

Полевые

транзисторы



Ю.Э. Лилиенфельд

Идея полевого транзистора
была предложена Юлием
Эдгаром Лилиенфельдом
(1882-1963) в 1926—1928
годах.

**Первый
работающий
прибор этого типа
- 1960 год**

Полевой транзистор - — это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через токопроводящий канал, и управляемым электрическим полем.

Полевые транзисторы -

Полевые транзисторы

называют также

униполярными, так

как в процессе

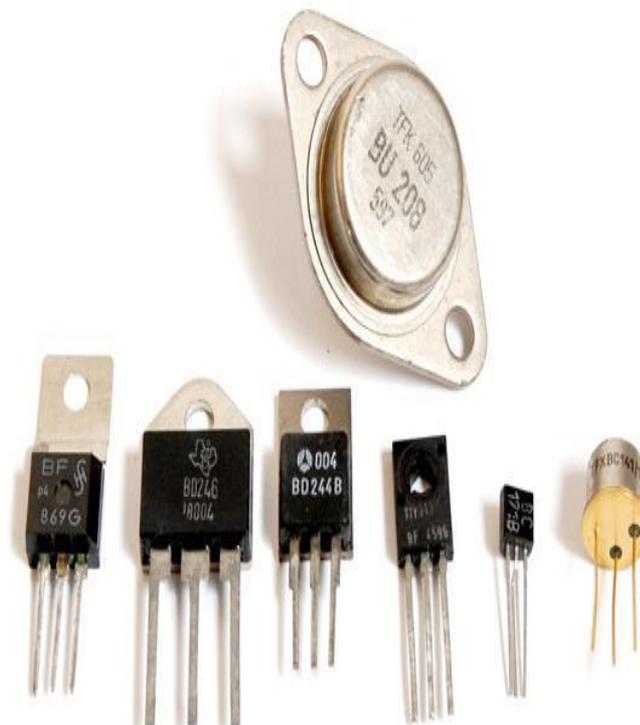
протекания

электрического тока

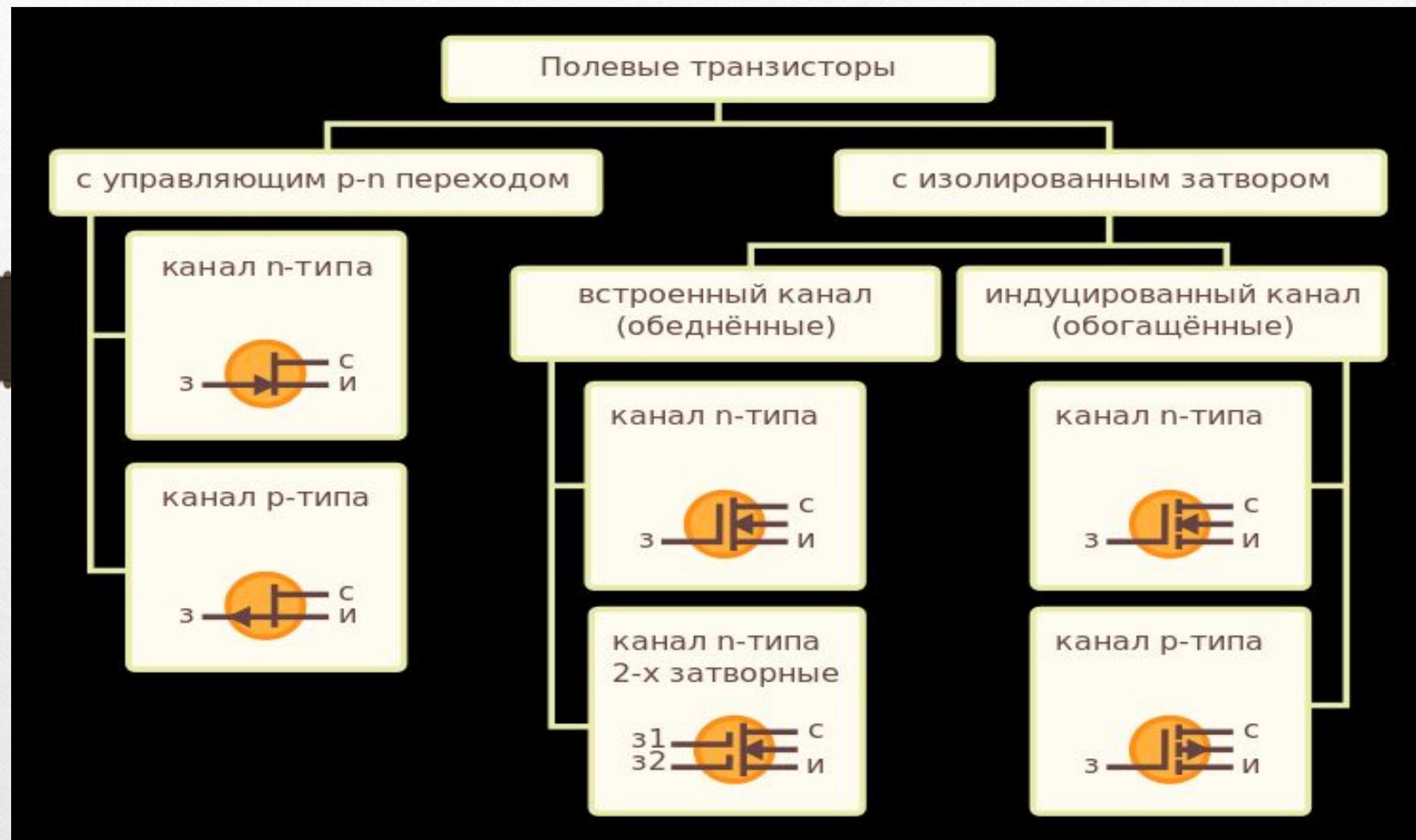
участвует только **один**

вид носителей.

