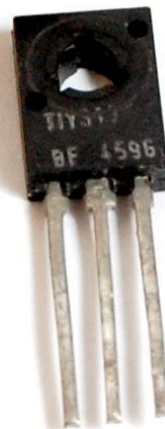
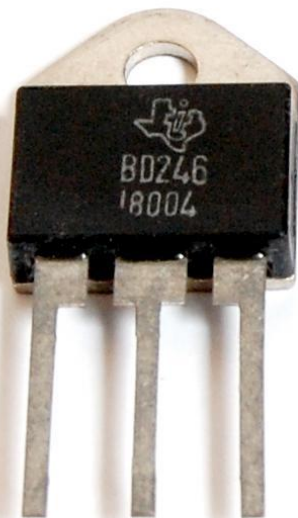
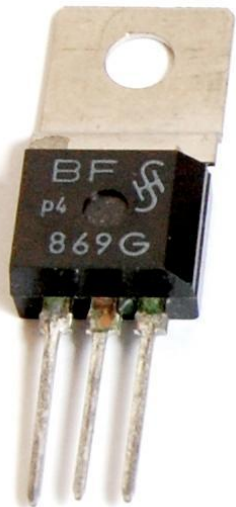
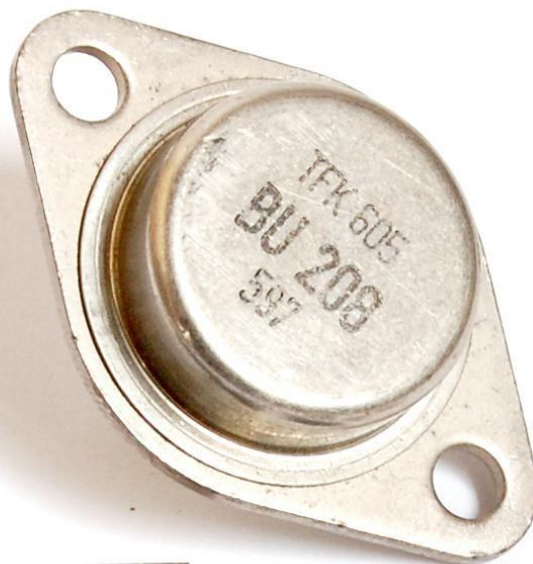


# ТРАНЗИСТОРЫ



---

**Транзистор** — радиоэлектронный компонент из полупроводникового материала, обычно с тремя выводами, позволяющий входным сигналам управлять током в электрической цепи.

Управление током в выходной цепи осуществляется за счёт изменения входного напряжения или тока. Небольшое изменение входных величин может приводить к существенно большему изменению выходного напряжения и тока.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНЗИСТОРОВ

## По структуре

- Биполярный транзистор
- Полевой транзистор

## По основному полупроводниковому материалу

- Германиевые
- Кремниевые
- Арсенид-галлиевые

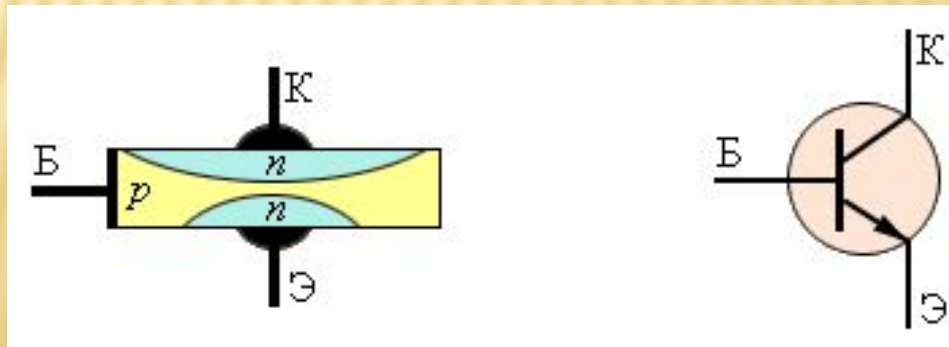
---

## По мощности

- Маломощные транзисторы до 100мВт
- Транзисторы средней мощности от 0,1 до 1 Вт
- Мощные транзисторы (больше 1 Вт)

# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

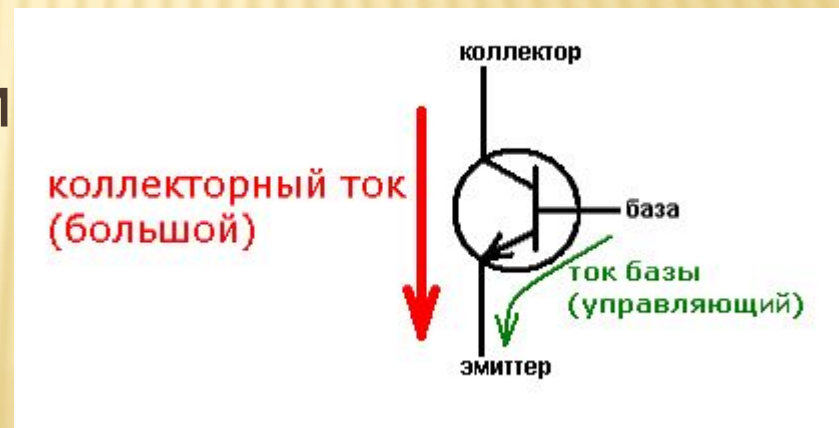
Биполярный транзистор состоит из трех областей: эмиттера, базы и коллектора, на каждую из которых подается напряжение. В зависимости от типа проводимости этих областей, выделяют  $n$ - $p$ - $n$  и  $p$ - $n$ - $p$  транзисторы. Обычно область коллектора шире, чем эмиттера. Базу изготавливают из слаболегированного полупроводника (из-за чего она имеет большое сопротивление) и делают очень тонкой. Поскольку площадь контакта эмиттер-база получается значительно меньше площади контакта база-коллектор, то поменять эмиттер и коллектор местами с помощью смены полярности подключения нельзя. Таким образом, транзистор относится к несимметричным устройствам.



# ПРИНЦИП РАБОТЫ

В активном режиме работы транзистор включён так, что его эмиттерный переход смещён в прямом направлении (открыт), а коллекторный переход смещён в обратном направлении (закрит).

Для определённости рассмотрим **npn** транзистор



Поскольку переход ЭБ открыт, то электроны легко «перебегают» в базу. Там они частично рекомбинируют с дырками, но большая их часть из-за малой толщины базы и ее слабой легированности успевает добежать до перехода база-коллектор. Который, как мы помним, включен с обратным смещением. А поскольку в базе электроны — неосновные носители заряда, то электрическое поле перехода помогает им преодолеть его. Таким образом, ток коллектора получается лишь немного меньше тока эмиттера. Если увеличить ток базы, то переход ЭБ откроется сильнее, и между эмиттером и коллектором сможет проскочить больше электронов. А поскольку ток коллектора изначально больше тока базы, то это изменение будет весьма и весьма заметно. Таким образом, **произойдет усиление слабого сигнала, поступившего на базу.**

# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Коллекторный ток транзистора в нормальном активном режиме работы транзистора больше тока базы в определенное число раз. Это число называется **коэффициентом усиления по току** и является одним из основных параметров транзистора. Обозначается оно  **$h_{21}$** . Если транзистор включается без нагрузки на коллектор, то при постоянном напряжении коллектор-эмиттер отношение тока коллектора к току базы даст **статический коэффициент усиления по току**. Он может равняться десяткам или сотням единиц, но стоит учитывать тот факт, что в реальных схемах этот коэффициент меньше из-за того, что при включении нагрузки ток коллектора закономерно уменьшается.



□ Вторым немаловажным параметром является **входное сопротивление транзистора**.

