

Лабораторная работа 4

ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Снятие и анализ входных и выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим эмиттером и определение по ним его h -параметров.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевой транзистор — это полупроводниковый прибор, в котором ток стока (C) через полупроводниковый канал n - или p -типа управляется электрическим полем, возникающим при приложении напряжения между затвором ($З$) и истоком ($И$). Полевые транзисторы изготавливают:

- с управляющим затвором типа p - n -перехода для использования в высокочастотных (до 12—18 ГГц) преобразовательных устройствах. Условное их обозначение на схемах приведено на рис. 1а и б;
- с изолированным (слоем диэлектрика) затвором для использования в устройствах, работающих с частотой до 1—2 ГГц. Их изготавливают или со *встроенным каналом* в виде МДП-структуры (см. их условное обозначение на рис. 1а и г), или с *индуцированным каналом* в виде МОП-структуры (их условное обозначение на схемах дано на рис. 1д и е).

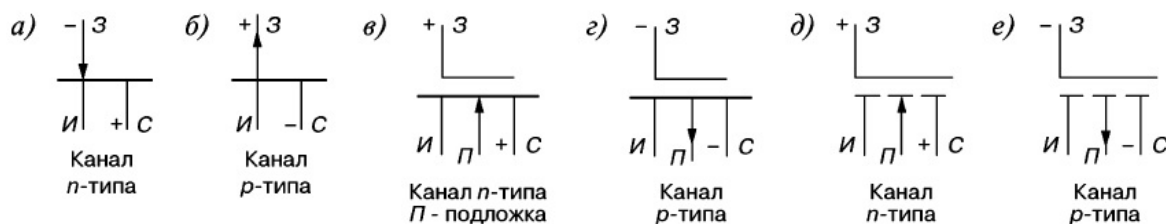


Рис. 1

Схема включения полевого транзистора с затвором типа p - n -перехода и каналом n -типа, его семейство выходных характеристик $I_C = f(U_C)$, $U_3 = \text{const}$ и стоко-затворная характеристика $I_C = f(U_3)$, $U_C = \text{const}$ изображены на рис 2.

При подключении выходов стока C и истока $И$ к источнику питания U_n по каналу n -типа протекает начальный ток I_C , так как p - n -переход не перекрывает сечение канала (рис. 2а). При этом электрод, из которого в канал входят носители заряда, называют *истоком*, а электрод, через который из канала уходят основные носители заряда, называют *стоком*. Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют *затвором*. С увеличением обратного напряжения $-U_3$ уменьшается сечение канала, его сопротивление увеличивается и уменьшается ток стока I_C (см. рис. 2б).

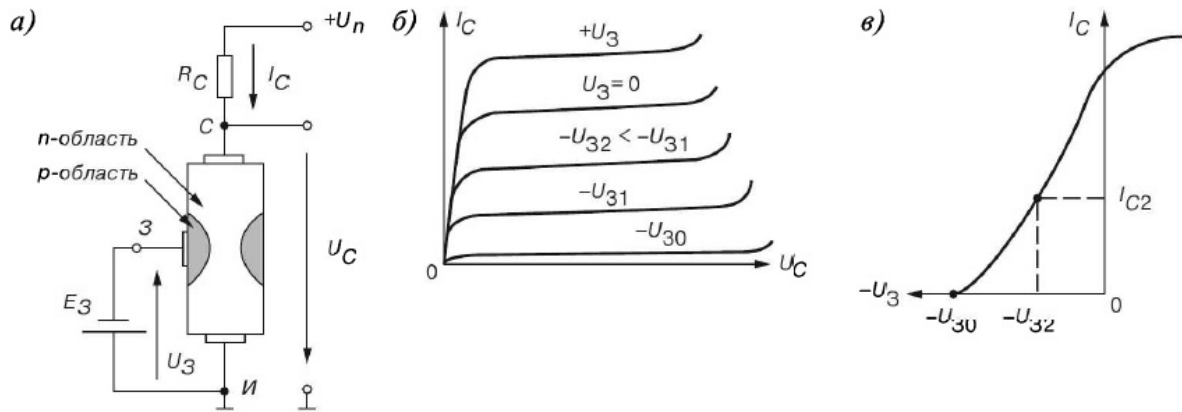


Рис. 2

Итак, управление током стока I_C происходит при подаче обратного напряжения на p - n -переход затвора $З$. В связи с малостью обратных токов в цепи затвор—исток мощность, необходимая для управления током стока, оказывается ничтожно малой.

