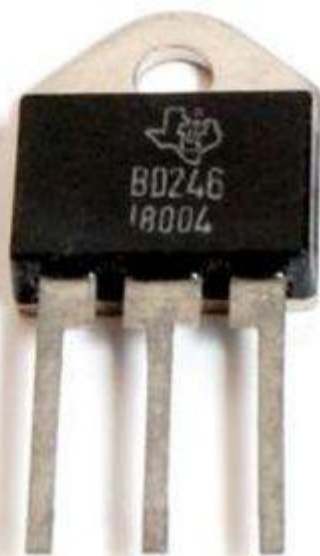




# ТРАНЗИСТОРЫ



**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

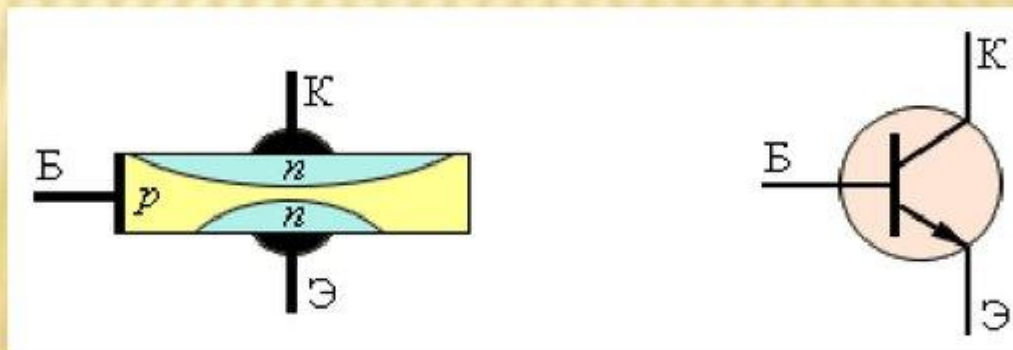
- × Германиевые
- × Кремниевые
- × Арсенид-галлиевые

## По мощности

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

# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

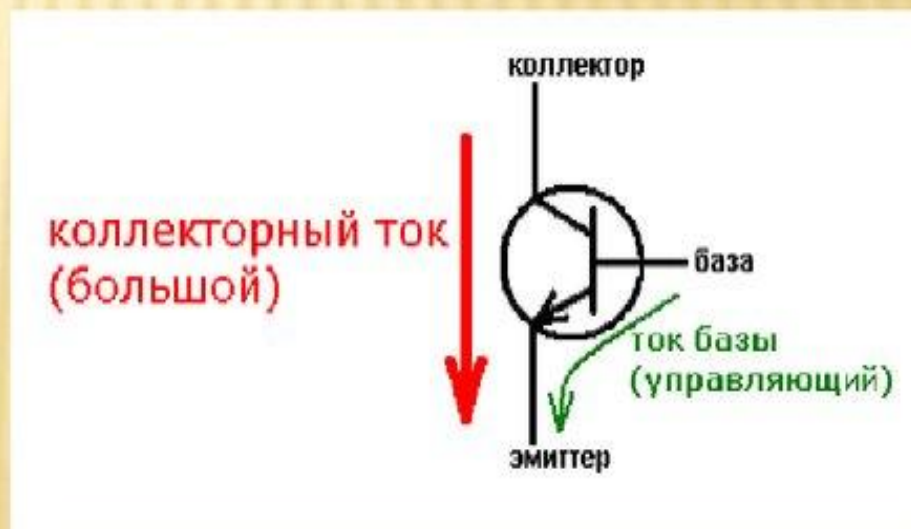
Биполярный транзистор состоит из трех областей: эмиттера, базы и коллектора, на каждую из которых подается напряжение. В зависимости от типа проводимости этих областей, выделяют n-p-n и p-n-p транзисторы. Обычно область коллектора шире, чем эмиттера. Базу изготавливают из слаболегированного полупроводника (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  $n-p-n$  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.

# 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

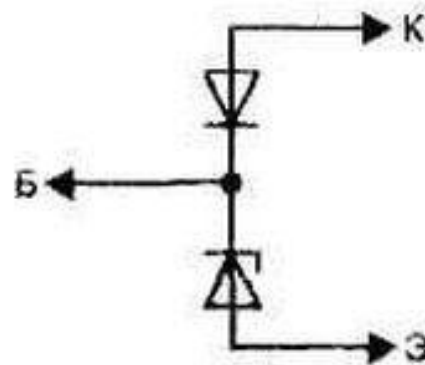
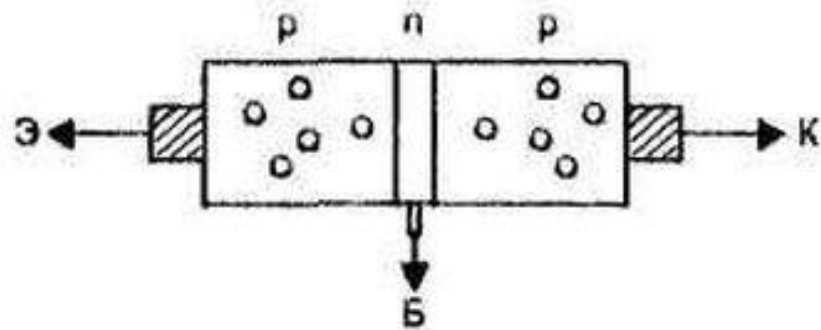
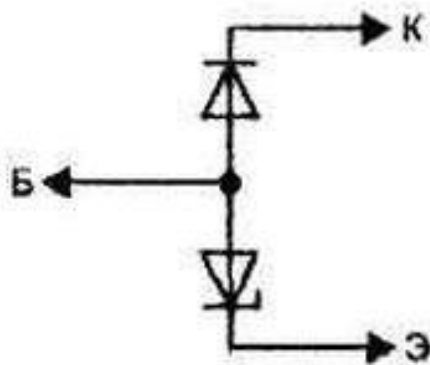
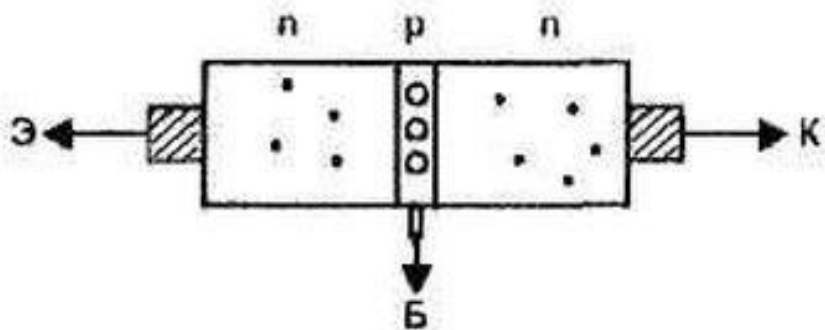
В данном режиме оба p-n перехода прибора смещены в обратном направлении (оба закрыты).

