

Урок №6.

Транзисторы и их применение.

В этой статье рассказывается об одном из важных элементов радиоэлектроники — транзисторах. Про принцип действия диодов и их характеристики читайте по ссылке — <http://www.radioingener.ru/diody-i-ix-primeneniye/>

Что такое транзистор.

Термин «транзистор» образован из двух английских слов: *transfer* — *преобразователь* и *resistor* — *сопротивление*.

В большую «семью» полупроводниковых приборов, называемых транзисторами, входят два вида: *биполярные* и *полевые*. Первые из них, чтобы как — то отличить их от вторых, часто называют *обычными транзисторами*.

Биполярный (обычный) транзистор

Биполярные транзисторы используются наиболее широко. Именно с них мы пожалуй и начнем. В упрощенном виде биполярный транзистор представляет собой пластину полупроводника с тремя (как в слоеном пироге) чередующимися областями разной электропроводности (рис. 1), которые образуют два $p-n$ перехода.

Две крайние области обладают электропроводностью одного типа, средняя — электропроводностью другого типа. У каждой области свой контактный вывод. Если в крайних областях преобладает дырочная электропроводность, а в средней электронная (рис. 1, а), то *такой прибор называют транзистором структуры $p-n-p$* . У транзистора *структуры $n-p-n$* , наоборот, по краям расположены области с электронной электропроводностью, а между ними — область с дырочной электропроводностью (рис. 1, б).

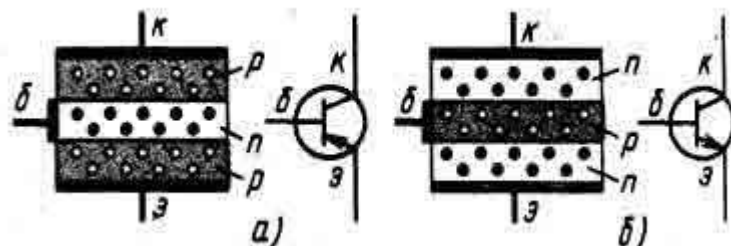


Рис. 1 Схематическое устройство и графическое обозначение на схемах транзисторов структуры $p-n-p$ и $n-p-n$.

Устройство и структура.

Если мысленно прикрыть любую из крайних областей транзисторов, изображенных схематически на (рис.1). Что получилось? Оставшиеся две области есть не что иное, как плоскостной диод. Если прикрыть другую крайнюю область, то тоже получится диод. Значит, транзистор можно представить себе как два плоскостных диода с одной общей областью, включенных навстречу друг другу. *Общую (среднюю) область транзистора называют базой, одну крайнюю область — эмиттером, вторую крайнюю область — коллектором.* Это три электрода транзистора. Во время работы эмиттер вводит (эмитирует) в базу дырки (в структуре $p-n-p$) или электроны (в структуре $n-p-n$), коллектор собирает эти электрические заряды, вводимые в базу эмиттером. *Различие в обозначениях транзисторов разных структур на схемах заключается лишь в направлении стрелки эмиттера: в $p-n-p$ транзисторах она обращена в сторону базы, а в $n-p-n$ — от базы.*

Электронно — дырочные переходы в транзисторе могут быть получены так же, как в плоскостных диодах. Например, чтобы изготовить транзистор структуры $p-n-p$, берут тонкую пластину германия с электронной электропроводностью и наплавляют на ее поверхность кусочки индия. Атомы индия диффундируют (проникают) в тело пластины, образуя в ней две области типа p — эмиттер и коллектор, а между ними остается очень тонкая (несколько микрон) прослойка полупроводника типа n — база. Транзисторы, изготавливаемые по такой технологии, называют сплавными.

Запомни наименования $p-n$ переходов транзистора: между коллектором и базой — коллекторный, между эмиттером и базой — эмиттерный.

Схематическое устройство и конструкция сплавного транзистора показаны на (рис. 2).

Изготовление транзисторов.

