

Министерство образования и науки Российской Федерации


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра телевидения и управления (ТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ТУ

 Т.Р. Газизов


«8» 06 2018 г.

Руководство к лабораторной работе


**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

по дисциплинам: «Физические основы электроники», «Электроника»,
«Физические основы микроэлектроники», «Основы электроники» для
студентов направлений подготовки: 11.03.01 (Радиотехника), 11.03.02
(Инфокоммуникационные технологии и системы связи).

Разработчики:

 В.Д. Шалимов

«8» 06 2018 г.

 А.М. Заболоцкий

«8» 06 2018 г.

Введение

Цель работы – изучение принципа работы полевых транзисторов, исследование статических вольт-амперных характеристик, оценка статических параметров транзисторов.

1. Общие положения

1.1 Основы теории полевых транзисторов

Полевыми (униполярными) транзисторами называют такие полупроводниковые приборы, работа которых основана на использовании носителей заряда одного знака: только дырок или только электронов. С этой точки зрения обычные транзисторы, рассмотренные ранее, можно назвать биполярными, так как в них важную роль играют оба типа носителей: инжекция носителей одного знака сопровождается компенсацией образующегося заряда носителями другого знака.

Термин «полевой транзистор» характеризует механизм управления током с помощью электрического поля, а не с помощью тока, как в биполярных транзисторах. В этом отношении униполярные транзисторы имеют много общего с электронными лампами.

Полевые транзисторы имеют несколько разновидностей. Простейшую из них, предложенную в 1952 г. Уильямом Шокли называют полевым транзистором с управляющим $p-n$ переходом.

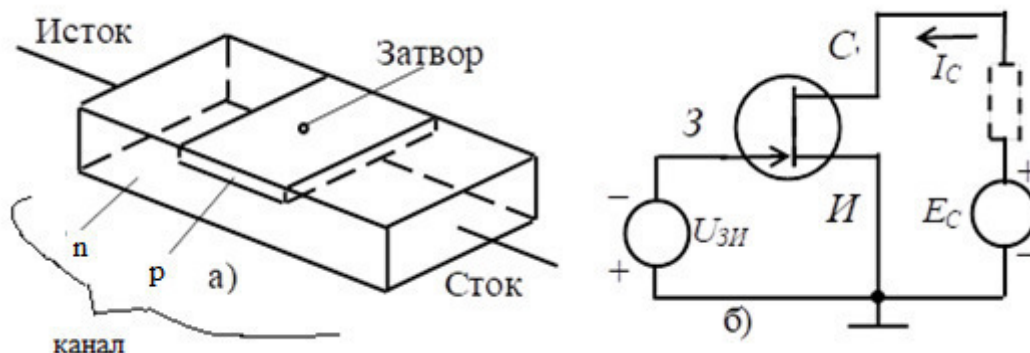


Рис. 1.1 – Конструкция полевого транзистора с управляющим $p-n$ переходом – а) и схема его включения – б)

1.2 Полевой транзистор с управляющим $p-n$ переходом (унитрон)

На рис. 1.1а показана упрощенная структура полевого транзистора с управляющим $p-n$ переходом, представляющая собой пластинку полупроводника n типа, у которой на торцах имеются омические контакты, а на обеих боковых гранях - слои типа

p . Последние образуют с пластинкой p - n переходы. Слой p называется затвором. Два других электрода представляют омические контакты. При этом контакт, от которого движутся основные носители заряда, называется истоком, а тот, к которому они движутся, - стоком. К « n » - стоку присоединяют положительный потенциал источника питания E_c относительно истока, а p - n переход затвор-исток работает в обратном направлении. Для этого на затвор подается отрицательное смещение относительно истока, как показано на рис. 1.1б (далее под $U_{3И}$ будем понимать модуль напряжения).

Принцип действия прост и заключается в том, что при изменении потенциала затвора меняется ширина p - n переходов, а значит, и рабочее сечение пластинки. В результате меняется ее сопротивление и соответственно ток в выходной цепи. Поскольку управляющие p - n переходы работают в обратном включении, их сопротивление для входного сигнала велико $R_{вх} \rightarrow \infty$, входная мощность мала.

Полезная мощность, определяемая величиной питающего напряжения и соотношением сопротивлений пластинки канала и нагрузки, может значительно превышать входную мощность. Таким образом, унитрон является усилительным прибором типа управляемого активного сопротивления, причем он имеет много общего с электронной лампой. Это сходство выражается не только в большом входном сопротивлении, но и в том, что при достаточном отрицательном смещении затвора расширившиеся переходы могут перекрыть все сечение пластинки; это вызывает отсечку тока в рабочей цепи.

