

# ***Полевые транзисторы***

**Полевой транзистор** – полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены движениями основных носителей заряда одного знака через проводящий канал и который управляется электрическим полем, создаваемым входным напряжением.

Управляющий электрод полевого транзистора называется затвором. Он должен быть изолирован от канала.

По способу изоляции затвора различают:

- транзисторы с управляющим  $p - n$  переходом (или с  $p - n$  затвором).
- с изолированным затвором.

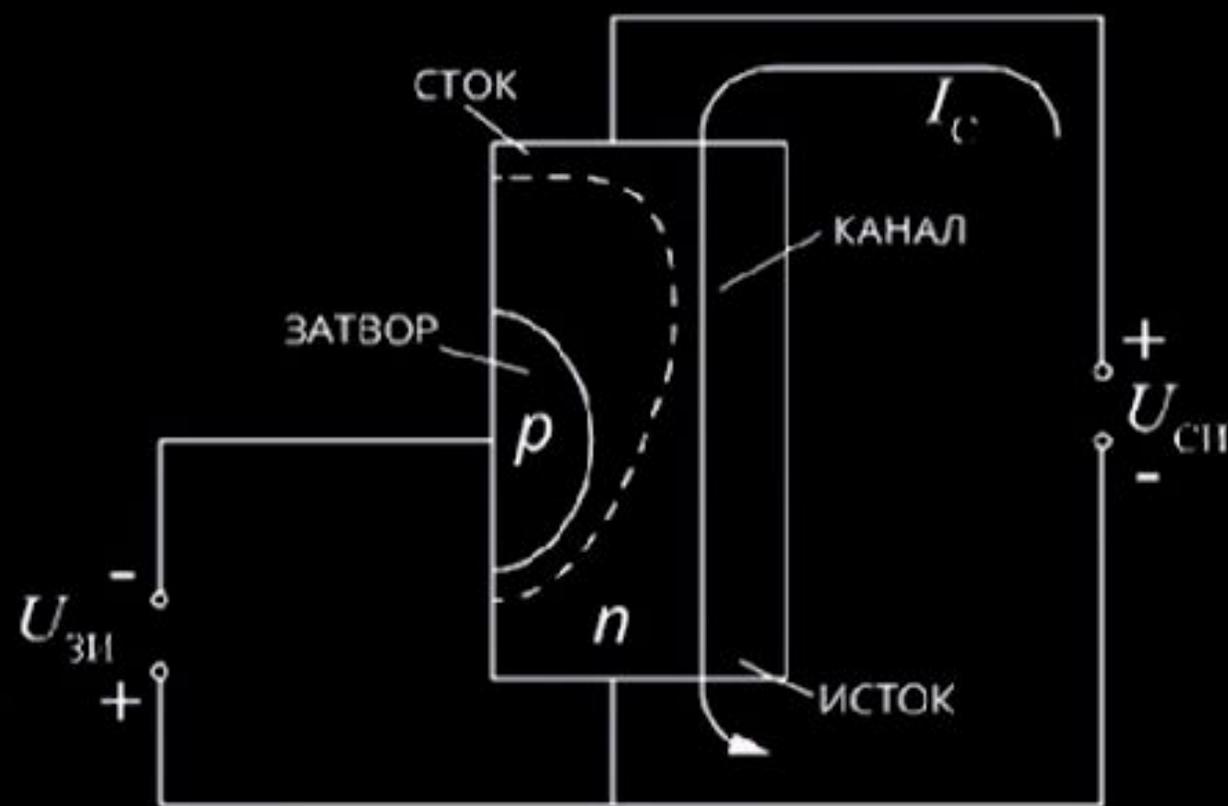
***Полевые  
транзисторы  
с р-п-затвором***

## Устройство и принцип действия

Источник  $U_{зи}$  создает на  $p - n$  -переходе обратное напряжение. За счет более низкой концентрации примесей в канале запирающий слой  $p - n$  -перехода в основном располагается в  $p$ -типа.

Под действием источника  $U_{си}$  через канал потечет ток основных носителей (электронов) от истока (И) к стоку (С).