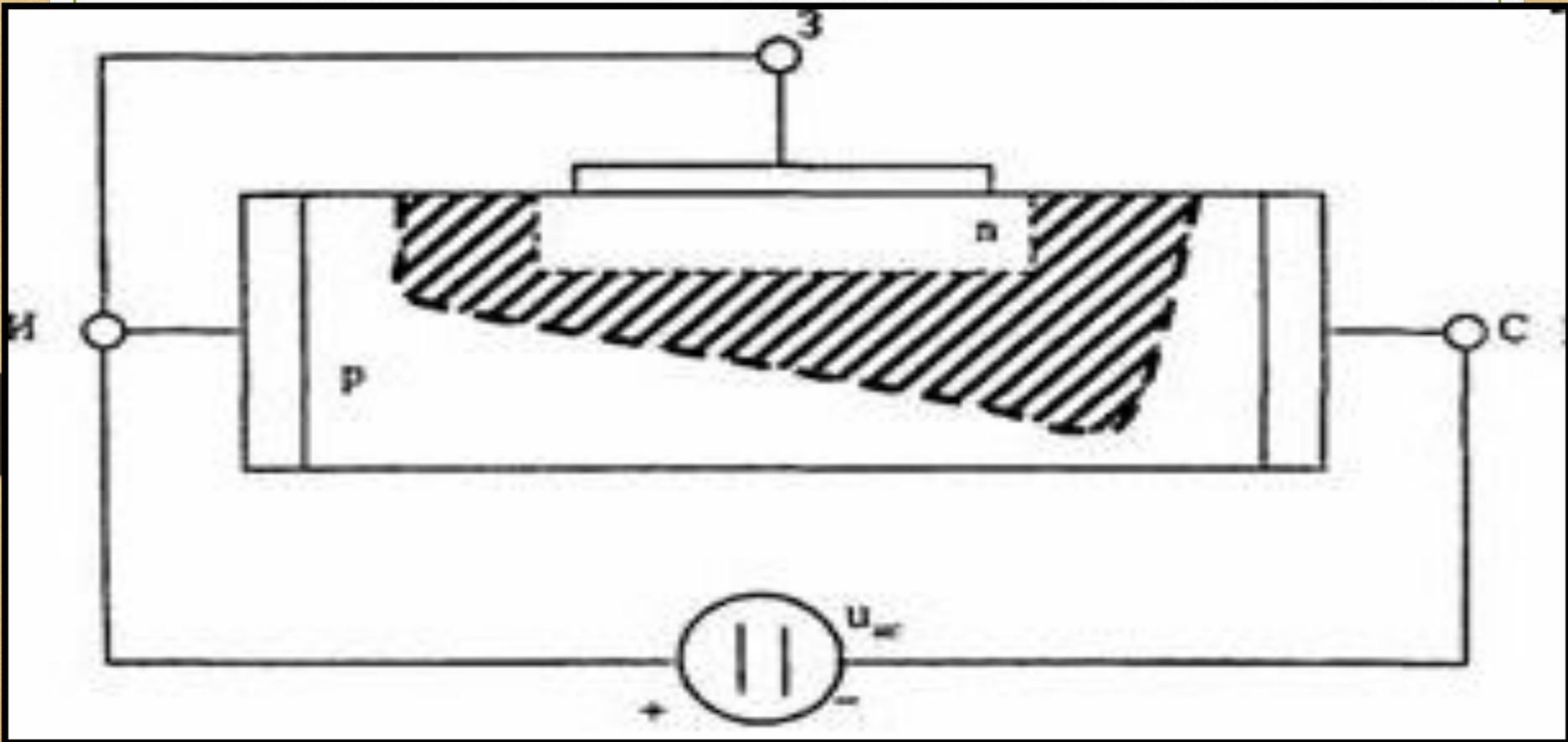
- Внешний вид



Классификация

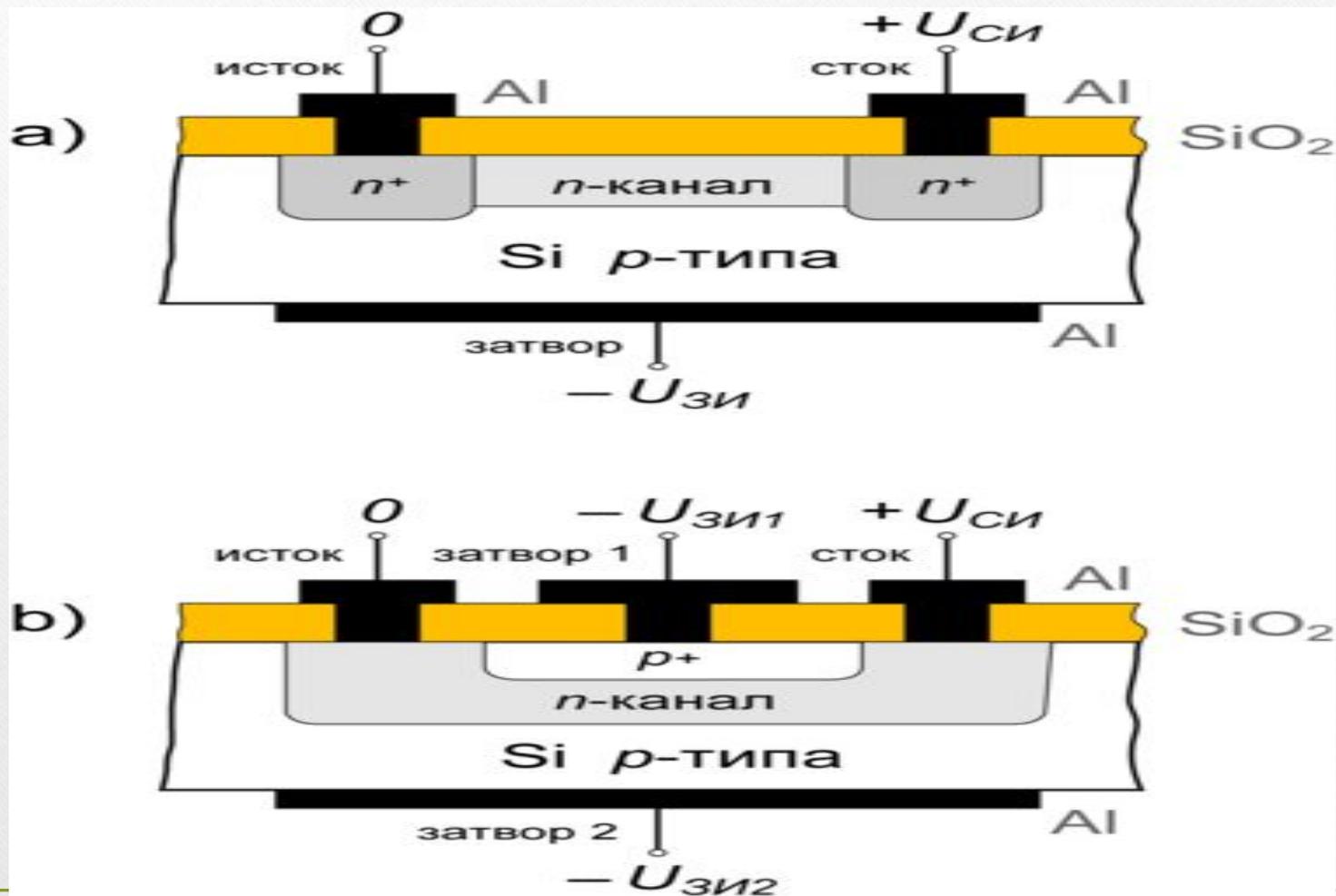


ПТ с управляющим р-п-переходом



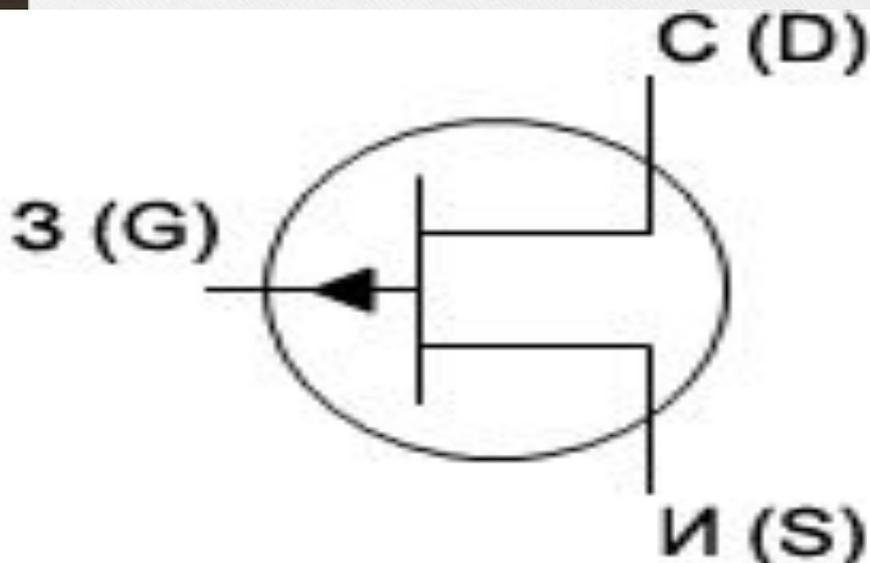
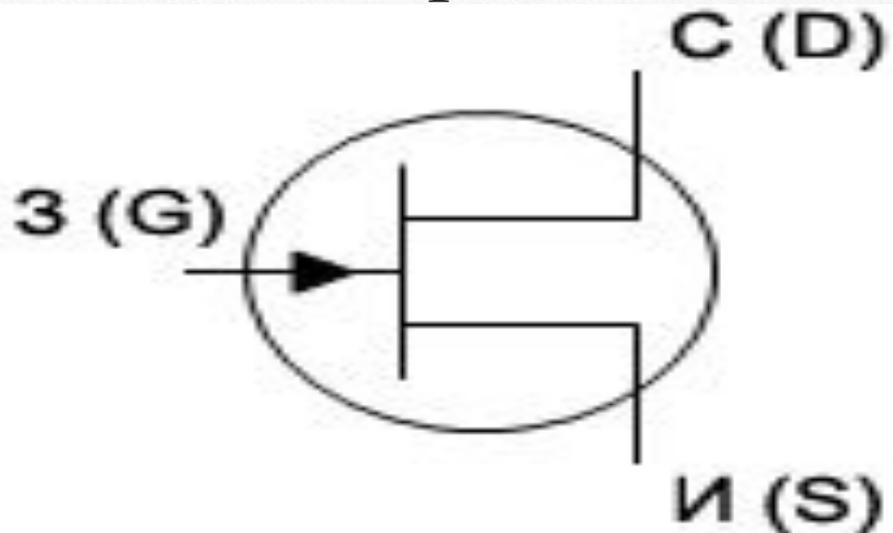
Все полярности напряжений смещения, подаваемых на электроды транзисторов с п- и с р-каналом, противоположны.

Полевой транзистор с **p-n**-переходом



УГО ПТ с управляющим переходом

п-канальный



р-канальный

Исток - источник носителей тока,
управляющий электрод (на него
подают управляющее напряжение)

Затвор - управляющий электрод,
служащий для регулирования
поперечного сечения канала

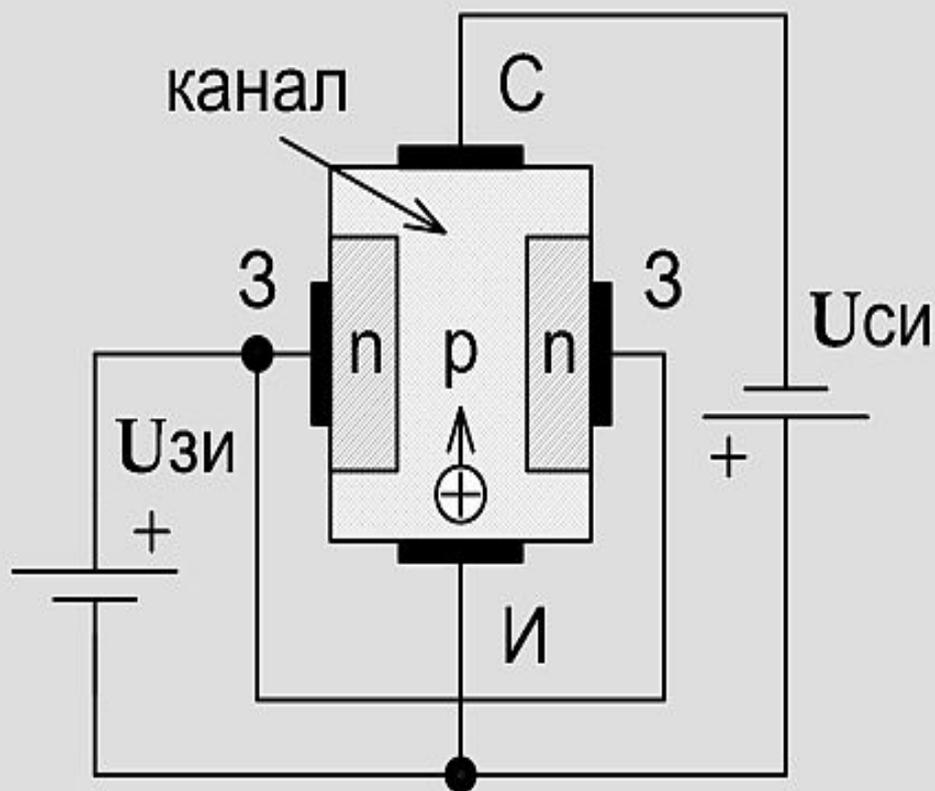
Сток - электрод, куда стекают носители
и с которого снимается выходной ток

- **Управление током стока, то есть**
ТОКОМ ОТ ВНЕШНЕГО ОТНОСИТЕЛЬНО
МОЩНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ В ЦЕПИ
нагрузки, происходит при
изменении обратного напряжения
на р-n переходе затвора (или на
двух р-n переходах одновременно).



- В связи с незначительностью обратных токов р-n перехода мощность, необходимая **для** управления током стока и потребляемая от источника сигнала в цепи затвора, оказывается ничтожно малой.

