

ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

- *Полевой транзистор* – это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через проводящий канал и управляемым электрическим полем.
- Т.к. в создании электрического тока участвуют только основные носители заряда, то полевые транзисторы иначе называют *униполярными транзисторами*.

- Полевые транзисторы разделяют на два вида:
- полевые транзисторы с управляющим $p-n$ -переходом;
- полевые транзисторы с изолированным затвором.



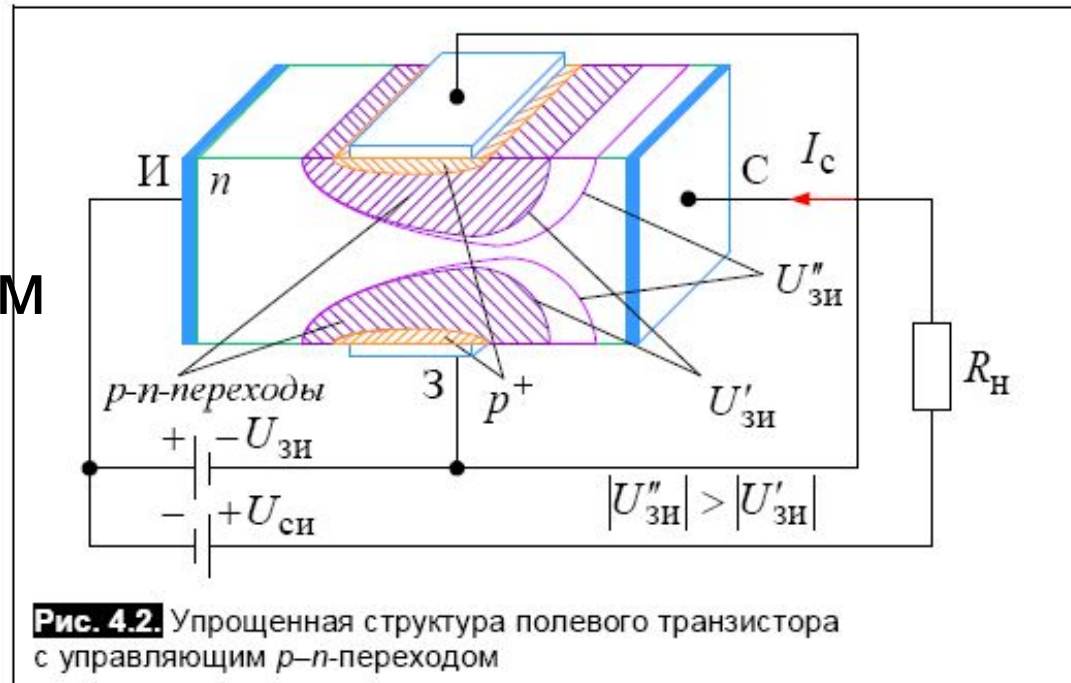
Рис.4.1. Конструкции полевых транзисторов

Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом

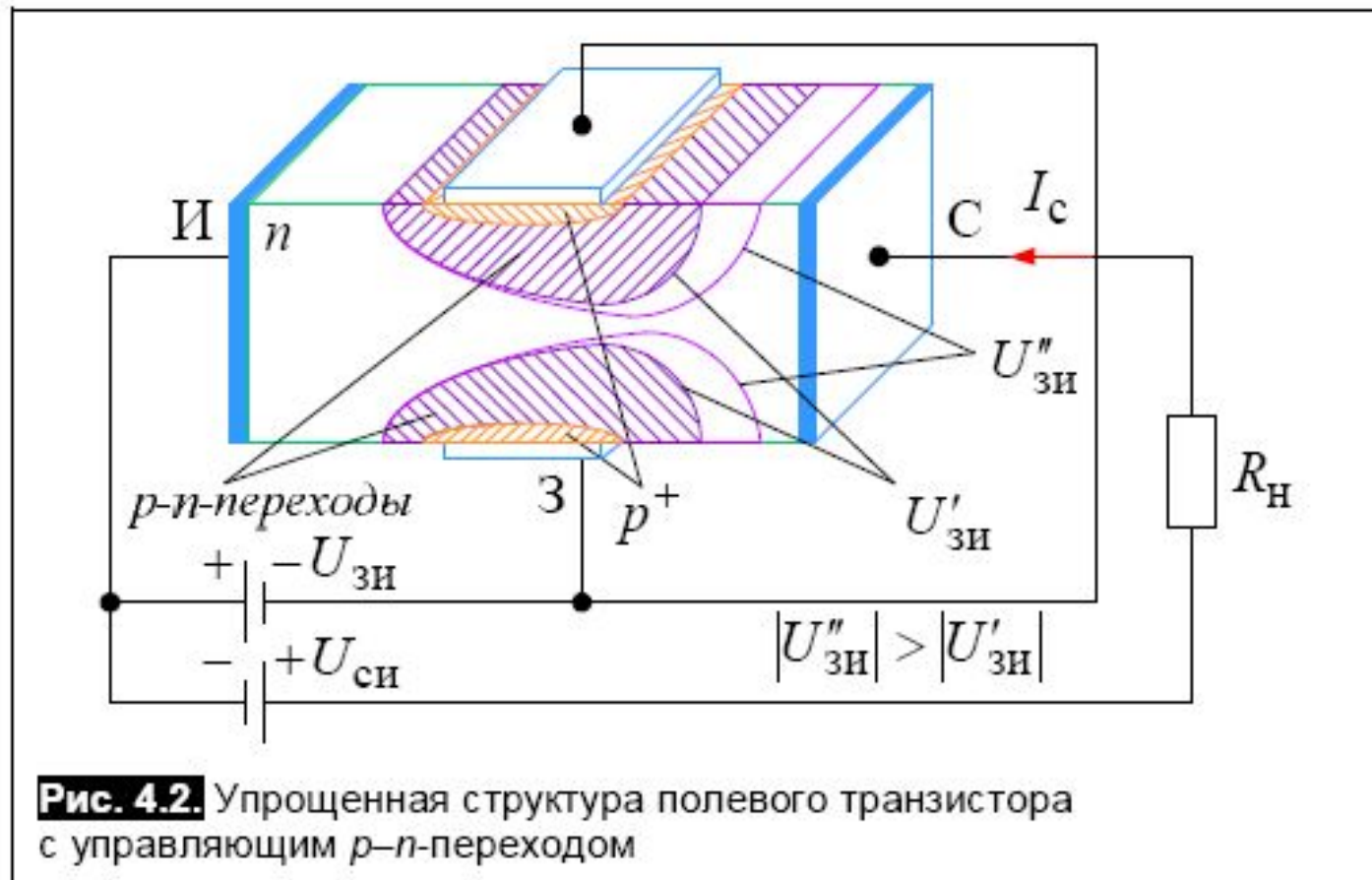
- *Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом* – это полевой транзистор, управление током в котором происходит с помощью $p-n$ -перехода, смещенного в обратном направлении.

- *Полевой транзистор* представляет собой монокристалл полупроводника *n*-типа (или *p*-типа) проводимости; по его торцам методом напыления сформированы электроды, а посередине, с двух сторон, созданы две области противоположного типа проводимости и с электрическими выводами от этих областей.

На границе раздела областей с различным типом проводимости возникнет *p-n*-переход.