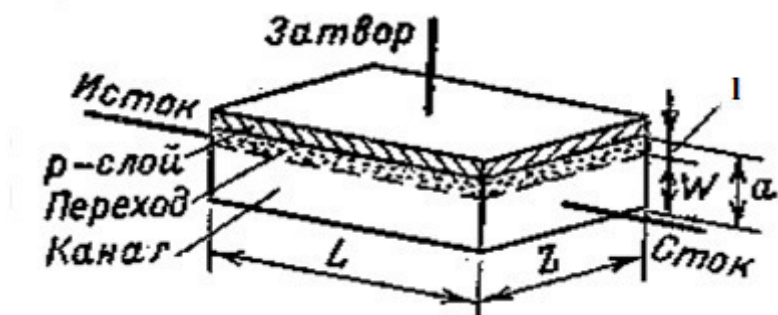


Рис. 1.2 – Структура унитрона

Каналом называют рабочий (переменный) объем пластинки, расположенный между p - n переходами. Пренебрегая «холостыми» участками пластинки, прилегающими к истоку и стоку, можно представить структуру унитрона в упрощенном виде (рис. 1.2). Обозначим максимальную толщину канала a , его ширину Z , длину L . Пусть $U_{СИ} = 0$, тогда канал будет эквипотенциальным слоем и напряжение на p - n переходах будет равно $U_{3И}$ на протяжении

всего канала. Соответственно в любой точке ширина перехода равна ℓ , а толщина канала $w = a - 2\ell$.

Подставляя « w » выражение для ширины перехода ℓ и полагая $qN_D = qn = 1/\rho \cdot \mu_n$, получаем:

$$w = a - \sqrt{2\varepsilon\varepsilon_0\rho\mu_n U_{3И}}.$$

Из условия $w = 0$ легко найти напряжение отсечки:

$$U_{3И0} = a^2 / 2\varepsilon\varepsilon_0\rho\mu_n.$$

Запишем толщину канала в более компактной форме:

$$w = a \left(1 - \sqrt{U_{3И} / U_{3И0}} \right).$$

В рабочем режиме, когда $U_{СИ} \neq 0$ канал не является эквипотенциальным слоем; в разных точках X потенциал различен: он меняется от $U_X = 0$ около истока до $U_X = +U_{СИ}$ около стока. Поэтому обратное напряжение на p - n переходах, увеличивается в направлении от истока к стоку. Соответственно ширина перехода в этом направлении растет, а канал сужается (рис. 1.3а).

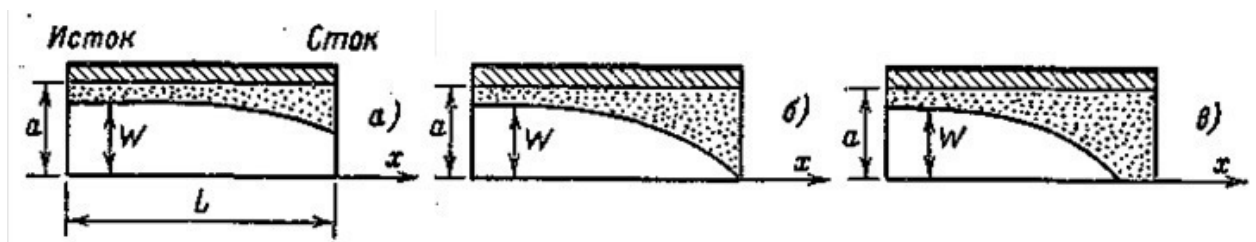


Рис. 1.3 – Сечение канала: а) ненасыщенного, б) на границе насыщения, в) при насыщенном режиме.

Около стока, в наиболее узком месте напряжение на переходе равно $U_{3И} + U_{СИ}$. С ростом $U_{СИ}$ это напряжение, в конце концов, делается настолько большим, что канал почти смыкается (рис. 1.3б), но это не приводит к отсечке тока, так как само «смыкание» является следствием увеличения тока. Вместо отсечки тока происходит отсечка его приращений, т. е. резкое возрастание дифференциального сопротивления канала. Такой режим можно назвать насыщенным, а напряжение $U_{СН}$, при котором он наступает, - напряжением насыщения $U_{СН} = U_{3И0} - U_{3И}$.

Таким образом, в режиме насыщения происходит модуляция длины канала.

При расчете характеристик ПТ с управляющим p - n переходом следует учесть, что сопротивление канала меняется вдоль оси X , поскольку меняется толщина w . Падение напряжения на элементарном участке dx составляет

$$dU_x = I_C \cdot dR_x = I_C \frac{\rho \cdot dx}{L \cdot a} \left(1 - \sqrt{\frac{U_{зи} + U_x}{U_{зи0}}} \right)^{-1}$$

Ток I_C остается неизменным в любом сечении. Поэтому, разделяя переменные и интегрируя обе части в пределах $0 \div U_C$ и $0 \div L$ соответственно, можно представить искомую функцию $I_C(U_{СИ})$ в следующем виде:

$$I_C = \frac{1}{R_{K0}} \left[U_{СИ} + \frac{2}{3} \cdot \frac{U_{зи}^{3/2} - (U_{зи} + U_{СИ})^{3/2}}{U_{зи0}^{1/2}} \right], \quad (1.1)$$

где $R_{K0} = \frac{\rho \cdot L}{a \cdot Z}$ – минимальное дифференциальное сопротивление канала или $\partial U_{СИ} / \partial I_C$

при $U_{зи} = 0$ и $U_{СИ} = 0$.

Ток стока насыщения получается равным:

$$I_{СН} = \frac{1}{R_{K0}} \left[\frac{1}{3} U_{зи0} - U_{зи} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{U_{зи}}{U_{зи0}}} \right) \right], \quad (1.2)$$

при $U_{СИ} = U_{зи0} - U_{зи}$.