Принцип управления током в полевом транзисторе: изменяя  $U_{зи}$ , можно регулировать толщину запирающего слоя и ширину канала, изменяя его сопротивление и тем самым варьируя ток стока.



Затвор – полупроводник  $p$  -типа.

Канал – полупроводник  $n$  -типа.

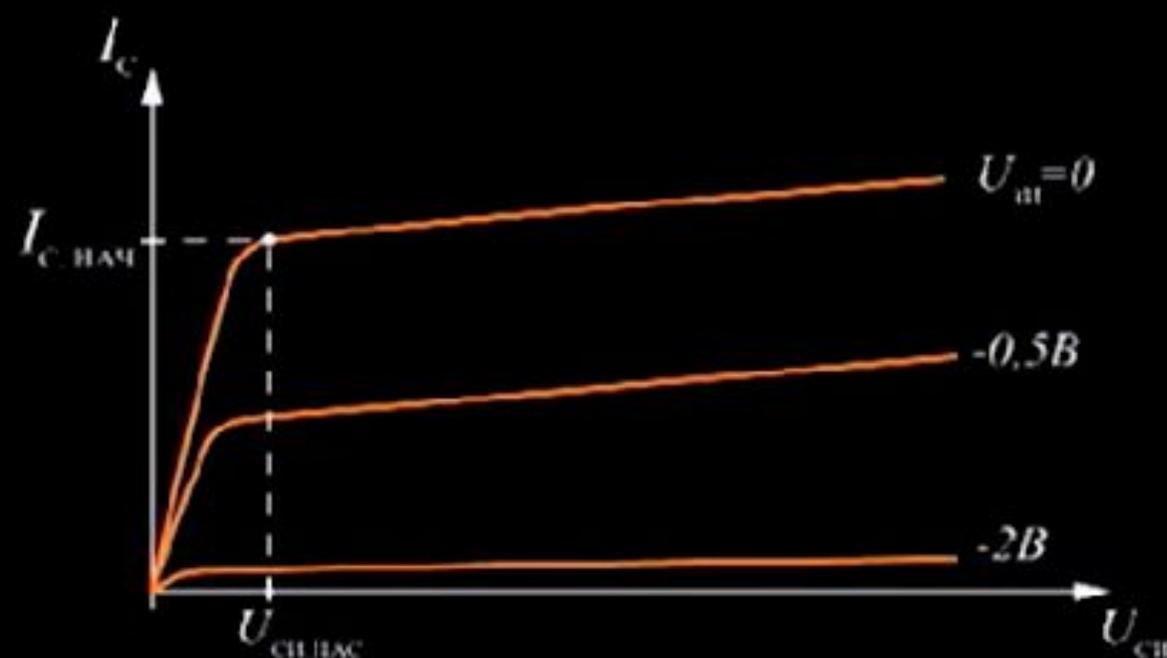
На их границе образуется  $p - n$  -переход.

# Статические характеристики

## 1. Выходные характеристики

С ростом напряжения  $U_{си}$  ток стока  $I_c$  сначала увеличивается согласно закону Ома, а затем достигает насыщения. Это объясняется равновесием двух процессов: роста тока по закону Ома и его уменьшения за счет перекрытия канала запирающим слоем  $p-n$ -перехода.

Если увеличить  $|U_{зи}|$ , то сопротивление канала возрастет, и ток стока уменьшится.



