

# Полевые транзисторы

---

Полевой транзистор – полупроводниковый прибор, в котором регулирование тока осуществляется изменением проводимости проводящего канала с помощью поперечного электрического поля

Электроды полевого транзистора – исток (И), сток (С) и затвор (З).

Управляющее напряжение прикладывается между затвором и истоком

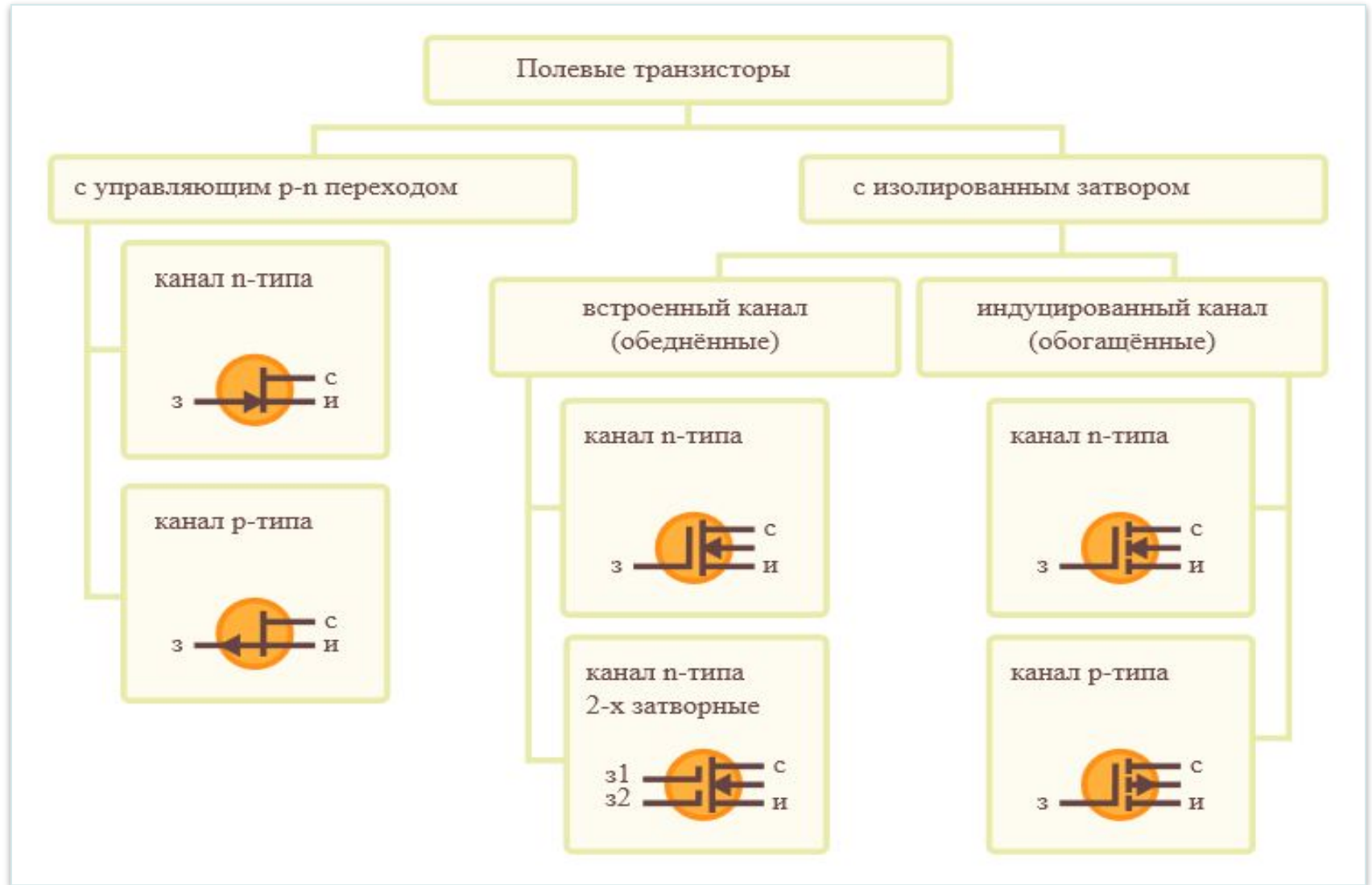
# Полевые транзисторы

---

## Классификация полевых транзисторов

1. С управляющим  $p-n$ -переходом;
2. С металлическим затвором, изолированным от канала диэлектриком. Приборы этого класса часто также называют МДП транзисторами (от словосочетания металл - диэлектрик - полупроводник) и МОП транзисторами (от словосочетания металл - окисел - полупроводник), поскольку в качестве диэлектрика чаще всего используется окись кремния.