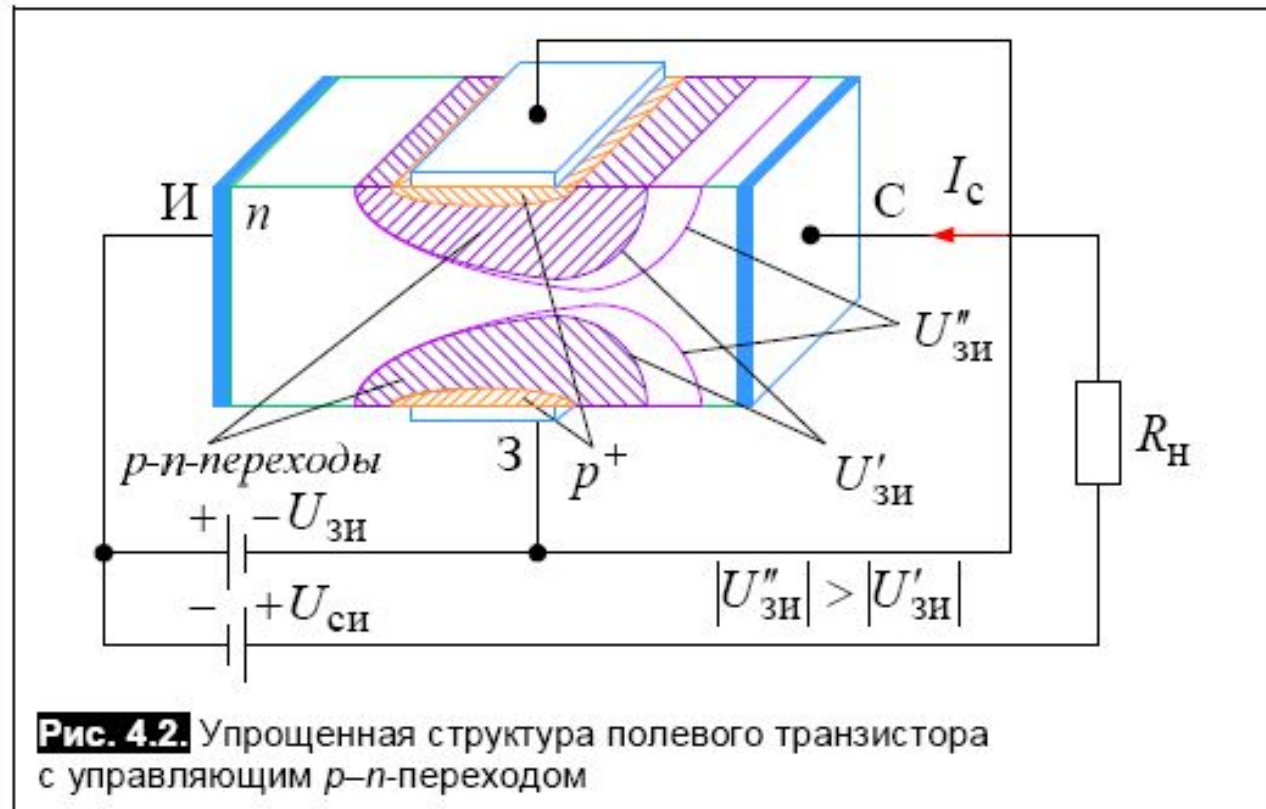


- Электрические выводы от торцевых поверхностей полупроводника называют *истоком (И)* и *стоком (С)*, а вывод от боковой поверхности противоположного типа проводимости - *затвором (З)*.

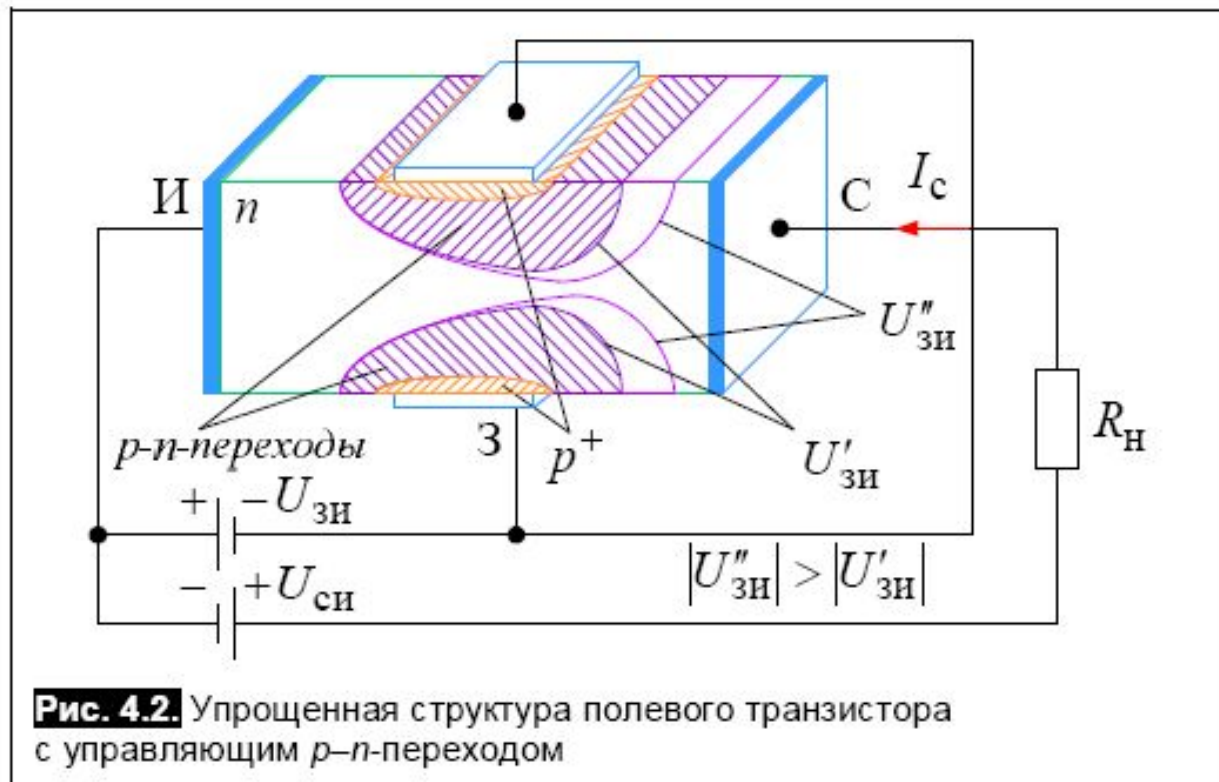


- Источник $U_{зи}$ смещает $p-n$ -переход в обратном направлении. Под действием напряжения источника $U_{си}$ между торцевыми поверхностями полупроводника течет ток основных носителей заряда.

• Образуется *токопроводящий канал*.



- Площадь поперечного сечения канала и его сопротивление зависит от ширины $p-n$ -перехода.
- При **увеличении** напряжения источника $U_{зи}$ ширина $p-n$ -перехода возрастает, а поперечное **сечение канала уменьшается**.



- Напряжение на затворе, при котором $p-n$ -переход полностью перекроет канал, и ток стока I_c прекращается, называют *напряжением отсечки*.