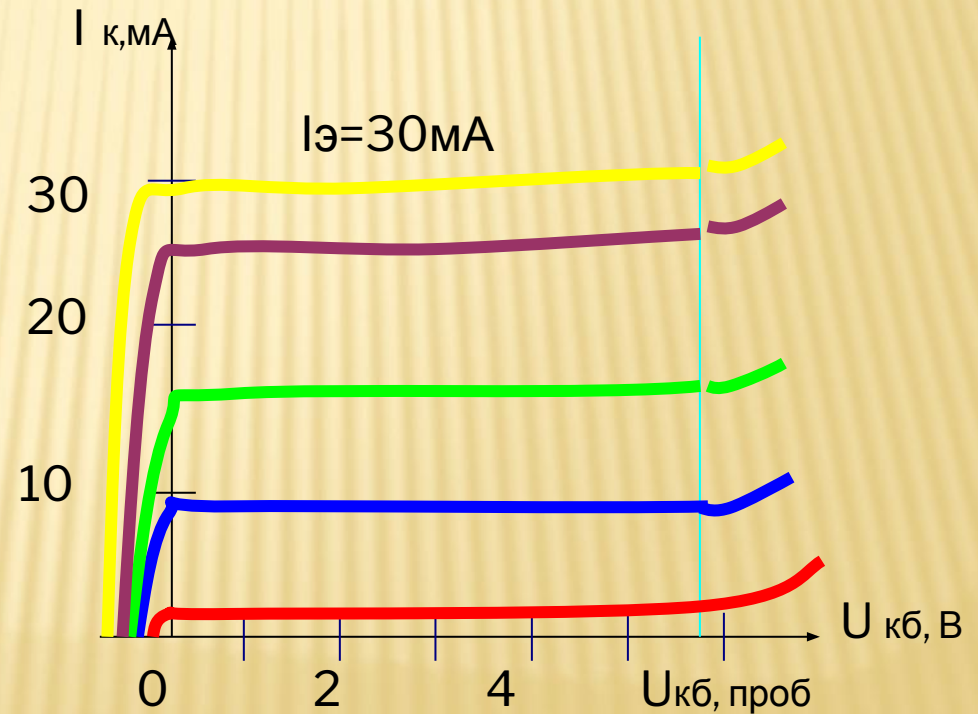
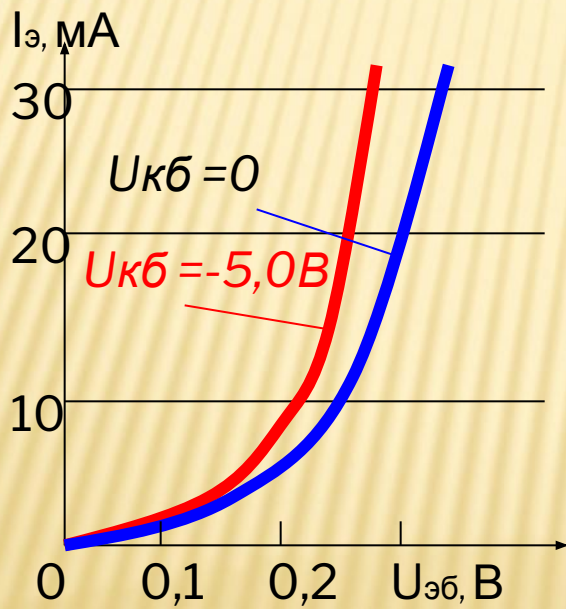
Согласно закону Ома, оно

представляет собой отношение напряжения между базой и эмиттером к управляющему току базы. Чем оно больше, тем меньше ток базы и тем выше коэффициент усиления.

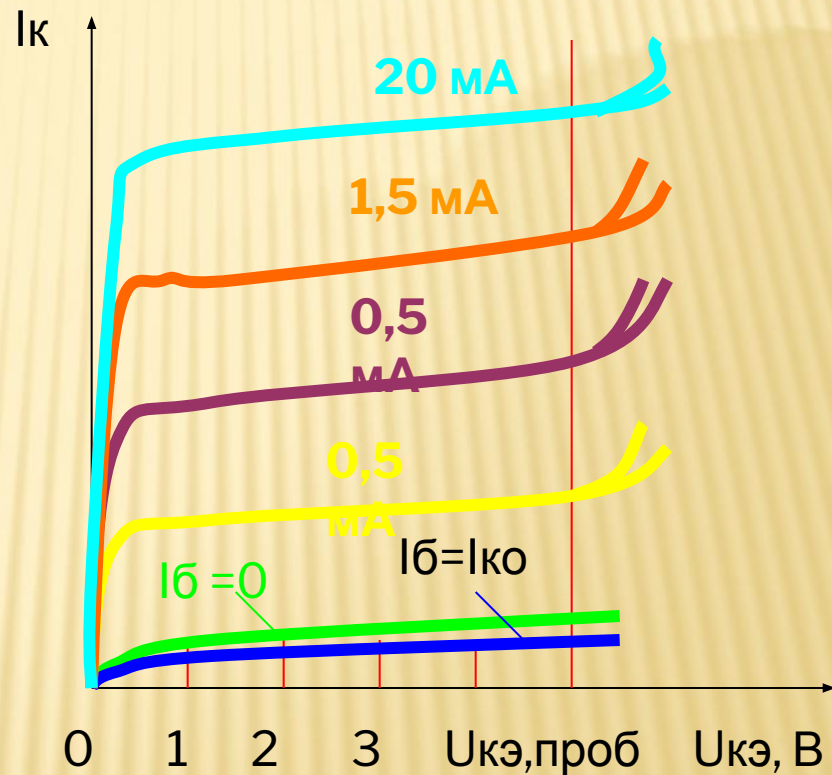
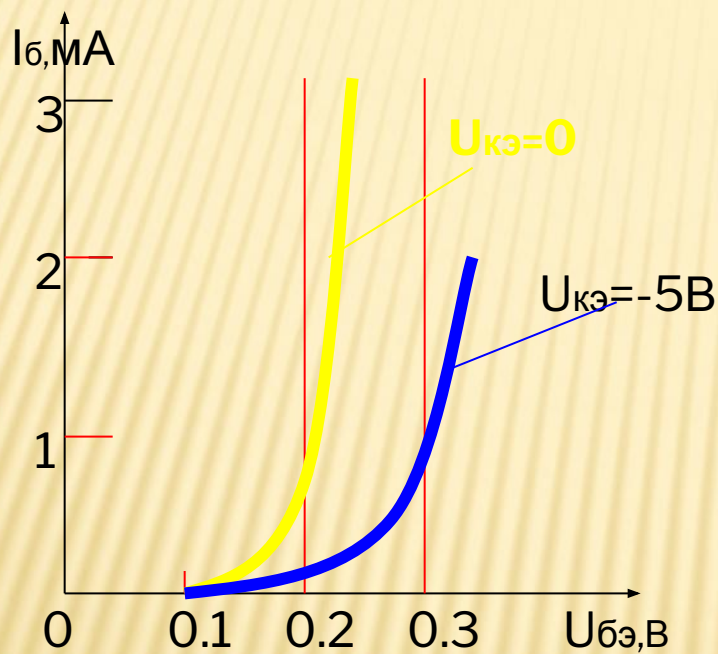
□ Третий параметр биполярного транзистора — **коэффициент усиления по напряжению**. Он равен отношению амплитудных или действующих значений выходного (эмиттер- коллектор) и входного (база-эмиттер) переменных напряжений.

# ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Входные (а) и выходные (б) статические характеристики биполярного Транзистора, включенного по схеме с общей базой.



Выходные (а) и входные (б) статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.



# РЕЖИМЫ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

---

## Нормальный активный режим

Переход эмиттер-база включен в прямом направлении (открыт), а переход коллектор-база — в

обратном (закрыт)  $U_{ЭБ} > 0; U_{КБ} < 0;$

## Инверсный активный режим

Эмиттерный переход имеет обратное включение, а коллекторный переход — прямое.

## Режим насыщения

Оба p-n перехода смещены в прямом направлении (оба открыты).

## Режим отсечки

В данном режиме оба p-n перехода прибора смещены в обратном направлении (оба закрыты).