## Барьерный режим

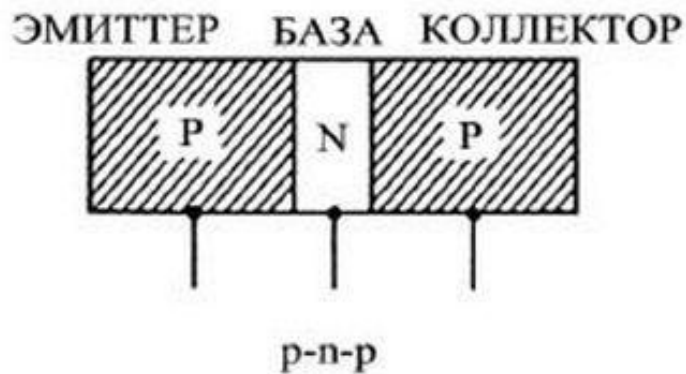
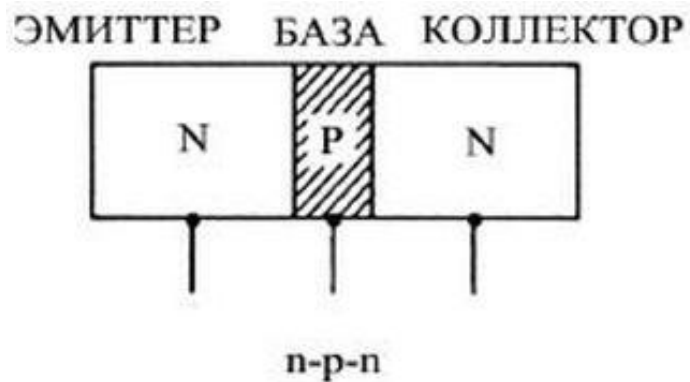
В данном режиме база транзистора по постоянному току соединена накоротко или через небольшой резистор с его **коллектором**, а в **коллекторную** или в **эмиттерную** цепь транзистора включается резистор, задающий ток через транзистор. В таком включении транзистор представляет из себя диод, включенный последовательно с резистором. Подобные схемы каскадов отличаются малым количеством комплектующих схему элементов, хорошей развязкой по высокой частоте, большим рабочим диапазоном температур, неразборчивостью к параметрам транзисторов.

Структура биполярных транзисторов Транзисторы по своей структуре делятся на два типа, n-p-n и p-n-p., диод представляет собой полупроводниковый прибор с p-n переходом способным пропускать ток в прямом включении и не пропускающий в обратном. Транзистор же представляет собой, условно говоря, два диода соединенных либо катодами, либо анодами, что мы и можем видеть на рисунке ниже.

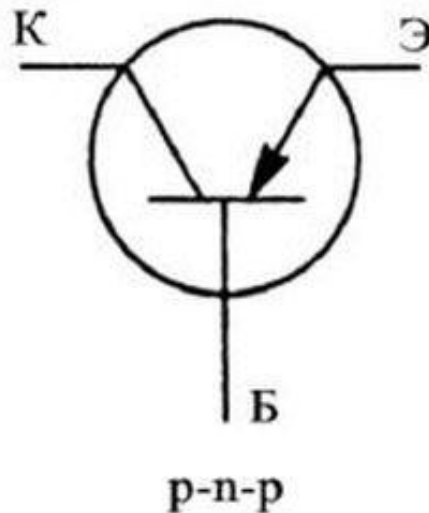
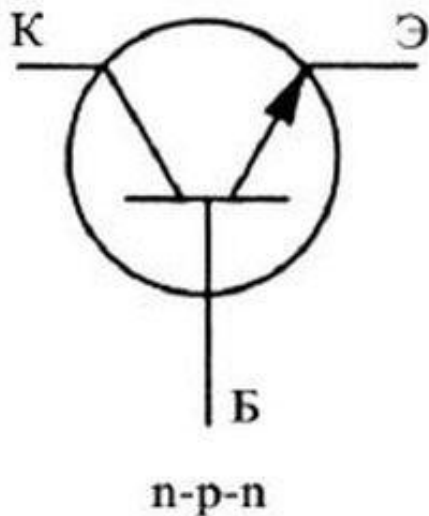
### Транзистор как два диода



схематическое изображение биполярного транзистора:

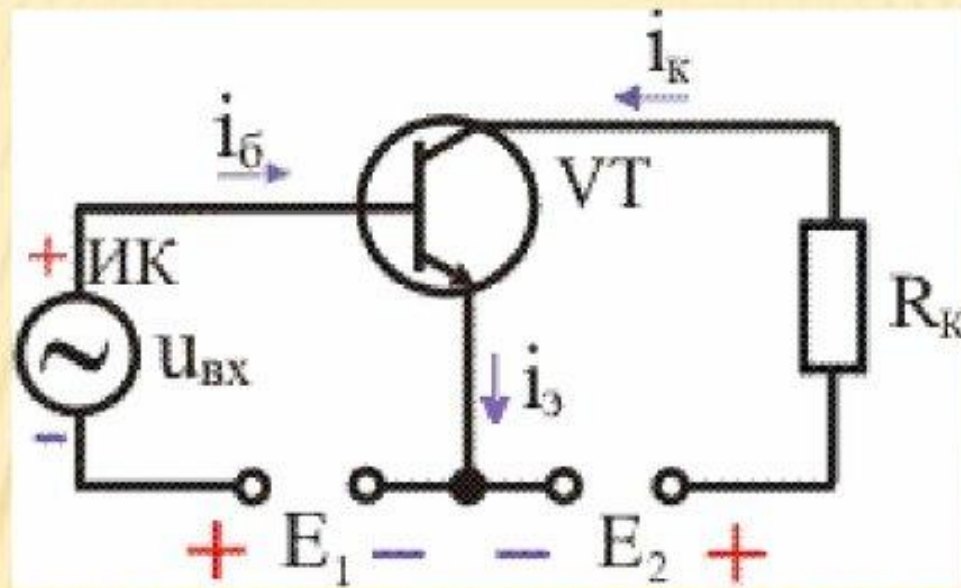


**Рис. 2–31. Структура биполярных n-p-n и p-n-p транзисторов**



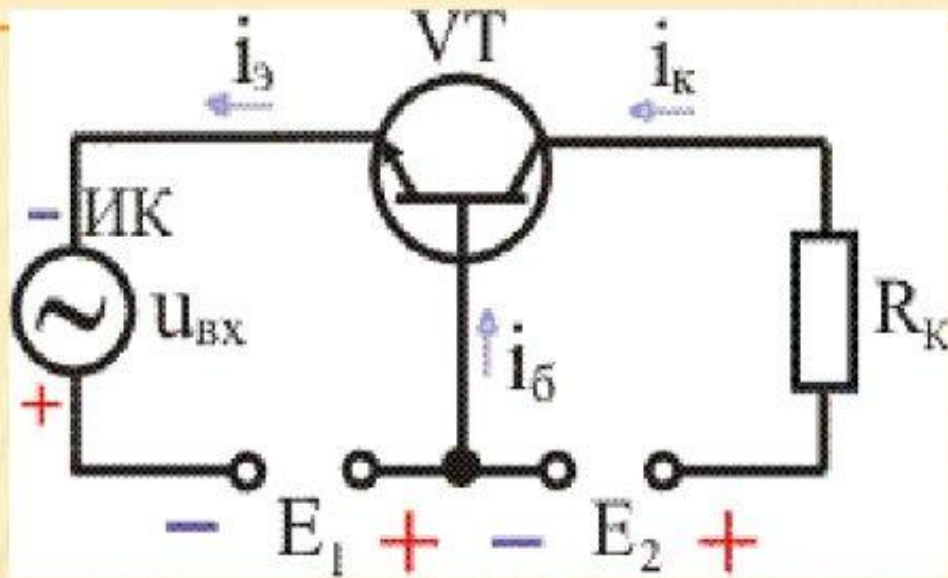
# СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Схема включения с общим эмиттером



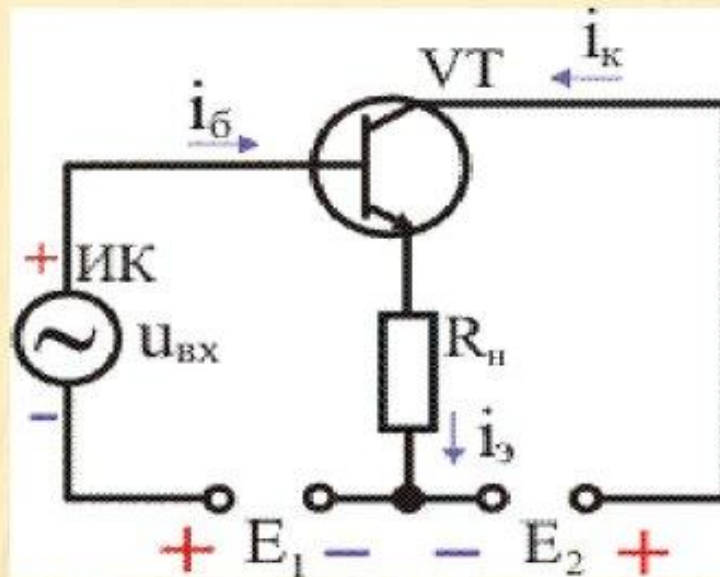
Эта схема дает наибольшее усиление по напряжению и току (а отсюда и по мощности — до десятков тысяч единиц), в связи с чем является наиболее распространенной.