Прибор собран на металлическом диске диаметром менее 10 мм. Сверху к этому диску приварен кристаллодержатель, являющийся внутренним выводом базы, а снизу — ее наружный проволочный вывод. Внутренние выводы коллектора и эмиттера приварены к проволочкам, которые впаяны в стеклянные изоляторы и служат внешними выводами этих электродов. Целнометаллический колпак защищает прибор от механических повреждений и влияния света. Так устроены наиболее распространенные маломощные низкочастотные транзисторы серий МП39, МП40, МП41, МП42 и их разновидности. Буква (М) в обозначении говорит о том, что корпус прибора холодносварной, буква (П) — первоначальная буква слов «плоскостной», а цифры — порядковые заводские номера приборов. В конце обозначения могут быть буквы А, Б, В (например, МП39Б), указывающие разницу в параметрах данной серии. Существуют другие способы изготовления, например, диффузионно — сплавной (рис. 3). Коллектором транзистора, изготовленного по такой технологии, служит пластина исходного полупроводника. На поверхность пластины наплавляют очень близко один от другого два маленьких шарика примесных элементов. Во время нагрева до строго определенной температуры происходит диффузия примесных элементов в пластинку полупроводника. При этом один шарик (на рис. 3 — правый) образует в коллекторе тонкую базовую область, а второй (на рис. 3 — левый) эмиттерную область.



Рис. 2 — Устройство и конструкция сплавного слева и диффузионно — сплавного справа транзистора структуры $p-n-p$.

В результате в пластине исходного полупроводника получаются два $p-n$ перехода, образующие транзистор структуры $p-n-p$. По такой технологии изготавливают, в частности, наиболее массовые маломощные высокочастотные транзисторы серий П401-П403, П422, П423, ГТ308. В настоящее время действует система обозначения, по которой выпускаемые серийно приборы имеют обозначения, состоящие из четырех элементов, например: ГТ109А, КТ315В, ГТ403И.

- Первый элемент этой системы обозначения — буква Г, К или А (или цифра 1, 2 и 3) — характеризует полупроводниковый материал и температурные условия работы прибора. Буква Г (или цифра 1) присваивается германиевым транзисторам, буква К (или цифра 2) — кремниевым, буква А (или цифра 3) — транзисторам, полупроводниковым материалом которых служит арсенид галлия. Цифра, стоящая вместо буквы, указывает на то, что данный транзистор может работать при повышенных температурах (германиевый — выше 4- 60°C, кремниевый — выше +85°C).
- Второй элемент — буква Т — начальная буква слова «транзистор».
- Третий элемент — трехзначное число от 101 до 999 — указывает порядковый номер разработки и назначение прибора. Это число присваивается транзистору по признакам, приведенным в таблице.
- Четвертый элемент обозначения — буква, указывающая разновидность прибора данной серии.

Транзистор P_{max} , Вт	Низкая частота (до 3 МГц)	Средняя частота (3–30 МГц)	Высокая частота (свыше 30 МГц)
Малой мощности (до 0,3 Вт)	101–199	201–299	301–399
Средней мощности (0,3–3 Вт)	401–499	501–599	601–699
Большой мощности (свыше 3 Вт)	701–799	801–899	901–999

Вот некоторые примеры расшифровки обозначений по этой системе :

ГТ109А — германиевый маломощный низкочастотный транзистор, разновидность А;

ГТ404Г — германиевый средней мощности низкочастотный транзистор, разновидность Г;

КТ315В — кремниевый маломощный высокочастотный транзистор, разновидность В.

Применение транзисторов

Наряду с такой системой продолжает действовать и прежняя система обозначения, например П27, П401, П213, МП39 и т.д. Объясняется это тем, что такие или подобные транзисторы были разработаны до введения современной маркировки полупроводниковых приборов. Внешний вид некоторых биполярных транзисторов, наиболее широко используемых радиолюбителями, показан на (рис. 4). Маломощный низкочастотный транзистор ГТ109 (структуры р — п — р) имеет в диаметре всего 3, 4 мм. Транзисторы этой серии предназначены для миниатюрных радиовещательных приемников. Их используют также в слуховых аппаратах, в электронных медицинских приборах т.д.

Диаметр транзисторов ГТ309 (р — п — р) 7,4 мм. Такие транзисторы применяют в различных малогабаритных электронных устройствах для усиления и генерирования колебаний высокой частоты.

Транзисторы КТ315 (п — р — п) выпускают в пластмассовых корпусах. Эти маломощные приборы предназначены для усиления и генерирования колебаний высокой частоты. Транзисторы МП39 — МП42 (р — п — р) — самые массовые среди маломощных низкочастотных транзисторов. Точно так выглядят и аналогичные им, но структуры п — р — п, транзисторы МП35 — МП38. Диаметр корпуса любого из этих транзисторов 11,5 мм. Наиболее широко их используют в усилителях звуковой частоты.