## Барьерный режим

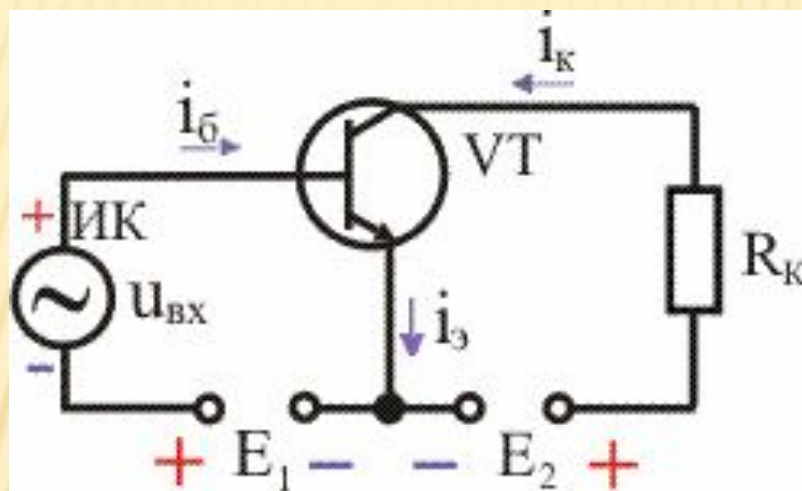
В данном режиме база транзистора по постоянному току соединена накоротко или через небольшой резистор с его **коллектором**, а в **коллекторную** или в **эмиттерную** цепь транзистора

включается резистор, задающий ток через транзистор. В таком включении транзистор представляет из себя диод, включенный последовательно с резистором. Подобные схемы каскадов отличаются малым количеством комплектующих схему элементов, хорошей развязкой

по высокой частоте, большим рабочим диапазоном температур, неразборчивостью к параметрам

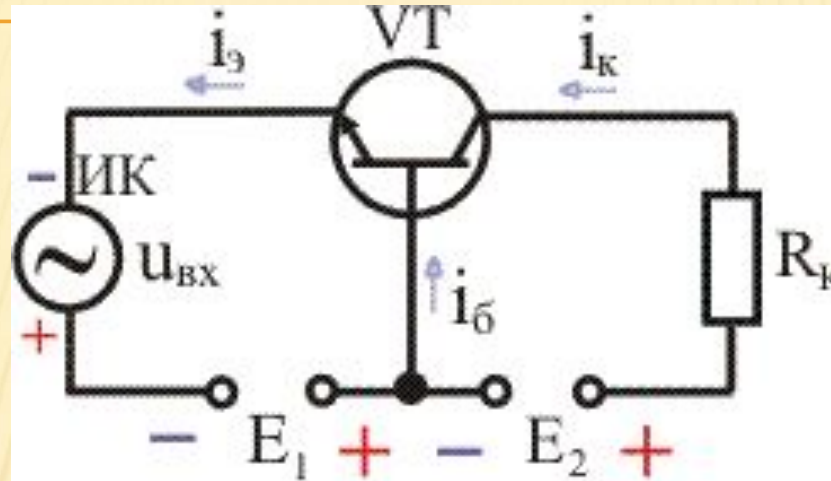
# СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Схема включения с общим эмиттером



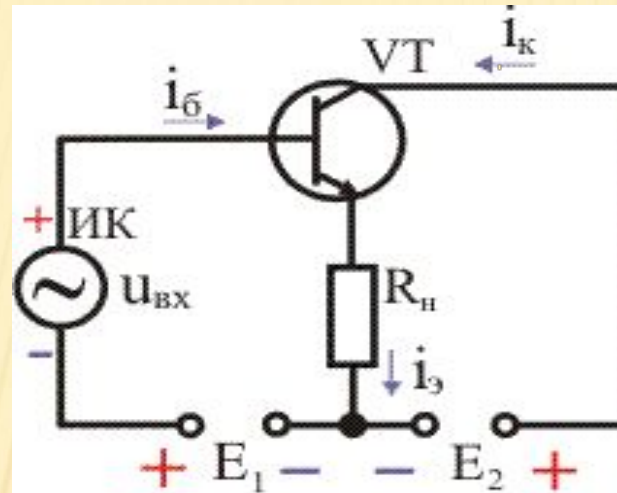
Эта схема дает наибольшее усиление по напряжению и току (а отсюда и по мощности — до десятков тысяч единиц), в связи с чем является наиболее распространенной.

## Схема включения с общей базой



Эта схема не дает значительного усиления сигнала, зато хороша на высоких частотах, поскольку позволяет более полно использовать частотную характеристику транзистора. Если один и тот же транзистор включить сначала по схеме с общим эмиттером, а потом с общей базой, то во втором случае будет наблюдаться значительное увеличение его граничной частоты усиления.

## Схема включения с общим коллектором



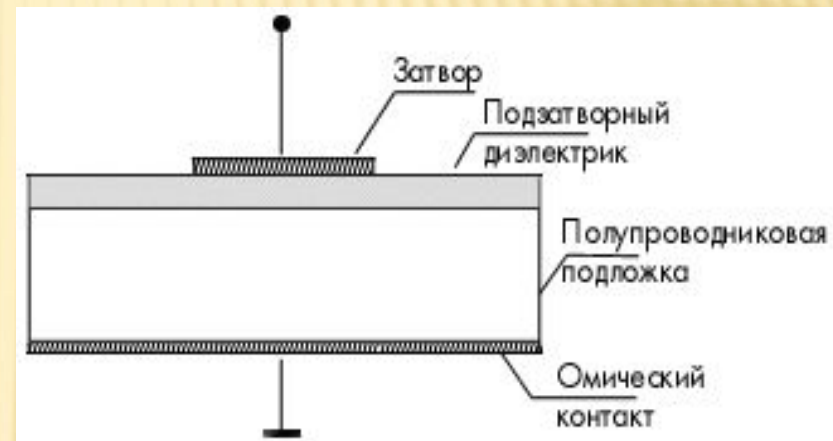
Особенность этой схемы в том, что входное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. очень сильна отрицательная обратная связь.

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

# УСТРОЙСТВО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

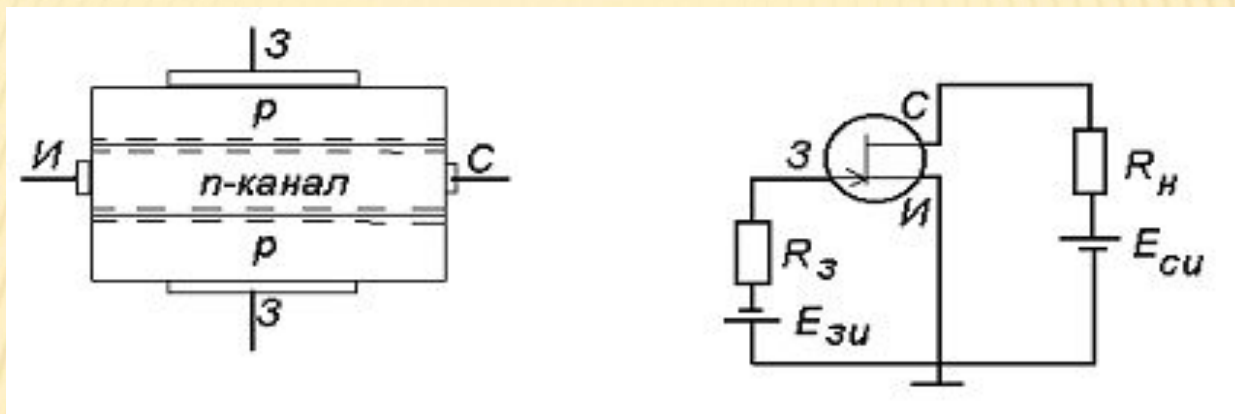
**Полевой транзистор** - это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем. В отличие от биполярных работа полевых транзисторов основана на использовании основных носителей заряда в полупроводнике. В связи с этим их называют *униполярными*.

**Униполярными** называют такие транзисторы, работа которых основана на использовании основных носителей: только дырок или только электронов.





