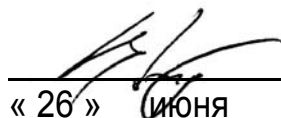


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ПМЭ



« 26 » июня

Г.С. Евтушенко  
2013 г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника»  
для студентов направлений 200100 «Приборостроение», 200400 «Оптотех-  
ника» и 140600 «Высокотехнологические плазменные и энергетические ус-  
тановки»

*Составители:* **В.В. Гребенников, Ю.В. Мутовин**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2013

УДК 681.2(076.5)  
ББК 34.9я7  
Г79

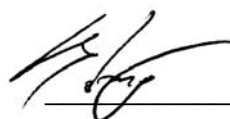
**Гребенников В.В.**

Г79 Исследование характеристик и параметров полевых транзисторов: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника» для студентов, обучающихся по направлениям 200100 «Приборостроение», 200400 «Оптотехника» и 140600 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки» / В.В. Гребенников, Ю.В. Мутовин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 18 с.

УДК 681.2(076.5)  
ББК 34.9я7

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
промышленной и медицинской электроники ИНК  
«25» июня 2013 г.

Зав. кафедрой ПМЭ,  
проф., доктор техн. наук

 Г.С. Евтушенко

*Рецензент*  
доцент кафедры ПМЭ ТПУ  
*Д.Н. Огородников*

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013  
© Гребенников В.В., 2013  
© Мутовин Ю.В., 2013  
© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2013

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа действия полевых транзисторов, экспериментальное определение статических вольтамперных характеристик, исследование сопротивления канала от напряжения на затворе транзистора с управляющим р–n-переходом.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Полупроводниковые приборы, работа которых основана на изменении проводимости канала поперечным электрическим полем, называют полевыми транзисторами. У них в создании электрического тока участвуют носители одного типа (электроны или дырки), поэтому их еще называют униполярными транзисторами. По способу создания канала различают полевые транзисторы с управляющим р–n-переходом и со структурой металл–диэлектрик–полупроводник (МДП-транзисторы) с встроенным каналом и с индуцированным каналом.

### 2.1. Полевые транзисторы с управляющим р–n-переходом

Анализ работы полевого транзистора с управляющим переходом рассмотрим на основе его модели, показанной на рис. 2.1, а. В приведенной конструкции канал протекания тока транзистора представляет собой слой полупроводника n-типа, заключенный между двумя р-n-переходами. Канал имеет контакты с внешними электродами прибора. Электрод, от которого начинают движение носители заряда (в данном случае электроны), называют истоком, а электрод, к которому, они движутся, – стоком. Полупроводниковые слои р-типа, образующие с n-слоем два р–n-перехода, созданы с более высокой концентрацией примеси, чем n-слой. Оба р-слоя электрически связаны между собой и имеют общий внешний электрод, называемый затвором.

Подобную конструкцию имеют и полевые транзисторы с каналом р-типа. Условные обозначения полевых транзисторов с каналом n- и р-типа приведены на рис. 2.1,б, в.

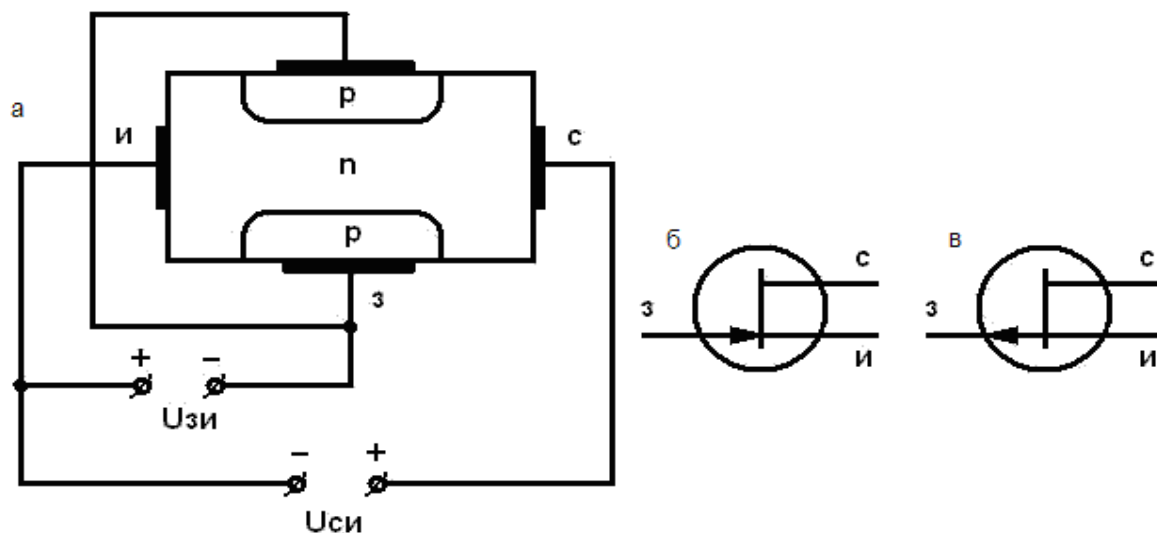


Рис. 2.1

Полярность внешних напряжений, подводимых к транзистору, показана на рис. 2.1, а. Управляющие (входное) напряжение подается между затвором и истоком. Напряжение  $U_{зи}$  является обратным для обоих р–п-переходов. В выходную цепь, в которую входит канал транзистора, включается напряжение  $U_{си}$  положительным полюсом к стоку.

