

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Колледж электроники и бизнеса

Кафедра электронной техники и физики

Л. А. БУШУЙ

# **ИЗУЧЕНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 621. 37(075. 32)  
ББК 32. 843 я 73  
Б90

Рецензент  
преподаватель Проходцев В. В.

Б90            **Бушуй, Л. А.**  
**Изучение транзисторов: методические указания к лабораторной**  
**работе / Л.А. Бушуй. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. - 28 с.**

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы «Изучение транзисторов» раздела «Полупроводниковые материалы» по дисциплине «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты» для студентов второго курса специальности «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

Методические указания составлены с учетом Государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по направлению подготовки дипломированных специалистов утвержденного 18.03.2002 Министерством образования Российской Федерации.

ББК 32. 843 я 73

© Бушуй Л. А., 2009  
© ГОУ ОГУ, 2009

## Содержание

Введение	
1 Теоретическая часть работы.....	4
1.1 Классификация и обозначение транзисторов .....	4
1.2 Основные электрические параметры полевых транзисторов.....	15
1.3 Правила монтажа и эксплуатации транзисторов .....	16
1.4 Неисправности транзисторов.....	17
1.5 Маркировка транзисторов.....	19
1.6 Подбор и замена транзисторов.....	24
1.7 Контрольные вопросы.....	26
2 Практическая часть работы.....	27
2.1 Оборудование.....	27
2.2 Содержание отчёта.....	27
2.3 Порядок выполнения отчёта.....	27
Список использованных источников.....	28

# Введение

Учебное пособие может быть использовано преподавателями и студентами при проведении лабораторной работы «Изучение транзисторов» раздела «Полупроводниковые материалы» дисциплины «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты», при подготовке студентов к тестированию и к экзаменам.

## 1 Теоретическая часть работы

### 1.1 Классификация и обозначение транзисторов

Транзисторы представляют собой полупроводниковые приборы с двумя или более  $p-n$ -переходами, позволяющие усиливать электрические сигналы и имеющие три и более выводов.

Транзисторы подразделяются на биполярные и униполярные (полевые), как показано на рисунке 1.



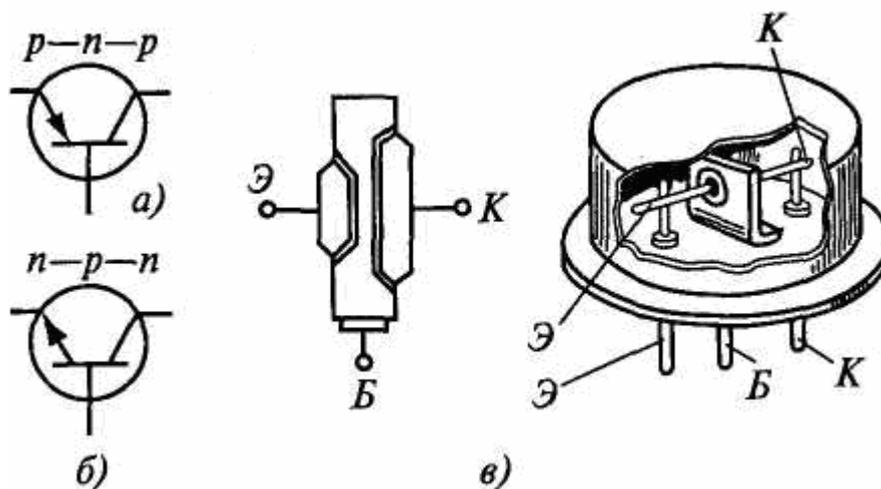
Рисунок 1 – Классификация транзисторов

Кроме того, транзисторы различают по мощности и частоте. В зависимости от максимальной мощности  $P_{max}$ , рассеиваемой коллектором, различают транзисторы малой, средней и большой мощности, а по частоте — низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные.

#### 1.1.1 Биполярные транзисторы

Имеют трехслойную структуру с чередующимися типами электропроводности. Различают также *прямые* ( $p-n-p$ ) и *обратные* ( $n-p-n$ ) транзисторы, как показано на рисунке 2. Каждый слой имеет вывод: эмиттер Э, базу (или основание) Б и коллектор К. Переход между базой и эмиттером называется эмиттерным, а между базой и коллектором — коллекторным. Главным отличительным признаком биполярных транзисторов является то, что

для обеспечения их нормальной работы необходимо иметь носители зарядов двух видов и противоположных знаков (электроны и дырки). В основе функционирования биполярного транзистора лежит инжекция неосновных носителей заряда, а основные свойства определяются процессами в базе. Если область базы транзистора обладает электронной проводимостью, то такой транзистор является P- N -P типа, а имеющий базу с дырочной проводимостью — N -P- N типа.



а) p—n—p-типа; б) n—p—n-типа; в) конструкция транзистора

Рисунок 2- Виды транзисторов и их конструкция

Униполярные (биполярные) транзисторы могут быть маломощными ( $P_{\text{max}} < 0,3$  Вт), средней мощности (от 0,3 до 1,2 Вт) и мощными (свыше 1,2 Вт). В зависимости от предельной частоты они бывают низкочастотными ( $f_{\text{max}} < 3$  МГц), среднечастотными (от 3 до 30 МГц), высокочастотными (от 30 до 300 МГц) и сверхвысокочастотными (свыше 300 МГц).

Основным параметром биполярного транзистора является коэффициент усиления (передачи) по току. Коэффициент усиления характеризует собой связь между выходными и входными токами транзистора.

Частотные свойства биполярного транзистора определяются временем пролета неосновных носителей заряда через базу и временами перезаряда барьерных емкостей переходов. Относительная роль этих факторов зависит от конструкции и режима работы транзистора, а так же от величин сопротивлений во внешних цепях.

Коэффициент шума  $F_{\text{ш}}$  представляет собой отношение полной мощности шумов на выходе структуры к той ее части, которая вызвана шумами источника сигнала.

Применяемая на практике режимная граница использования транзистора, определяемая помимо физической границы некоторыми соображениями технико-экономического характера является предельно допустимым режимом, приводимым в справочниках и ТУ. На практике это означает введение коэффициента запаса.

В зависимости от общего электрода используются три схемы включения транзисторов: с общим эмиттером ОЭ (для обеспечения наибольшего усиления), с общей базой ОБ (для достижения наибольшей стабильности в работе) и с общим коллектором ОК (для обеспечения высокого входного и низкого выходного сопротивлений), как показано на рисунке 3.

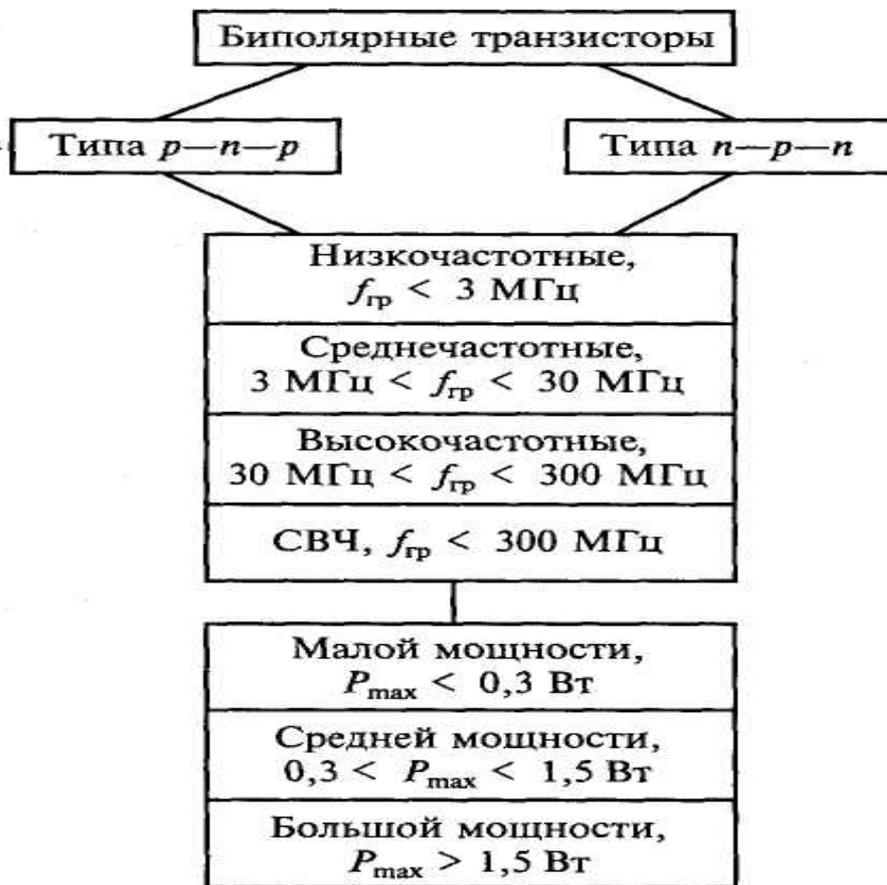


Рисунок 3 - Классификация биполярных транзисторов

В большинстве случаев транзисторы используются в аналоговых электронных устройствах, таких, как усилители, генераторы, стабилизаторы напряжения и тока, амплитудные ограничители и многие другие. Работоспособность биполярных транзисторов можно проверить при помощи омметра путем измерения сопротивлений переходов между базой и эмиттером, базой и коллектором в обоих направлениях. Значения сопротивлений по принципу «низкое»/«высокое» показаны на рисунке 4.