Так выглядят и маломощные высокочастотные р — п — р транзисторы серий П401 — П403, П416, П423, используемые для усиления высокочастотных сигналов как в промышленных, так и любительских радиовещательных приемниках. Транзистор ГТ402 (р — п — р) — представитель низкочастотных транзисторов средней мощности. Такую же конструкцию имеет его «близнец» ГТ404, но он структуры (п — р — п). Их, обычно используют в паре, в каскадах усиления мощности колебаний звуковой частоты.

Транзистор П213 (германиевый структуры р — п — р) — один из мощных низкочастотных транзисторов, широко используемых в оконечных каскадах усилителей звуковой частоты. Диаметр этого, а также аналогичных ему транзисторов П214 — П216 и некоторых других, 24 мм. Такие транзисторы крепят на шасси или панелях при помощи фланцев. Во время работы они нагреваются, поэтому их обычно ставят на специальные теплоотводящие радиаторы, увеличивающие поверхности охлаждения.

КТ904 — сверхвысокочастотный кремниевый п — р — п транзистор большой мощности. Корпус металлокерамический с жесткими выводами и винтом М5, с помощью которого транзистор крепят на теплопроводящем радиаторе. Функцию радиатора может выполнять массивная металлическая пластина или металлическое шасси радиотехнического устройства. Высота транзистора вместе с выводами и крепежным винтом чуть больше 20 мм. Транзисторы этой серии предназначены для генераторов и усилителей мощности радиоаппаратуры, работающей на частотах выше 100 МГц, например диапазона УКВ.

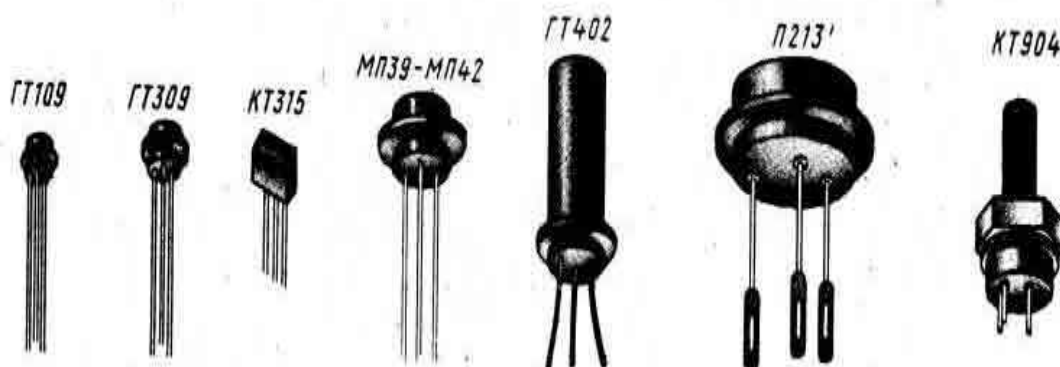
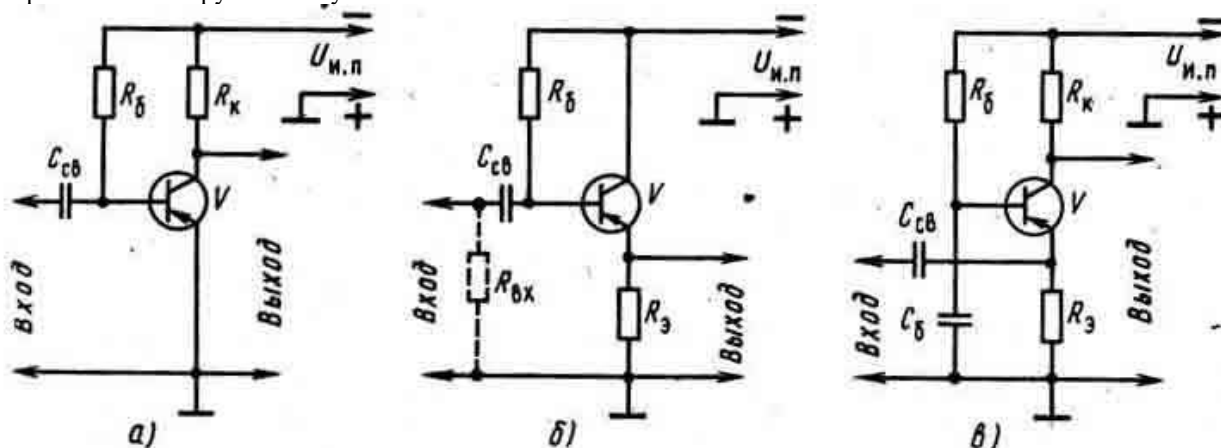


Рис. 4 Внешний вид некоторых транзисторов.