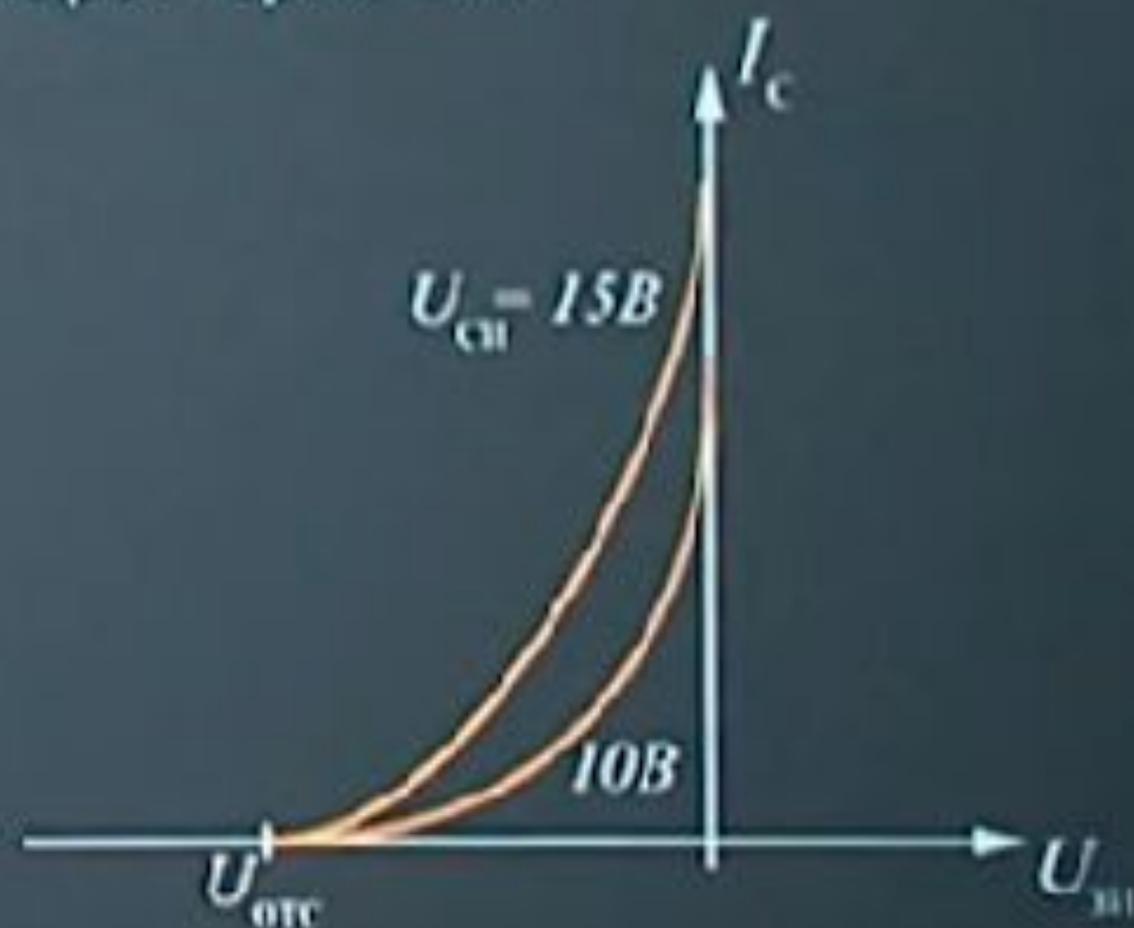
$U_{си,нас}$  – напряжение насыщения

$I_{c,нач}$  – начальный ток стока

$$I_c = f(U_{си}) \Big|_{U_{зи} = const}$$

## 2. Передаточные (управляющие) характеристики

$$I_c = f(U_{\text{эл}}) \Big|_{U_{\text{сш}} = \text{const}}$$



Напряжение отсечки ( $U_{\text{отс}}$ ) - это напряжение, при котором  $I_c = 0$ .

***Полевые  
транзисторы  
с изолированным  
затвором***

Такие транзисторы имеют структуру металл – диэлектрик – полупроводник (МДП – транзисторы). В роли диэлектрика может выступать оксид –  $\text{SiO}_2$  (МОП – транзистор).