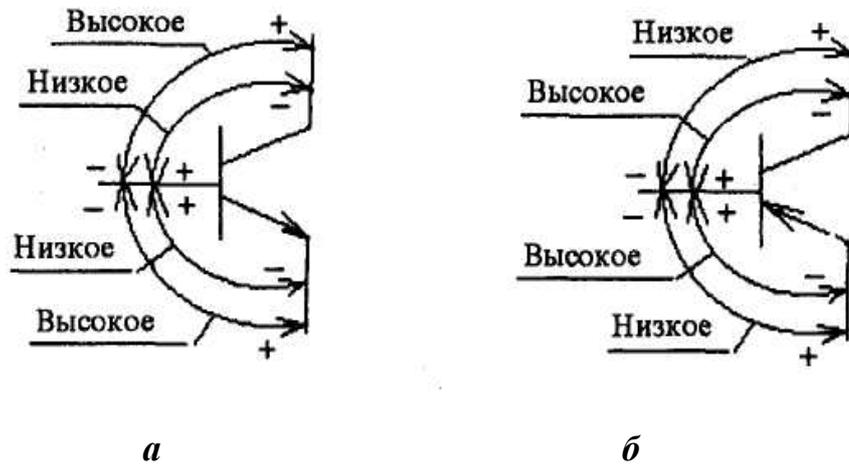


Рисунок 4. Измерение сопротивлений переходов в *n-p-n* (а) и *p-n-p* (б) транзисторах

Необходимо отметить, что имеют место случаи, когда короткозамкнут участок цепи коллектор-эмиттер несмотря на то, что оба перехода транзистора целы. Поэтому вначале нужно проверить, нет ли короткого замыкания в цепи коллектор-эмиттер.

Транзистор с периодическим обрывом перехода может оказаться временно работоспособным при его проверке с помощью омметра. В связи с этим более достоверным является контроль его режимов работы по постоянному току в различных схемах включения, как показано на рисунке 5.

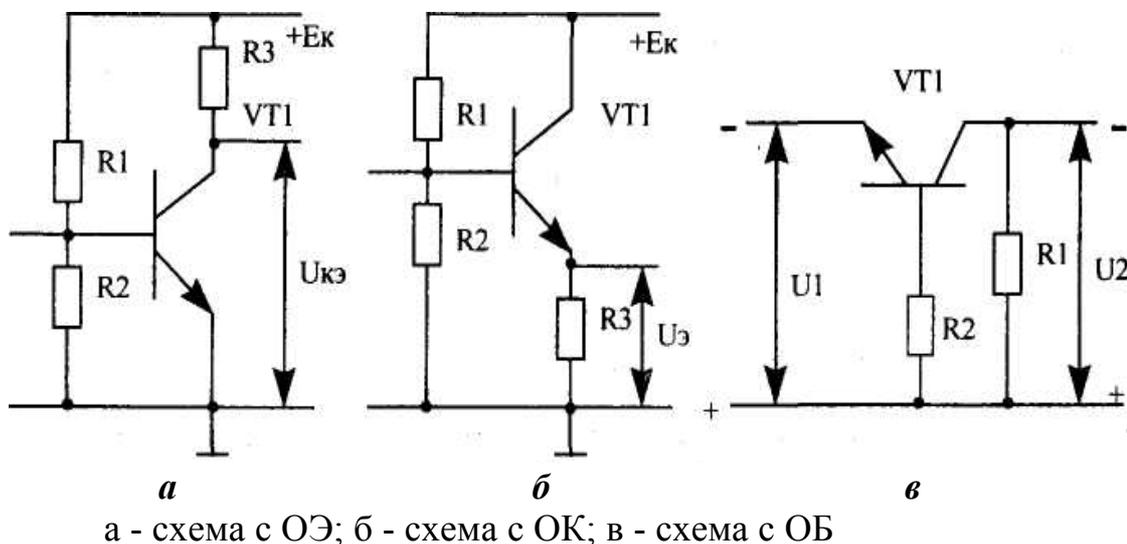


Рисунок 5 - Схемы включения транзисторов по постоянному току

Транзисторы предназначены для генерации, усиления и преобразования электрических сигналов. В импульсных схемах они работают в режиме «ключа», когда транзистор может находиться только в двух состояниях: включенном (открытом), либо выключенном (закрытом). Переход из одного состояния в другое происходит очень быстро, что отвечает основным требованиям большого быстродействия.

Биполярным транзистором, или просто транзистором, называется полупроводниковый прибор с двумя р-п-переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических колебаний и представляющий собой пластину кремния или германия, состоящую из трех областей. Две крайние области всегда имеют одинаковый тип проводимости, а средняя — противоположный тип проводимости. Транзисторы, у которых крайние области обладают электронной проводимостью, а средняя — дырочной называются транзисторами п-р-п-типа, как показано на рисунке 6; транзисторы у которых крайние области обладают дырочной, а средняя — электронной проводимостями, называются транзисторами р-п-р-типа, как показано на рисунке 7.

Физические процессы, происходящие в транзисторах двух типов, аналогичны; различие между ними заключается в том, что полярности включения источников питания их противоположны, а также в том, что если в транзисторе п-р-п-типа электрический ток создается в основном электронами, то в транзисторе р-п-р-типа — дырками. Смежные области, отделенные друг от друга р-п-переходами, называются эмиттером Э, базой Б и коллектором К.

Эмиттер является областью, испускающей (эмитирующей) носители зарядов электронов в транзисторе п-р-п-типа и дырок в транзисторе р-п-р-типа; коллектор — область, собирающая носители зарядов; база—средняя область, основание.

