

Полевые транзисторы



1. С изолированным затвором (МДП)

1-1. Принцип действия

1-2. Расположение зарядов

2. С управляющим р-п переходом

2-1. Характеристики

2-2. Расчет характеристик

2-3. Эквивалентная схема п.т.

1.1. Со встроенным каналом

1.1-1. Характеристики

1.2. С индуцированным каналом

1.2-1. Характеристики

Полевые транзисторы-

полупроводниковые приборы, работа которых основана на модуляции сопротивления полупроводникового материала поперечным электрическим полем. У них в создании электрического тока участвуют носители заряда только одного типа (электроны либо дырки).

Полевые транзисторы бывают двух видов:

- с управляющим р-п-переходом;
- со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП)

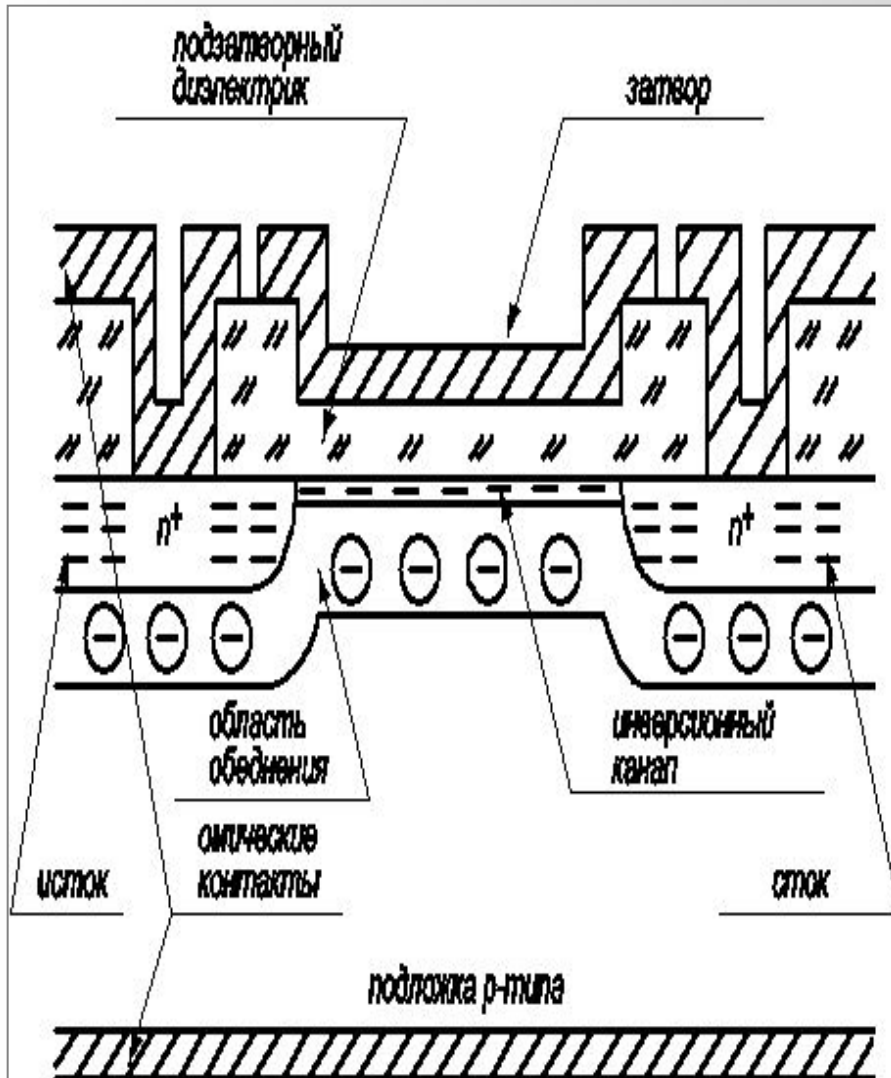
МДП-транзисторы могут быть :

- со встроенными каналами
- с индуцированными каналами

Полевые транзисторы

С изолированным затвором (МДП)

Принцип действия :