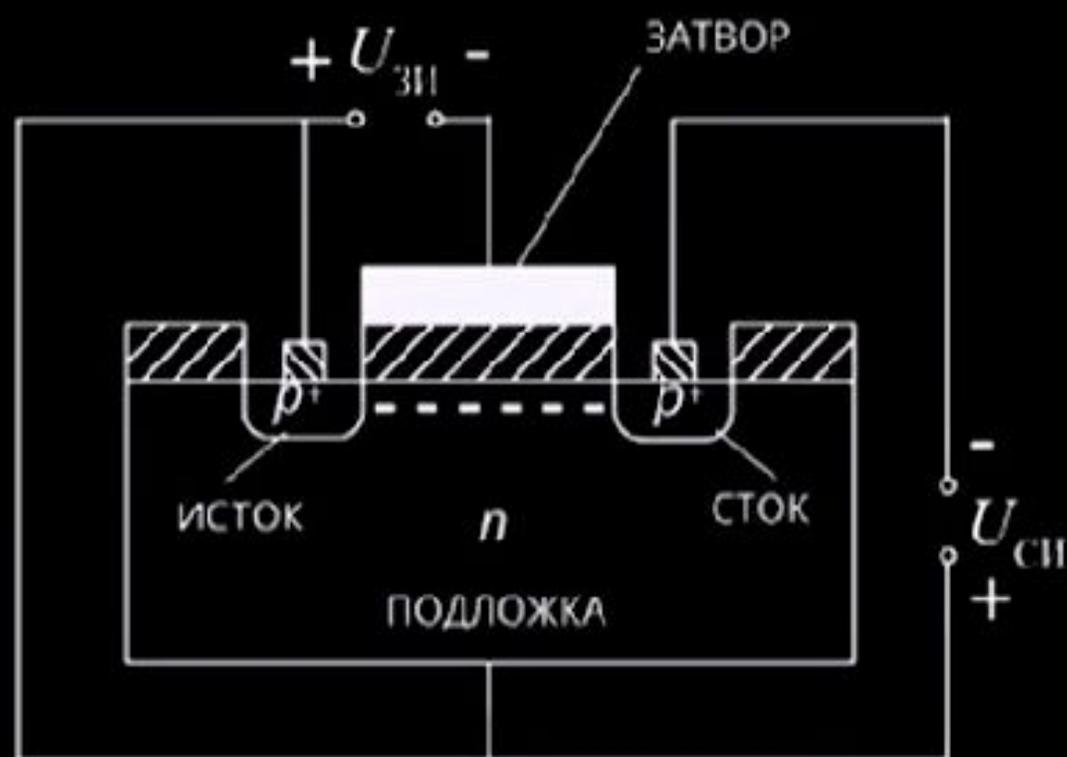
Две разновидности МДП транзисторов:

- с индуцированным каналом
- со встроенным каналом

Области стока и истока  $p$  – типа образуют с подложкой  $n$  – типа два встречно включенных  $p - n$  – перехода. При подключении к ним источника любой полярности  $I = 0$ .

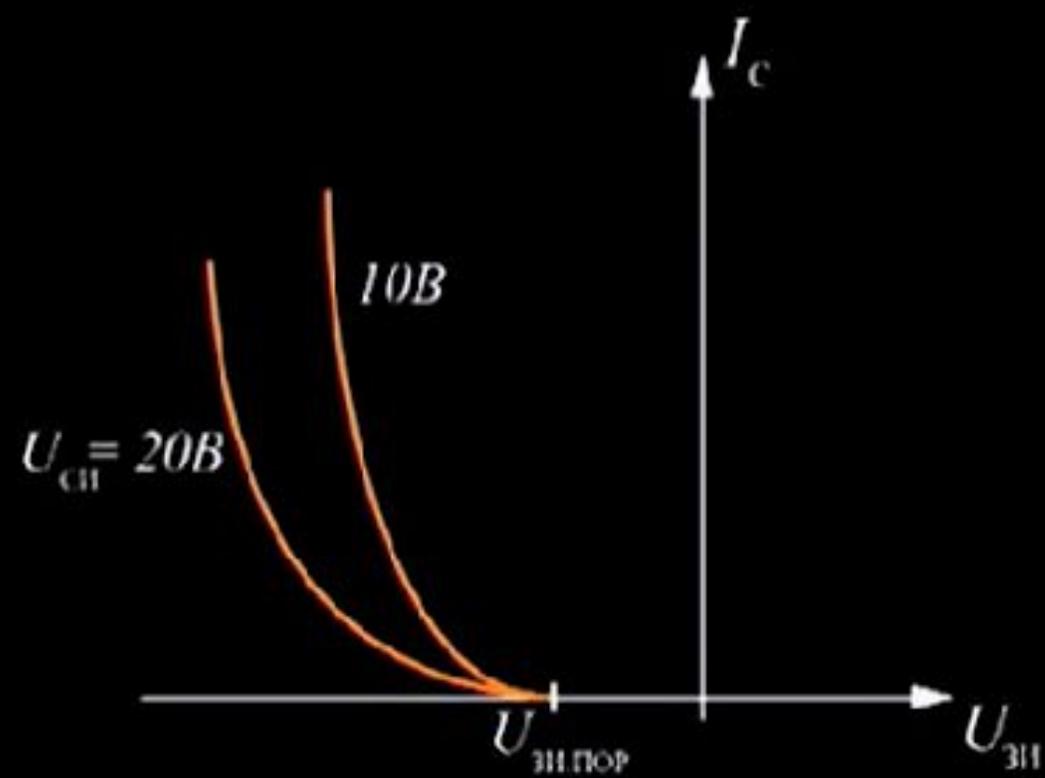
Если  $U_{зи} < 0$ ,  $|U_{зи}| > |U_{зипор}|$ , то в слое полупроводника под затвором будут накапливаться дырки, образуя канал  $p$  – типа.