Управляющие свойства транзистора объясняются тем, что при изменении напряжения  $U_{зи}$  изменяется ширина его р–п-переходов, которые представляют собой участки полупроводника, обедненные носителями зарядами. Поскольку р-слой имеет большую концентрацию примеси, чем п-слой, изменение ширины р–п-перехода происходит в основном за счет п-слоя. С повышением приложенного к переходу обратного напряжения  $U_{зи}$ , размеры перехода увеличиваются и область, обедненная носителями заряда, смещается в сторону канала, что приводит к уменьшению сечения токопроводящего канала и повышению его электрического сопротивления.

Особенностью полевого транзистора является то, что на проводимость канала оказывает влияние, как управляющее напряжение  $U_{зи}$ , так и напряжение  $U_{си}$ . Влияние подводимых напряжений на величину области объемного заряда, а значит и на проводимость канала, иллюстрирует рис. 2.2.

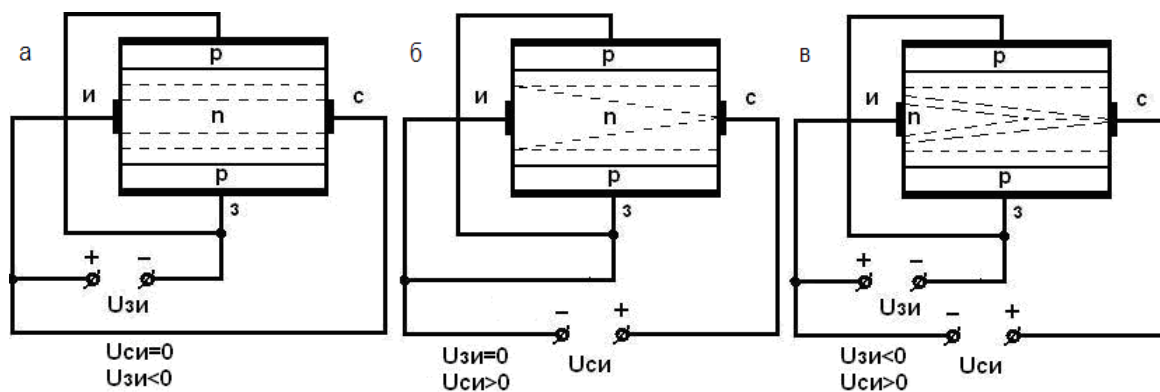


Рис. 2.2

На рис. 2.2, а внешнее напряжение приложено только к входной цепи транзистора. Изменение напряжения  $U_{зи}$  приводит к изменению проводимости канала за счет изменения на одинаковую величину объемного заряда, а значит и его сечения по всей длине канала. Но выходной ток стока  $I_c = 0$ , поскольку  $U_{си} = 0$ . Рис. 2.2, б иллюстрирует изменение сечения канала при воздействии только напряжения  $U_{си}$  ( $U_{зи} = 0$ ). При  $U_{си}$  больше нуля через канал протекает ток  $I_c$ , в результате чего создается падение напряжения, возрастающее в направлении стока. Суммарное падение напряжения участка исток–сток равно  $U_{си}$ . В силу этого потенциалы точек канала n-типа будут неодинаковыми по его длине, возрастая в направлении стока от нуля до  $U_{си}$ . Потенциал же точек p-области относительно истока определяется потенциалом затвора относительно истока и в данном случае равен нулю. Поэтому обратное напряжение, приложенное к переходам, возрастает в направлении от истока к стоку, и переходы расширяются в направлении стока. Данное явление приводит к уменьшению сечения канала от истока к стоку (рис. 2.2, б). Повышение напряжения  $U_{си}$  вызывает увеличение падения напряжения в канале и уменьшение его сечений, а, следовательно, приводит к уменьшению проводимости канала. При некотором напряжении  $U_{си}$  происходит сужение канала, при котором границы обоих p–n-переходов смыкаются (рис. 2.2, б) и сопротивление канала становится высоким. На рис. 2.2, в отражено результирующее влияние на канал обоих напряжений  $U_{зи}$  и  $U_{си}$ .

Стоковые (выходные) вольтамперные характеристики полевого транзистора с управляющим p–n-переходом и каналом n-типа показаны на рис.2.3, а. Они отражают зависимость тока стока от напряжения сток–исток при фиксированном напряжении затвор–исток и представляются в виде семейства кривых. На каждой из этих кривых можно вы-

делить три характерные области: 1 – сильная зависимость тока стока от напряжения  $U_{си}$  (начальная область); 2 – слабая зависимость тока стока от напряжения  $U_{си}$  (режим насыщения тока стока); 3 – область электрического пробоя р–п-перехода.

В области малых напряжений  $U_{си}$  (рис. 2.3, а – участок 0 – а) влияние напряжения на проводимость канала незначительно, так как объемный заряд переходов еще мал. Поэтому здесь имеется практически линейная зависимость тока стока  $I_c$  от напряжения  $U_{си}$ . По мере увеличения напряжения (участок а–б) сужение токопроводящего канала за счет роста объемного заряда оказывает все более существенное влияние на его проводимость, что приводит к уменьшению крутизны нарастания тока.