Поскольку участок насыщения является основным рабочим участком, определим крутизну S именно в этой области. Дифференцируя выражение для тока стока по $U_{зи}$ получаем:

$$S = - \frac{\partial I_{СН}}{\partial U_{зи}} = \frac{1}{R_{K0}} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{U_{зи}}{U_{зи0}}} \right)$$

Семейство выходных статических вольтамперных характеристик транзистора $I_C = f(U_{СИ})$ показано на рис. 1.4а.

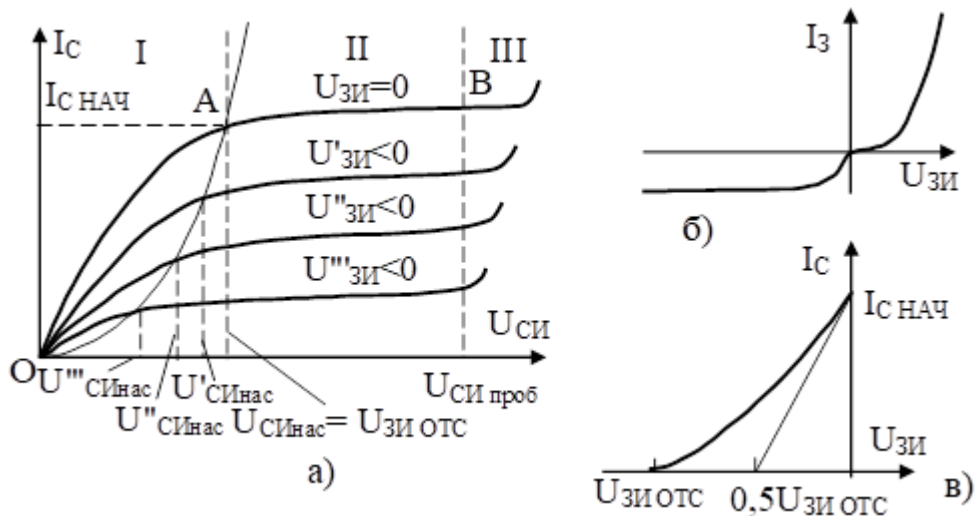


Рис. 1.4 – Выходные характеристики полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом (а); его входная характеристика (б) и характеристика передачи (сток-затворная) (в)

I - крутая область; II - пологая область или область насыщения; III - область пробоя.

При значительном увеличении напряжения $U_{СИ}$ у стокового конца наблюдается пробой $p-n$ -перехода.

В выходных характеристиках полевого транзистора можно выделить две рабочие области: OA и AB. Область OA называют крутой областью характеристики; область AB – пологой или областью насыщения. В крутой области транзистор может быть использован как омическое управляемое напряжением сопротивление. В усилительных каскадах транзистор работает на пологом участке характеристики.

Входная характеристика полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом (рис. 1.4б) представляет собой обратную ветвь вольтамперной характеристики $p-n$ -перехода. Хотя ток затвора несколько меняется при изменении напряжения $U_{СИ}$ и достигает наибольшего значения при условии короткого замыкания выводов истока и стока (ток утечки затвора $I_{зут}$), им в большинстве случаев можно пренебречь. Изменение напряжения $U_{ЗИ}$ не вызывает существенных изменений тока затвора, что характерно для обратного тока $p-n$ -перехода, выполненного из кремния (арсенид галлия).

Выражение (1.2) хорошо аппроксимируется квадратичной зависимостью

$$I_C = I_{Снач} \left(1 - U_{ЗИ} / U_{ЗИомс}\right)^2, \quad (1.3)$$

где $I_{Снач}$ – начальный ток стока, под которым понимают ток при $U_{ЗИ} = 0$ и напряжении на стоке, превышающем напряжение насыщения: $|U_{СИ}| > |U_{СИнас}|$.

Так как управление полевым транзистором осуществляется напряжением, то для количественной оценки управляющего действия затвора используют крутизну характеристики:

$$S = \frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} \Big|_{U_{СИ} = const}$$

Крутизна характеристики достигает максимального значения $S_{нач}$ при $U_{ЗИ} = 0$. Для определения значения крутизны S транзистора при любом напряжении $U_{ЗИ}$ продифференцируем выражение (1.3):

$$\frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} = \frac{2I_{Снач}}{U_{ЗИомс}} \left(1 - \frac{U_{ЗИ}}{U_{ЗИомс}}\right), \quad (1.4)$$

При напряжении $U_{ЗИ} = 0$ выражение (1.4) примет вид

$$\frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} = S_{нач} = \frac{2I_{Снач}}{U_{ЗИомс}}, \quad (1.5)$$

Подставив (1.5) в выражение (1.4), получим

$$S = S_{нач} \left(1 - U_{ЗИ} / U_{ЗИомс}\right).$$

Таким образом, крутизна характеристики полевого транзистора уменьшается при увеличении напряжения, приложенного к его затвору.

