

Колледж приборостроения и информационных технологий

# ОП.08 Электронная техника

ФИО преподавателя: Бабенко Татьяна Александровна  
e-mail: [tatjana1239@mail.ru](mailto:tatjana1239@mail.ru)

# Тема:

# Биполярные и полевые транзисторы

# ПЛАН

- 1 Общие сведения
- 2 Классификация транзисторов
- 3 Устройство транзистора типа р-п-р
- 4 Режимы работы транзисторов
- 5 Схемы включения биполярного транзистора
- 6 Параметры и характеристики биполярных транзисторов
- 7 Общие сведения о полевых транзисторах
- 8 Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом
- 9 Параметры и характеристики полевых транзисторов
- 10 Схемы включения ПТ

# 1 Общие сведения.

**Транзистор**- полупроводниковый прибор с двумя электронно-дырочными переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов.

Используются оба типа носителей :

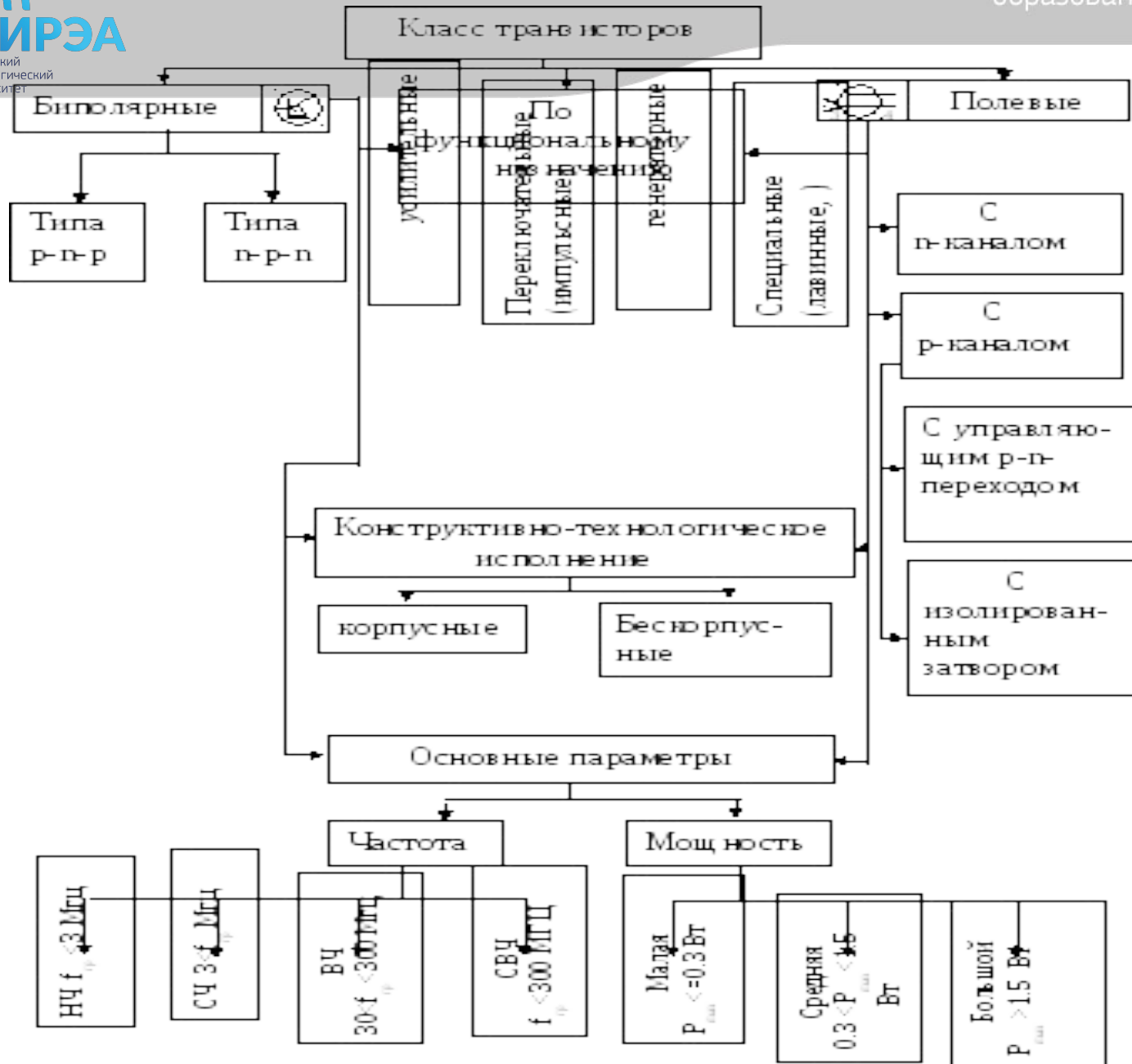
1. Основные.
2. Неосновные.

Поэтому его называют **биполярным**.

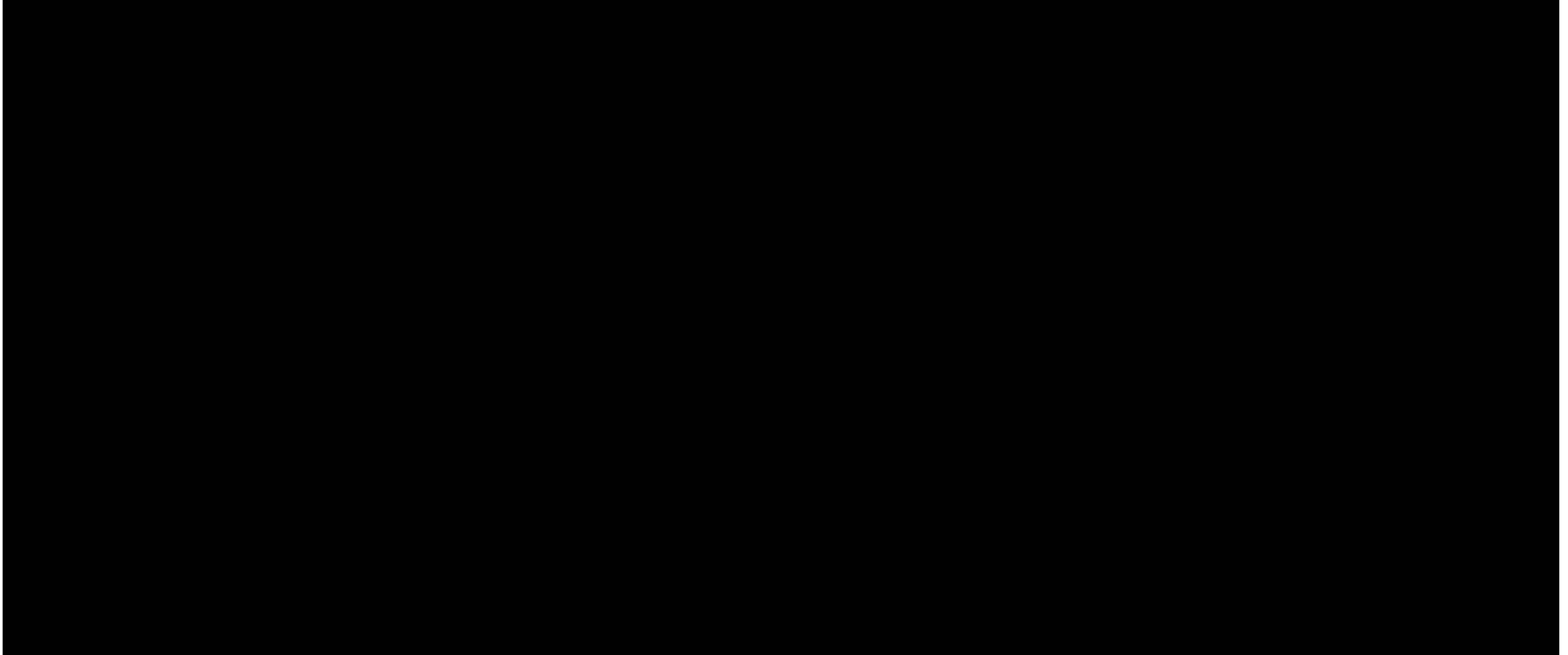
**Биполярный транзистор** состоит из трех областей монокристаллического полупроводника с разным типом проводимости: **эмиттера, базы и коллектора**.