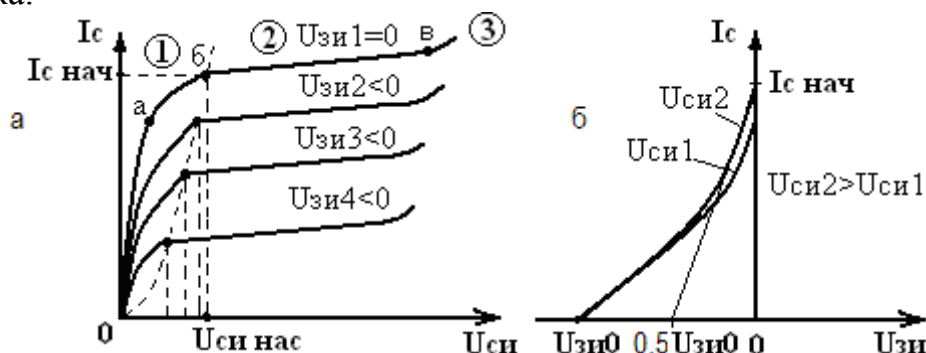


Рис. 2.3

При подходе к границе с участком –2 (точка б) сечение канала уменьшается в области стока до минимума в результате смыкания объемных зарядов обоих р–п-переходов. Напряжение, при котором наступает режим насыщения тока стока, называется напряжением насыщения  $U_{си.нас}$ . Дальнейшее повышение напряжения мало изменяет значение тока, так как одновременно с ростом напряжения будет увеличиваться сопротивление канала, так как обедненная носителями область объемного заряда продолжает увеличиваться, заполняя канал от стока к истоку. Некоторое увеличение тока стока на участке б–в объясняется наличием различного рода утечек и влиянием сильного электрического поля в переходах, прилегающих к каналу. Область 3 характеризуется лавинным пробоем р–п-переходов вблизи стока по цепи сток–затвор и соответственно резким увеличением тока стока. Напряжение начала пробоя соответствует точке в.

Приложение к затвору обратного напряжения вызывает сужение канала, так как происходит рост объемного заряда р–п-переходов и происходит уменьшение его исходной проводимости. Поэтому начальные участки кривых, соответствующих большим напряжениям на затворе,

имеют меньшую крутизну нарастания тока. Ввиду наличия напряжения  $U_{зи}$  перекрытие канала объемным зарядом р-п-переходов происходит при меньшем напряжении, и границе участков 1 и 2 будут соответствовать меньшие напряжения насыщения  $U_{си.нас}$ .

Напряжению перекрытия канала соответствуют абсциссы точек пересечения стоковых характеристик с пунктирной кривой, показанной на рис. 2.3, а.

Важным параметром полевого транзистора является напряжение на затворе, при котором ток стока близок к нулю. Оно соответствует напряжению запирающего прибора по цепи затвора и называется напряжением отсечки  $U_{зи(0)}$ .

Числовое значение напряжения отсечки равно напряжению  $U_{си}$  в точке б вольтамперной характеристики при напряжении  $U_{зи} = 0$ . Напряжение насыщения при определенном напряжении на затворе равно разности напряжения отсечки и напряжения затвор-исток ( $U_{си.нас} = U_{зи(0)} - U_{зи}$ ). Поскольку управление выходным током полевых транзисторов производится напряжением входной цепи, для них представляет интерес так называемая переходная или сток-затворная вольтамперная характеристика. Эта характеристика показывает зависимость тока стока от напряжения затвор-исток при фиксированном напряжении сток-исток.

Примерный вид этой характеристики показан на рис. 2.3, б. Сток-затворная характеристика связана с выходными характеристиками полевого транзистора и может быть построена по ним.

При работе транзистора в пологой области стоковой вольт-амперной характеристики при заданном напряжении  $U_{зи}$  ток стока определяют из выражения:

$$I_c = I_{с.нач} \left(1 - \frac{U_{зи}}{U_{зи(0)}}\right)^2, \quad (2.1)$$

где  $I_{с.нач}$  – начальный ток стока насыщения, под которым понимают ток при  $U_{зи} = 0$  и напряжении на стоке, превышающем напряжение насыщения  $U_{си.нас}$ .

Для количественной оценки управляющего действия затвора используют крутизну сток-затворной характеристики, определяемую при фиксированном напряжении  $U_{си}$ .

$$S = \frac{dI_c}{dU_{зи}} \quad (2.2)$$

Крутизна характеристики достигает максимального значения  $S_{нач}$  при напряжении  $U_{зи} = 0$ .

Для определения крутизны при разных значениях напряжения  $U_{зи}$  продифференцируем выражение (2.1):

$$\frac{dI_c}{dU_{зи}} = \left( \frac{2I_{с.нач}}{U_{зи(0)}} \right) \left( 1 - \frac{U_{зи}}{U_{зи(0)}} \right). \quad (2.3)$$

При напряжении  $U_{зи} = 0$  выражение (2.3) примет вид:

$$\frac{dI_c}{dU_{зи}} = S_{нач} = \frac{2I_{с.нач}}{U_{зи(0)}}. \quad (2.4)$$

Подставив (2.4) в выражение (2.3), получим:

$$S = S_{нач} \left( 1 - \frac{U_{зи}}{U_{зи(0)}} \right). \quad (2.5)$$

Начальное значение крутизны характеристики можно определить графоаналитическим способом. Для этого проводится касательная из точки  $I_{с.нач}$  ( $U_{зи} = 0$ ) к сток-затворной характеристике (рис. 2.3, б). Она отсечет на оси напряжений отрезок  $0,5U_{зи(0)}$ , и ее наклон определит значение  $S_{нач}$ .