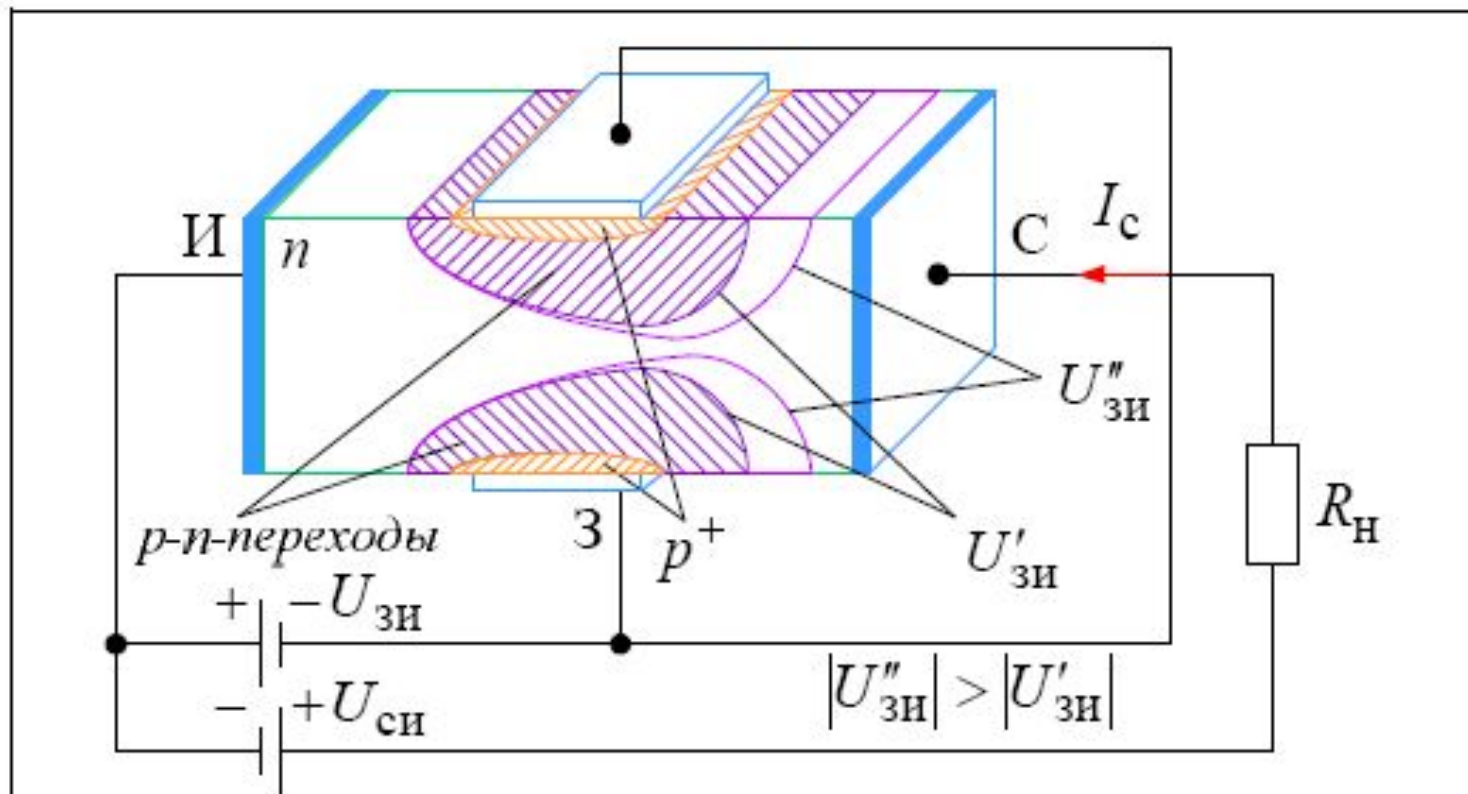
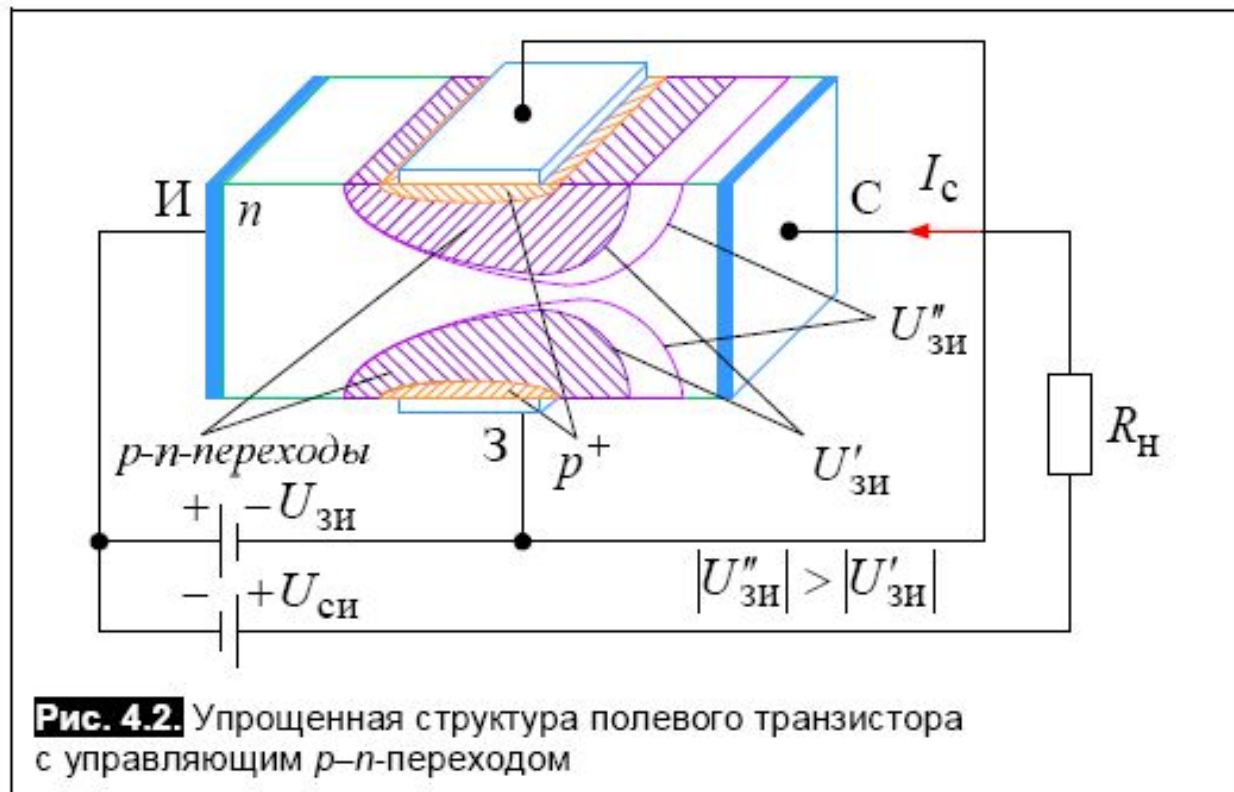
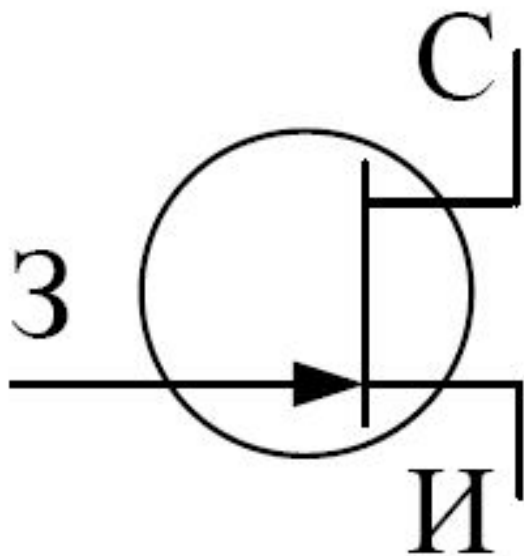


Рис. 4.2. Упрощенная структура полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом

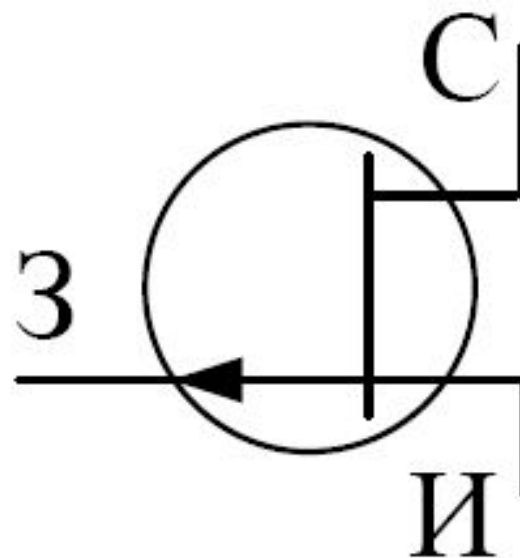
- Таким образом, в цепи мощного источника $U_{СИ}$ протекает ток стока I_C , величина которого зависит от величины управляющего сигнала – напряжения источника $U_{ЗИ}$ и повторяет все изменения этого сигнала.



Условные обозначения полевого транзистора, имеющего канал *n*-типа (а) и *p*-типа (б).

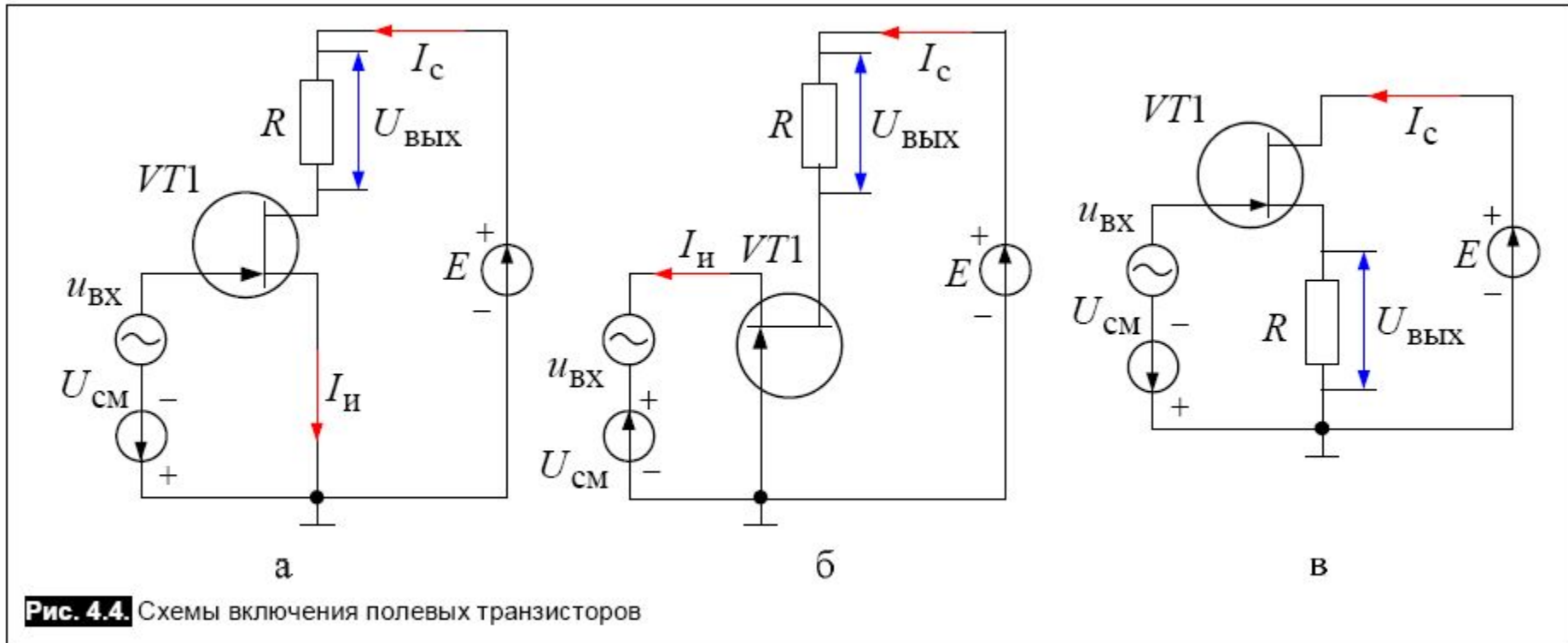


а



б

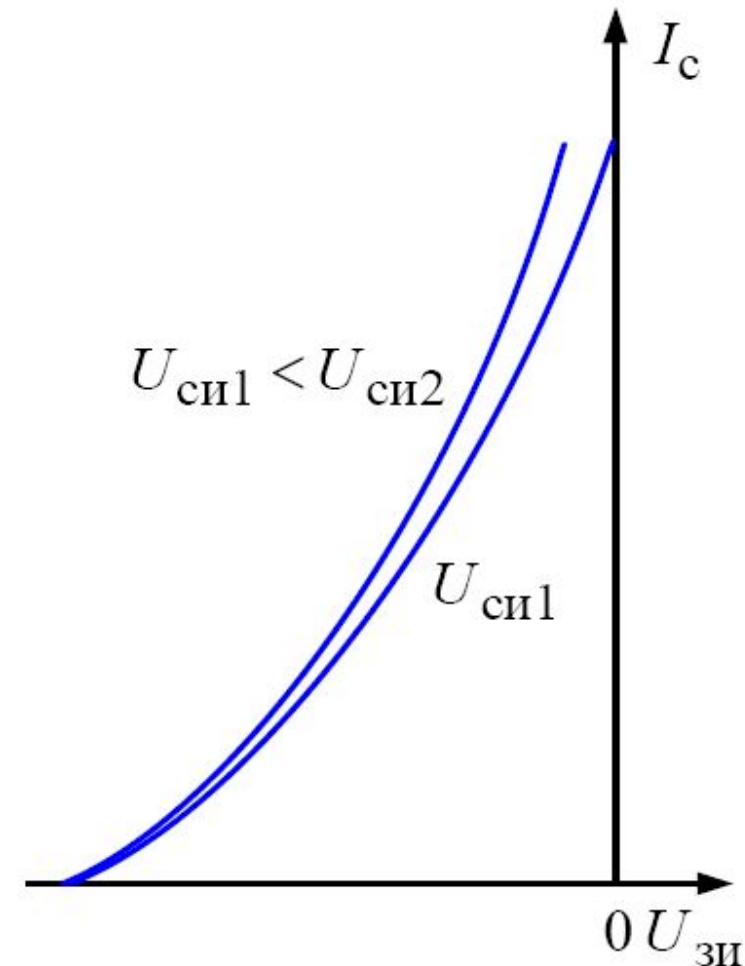
Схемы включения полевых транзисторов



Статические характеристики полевых транзисторов

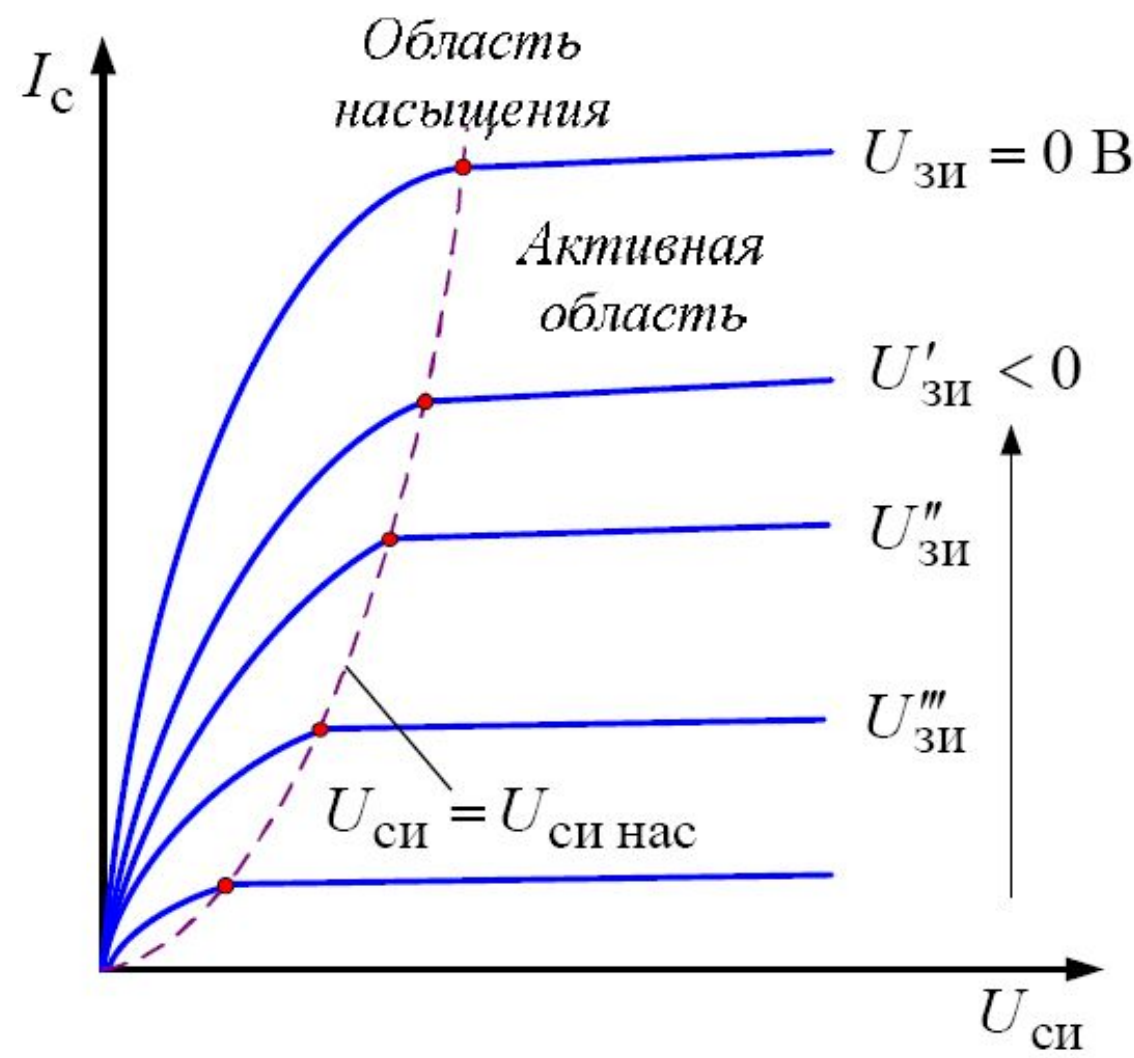
- 1. *Управляющие (стокозатворные) характеристики.* Эти характеристики показывают управляющее действие затвора:

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



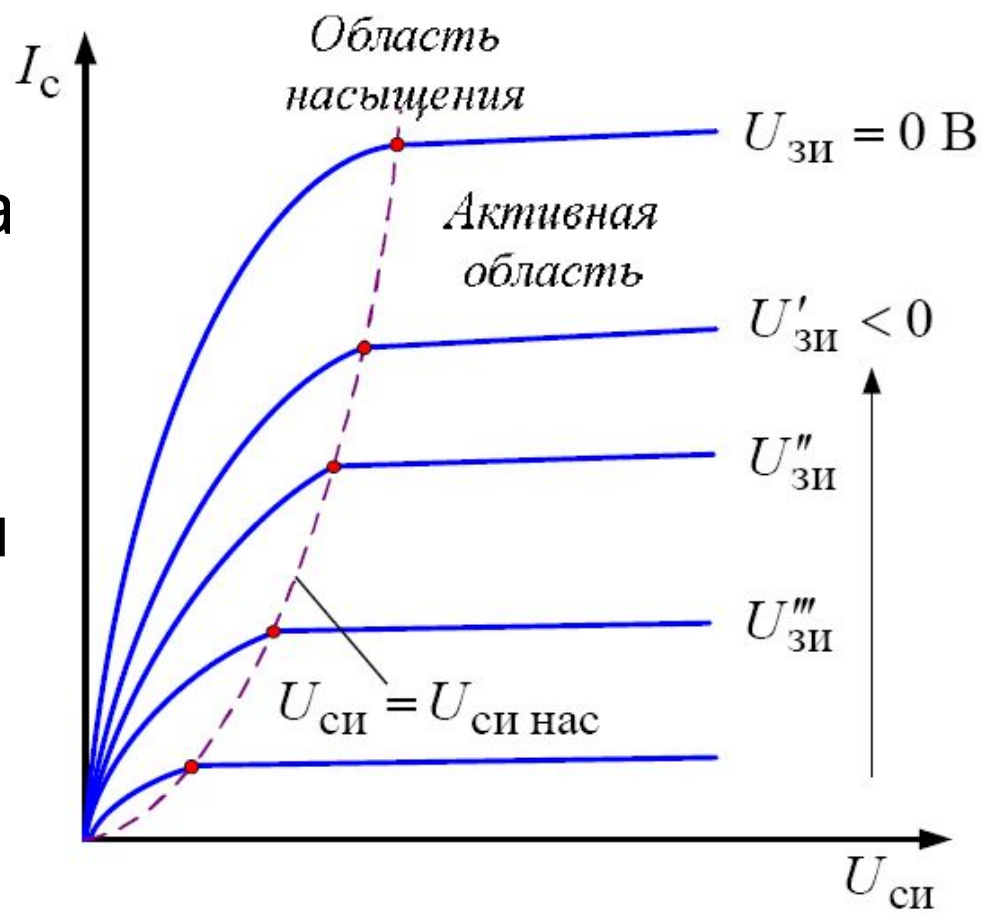
• 2. Выходные (стоковые) характеристики.

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



- С увеличением U_C ток сначала растет довольно быстро, но затем его рост замедляется и наступает насыщение.
- Это объясняется тем, что с ростом U_C возрастает обратное напряжение на $p-n$ -переходе и увеличивается ширина запирающего слоя (в области стока), а ширина канала соответственно уменьшается. Это приводит к увеличению его сопротивления и уменьшению тока I_C .
- Таким образом, происходит два взаимно противоположных влияния на ток, в результате чего он остается почти неизменным.

- Чем больше запирающее напряжение подается на затвор, тем ниже идет выходная характеристика. Повышение напряжения стока может привести к электрическому пробое $p-n$ -перехода, и ток стока начинает лавинообразно нарастать. Напряжение пробоя является одним из предельных параметров полевого транзистора.



Основные параметры полевых транзисторов

- 1. Крутизна характеристики:

$$S = \left. \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зИ}} \right|_{U_{сИ} = \text{const}}$$

- Крутизна характеризует управляющее действие затвора. Этот параметр определяют по управляющим характеристикам.

- 2. *Внутреннее (выходное) сопротивление R_i :*

$$R_i = \frac{\Delta U_{\text{си}}}{\Delta I_c} \Big|_{U_{\text{зи}} = \text{const}},$$

- Этот параметр представляет собой сопротивление транзистора между стоком и истоком (сопротивление канала) для переменного тока. На пологих участках выходных характеристик R_i достигает сотен кОм.

- 3. Коэффициент усиления μ :

$$\mu = - \frac{\Delta U_{\text{си}}}{\Delta U_{\text{зи}}} \Big|_{I_c = \text{const}} .$$

- Эти три параметра (μ , S , R_i) связаны между собой зависимостью:

$$\mu = SR_i .$$

Полевые транзисторы с изолированным затвором

- *Полевой транзистор с изолированным затвором* – это транзистор, имеющий один или несколько затворов, электрически изолированных от проводящего канала.

- Полевые транзисторы с изолированным затвором бывают двух типов:
- со встроенным (собственным) каналом;
- с индуцированным (инверсионным) каналом.

- Структура в обоих типах полевых транзисторов с изолированным затвором одинакова: металл – диэлектрик – полупроводник.
- Такие транзисторы еще называют МДП-транзисторами (металл – диэлектрик – полупроводник).

Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом

• Представляет собой монокристалл кремния n - или p -типа.

- В нем созданы две области с электропроводностью противоположного типа (n^+ -типа), которые соединены между собой тонким приповерхностным слоем этого же типа проводимости.
- От этих двух зон сформированы электрические выводы, которые называют **исток** и **сток**.

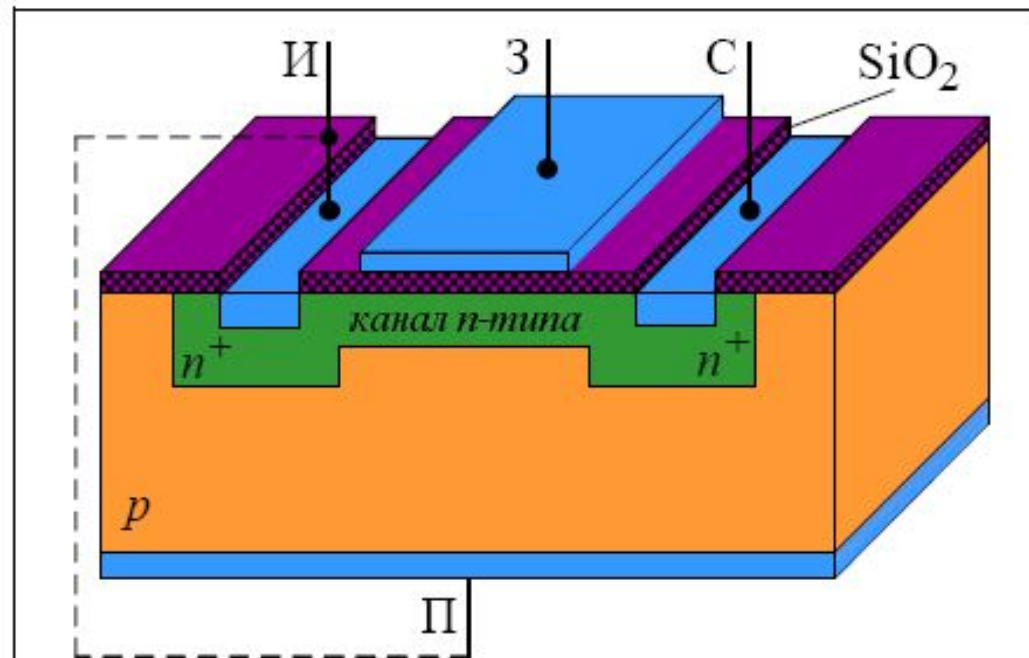
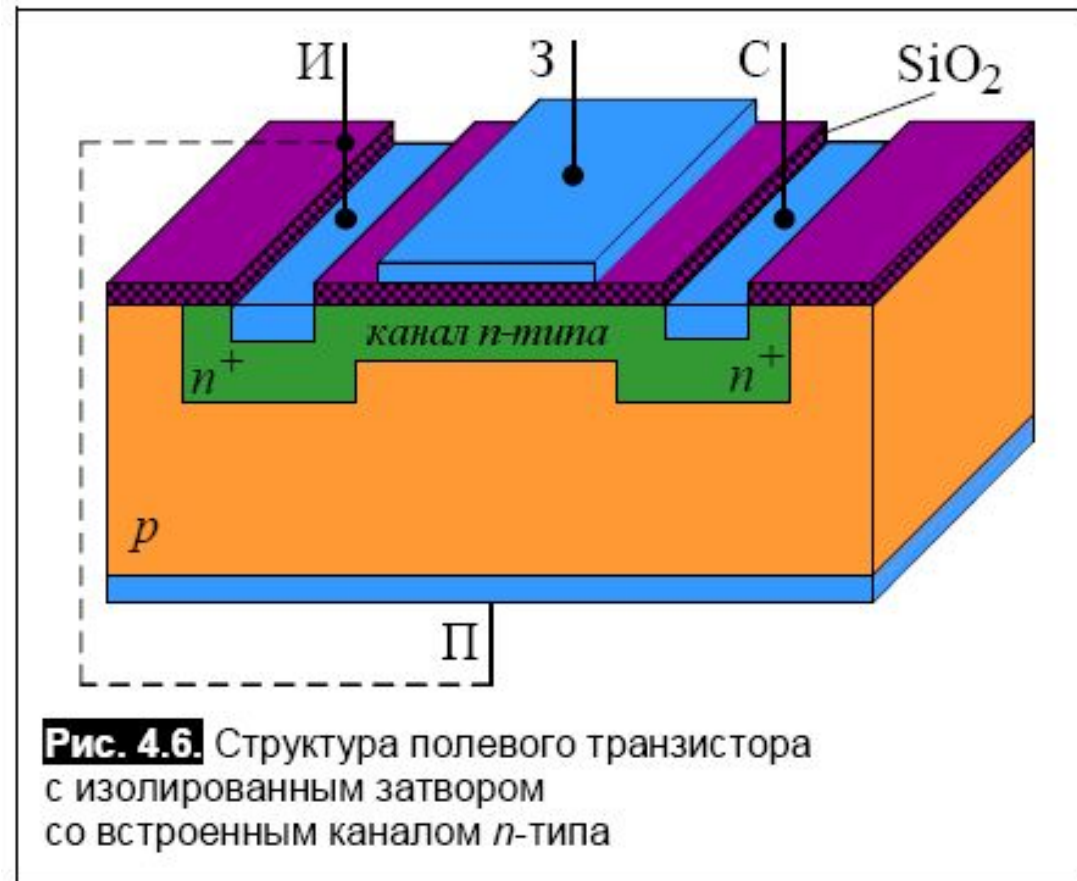


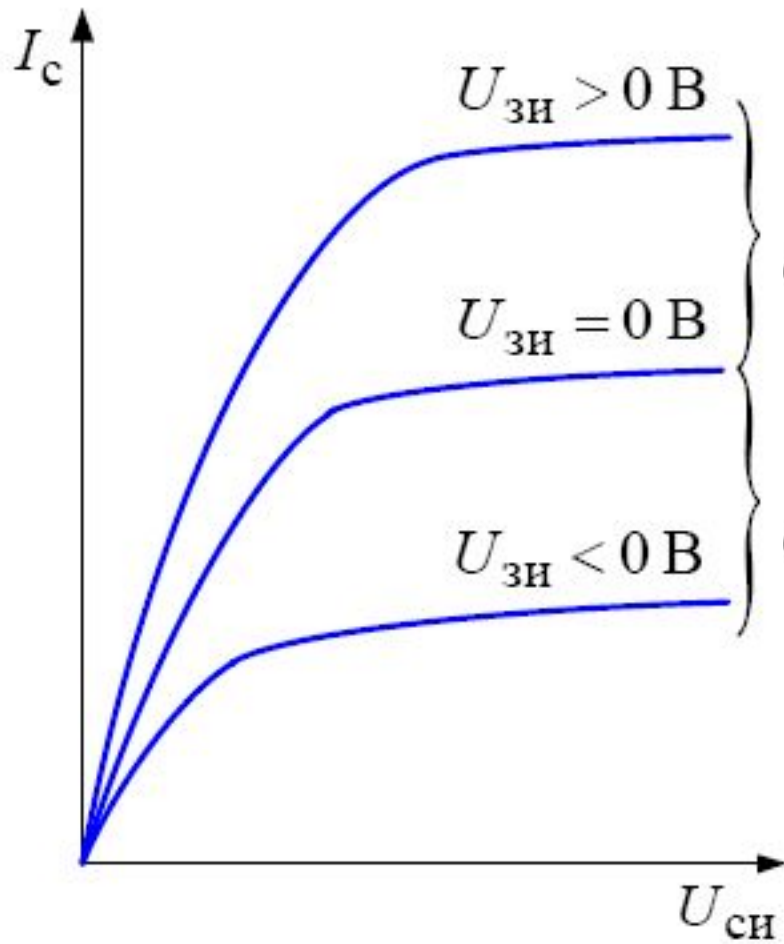
Рис. 4.6. Структура полевого транзистора с изолированным затвором со встроенным каналом n -типа

- На поверхности канала имеется **слой диэлектрика** (обычно диоксида кремния SiO_2) толщиной порядка 0,1 мкм, а на нем методом напыления наносится тонкая металлическая пленка, от которой также делается электрический вывод – **затвор**.

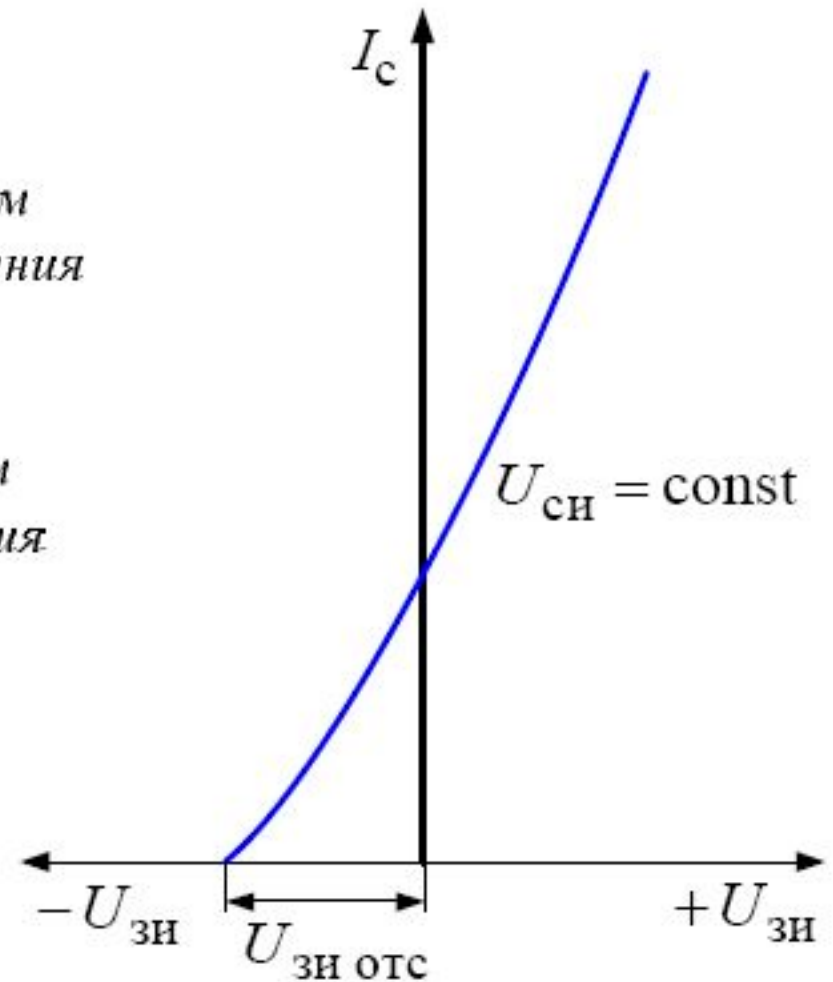
Иногда от основания (называемого **подложкой** (П)) также делается вывод, который накоротко соединяют с истоком.



Статические характеристики МДП-транзистора со встроенным каналом n-типа

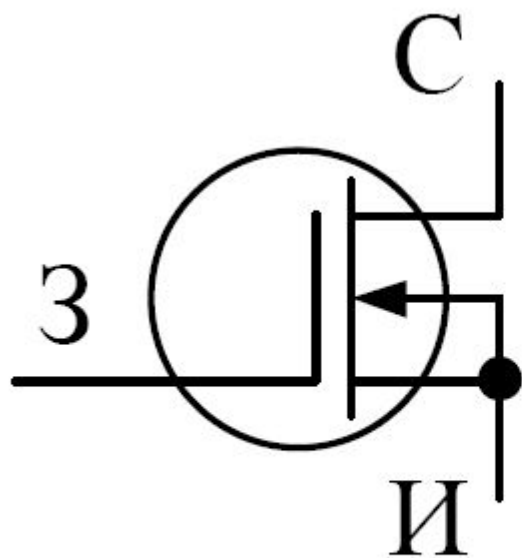


а

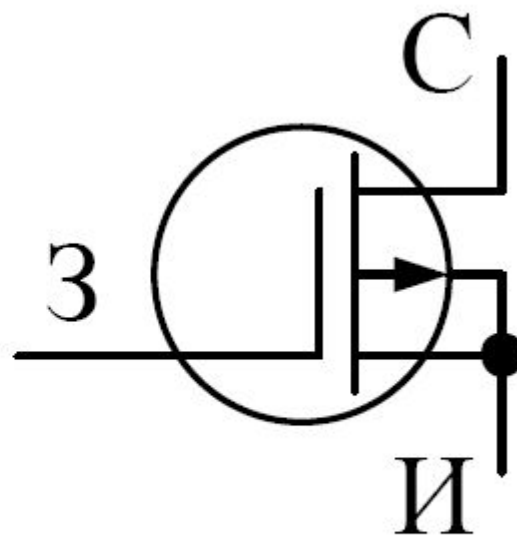


б

Условные графические обозначения МДП-транзистора со встроенным каналом n-типа (а) и p-типа (б).



а



б

Транзистор с индуцированным (инверсионным) каналом

- От предыдущего транзистора он отличается тем, что у него нет встроенного канала между областями истока и стока.

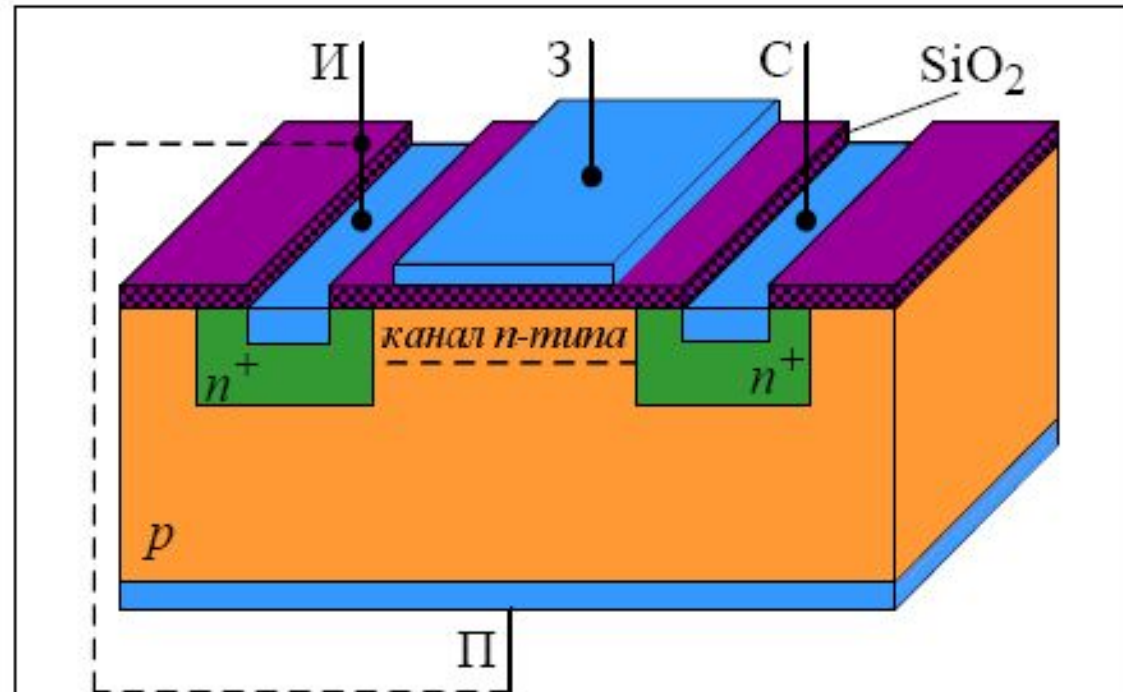
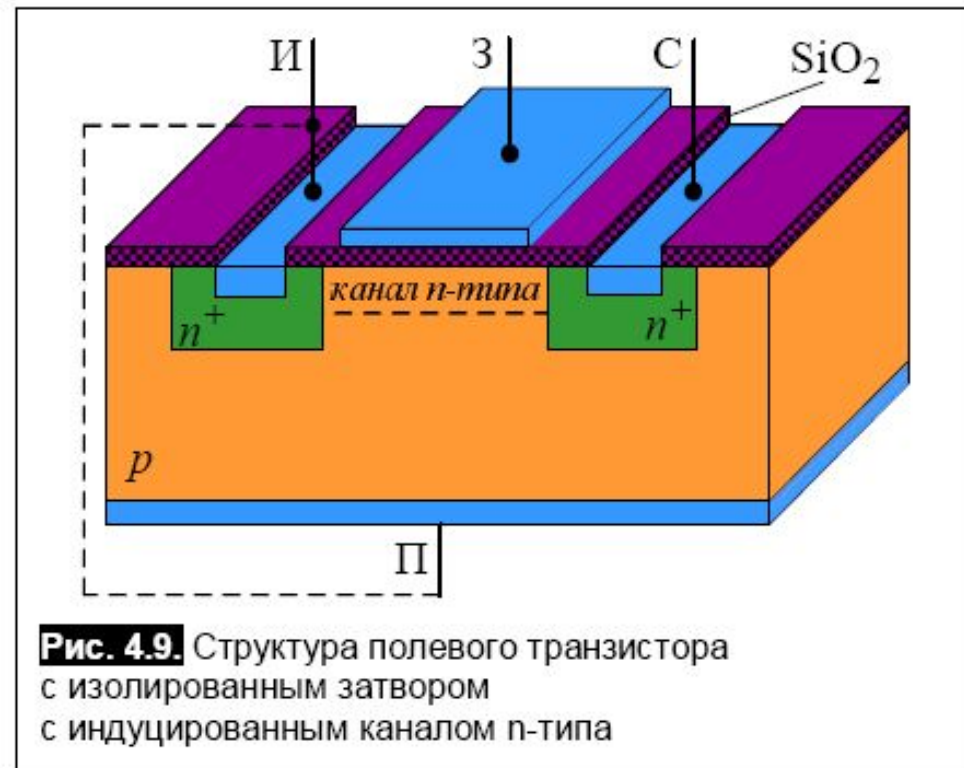