Переход, который образуется на границе эмиттер-база, называется **эмиттерным**, а на границе база-коллектор - **коллекторным**.

В зависимости от типа проводимости крайних слоев различают транзисторы **p-n-p** и **n-p-n**



# 3 Устройство транзистора типа p-n-p'



Схематическое изображение транзистора типа p-n-p.  
Э - эмиттер, Б - база, К - коллектор, W- толщина базы,  
ЭП - эмиттерный переход, КП - коллекторный переход

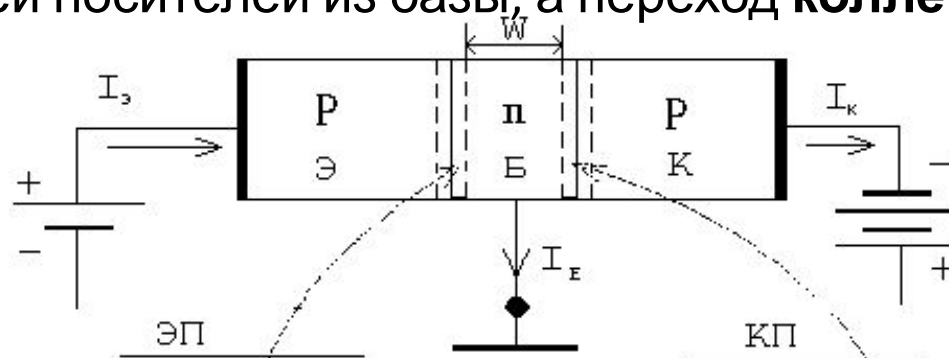
# 3 Устройство транзистора типа р-п-р

**База (Б)** - область транзистора, расположенная между переходами. Примыкающие к базе области чаще всего делают неодинаковыми.

Одну изготавливают так, чтобы из неё эффективно происходила инжекция в базу, а другую - так, чтобы соответствующий переход наилучшим образом осуществлял экстракцию инжектированных носителей из базы.

**Эмиттер (Э)** - область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей в базу, а соответствующий переход **эмиттерным**.

**Коллектор (К)** - область, основным назначением которой является экстракция носителей из базы, а переход **коллекторным**.



# 3 Устройство транзистора типа р-п-р

- Инжекция - это введение носителей заряда через *p-n*-переход из области, где они являются основными, в область, где они являются неосновными, за счет снижения потенциального барьера.
- **ЭКСТРАКЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА** (от лат. *extractio* - извлечение) - обеднение полупроводника (диэлектрика) носителями заряда благодаря их вытягиванию в контакт с металлом или др. полупроводником.



# 4 Режимы работы транзисторов

Каждый из переходов транзистора можно включить либо в прямом, либо в обратном направлении. В зависимости от этого различают три режима работы транзистора:

1. **Режим отсечки** - оба p-n перехода закрыты, при этом через транзистор обычно идёт сравнительно небольшой ток;
2. **Режим насыщения** - оба p-n перехода открыты;
3. **Активный режим** - один из p-n переходов открыт, а другой закрыт.

В режиме отсечки и режиме насыщения управление транзистором почти отсутствует. В активном режиме такое управление осуществляется наиболее эффективно

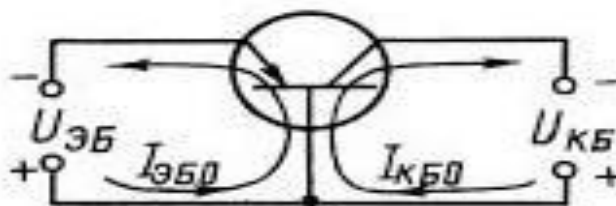
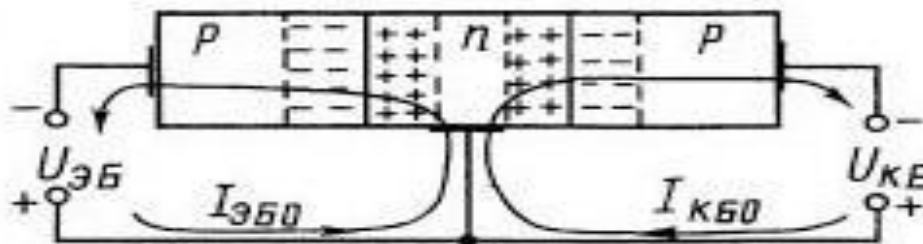
# 4 Режимы работы транзисторов

## 4.1 Режим отсечки

1. Эмиттерный и коллекторный р-п-переходы подключены к внешним источникам в обратном направлении.

Через оба р-п-перехода протекают очень малые обратные токи эмиттера ( $I_{ЭБ0}$ ) и коллектора ( $I_{КБ0}$ ).

$I_{\beta}$  равен сумме этих токов и в зависимости от типа транзистора находится в пределах от единиц мкА (у кремниевых транзисторов) до единиц миллиампер — мА (у германиевых транзисторов)



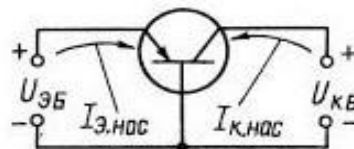
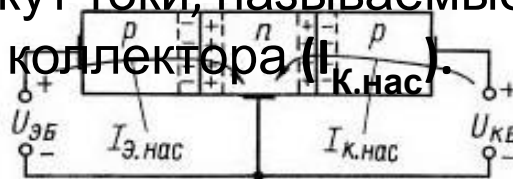
# 4 Режимы работы транзисторов

## 4.2 Режим насыщения

1. Эмиттерный и коллекторный p-n-переходы подключить к внешним источникам в прямом направлении.

Диффузионное электрическое поле эмиттерного и коллекторного переходов будет ослабляться электрическим полем, создаваемым внешними источниками  $U_{ЭБ}$  и  $U_{КБ}$ .

В результате уменьшится потенциальный барьер, ограничивавший диффузию основных носителей заряда, и начнется проникновение (инжекция) дырок из эмиттера и коллектора в базу, то есть через эмиттер и коллектор транзистора потекут токи, называемые токами насыщения эмиттера ( $I_{Э.нас}$ ) и коллектора ( $I_{К.нас}$ ).