Основными параметрами полевого транзистора являются: максимально допустимый ток стока  $I_{с.мак}$ , максимальное напряжение стока  $U_{си.мак}$ , напряжение отсечки  $U_{зи(0)}$ , дифференциальное внутреннее сопротивление  $R_i$ , крутизна  $S$ , входное сопротивление –  $R_{вх}$ , а также межэлектродные емкости затвор-исток  $C_{зи}$ , затвор-сток  $C_{зс}$  и сток-исток  $C_{си}$ .

Максимальное значение тока стока  $I_{с.мак}$  соответствует его значению в точке (в) на выходных характеристиках при напряжении  $U_{зи} = 0$ .

Максимальное значение напряжения  $U_{си.мак}$  должно быть в 1,2 – 1,5 раза меньше напряжения пробоя участка сток-затвор при напряжении  $U_{зи} = 0$ . Напряжению отсечки  $U_{зи(0)}$  соответствует напряжение на затворе при токе стока, близком нулю. Дифференциальное внутрен-



нее сопротивление  $R_i = dU_{cu} / dI_c$  (при  $U_{zu} = \text{const}$ ) характеризует наклон характеристики на участке 2 (рис. 2.3, а). Крутизна  $S = dI_c / dU_{zu}$  (при  $U_{cu} = \text{const}$ ) отражает влияние напряжения  $U_{zu}$  на выходной ток транзистора. Крутизну находят по сток-затворной характеристике (рис. 2.3, б). Входное сопротивление  $R_{вх} = dU_{zu} / dI_з$  транзистора определяется сопротивлением р–п-переходов, смещенных в обратном направлении.

Влияние температуры на характеристики и параметры полевых транзисторов с управляющим р–п-переходом определяется температурными зависимостями контактной разности потенциалов и подвижности носителей заряда. Изменение контактной разности потенциалов переходов в зависимости от температуры приводит к изменению сечения токопроводящего канала и его проводимости. С ростом температуры контактная разность потенциалов уменьшается, что сказывается на увеличении сечения канала и повышении его проводимости. Вследствие уменьшения подвижности носителей заряда проводимость канала уменьшается с повышением температуры. Это позволяет при правильном выборе положения рабочей точки транзистора взаимно компенсировать изменение тока стока, вызванные изменением контактной разности потенциалов и удельного сопротивления канала. Таким способом, можно добиться того, что ток стока будет почти постоянным в широком диапазоне температур.

Схема замещения или эквивалентная схема (малосигнальная эквивалентная схема) полевого транзистора с управляющим р–п-переходом представлена на рис. 2.4.

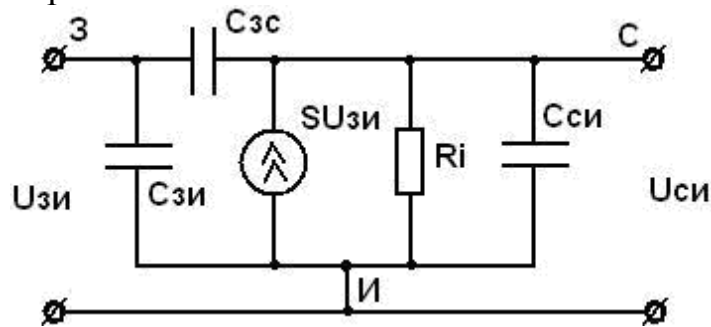


Рис. 2.4

Она характеризует работу транзистора на участке 2 выходных характеристик для малых переменных составляющих тока и напряжения (режим малого сигнала). При ее построении были использованы следующие соображения. Ток прибора на участке 2 определяется напряжением на затворе и крутизной, в связи, с чем в выходную цепь схемы за-

мещения введен источник тока ( $S \cdot U_{zu}$ ). Параллельно источнику тока включено сопротивление  $R_i$ , учитывающее влияние напряжения стока на ток стока прибора. Величины емкостей  $C_{zu}$ ,  $C_{zc}$ , и  $C_{cu}$  отражают влияние межэлектродных емкостей на работу транзистора в области высоких частот. Для области низких частот в межэлектродные емкости в схему замещения не включают, так как их влияние на работу транзистора в этой области пренебрежимо малы.

Все рассуждения, сделанные выше справедливы и полевых транзисторов с каналом р-типа. При изменении типа электропроводности канала меняются только полярность приложенных напряжений и направление токов, в том числе и в эквивалентных схемах. Основным преимуществом полевых транзисторов с управляющим р–n-переходом, по сравнению с биполярными транзисторами является высокое входное сопротивление, малые шумы, простота изготовления.

## 2.2. МДП-транзисторы

МДП-транзисторы могут быть двух типов: транзисторы с встроенными каналами (канал создается при изготовлении) и транзисторы с индуцированными каналами (канал возникает под действием напряжения, приложенного к управляющим электродам). В отличие от полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом, в которых затвор имеет непосредственный электрический контакт с близлежащей областью токопроводящего канала, в МДП-транзисторах затвор изолирован от указанной области слоем диэлектрика. По этой причине МДП-транзисторы относят к классу транзисторов с изолированным затвором.