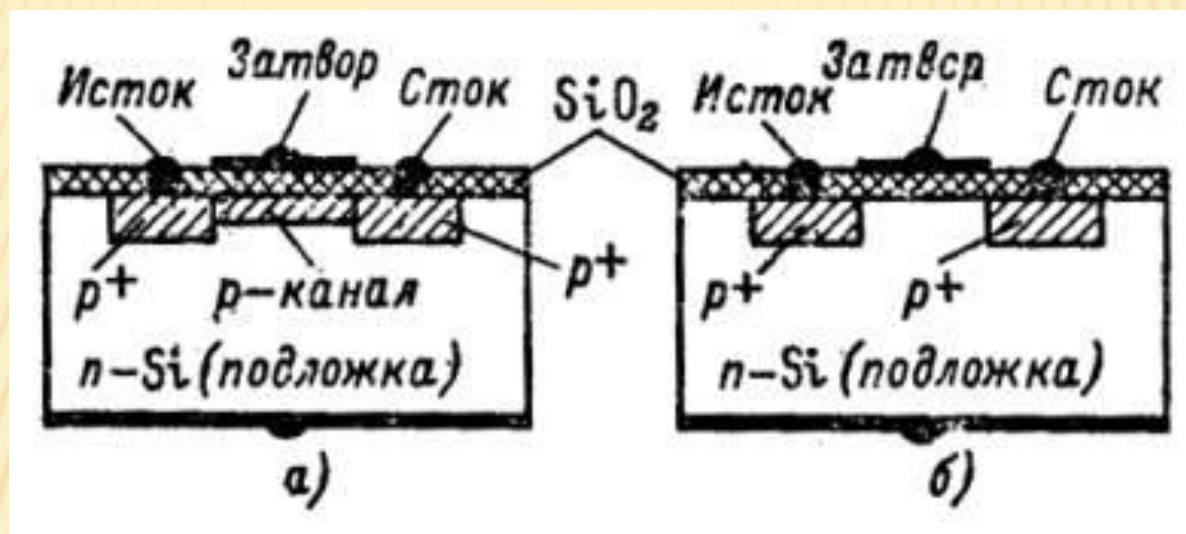
# СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ПТ В ЦЕПЬ



К истоку подсоединяют плюс, к стоку - минус источника напряжения, к затвору - минус источника.

Сопротивление между стоком и истоком очень велико, так как стоковый р-п-переход оказывается под обратным смещением. Подача на затвор отрицательного смещения сначала приводит к образованию под затвором обедненной области, а при некотором напряжении называемом пороговым, - к образованию инверсионной области, соединяющей р-области истока и стока проводящим каналом. При напряжениях на затворе выше канал становится шире, а сопротивление сток-исток - меньше. Рассматриваемая структура является, таким образом, управляемым резистором.

# КОНСТРУКЦИЯ МДП-ТРАНЗИСТОРА

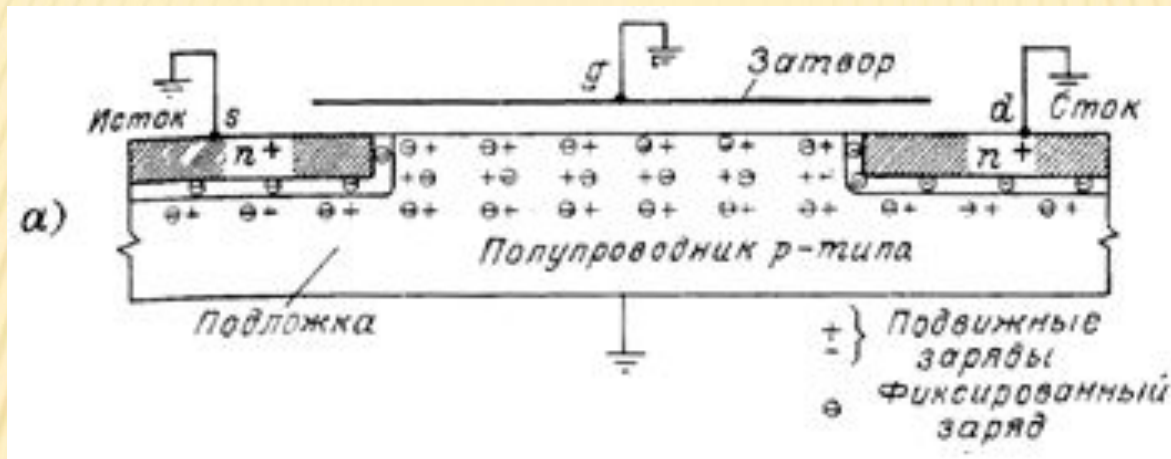


Две основные структуры МДП транзисторов показаны на рисунке. Первая из них (рис.а) характерна наличием специально осуществленного (собственного или встроенного) канала, проводимость которого модулируется смещением на затворе. В случае канала р-типа положительный потенциал  $U_s$  отталкивает дырки из канала (режим обеднения), а отрицательный - притягивает их (режим обогащения). Соответственно проводимость канала либо уменьшается, либо увеличивается по сравнению с ее значением при нулевом смещении.

---

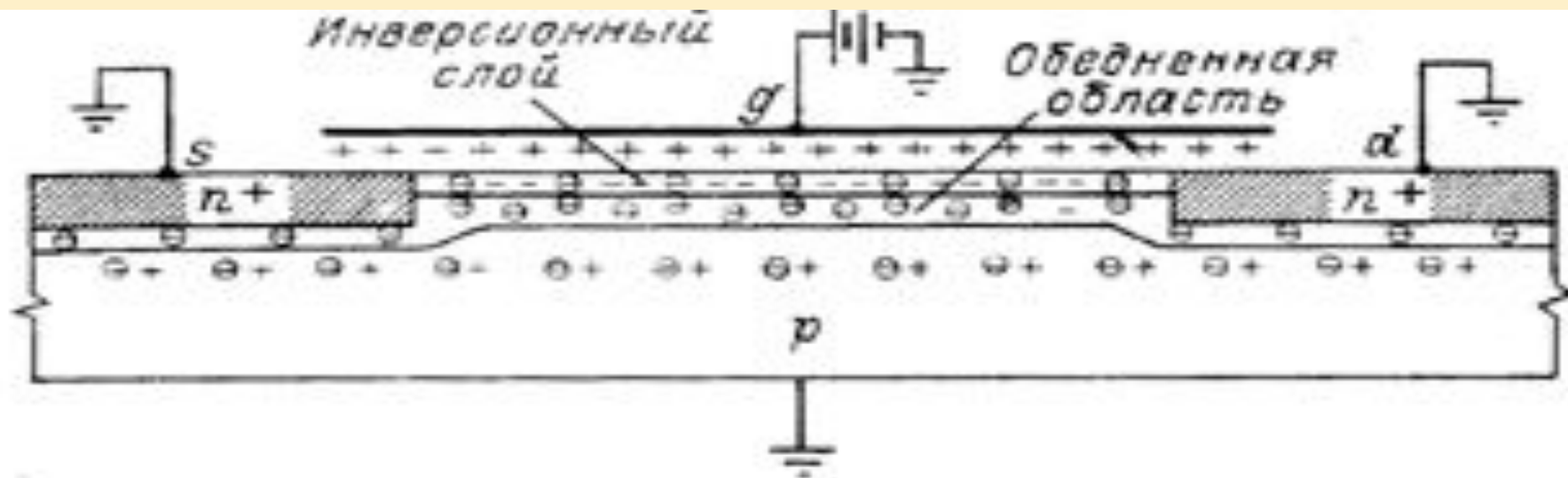
**Вторая структура (рис. б) характерна отсутствием структурно выраженного канала. Поэтому при нулевом смещении на затворе проводимость между истоком и стоком практически отсутствует: исток и сток образуют с подложкой встречновключенные р-п переходы. Тем более не может быть существенной проводимости между истоком и стоком при положительной полярности смещения, когда к поверхности полупроводника притягиваются дополнительные электроны. Однако при достаточно большом отрицательном смещении, когда приповерхностный слой сильно обогащается притянутыми дырками, между истоком и стоком образуется индуцированный (наведенный полем) канал, по которому может протекать ток. Значит, транзисторы с индуцированным каналом работают только в режиме обогащения. В настоящее время этот тип транзисторов имеет наибольшее распространение.**

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МДП ТРАНЗИСТОРОВ (РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ ПРИ НУЛЕВЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ НА ЭЛЕКТРОДАХ).