Начальное значение крутизны характеристики можно определить графоаналитическим способом. Для этого проведем касательную из точки $U_{3И}=0$ к стоко-затворной характеристике (рис. 1.4б). Она отсечет на оси напряжений отрезок $0,5 U_{3Иотс}$.

$$S_{нач} = \frac{I_{Снач}}{0,5U_{3Иотс}}$$

Усилительные свойства полевых транзисторов характеризуются коэффициентом усиления:

$$\mu = - \frac{dU_{СИ}}{dU_{3И}} \Big|_{I_C=const},$$

который связан с крутизной характеристики и внутренним сопротивлением уравнением

$$\mu = SR_{СИдиф},$$

где $R_{СИдиф} = \frac{dU_{СИ}}{dI_C} \Big|_{U_{3И}=const}$ – дифференциальное внутреннее сопротивление транзистора.

Так же, как и у биполярных транзисторов, у полевых транзисторов различают режимы большого и малого сигнала. Режим большого сигнала чаще всего рассчитывают с помощью входных и выходных характеристик транзистора. Для анализа режима малого сигнала часто применяют малосигнальные эквивалентные схемы (рис. 1.5). Так как сопротивления закрытых переходов $R_{3С}$, $R_{3И}$ у кремниевых полевых транзисторов велики (десятки – сотни МОм), их в большинстве случаев можно не учитывать.

Типовые значения параметров кремниевых транзисторов, входящих в эквивалентную схему: $S=0,3\div 3$ мА/В; $R_3=10^{10}$ Ом; $R_{СИ диф}=0,1\div 1$ МОм; $R_K=50\div 800$ Ом; $C_3=0,2\div 10$ пФ.

Наличие емкостей у полевого транзистора, а также конечная скорость движения носителей заряда в канале определяют инерционные свойства полевых транзисторов. Инерционность транзистора в первом приближении учитывают путем введения операторной крутизны характеристики

$$S(p) = S / (1 + p\tau_3),$$

где $\tau_3 \approx R_K C_3$; $\tau_3 = 1/\omega_3$ – предельная частота, определенная на уровне 0,707 статического значения крутизны характеристики.

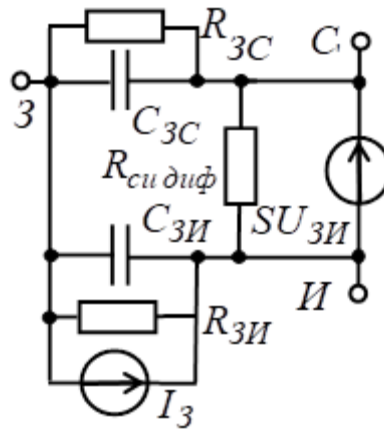


Рис. 1.5 – Полная эквивалентная схема полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом

$R_{си\ диф}$ – дифференциальное сопротивление канала; I_3 – ток затвора, когда *p-n*-переход заперт; C_{3C} , C_{3C} – емкости между соответствующими электродами; R_{3C} , $R_{3И}$ сопротивления перехода между затвором и соответственно стоком и истоком; эквивалентная емкость затвора $C_3 \approx C_{3C} + C_{3И}$.

2.2. Полевые транзисторы с изолированным затвором

Спецификой унитаров является максимальная проводимость канала при нулевом смещении на затворе. С ростом смещения по модулю, проводимость канала уменьшается вплоть до полной отсечки. Смещение может иметь только одну полярность, соответствующую отсутствию инжекции через переход, затвор-исток.

У полевых транзисторов с изолированным затвором последний представляет собой металлический слой, изолированный от полупроводника тонкой диэлектрической пленкой. Наличие диэлектрика снимает ограничение на полярность смещения: она может быть, как положительной, так и отрицательной, причем в обоих случаях ток затвора отсутствует.

Транзисторы с изолированным затвором имеют классическую структуру металл—диэлектрик—полупроводник. Их называют МДП-транзисторами. В частном случае, если диэлектриком является окисел (диоксид кремния SiO_2), используется название МОП - транзисторы. Две основные структуры МДП-транзисторов показаны на рис. 1.6а, б.

Первая из них (рис. 1.6а) характеризуется наличием специально созданного (собственного или встроенного) канала, проводимость которого модулируется смещением на затворе. В случае канала *p*-типа, в режиме обогащения, положительный потенциал $U_{3И}$ «отталкивает» электроны из канала, а в режиме обеднения – отрицательный «притягивает» их. Соответственно проводимость канала либо уменьшается, либо увеличивается по сравнению с ее значением при нулевом смещении.

Вторая структура (рис. 1.6 б) характеризуется отсутствием структурно выраженного канала. Поэтому при нулевом смещении на затворе проводимость между истоком и стоком отсутствует: исток и сток образуют с подложкой встречно включенные p - n переходы. Тем более не может быть проводимости между истоком и стоком при положительной полярности смещения, когда к поверхности полупроводника притягиваются дополнительные электроны.