При  $\uparrow |U_{зи}|$  толщина канала растет,  $I_c \uparrow$ .

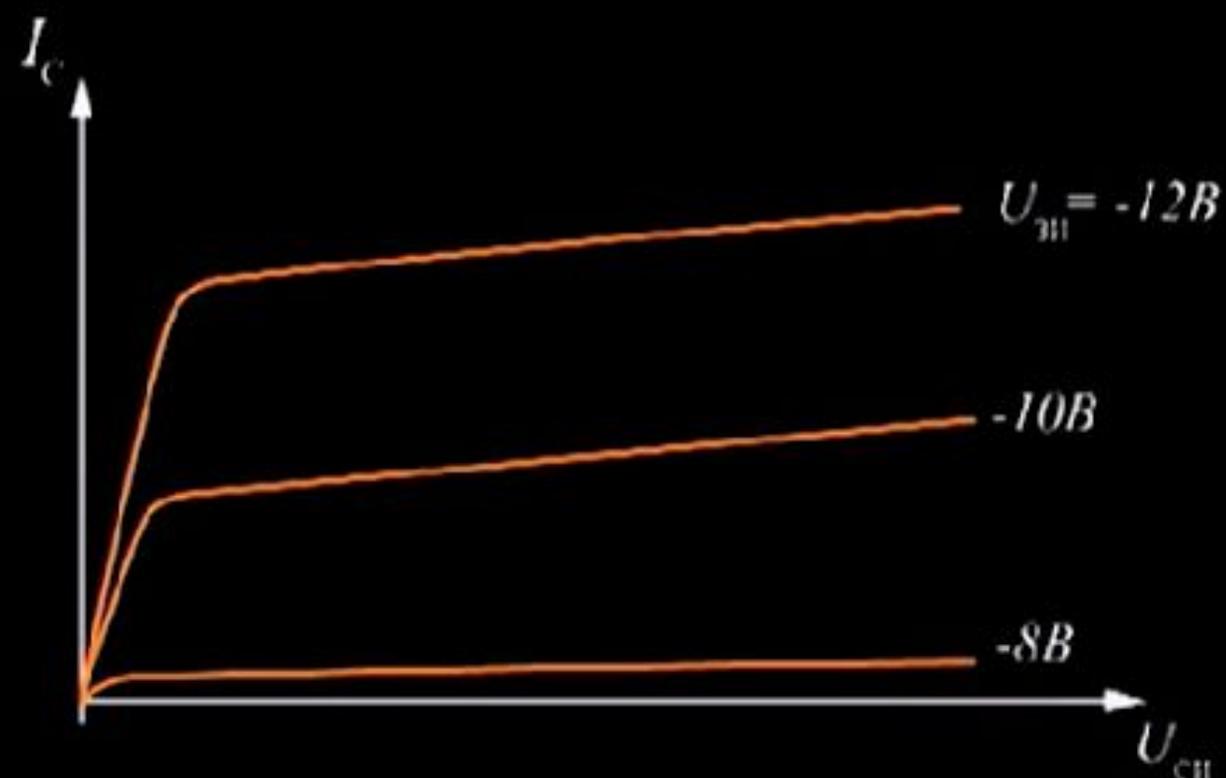


МДП – транзистор с индуцированным каналом

Передаточные характеристики:



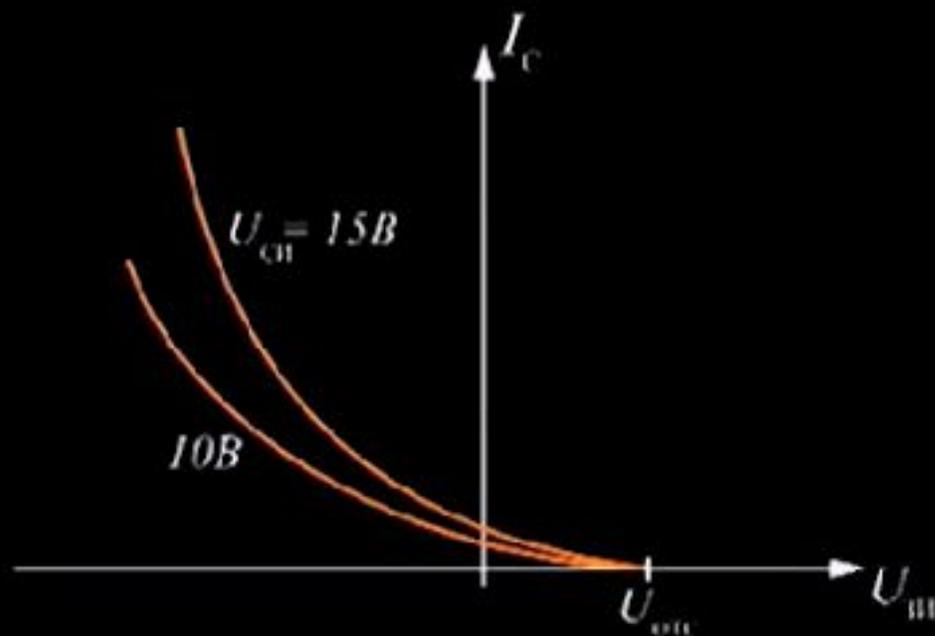
Выходные характеристики:



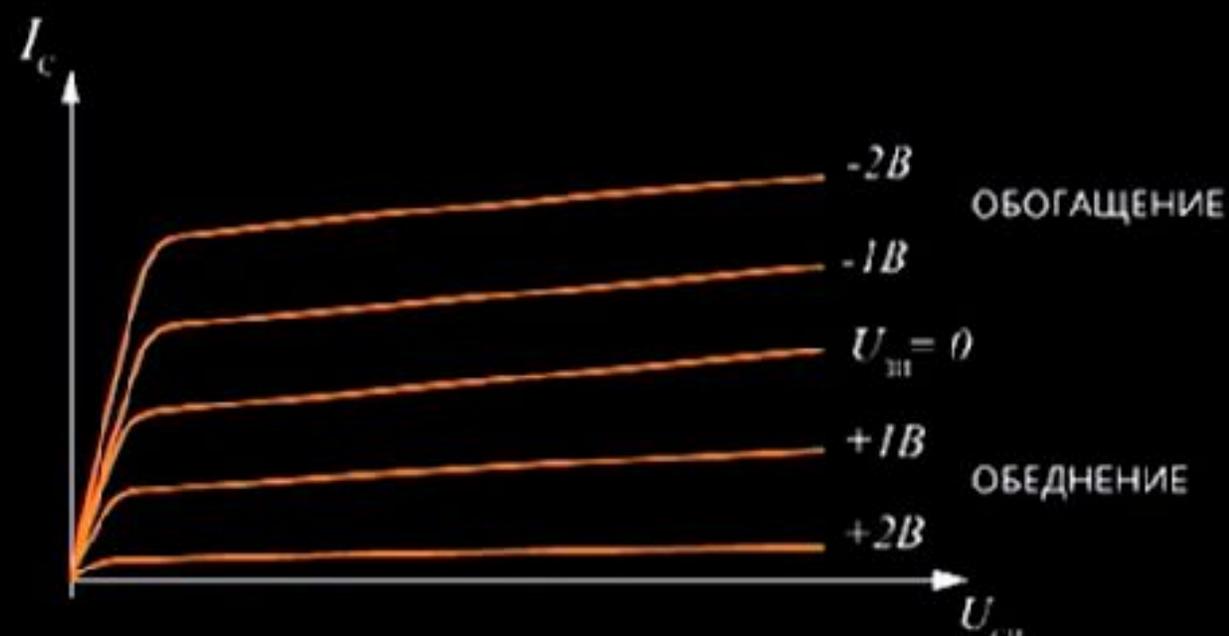
# МДП транзисторы со встроенным каналом

В МДП транзисторах со встроенным каналом канал создается в процессе изготовления с тем же типом проводимости, что сток и исток.

Передаточные характеристики:



Выходные характеристики:



$U_{зп} > 0$  – режим обеднения  
 $U_{зп} < 0$  – режим обогащения

***Параметры  
полевых  
транзисторов***

$$S = \left. \frac{dI_c}{dU_{зи}} \right|_{U_{си} = const}$$

Крутизна - характеризует усилительные свойства транзистора (мА/В)

$$r_i = \left. \frac{dU_{си}}{dI_c} \right|_{U_{зи} = const}$$

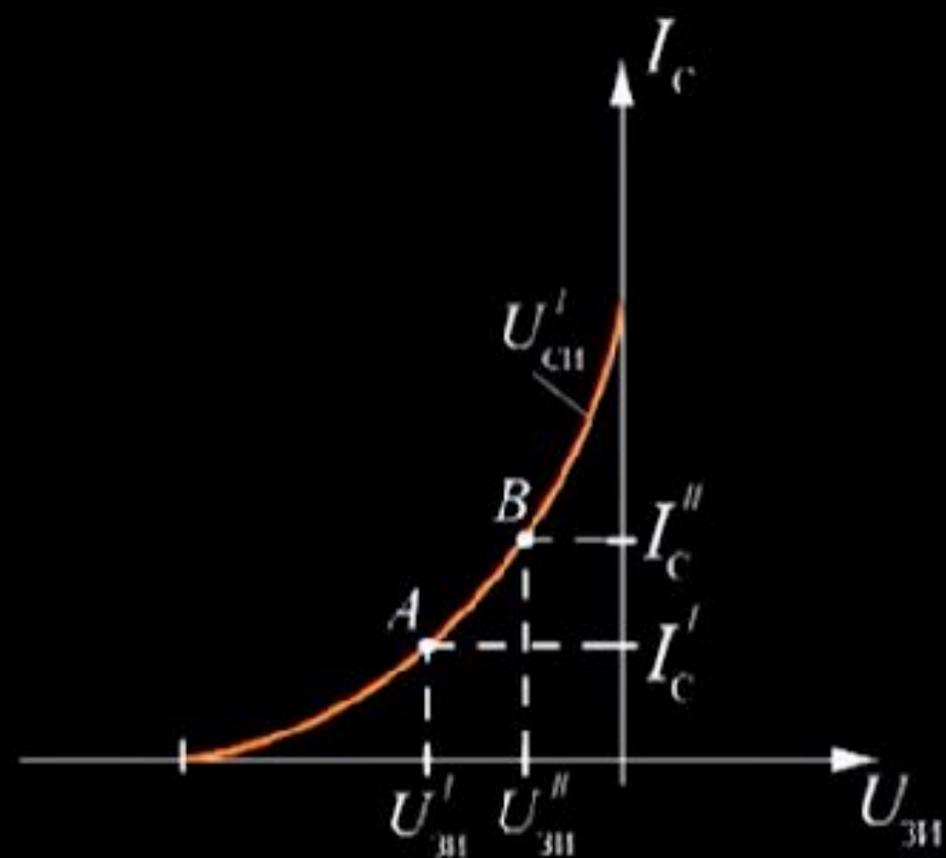
Дифференциальное сопротивление - сопротивление полевого транзистора переменному току.