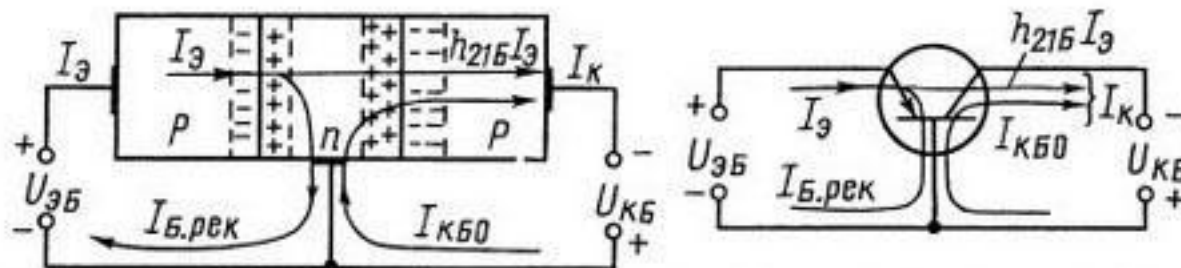
# 4 Режимы работы транзисторов

## 4.3 Активный режим

1. Применяется для усиления сигналов .
2. Эмиттерный переход включается в прямом, а коллекторный — в обратном направлениях.

Под действием прямого напряжения  $U_{ЭБ}$  происходит инжекция дырок из эмиттера в базу. Попав в базу n-типа, дырки становятся в ней неосновными носителями заряда . Часть дырок в базе заполняется (рекомбинирует) имеющимися в ней свободными электронами. Так как ширина базы небольшая (от нескольких ед. до 10 мкм), основная часть дырок достигает коллекторного p-n-перехода и его электрическим полем перебрасывается в коллектор.

В активном режиме ток базы в десятки и сотни раз меньше тока



Включение транзистора в активном режиме работы по схеме с общей базой

базой

# 5 Схемы включения биполярного транзистора

1. В предыдущей схеме ( см. активный режим) электрическая цепь, образованная источником  $U_{ЭБ}$ , эмиттером и базой транзистора, называется **входной**,
2. цепь, образованная источником  $U_{КБ}$ , коллектором и базой этого же транзистора, — **выходной**.
3. База - общий электрод транзистора для входной и выходной цепей, поэтому такое его включение называют **схемой с общей базой**

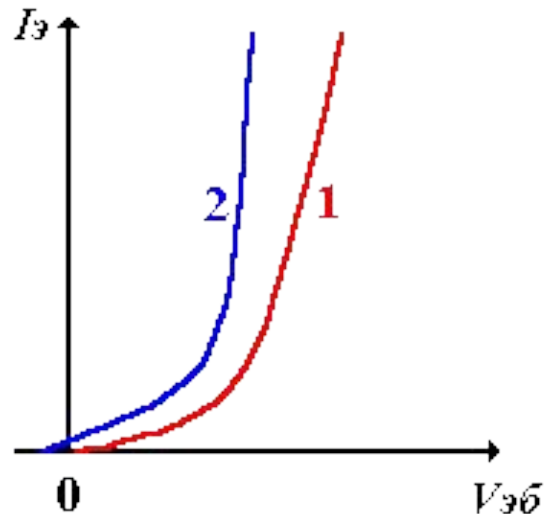


Рис. 2. Входные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общей базой: 1-  $V_{кб} = 0$ ; 2-  $V_{кб} < 0$

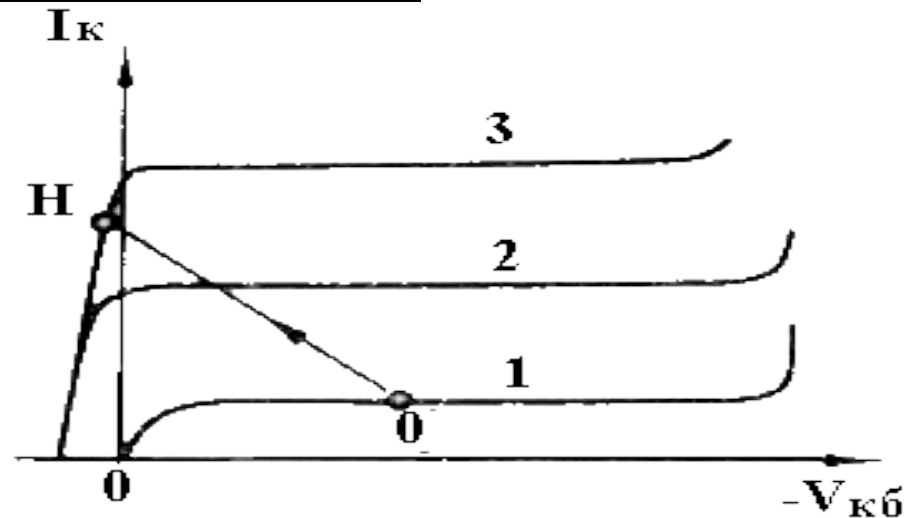
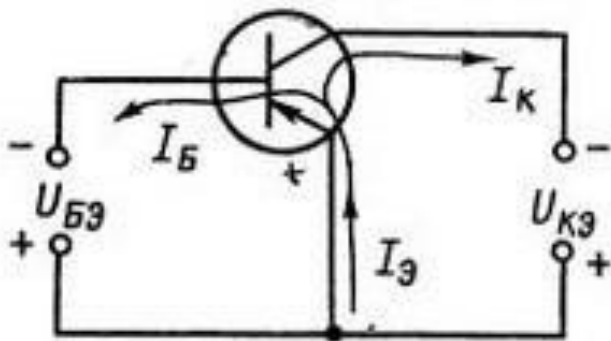


Рис. 3 Выходные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общей базой:  
1 -  $I_э = 0$ ; 2 -  $I_э1$ ;  
3 -  $I_э2 > I_э1$

# 5 Схемы включения биполярного транзистора

На рисунке изображена схема, в которой общим электродом для **входной и выходной** цепей является эмиттер. Это схема включения с **общим эмиттером**,

1. **выходной** ток - коллектора  $I_K$ , незначительно отличающийся от тока эмиттера  $I_Э$ ,
2. **входной** — ток базы  $I_B$ , значительно меньший, чем коллекторный ток.
3. Связь между токами  $I_B$  и  $I_K$  в схеме ОЭ определяется уравнением:  $I_K = h_{21} I_B + I_{KЭ0}$



Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

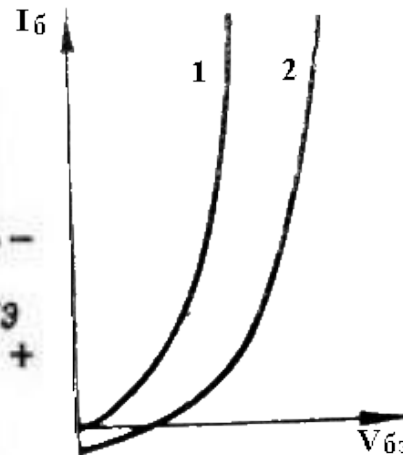


Рис. 5 Входные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером:  
1 -  $V_{КЭ} = 0$ ; 2 -  $V_{КЭ} < 0$