# Классификация полевых транзисторов



# Полевые транзисторы

---

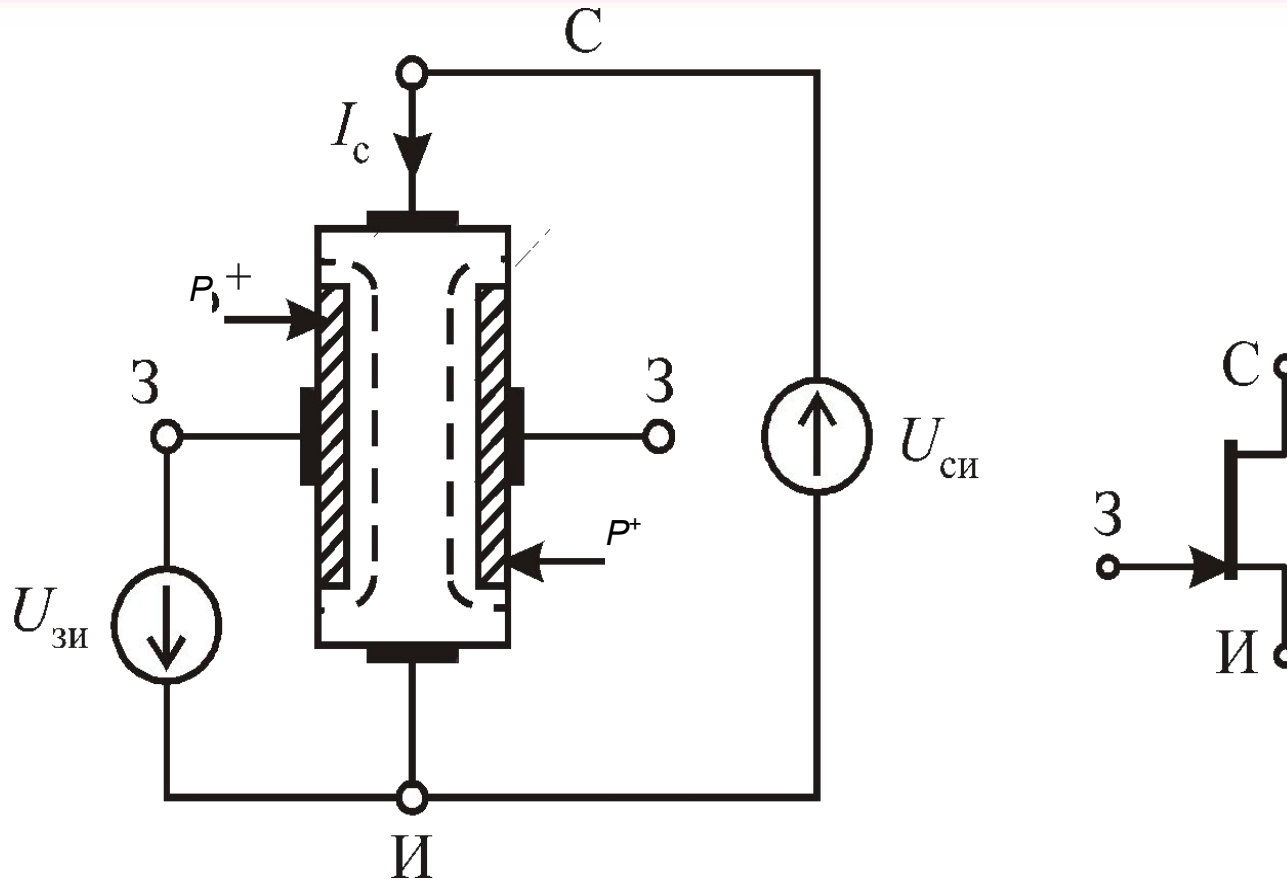
Основной особенностью полевых транзисторов, по сравнению с биполярными, является их высокое входное сопротивление, которое может достигать  $10^9 - 10^{10}$  Ом. Таким образом, эти приборы можно рассматривать как управляемые потенциалом, что позволяет на их основе создать схемы с чрезвычайно низким потреблением энергии в статическом режиме. Последнее особенно существенно для электронных статических микросхем памяти с большим количеством запоминающих ячеек.

# Полевые транзисторы

---

Полевые транзисторы относятся к приборам униполярного типа, это означает, что принцип их действия основан на дрейфе основных носителей заряда. Последнее обстоятельство значительно упрощает их анализ по сравнению с биполярными приборами, поскольку, в первом приближении, возможно пренебречь диффузионными токами, неосновными носителями заряда и их рекомбинацией.

# Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом



В полевых транзисторах с управляющим переходом (ПТУП) для изменения проводимости канала используется эффект изменения ширины области пространственного заряда (ОПЗ) обратного смещенного перехода при изменении приложенного к нему напряжения затвора.

# Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом

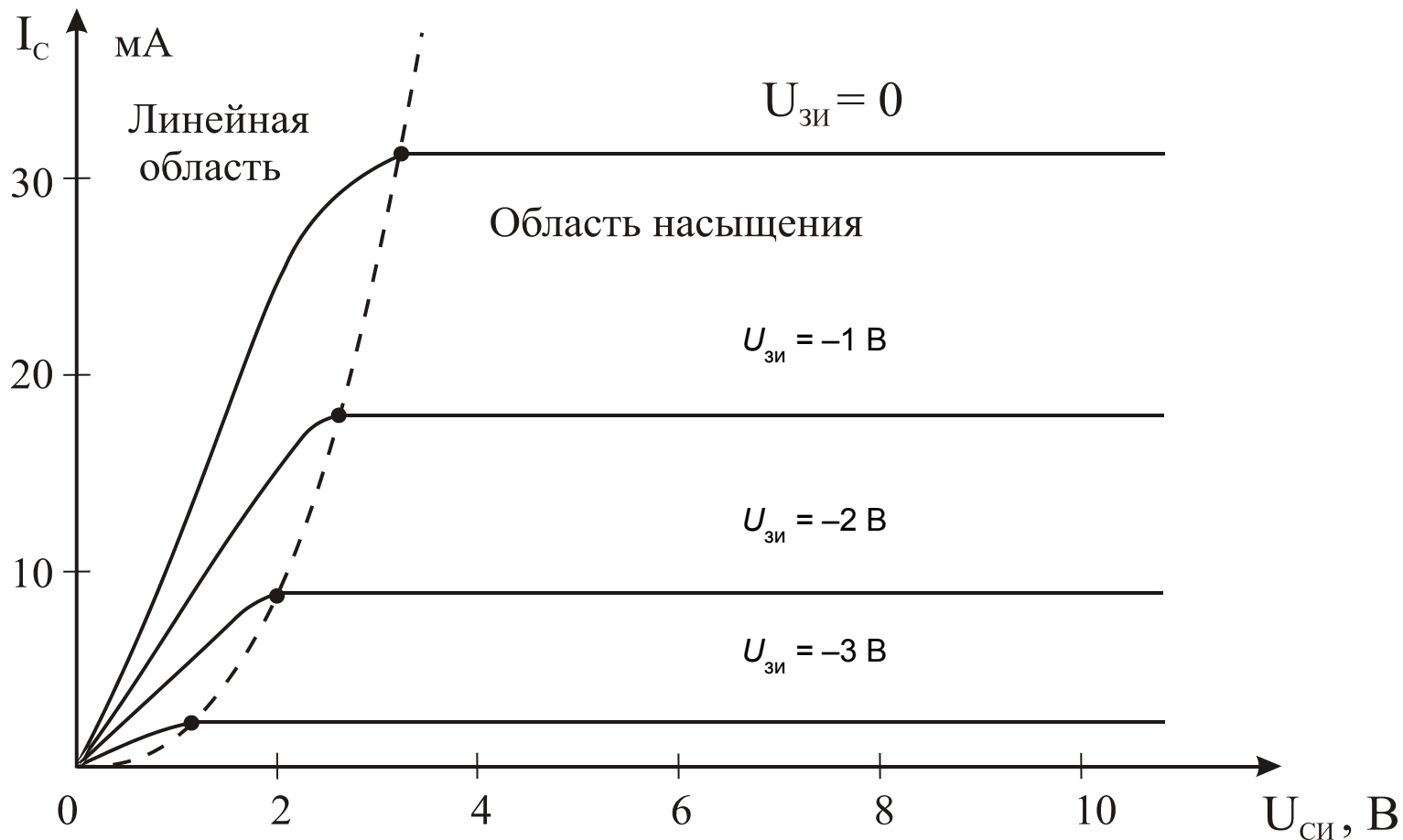
---

Транзистор включается таким образом, чтобы  $pn$  переход затвора находился под обратным смещением, а полярность напряжения исток - сток выбирается такой, чтобы основные носители заряда под действием электрического поля в канале смещались к стоку. Для  $n$  - канального транзистора, показанного на рис. на сток относительно истока должен подаваться положительный потенциал, к которому под действием поля будут дрейфовать электроны. На затвор относительно стока необходимо подавать отрицательный потенциал, чтобы затворный переход находился под обратным смещением.

Поскольку ОПЗ обладает высоким сопротивлением, то при увеличении ширины ОПЗ сечение канала уменьшается и его сопротивление возрастает. Самое низкое сопротивление канала и, соответственно, самый большой ток через него будет при нулевом напряжении на затворе ( $U_z = 0$ ), затем по мере увеличения ширины ОПЗ при возрастании  $U_z$  и, соответственно, уменьшении сечения канала ток будет падать и при некотором напряжении отсечки  $U_{zo}$  канал полностью перекроется и ток через него перестанет возрастать. Соответствующие вольтамперные характеристики ПТУП приведены на рис. 7.

# Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом

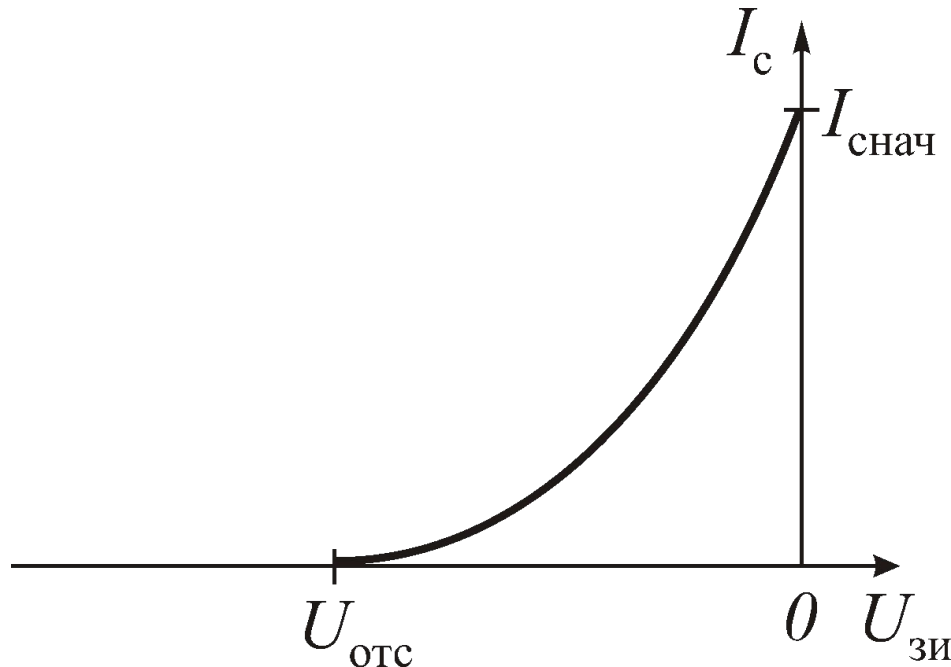
## Выходные характеристики





# Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом

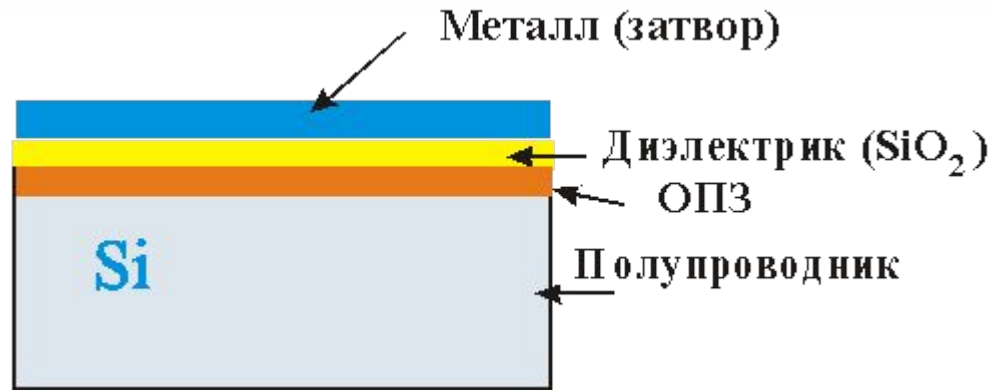
*Передаточная характеристика*



При напряжении затвор-исток, равном напряжению отсечки  $U_{отс}$  ток стока близок к нулю.

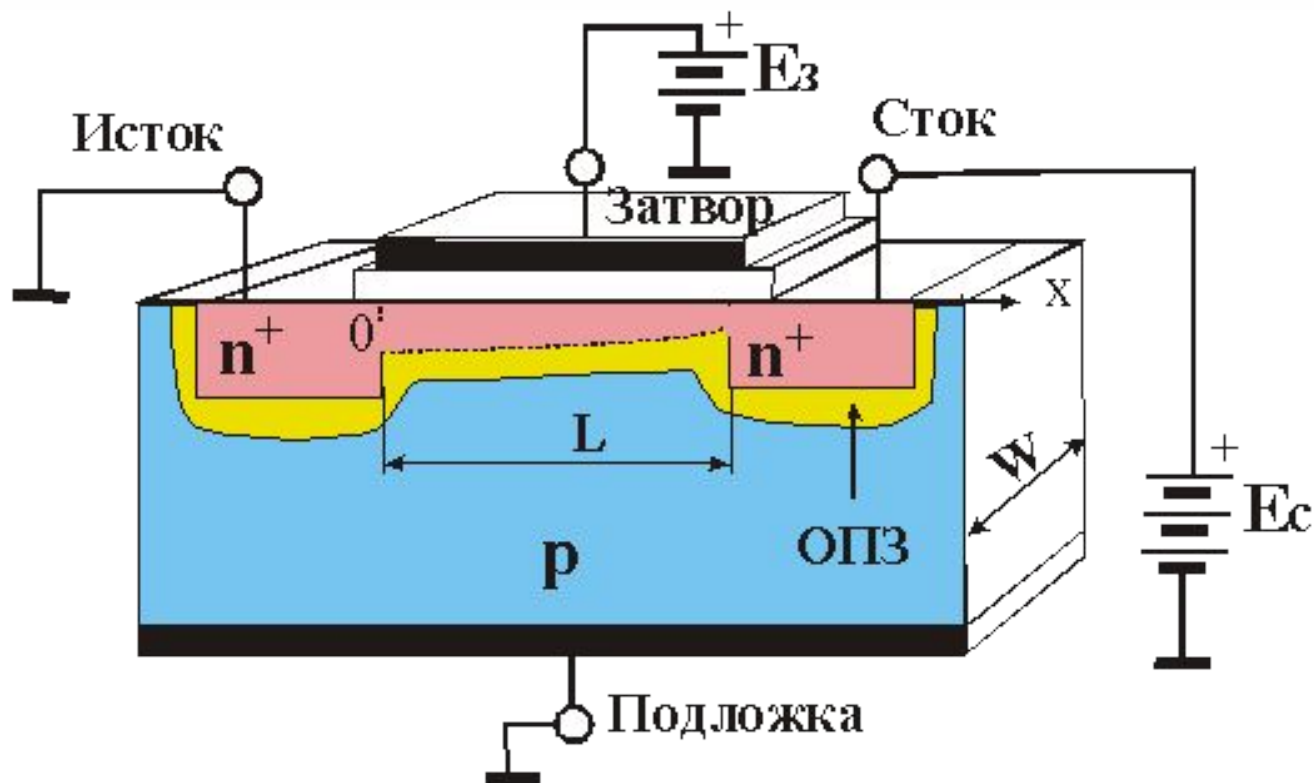
У  $n$ -канального ПТ напряжение затвор-исток отрицательно.