## 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



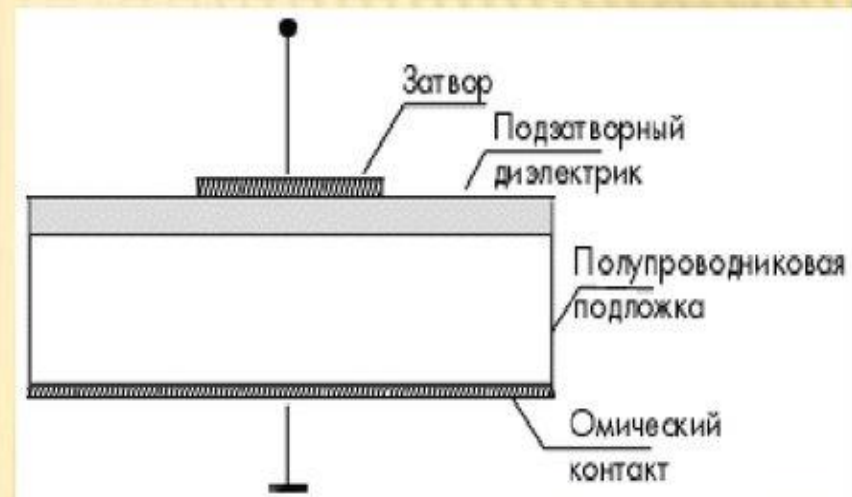
Особенность этой схемы в том, что входное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. очень сильна отрицательная обратная связь.

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.

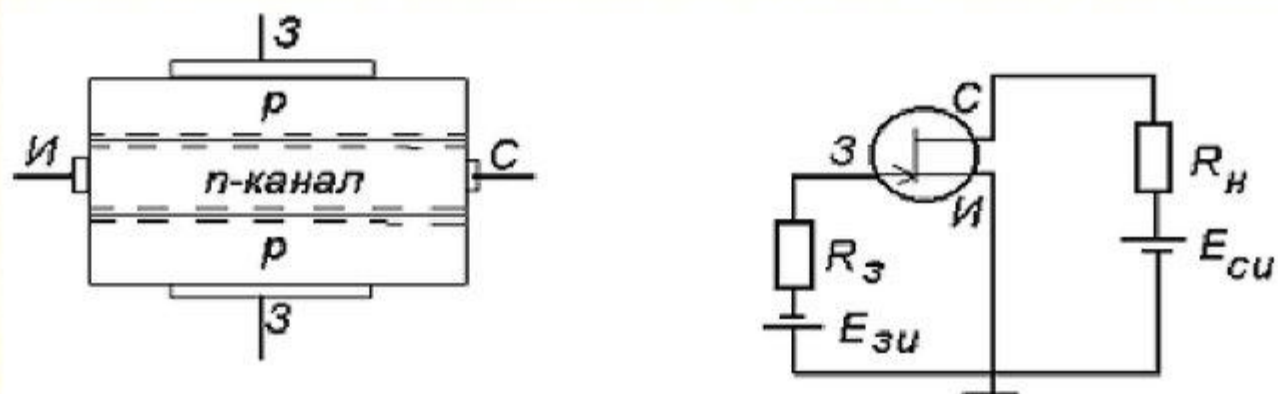


# УСТРОЙСТВО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

*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 p-p-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 p-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.

# УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Со встроенным каналом n-типа



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

Со встроенным каналом p-типа



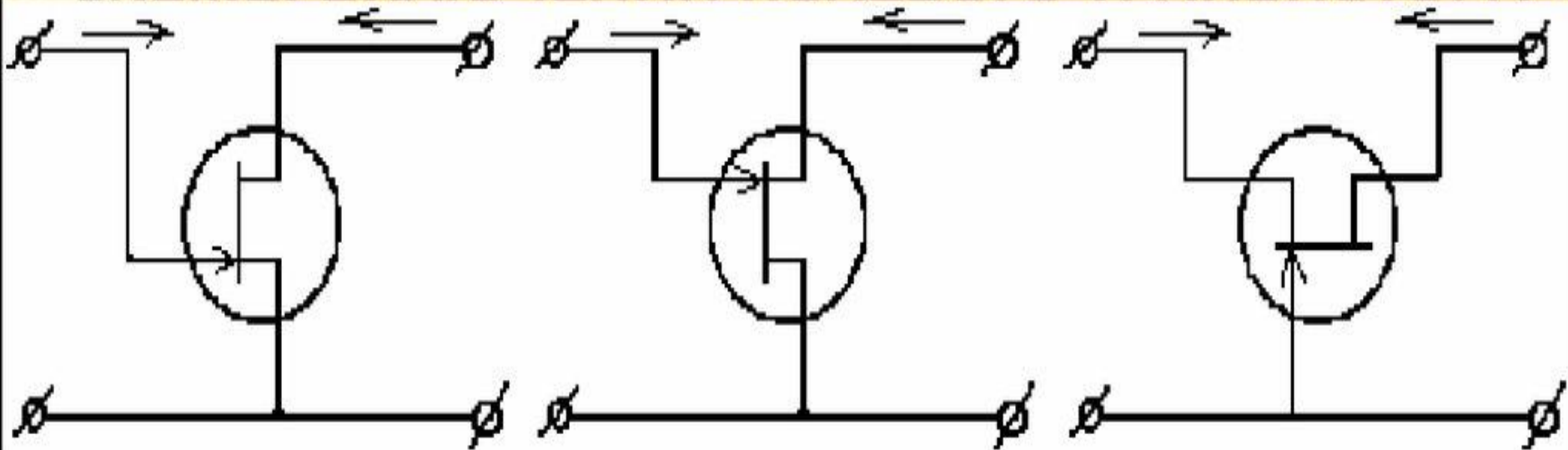
С изолированным затвором обедненного типа с p-каналом (встроенным)

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.

# УСИЛИТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

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

УПТ

Однотактные  
прямого усиления

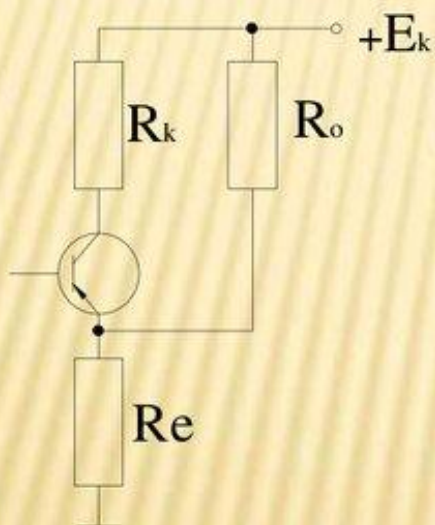
Усилители с  
преобразованием

Дифференциальные  
усилители

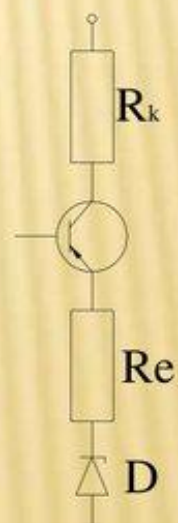
# ОДНОТАКТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