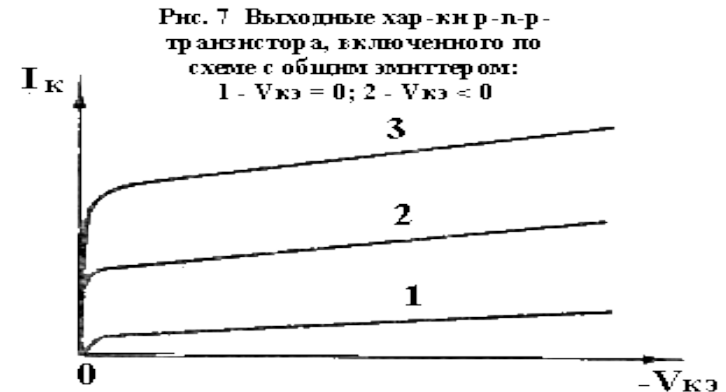


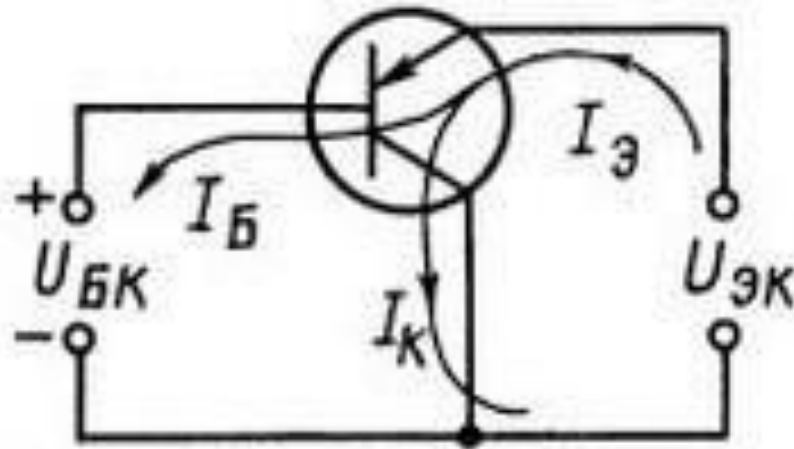
Рис. 7 Выходные хар-ки р-п-р транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером:  
1 -  $V_{КЭ} = 0$ ; 2 -  $V_{КЭ} < 0$

# 5 Схемы включения биполярного транзистора

Схемы, в которых общим электродом для входной и выходной цепей транзистора является коллектор. Это схема включения с общим коллектором (эмиттерный повторитель).

Независимо от схемы включения транзистора для него всегда справедливо уравнение, связывающее токи его электродов:

$$I_{\text{э}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}}$$



Включение транзистора по схеме с общим коллектором

# 5 Схемы включения биполярного транзистора

## Сравнительная оценка схем включения биполярных транзисторов

| Схе-<br>ма | Входное со-<br>противление | Выходное со-<br>противление | $K_I$  | $K_U$       | $K_P$       | Основное<br>применение<br>схем          |
|------------|----------------------------|-----------------------------|--------|-------------|-------------|---|
| ОЭ         | 10 Ом–10 кОм               | 10 Ом–100 кОм               | 10–200 | $10^2–10^4$ | $10^3–10^4$ | В качестве<br>усилителя                 |
| ОБ         | 10–100 Ом                  | 100 кОм–1 МОм               | < 1    | $10^2–10^4$ | $10^4–10^3$ | В качестве<br>генератора                |
| ОК         | 100 кОм–1 МОм              | 10 Ом–1 кОм                 | 10–200 | < 1         | 10–200      | В качестве<br>согласующе-<br>го каскада |

$K_I$  - коэффициент усиления по току

$K_U$  - коэффициент усиления по  
напряжению

$K_P$  - коэффициент усиления по  
мощности



## 6 Параметры и характеристики биполярных транзисторов

### Эксплуатационные параметры

1. Коэффициенты передачи эмиттерного  $\alpha$  или базового  $\beta$  токов.
2. Обратный ток коллекторного перехода при заданном обратном напряжении на КП:  

$$I_{кбо} = I_{к0} \text{ (доли мкА десятки мА)}$$
3.  $r_{б}$  – объемное сопротивление базы (сотни Ом);
4.  $r_{к}$  – дифференциальное сопротивление обратно смещенного КП (сотни кОм единицы МОм) или  $h_{22}$  – выходная проводимость;
5.  $U_{кн}$  – напряжение насыщения коллектор-эмиттер (десятые доли В единицы В);
6.  $C_{к}$  – емкость обратно смещенного коллекторного перехода (единицы десятки пФ);
7.  $R_{Т}$  – тепловое сопротивление между КП и корпусом  $R_{Т} = \Delta T / P_{к \max}$ , где  $\Delta T = T_{п} - T_{к}$  – перепад температур между переходом и корпусом транзистора;
8.  $f_{\beta}, f_{\alpha}$  – предельная частота передачи тока в схеме ОЭ и ОБ, соответственно.

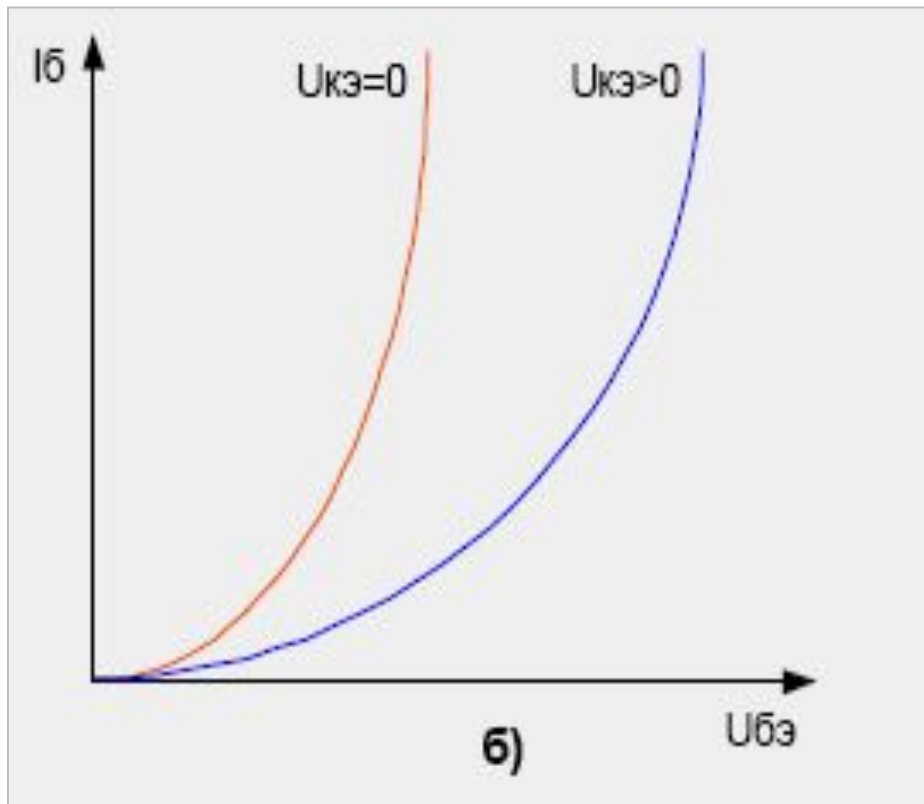
### Максимально допустимые параметры

9.  $I_{к \max}$  – максимально допустимый ток коллектора (сотни мА десятки А);
10.  $U_{кэ \max}$  – максимально допустимое напряжение К-Э;
11.  $P_{к \max}$  – максимально допустимая мощность, рассеиваемая коллектором (до десятков Вт);
12.  $U_{бэ \text{ обр } \max}$  – максимально допустимое обратное напряжение ЭП;
13.  $I_{б \max}$  – максимально допустимый прямой ток базы.