$$\mu = \left. \frac{dU_{си}}{dU_{зи}} \right|_{I_c = const}$$

Статический коэффициент усиления

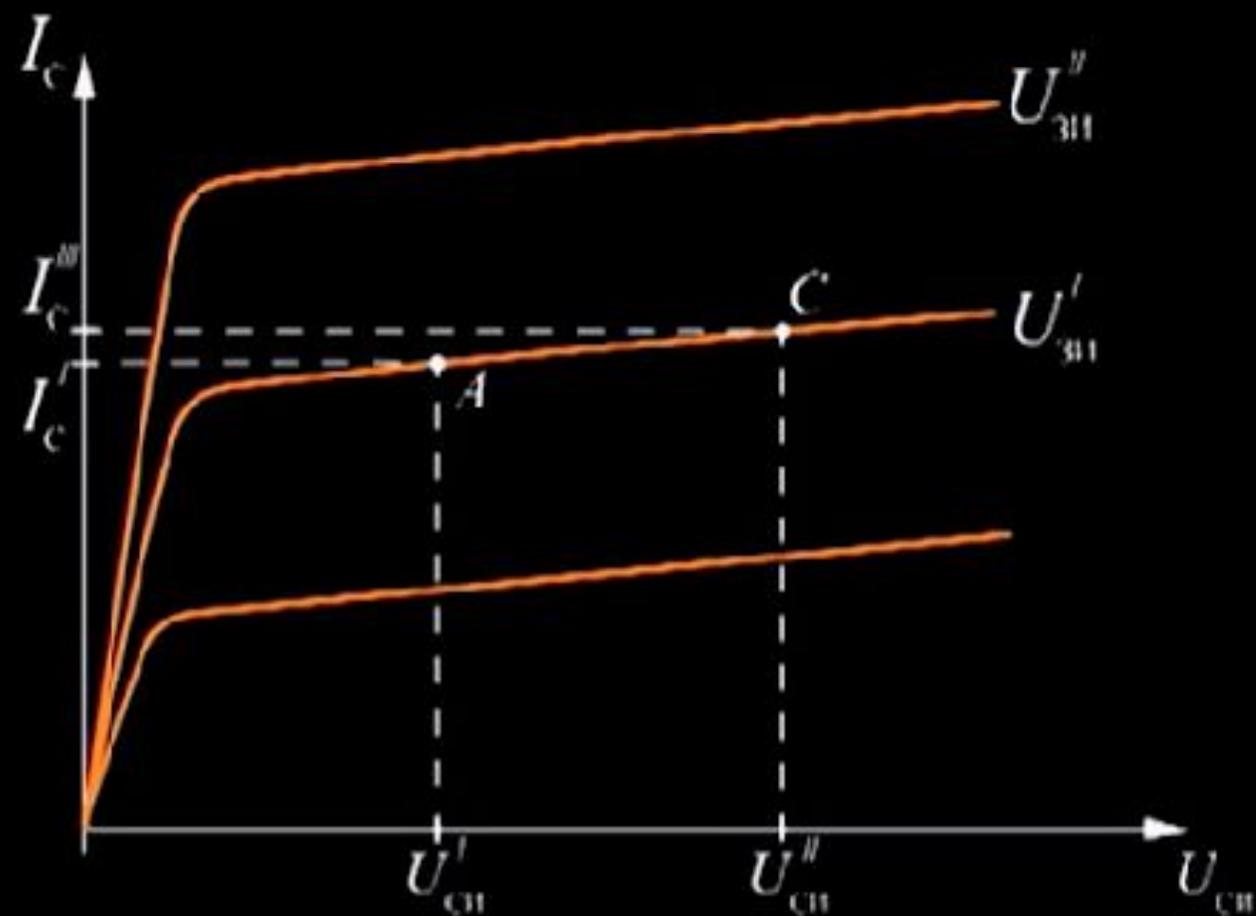
$$\mu = r_i S$$

Крутизну можно определить по передаточной характеристике:



$$S = \frac{I_c'' - I_c'}{U_{си}'' - U_{си}'}$$

$r_i$  можно определить по выходным характеристикам:



$$r_i = \frac{U_{си}'' - U_{си}'}{I_c'' - I_c'}$$

# Преимущества полевых транзисторов

1. Высокое входное сопротивление
2. Высокая термическая и радиационная стойкость
3. Большая плотность расположения элементов при изготовлении микросхем

## Условные обозначения полевых транзисторов