потенциал эмиттера устанавливается за счет

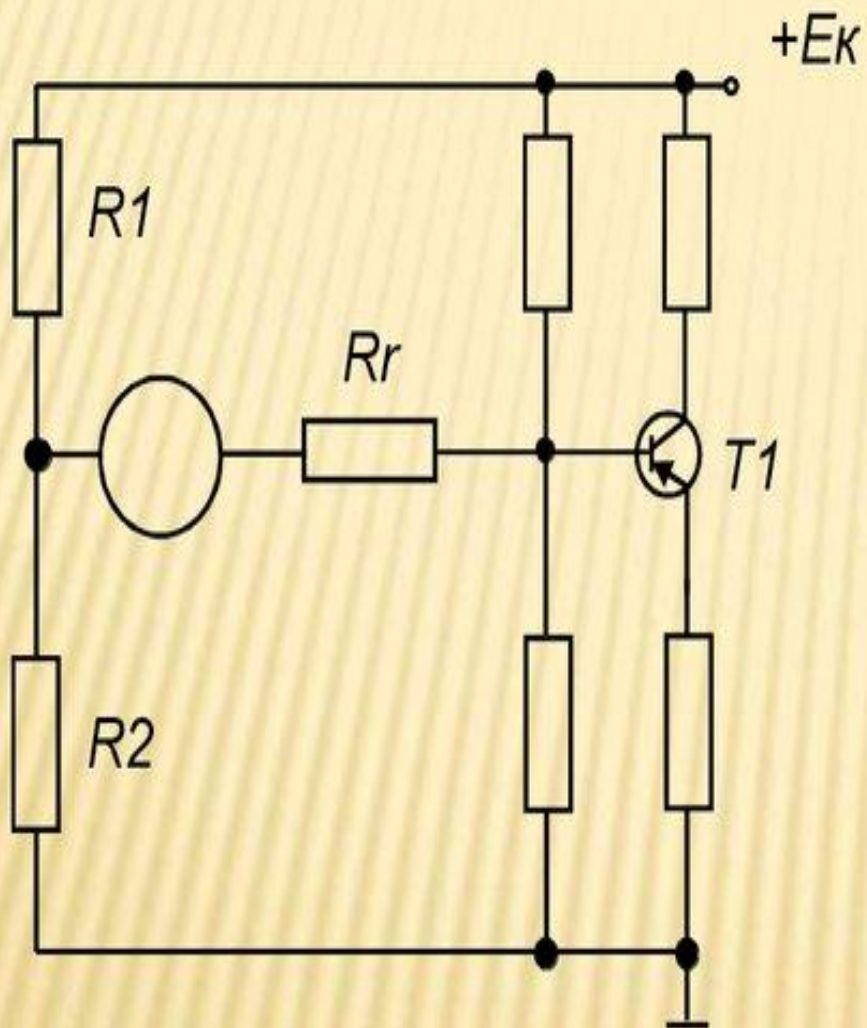
балластного сопротивления  $R_o$



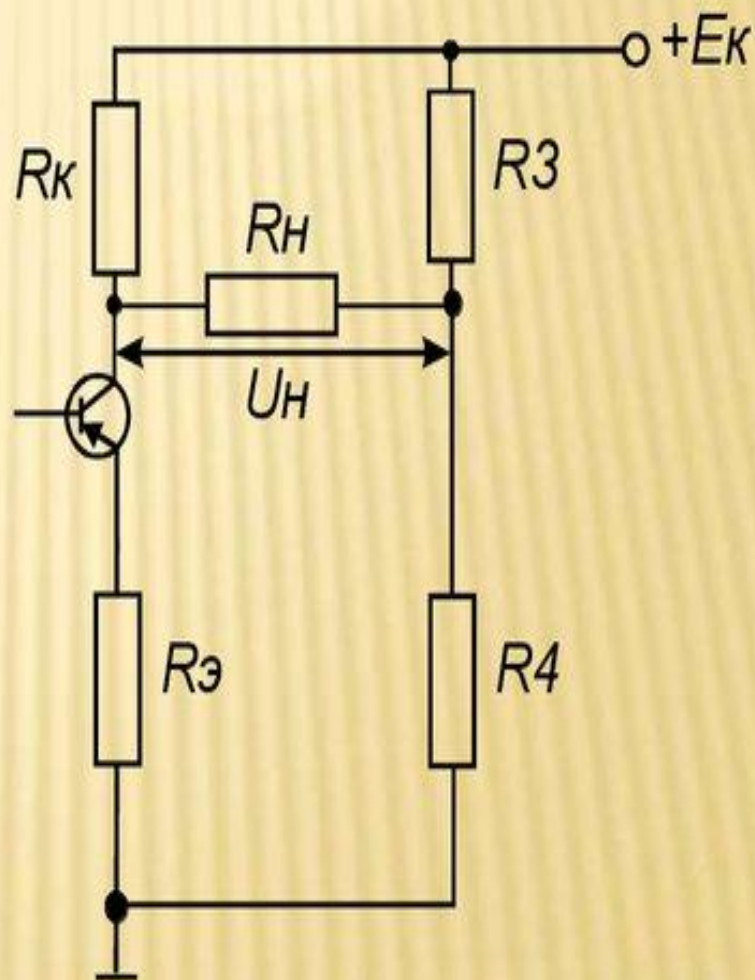
применения опорного диода  $D$



входной каскад УПТ

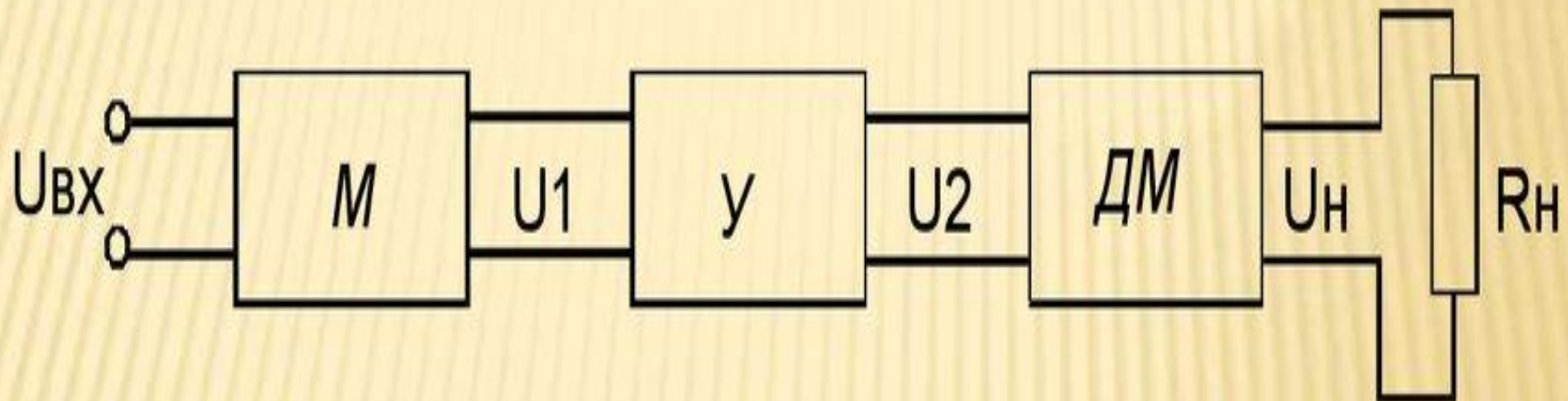


выходной каскад УПТ



# УСИЛИТЕЛИ С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

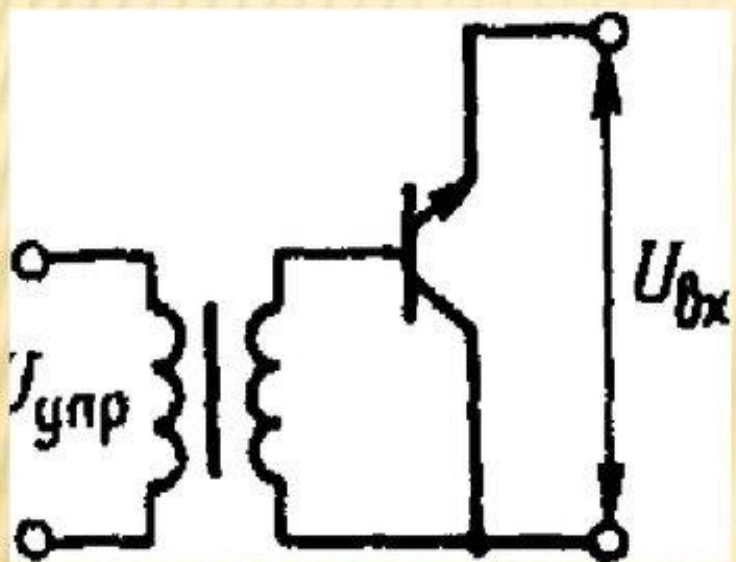
- ✗ М—модулятор. У—усилитель переменного тока, ДМ—демодулятор.