Превышение параметрами предельно-допустимых значений  $I_{к \max}, U_{кэ \max}, P_{к \max}, I_{б \max}, U_{бэ \text{ обр } \max}$  ведет к выходу транзистора из строя.

# 6 Параметры и характеристики биполярных транзисторов

## Статические характеристики транзистора (по схеме с ОЭ)



5.1. Входная характеристика - зависимость входного тока от входного напряжения при постоянном выходном напряжении.

$$I_{BX} = f(U_{BX})$$

при  $U_{ВХ} = \text{const}$

Для схемы с ОЭ:

$$I_{б} = f(U_{бэ})$$

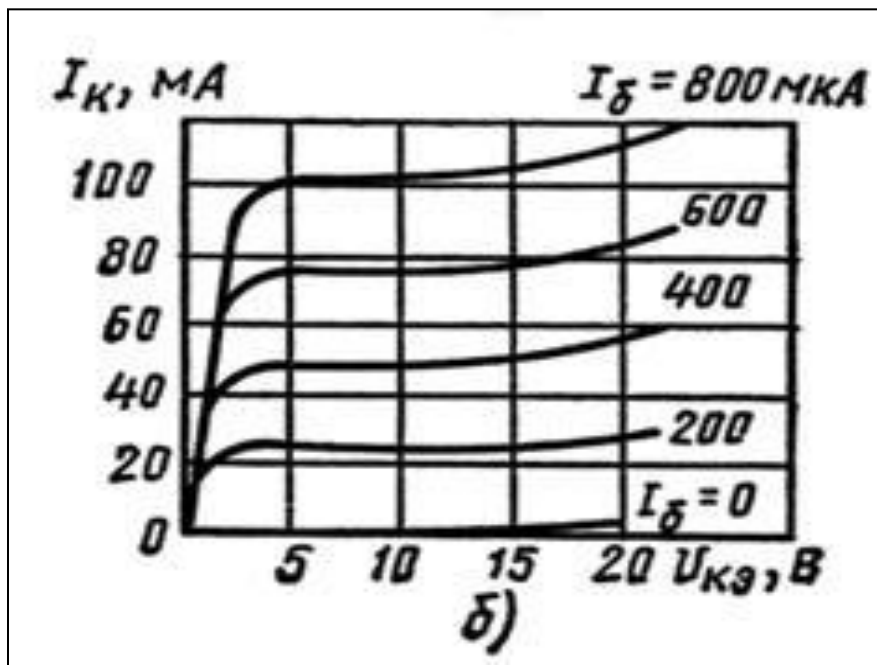
при  $U_{кэ} = \text{const}$

# 6 Параметры и характеристики биполярных транзисторов

## Статические характеристики транзистора (по схеме с ОЭ)

**Выходная характеристика.** Это зависимость выходного тока от выходного напряжения при постоянном входном токе.

**Для схемы с ОЭ:**  $I_K = f(U_{KЭ})$  при  $I_B = \text{Const}$



# 7 Общие сведения о полевых транзисторах

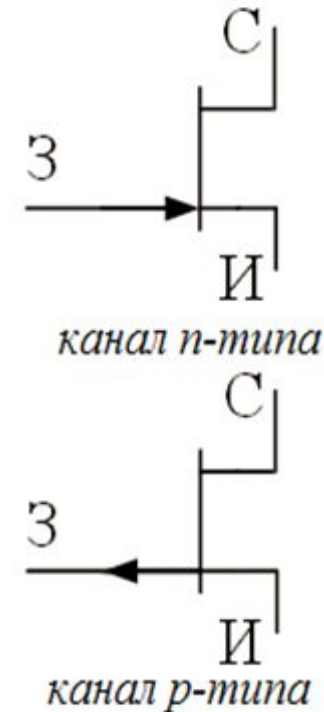
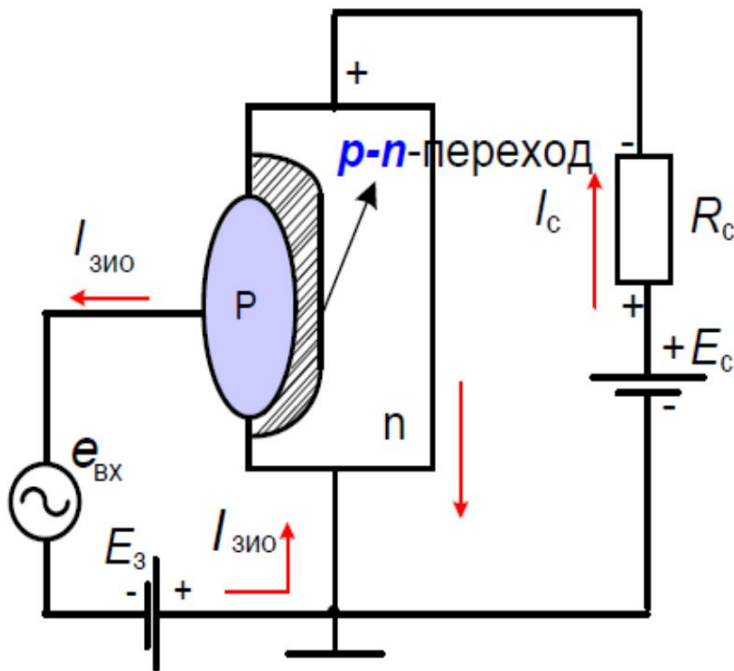
**Полевым транзистором** называется полупроводниковый прибор, работа которого основана на модуляции сопротивления полупроводникового материала поперечным электрическим полем. Т.е. управление в таком транзисторе осуществляется полем.

Полевые транзисторы часто называют униполярными. Т.к. в канале протекают носители одного типа.