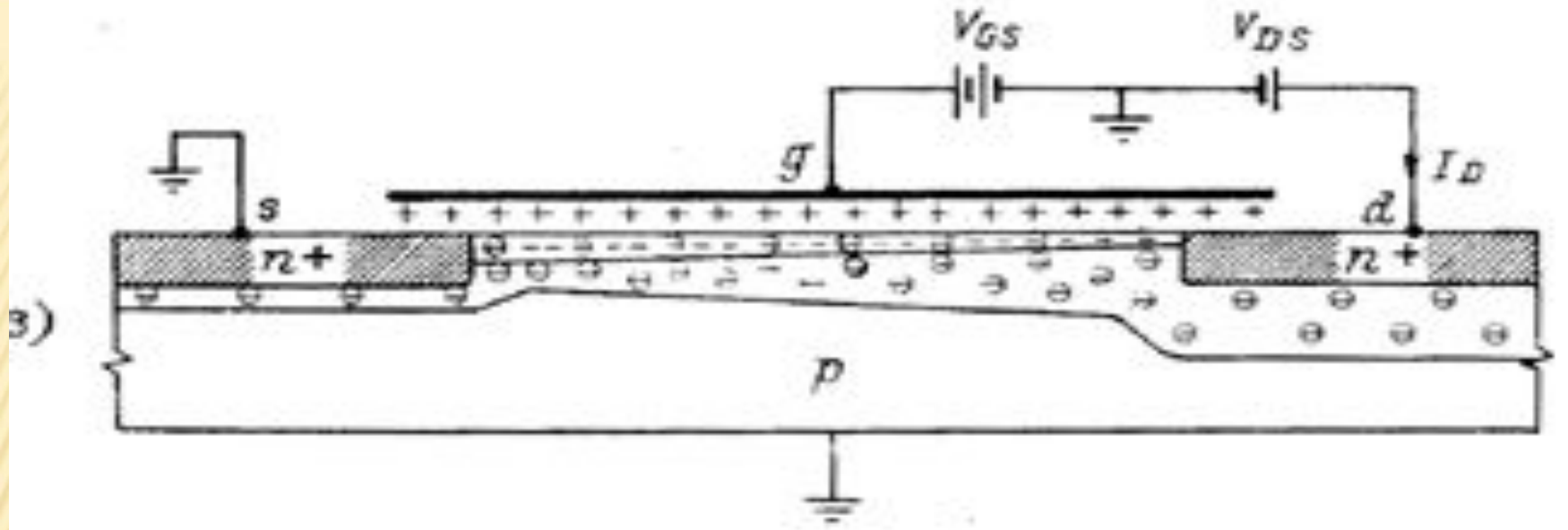


Принцип работы МОП-транзистора инверсионного типа проиллюстрирован на рисунке. Для простоты полагается, что затвор отделен от полупроводника идеальным изолятором, а влияние поверхностных ловушек не учитывается. Распределение зарядов при нулевых напряжениях на электродах показано на рисунке а. Вблизи  $n$ -областей, созданных диффузией для образования истока и стока, имеются области пространственного заряда, возникшие за счет внутренней разности потенциалов на  $p$ - $p$ -переходах. Поскольку в  $p$ -области электроны практически отсутствуют, сопротивление исток-сток весьма велико и

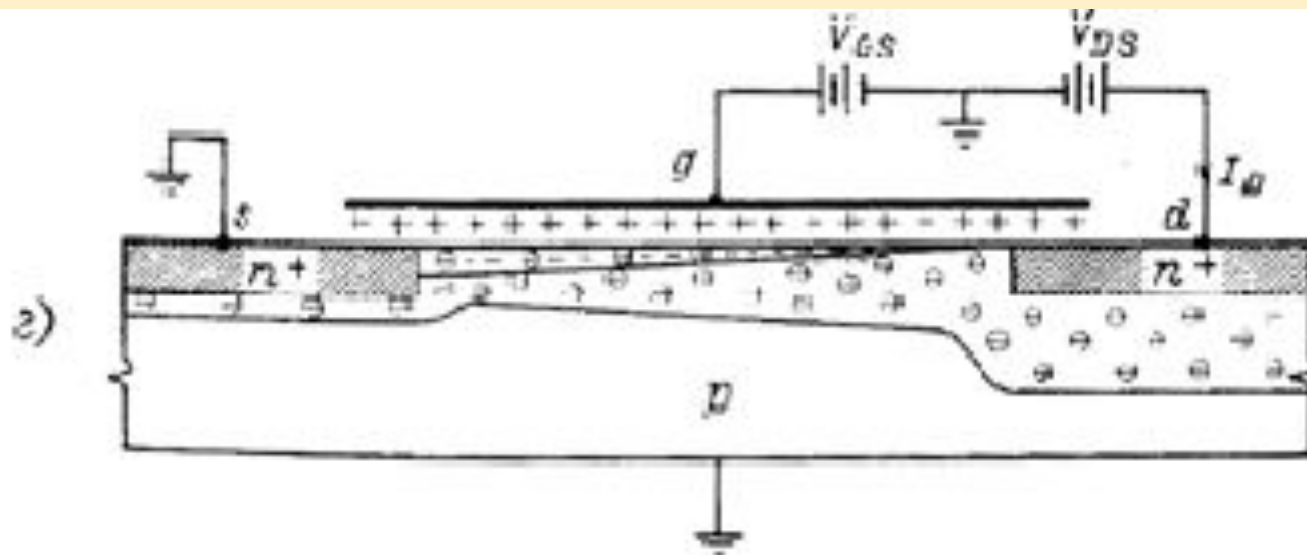
б)



Если к затвору приложено положительное напряжение (рис б), вблизи поверхности происходит инверсия типа проводимости, так что в этой области концентрация электронов становится достаточно высокой и сопротивление сток-исток резко уменьшается.



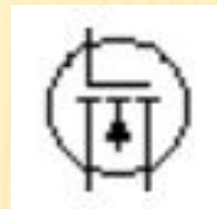
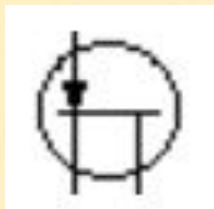
При подаче положительного напряжения на сток (рис. в) электроны начинают двигаться от истока к стоку по инверсионному слою. За счет падения напряжения вдоль канала нормальная составляющая поля затвора и соответственно концентрация электронов уменьшаются в направлении от истока к стоку. Толщина же обедненной области под инверсионным слоем в этом направлении увеличивается вследствие возрастания разности потенциалов между подложкой и каналом.



Когда напряжение на стоке превысит определенную величину (рис.г), происходит перекрытие канала вблизи стока, и ток через прибор выходит на насыщение так же, как и в транзисторе с управляющим р-п переходом.

# УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Со встроенным  
каналом n-типа



С изолированным  
затвором  
обогащенного типа с  
n- каналом  
(индуцированным)

Со встроенным  
каналом n-типа



С изолированным  
затвором  
обедненного типа  
с p- каналом  
(встроенным)

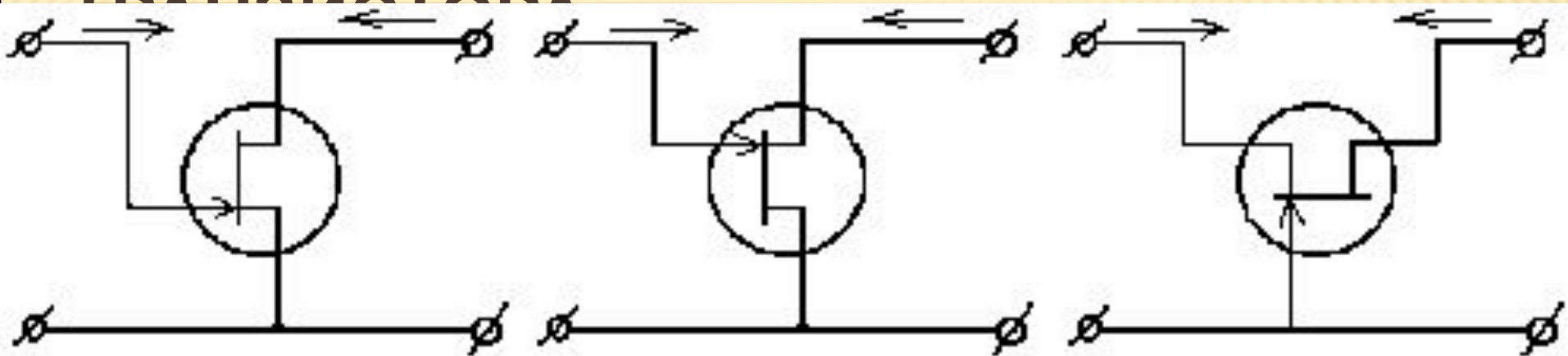
С изолированным  
затвором обогащенного  
типа с p- каналом  
(индуцированным)



