

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

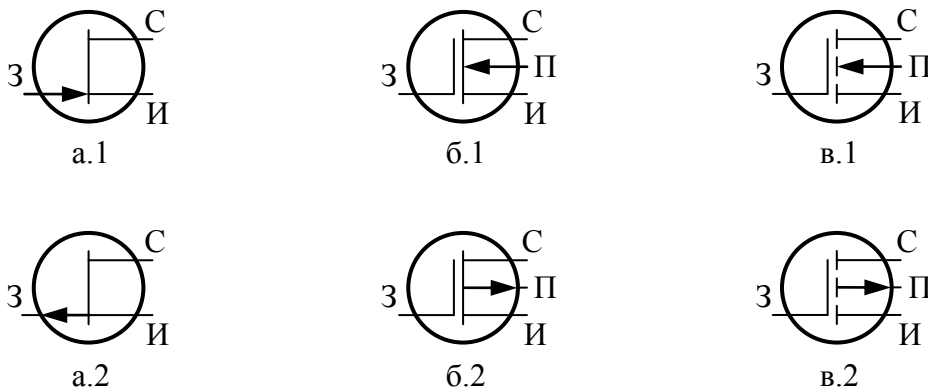
Цель работы: изучить принцип действия и характеристики полевых транзисторов различных типов. Ознакомиться с методикой снятия вольт-амперных характеристик и расчета основных параметров полевых транзисторов.

Основные теоретические сведения

Полевым транзистором называется транзистор, в котором между двумя электродами образуется проводящий канал, по которому протекает ток. Управление этим током осуществляется электрическим полем, создаваемым третьим электродом.

Полевые транзисторы еще называют *униполярными*, поскольку при их работе используются носители заряда лишь одного типа проводимости – либо электроны, либо дырки.

Полевые транзисторы (рис.5.1) в зависимости от способа изготовления делятся на две группы: транзисторы с управляющим *p-n* переходом и транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы).



а.1 – с управляющим *p-n* переходом и каналом *n* типа; а.2 – с управляющим *p-n* переходом и каналом *p* типа; б.1 – МДП со встроенным каналом *n* типа; б.2 – МДП со встроенным каналом *p* типа; в.1 – МДП с индуцированным каналом *n* типа; в.2 – МДП с индуцированным каналом *p* типа.

Рисунок 5.1 – Схематическое изображение полевых транзисторов

Электрод, с которого начинается движение носителей заряда, называется *истоком*, а электрод, к которому они движутся – *сток*. Электрод, создающий управляющее электрическое поле называется *затвором*.

1. Полевые транзисторы с управляющим *p-n* переходом

Полевой транзистор с управляющим *p-n* переходом состоит из полупроводниковой пластины с омическими выводами от каждого конца, в котором методом диффузии образован канал – тонкий слой с проводимостью другого типа (рис.5.2,а).

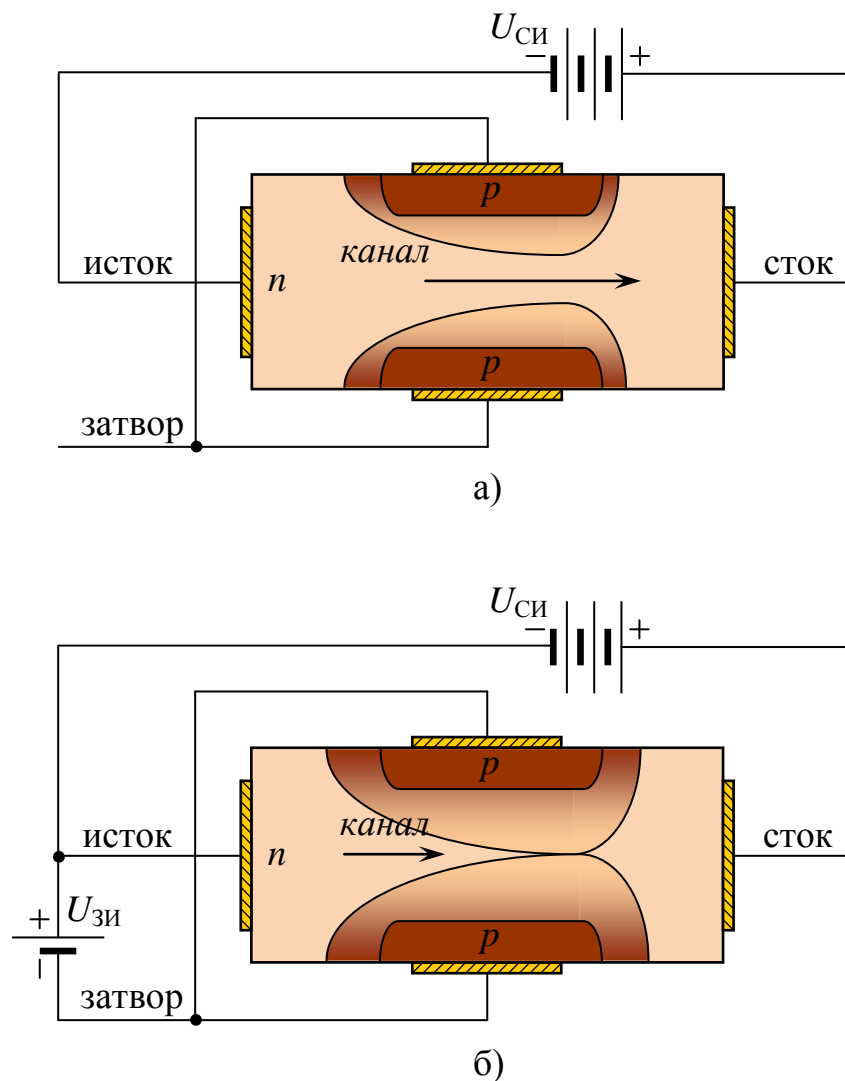


Рисунок 5.2 – Работа полевого транзистора с управляющим *p-n* переходом и каналом *n* типа

На поверхности канала с противоположных сторон формируется p - n переход, расположенный параллельно направлению тока. В зависимости от проводимости полупроводника канал может быть двух типов – n или p .

Если к истоку полевого транзистора с каналом n -типа и управляющим p - n переходом подключить отрицательный, а к стоку – положительный потенциал напряжения $U_{СИ}$, то в канале возникнет ток, создаваемый движением электронов от истока к стоку, т.е. основными носителями заряда. При подключении к затвору отрицательного напряжения относительно истока (рис.5.2,б), между затвором и каналом возникает электрическое поле. Увеличение обратного напряжения $U_{ЗИ}$ приводит к увеличению ширины запирающего слоя p - n перехода, при этом плотность носителей заряда в канале снижается, и величина протекающего тока уменьшается.

Поскольку управление происходит через обратнo смещенный p - n переход, сопротивление между каналом и затвором большое и ток управления (I_3) мал.

Для анализа полевых транзисторов обычно используют два семейства статических ВАХ (рис.5.3): сток-затворные (переходные) и стоковые (выходные).

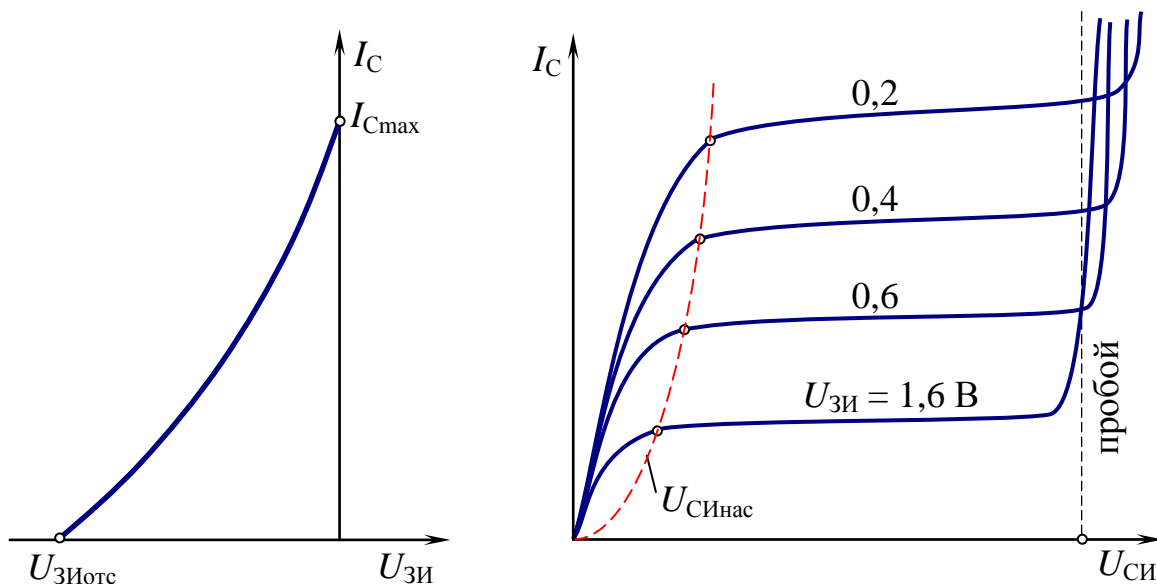


Рисунок 5.3 – Переходная и выходные ВАХ полевого транзистора с управляющим p - n переходом и каналом n типа

Максимальный ток стока в транзисторе наблюдается, когда напряжение $U_{ЗИ} = 0$. Напряжение на затворе, при котором p - n переход перекрывает канал, и ток стока прекращается, называют напряжением *отсечки* $U_{ЗИ\text{отс}}$.

Одним из основных параметров полевого транзистора является крутизна

$$S = \frac{dI_C}{dU_{ЗИ}}, \left[\frac{\text{мА}}{\text{В}} \right]$$

Для полевого транзистора с p - n переходом крутизну можно рассчитать по формуле

$$S = S_{\max} \left(1 - \frac{U_{ЗИ}}{U_{ЗИ\text{отс}}} \right)$$

где $S_{\max} = \frac{2I_{C\max}}{U_{ЗИ\text{отс}}}$ – максимальная крутизна при $U_{ЗИ} = 0$.

2. Полевые транзисторы с изолированным затвором

В полевых транзисторах с изолированным затвором затвор отделен от канала тонким изолирующим слоем окисла (металл-диэлектрик-полупроводник МДП). При очень тонком изолирующем слое проникновение поля в канал не затруднено, при этом ток затвора значительно уменьшается и не зависит от полярности приложенного к затвору напряжения.

Каналы полевых транзисторов с МДП-структурой по физическим свойствам разделяются на встроенные (обедненный тип) и индуцированные (обогащенный тип).

Если приложить напряжение между стоком и истоком $U_{СИ}$, то по встроенному каналу в отсутствие напряжения на затворе потечет ток (рис.5.4,а). Это так называется начальным током стока I_0 . Сопротивление встроенного канала можно уменьшить, прикладывая напряжение между затвором транзистора и подложкой.

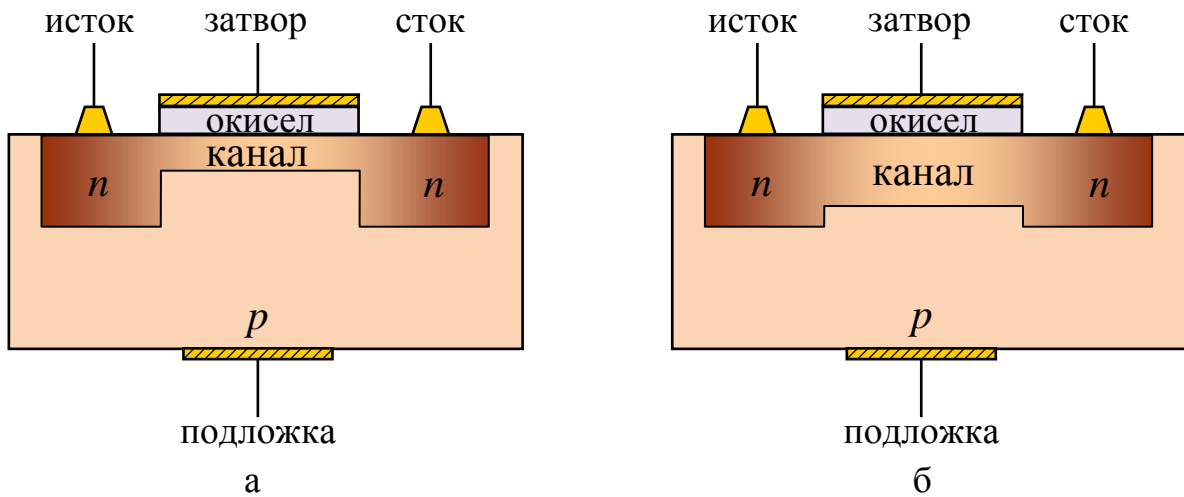


Рисунок 5.4 – Полевой транзистор со встроенным каналом n -типа

Если к затвору МДП-транзистора со встроенным n -каналом приложить положительное напряжение относительно подложки, то электроны (неосновные носители заряда) из подложки p -типа, будут притягиваться к диэлектрику. При этом канал МДП-транзистора насыщается основными носителями заряда, увеличивая проводимость канала (рис.5.4,б). Этот процесс называется режим *обогащения*. ВАХ МДП-транзистора со встроенным n -каналом приведены на рис.5.5.

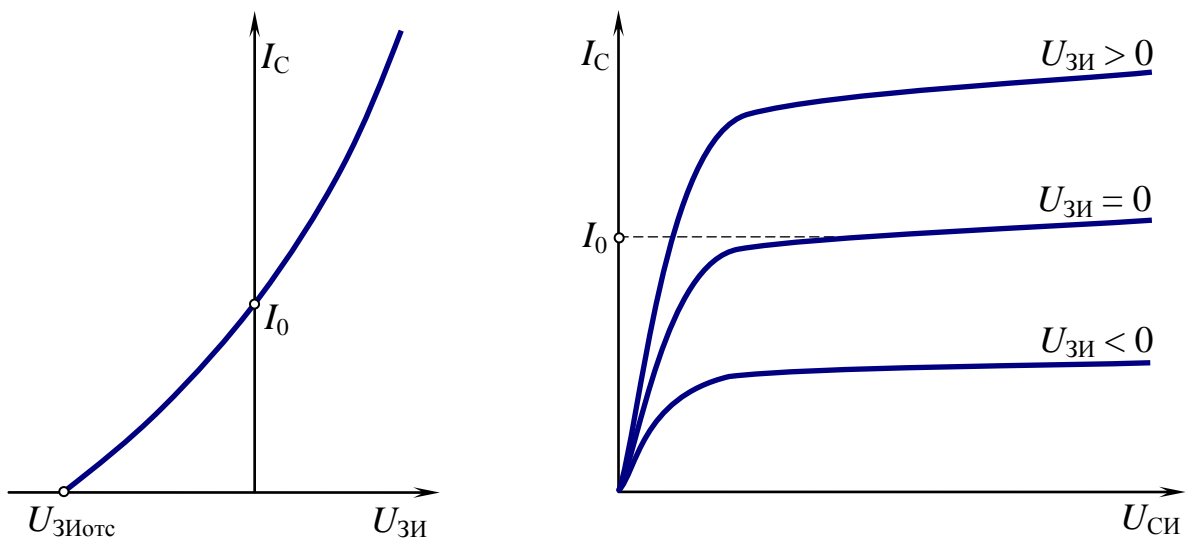


Рисунок 5.5 – Переходная и выходные ВАХ полевого транзистора со встроенным каналом n -типа

Если к затвору такого транзистора приложить отрицательное напряжение по отношению к подложке, то под действием электрического поля электроны будут выталкиваться из канала в подложку. Такой режим принято называть *обеднением* канала. В результате, сопротивление канала увеличивается, а ток стока уменьшается. При некотором напряжении на затворе ток стока прекратится. Это напряжение называют напряжением отсечки $U_{\text{зиотс}}$.

В МДП-транзисторе с индуцированным каналом при напряжении на затворе $U_{\text{зи}} = 0$ канал отсутствует (рис.5.6,а), и, соответственно, при приложенном напряжении между стоком и истоком ток протекать не будет.

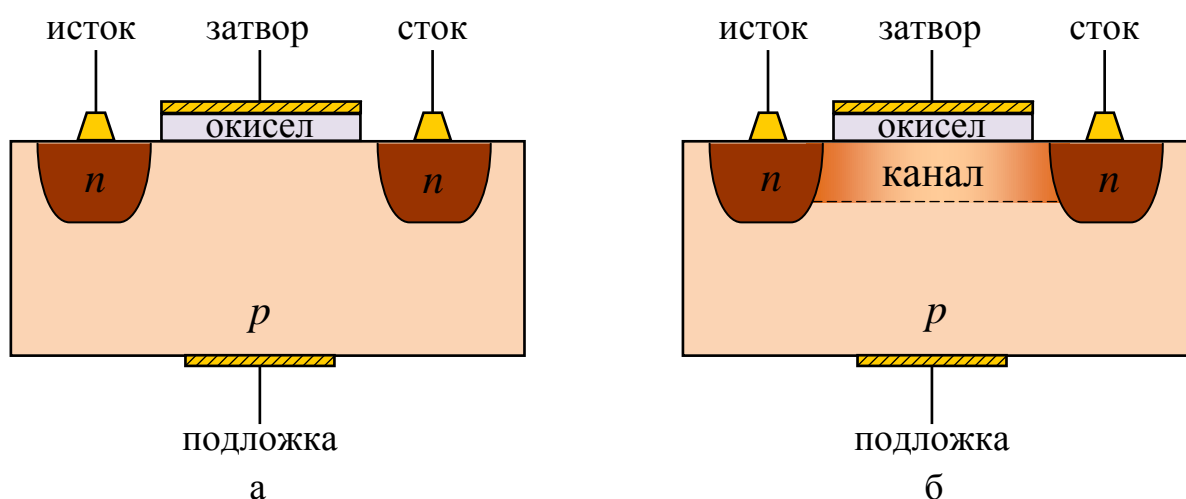


Рисунок 5.6 – Полевой транзистор с индуцированным каналом *n*-типа

При увеличении положительного напряжения на затворе относительно подложки, электроны будут притягиваться к диэлектрику и на поверхности полупроводника *p*-типа образуется тонкий слой с электропроводностью *n*-типа (рис.5.6,б).

Этот слой принято называть каналом, а такой режим *инверсией электропроводности*. Напряжение, при котором происходит инверсия электропроводности и образуется канал, принято называть напряжением *отсечки* или *пороговым* напряжением.

При дальнейшем увеличении напряжения на затворе ток стока будет увеличиваться, как видно из переходной ВАХ (рис.5.7).

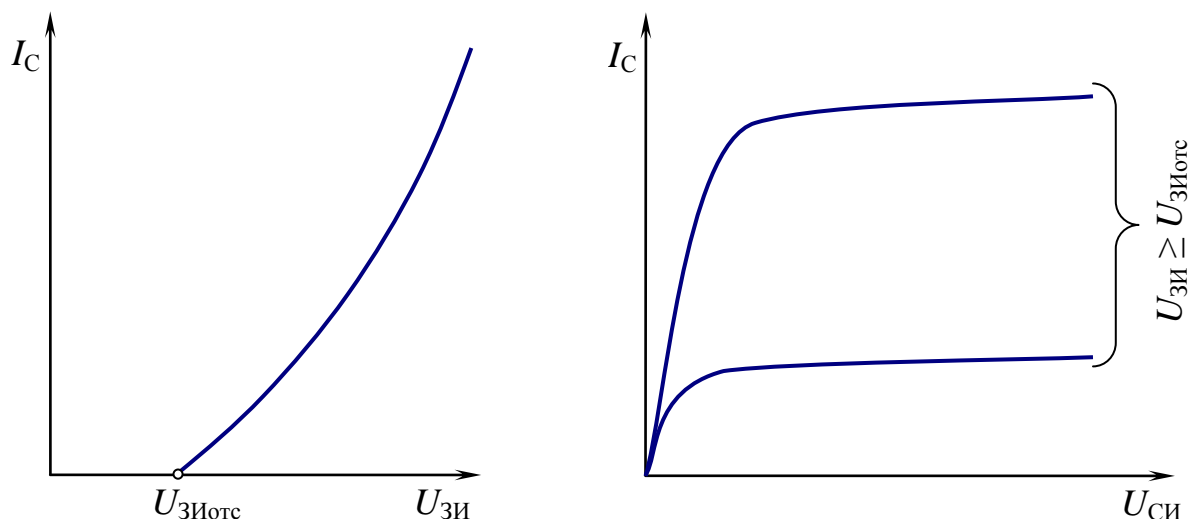


Рисунок 5.7 – Переходная и выходные ВАХ полевого транзистора с индуцированным каналом n -типа

Для пологой области характеристик крутизну МДП-транзистора можно найти из выражения

$$S = K U_{зи} - U_{зиотс} \cdot$$

где K – коэффициент, зависящий от технологии изготовления транзистора.

Порядок выполнения работы

Перечень приборов:

- модуль для исследования характеристик транзисторов;
- универсальный источник питания;
- комбинированный измерительный прибор.

1. Исследование сток-затворной характеристики полевого транзистора

1.1 Подготовить источник питания к работе:

- ручки регуляторов напряжения и тока 1 и 2 канала повернуть против часовой стрелки до упора;
- кнопки «СИНХРОНИЗАЦИЯ» установить в режим «НЕЗАВИСИМО»;
- включить источник питания (кнопка «POWER»);
- настроить ограничитель тока 1 канала источника питания:

2. Исследование выходных характеристик полевого транзистора

- 2.1 Ручкой «НАПРЯЖЕНИЕ» источника питания установить $U_{зи} = 0$ В.
- 2.2 Фиксируя напряжение $U_{си}$ ручкой «НАПРЯЖЕНИЕ» источника питания, согласно таблицы 5.2, измерять ток стока I_C . Соответствующие значения тока стока I_C занести в таблицу 5.2.
- 2.3 Повторить опыт для $U_{зи} = 1$ В и $U_{зи} = 2$ В согласно пункта 2.2.

Таблица 5.2

Результаты измерений стоковых характеристик полевого транзистора

$U_{си},$ В	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	2	5	10	$U_{зи},$ В
$I_{C1},$ мА										0
$I_{C2},$ мА										1
$I_{C3},$ мА										2

- 2.4 По данным таблиц 5.1 и 5.2 построить сток-затворную и семейство стоковых характеристик полевого транзистора.
- 2.5 Вычислить крутизну полевого транзистора $S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{зи}}$ (при $U_{си} = \text{const}$) по переходной и выходным характеристикам, сравнить полученный результат.

Контрольные вопросы к работе

1. Объяснить принцип действия полевого транзистора.
2. В чём заключается преимущества и недостатки униполярного транзистора в сравнении с биполярным?
3. Дать определение понятию инверсия электропроводности.
4. Изобразить схему включения полевого транзистора.
5. Показать на ВАХ МДП-транзистора режимы обеднения и обогащения.
6. Проанализировать работу полевого транзистора по ВАХ.