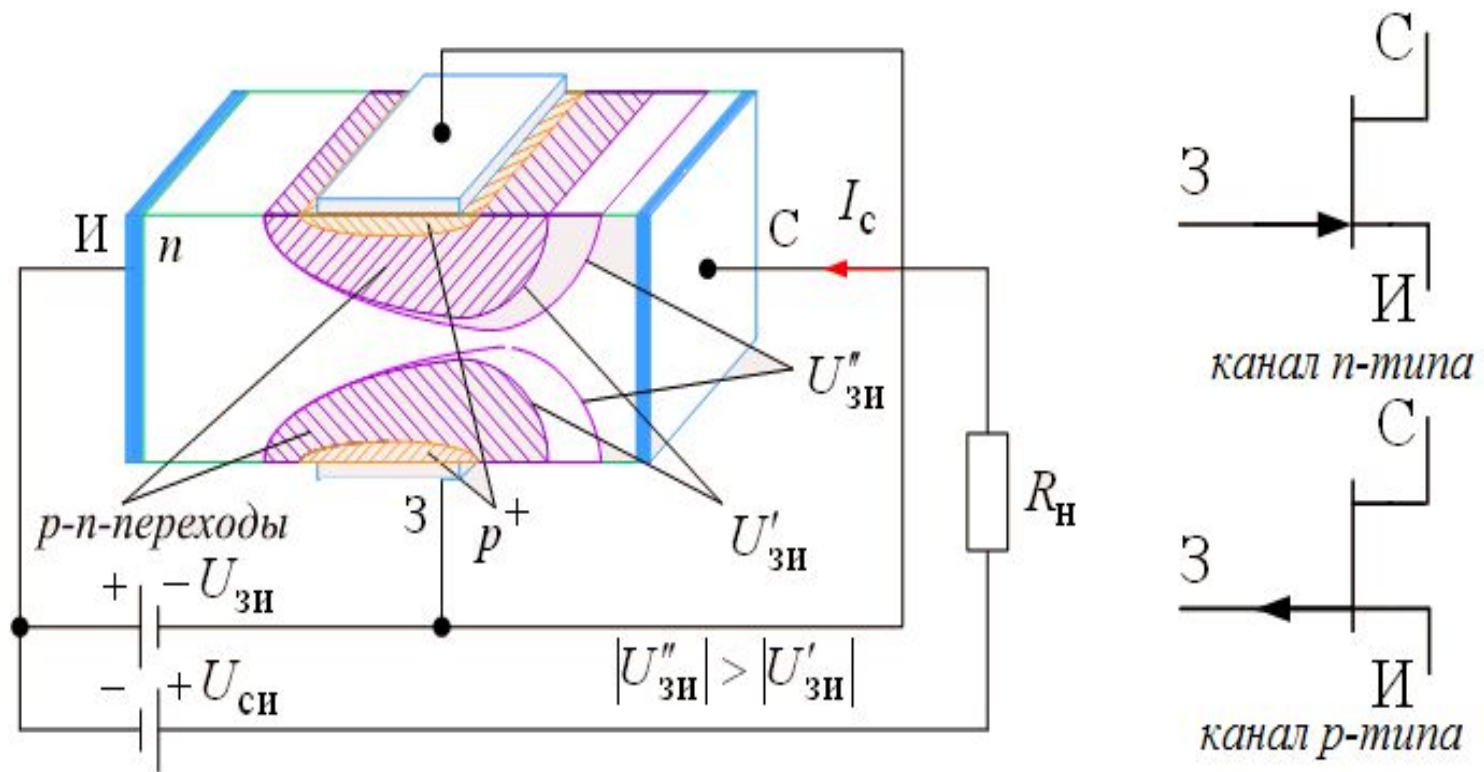
- Электрод, от которого движутся основные носители заряда в канале, называют истоком, а электрод, к которому движутся, - стоком. Управляющий электрод называют затвором.
- Для эффективного управления выходным током материал основного полупроводника должен быть высокоомным. Кроме того, начальная ширина канала должна быть достаточно малой – порядка нескольких микрон.

## 8 Полевые транзисторы с управляющим $p-n$ -переходом

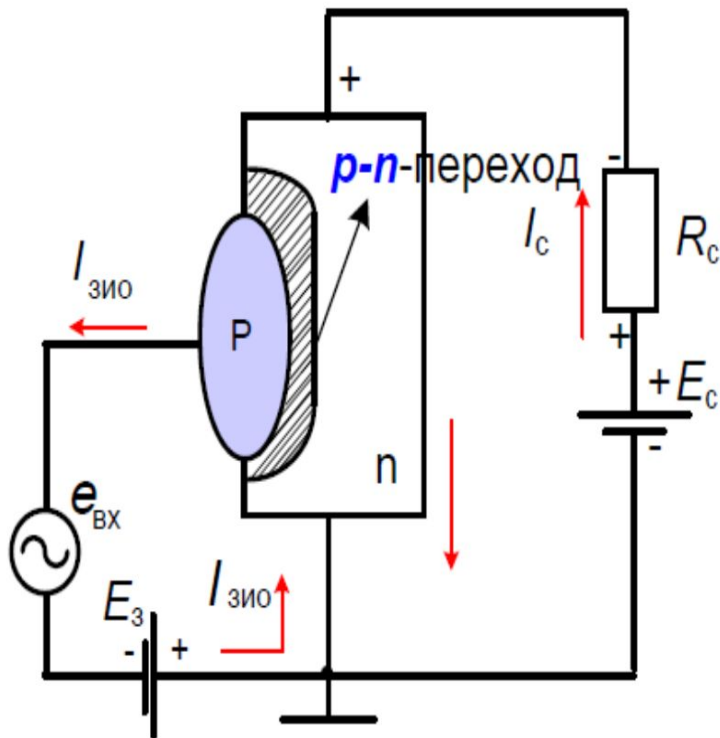
Полевой транзистор представляет собой монокристалл полупроводника (например  $n$  – типа) по торцам которого сформированы электроды, а посередине создана область противоположного типа проводимости (соотв.  $p$ -типа) и выводы от этой области. Тогда на границе раздела областей с различным типом проводимости возникнет  $p-n$ -переход.



## 8 Полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом



## 8 Полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом



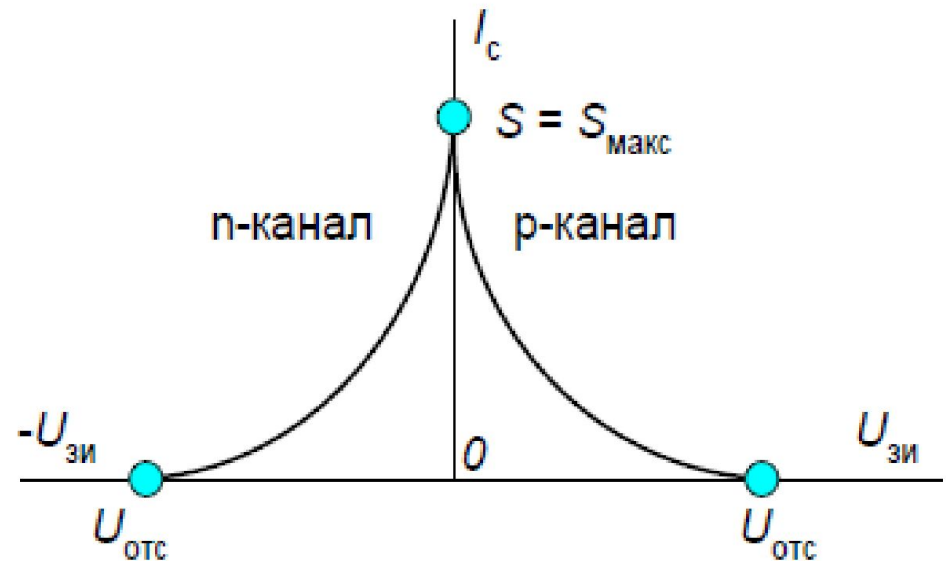
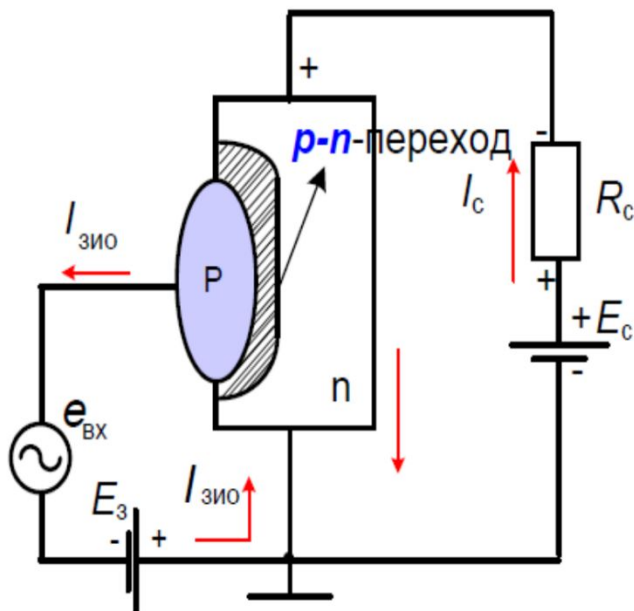
При изменении входного напряжения изменяется обратное напряжение на переходе и от этого изменяется его ширина. Соответственно изменяется площадь поперечного сечения канала, через который проходит поток основных носителей заряда.



# 9 Параметры и характеристики полевых транзисторов

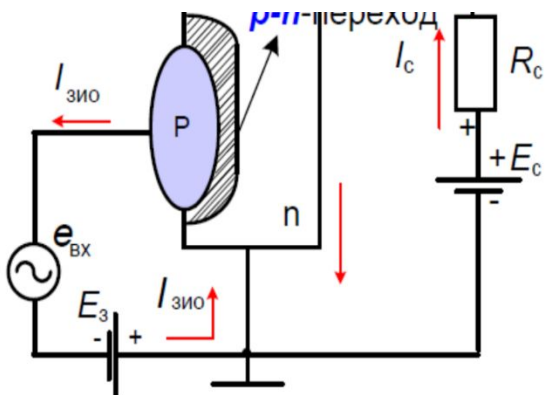
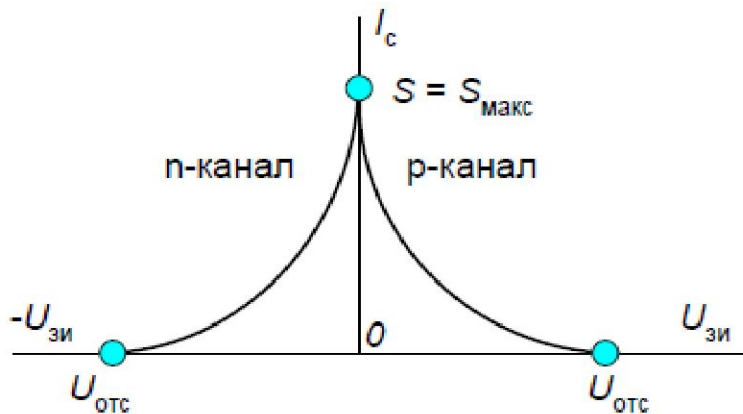
## Стоко-затворная характеристика канал n-

- Управляющее действие затвора наглядно иллюстрирует стоко-затворная характеристика  $I_c = f(U_{зи})$  при  $U_{си} = \text{const}$ .
- При  $U_{зи} = 0$  сечение канала наибольшее, его сопротивление минимально, и, следовательно, ток максимален. Если  $U_{зи}$  становится отрицательным, площадь поперечного сечения канала уменьшается, ток снижается. При некотором запирающем напряжении, называемом напряжением отсечки, площадь поперечного сечения станет равной нулю и ток стока будет очень

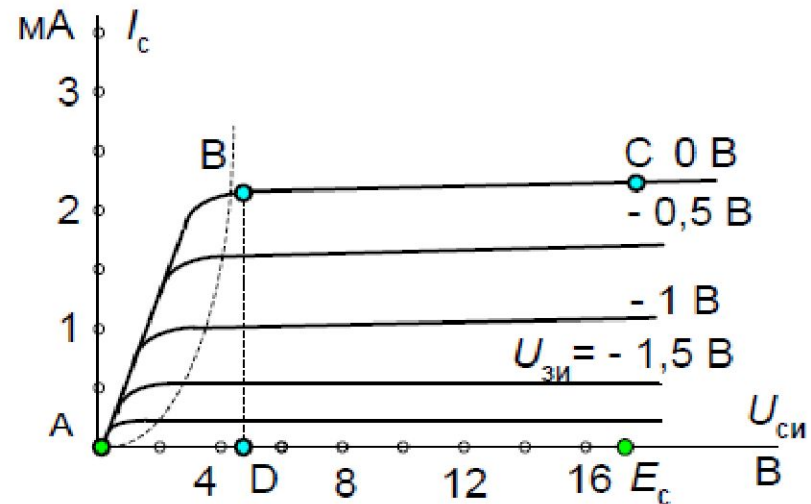


# 9 Параметры и характеристики полевых транзисторов

Стоко-затворная характеристика



Выходная характеристика

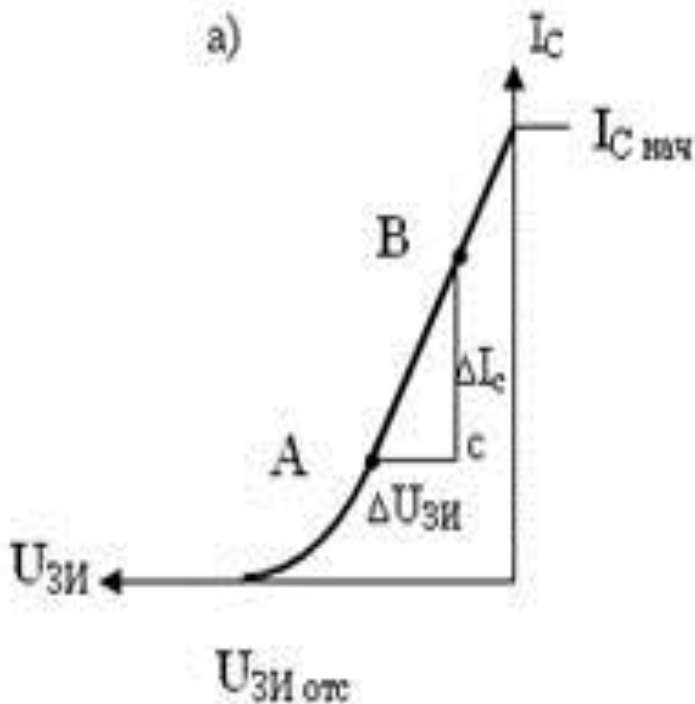


- Активный режим
- Режим насыщения
- Режим отсечки

# 9 Параметры и характеристики полевых транзисторов

## Основные параметры ПТ

- 1) Напряжение отсечки.
- 2) Крутизна стоко-затворной характеристики. Она показывает, на сколько миллиампер изменится ток стока при изменении напряжения на затворе на 1В.

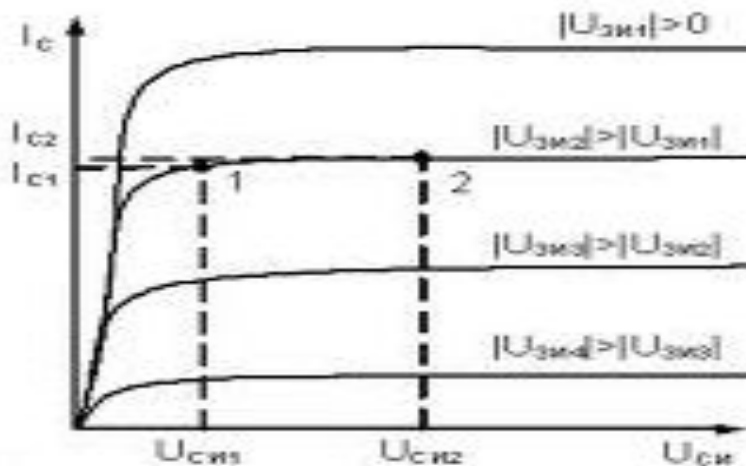


$$S = \Delta I_c / \Delta U_{зи} \text{ , mA/V}$$

при  $U_{си} = \text{const}$

## 9 Параметры и характеристики полевых транзисторов

3) Внутреннее сопротивление (или выходное) полевого транзистора.