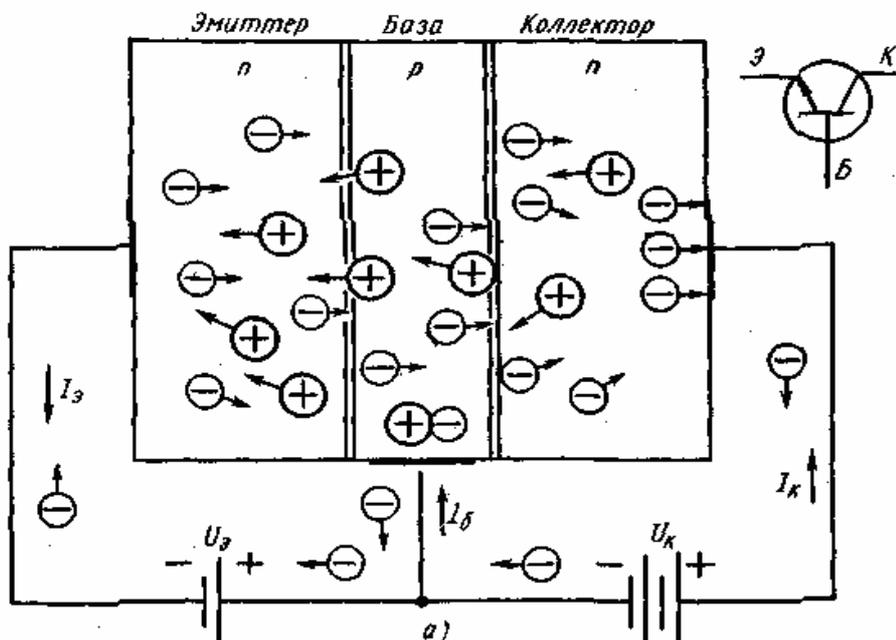


Рисунок 6 - Принцип работы и условное обозначение транзистора п-р-п типа

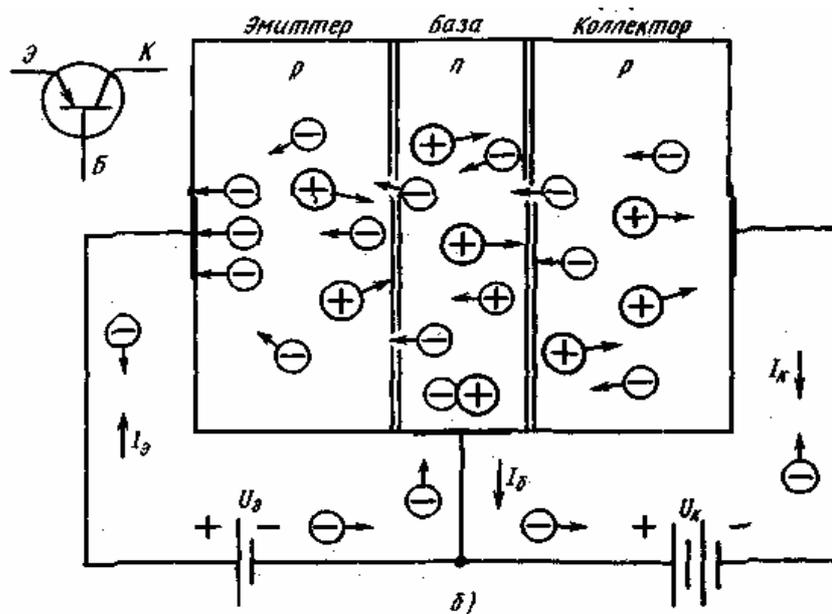


Рисунок 7- Принцип работы и условное обозначение транзистора  $p-n-p$  типа

В условиях работы транзистора к левому  $p-n$ -переходу прикладывается напряжение эмиттер — база  $U_{э-б}$  в прямом направлении а к правому  $p-n$ -переходу база — коллектор  $U_{б-к}$  в обратном. Под действием электрического поля большая часть носителей зарядов из левой области (эмиттера), преодолевая  $p-n$ -переход переходит в очень узкую среднюю область (базу). Далее большая часть носителей зарядов продолжает двигаться ко второму переходу и, приближаясь к нему, попадают в электрическое поле, созданное внешним источником  $U_{э-к}$ .

Под влиянием этого поля носители зарядов втягиваются в правую область (коллектор), увеличивая ток в цепи батареи  $U_{э-к}$ . Если увеличить напряжение  $U_{э-б}$ , то возрастет количество носителей зарядов, перешедшие из эмиттера в базу, т. е. увеличится ток эмиттера на  $\Delta I_{э-б}$ . При этом также увеличится ток коллектора на  $\Delta I_{б-к}$ .

В базе незначительная часть носителей зарядов, перешедших из эмиттера, рекомбинирует со свободными носителями зарядов противоположной полярности, убыль которых пополняется новыми носителями зарядов из внешней цепи, образующими ток базы  $I_б$ . Таким образом, ток коллектора  $I_к = I_э - I_б$  окажется незначительно меньше тока эмиттера. Отношение  $\alpha = \Delta I_{к-б} / \Delta I_{э}$  при  $U_{б-к} = \text{const}$ , называется коэффициентом усиления по току и обычно имеет значение  $\alpha = 0,9 \dots 0,995$ .

Если цепь эмиттер — база разомкнута и ток в ней равен нулю  $I_э = 0$ , а между коллектором и базой приложено напряжение  $U_{к-б}$ , то в цепи коллектора будет протекать небольшой обратный (тепловой) ток  $I_{к0}$ , обусловленный неосновными носителями зарядов.

Этот ток в значительной степени зависит от температуры и является одним из параметров транзистора (чем меньше ток, тем лучшими качествами обладает транзистор).

Так как эмиттерный  $p-n$ -переход находится под прямым напряжением, то

он обладает малым сопротивлением. На коллекторный p-n-переход воздействует обратное напряжение и он имеет большое сопротивление. Поэтому напряжение, прикладываемое к эмиттеру, весьма мало (десятые доли вольта), а напряжение, подаваемое на коллектор, может быть достаточно большим (до нескольких десятков вольт). Изменение тока в цепи эмиттера, вызванное малым напряжением  $U_{\text{э}}$ , создает примерно такое же изменение тока в цепи коллектора, где действует значительно большее напряжение  $U_{\text{к}}$ , в результате чего транзистор усиливает мощность.

При работе транзистора в качестве усилителя электрических колебаний входное переменное напряжение  $U_{\text{вк}}$  (сигнал, подлежащий усилению) подают последовательно с источником постоянного напряжения смещения  $U_{\text{см}}$  между эмиттером и базой, а выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  (усиленный сигнал) снимается с нагрузочного резистора  $R_{\text{н}}$ .

Возможны три схемы включения транзисторов *n-p-n-типа*, как показано на рисунке 8,а и *p-n-p-типа*, как показано на рисунке 8,б: с общей базой ОБ, с общим эмиттером ОЭ и с общим коллектором ОК. Название схемы показывает, какой электрод транзистора является общим для входной и выходной цепей. Схемы включения транзисторов отличаются своими свойствами, но принцип усиления колебаний остается одинаковым.

В схеме с общей базой положительное приращение напряжения на входе  $\Delta U_{\text{вх}}$  вызывает увеличение тока эмиттера  $I_{\text{э}}$ , что приводит к увеличению как тока коллектора  $I_{\text{к}}$ , так и напряжения выхода  $\Delta U_{\text{вых}}$ , причем  $\Delta U_{\text{вых}} \gg \Delta U_{\text{вх}}$ . В схеме с ОБ источник входного напряжения включен в цепь эмиттер — база, а нагрузка и источник питания — в цепь коллектор — база. Входное сопротивление схемы с ОБ мало (несколько Ом или десятков Ом), так как эмиттерный переход включен в прямом направлении. Выходное сопротивление схемы, наоборот, велико (сотни килоомов), так как коллекторный переход включен в обратном направлении. Малое входное сопротивление схемы с ОБ является существенным недостатком, ограничивающим применение ее в усилителях. Через источник входного сигнала в этой схеме проходит весь ток эмиттера и усиления по току не происходит (коэффициент усиления по току  $\alpha < 1$ ). Усиление по напряжению и мощности в этой схеме может достигать нескольких сотен.