Схемы включения и основные параметры биполярных транзисторов

Итак, биполярный транзистор, независимо от его структуры, является трехэлектродным прибором. Его электроды — эмиттер, коллектор и база. Для использования транзистора в качестве усилителя напряжения, тока или мощности входной сигнал, который надо усилить, можно подавать на два каких — либо электрода и с двух электродов снимать усиленный сигнал. *При этом один из электродов обязательно будет общим.* Он — то и определяет название способа включения транзистора: *по схеме общего эмиттера (ОЭ), по схеме общего коллектора (ОК), по схеме общей базы (ОБ).*

- **Включение р-п-р транзистора по схеме ОЭ** показано на (рис. 5, а). Напряжение источника питания на коллекторе V подается через резистор R_k , являющийся нагрузкой, на эмиттер — через общий «заземленный» проводник, обозначаемый на схемах специальным знаком. Входной сигнал через конденсатор связи $C_{св}$ подается к выводам базы и эмиттера, т.е. к участку база — эмиттер, а усиленный сигнал снимается с выводов эмиттера и коллектора. Эмиттер, следовательно, при таком включении является общим для входной и выходной цепей. Транзистор, по схеме с ОЭ, в зависимости от его усилительных свойств может дать 10 — 200 — кратное усиление сигнала по напряжению и 20 — 100 — кратное усиление сигнала по току. Такой способ включения по схеме с ОЭ пользуется у радиолюбителей наибольшей популярностью. Существенным недостатком усилительного каскада, включенного по такой схеме, является его сравнительно малое входное сопротивление — всего 500-1000 Ом, что усложняет согласование усилительных каскадов, транзисторы которых включают по такой же схеме. Объясняется это тем, что в данном случае эмиттерный р — n переход транзистора включен в прямом, т.е. пропускном, направлении. А сопротивление пропускного перехода, зависящее от прикладываемого к нему напряжения, всегда мало. Что же касается выходного сопротивления такого каскада, то оно достаточно большое (2-20 кОм) и зависит от сопротивления нагрузки R_k и усилительных свойств.



- **Включение прибора по схеме ОК** показано на (рис. 5, в). Входной сигнал подается на базу и эмиттер через эмиттерный резистор R_3 , который является частью коллекторной цепи. С этого же резистора, выполняющего функцию нагрузки транзистора, снимается и выходной сигнал. Таким образом, этот участок коллекторной цепи является общим для входной и выходной цепей, поэтому и название способа включения транзистора — ОК. Каскад с полупроводником, включенным по такой схеме, по напряжению дает усиление меньше единицы. Усиление же по току получается примерно такое же, как если бы транзистор был включен

по схеме ОЭ. Но зато входное сопротивление такого каскада может составлять 10 — 500 кОм, что хорошо согласуется с большим выходным сопротивлением каскада на транзисторе, включенном по схеме ОЭ. По существу, каскад не дает усиления по напряжению, а лишь как бы повторяет подведенный к нему сигнал. Поэтому транзисторы, включаемые по такой схеме, называют также *эмиттерными повторителями*. Почему эмиттерными? Потому что выходное напряжение на эмиттере практически полностью повторяет входное напряжение. Почему каскад не усиливает напряжение? Давайте мысленно соединим резистором цепь базы с нижним (по схеме) выводом эмиттерного резистора $R_э$, как показано на (рис. 5, б) штриховыми линиями. Этот резистор — эквивалент внутреннего сопротивления источника входного сигнала $R_{вх.}$, например микрофона или звукоснимателя. Таким образом, эмиттерная цепь оказывается связанной через резистор $R_{вх.}$ с базой. Когда на вход усилителя подается напряжение сигнала, на резисторе $R_э$, являющемся нагрузкой транзистора, выделяется напряжение усиленного сигнала, которое через резистор $R_{вх.}$ оказывается приложенным к базе в противофазе. При этом между эмиттерной и базовой цепями возникает очень сильная отрицательная обратная связь, сводящая на нет усиление каскада. Это по напряжению. А по току усиления получается такое же, как и при включении транзистора по схеме с ОЭ.