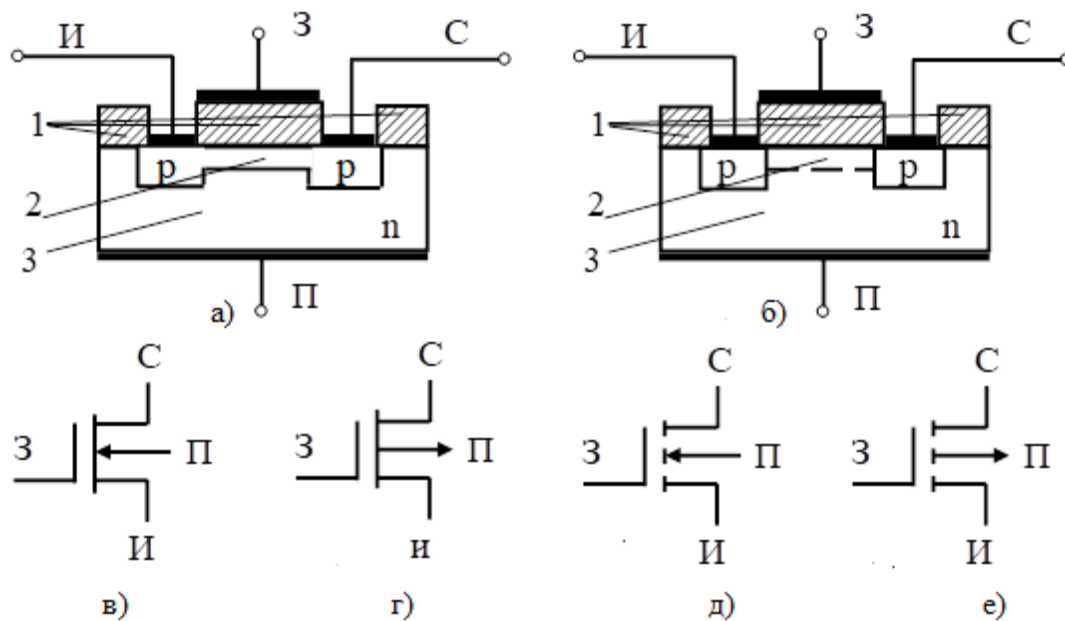


Рис. 1.6 – Структуры МДП-транзисторов:

а) транзистор с индуцированным каналом p -типа; б) транзистор со встроенным каналом p -типа (1 – диэлектрик; 2 – канал; 3 – подложка n -типа); их обозначения: в) с индуцированным каналом n -типа; г) с индуцированным каналом p -типа; д) с встроенным каналом n -типа; е) с встроенным каналом p -типа.

Однако при достаточно большом отрицательном смещении, когда приповерхностный слой сильно обогащается притянутыми дырками, между истоком и стоком образуется своего рода индуцированный (наведенный полем) канал, по которому может протекать ток. В настоящее время транзисторы с индуцированным каналом имеют наибольшее распространение, главным образом из-за простоты их изготовления.

Оба типа МДП-транзисторов могут изготавливаться как с p , так и с n -каналом, что сильно расширяет возможности их схемного применения.

На рис. 1.6 в, г, д, е приведены графические изображения полевых транзисторов с изолированным затвором.

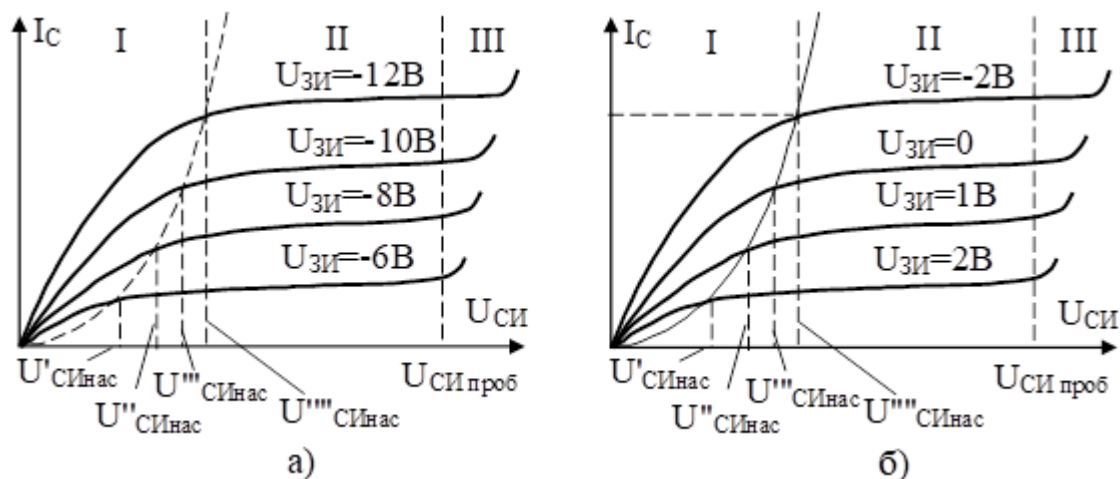


Рис. 1.7 – Выходные характеристики МДП-транзисторов с индуцированным (б) и встроенным (в) каналами

Выходные характеристики МДП-транзисторов аналогичны характеристикам полевых транзисторов с управляющим p - n -переходом (рис. 1.7а, б). В них можно выделить крутую и пологую области, а также область пробоя. В крутой области I МДП-транзистор может работать как электрически управляемое сопротивление. Пологая область II обычно используется при построении усилительных каскадов.

Передаточные характеристики МДП-транзисторов с встроенным каналом и индуцированным каналом приведены на рис. 1.8.