МДП-транзисторы (структура металл – диэлектрик – полупроводник) выполняют из кремния. В качестве диэлектрика используют окисел кремния. Отсюда другое название этих транзисторов – МОП-транзисторы (структура металл – окисел – полупроводник). Наличие диэлектрика обеспечивает высокое входное сопротивление этих транзисторов ( $10^{12} - 10^{14}$  Ом), существенно большее, чем у полевых транзисторов с управляющим р–п-переходом ( $10^8 - 10^9$ ).

Принцип действия МДП-транзисторов основан на эффекте изменения проводимости приповерхностного слоя полупроводника на границе с диэлектриком под воздействием поперечного электрического поля. Приповерхностный слой полупроводника является токопроводящим каналом этих транзисторов.

МДП-транзисторы представляют собой в общем случае четырехэлектродный прибор. Четвертым электродом (подложкой), выполняю-

щим вспомогательную функцию, является вывод от подложки исходной полупроводниковой пластины. МДП-транзисторы могут быть с каналом n- или p-типа. Условные обозначения МДП-транзисторов показаны на рис. 2.5. На рис. 2.5, а, б это транзисторы со встроенным и с индуцированным каналом n-типа, а на рис. 2.5, в, г – транзисторы с каналом p-типа.

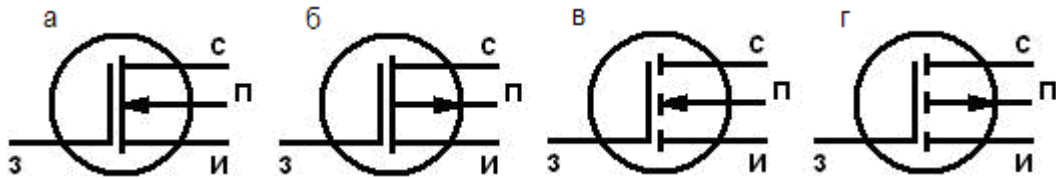


Рис. 2.5

Рассмотрим особенности МДП-транзисторов со встроенным каналом. Конструкция такого транзистора с каналом n-типа показана на рис. 2.6,а.

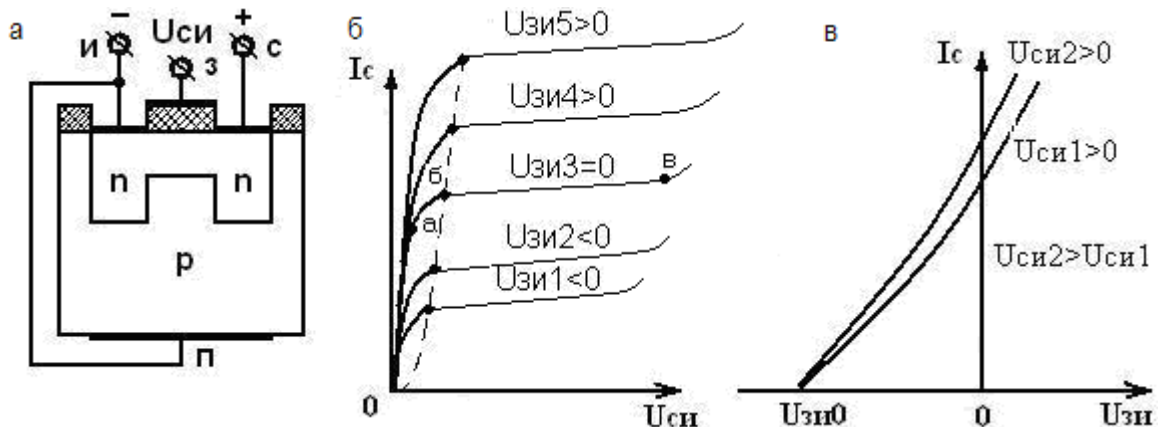


Рис. 2.6

В исходной пластине кремния p-типа с помощью диффузионной технологии созданы области истока, стока и канала n-типа. Слой окисла кремния выполняет функции защиты поверхности, близлежащей к истоку и стоку, а также изоляции затвора от канала. Вывод подложки, если он не используется как дополнительный управляющий электрод, присоединяют к истоку.

Стоковые (выходные) характеристики полевого транзистора со встроенным каналом n-типа показаны на рис. 2.6, б. По виду эти характеристики близки к характеристикам полевого транзистора с управляющим p-n-переходом. Рассмотрим, характеристику, снятую при напряжении  $U_{зи} = 0$ , что соответствует соединению затвора с истоком.

Внешнее напряжение  $U_{ис}$  приложено к участку исток–сток положи-

тельным полюсом к стоку, что соответствует обратному включению р-п-перехода. Поскольку напряжение  $U_{зи} = 0$ , через прибор протекает ток, определяемый исходной проводимостью канала. На начальном участке (0 – а), когда падение напряжения в канале мало, зависимость тока стока от напряжения  $U_{си}$  близка к линейной.