- **Теперь о включении транзистора по схеме с ОБ** (рис. 5, в). В этом случае база через конденсатор $C_б$ по переменному току заземлена, т. е. соединена с общим проводником питания. Входной сигнал через конденсатор $C_{св.}$ подают на эмиттер и базу, а усиленный сигнал снимают с коллектора и с заземленной базы. База, таким образом, является общим электродом входной и выходной цепей каскада. Такой каскад дает усиление по току меньше единицы, а по напряжению — такое же, как транзистор, включенный по схеме с ОЭ (10 — 200). Из — за очень малого входного сопротивления, БК превышающего нескольких десятков (30-100) Ом, включение транзистора по схеме ОБ используют главным образом в генераторах электрических колебаний, в сверхгенеративных каскадах, применяемых, например, в аппаратуре радиоуправления моделями.
 - Чаше всего как я уже говорил применяются схемы с включением транзистора с ОЭ, реже с ОК. Но это только способы включения. А режим работы транзистора как усилителя определяется напряжениями на его электродах, токами в его цепях и, конечно, параметрами самого транзистора. Качество и усилительные свойства биполярных транзисторов оценивают по нескольким электрическим параметрам, которые измеряют с помощью специальных приборов. Вас же, с практической точки зрения, в первую очередь должны интересовать три основных параметра: обратный ток коллектора $I_{кб0}$, статический коэффициент передачи тока h_{213} (читают так: аш два один э) и граничная частота коэффициента передачи тока $F_{гр}$.
 - **Обратный ток коллектора $I_{кб0}$ — это неуправляемый ток через коллекторный $p-n$ переход, создающийся неосновными носителями тока транзистора.** Он характеризует качество транзистора: чем численное значение параметра $I_{кб0}$ меньше, тем выше качество. У маломощных низкочастотных транзисторов, например, серий МП39 — МП42, $I_{кб0}$ не должен превышать 30 мкА, а у маломощных высокочастотных 5 мкА. Транзисторы с большими значениями $I_{кб0}$ в работе неустойчивы.
 - **Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$ характеризует усилительные свойства транзистора. Статическим его называют потому, что этот параметр измеряют при неизменных напряжениях на его электродах и неизменных токах в его цепях.** Буква «Э» в этом выражении указывает на то, что при измерении полупроводник включают по схеме ОЭ. Коэффициент $h_{21э}$ характеризуется отношением постоянного тока коллектора к постоянному току базы при заданных постоянном обратном напряжении коллектор — эмиттер и токе эмиттера. Чем больше численное значение коэффициента $h_{21э}$, тем большее усиление сигнала может обеспечить данный прибор.
 - **Граничная частота коэффициента передачи тока $F_{гр}$, выраженная в килогерцах или мегагерцах, позволяет судить о возможности использования транзистора для усиления колебаний тех или иных частот.** Граничная частота $F_{гр}$ транзистора МП39, например, 500 кГц, а транзисторов П401 — П403 — больше 30 МГц. Практически транзисторы используют для усиления частот значительно меньше граничных, так как с повышением частоты коэффициент $h_{21э}$ уменьшается.
- При конструировании радиотехнических устройств надо учитывать и такие параметры, как максимально допустимое напряжение коллектор — эмиттер $U_{кэ\max}$, максимально допустимый ток коллектора $I_{к\max}$ а также максимально допустимую рассеиваемую мощность коллектора $P_{к\max}$ — мощность, превращающуюся в тепло.

Полевой транзистор

В этом полупроводниковом приборе управление рабочим током осуществляется не током во входной (базовой) цепи, как в биполярном транзисторе, а воздействием на носители тока *электрического поля*. Отсюда и название «*полевой*». Схематическое устройство и конструкция полевого транзистора с $p-n$ переходом показаны на (рис. 6). Основой такого транзистора служит пластина кремния с электропроводностью типа n , в которой имеется тонкая область с электропроводностью типа p . Пластину прибора называют затвором, а область типа p в ней — каналом. С одной стороны канал заканчивается истоком, с другой стоком — тоже областью типа p , но с повышенной концентрацией дырок. Между

затвором и каналом создается $p-n$ переход. От затвора, истока и стока сделаны контактные выводы. Если к истоку подключить положительный, а к стоку — отрицательный полюсы батареи питания (на рис. 6 — батарея GB), то в канале появится ток, создающийся движением дырок от истока к стоку. Этот ток, называемый током стока I_c , зависит не только от напряжения этой батареи, но и от напряжения, действующего между источником и затвором (на рис. 6 — элемент G).