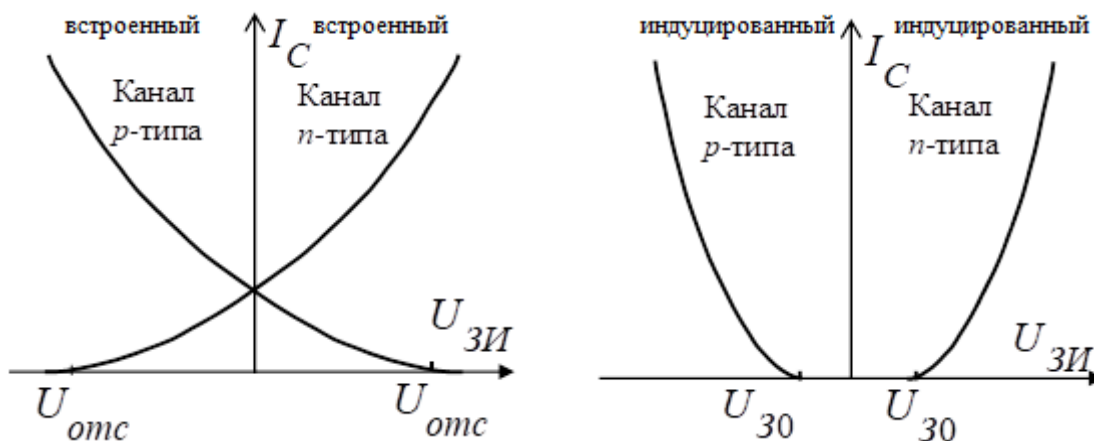


Рис. 1.8 – Передаточные характеристики МДП-транзисторов с встроенным каналом а) и индуцированным каналом б)

Для улучшения переходных и частотных свойств МДП-транзистора нужно в первую очередь уменьшать длину канала, а также увеличивать подвижность носителей заряда. При обычной длине канала $5 \div 10$ мкм граничная частота крутизны лежит в пределах $100 \div 300$ МГц. Однако при ультракоротких (доли микрона) каналах удается обеспечить граничные частоты до $30 \div 80$ ГГц и выше.

2. Описание лабораторного макета

Для исследования статических вольтамперных характеристик полевых транзисторов в схеме общим истоком используется схема, изображенная в правой части лабораторного макета (рис. 2.1).

С помощью переключателя П7 выбирается исследуемый транзистор Т1, Т2, Т3.

Управляющее напряжение на затворе транзистора задается делителем $R_{д1}$, $R_{д2}$, $R_{д3}$ и его можно установить с помощью переключателя П8 (грубо) и переменного резистора $R_{д2}$ (плавно).

Изменять величину стокового напряжения можно переключателем П6, меняя величину резистора ($R_{с1} \div R_{с10}$) в цепи стока. Напряжение на стоке транзистора измеряется осциллографом, а ток, протекающий через транзистор, стрелочным миллиамперметром, включаемым в цепь стока транзистора переключателем П5. Чувствительность прибора устанавливается переключателем П4.

Перечень типов транзисторов, исследуемых при проведении лабораторной работы, приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Наименование	Т1	Т2	Т3
Тип	КП303Д	КП305	BS170