Рис. 4.9. Структура полевого транзистора с изолированным затвором с индуцированным каналом n-типа

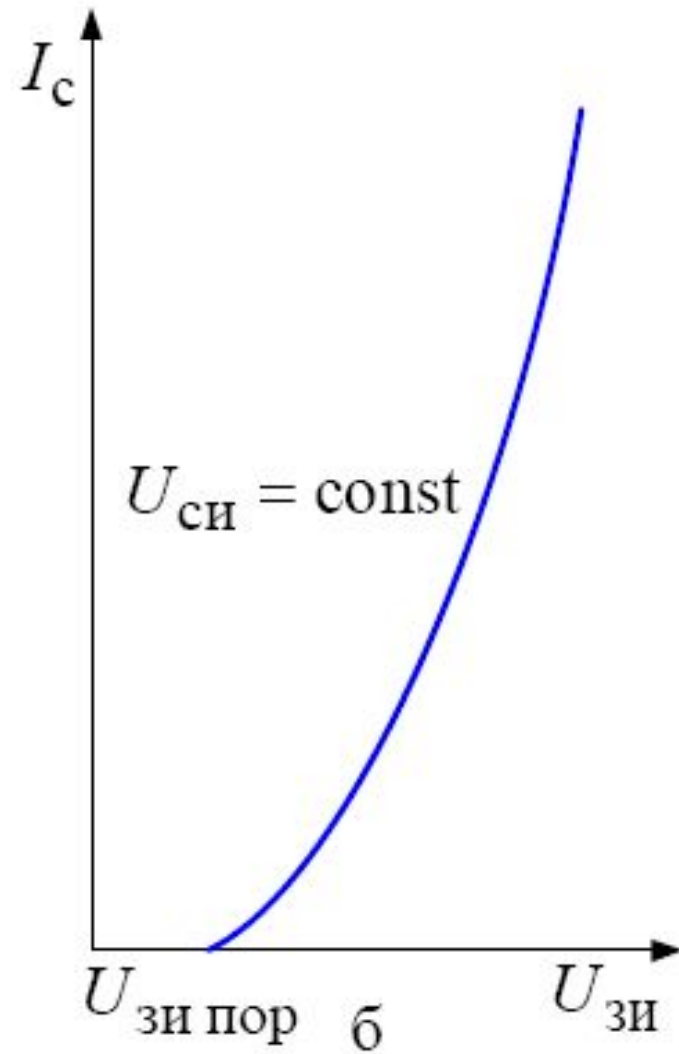
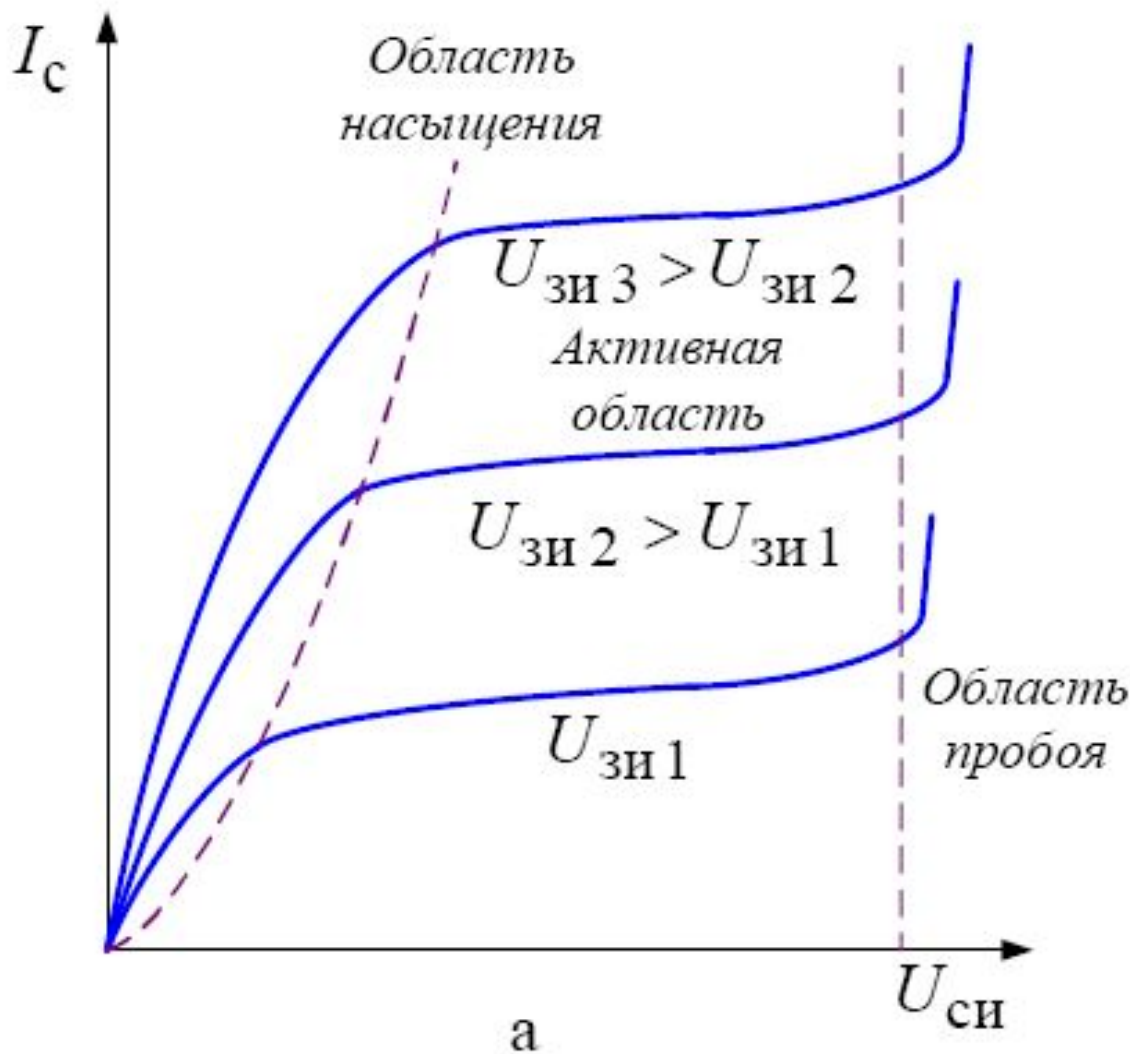
- При отсутствии напряжения на затворе ток между истоком и стоком не потечет ни при какой полярности напряжения, так как один из $p-n$ -переходов будет обязательно заперт.

- Если подать на затвор напряжение положительной полярности относительно истока, то под действием возникающего электрического поля электроны из подложки будут перемещаться в приповерхностную область к затвору.



- При увеличении напряжения на затворе в приповерхностном слое концентрация электронов превысит концентрацию дырок в этой области и здесь произойдет инверсия типа электропроводности, т.е. образуется тонкий канал *n*-типа и в цепи стока появится ток.
- Чем больше положительное напряжение на затворе, тем больше проводимость канала и больше ток стока.

Статические характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа



Условные графические обозначения МДП-транзистора со встроенным каналом n-типа (а) и p-типа (б).