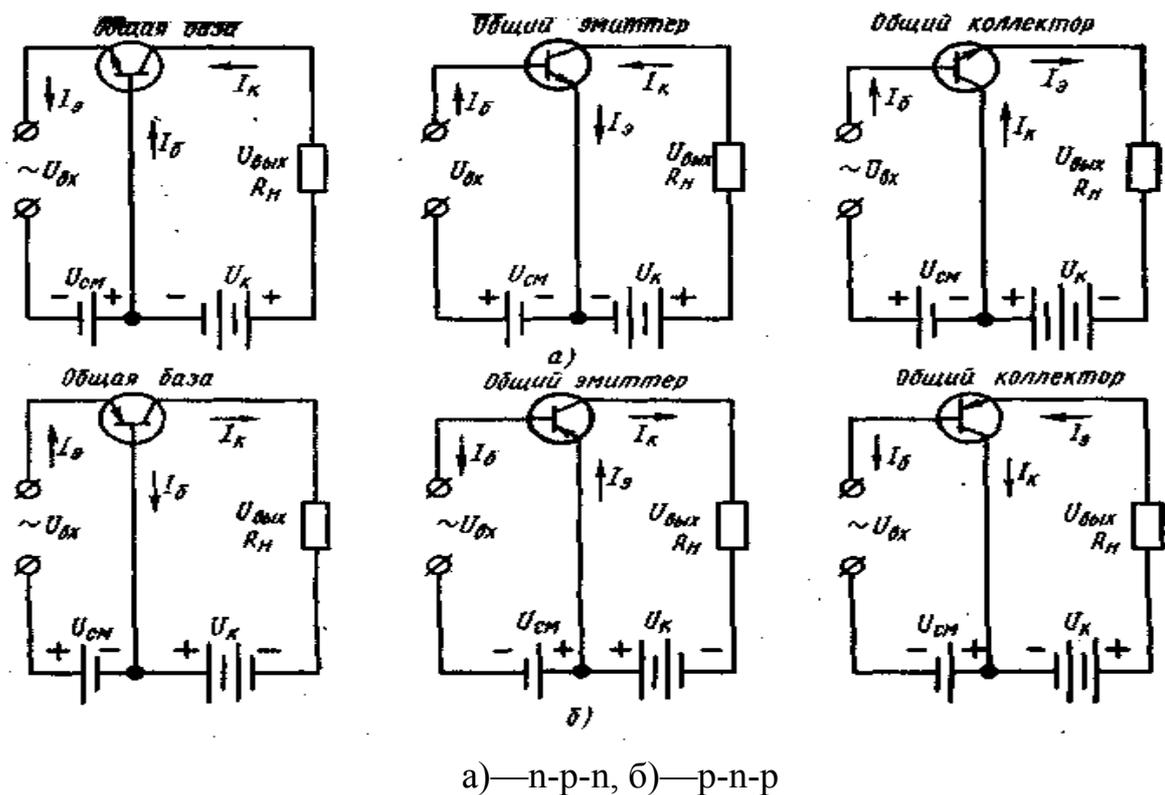


Рисунок 8 - Схемы включения с общей базой, общим эмиттером, общим коллектором транзисторов

В схеме с общим эмиттером ОЭ источник входного напряжения включен в цепь эмиттер — база, а сопротивление нагрузки  $R_n$  и источник питания — в цепь эмиттер — коллектор, так что эмиттер является общим электродом для входной или выходной цепей. Входное сопротивление схемы с ОЭ больше, чем у схемы с ОБ, так как входным током в ней является ток базы, который много меньше тока эмиттера и тока коллектора. Это сопротивление составляет сотни Ом. Выходное сопротивление схемы с ОЭ велико и может составлять до ста килоОм. Коэффициент усиления по току  $\beta$  в этой схеме определяется как отношение приращения тока коллектора  $\Delta I_k$  к приращению тока базы  $\Delta I_b$  при постоянном напряжении на коллекторе, т. е.  $\beta = \Delta I_k / \Delta I_b$  при  $U_k = \text{const}$ , и может иметь значения  $\beta = 10 \dots 200$  для различных транзисторов. Учитывая равенства

$$I_э = I_k + I_б \text{ и } \alpha = \Delta I_k / \Delta I_э. \quad (1)$$

получим

$$\beta = \Delta I_k / (\Delta I_э - \Delta I_k) = \alpha / (1 - \alpha). \quad (2)$$

Коэффициент усиления по напряжению  $K_u$  для схемы с ОЭ того же порядка, что и для схемы с ОБ. Коэффициент усиления по мощности  $K_p = \beta K_u$  во много раз больше, чем в схеме с ОБ.

В схеме с общим эмиттером ОЭ при усилении входного напряжения происходит поворот фазы выходного напряжения на половину периода, т. е. на  $180^\circ$ : положительные приращения входного напряжения вызывают отрицательное приращение выходного и наоборот.

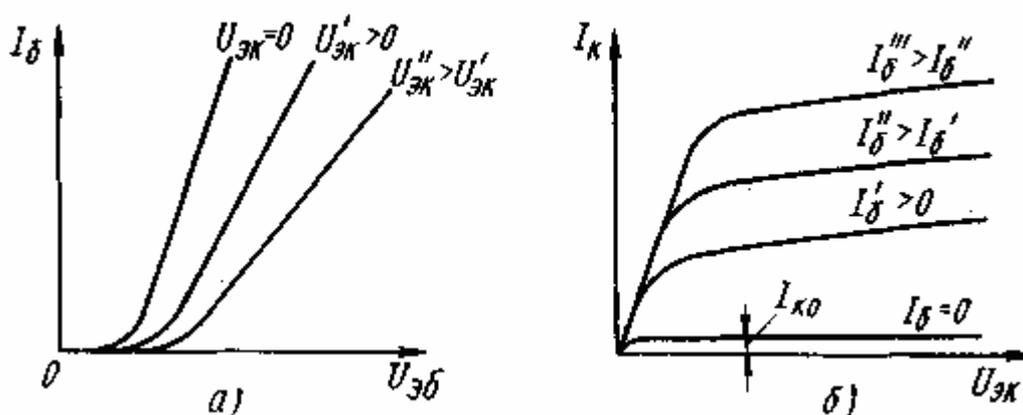
В схеме с общим коллектором, ОК источник входного напряжения включается в цепь базы, а источник питания и сопротивление нагрузки — в цепь эмиттера. Входным током является ток базы, а выходным — ток эмиттера. Коэффициент усиления по току для этой схемы

$$K_i = (\Delta I_e / \Delta I_b = 1 / (1 - \alpha)). \quad (3)$$

Входное сопротивление схемы с ОК. велико (десятки кОм), а выходное мало (до 1—2 кОм). Коэффициент усиления по напряжению схемы с ОК  $K_u = 0,9 \dots 0,95$ , т. е. близок к единице; эту схему часто называют эмиттерным повторителем. Схема с ОК используется для согласования отдельных каскадов усиления, источника сигнала или нагрузки с усилителем.

Характеристиками транзистора называются зависимости между токами и напряжениями во входной и выходной цепях. При разных схемах включения транзистора входные и выходные цепи различны, следовательно, и характеристики представляют собой зависимости различных параметров для каждой схемы включения.

Так, для схемы с общим эмиттером ОЭ, входной цепью является цепь базы и входная характеристика представляет собой зависимость тока базы от напряжения эмиттер — база при постоянном напряжении между эмиттером и коллектором. Выходной цепью для этой схемы является цепь коллектора и выходной характеристикой будет зависимость тока коллектора от напряжения эмиттер — коллектор при неизменном токе базы. На рисунке 9,а и б показан примерный вид входных и выходных характеристик транзистора *p-n-p*-типа.



а — входные, б — выходные

Рисунок 9 - Статические характеристики транзистора типа *p-n-p*, включенного по схеме с общим эмиттером

При малых значениях напряжения между эмиттером и базой ток базы растет медленно из-за большого сопротивления р-п-перехода, которое с увеличением тока уменьшается. С увеличением коллекторного напряжения входные характеристики смещаются вправо, т. е. с увеличением  $U_{э-к}$  необходимо увеличить напряжение для того, чтобы ток базы остался неизменным. Выходные характеристики показывают, что в рабочей области напряжение  $U_{э-к}$  незначительно влияет на коллекторный ток  $I_k$ , так как в основном он зависит от количества дырок, инжектируемых в базу, т. е. от тока эмиттера. Биполярные транзисторы выполняются из германия и кремния.

В качестве примера рассмотрим по рисунку 10 устройство плоскостного германиевого транзистора *p-n-p-типа*. Базой является пластина 3 из кристаллического германия с электронной проводимостью. С двух сторон в пластину вплавлены индиевые электроды, служащие эмиттером 6 и коллектором 8. При плавлении индия между каждым из этих электродов и германиевой пластиной — базой образуются области с дырочной проводимостью и создаются эмиттерный 7 и коллекторный 2 р-п-переходы. Коллектор 8 крепится на кристаллодержателе 1, от которого наружу проходит вывод коллектора 9. Выводы от эмиттера 5 и базы 4 изолированы от корпуса стеклянными проходными изоляторами. Транзистор помещается в металлический корпус.

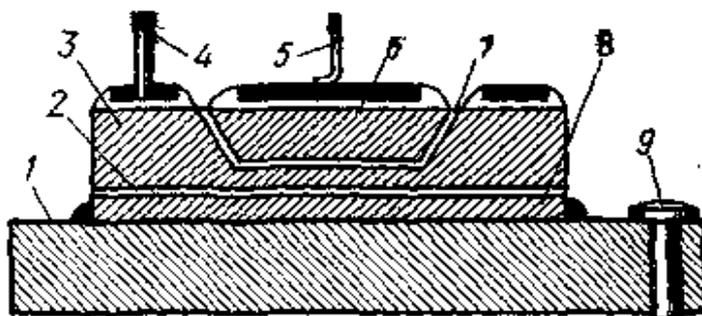


Рисунок 10 - Схема устройства плоскостного германиевого транзистора типа *p-n-p*

### 1.1.2 Полевые транзисторы

Полупроводниковый прибор, управляемый электрическим полем, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающими через проводящий канал называется полевым транзистором.