Это объясняется тем, что здесь объемный заряд обратного смещенного перехода еще мал и практически не влияет на сопротивление канала. По мере приближения к точке (б) происходит уже заметный рост объемного заряда в области стока, так как здесь обратное напряжение на переходе имеет наибольшее значение. В результате сечение канала уменьшается и его сопротивление уже заметно растет, что уменьшает крутизну нарастания тока на участке (а – б). В точке (б) токопроводящий канал в области стока сужается до минимума (т.е. происходит смыкание канала) и далее с ростом напряжения  $U_{си}$  объемный заряд продолжает заполнять канал в сторону истока и сопротивление канала растет почти пропорционально росту напряжения. Это приводит к ограничению нарастания тока и появлению на характеристике пологого участка.

Далее рассмотрим влияние напряжения  $U_{зи}$  на ход стокowych характеристик. В случае приложения к затвору напряжения  $U_{зи} < 0$  поле затвора оказывает отталкивающее действие на электроны, которые являются носителями заряда в канале, что приводит к уменьшению их концентрации в канале и увеличению сопротивления канала. Вследствие этого стокowe характеристики при напряжениях на затворе  $U_{зи} < 0$  располагаются ниже кривой, соответствующей  $U_{зи} = 0$ . Режим работы транзистора, при котором происходит уменьшение концентрации заряда в канале, называют режимом обеднения.

При подаче на затвор напряжения  $U_{зи} > 0$  поле затвора притягивает электроны в канал из р-слоя полупроводниковой пластины. Концентрация носителей заряда в канале увеличивается, что приводит к уменьшению его сопротивления, а значит и к росту тока стока. Поэтому стокowe характеристики при напряжениях  $U_{зи} > 0$  располагаются выше кривой, соответствующей напряжению  $U_{зи} = 0$ . Режим работы транзистора, при котором происходит увеличение концентрации заряда в канале, называют режимом обогащения.

Для транзистора имеется предел повышения напряжения  $U_{cз}$  ввиду наступления пробоя участка сток–затвор. На стоковых характеристиках пробой соответствует достижение некоторой величины  $U_{си.пр}$  (область 3). В случае  $U_{зи} < 0$  нуля напряжение  $U_{cз}$  увеличивается, в связи, с чем пробой наступает при меньшем напряжении  $U_{си}$

Примерный вид сток-затворной характеристики со встроенным каналом показан на рис. 2.6, в. Ее отличие от сток-затворной характеристики транзистора с управляющим р–п-переходом обусловлено возможностью работы прибора, как в режиме обеднения, так и в режиме обогащения.

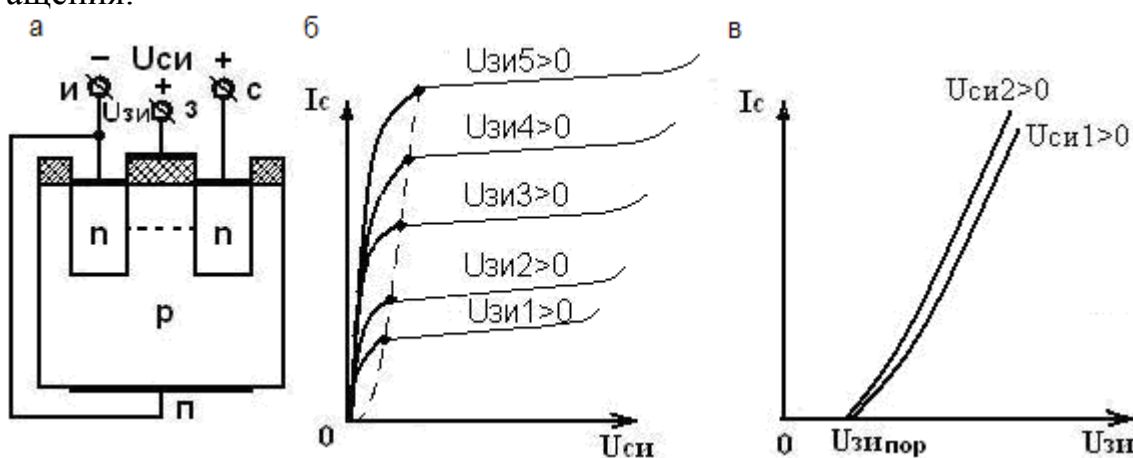


Рис. 2.7

Конструкция МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа показана на рис. 2.7, а. Канал проводимости тока здесь специально не создается, а образуется (индуцируется) благодаря притоку электронов из полупроводниковой пластины в случае приложения к затвору напряжения положительной полярности относительно истока. За счет притока электронов в приповерхностном слое происходит изменение электропроводности полупроводника, т. е. индуцируется токопроводящий канал n-типа, соединяющий области стока и истока. Напряжение на затворе, при котором индуцируется канал, называют пороговым напряжением  $U_{зи.пор}$ . Проводимость канала возрастает с повышением приложенного к затвору напряжения положительной полярности. Таким образом, транзистор с индуцированным каналом работает только в режиме обогащения.

Стоковые (выходные) характеристики полевого транзистора с индуцированным каналом n-типа приведены на рис. 2.7, б. Они близки по

виду аналогичным характеристикам транзистора со встроенным каналом и имеют тот же характер тока стока от напряжения сток–исток.

Отличие заключается в том, что управление током стока транзистора осуществляется напряжением одной полярности, совпадающей с полярностью напряжения  $U_{cu}$ . Ток стока равен нулю при  $U_{zu} = 0$ , в то время как в транзисторе со встроенным каналом ток отличен от нуля, так как у него существует исходная проводимость канала.