# МОП-транзистор с индуцированным каналом



В основе работы полевых транзисторов с изолированным затвором лежат свойства МДП структуры. По существу эта структура представляет плоский конденсатор одной из обкладок которого служит металл (затвор), второй полупроводник. Особенность такого МДП конденсатора по отношению к классическому МДМ конденсатору в том, что в объеме полупроводника заряд может быть связан с носителями разной физической природы и разной полярности: свободными электронами и дырками, заряженными положительно ионизованными донорами, заряженными отрицательно ионизованными акцепторами, а так же заряженными дефектами. В МДП структуре в отличие от рп перехода существует гетерограница разделяющая две среды с различной структурой это, например, граница разделяющая полупроводник и его окисле или другой диэлектрик или полупроводник и воздух (вакуум).

# МОП-транзистор с индуцированным каналом



**Рис. 8.** МДП транзистор с индуцированным n каналом.

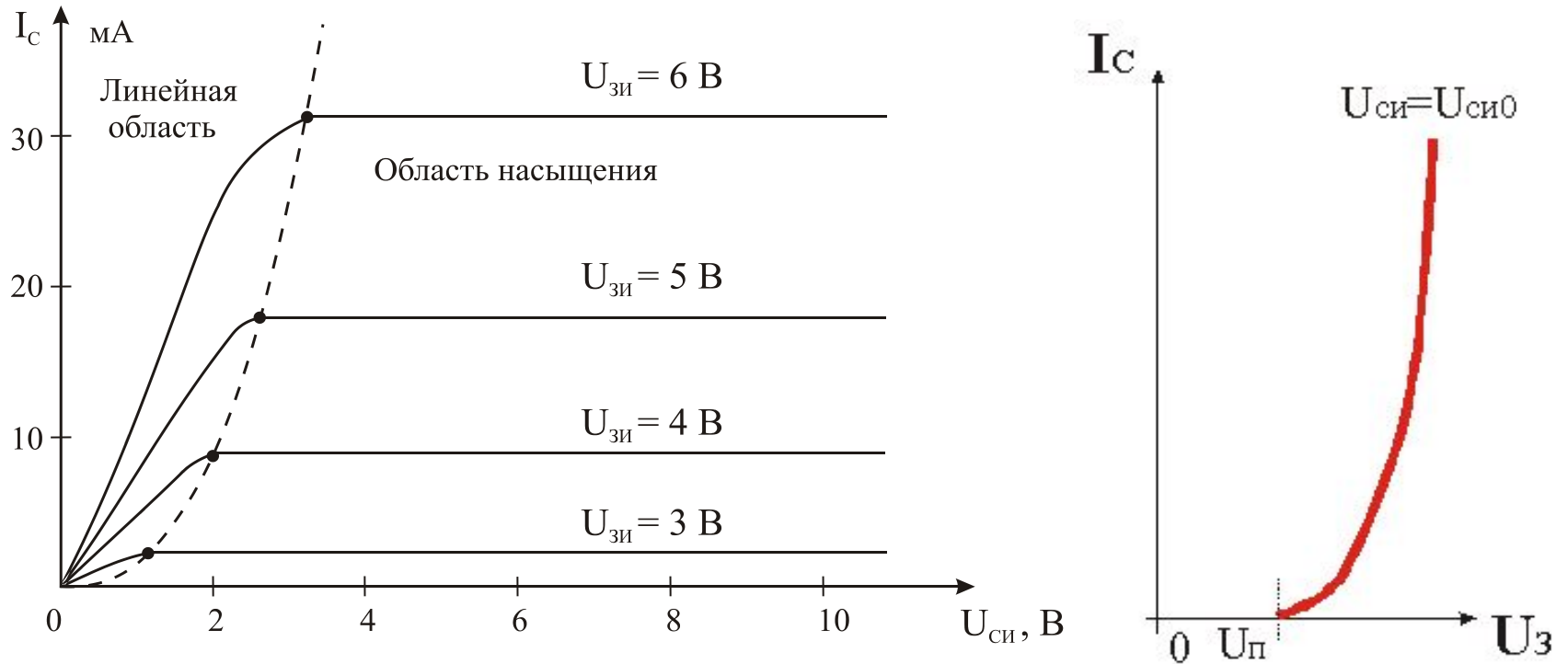
В основе работы МДП транзистора лежит рассмотренный в предыдущем слайде эффект управления поверхностной проводимостью и поверхностным током с помощью затвора. Для того, чтобы обеспечить прохождение управляемого тока под затвором, создают две электродные области: исток и сток.

# МОП-транзистор с индуцированным каналом

---

Полупроводниковые области истока и стока создают из сильно легированного, обладающего хорошей проводимостью, материала, отличающегося по типу проводимости от материала базового кристалла. Таким образом, при отсутствии разности потенциалов на затворе между истоком и стоком оказываются два встречно включенных диода и соответственно, ток в этой цепи будет равен обратному току одного из диодов, т.е. весьма мал, и транзистор будет находиться в закрытом состоянии. Для того, чтобы транзистор открылся, на затвор необходимо подать такой потенциал относительно потенциала подзатворной области, чтобы на поверхности произошла инверсия проводимости. При этом под затвором индуцируется область  $n$  типа, образующая канал, соединяющий  $n$ -области истока и стока, встречно включенные,  $pn$  переходы исчезают и в стоковой цепи начинает протекать ток. Разность потенциалов затвора, при которой происходит инверсия проводимости подзатворной области и начинает протекать ток, называют пороговой ( $U_p$ ). Стоковый ток тем выше, чем больше индуцированный в канале заряд и, соответственно, больше проводимость индуцированного канала.

# МОП-транзистор с индуцированным каналом



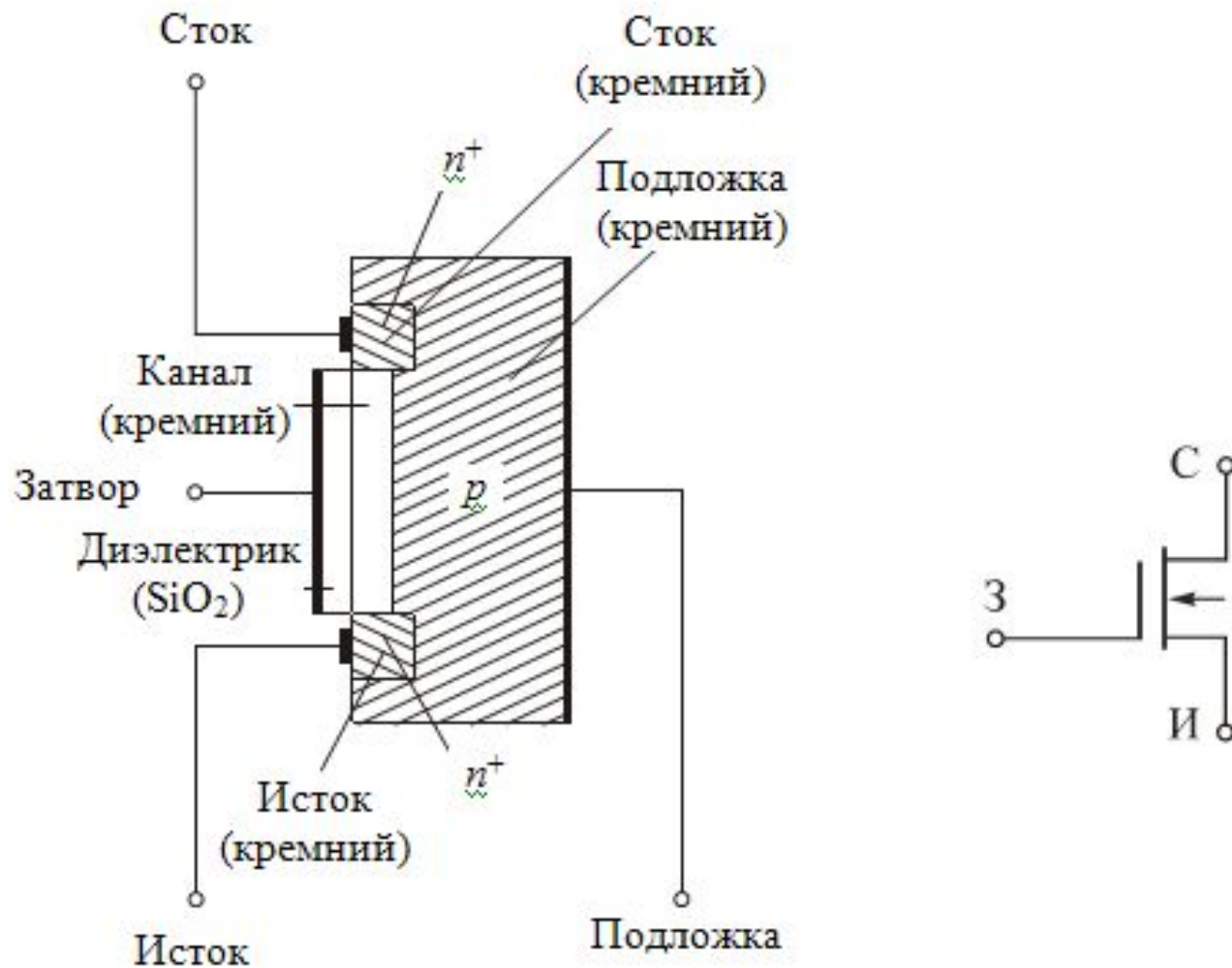
**Рис.** Вольтамперные характеристики МДП транзистора: выходные (слева) и передаточные (справа).

# МОП-транзистор с встроенным каналом

---

Канал между истоком и стоком можно создать технологическим путем на стадии изготовления МДП транзистора (например, вводя соответствующую примесь), такие транзисторы называют транзисторами со встроенным каналом. При подаче напряжения на затвор концентрация носителей в канале будет либо возрастать, либо уменьшаться вплоть до полного исчезновения канала и перехода транзистора в запертое (выключенное) состояние, в котором выходные токи будут определяться обратными характеристиками исток-стоковых pn переходов.

# МОП-транзистор с встроенным каналом



# МОП-транзистор с встроенным каналом

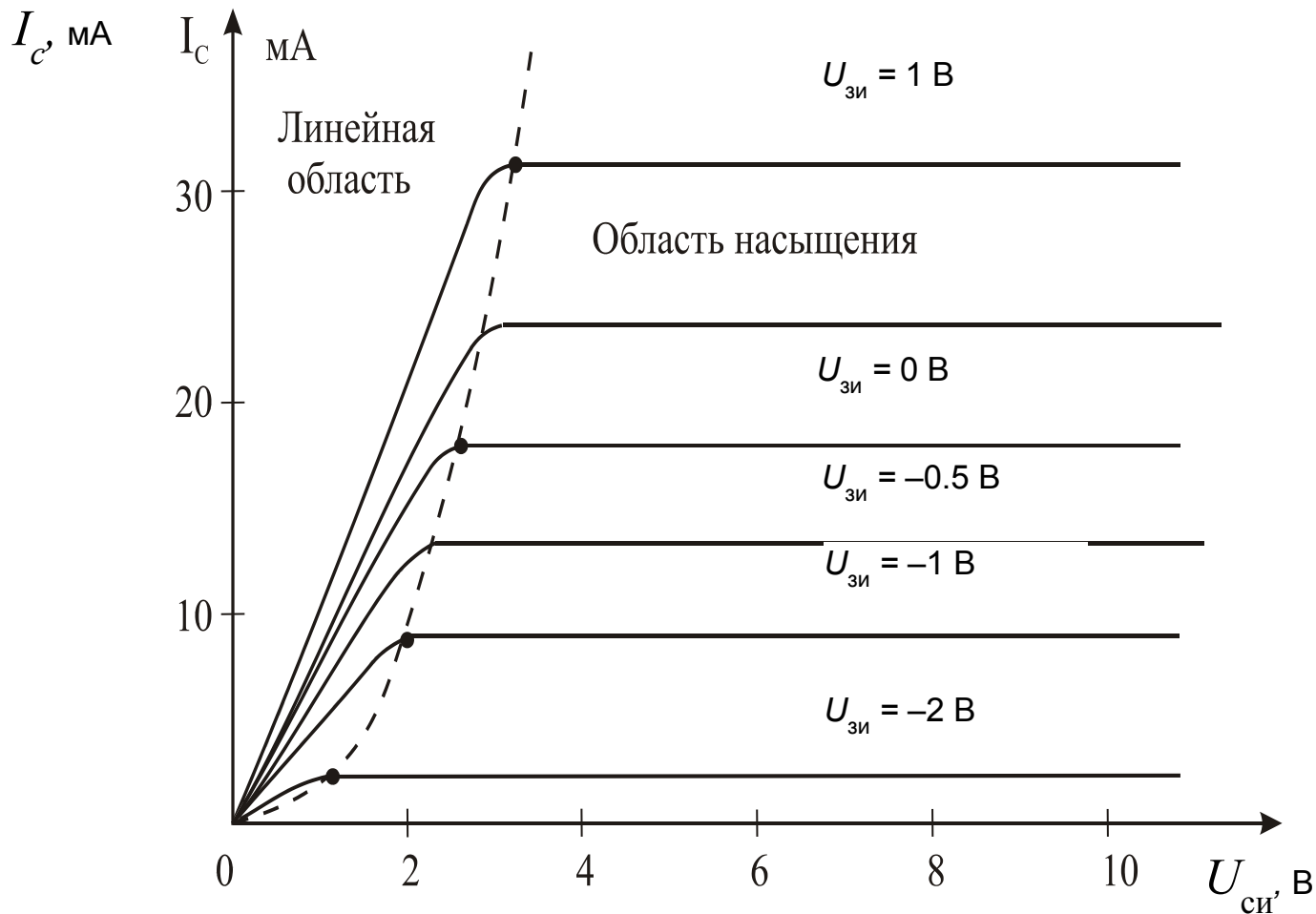
---

В МДП - транзисторах со встроенным каналом есть специальный встроенный канал, проводимость которого модулируется смещением на затворе. В случае канала  $p$  типа положительный канал отталкивает дырки из канала (режим обеднения), а отрицательный притягивает (режим обогащения). Соответственно проводимость канала либо уменьшается, либо увеличивается по сравнению с ее значением при нулевом смещении.