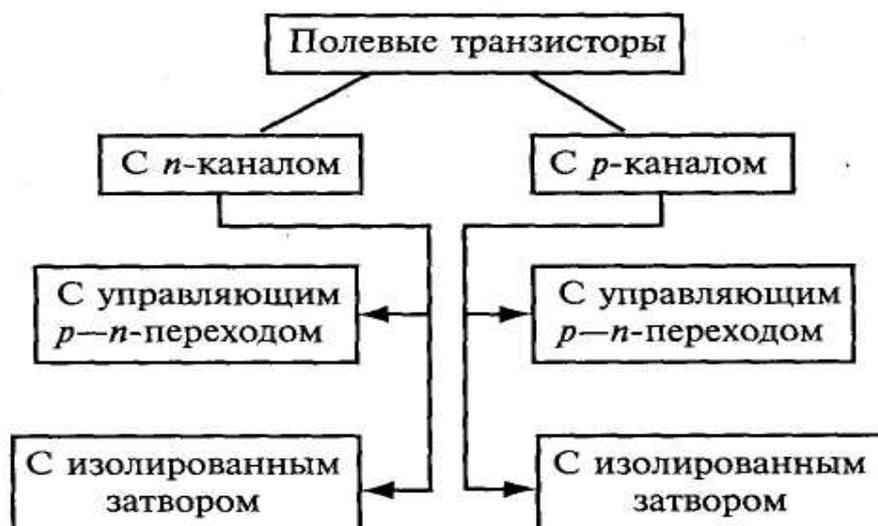


Рисунок 11 - Классификация полевых транзисторов

Основой полевого транзистора является канал с электропроводностью *n*- или *p*-типа, созданный в полупроводнике и снабженный двумя выводами, как показано на рисунке 10. Сопротивлением канала управляет электрод (затвор), соединенный с его средней частью *p-n* переходом. Электрод, через который в проводящий канал втекают носители заряда, называют истоком, а электрод, через который из канала вытекают носители заряда называют стоком.

Ток полевого транзистора обусловлен носителями заряда только одной полярности. Наиболее характерной чертой полевых транзисторов является высокое входное сопротивление.

Существует два вида полевых транзисторов, которые различаются принципами управления носителями заряда. Это транзисторы с изолированным затвором (МДП) и транзисторы с управляющим *p-n* переходом.

Принцип действия полевого транзистора с *p-n* переходом основан на изменении сопротивления активного слоя (канала) путем расширения *p-n* перехода при подаче на него напряжения обратного смещения. Частотные свойства полевых транзисторов с *n*-каналом, как правило, оказываются лучше, чем транзисторов с *p*-каналом.

МДП-транзистор (Металл—Диэлектрик-Полупроводник) иногда называют транзистором с изолированным затвором или МОП транзистором (Металл-Оксид-Полупроводник). В основе принципа действия МДП-транзистора лежит эффект поля, представляющий собой изменение величины и знака электропроводности на границе полупроводника с диэлектриком под действием приложенного напряжения.

Транзисторы с изолированным затвором имеют затвор, электрически изолированный от проводящего канала, и подразделяются, в свою очередь, на транзисторы с встроенным и индуцированным каналами. В зависимости от полярности напряжения, приложенного к затвору, электропроводность канала полевого транзистора может уменьшаться (при подаче запирающего напряжения канал работает в режиме обеднения основными носителями) или увеличиваться

(канал работает в режиме обогащения).

Конструктивным вариантом полевых транзисторов является двухзатворный транзистор (МДП-тетрод), в котором один из затворов выполняет функцию экрана, уменьшающего проходную емкость прибора. Это дает возможность повысить коэффициент устойчивого усиления каскада с двухзатворным транзистором на высоких частотах.

Существует также несколько способов включения полевого транзистора (с общим затвором, с общим истоком, с общим стоком), которые широко используются в устройствах полупроводниковой электроники.

## 1.2 Основные электрические параметры полевых транзисторов

Основным критерием усилительных свойств полевых транзисторов является крутизна характеристики  $S$ , определяемая как отношение приращения тока стока ( $dI_c$ ) к приращению напряжения перехода затвор-исток ( $dU_{зи}$ ).

Запирающее напряжение между затвором и истоком, при котором происходит полное запираение транзистора, является напряжением отсечки  $U_{зи.отс}$ .

Лавинный пробой р-п переходов затвора является одной из основных причин, ограничивающих использование полевого транзистора по напряжению на стоке, которое уменьшается (по модулю) при возрастании напряжения на затворе.

Инерционность полевого транзистора с р-п переходом обусловлена двумя основными факторами: барьерной емкости переходов затвора и конечным временем пролета электронов вдоль канала.

Поскольку в полевых транзисторах ток стока обусловлен основными носителями заряда одного знака (только электроны, либо только дырки), параметры транзистора оказываются независимыми от времени жизни неосновных носителей заряда в канале. Поэтому полевые транзисторы с р-п переходом характеризуются чрезвычайно низким уровнем собственных шумов, при использовании высокоомных источников сигнала.

Электрические параметры позволяют сравнивать и находить аналоги (прототипы), необходимые для новой разработки конструкции или для замены полевых транзисторов при ремонте.

По конструкции полевые транзисторы различают с управляющим р-п-переходом и с изолированным затвором с встроенным или индуцированным каналом. У таких транзисторов электрод, от которого начинают движение основные носители заряда, называется истоком; электрод, к которому движутся основные носители заряда, — стоком, а электрод, к которому прикладывают управляющее напряжение, — затвором.

По материалу изготовления транзисторы бывают кремниевые или германиевые; по механизму движения носителей заряда — диффузионные, или дрейфовые.

Отдельные параметры и температурная стабильность кремниевых транзисторов значительно лучше, чем у германиевых, да и себестоимость получения чистого кристалла германия выше. Поэтому кремниевые транзисторы получили широкое распространение, а германиевые транзисторы применяются в

электронных схемах, где разброс параметров имеет решающее значение.

Различия. ВЧ и СВЧ транзисторами во многом определяются размерами активных областей и величинами паразитных параметров структуры и корпуса. Поэтому критерием ВЧ и СВЧ транзисторов, как активных элементов, является их способность осуществлять усиление мощности на высоких частотах. Для характеристики этой способности используется максимальная частота генерации  $f_{\max}$ .

### 1.3 Правила монтажа и эксплуатации транзисторов

В ТУ на каждый тип транзисторов указываются правила и особенности их монтажа. Можно выделить и следующие общие правила монтажа транзисторов:

- Расстояние от корпуса транзистора до места изгиба вывода при формовке должно быть не менее 2 мм.
- Пайка выводов должна осуществляться на расстоянии не ближе 10 мм от корпуса прибора.
- Мощность паяльника должна быть не более 40 Вт, время пайки - не более 5 с.
- В процессе монтажа необходимо исключить прохождение тока через транзисторы и обеспечить надежный теплоотвод.
- Не допускается располагать транзисторы вблизи тепловыделяющих элементов (сетевых трансформаторов, мощных резисторов), а также в сильных электромагнитных полях.
- При пайке применяют припой с низкой температурой плавления
- Во избежание пробоя транзисторов статическим электричеством жало паяльника заземляют, для чего используют заземляющий браслет через сопротивление 1 МОм (в большей степени это касается полевых транзисторов с изолированным затвором), у полевых транзисторов перед пайкой можно закоротить выводы проводником.

При эксплуатации транзисторов требуется выполнять следующие правила:

- Полярность напряжения внешнего источника питания, подключаемого к электродам транзистора, следует выбирать с учетом структуры транзистора и его рабочей схемы.
- При подключении транзистора к источнику питания необходимо первым присоединять вывод базы, а последним — вывод коллектора. Отключение транзистора должно производиться в обратном порядке. **Запрещается** подавать напряжение на транзистор с отключенной базой.
- Для увеличения надежности и долговечности транзисторов рабочие напряжения, сила тока, мощность и рабочая температура должны быть меньше предельно допустимых (около 0,7 их значений).
- Не разрешается использовать транзисторы на совмещенных предельных режимах (например, по току и напряжению).

- С целью защиты транзисторов от перенапряжений в их схемы должны быть включены стабилизирующие, демпфирующие и ограничивающие диоды.
- Запрещается проверка схем на полупроводниковых приборах омметрами или другими приборами, которые могут вызвать перегрузку диодов и транзисторов.