С изолированным  
затвором  
обедненного типа  
с n-каналом  
(встроенным)



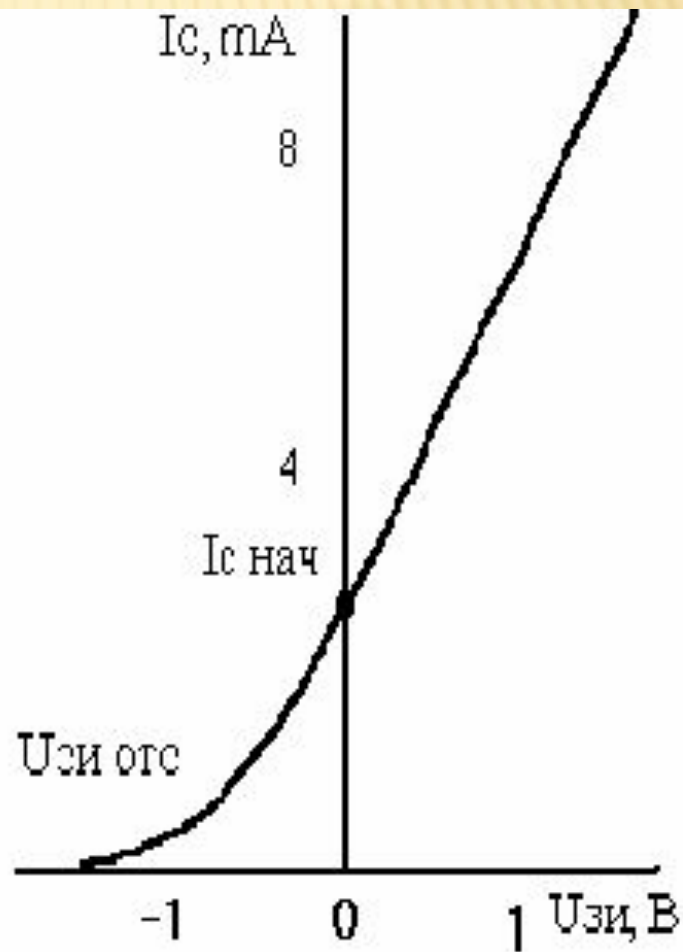
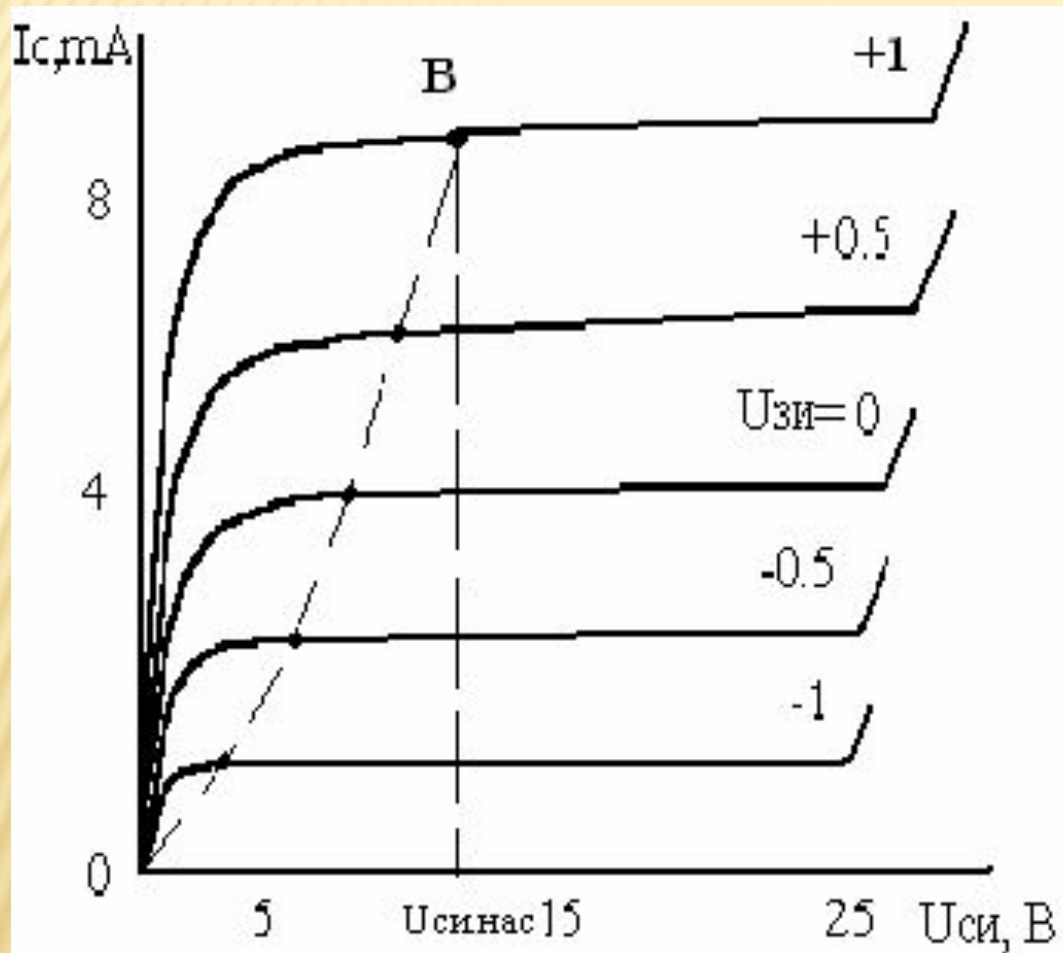
# СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА



Полевой транзистор в качестве элемента схемы представляет собой **активный несимметричный четырехполюсник**, у которого один из зажимов является общим для цепей входа и выхода. В зависимости от того, какой из электродов полевого транзистора подключен к общему выводу, различают схемы: **с общим истоком и входом на затвор**; **с общим стоком и входом на затвор**; **с общим затвором и входом на исток**. Схемы включения полевого транзистора показаны на рис. 6.

По аналогии с ламповой электроникой, где за типовую принята схема с общим катодом, для полевых транзисторов типовой является схема с общим истоком.

# ВОЛНТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВ-ВСТРОЕНЫМ КАНАЛОМ N-ТИПА: А - СТОКОВЫЕ; Б - СТОКО-ЗАТВОРНЫЕ.



# УСИЛИТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

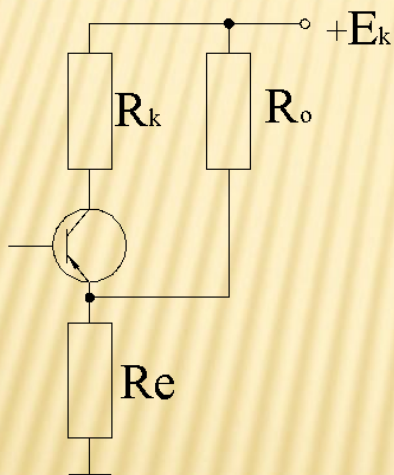
- Усилителями постоянного тока (УПТ) называются устройства, предназначенные для усиления медленно изменяющихся сигналов вплоть до нулевой частоты.