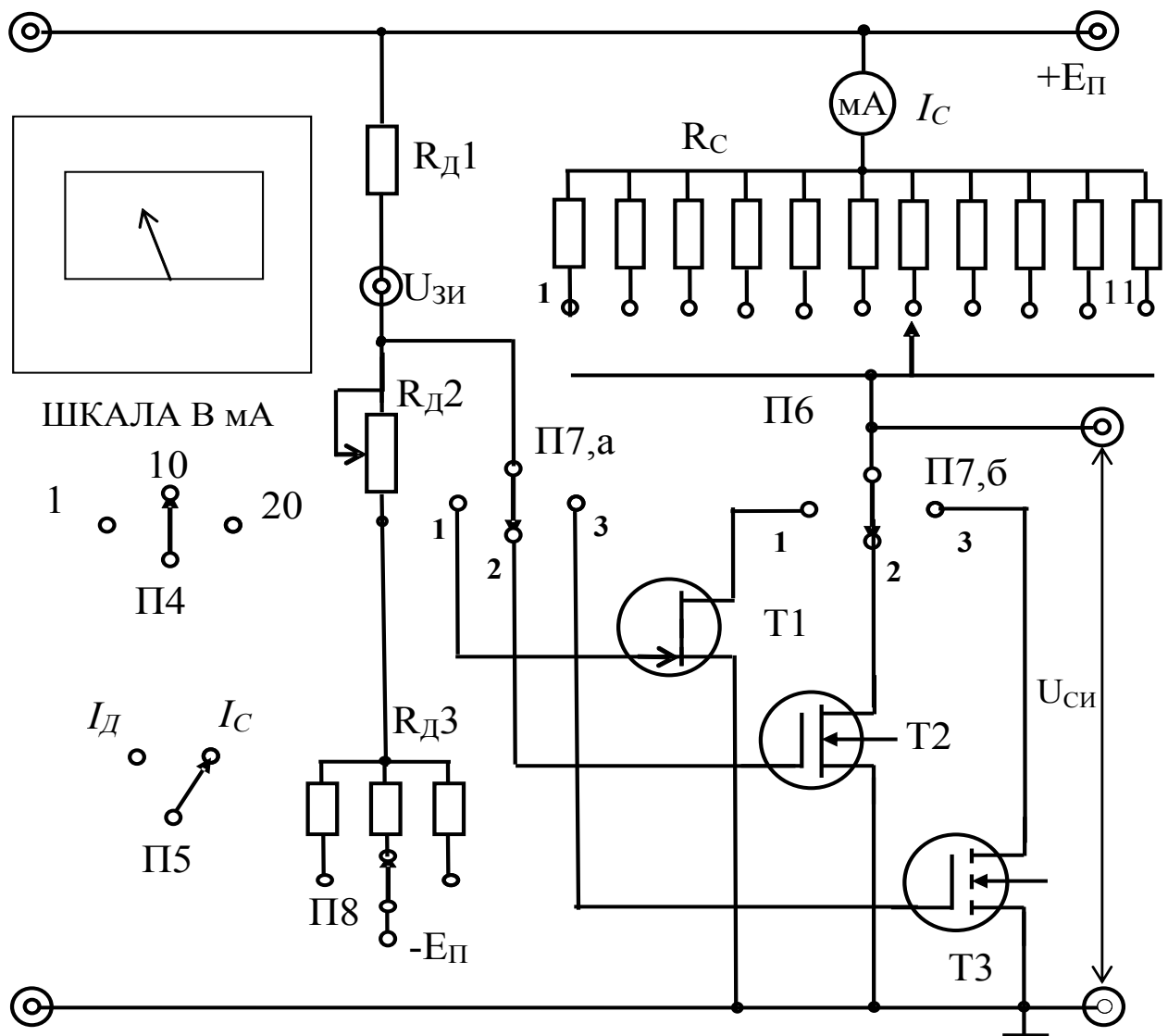


Рис. 2.1 – Лицевая панель макета для исследования полевых транзисторов.

3. Порядок выполнения работы

Для исследования передаточных и выходных вольтамперных характеристик полевых транзисторов в схеме с общим истоком необходимо:

- 1) Включить источник питания макета;
- 2) Переключатель П5 установить в положение для измерения тока стока I_C ;
- 3) Переключатель П7 установить в положение 1, подключив тем самым полевой транзистор Т1 с управляющим $p-n$ -переходом и каналом n -типа.
- 4) Вход осциллографа присоединить к затвору исследуемого транзистора Т1 для измерения постоянного напряжения на затворе $U_{зи}$, а второй вход осциллографа присоединить к стоку транзистора Т1 для измерения постоянного напряжения $U_{си}$;

5) С помощью переключателя П8 (грубо) и переменного резистора $R_{Д2}$ (плавно) установить напряжение на затворе равное 0. Переключатель П6 установить в положение 10 (установив тем самым высокое напряжение $U_{СИ}$) и измерить напряжение $U_{СИ}$.

6) Снять передаточную (сток-затворную) характеристику транзистора $I_C = f(U_{ЗИ})$, изменяя напряжение на затворе с интервалом 0,5 В и измеряя ток стока I_C , до тех пор, пока транзистор не закроется. Результаты измерений занесите в таблицу 3.1. вида:

Таблица 3.1

$U_{ЗИ}, В$	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4
$I_C, мА$									

7) Построить передаточную вольтамперную характеристику полевого транзистора

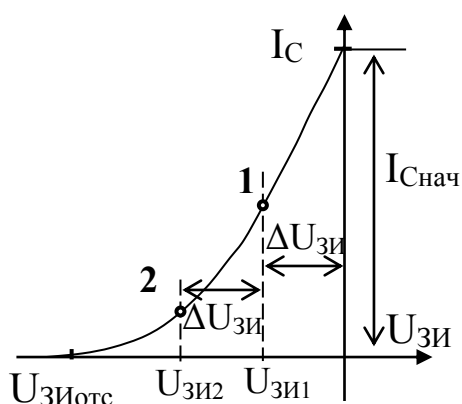


Рис. 4.1 – Передаточная характеристика полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и каналом n – типа.

Т1. По построенному графику (см. рис. 4.1) выберите точки 1 и 2, которым соответствуют напряжения $U_{ЗИ1}$ и $U_{ЗИ2}$ при которых приращения $\Delta U_{ЗИ}$ были бы одинаковыми и были равны примерно 1 В или 0,5 В.

8) Изменяя переключателем П6 резисторы $R_{C1} \div R_{C10}$ и тем самым величину напряжения $U_{СИ}$, снять выходные характеристики транзистора $I_C = f(U_{ЗИ})$ при напряжениях на затворе равных $U_{ЗИ} = 0 В$, $U_{ЗИ1}$ и $U_{ЗИ2}$. Результаты измерений занесите в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Положение переключателя П6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Примечание
$I_C, мА$											$U_{ЗИ} = 0 В$
$U_{СИ}, В$											
$I_C, мА$											$U_{ЗИ} = _$
$U_{СИ}, В$											
$I_C, мА$											$U_{ЗИ} = _$
$U_{СИ}, В$											

9. По построенным графикам определить при $U_{СИ} = 5 \text{ В}$ и $U_{ЗИ}$ крутизну характеристики и дифференциальное сопротивление транзистора:

$$S = \left. \frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} \right|_{U_{СИ} = \text{const}}$$

$$R_{СИ\text{диф}} = \left. \frac{dU_{СИ}}{dI_C} \right|_{U_{ЗИ} = \text{const}}$$

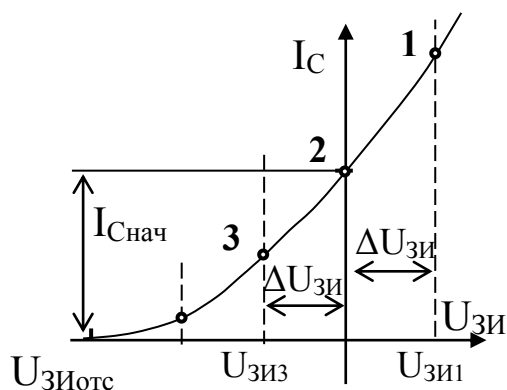


Рис. 4.2 – Передаточная характеристика МДП-транзистора с встроенным каналом n – типа.

10) Переключатель П7 установить в положение 2, подключив тем самым полевой МДП-транзистор Т2 с встроенным каналом n – типа.

11) Переключатель П6 установить в положение 10 (установив тем самым высокое напряжение $U_{СИ}$) и измерить напряжение $U_{СИ}$.

Снять передаточную характеристику транзистора $I_C = f(U_{ЗИ})$, изменяя напряжение на затворе и измеряя ток стока I_C до тех пор, пока ток стока транзистора не достигнет значения

$15 \div 18 \text{ мА}$, если это возможно. Результаты измерений занесите в таблицу 3.3

Таблица 3.3

$U_{ЗИ}, \text{ В}$									
$I_C, \text{ мА}$									

По построенному графику (см. рис. 4.2) выберите точки 1 и 3, которым соответствуют напряжения $U_{ЗИ1}$ и $U_{ЗИ3}$ при которых приращения $\Delta U_{ЗИ}$ были бы одинаковыми и были равны примерно 1 В или 0,5 В.

12) Изменяя переключателем П4 резисторы $R_{C1} \div R_{C10}$ и тем самым величину напряжения $U_{СИ}$, снять выходные характеристики транзистора $I_C = f(U_{СИ})$ при напряжениях на затворе равных $U_{ЗИ} = 0 \text{ В}$, $U_{ЗИ1}$ и $U_{ЗИ3}$. Результаты измерений занесите в таблицу 3.2.

13) По построенным выходным характеристикам транзистора $I_C = f(U_{СИ})$ определить крутизну для точки с координатами $U_{ЗИ} = 0 \text{ В}$ и $U_{СИ} = 5 \text{ В}$. Построить зависимость

$$R_{СИ\text{диф}} = \frac{dU_{СИ}}{dI_C} = f(U_{СИ}) \text{ при } U_{ЗИ} = _ \text{ В.}$$

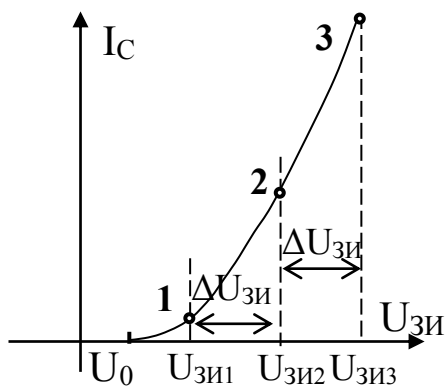


Рис. 4.3 – Передаточная характеристика МДП- транзистора с индуцированным каналом n – типа.

14) Переключатель П7 установить в положение 3, подключив тем самым полевой МДП-транзистор Т3 с индуцированным каналом n -типа.

15) Переключатель П6 установить в положение 10 (установив тем самым высокое напряжение $U_{СИ}$) и измерить напряжение $U_{СИ}$.

Снять передаточную характеристику транзистора $I_C = f(U_{ЗИ})$, изменяя напряжение на затворе и измерять ток стока, пока он не достигнет значения $15 \div 18$ мА. Результаты измерений занесите в таблицу 3.3.

По построенному графику (см. рис. 4.3) выберите точки 1, 2 и 3, которым соответствуют напряжения $U_{ЗИ1}$, $U_{ЗИ2}$ и при которых приращения были одинаковыми.

16) Изменяя переключателем П6 резисторы и тем самым величину напряжения, $U_{СИ}$, снять выходные характеристики транзистора при напряжениях на затворе равных $U_{ЗИ1}$, $U_{ЗИ2}$ и $U_{ЗИ3}$. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

17) По построенным выходным характеристикам транзистора Т3 $I_C = f(U_{СИ})$ определить крутизну и дифференциальное сопротивление транзистора для точки с координатами $U_{ЗИ2}$ и $U_{СИ} = 5$ В.

18) Выключить источник питания макета.

19) Оформить отчет и сделать выводы по работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Ицкович В.М. Электроника. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2006. – 360 с.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001.- 488 с.