И вот почему. Когда на затворе относительно истока действует положительное закрывающее напряжение, обедненная область $p-n$ перехода расширяется (на рис. 6 показано штриховыми линиями). От этого канал сужается, его сопротивление увеличивается, из-за чего ток стока уменьшается. С уменьшением положительного напряжения на затворе обедненная область $p-n$ перехода, наоборот, сужается, канал расширяется, и ток снова увеличивается. Если на затвор вместе с положительным напряжением смещения подавать низкочастотный или высокочастотный сигнал, в цепи стока возникнет пульсирующий ток, а на нагрузке, включенной в эту цепь, — напряжение усиленного сигнала. Так, в упрощенном виде устроены и работают полевые транзисторы с каналом типа p , например — КП102, КП103 (буквы K и P означают «кремниевый полевой»). Принципиально так же устроен и работает полевой транзистор с каналом типа n . Затвор транзистора такой структуры обладает дырочной электропроводностью, поэтому на него относительно истока должно подаваться отрицательное напряжение смещения, а на сток (тоже относительно истока) — положительное напряжение источника питания. На условном графическом изображении полевого транзистора с каналом типа n стрелка на линии затвора направлена в сторону истока, а не от истока, как в обозначении транзистора с каналом типа p . Полевой транзистор — тоже трехэлектродный прибор. Поэтому его, как и биполярный транзистор, включать в усилительный каскад можно тремя способами: по схеме общего стока (OC), по схеме общего истока ($OИ$) и по схеме общего затвора ($OЗ$). В радиолюбительской практике применяют в основном только первые два способа включения, позволяющие с наибольшей эффективностью использовать полевые транзисторы.

Усилительный каскад на полевом транзисторе обладает очень большим, исчисляемым мегаомами, входным сопротивлением.

Это позволяет подавать на его вход высокочастотные и низкочастотные сигналы от источников с большим внутренним сопротивлением, например от пьезокерамического звукоснимателя, не опасаясь искажения или ухудшения усиления входного сигнала.

В этом главное преимущество полевых транзисторов по сравнению с биполярными. Усилительные свойства полевого транзистора характеризуют крутизной характеристики S — отношением изменения тока стока к изменению напряжения на затворе при коротком замыкании по переменному току на выходе транзистора, включенного по схеме $OИ$. Численное значение параметра S выражают в миллиамперах на вольт; для различных транзисторов оно может составлять от 0,1 — 0,2 до 10 — 15 mA/V и больше. Чем больше крутизна, тем большее усиление сигнала может дать транзистор.

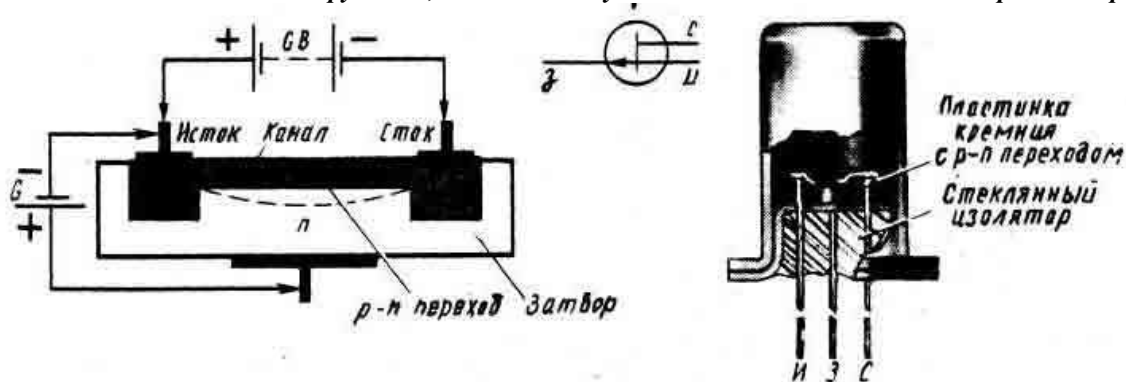


Рис. 6 Конструкция и графическое изображение полевого транзистора с каналом типа (p). Другой параметр полевого транзистора — напряжение отсечки $U_{зи.отс.}$ — Это обратное напряжение на $p-n$ переходе затвор — канал, при котором ток через этот переход уменьшается до нуля. У различных транзисторов напряжение отсечки может составлять от 0,5 до 10 В. О полевых транзисторах и их уникальных свойствах можно говорить еще много, я попытался рассказать о наиболее существенных.