## 1.4 Неисправности транзисторов

К неисправностям транзисторов относят следующие: пробой р-п перехода; обрыв выводов; большой ток утечки; пробой р-п перехода или утечка, появляющаяся под напряжением; пробой диэлектрика или оксида в полевых транзисторах с изолированным затвором; изменение отдельных параметров транзисторов в процессе работы.

1.4.1 Неисправности транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером (ОЭ):

1  $U_{кэ}=0$  - короткое замыкание между коллектором и эмиттером или транзистор находится в насыщении из-за неисправных ЭРЭ либо скрытых дефектов монтажа (СДМ) схемы.

Режим насыщения переходов транзистора легко устранить, если заколотить его базовый вывод на общий провод. При этом у работоспособного транзистора указанное напряжение станет близким к  $E_k$  из-за того, что переходы «база-эмиттер» и «база-коллектор» закрываются и транзистор стягивается (существует такой термин) в «точку». Если этого не происходит, то транзистор неисправен и подлежит замене на работоспособный.

2  $U_{кэ}=E_k$  - обрыв одного из переходов транзистора или транзистор находится в режиме отсечки из-за неисправных ЭРЭ, запирающего напряжения либо СДМ.

При этом в первую очередь необходимо проверить напряжение между базой и эмиттером, которое должно быть примерно таким:

$U_{бэ} = +(0,6...0,7)$  В - для транзистора *n-p-n*;

$U_{бэ} = - (0,6...0,7)$  В - для транзистора *p-n-p*.

Если напряжение  $U_{бэ}$  значительно отличается от указанного, то необходимо более тщательно проверить ЭРЭ и цепи, откуда поступает запирающее напряжение на базу транзистора.

1.4.2 Неисправности транзисторов, включенных по схеме с общим коллектором (ОК):

1  $U_э = 0$  - обрыв одного из переходов или транзистор заперт.

2  $U_э = E_k$  - транзистор «пробит» или находится в режиме насыщения.

Режим насыщения определяется и устраняется так же, как в схеме с ОЭ.

### 1.4.3 Неисправности транзисторов, включенных по схеме с общей базой (ОБ):

1  $U_2 = 0$  - обрыв одного из переходов транзистора или транзистор заперт.

2  $U_2 = U_1$  - транзистор «пробит» или находится в режиме насыщения.

Режим насыщения определяется и устраняется так же, как и в схемах с ОЭ и ОК путем «закорачивания» базового вывода транзистора на общий провод.

При проведении ремонта РИП необходимо знать, как влияют те или иные элементы схемы на значения напряжений на выводах транзистора. Для примера рассмотрим схему резистивного усилителя, как показано на рисунке 12.

*Симптом 1:* пониженное напряжение на коллекторе транзистора VT1.

*Причины:* уменьшение напряжения питания  $E_k$ , «пробой» транзистора VT1, повышенные токи утечки конденсаторов C1, C2, C3, обрыв в резисторах R2, R3.

*Симптом 2:* повышенное напряжение на коллекторе транзистора VT1.

*Причины:* обрыв одного из переходов транзистора VT1, обрыв резисторов R1, R4. Проверить режим насыщения транзистора можно путем параллельного подключения к резистору R1 дополнительного резистора близкого номинала. При этом напряжение на коллекторе транзистора должно уменьшиться.

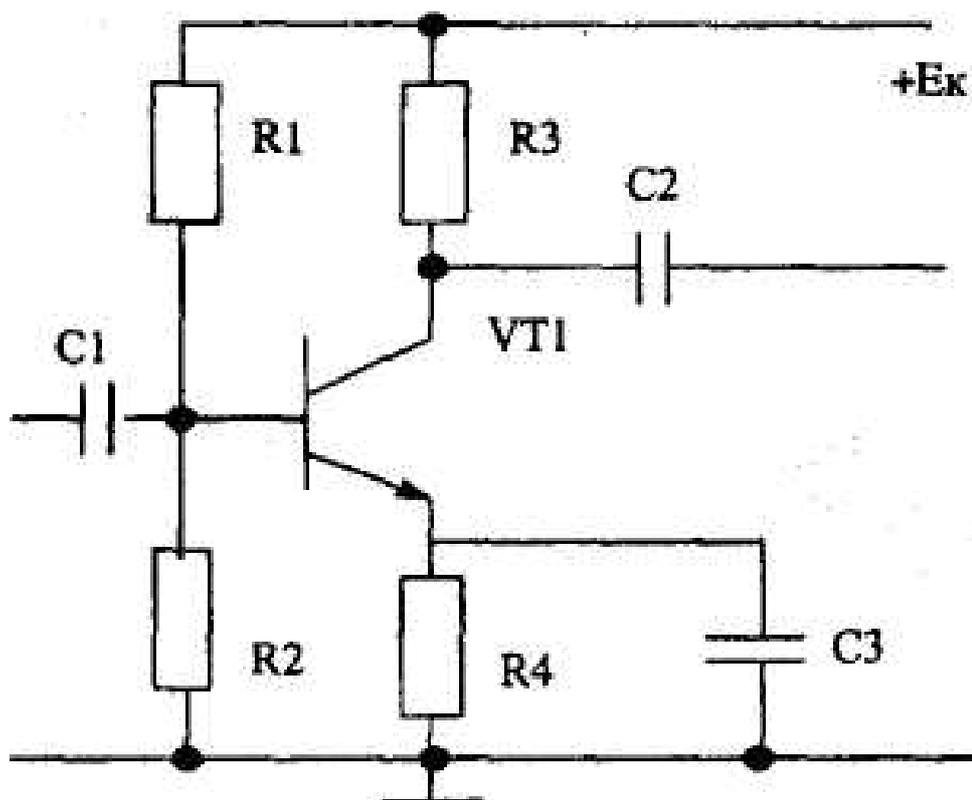


Рисунок 12- Схема включения транзистора

## 1.5 Маркировка транзисторов

### 1.5.1 Буквенно-цифровая и символьная маркировка

В настоящее время используется система обозначения транзисторов, состоящая из четырех элементов.

**Первый элемент** — буква или цифра — обозначает материал транзистора (Г или 1 — германий или его соединения; К или 2 — кремний или его соединения; А или 3 — галлий или его соединения).

**Второй элемент** — буква — обозначает тип транзистора (Т — биполярные транзисторы; П — полевые транзисторы).

**Третий элемент** — цифра — указывает назначение и качественные свойства прибора (табл. 2.13), а также порядковый номер разработки.

**Четвертый элемент** — буква — обозначает разновидность типа прибора (деление на параметрические группы).

Так, например, КТ324А обозначает кремниевый маломощный высокочастотный транзистор, разновидность А; ГТ905Б — германиевый большой мощности высокочастотный транзистор, разновидность Б.

Тип транзистора обозначается буквенно-цифровым кодом или особым символом (с помощью мнемоники в виде геометрических фигур), группа — буквенным символом русского алфавита, а дата изготовления — буквами латинского алфавита (месяц цифрами от 1 до 9).

При сокращенной маркировке опускается дата изготовления, а тип может указываться в сокращенном виде.

Из-за отсутствия единого стандарта в странах СНГ и ближнего зарубежья можно встретить транзисторы одного типа и группы, которые маркируются по-разному, или на разные транзисторы наносят одинаковую символику или код. Отличается подобная маркировка дополнительной окраской торцевой поверхности или конструктивным исполнением (взаимным расположением или длиной последовательно расположенных выводов).

Обычно зарубежные фирмы-изготовители устанавливают свою произвольную систему либо придерживаются одной или нескольких общепринятых систем обозначения (JEDEC, Pro-Electron, JIS-C-7012).

В основном это относится к транзисторам со встроенными резисторами, диодами (фирма NEC для транзисторов со резисторами при структуре n-p-n использует обозначения AA, AB, AC, BA, BB, CE, FA, FB; при структуре p-n-p — AN, AP, AQ, AR, BN, BP, FN, PD и др.; изделия фирмы Rhom имеют обозначения DTA, DTB, DTC, DTD; транзисторные сборки фирмы Matsushita — PU, XN; фирмы Toshiba — RN, HN и т. д.). Следует особо обратить внимание, что существует большое число транзисторов, обозначения которых не соответствуют приведенным выше и устанавливаются самими производителями. Следует также иметь в виду, что обозначения транзисторов в документации и на схемах отличаются от маркировки на корпусах (так, в маркировке часто отсутствуют первые два-три знака — 2SC3310 = C3310; 2SC3399 = 3399; DTC143 = C143 и т. д.).

Если корпус транзистора мал, то в сокращенной маркировке первая цифра и буква «N» не ставятся.

На корпусах транзисторов японская и корейская маркировки нередко одинаковы (южнокорейская компания LG-Electronics, бывшая Gold Star, на принципиальных схемах своей продукции часто употребляет наименования КТС, КТА и др., которые соответствуют японским 2SC, 2SA и т. д.), что указывает и на соответствие параметров.

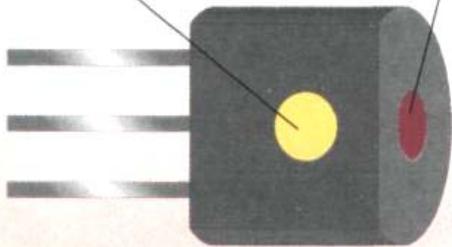
Более подробную расшифровку всех элементов полного наименования зарубежных биполярных транзисторов можно найти в справочной литературе либо на сайтах производителей.

### 1.5.2 Цветовая маркировка

Полная и сокращенная цветовая маркировка транзисторов малой и средней мощности, изготовленных в корпусах КТ-29 (SOT-37), КТ-26 (ТО-92), выполняется путем нанесения точек различных цветов.

При полной цветовой (точечной) маркировке на корпус транзистора наносится тип, группа, дата выпуска. При сокращенной маркировке дату выпуска опускают, указывая ее только на вкладыше упаковки.

Цветовая маркировка транзисторов показана на рисунках 13, 14.

Транзисторы. Цветовая маркировка			
Цвет	Тип элемента	Буква группы	
Бордо	КТ203	А	
Желтый	КТ502	Б	
Темн. зеленый	КТ3102	В	
Голубой	КТ339	Г	
Синий	КТ342	Д	
Белый	КТ503	Е	
Коричневый	КТ326	Ж	
Серебряный	КТ632	И	Л*
Оранжевый	КТ313, КТ368	К	М*
Табачный	КП364	Л(И)**	И*
Серый	КТ209	М(К)**	К*
Пример обозначения			
КТ502А			

\* для транзисторов выпуска до 90-го года.

\*\* буквы в скобках (И, К) используются другими производителями.

Рисунок 13 – Цветовая маркировка транзисторов

<b>Транзисторы. Цветовая маркировка</b>				
Цвет полосы (точки)	Тип 1-й элемент	Группа 2-й элемент	Год 3-й элемент	Месяц 4-й элемент
Бежевый	КТ345	Г	1977	янв
Синий	КТ349	В		фев
Зеленый	КТ352	И	1985	мар
Красный	КТ337	К	1983	апр
Салатовый		Ж	1978	май
Серый	КТ350	Л		июн
Коричневый	КТ326		1984	июл
Оранжевый		Д	1979	авг
Электрик		Е	1980	сен
Белый	КТ645		1982	окт
Желтый	КТ354	Б		ноя
Голубой	КТ3107		1986	дек
Розовый	КТ363	А		
Бирюзовый			1981	

Пример обозначения	
КТ3107Л 1977г., июль	

Рисунок 14 - Цветовая маркировка транзисторов

### 1.5.3 Особенности кодовой и цветовой маркировки отечественных транзисторов

Кодовая или цветовая маркировка наносится, как правило, на транзисторы в корпусе КТ-26 (ТО-92) или КТ-27 (ТО-126). В свою очередь кодовая и цветовая маркировки подразделяются на стандартные и нестандартные.

### 1.5.4 Стандартная кодовая маркировка транзисторов в корпусе КТ-26 (ТО-92)

#### Первый вариант маркировки

При стандартной кодовой маркировке на корпус транзистора наносится информация о его типе, группе, дате выпуска. Тип транзистора обозначается особым символом, группа — соответствующей буквой русского алфавита, год выпуска — буквой латинского алфавита, месяц выпуска — цифрой от 1 до 9 или буквой латинского алфавита, как показано на рисунках 15, 16.

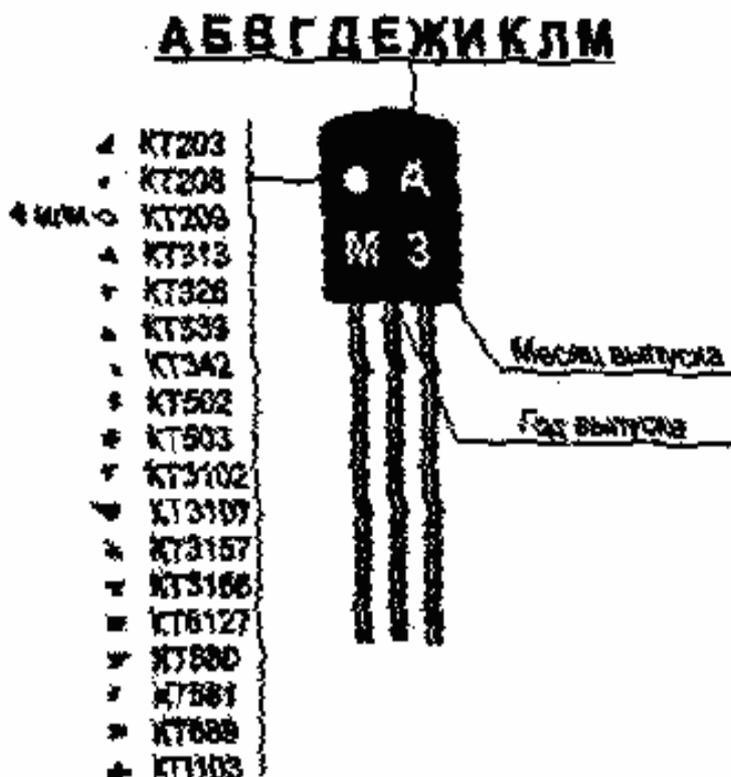


Рисунок 15 - Кодовая маркировка отечественных транзисторов в корпусе КТ-26 (1-й вариант)

### Второй вариант маркировки

При втором варианте маркировки надписи на корпусе обозначают: верхняя — тип транзистора, нижняя — его группу.

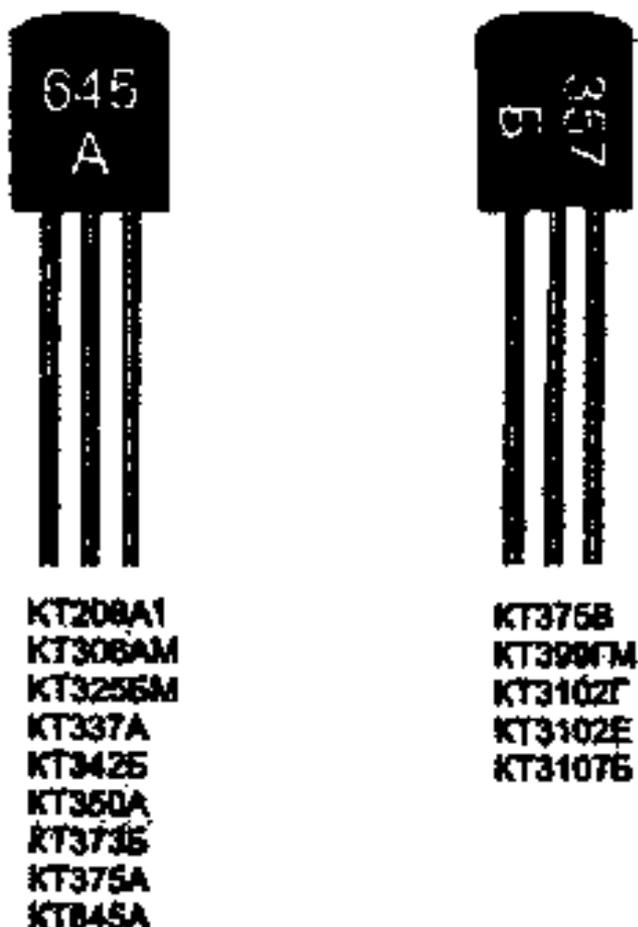


Рисунок 16 - Кодовая маркировка отечественных транзисторов в корпусе КТ-26 (2-й вариант)

### 1.5.5 Стандартная цветовая маркировка транзисторов в корпусе КТ-26 (ТО-92)

#### Первый вариант маркировки

При стандартной цветовой маркировке на корпус транзистора наносится информация о его типе, группе, дате выпуска (рисунок 13).

#### Второй вариант маркировки

Второй вариант цветовой маркировки можно назвать упрощенным: маркировка состоит из двух точек, нанесенных на корпус транзистора. Одна из точек обозначает тип транзистора, вторая — его группу (рисунок 14).

### 1.6 Подбор и замена транзисторов

Рассмотрим некоторые общие подходы и конкретные ситуации, наиболее часто встречающиеся в ремонтной практике, связанные с заменой полупроводниковых приборов. Причины отказов полупроводниковых приборов в

основном связаны с перегрузками по мощности рассеяния, току и напряжению.

Подбор аналогов должен проводиться с учетом конкретной электрической схемы, а не только путем формального сравнения всех параметров приборов в совпадающем или близком режимах измерений. Поэтому не все параметры полупроводниковых приборов будут одинаково важными, а только те, по которым должна быть обеспечена взаимозаменяемость.

При анализе комплекса параметров всей схемы их условно можно разделить на основные (требуется наилучшее сочетание их значений) и второстепенные параметры (значения могут меняться в достаточно широких пределах).

В наиболее тяжелом тепловом режиме из всех полупроводниковых элементов работает ключевой транзистор (электронного коммутатора, преобразователя) и выходной транзистор различных устройств бытовой техники. Вероятность их пробоя (при выходе за установленные нормы параметров питающей электросети) очень высока. При подборе аналога начинают с оценки действующих в узлах устройства токов и напряжений с учетом переменной составляющей. Максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер транзистора должно быть больше, чем максимальное (с учетом переменной составляющей) напряжение, действующее на этом участке. Однако для обеспечения высокой надежности особо важно напряжение  $U_{кэ\ max}$ , а не указывающееся (обычно в справочных листах прайсов торгующих фирм)  $U_{кб\ max}$ .

Оценив возможность замены из имеющихся транзисторов по данному параметру, следует аналогичным образом проверить, проходит ли он по максимально допустимому току коллектора и по мощности, рассеиваемой на коллекторе.

Напряжение насыщения  $U_{кэ\ max}$  в некоторой степени влияет на значение максимального импульсного тока транзистора и, следовательно, на мощность, отдаваемую в нагрузку, особенно при пониженном сетевом напряжении. По этому иногда транзисторы с большим  $U_{кэ\ max}$  «не тянут», т. е. не развивают необходимую мощность (для конкретной схемы включения).

Во многих случаях критичным может оказаться выбор транзистора по статическому коэффициенту передачи тока. Однако при больших потребляемых токах или низкоомных нагрузках значение статического коэффициента передачи тока транзистора может быть уже критичным.

И, наконец, необходимо проверить, проходит ли заменяющий транзистор по частотным характеристикам. От быстродействия транзистора зависит КПД схемы. Чем короче переходные процессы, тем меньше мощность, рассеиваемая на транзисторе. Поэтому замена на существенно менее быстродействующий, хотя и восстанавливает работоспособность аппарата, нередко приводит к повторным отказам из-за перегрева корпуса.

Отдельные транзисторы имеют встроенный резистор (определенного сопротивления) между базой и эмиттером, а в некоторых исполнениях и (или) защитный диод между коллектором и эмиттером. Это обстоятельство нужно обязательно учитывать, устанавливая при необходимости дополнительные диоды и резисторы и ориентируясь на конкретную схему включения.

Полная аналогичность (эквивалентность) отечественных зарубежных полупроводниковых приборов предполагает совпадение их функционального назначения, электрических параметров и характеристик, конструктивного оформления, габаритных и присоединительных размеров, формы и расположения выводов, электрической связи выводов с корпусом, надежности и стабильности. Однако полного совпадения получить практически невозможно и не во всех случаях необходимо. Целесообразнее говорить о частичной (неполной) или приближенной их эквивалентности, так как процесс создания полупроводниковых приборов — это технологический комплекс, характерный для каждой конкретной фирмы-изготовителя.

Взаимозаменяемость отечественных и зарубежных полупроводниковых приборов зависит не только от их свойств, условий эксплуатации и режимов применения устройства, но и от рационально разработанной схемы, учитывающей номинальный разброс параметров и не требующей специального подбора приборов. При замене зарубежного транзистора отечественным, даже лучшим по параметрам, может потребоваться подстройка схемы, чтобы не ухудшилась работа данного каскада и не возникла паразитная генерация.

Подбор аналогов должен осуществляться сравнением электрических параметров отечественных и зарубежных приборов. Кроме того, подбор подходящих отечественных аналогов (особенно мощных импульсных транзисторов) для замены неисправных импортных сделать не так просто. Это связано с отсутствием подходящих по параметрам отечественных транзисторов в пластмассовых и миниатюрных корпусах.

Несмотря на большое разнообразие типов корпусов транзисторов, многие из них имеют близкие габаритные и присоединительные размеры, что при соблюдении определенных требований позволяет корректно их заменять.

Обратим внимание на некоторые характерные случаи замены транзисторов с различными корпусами. При замене важно только учитывать, изолирован ли транзистор полностью, имеет ли изоляционную втулку в креплении или коллектор транзистора электрически соединен с теплоотводящей пластиной корпуса. Пусть неисправный прибор выполнен в изолированном корпусе, аналог не изолирован, но имеет пластиковую втулку в креплении. В данном случае достаточно установить слюдяную или фторопластовую прокладку под корпус транзистора (дополнительная изоляция винта крепления требуется для аналогов без изолирующей втулки). Необходимо оценивать эффективность теплоотвода в ситуациях, когда неисправный транзистор с неизолированным корпусом заменяют на «пластмассовый», так как температура кристалла изолированных транзисторов при одинаковых условиях будет выше, чем у их «металлических» аналогов.

## **1.7 Контрольные вопросы**

- 1 Что такое транзистор?
- 2 Какой транзистор называется биполярным?
- 3 Какой транзистор называется полевым?

- 4 Назовите основные электрические параметры полевых транзисторов
- 5 Какие бывают структуры транзисторов и их обозначение?
- 6 Перечислите основные требования, которые необходимо выполнять при изготовлении транзисторов.
- 7 Начертите различные схемы включения транзистора.
- 8 Назовите физические параметры транзистора
- 9 Какие режимы работы транзистора Вы знаете?
- 10 Каковы правила монтажа и эксплуатации транзисторов?
- 11 Какие бывают неисправности транзисторов
- 12 Поясните маркировку транзисторов
- 13 Как правильно произвести подбор и замену транзистора?

## **2 Практическая часть работы**

**Тема работы:** Транзисторы

**Цель работы:** Ознакомиться с классификацией, основными параметрами, обозначением, маркировкой, видами, условиями монтажа и эксплуатации, неисправностями, подбором и заменой транзисторов

### **2.1 Оборудование:**

- 1) набор транзисторов;
- 2) методические рекомендации;
- 3) справочные пособия.

### **2.2 Содержание отчёта:**

- 1) тема работы;
- 2) цель работы;
- 3) оборудование;
- 4) эскизы транзисторов;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

### **2.3 Порядок выполнения работы:**

- 1) ознакомиться с теоретическим материалом о транзисторах;
- 2) зарисовать различные виды транзисторов из набора;
- 3) научиться с помощью справочников определять по маркировке виды и параметры транзисторов;
- 4) оформить отчет и защитить работу.

## Список использованных источников

- 1 **Хабаров, Б.П.** Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие / Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А. Парамонов, под общей редакцией Г.В. Куликова.– М.: Горячая линия -Телеком, 2004 – 376 с.: ил
- 2 **Миссюль, П.И.** Техническое обслуживание и ремонт бытовой радиоаппаратуры /П.И. Миссюль –Мн.: Выш.шк., 2002. – 320с.: ил.
- 3 **Ярочкина, Г.В.** Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Монтаж и регулировка / Г.В. Ярочкина – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 240с.
- 4 **Гусев, В.Г.** Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев – М.:Высшая школа, 2004 - 621с
- 5 **Фрумкин, Г.Д.** Расчет и конструирование радиоаппаратуры / Г.Д. Фрумкин - М.:Высшая школа, 2002 -462с
- 6 **Кучумов, А.И.** Электроника и схемотехника: учебное пособие.. / А.И. Кучумов 3-е изд - М.: Гелиос АРВ, 2005 – 366с.:ил