# МОП-транзистор с встроенным каналом

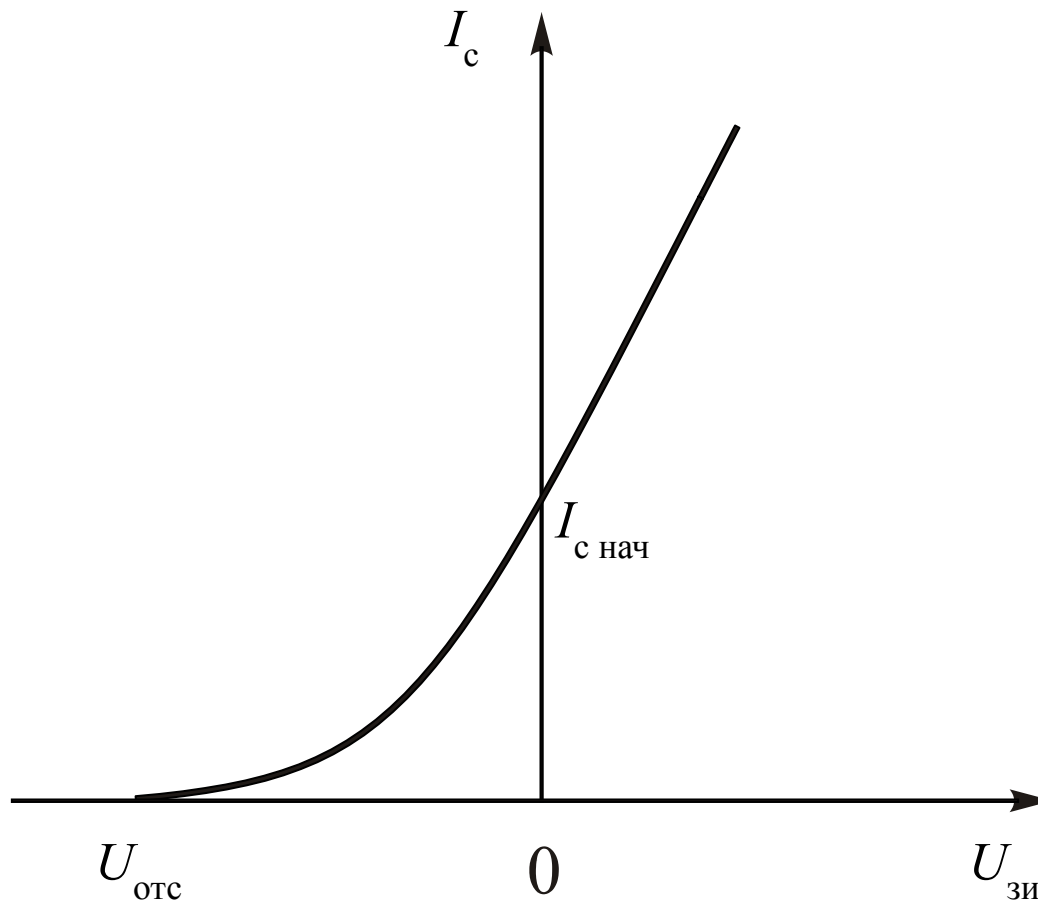
## Выходные характеристики



# МОП-транзистор с встроенным каналом

---

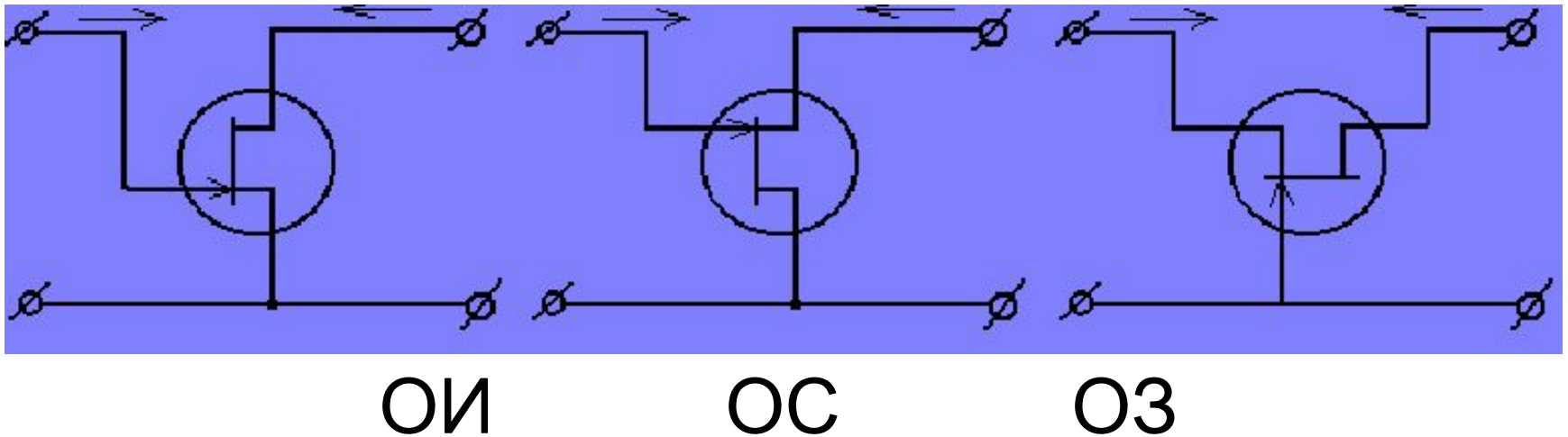
*Передаточная характеристика*



# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

- Напряжение отсечки  $U_{отс}$
- Крутизна характеристики:
- $S = \Delta I_c / \Delta U_{зи}$  при  $U_c = const$
- **Входное сопротивление** :  $R_{вх} = \frac{\Delta U_{зи}}{\Delta I_3}$
- $\Delta I_3$
- $max$
- **Выходное сопротивление:**
- $R_{вых} = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c}$  при  $U_{зи} = const$
- $\Delta I_c$

# Схемы включения полевого транзистора



- В зависимости от того, какой из электродов полевого транзистора подключен к общему выводу, различают схемы: с общим истоком и входом затвор; с общим стоком и входом на затвор; с общим затвором и входом на исток.