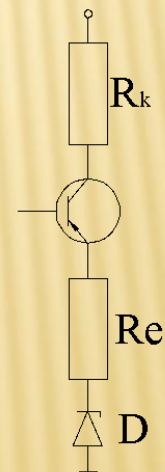
# ОДНОТАКТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

потенциал эмиттера устанавливается за счет

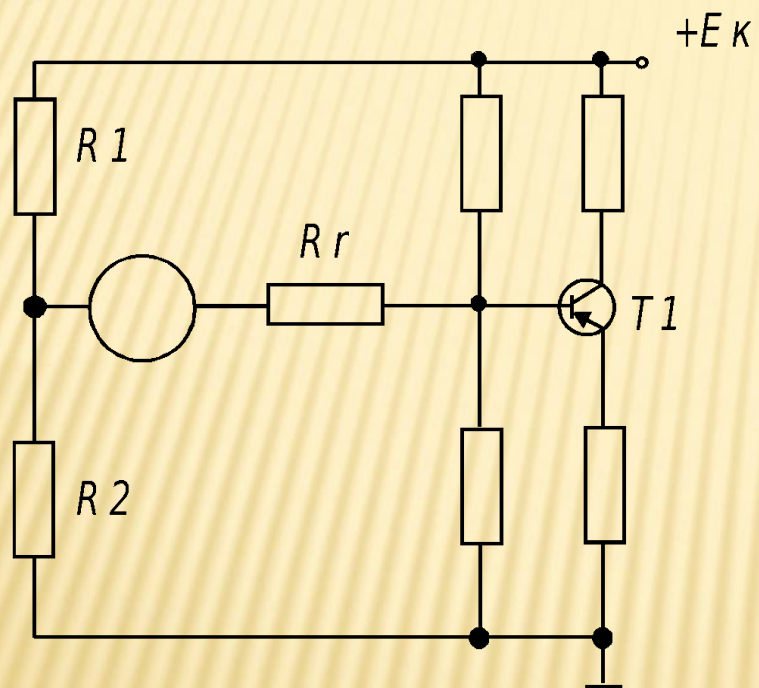
балластного сопротивления  $R_o$



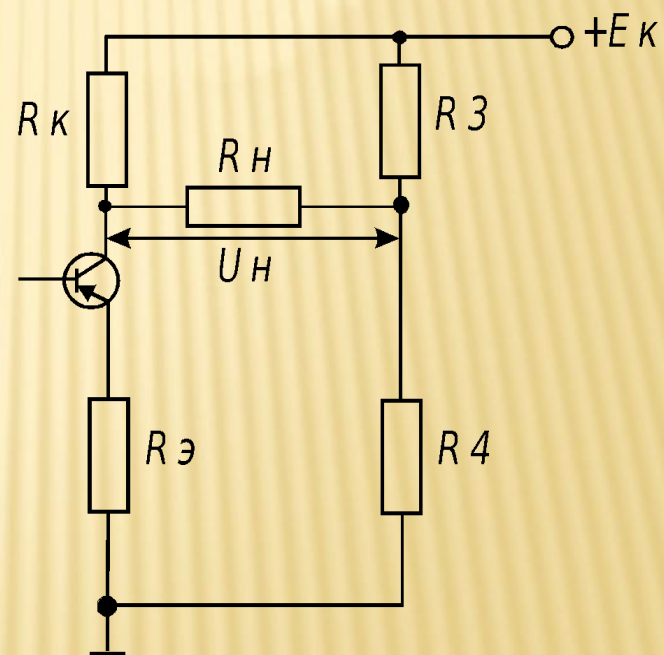
применения опорного диода  $D$



входной каскад УПТ

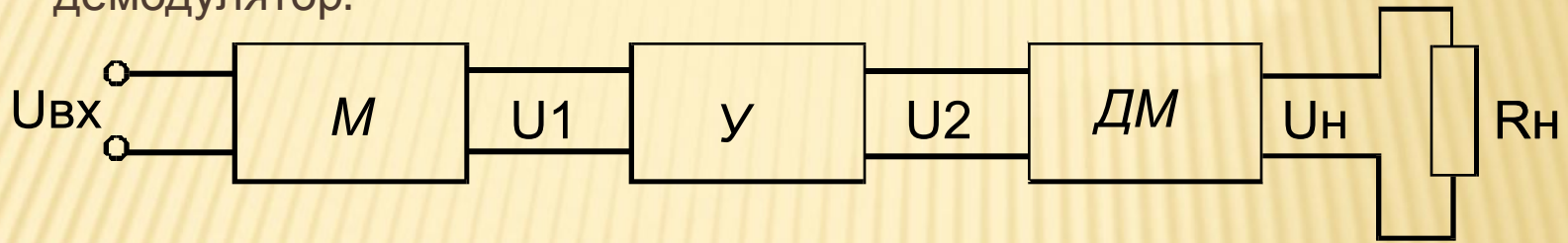


выходной каскад УПТ



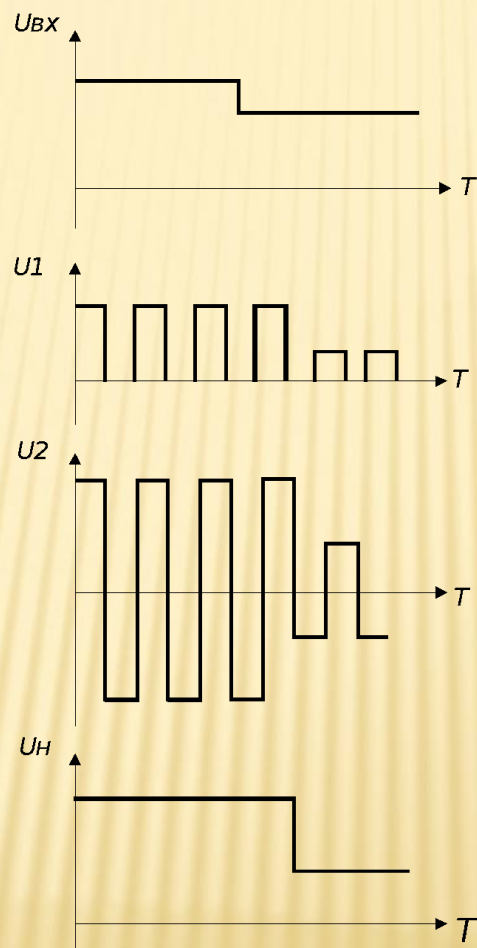
# УСИЛИТЕЛИ С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

- ▣  $M$ —модулятор.  $U$ —усилитель переменного тока,  $DM$ —демодулятор.



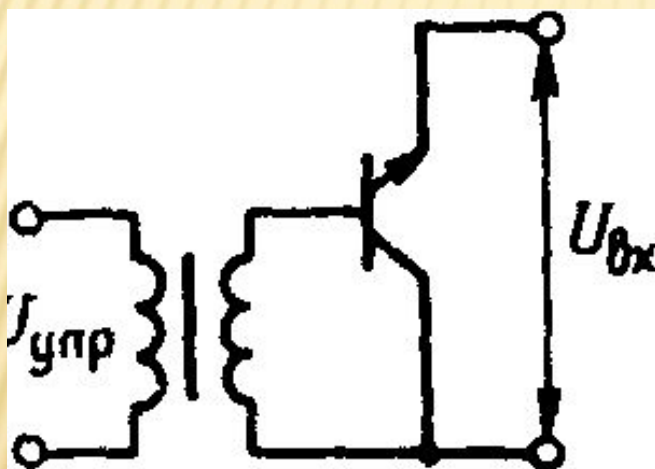
# временные диаграммы напряжений в основных точках схемы