Принцип включения



И-С

включается

так, что бы

основные

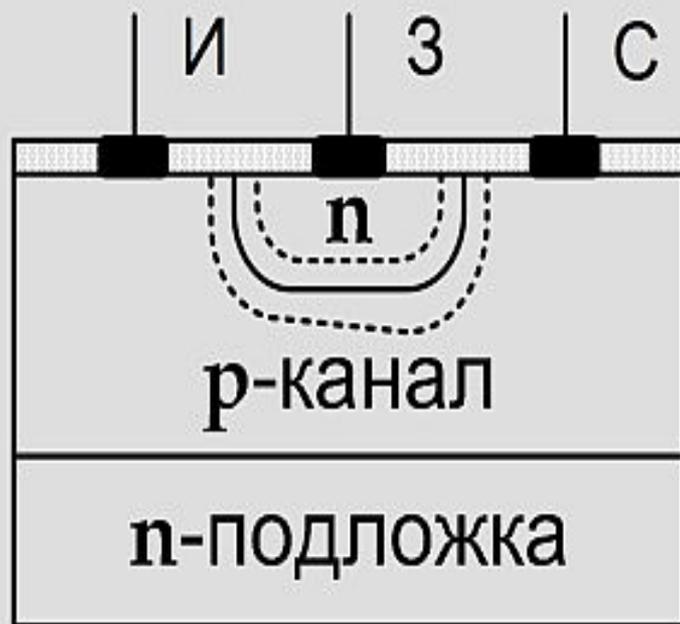
носители в

канале

двигались от И

к С

Принцип действия



ПТ с управляющим переходом заключён в **изменении площади сечения канала под воздействием поля**, возникающего при подаче напряжения между затвором и истоком.

Режимы работы

- **Режим насыщения**

- **Режим обеднения**
- **Режим отсечки**

Режим насыщения

Пока между затвором и истоком не подано напряжение управления,

- под воздействием внутреннего поля электронно-дырочных переходов **З** и **И** заперты,
- сечение канала наиболее велико,
- **Сопротивление канала низкое**,
- **ток стока транзистора максимален.**

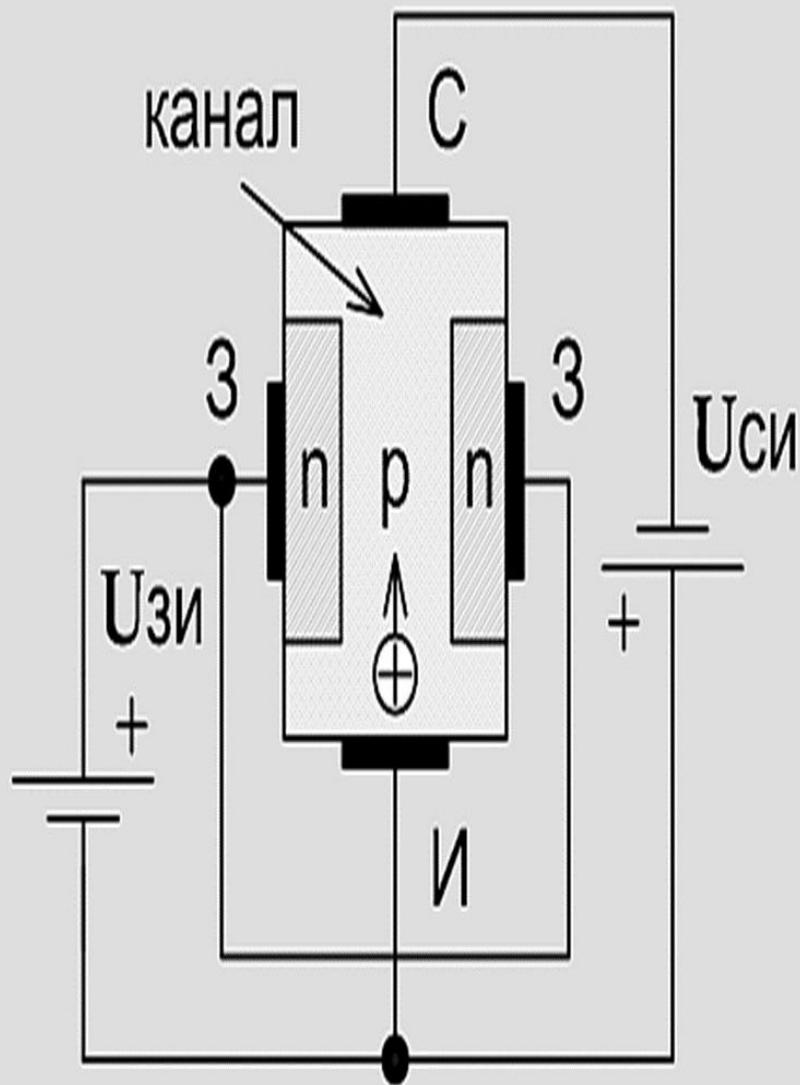
Напряжение затвор-исток, при котором ток стока наиболее велик, называют напряжением насыщения.

Режим обеднения

Между затвором и истоком приложено небольшое напряжение, ещё немного закрывающее р-n переходы,

- **Зоны, к которым подсоединён затвор обеднены носителями заряда,**
- **размеры объёмного заряда зон, к которым подсоединён затвор возрастут, частично перекрывая сечение канала,**
- **сопротивление канала возрастает, и сила тока стока уменьшается.**

Обеднённые носителями заряда области **почти не проводят электрический ток**, причём эти области неравномерны по длине пластины полупроводника.



- у торца пластинки
(вывод стока)
 обеднённые
 носителями заряда
 области будут
 наиболее
перекрывать канал

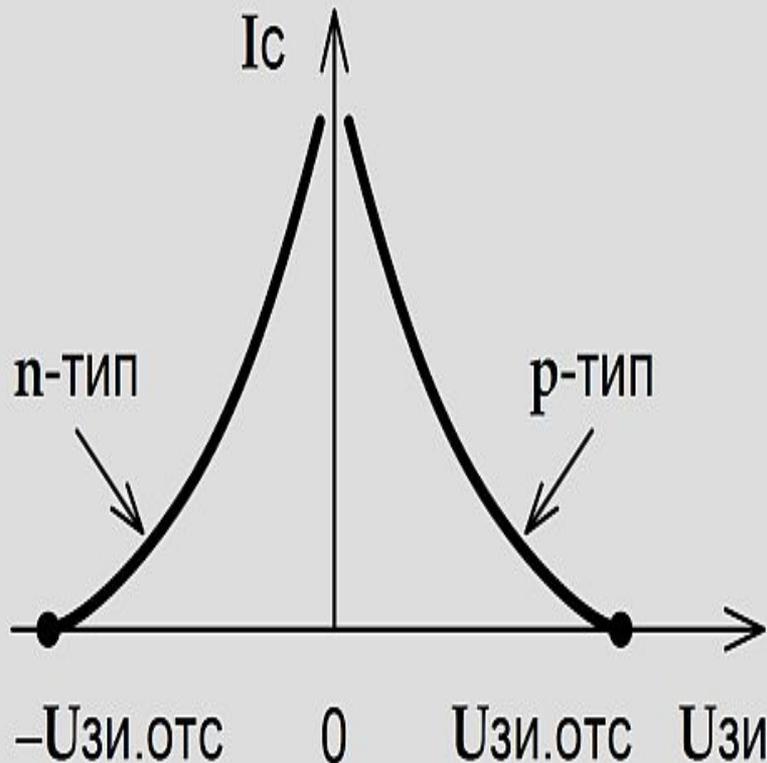
- у противоположного
 торца **(вывод истока)**,
 снижение площади
 сечения канала будет
наименьшим.

Режим отсечки

Если приложить ещё большее напряжение между затвором и истоком,

- то области, обеднённые носителями заряда, станут столь велики, что сечение канала может быть ими полностью перекрыто.
- При этом сопротивление канала будет наибольшим, ток стока будет практически отсутствовать.
- Напряжение затвор-исток, соответствующее такому случаю, именуют напряжением отсечки.