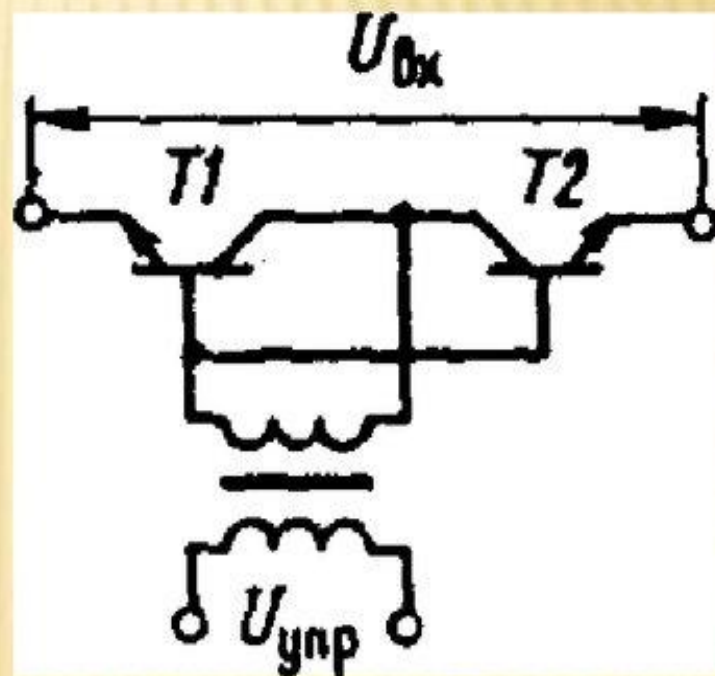


# МОДУЛЯТОРЫ

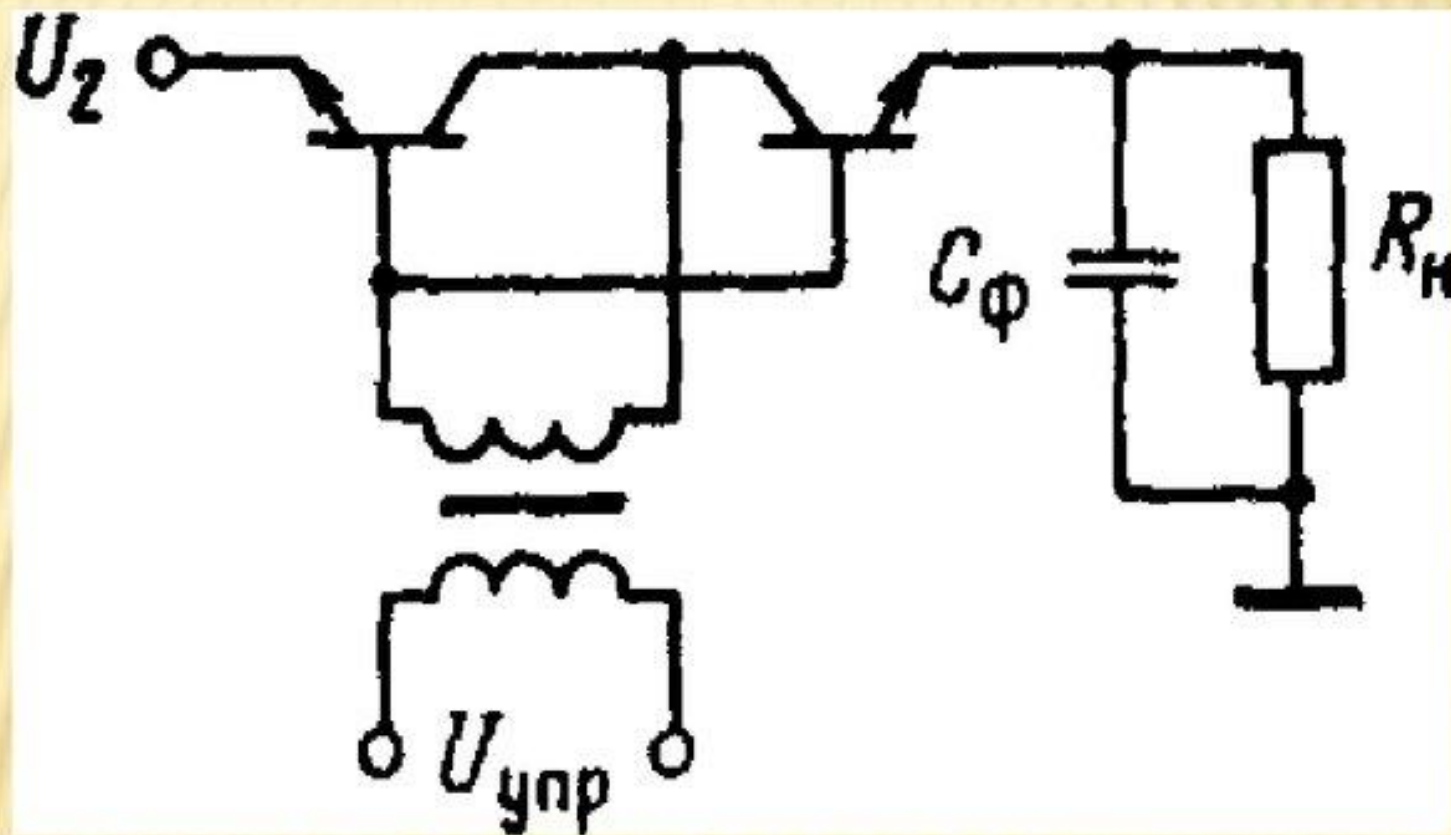
простейший транзисторный  
модулятор



компенсированный модулятор

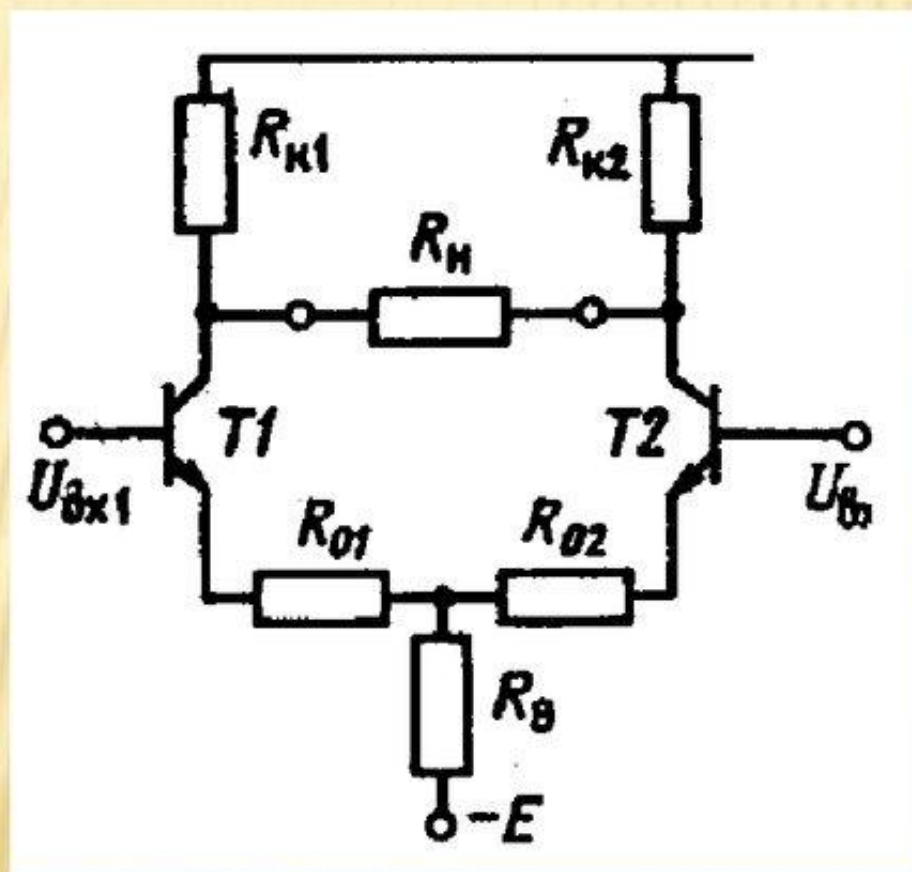


один из вариантов демодулятора — фазочувствительный выпрямитель



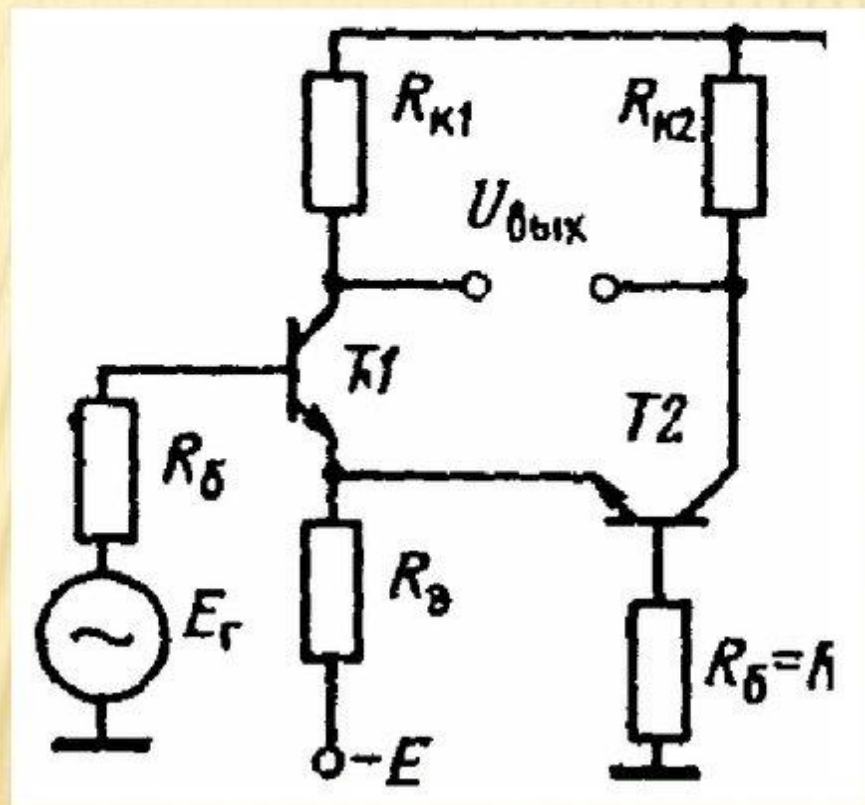
# ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

принципиальная схема простейшего варианта дифференциального усилителя