$$R_i = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c} \text{ при } U_{зи} = Const$$

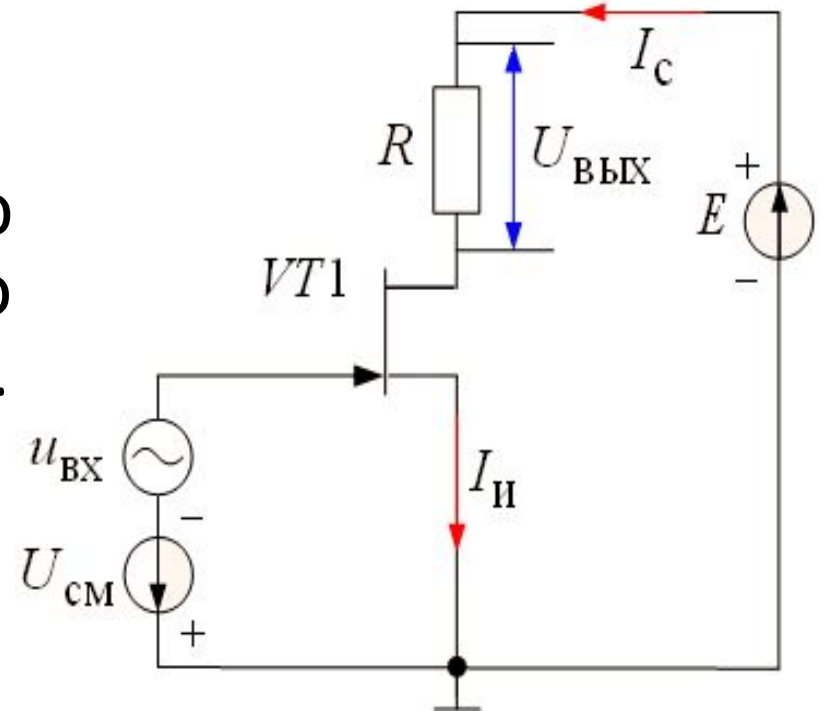
4) Входное сопротивление

$$R_{вх} = \frac{\Delta U_{зи}}{\Delta I_з} \leq 10^9 \text{ Ом}$$

# 10 Схемы включения ПТ

## Схема с общим истоком

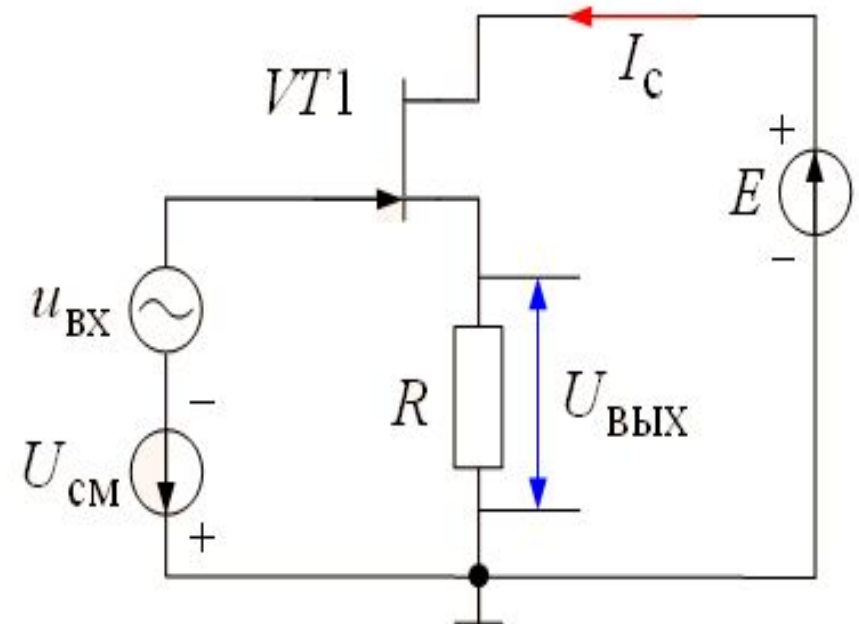
1. Имеет большой коэффициент усиления по току и по напряжению
2. Изменяет фазу входного сигнала на 180 градусов.
3. Относительно большие входное и выходное сопротивления.



# 10 Схемы включения ПТ

## Схема с общим стоком

1. Подобна эмиттерному повторителю и называется истоковый повторитель.
2. Выходное напряжение по фазе повторяет входное.
3. Коэффициент усиления по напряжению меньше единицы.
4. Высокое входное сопротивление и низкое выходное сопротивление.

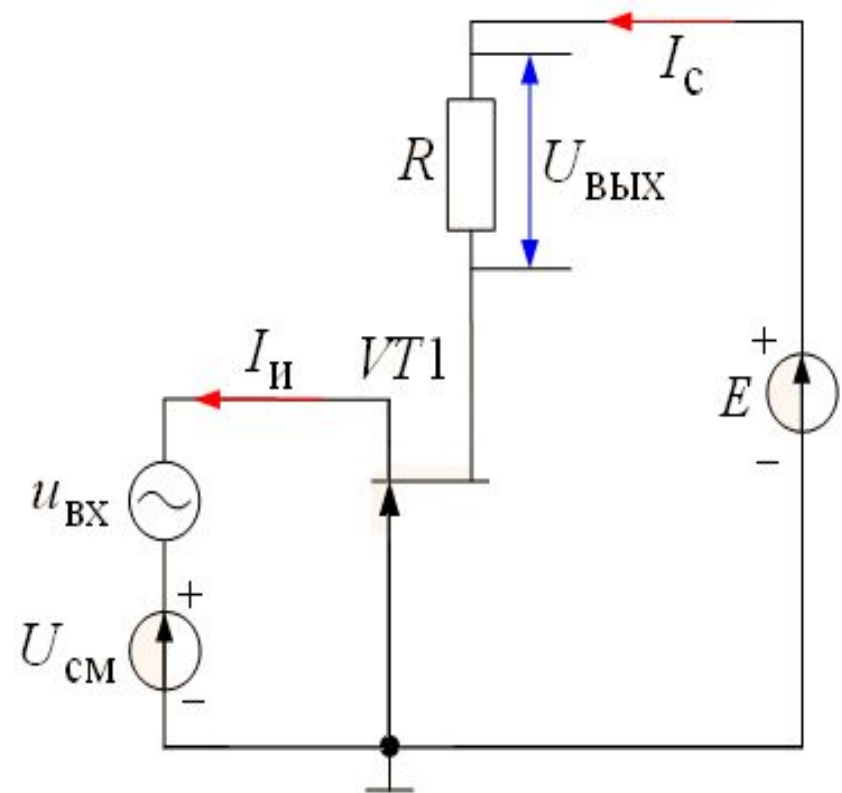


# 10 Схемы включения ПТ

## Схема с общим затвором

1. Аналогична схеме с общей базой.
2. Не дает усиления по току и поэтому коэффициент усиления по мощности незначителен.
3. Фаза напряжения при усилении не изменяется.
4. Входное сопротивление мало, так как входным током является ток истока.

**Поэтому отдельно практически не используется**



**Спасибо за  
внимание!**