Характеристики ПТ

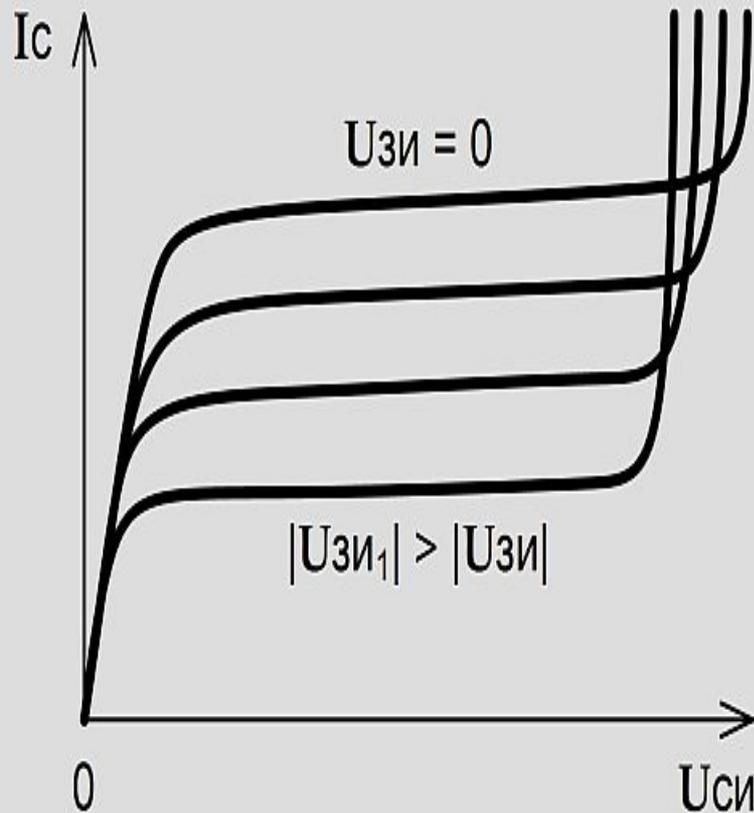


Стокозатворная характеристика

зависимость I_c от $U_{зи}$ при фиксированном напряжении сток-исток

$U_{си} = const.$

Характеристики ПТ



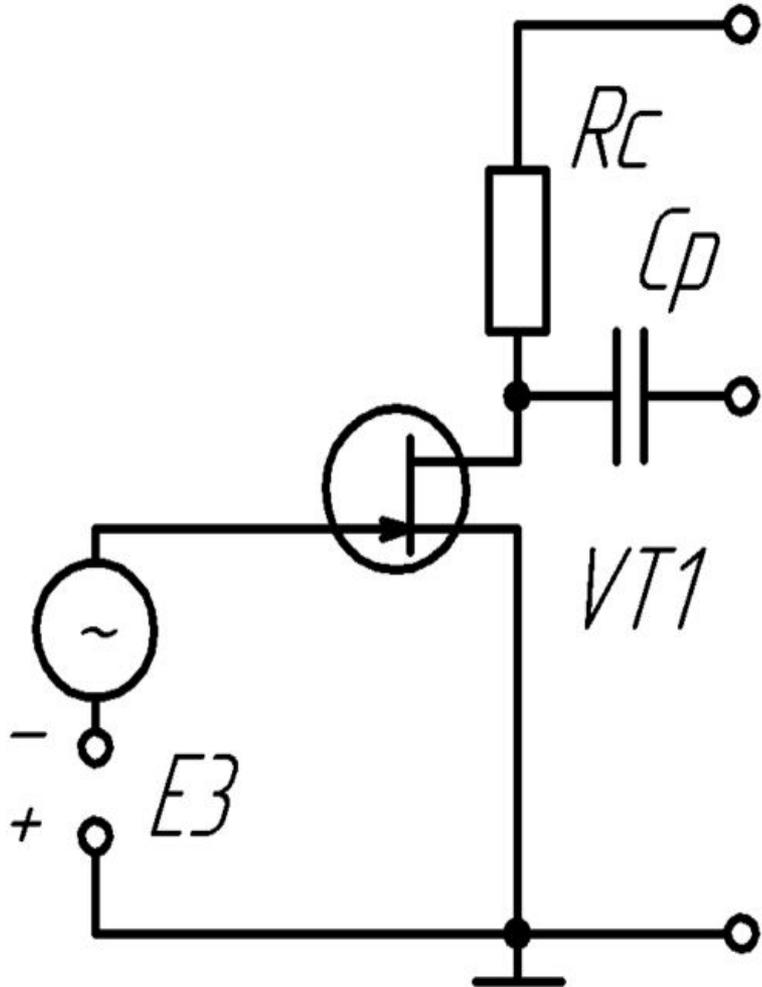
Семейство стоковых характеристик

зависимости I_c от $U_{си}$
при фиксированных
стабильных напряжениях
затвор-исток

$$U_{зи} = \text{const.}$$

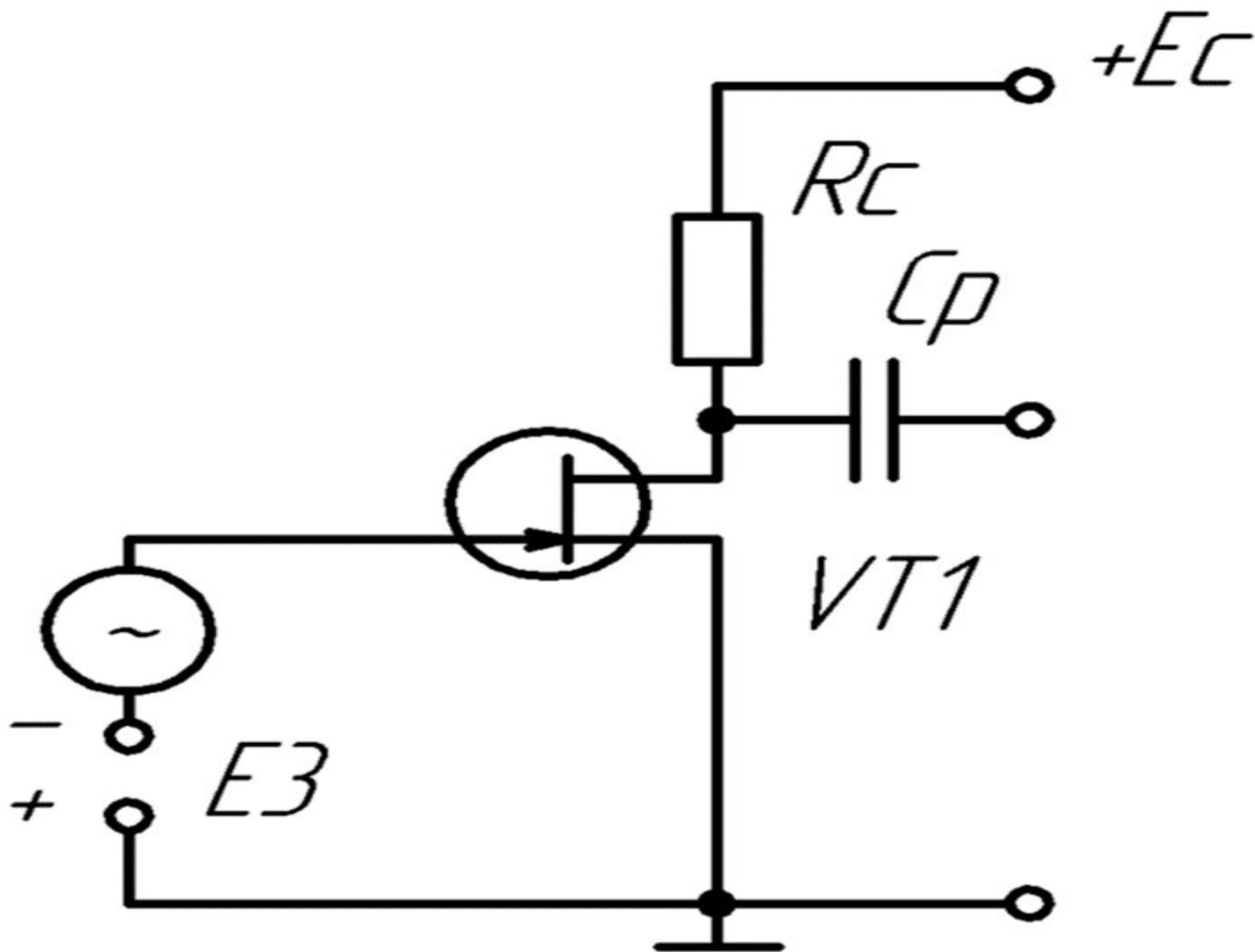
Схемы включения ПТ

$+E_C$ Схема с ОИ



- на практике чаще всего применяется,
- аналогичная схеме на биполярном транзисторе с общим эмиттером (ОЭ).

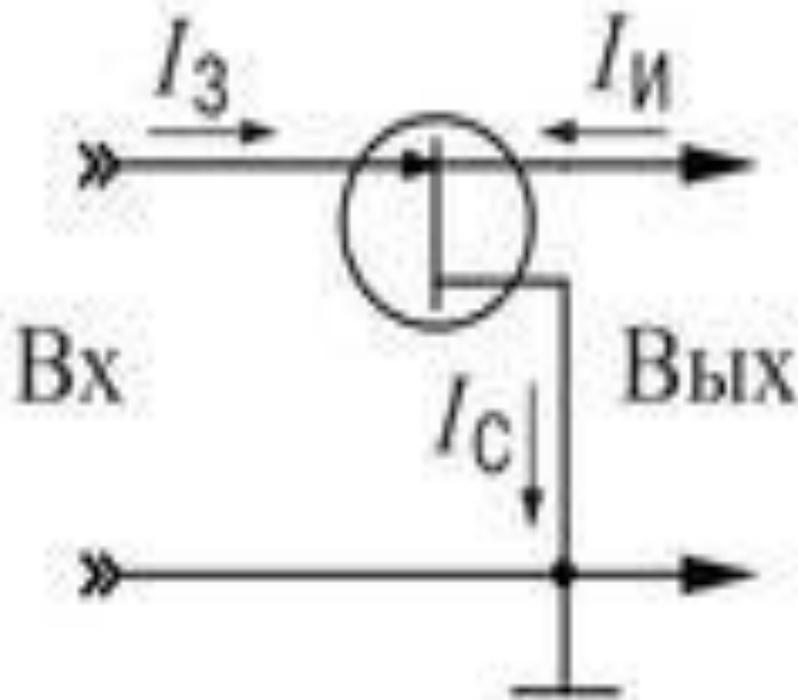
Каскад с общим истоком даёт очень большое усиление тока и мощности



Схемы включения ПТ

Схема с ОС

с общим стоком



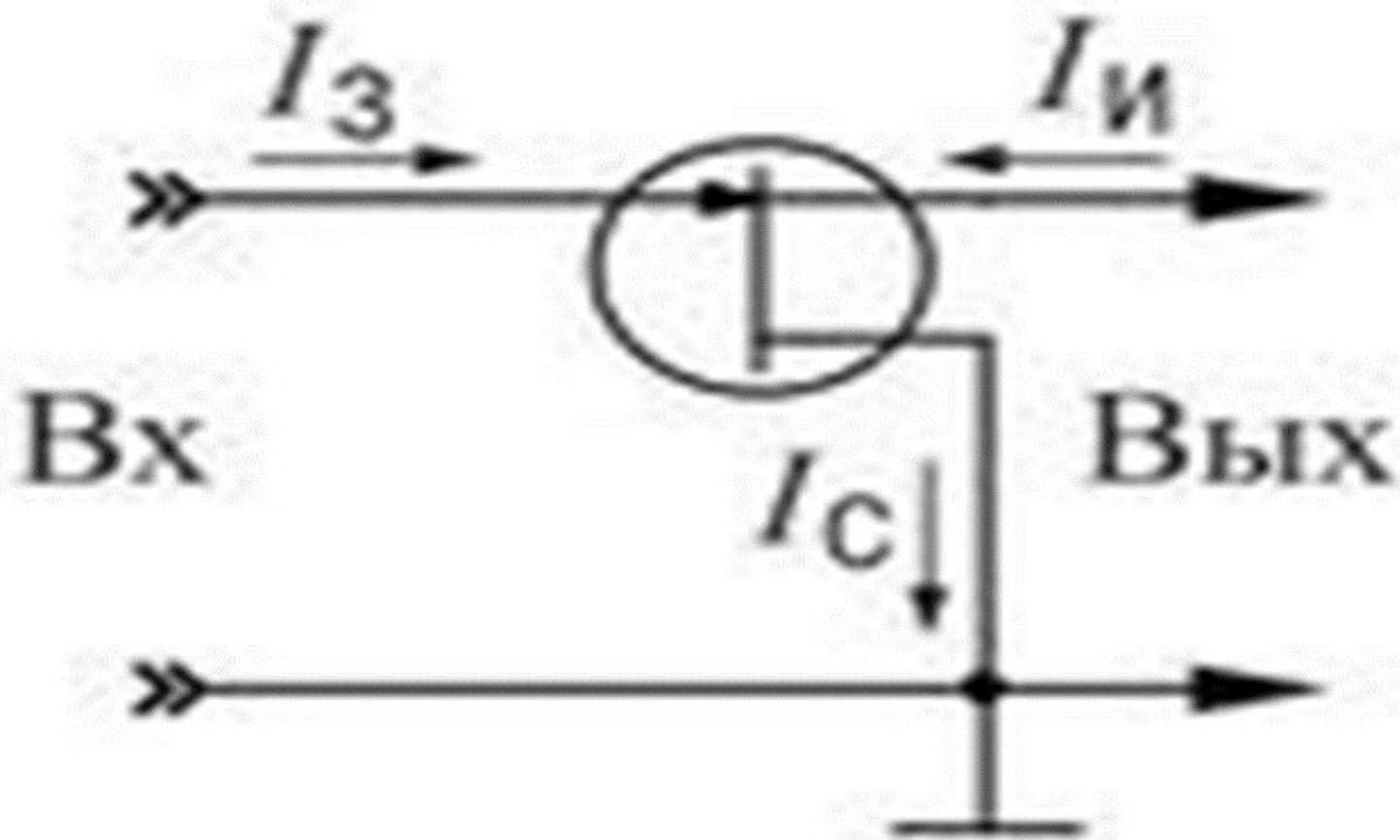
Применяется для согласования цепей усилительных каскадов

Истоковый повторитель

$\mu (U) < 1$

$R (ВХ)$ высокое

С ОБЩИМ СТОКОМ



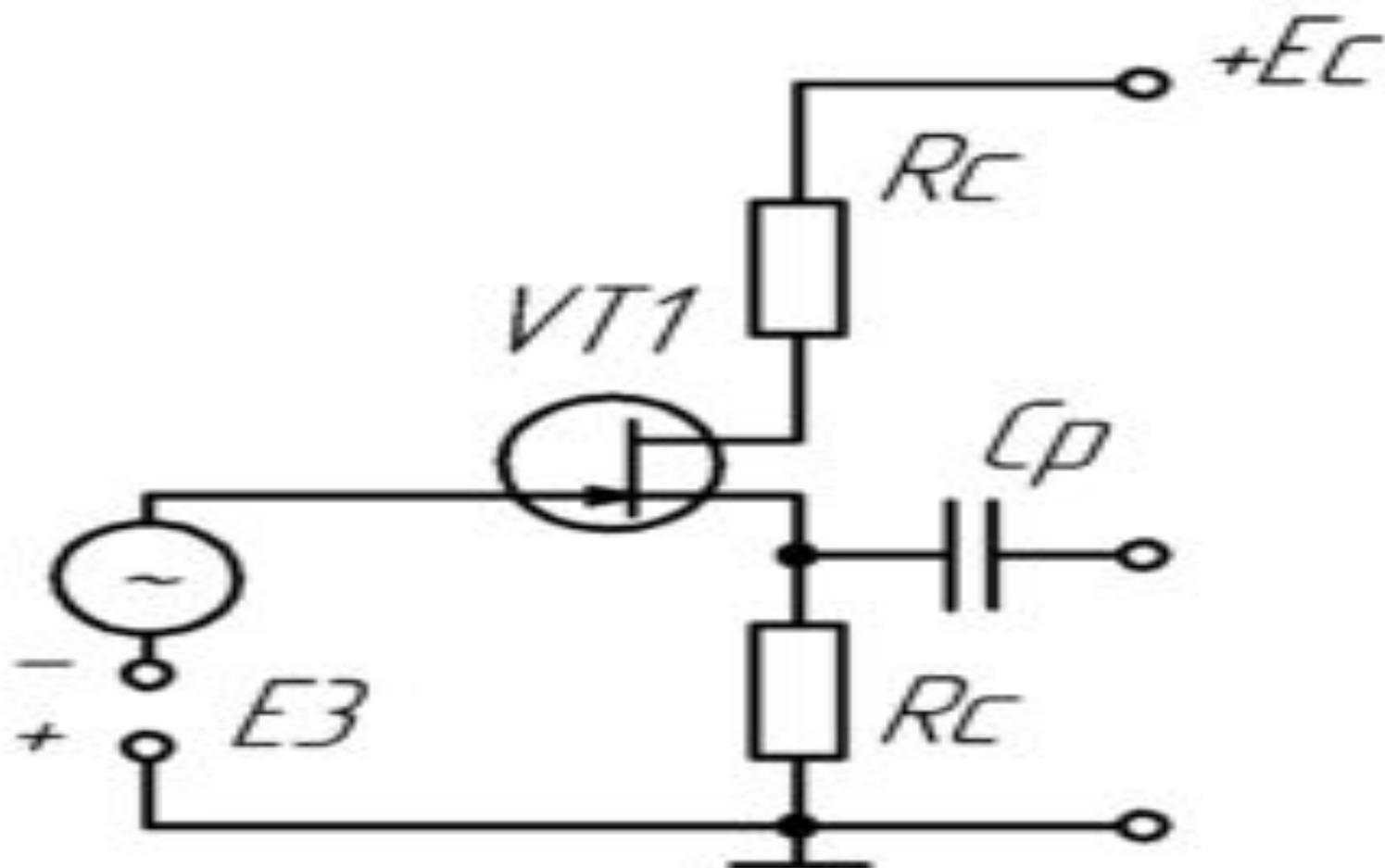


Схема включения полевого транзистора с управляющим р-п переходом с общим стоком

Схемы включения ПТ

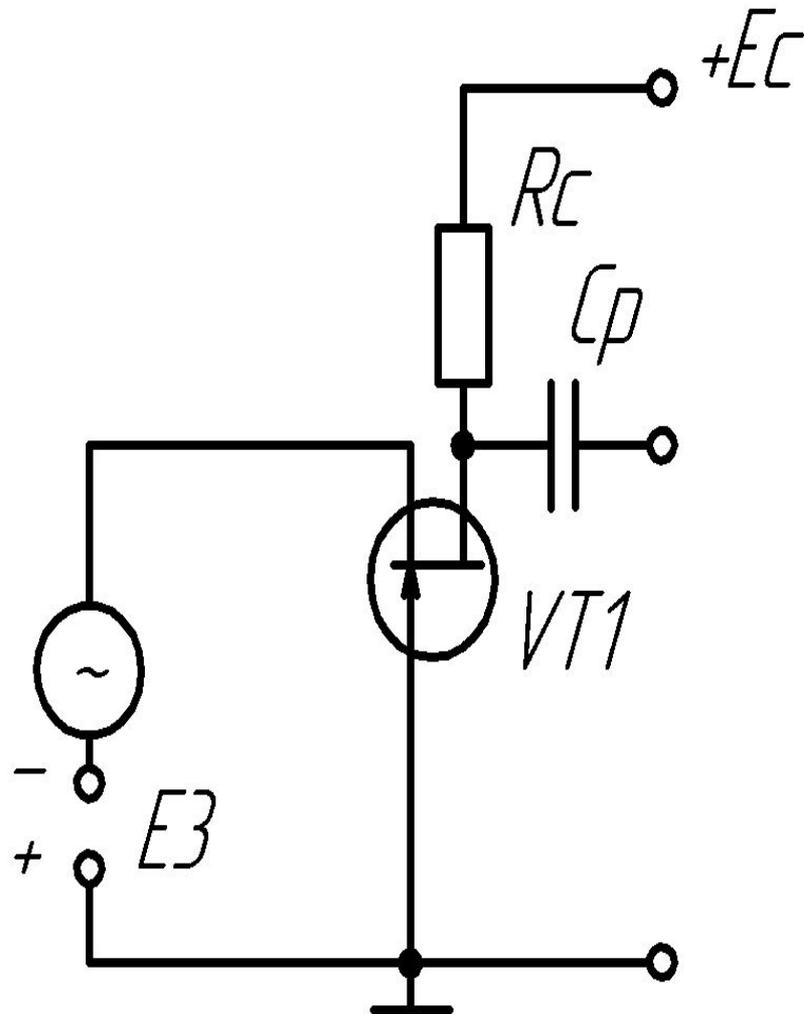
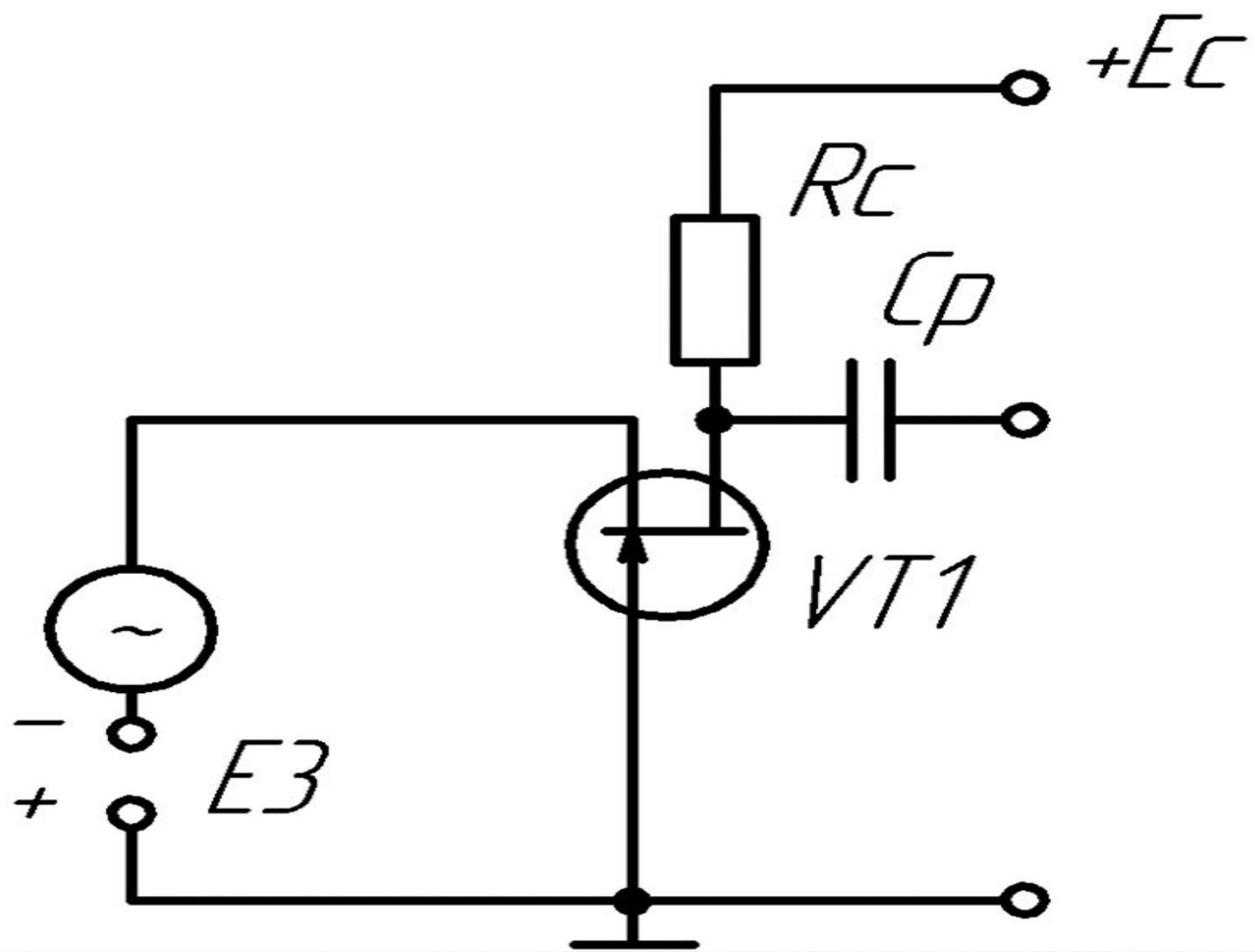


Схема с ОЗ

- аналогична схеме с общей базой (ОБ) БТ.
- *каскад ОЗ обладает низким входным сопротивлением*, в связи с чем он имеет ограниченное практическое применение в усилительной технике.

Она не даёт усиления тока, усиление мощности во много раз меньше, чем в схеме ОИ



ПТ с изолированным затвором

В соответствии с их структурой такие транзисторы называют

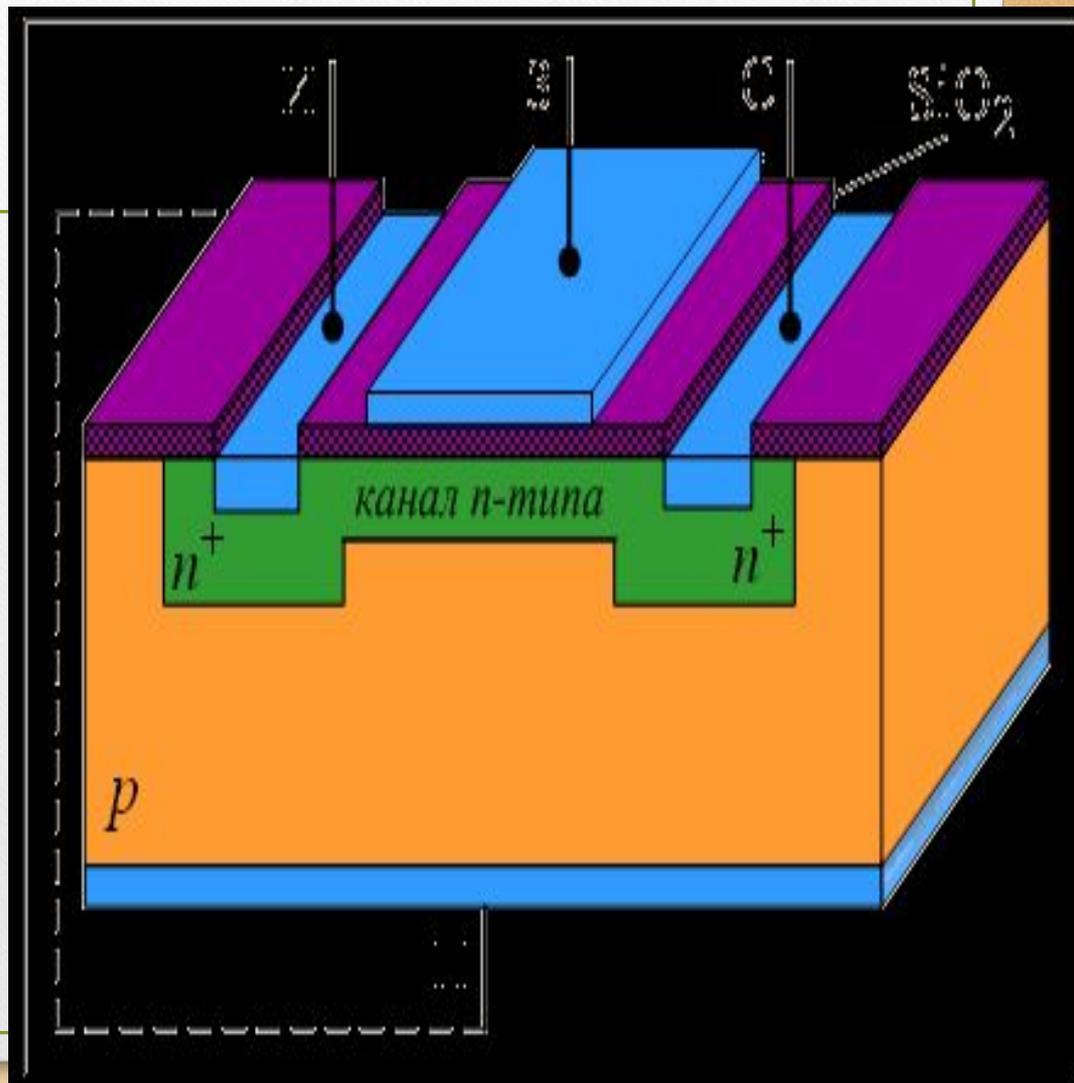
МДП-транзисторами (металл-диэлектрик-полупроводник) ИЛИ

МОП-транзисторами (металл-оксид-полупроводник).

SiO_2

ПТ с изолированным затвором

это полевой транзистор, затвор которого отделён в электрическом отношении от канала слоем диэлектрика



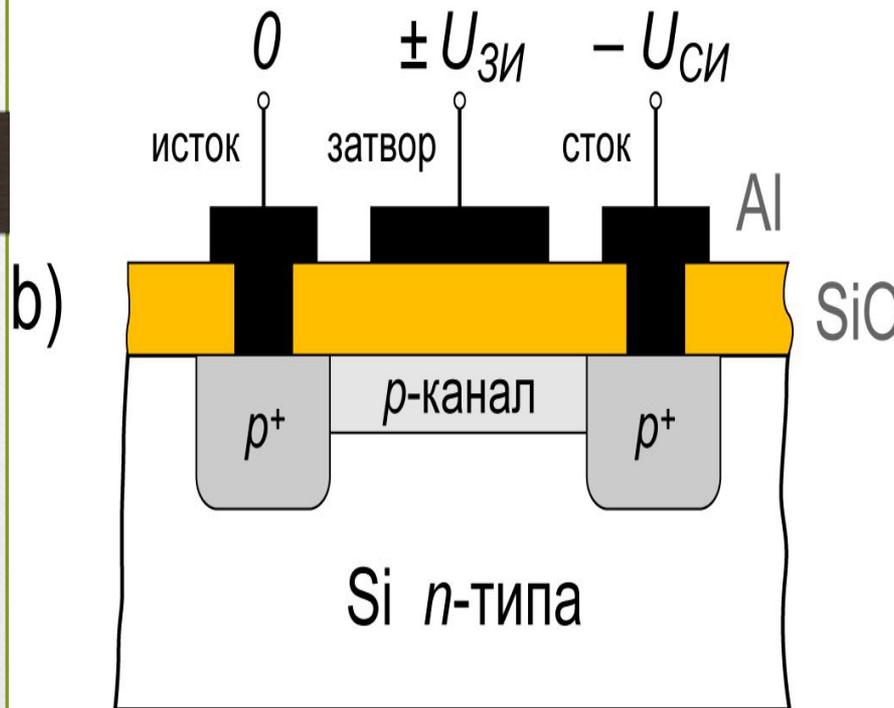
**И, следовательно, заметный ток стока
появляется только при определённой
полярности и при определённом
значении напряжения на затворе
относительно истока, которое
называют**

пороговым напряжением

($U_{зи\ пор}$).

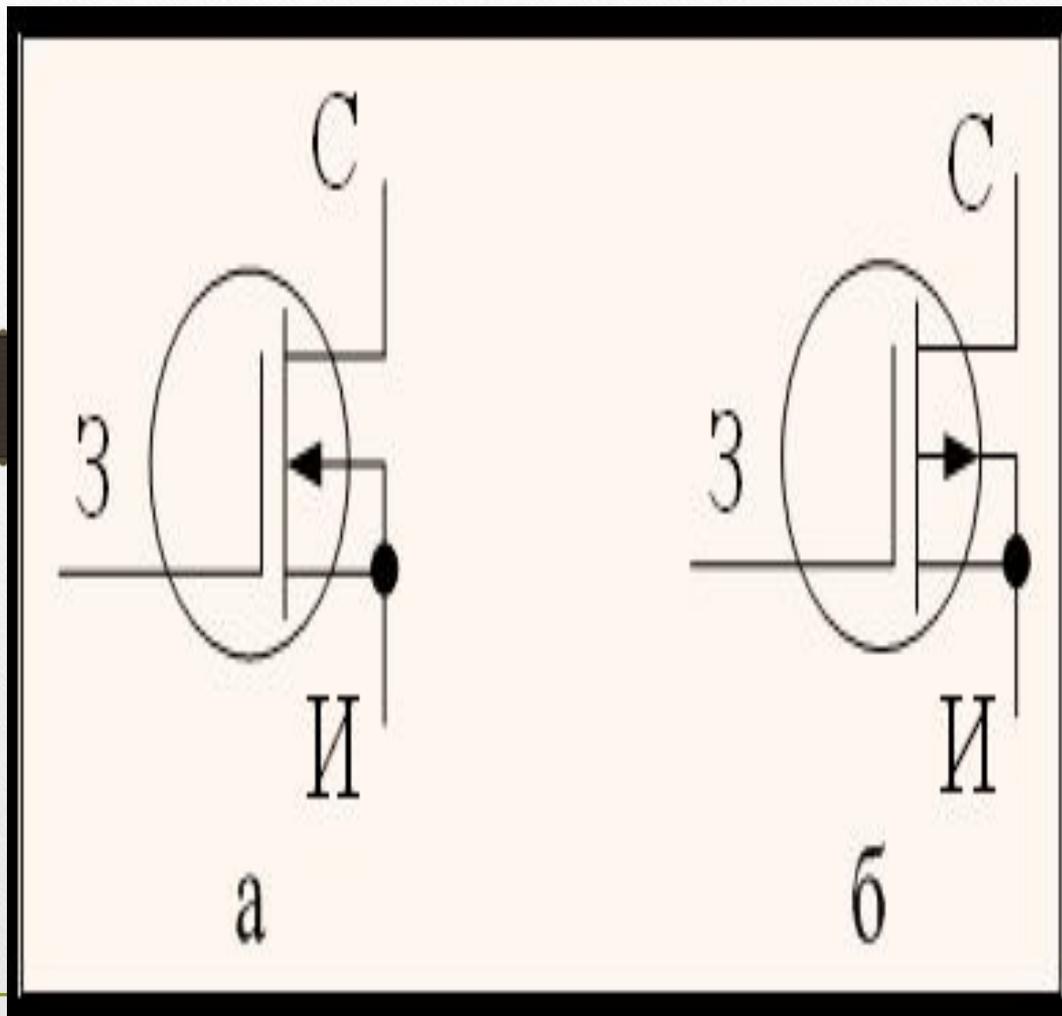
В МОП-транзисторах со встроенным каналом

(рис. б)



у поверхности полупроводника под затвором при нулевом напряжении на затворе относительно истока существует **инверсный слой — канал, который соединяет исток со стоком.**

УГО МДП-транзистора со встроенным каналом

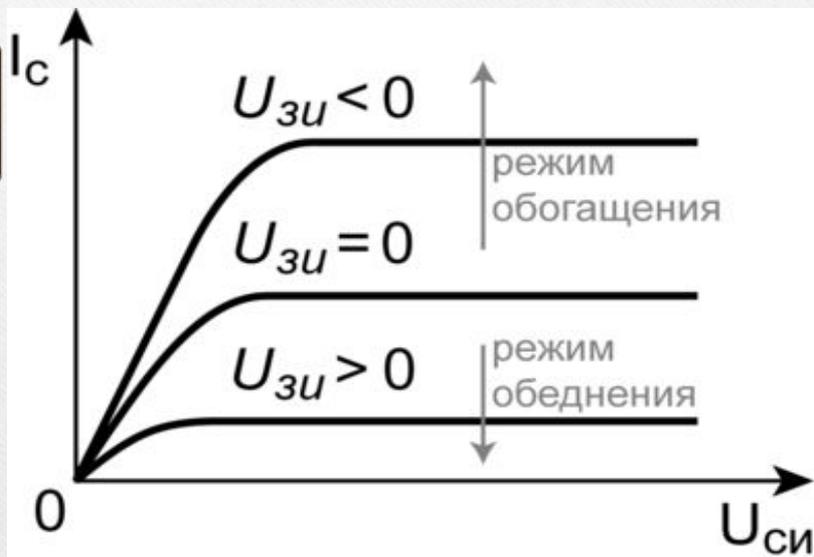


n-типа (а)

и

p-типа (б)

Выходные статические (а) и сток-затворная характеристики (b) МДП-транзистора со встроенным каналом.



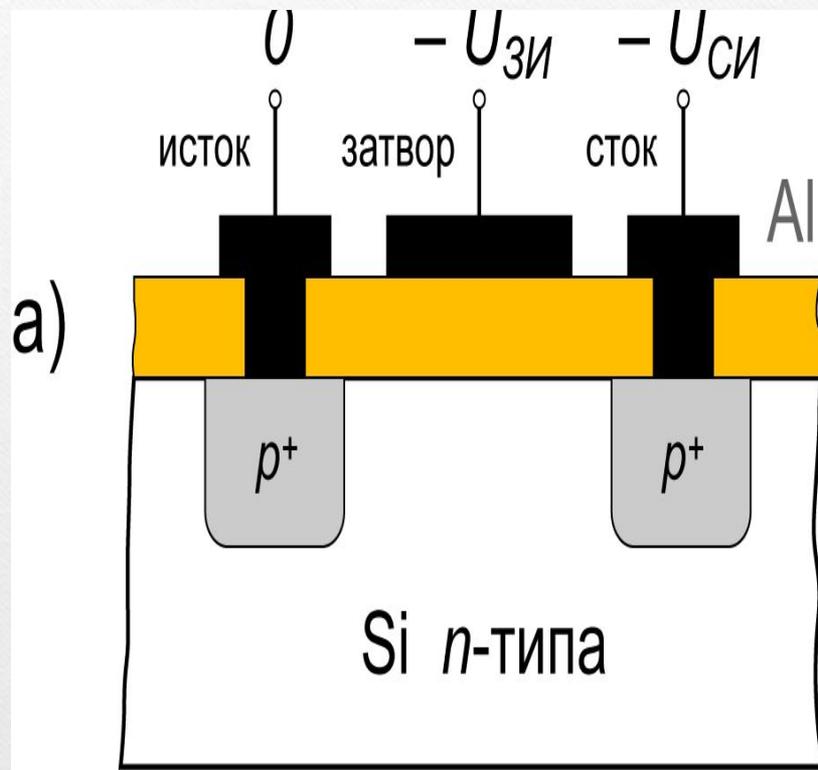
a)



b)

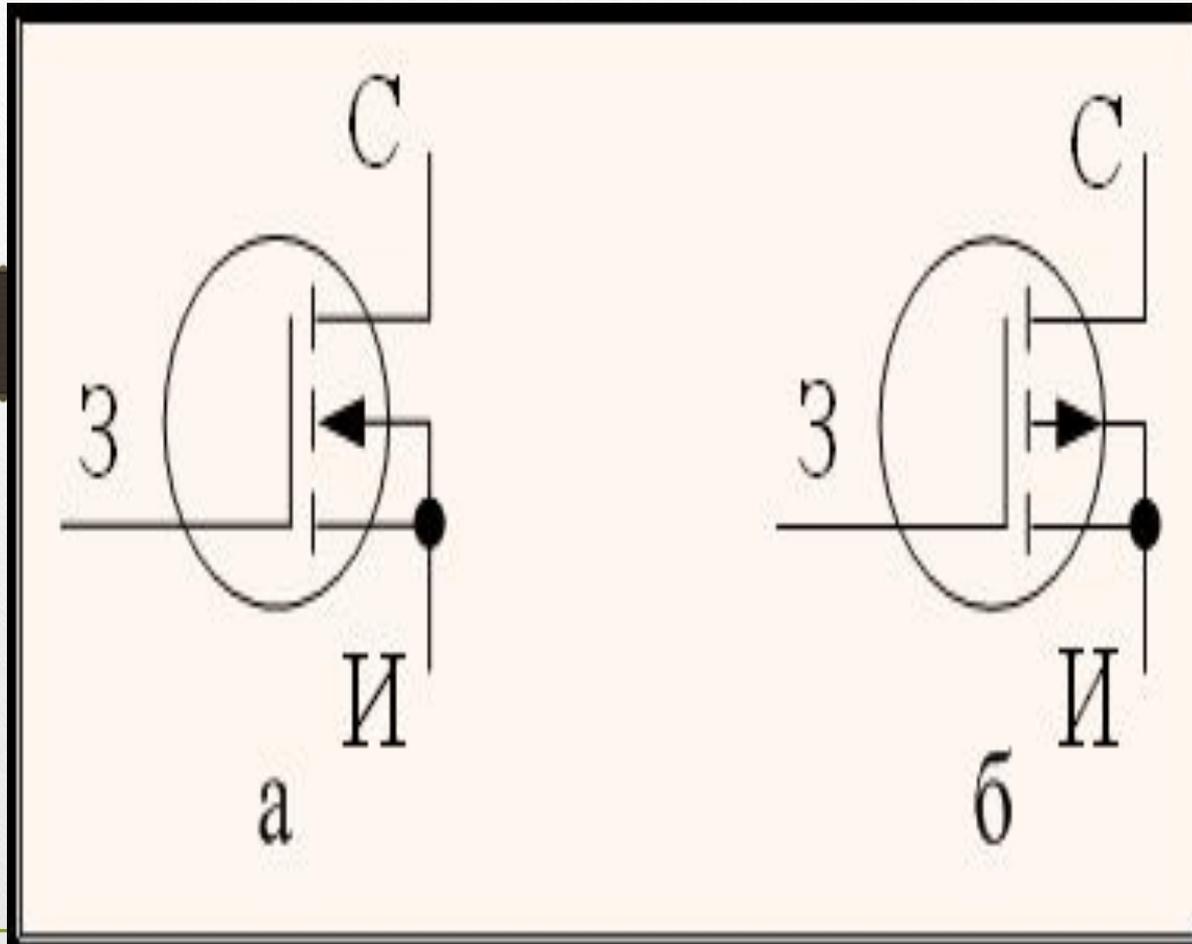
В МОП-транзисторах с индуцированным каналом

(рис. а)



проводящий канал между сильнолегированными областями истока и стока отсутствует

УГО МДП-транзистора с индуцированным каналом



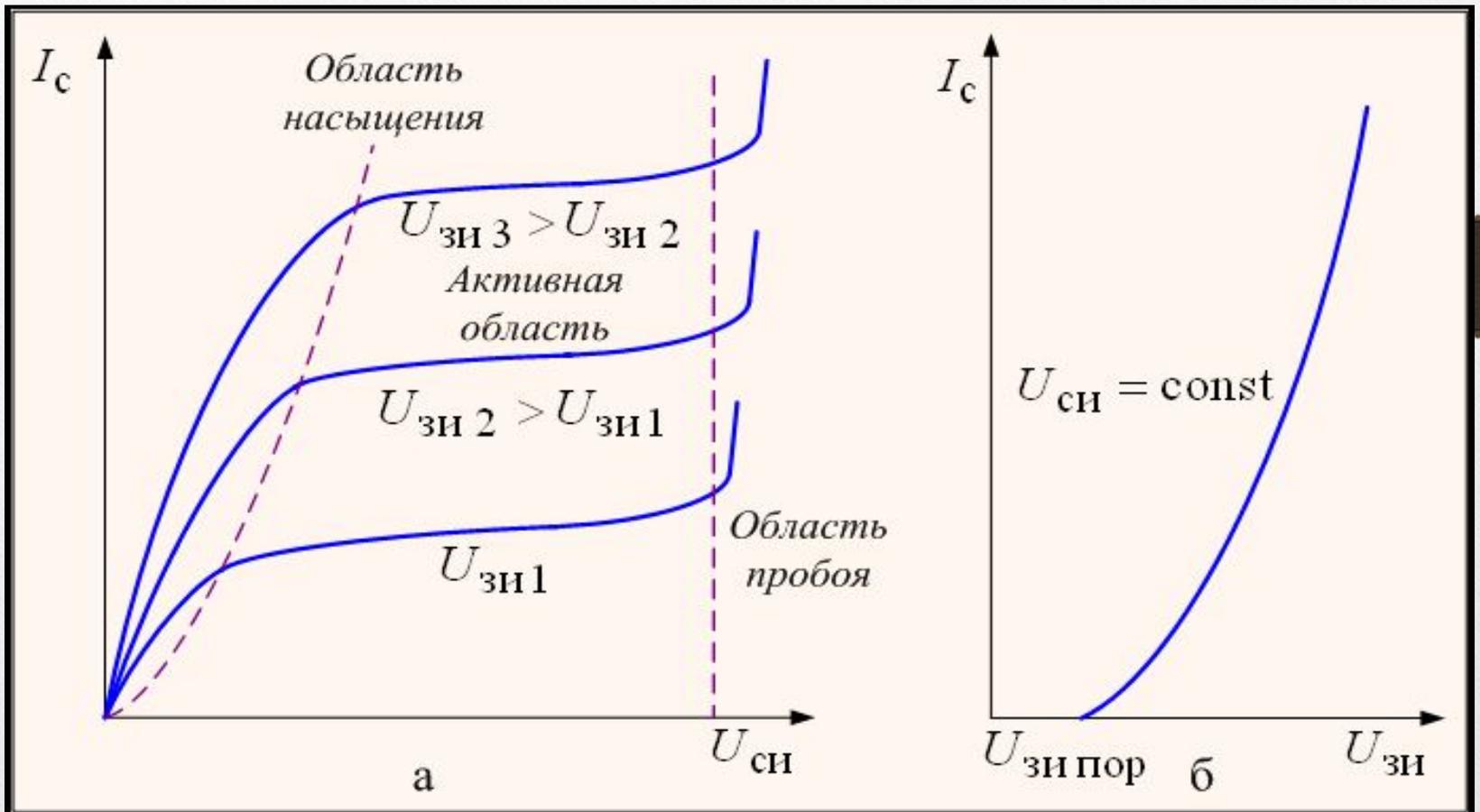
n-типа

(а) и

p-типа

(б)

Статические характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом



Получение МДП структуры

В кристалле полупроводника с относительно высоким удельным сопротивлением, который называют подложкой, созданы две сильнолегированные области с противоположным относительно подложки типом проводимости.

На эти области нанесены металлические электроды — исток и сток. Расстояние между сильно легированными областями истока и стока может быть меньше микрона.

Поверхность кристалла полупроводника между истоком и стоком покрыта тонким слоем (порядка **0,1** мкм) диэлектрика.

Так как исходным полупроводником для ПТ обычно является кремний, то в качестве диэлектрика используется слой двуокиси кремния **SiO₂**, выращенный на поверхности кристалла кремния путём высокотемпературного окисления.

**На слой диэлектрика нанесён
металлический электрод — затвор.**

**Получается структура, состоящая из
металла, диэлектрика и
полупроводника.**

**Поэтому полевые транзисторы с
изолированным затвором часто
называют МДП-транзисторами.**

От БТ полевой транзистор отличается



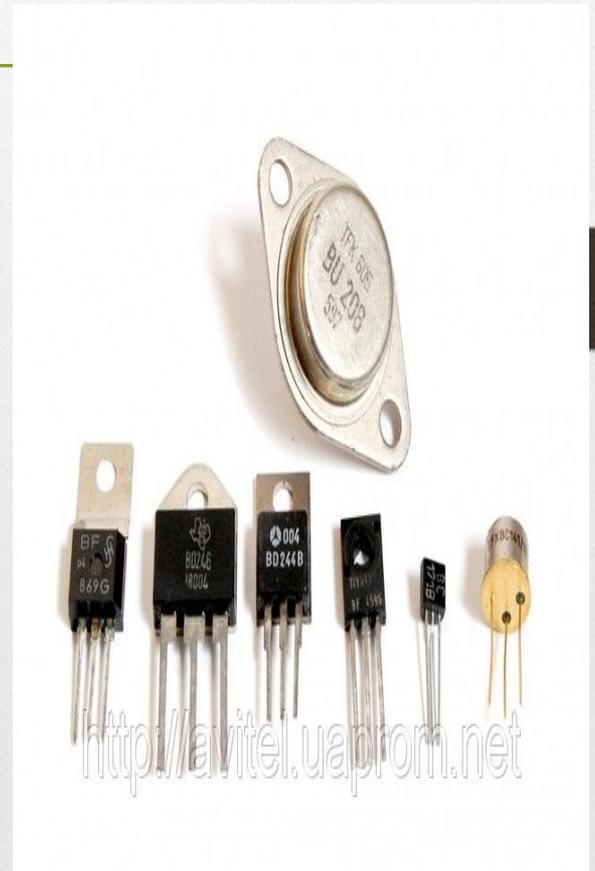
во-первых, принципом действия:

в биполярном транзисторе управление
выходным сигналом производится
входным током,

а в полевом транзисторе — управление
выходным сигналом производится
входным напряжением или
электрическим полем

От БТ полевой транзистор отличается

Во-вторых, полевые транзисторы
имеют **значительно**
большие входные
сопротивления, что связано
с обратным смещением р-п-
перехода затвора в ПТ с
управляющим переходом



От БТ полевой транзистор отличается

В-третьих, **полевые транзисторы могут обладать низким уровнем шума (особенно на низких частотах)**, так как в полевых транзисторах не используется явление инжекции неосновных носителей заряда и канал полевого транзистора может быть отделён от поверхности полупроводникового кристалла.

- Процессы рекомбинации носителей в р-п переходе и в базе биполярного транзистора, а также генерационно-рекомбинационные процессы на поверхности кристалла полупроводника сопровождаются возникновением низкочастотных шумов.

Особенности ПТ

- 1. **Практически полное отсутствие тока во входной цепи затвора**, что ~~устраняет нелинейные искажения~~ управляющего напряжения на затворе.
- 2. **Низкий уровень нелинейных искажений при использовании транзисторов в схемах преобразователей частоты.**
- 3. Большое разнообразие проходных характеристик, расширяющее функциональные возможности транзисторов.
- 4. **Температурная стабильность режима.**
- 5. ~~Способность работы в условиях сверхнизких температур.~~

Применение полевых транзисторов

- **схемы ждущих и следящих устройств**
- **схемы малого потребления и энергосбережения**
- **радиопередающие устройства**
- **звуковые усилители**
- **сенсорные датчики**



Область применения

- широко используются **в цифровых и аналоговых интегральных схемах.**

- потребляют значительно меньше энергии, что особенно актуально **в схемах ждущих и следящих устройств, а также в схемах малого потребления и энергосбережения (реализация спящих режимов)**
- наручные кварцевые часы и пульт дистанционного управления для телевизора

Область применения

- **В радиопередающих устройствах** позволяет получить повышенную частоту спектра излучаемых радиосигналов, уменьшить уровень помех и повысить надёжность радиопередатчиков
- **В силовой электронике** мощные полевые транзисторы успешно заменяют и вытесняют мощные биполярные транзисторы
- **В преобразователях частоты** они позволяют на 1-2 порядка повысить частоту преобразования и резко уменьшить габариты и массу энергетических преобразователей

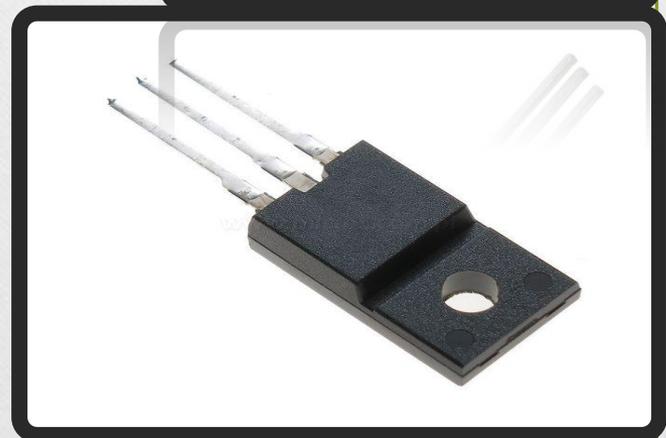
Преимущества полевых

транзисторов перед биполярными:

- способен работать при малом значении напряжения сток-исток (так как нет инжекции неосновных носителей)
- маленькое сопротивление в открытом состоянии
- выше температурная стабильность управляется не током, а напряжением
- отсутствие накопленного заряда

• ПТ

• БТ



Спасибо за

внимание 😊