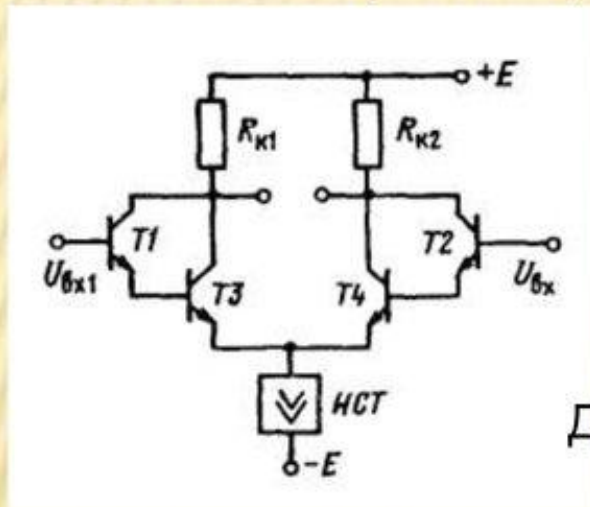
# СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

принципиальная схема включения ДУ с несимметричным входом и симметричным выходом

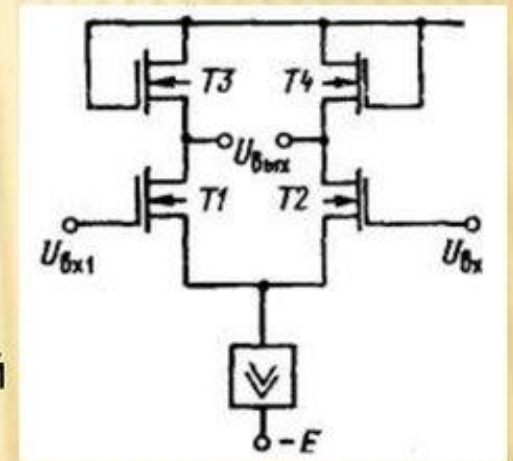


# РАЗНОВИДНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

ДУ на составных транзисторах



ДУ на МДП-транзисторах



ДУ с динамической нагрузкой