---

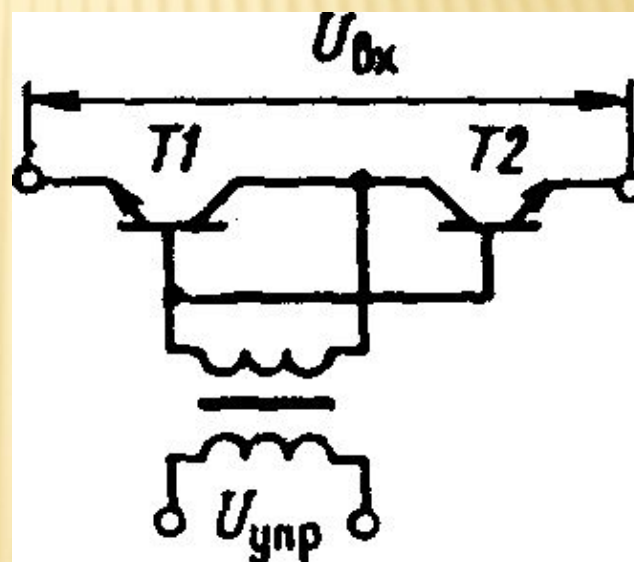


# МОДУЛЯТОРЫ

простейший транзисторный  
модулятор

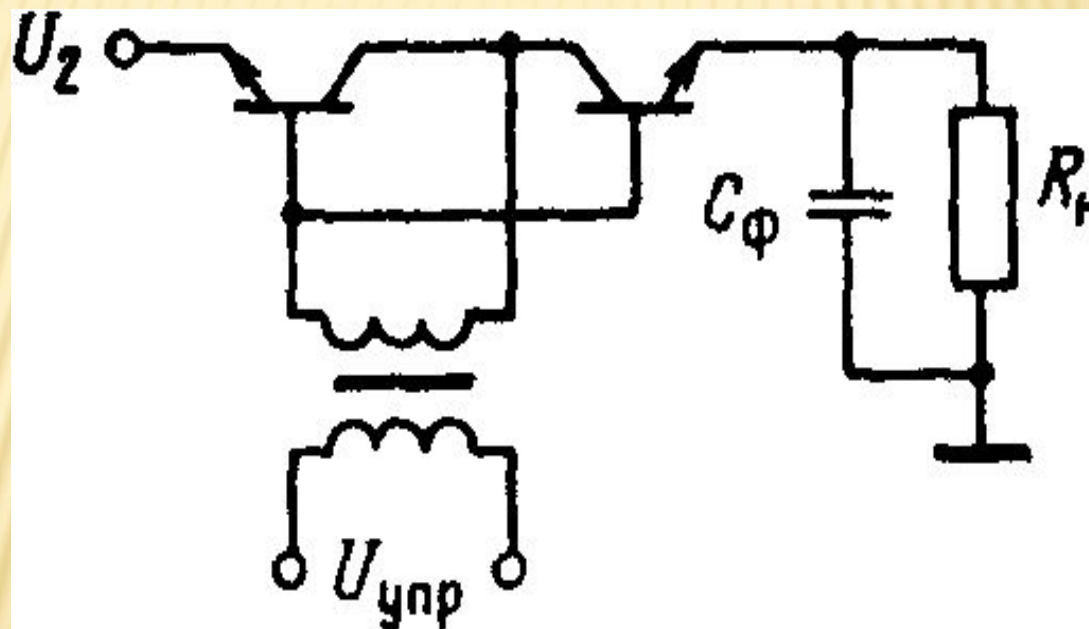


компенсированный модулятор



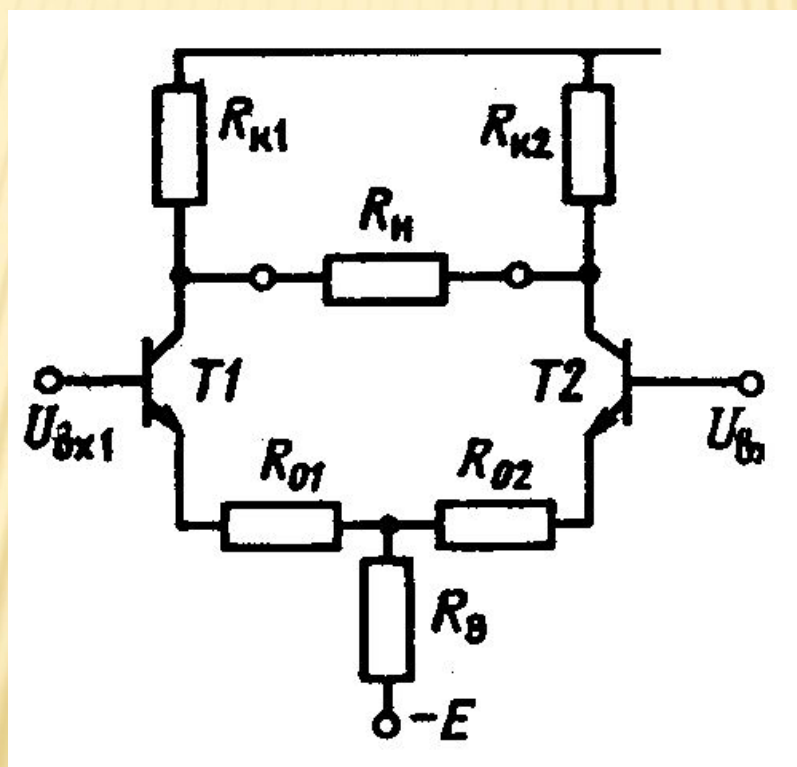


один из вариантов демодулятора — фазочувствительный выпрямитель



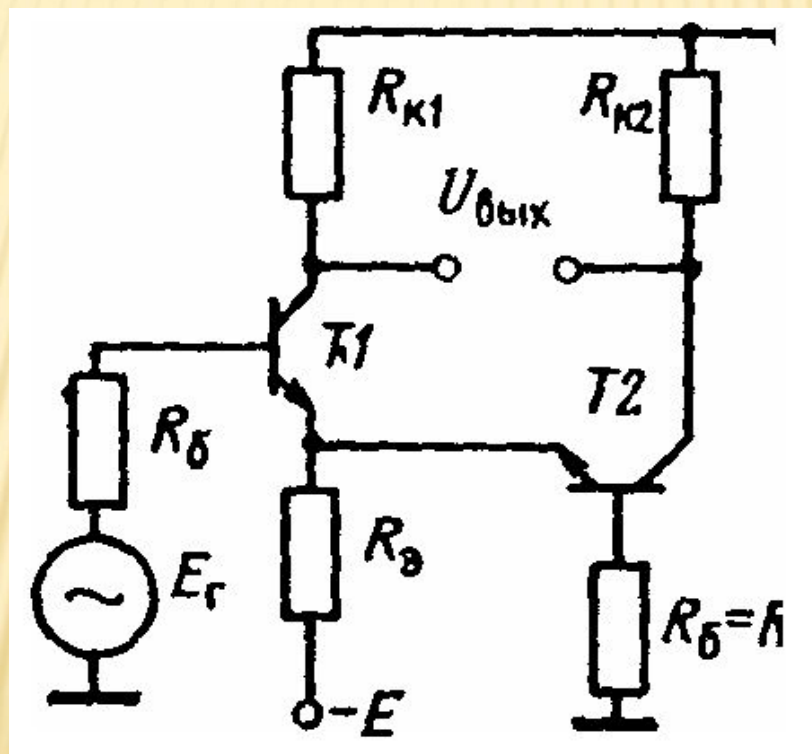
# ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

принципиальная схема простейшего варианта дифференциального усилителя



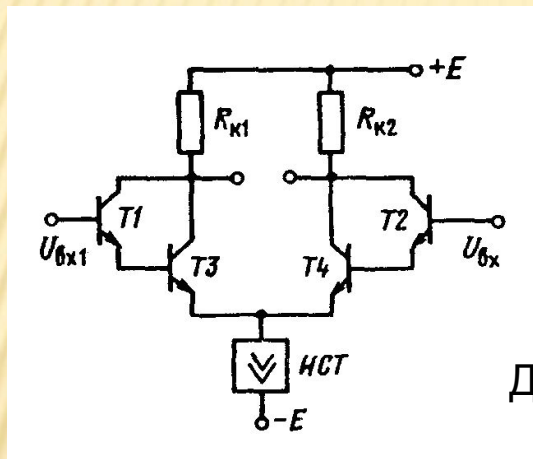
# СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

принципиальная схема включения ДУ с несимметричным входом и симметричным выходом

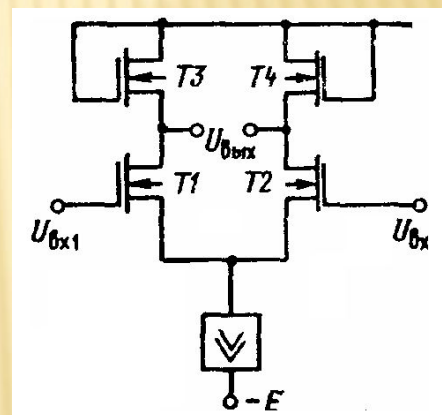


# РАЗНОВИДНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

ДУ на составных транзисторах



ДУ на МДП-транзисторах



ДУ с динамической нагрузкой