Вид сток-затворной характеристики транзистора с индуцированным каналом показан на рис. 2.7, в. Заметный рост тока стока, как видно из рассмотрения этой характеристики, происходит при достижении напряжения на затворе значения равного  $U_{zu.пор}$ .

В настоящее время также выпускаются МДП-транзисторы с двумя изолированными затворами (тетродные). Наличие второго затвора позволяет одновременно управлять током транзистора с помощью двух управляющих напряжений, что облегчает построение различных усилительных и умножительных устройств.

### 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Ознакомиться и выписать справочные данные полевых транзисторов КП103М и КП301Б.

3.2. Собрать схему рис. 3.1. Снять семейство стокзатворных (передаточных) характеристик транзистора КП103М  $I_c = f(U_{zu})$  при напряжениях:  $U_{cu} = -5В$  и  $-10В$ . При определении напряжения отсечки, когда ток стока близок к нулю, предел шкалы измерения тока установить на 200 мкА.

3.3. Снять семейство стоковых (выходных) характеристик  $I_c = f(U_{cu})$  при напряжениях на затворе: +3В; +2В; +1В; 0В. При снятии характеристик необходимо следить, чтобы мощность, рассеиваемая стоком, не превышала предельно допустимого значения исследуемого транзистора.

3.4. Определить зависимость начального (невозмущенного) напряжением стока, т.е. при напряжении  $U_{cu}$  близком к нулевому значению) сопротивления канала от напряжения затвора. Для этого установить напряжение  $U_{cu} = (0.3 - 0.4)В$ . Меняя напряжение  $U_{zu}$  от напряжения отсечки до нуля, записать показания тока и напряжения стока. Снять не

менее 8–10 точек. По этим данным вычислить сопротивление канала при различных напряжениях  $U_{зи}$ .

3.5. Собрать типовую схему измерения тока затвора  $I_z$  (рис. 3.2).

Меняя напряжение затвора от нуля до 10 В, оценить ток затвора и сравнить с паспортным его значением исследуемого транзистора.

3.6. Собрать схему для исследования транзистора КП301Б (рис. 3.3). Снять семейство сток-затворных характеристик  $I_c = f(U_{зи})$  при напряжениях:  $U_{си} = -5\text{В}$  и  $-10\text{В}$ . При определении порогового напряжения  $U_{зи}$  пор предел шкалы измерения тока установить на предел 200 мкА.

3.7. Снять семейство стоковых характеристик  $I_c = f(U_{си})$  при напряжениях на затворе:  $U_{зи} = -(|U_{зи.пор}| + 2)$ ;  $-(|U_{зи.пор}| + 4)$ ;  $-(|U_{зи.пор}| + 6)$ , где  $U_{зи.пор}$  – округленное до целого значение порогового напряжения, определенное по данным пункта 3.6.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Привести справочные данные исследуемых транзисторов, схемы измерений и таблицы экспериментальных данных.

4.2. По данным пунктов 3.2 и 3.3 построить семейства сток-затворных и стоковых характеристик транзистора КП103М. Объяснить ход кривых этих характеристик на основе знаний физических процессов, протекающих в транзисторной структуре.

4.3. Построить по данным пункта 3.4 зависимость сопротивления канала транзистора от напряжения на затворе. Рассчитать и построить эту зависимость по теоретической формуле:

$$R_k = R_{ко} / (1 - \sqrt{U_z / U_{зио}}),$$

где  $R_{ко}$  – сопротивление канала при  $U_{зи} = 0$ , значения  $R_{ко}$  и напряжение отсечки  $U_{зио}$  взять из экспериментальных данных.