Кодовая и цветовая маркировка транзисторов

Все картинки кликабельны. Вы можете нажать и сохранить их себе на ПК, чтобы в дальнейшем пользоваться. Или просто сохраните данную страницу нажав в браузере добавить в закладки.

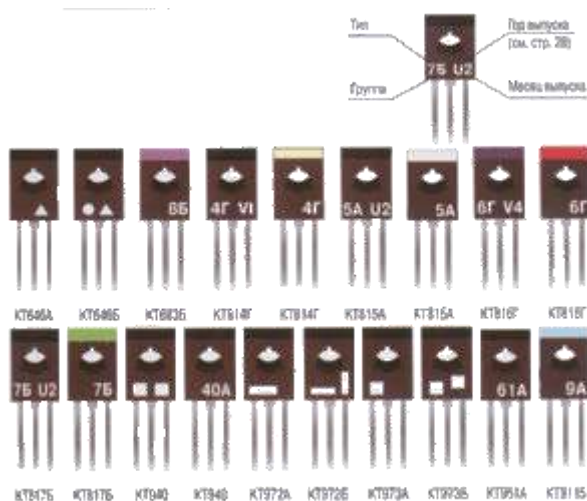


Рис. 1

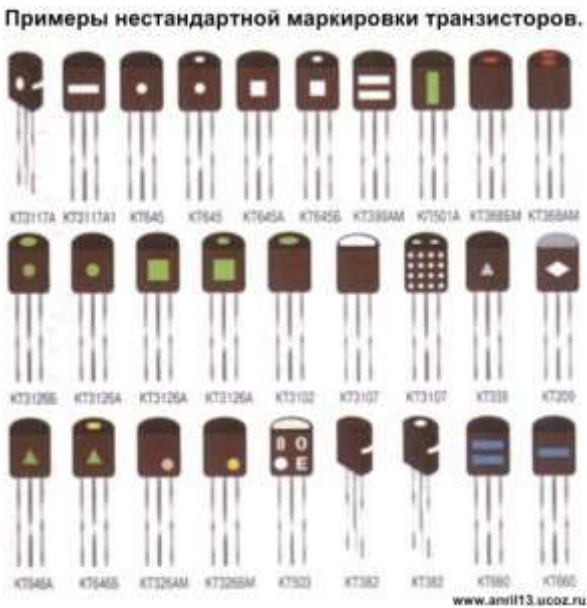


Рис. 2



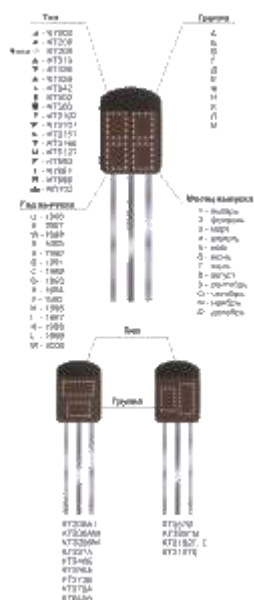


Рис. 4

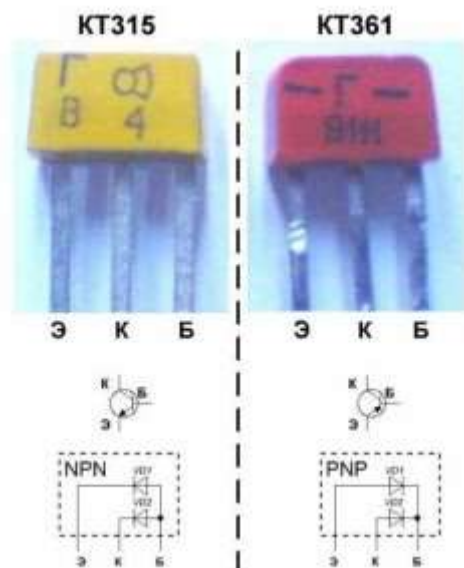


Рис. 5 — KT315, KT361

И так сказать на закуску классификацию корпусов, чтобы при заказе или обозначении на схеме иметь представление о внешнем виде транзистора