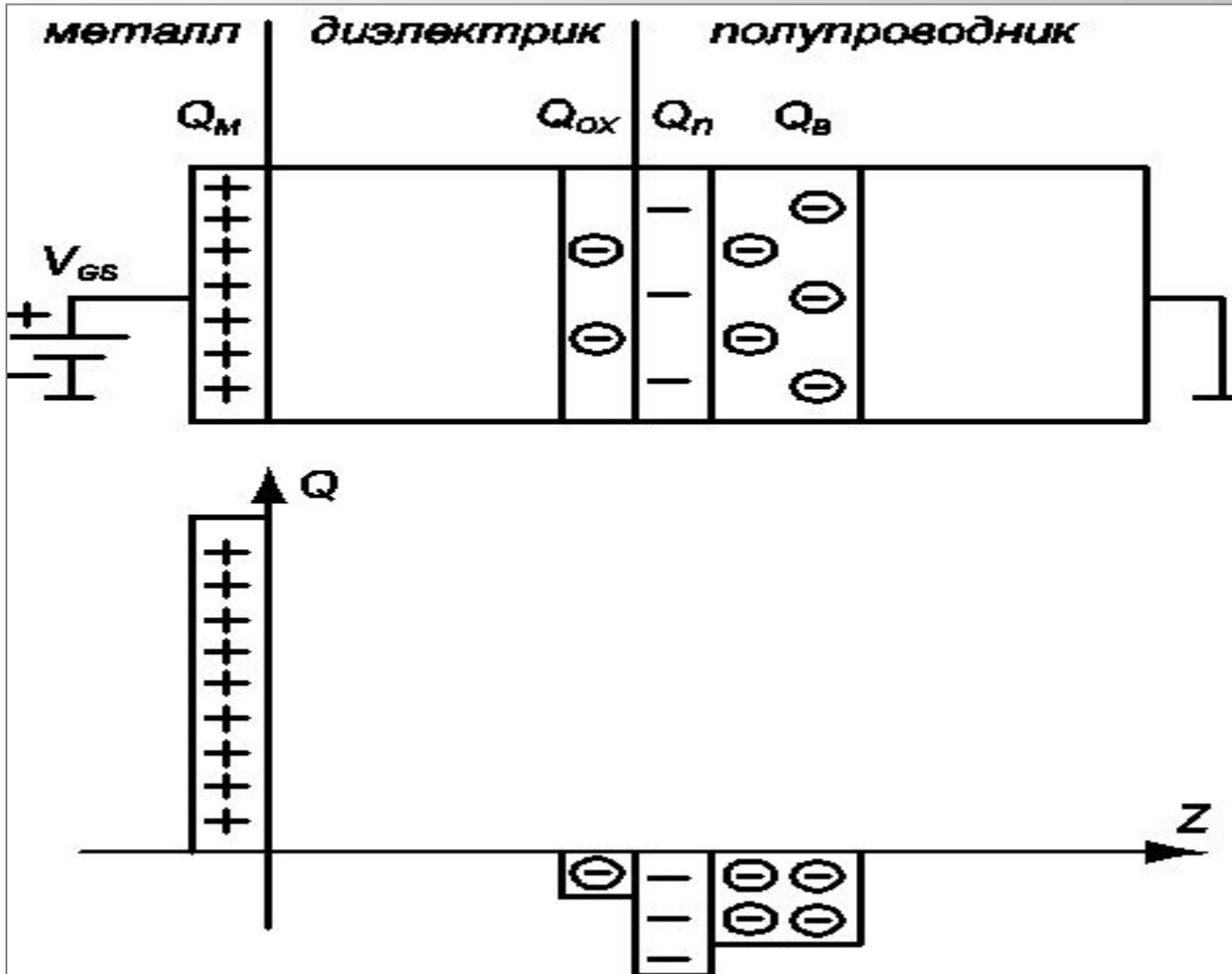
Физической основой работы полевого транзистора со структурой металл-диэлектрик-полупроводник является эффект поля, который состоит в том, что под действием внешнего электрического поля изменяется концентрация свободных носителей заряда в приповерхностной области полупроводника. Внешнее поле обусловлено приложенным напряжением на металлический электрод-затвор. В зависимости от знака и величины приложенного напряжения присутствуют четыре состояния области пространственного заряда полупроводника: обогащение, обеднение, слабая и сильная инверсия. В области инверсии концентрация неосновных носителей заряда в канале выше, чем концентрация основных носителей в объеме полупроводника. Изменяя величину напряжения на затворе, можно менять концентрацию свободных носителей в инверсионном канале и тем самым модулировать сопротивление канала. Источник напряжения в стоковой цепи вызовет изменяющийся в соответствии с изменением сопротивления канала ток стока т. е. будет реализован эффект усиления.

Полевые транзисторы



С изолированным затвором (МДП)

Расположение зарядов :

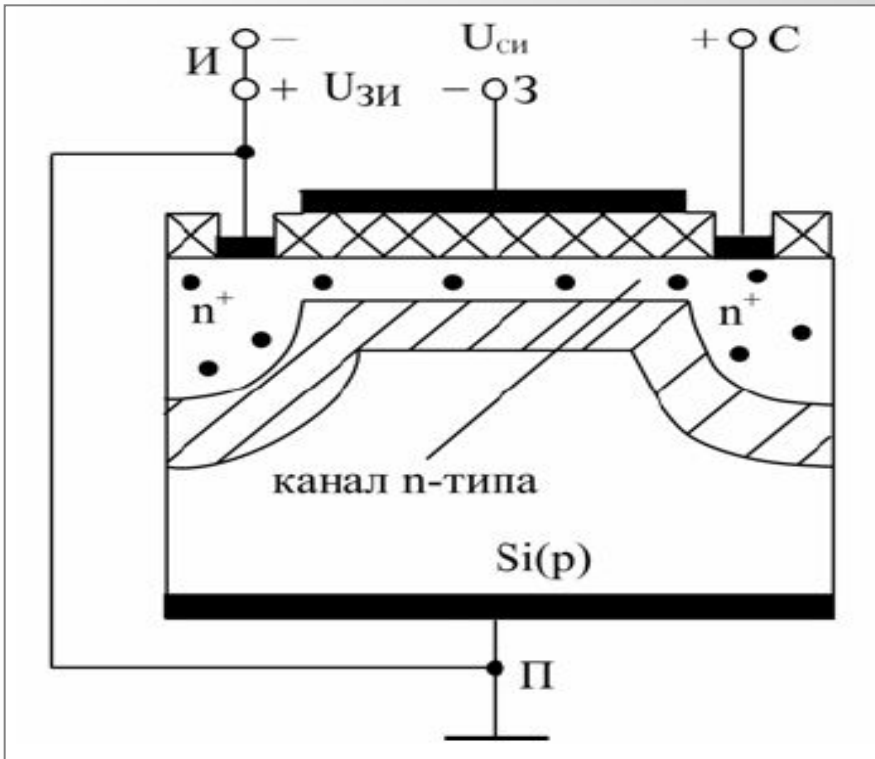
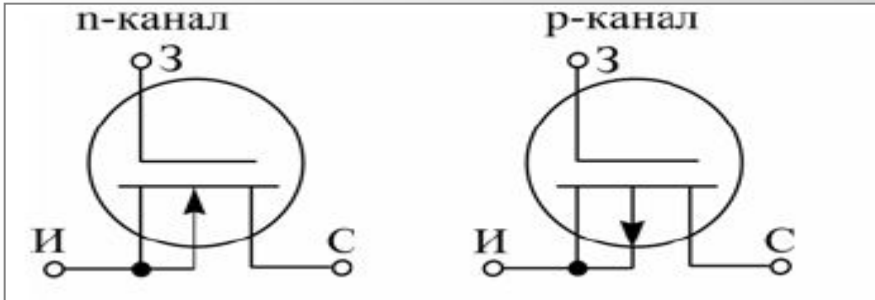


Полевые транзисторы



С изолированным затвором (МДП)

Со встроенным каналом



Если на затвор транзистора со встроенным n -каналом подано отрицательное напряжение, то в канале создается поле, под влиянием которого электроны выталкиваются из канала, обедняя его основными носителями. Чем меньше носителей, тем меньше тока в канале. Если на затвор подано положительное напряжение, то электрическое поле втягивает электроны в канал, обогащая его основными носителями. Таким образом, меняя величину и полярность напряжения $U_{зи}$ можно, как и в транзисторе с управляющим $p-n$ – переходом, менять величину проводимости канала. Проводимость канала в МДП-транзисторе меняется не за счет изменения поперечного сечения канала, а за счет изменения концентрации носителей в нем под действием напряжения на затворе. МДП-транзистор со встроенным каналом может работать как при отрицательном, так и при положительном напряжении на затворе.