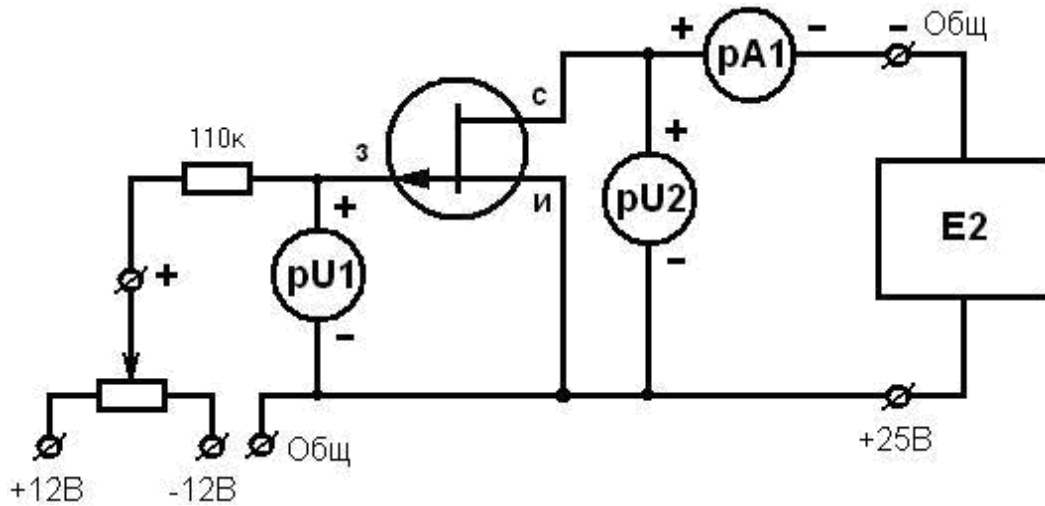


Рис. 3.1

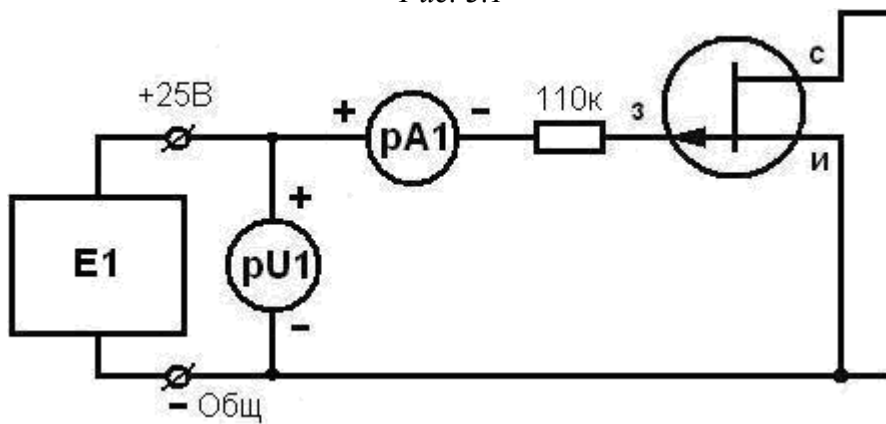


Рис. 3.2

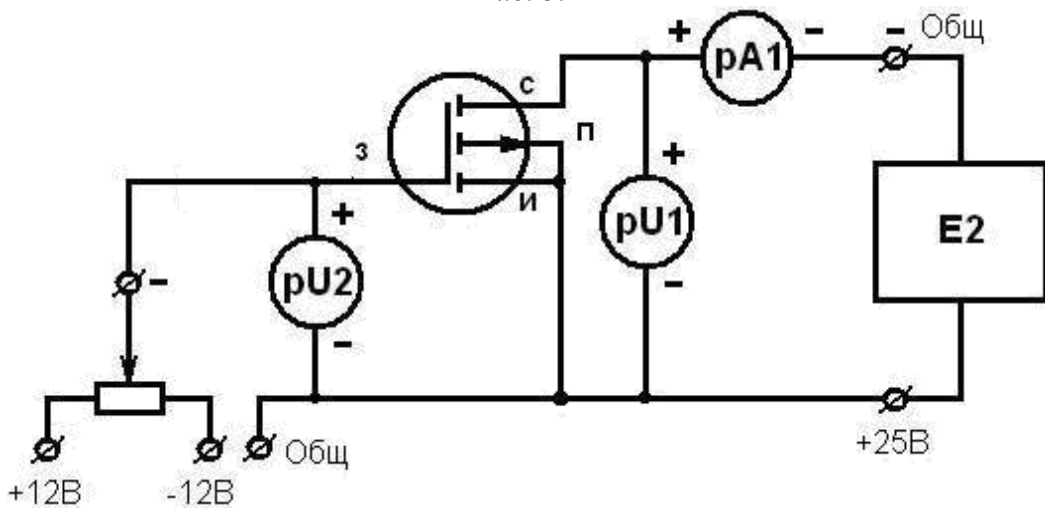


Рис. 3.3

4.4. На основе данных пункта 3.5 программы, дать оценку тока затвора транзистора КП103М и сопоставить полученный результат со справочными данными. Объяснить, что представляет собой ток затвора и от чего зависит его величина.



4.5. На основе данных пунктов 3.6 и 3.7 построить семейства статических характеристик транзистора КП301Б. Объяснить, чем определяется их отличие от характеристик КП103М.

4.6. Нарисовать упрощенную полупроводниковую структуру исследуемых транзисторов, показать полярность включения внешних источников питания и дать пояснения.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Какие типы полевых транзисторов вы знаете? В чем заключаются отличия? Какой вид имеют условные графические обозначения полевых транзисторов различных типов?

5.2. В чем основные отличия полевого транзистора по сравнению с биполярным транзистором? (По принципу работы и параметрам).

5.3. Почему проводимость канала полевого транзистора с управляющим р–n-переходом зависит от напряжения на затворе?

5.5. Что такое смыкание канала, и какой области стоковых характеристик полевых транзисторов оно соответствует?

5.6. Почему входное сопротивление полевого транзистора намного больше, чем биполярного?

5.7. В чем отличие полупроводниковой структуры транзистора МДП от структуры полевого транзистора с управляющим переходом?

5.8. Как влияет напряжение затвор-исток МДП транзистора на проводимость канала и почему?

5.9. Что такое режим обеднения и режим обогащения МДП транзисторов?

5.10. Чем определяются инерционные (частотные) свойства полевых транзисторов?

5.11. Каковы основные параметры полевых транзисторов, и какие из них входят в малосигнальную схему замещения?

Учебное издание

ГРЕБЕННИКОВ Виталий Владимирович  
МУТОВИН Юрий Васильевич

## Исследование характеристик и параметров полевых транзисторов

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине  
«Электроника и микропроцессорная техника»  
для студентов, обучающихся по направлениям  
200100 «Приборостроение», 200400 «Оптотехника» и  
140600 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»


Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати \_\_\_\_\_.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 2,26. Уч.-изд.л. 2,05.  
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru