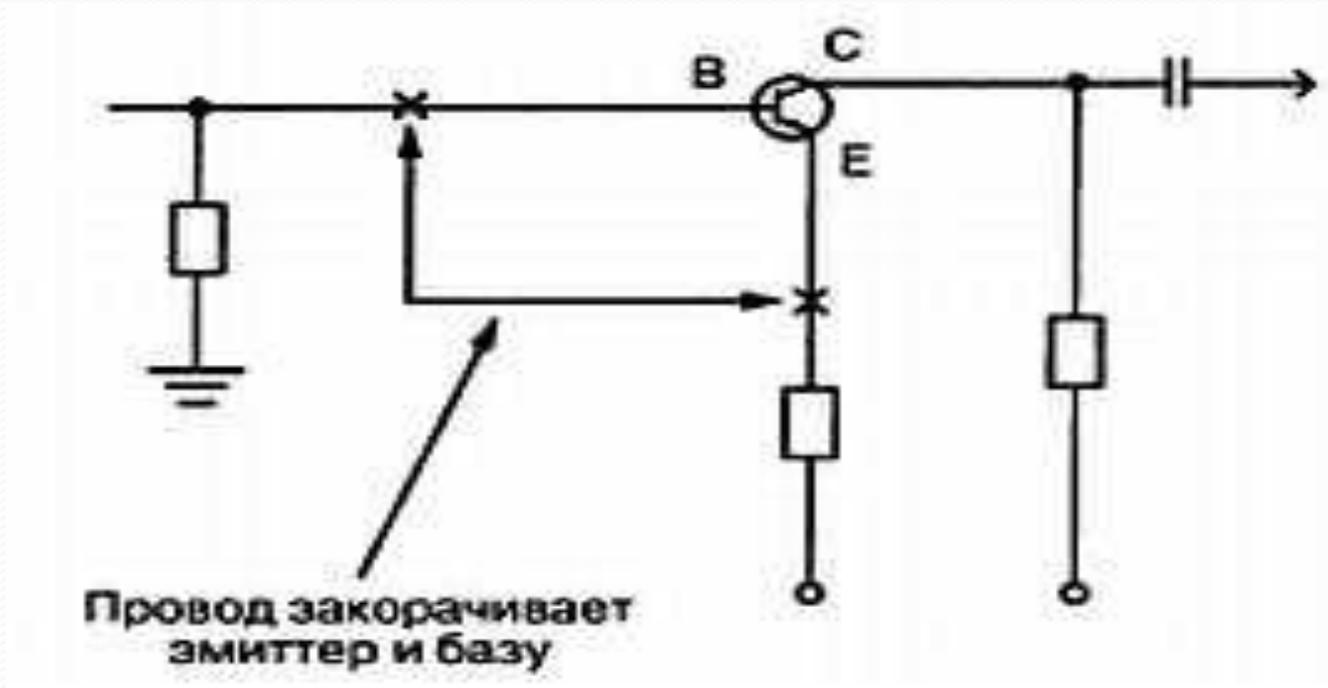


Рис. 1.30. Отключение транзистора с помощью закорачивания базы и эмиттера

Полупроводниковые элементы

В этом случае должна наблюдаться заметная разница в работе всего устройства по сравнению с нормальным режимом. Если явных перемен не обнаружено, прибор, скорее всего, неисправен. При проведении этого теста соблюдайте осторожность, чтобы не замкнуть коллектор и базу, поскольку это может заставить транзистор пропускать большой ток и вывести его из строя. Кроме того, этот метод пригоден только для некоторых схем, в частности для усилителей и генераторов колебаний.

Способ отключения транзистора можно сравнить с поиском неисправной свечи в автомобиле. Для успешного теста необходимо при работе двигателя в режиме холостого хода на короткое время отключить каждую свечу. Таким образом далее ведется наблюдение за двигателем. Если проведенная операция повлияла на его работу, значит, свеча исправна. Отсутствие явных перемен говорит об обратном.

Полупроводниковые элементы

При замене транзистора соблюдают предосторожности:

- ◆ никогда не перегревайте транзистор;
- ◆ используйте теплоотвод;
- ◆ используйте паяльник 35 Вт или менее;
- ◆ используйте для замены только такой же или рекомендованный транзистор;
- ◆ идентифицируйте положение эмиттера, коллектора и базы.