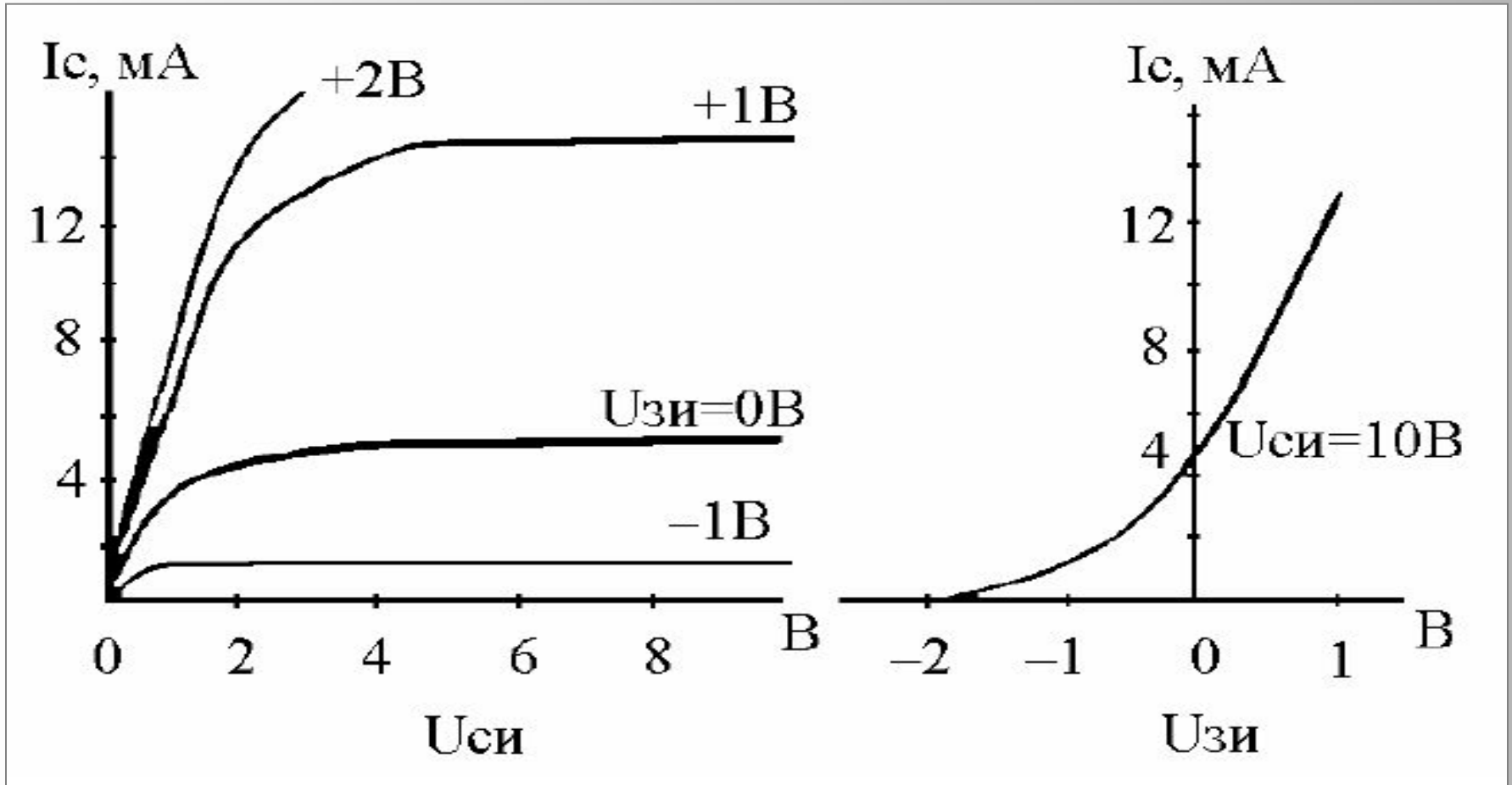
Полевые транзисторы



С изолированным затвором (МДП)

Со встроенным каналом

Характеристики:



Характеристики МДП-транзистора со встроенным каналом:

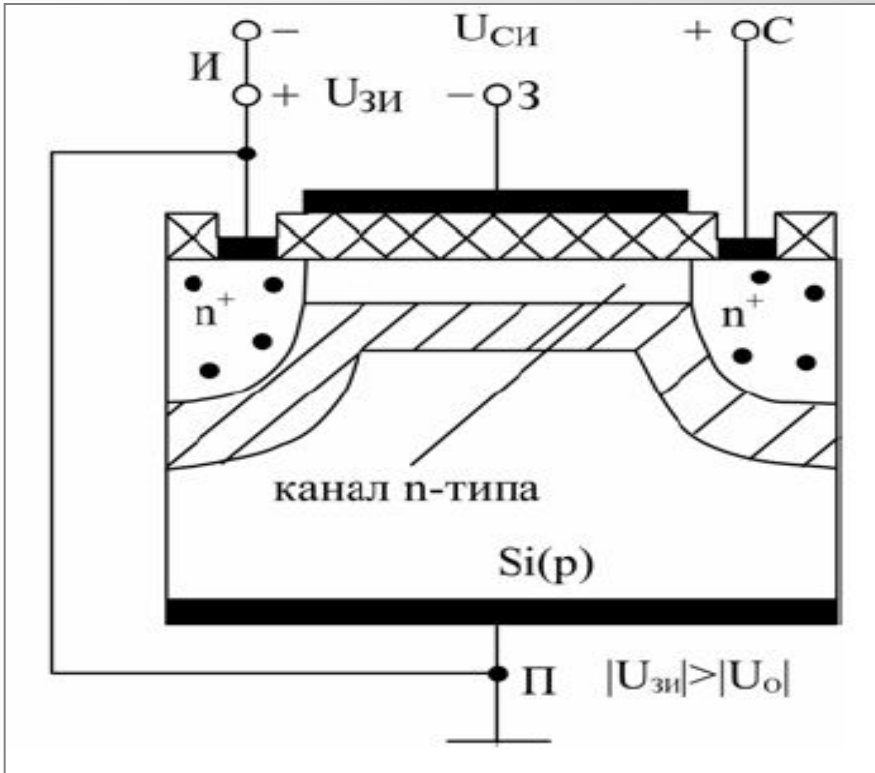
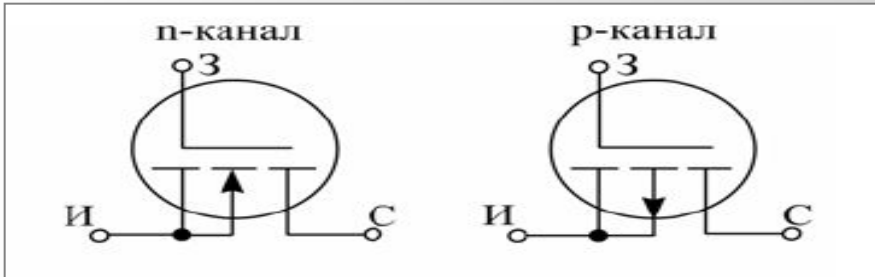
- а) выходные (стоковые);
- б) прямой передачи (стоко - затворные).

Полевые транзисторы



С изолированным затвором (МДП)

С индуцированным каналом



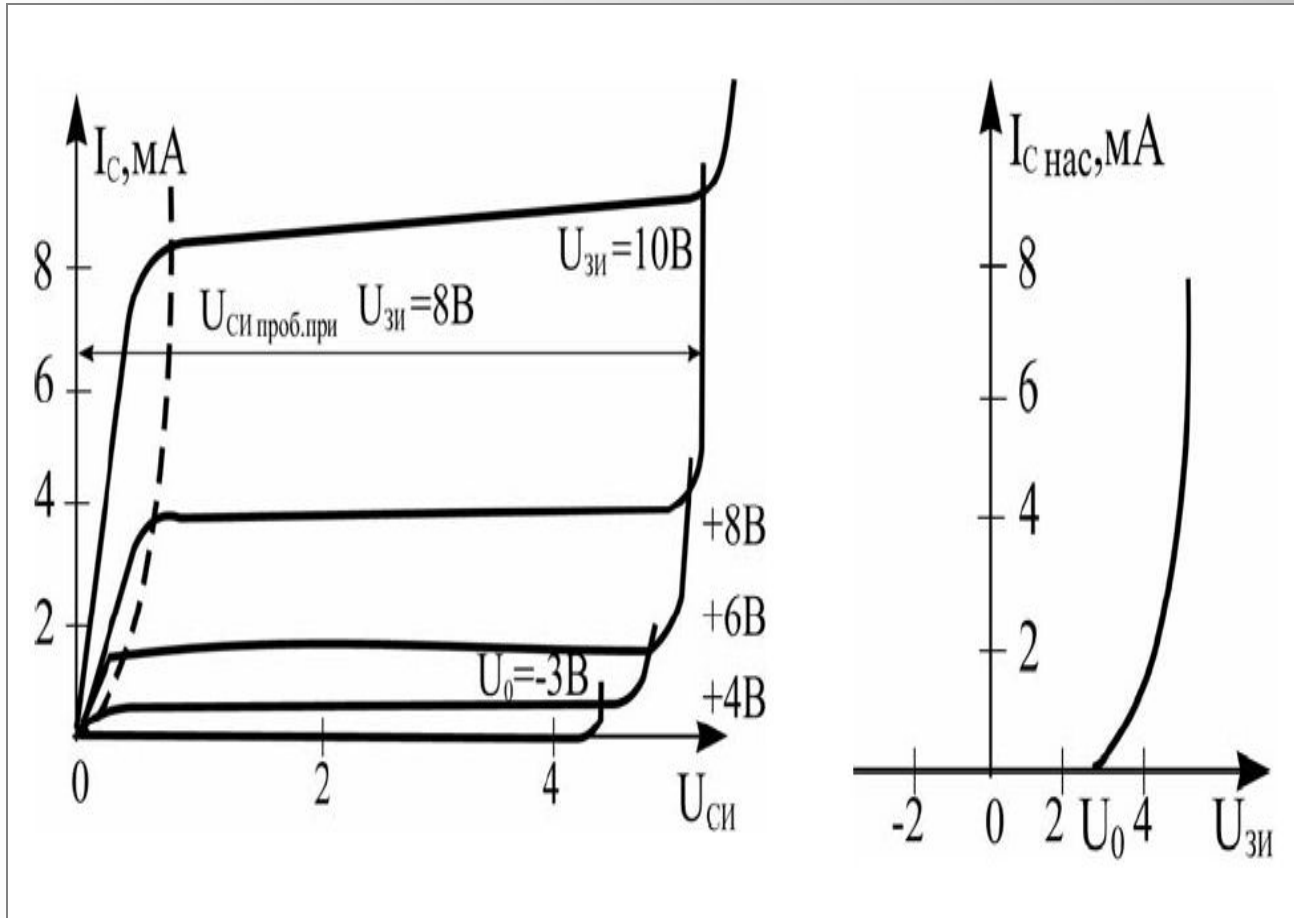
В МДП-транзисторе с индуцированным каналом в исходном состоянии между истоком и стоком отсутствует токопроводящий канал, который индуцируется только при соответствующем напряжении на затворе, называемом пороговым напряжением U_0 . При подаче на затвор положительного напряжения возникающее электрическое поле отталкивает дырки от поверхности в глубь p -полупроводника. И при дальнейшем увеличении положительного напряжения на затворе приповерхностная область p -полупроводника продолжает обедняться дырками т.е. у поверхности p -полупроводника образуется тонкий слой с инверсной электронной проводимостью. В этом слое под действием электрического поля накапливаются электроны между стоком и истоком, и формируется n -канал. Изменяя напряжение на затворе, изменяем концентрацию электронов в канале и управляем проводимостью канала.

Полевые транзисторы

С изолированным затвором (МДП)

С индуцированным каналом

Характеристики:



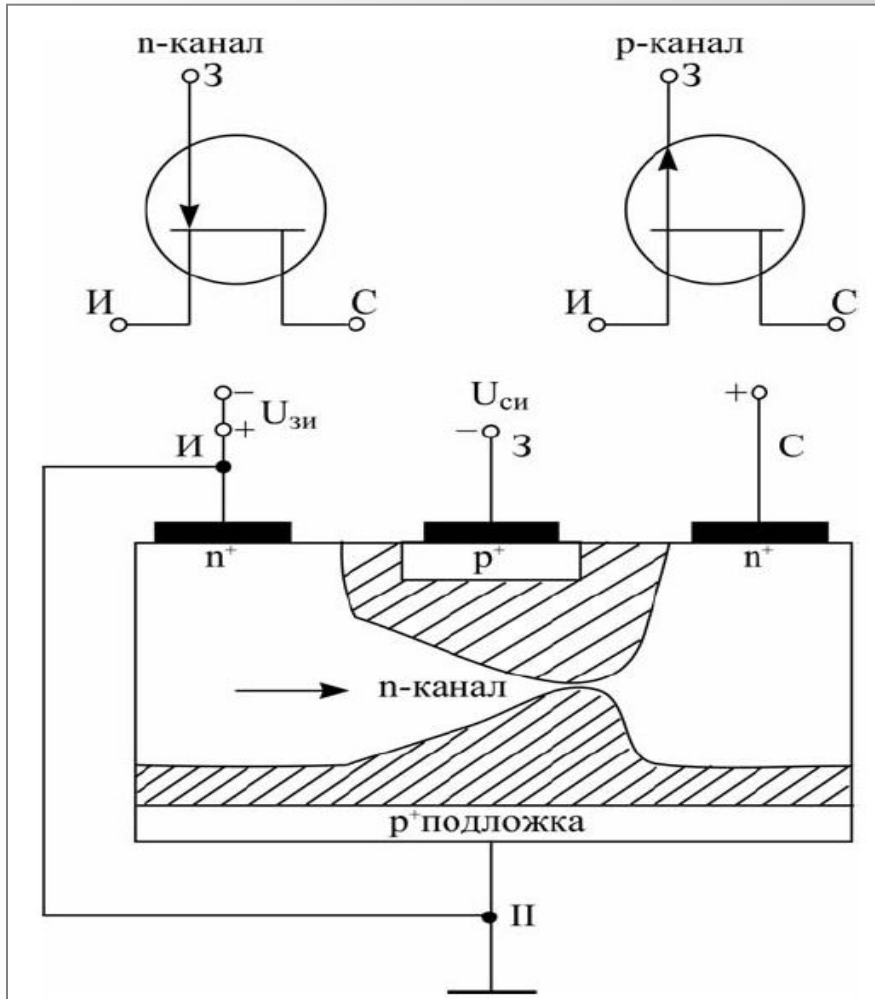
Зависимость

описывает выходную характеристику МДП-транзистора до перехода в режим насыщения, т.е. при $U_{си} \leq U_{зи} - U_0 = U_{нас}$. Зависимость $I_c = b(U_{зи} - U_0)^2$ описывает передаточную характеристику транзистора с индуцированным каналом (b - удельная крутизна характеристики МДП-транзистора, обусловленная геометрией канала); типичные значения: $b = 0,1 \dots 0,2 \text{ mA/V}^2$.

Характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом:
а) выходные (стоковые);
б) прямой передачи (стоко – затворные).

Полевые транзисторы

С управляющим р-п переходом

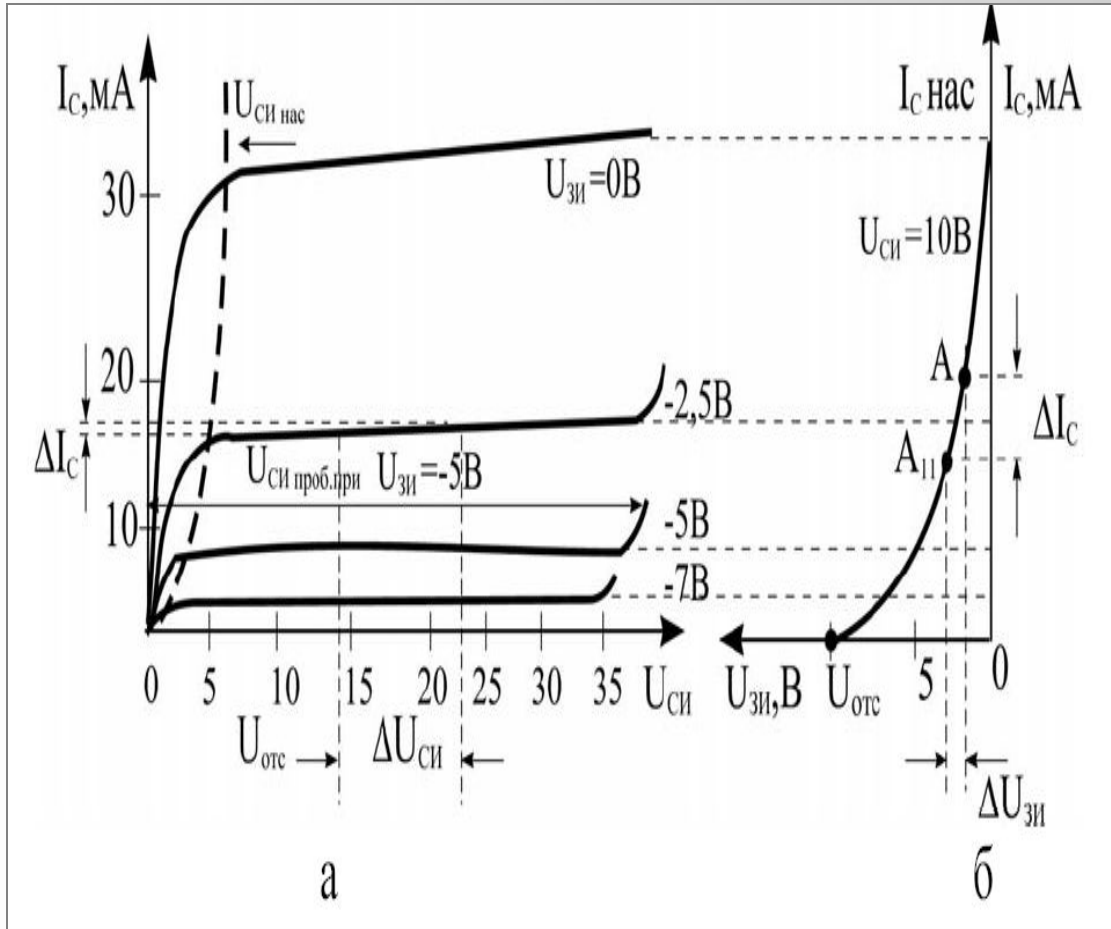


На подложке из **p**-кремния создается тонкий слой полупроводника **n** – типа, выполняющий функцию токопроводящей области (канала). Канал изолирован **p-n** переходами от подложки и затвора. Затвор используется для управления величиной поперечного сечения канала. На концах канала находятся – сильно легированные **n⁺** - области, благодаря которым формируется омический контакт с металлическими электродами стока и истока. При подключении положительного напряжения $U_{си}$ между стоком и истоком возникает дрейфовое движение основных носителей заряда (электронов) от истока через канал к стоку. Появится ток стока I_c , который будет максимальным ($I_c \text{ max}$) при полностью открытом канале, то есть при $U_{зи}=0$. При подаче отрицательного напряжения на затвор ($U_{си}<0$) запирающий слой расширяется, канал сужается, увеличивается его сопротивление, уменьшается ток стока I_c . Отрицательное напряжение на затворе, при котором произойдет перекрытие канала, называется напряжением отсечки тока стока ($U_{отс}<0$). Подложка может служить вторым управляющим электродом. Напряжение на **p-n** переходе вблизи истока будет равно $U_{зи}$, а вблизи стока $U_{зи}+U_{си}$ и область запирающего слоя у стокового конца расширится.

Полевые транзисторы

С управляющим р-п переходом

Характеристики:



А) выходные характеристики:
 $I_c = f(U_{си})$ при $U_{зи} = const$ и
В) характеристика прямой
передачи:
 $I_c = f(U_{зи})$ при $U_{си} = const$

Полевые транзисторы



С управляющим р-п переходом

Характеристики:

Расчет:

Теоретически выходная (стоковая) характеристика (начальный участок) описывается уравнением :

$$I_c = \frac{1}{R_{KK}} \left[U_{CU} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{\frac{U_{3И}^3}{U_{отс}}} - \sqrt{\frac{(U_{3И} + U_{CC})^3}{U_{отс}}} \right) \right]$$

при $U_{СИ} \leq U_{СИ\text{ нас}} = U_{отс} - U_{3И}$;

$$R_{KO} = \frac{U_{отс}}{3I_{C\text{ max}}}$$

-сопротивление канала. Передаточная характеристика полевого транзистора в режиме насыщения ($U_{СИ} > U_{СИ\text{ нас}}$) аппроксимируется зависимостью

$$I_c = I_{C\text{ max}} \left[1 - 3 \frac{U_{3И}}{U_{отс}} + 2 \left(\frac{U_{3И}}{U_{отс}} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

В качестве параметров полевого транзистора используют следующие величины (для схемы с ОИ): выходное дифференциальное сопротивление

$$R_{\text{ВЫХ. ДИФ.}} = R_i = \frac{dU_{СИ}}{dI_{СНАС}} \approx \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta I_C} \quad \text{при } U_{3И} = \text{const};$$

Крутизна характеристики прямой передачи

$$S = \frac{dI_C}{dU_{3И}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{3И}} \quad \text{при } U_{СИ} = \text{const};$$

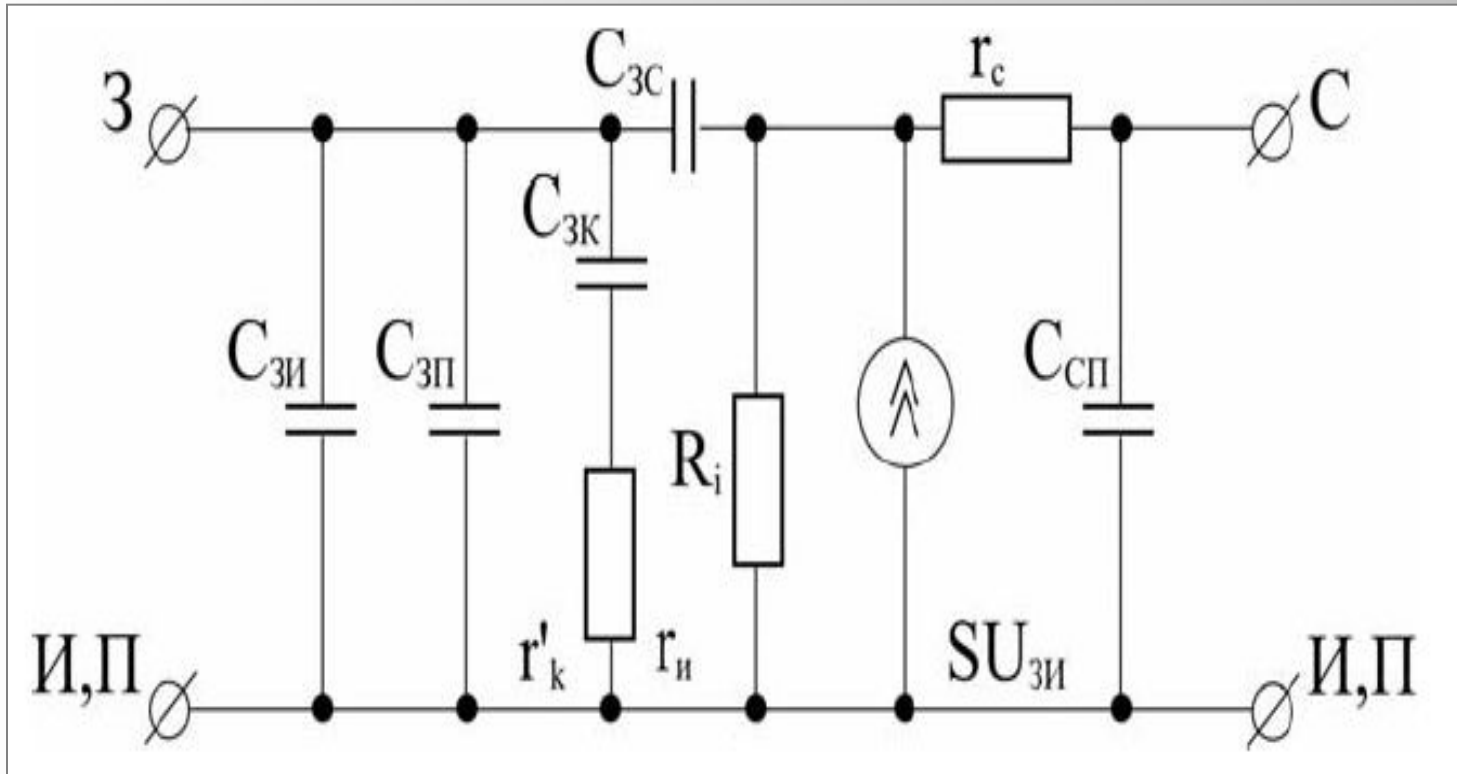
Статический коэффициент усиления

$$\mu = SR_i = -\frac{dU_{СИ}}{dU_{3И}} = -\frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta U_{3И}} \quad \text{при } I_{СНАС} = \text{const};$$

Полевые транзисторы

С управляющим р-п переходом

Эквивалентная схема ПТ:



При работе полевого транзистора на высоких частотах необходимо учесть влияние межэлектродных емкостей и распределенных сопротивлений канала $r'_к$, стока $r_с$.

Межэлектродные емкости:

- емкость затвора на исток $C_{зИ}$ и подложку $C_{зП}$;
- емкость затвора по отношению к каналу $C_{зК}$;
- емкость стока на затвор $C_{зс}$;
- емкость стока на подложку $C_{сп}$.