При напряжении $-U_3 = -U_{30}$, называемом *напряжением отсечки*, сечение канала полностью перекрывается обедненным носителями заряда барьерным слоем, и ток стока I_{C0} (ток отсечки) определяется неосновными носителями заряда p - n -перехода (см. рис. 2б).

Схематичная структура полевого транзистора с *индуцированным* n -каналом представлена на рис. 3. Электрод затвора изолирован от полупроводникового канала с помощью слоя диэлектрика из двуокиси кремния (SiO_2). Поэтому полевой транзистор с такой структурой называют МОП-транзистором (металл-оксид-полупроводник). Электроды стока и истока располагаются по обе стороны затвора и имеют контакт с полупроводниковым каналом. При напряжении на затворе относительно истока, равном нулю, и при наличии напряжения на стоке ток стока I_C оказывается

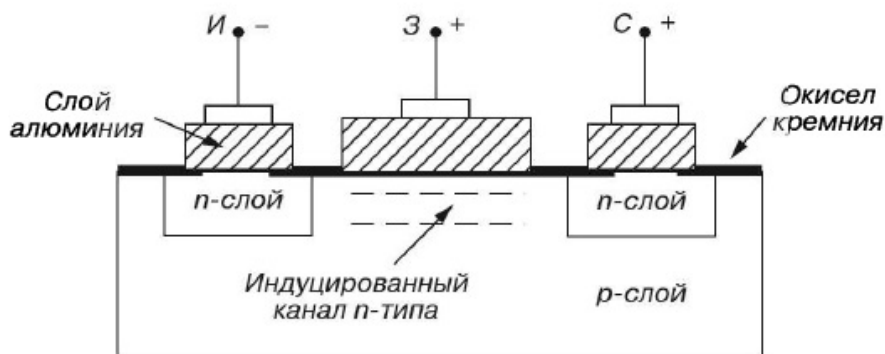


Рис. 3

ничтожно малым. Заметный ток стока появляется только при подаче на затвор напряжения положительной полярности относительно истока, больше так называемого *порогового напряжения* $U_{3,пор}$.

При этом в результате проникновения электрического поля через диэлектрический слой в полупроводник при напряжениях на затворе, больших $U_{3,пор}$, у поверхности полупроводника под затвором возникает инверсионный слой, который и является каналом, соединяющим исток со стоком. Толщина и поперечное сечение канала

изменяются с изменением напряжения на затворе, соответственно будет изменяться ток стока.

В полевом транзисторе со встроенным каналом при нулевом напряжении на затворе ток стока имеет начальное значение I_{C0} . Такой транзистор может работать как в режиме обогащения, так в режиме обеднения: при увеличении напряжения на затворе канал обогащается носителями зарядов и ток стока растет, а при уменьшении напряжения на затворе канал обедняется и ток стока снижается.

Важнейшей особенностью полевых транзисторов являются высокое входное сопротивление (десятки-сотни мегаом) и малый входной ток. Одним из основных параметров полевых транзисторов является крутизна $S = \Delta I_C / \Delta U_3$ стоко-затворной характеристики (см. рис. 2в), выражаемая в мА/В.

2. ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРОВ

Входные и выходные вольтамперные характеристики транзисторов обычно снимают на постоянном токе (по точкам) или с помощью специальных приборов — характеристикографов, позволяющих избежать сильного нагрева приборов. Полученные ВАХ используют для расчета цепей смещения и стабилизации режимов работы, расчета конечных состояний ключевых схем (режимов отсечки и насыщения).

Ввиду ничтожно малых токов затвора I_3 полевых транзисторов, включенных по схеме с ОИ, их входные ВАХ, как правило, не снимают.

Как отмечалось, выходные характеристики полевых транзисторов $I_C(U_C)$ при $U_3 = \text{const}$, включенных по схеме с ОИ, определяют зависимость тока стока от напряжения между стоком и истоком при фиксированном напряжении затвора.

УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Задание 1. Снять и построить (по точкам) семейство выходных $I_C(U_C)$ при $U_{3и} = \text{const}$ ВАХ (см. рис. 2б) и стоко-затворную характеристику $I_C(U_3)$ при $U_{си} = 12$ В (см. рис. 2в) полевого транзистора с затвором типа p - n -перехода (см. табл. 4), заполнив показаниями приборов ячейки табл. 3.

Для измерения ВАХ построить схему рис. 4

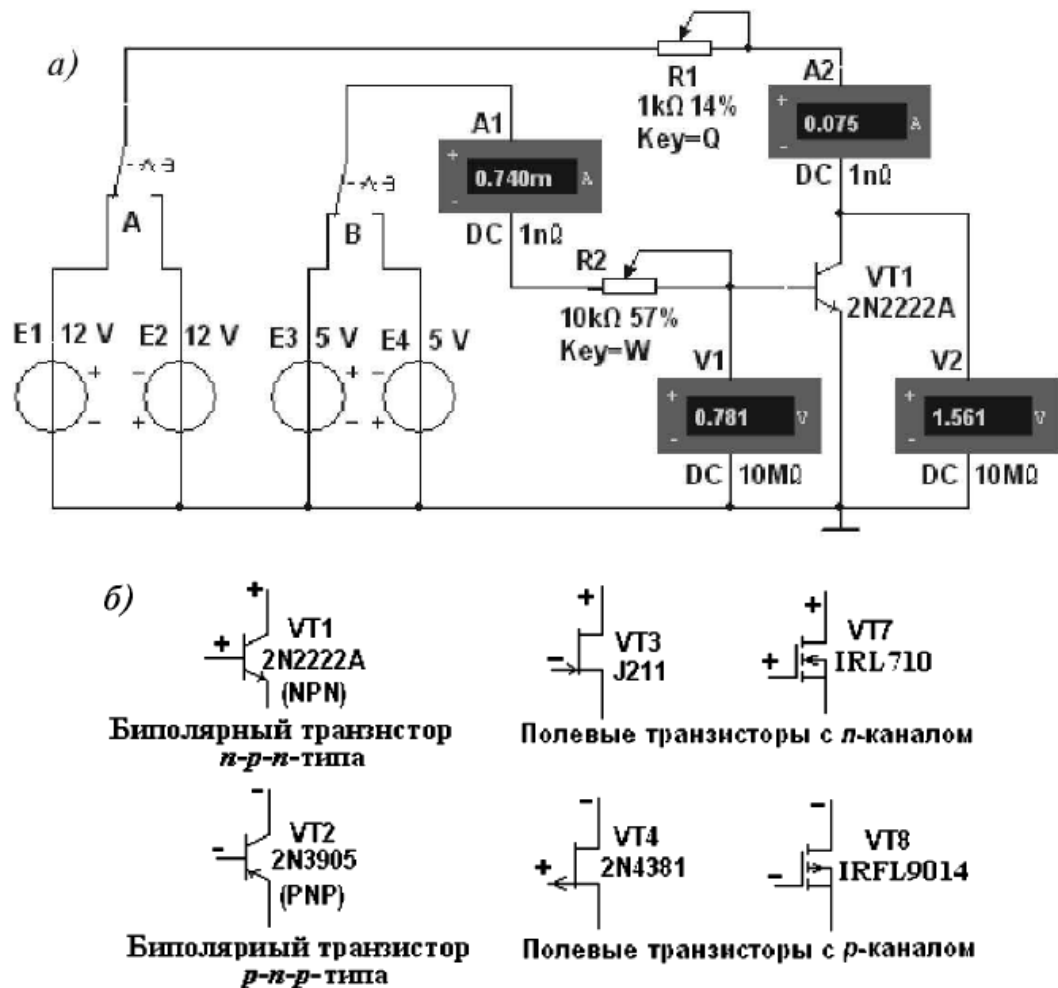


Рис. 4

Таблица 1

В схему **включить** следующие компоненты:

- источники **E1** и **E2** постоянного напряжения, к одному из которых с помощью переключателя **A** подключается коллектор биполярного транзистора. Выбор источника питания зависит от знака полярности коллектора (стока) соответствующего транзистора (см. рис. 3б);
- источники **E3** и **E4** постоянного напряжения для включения с помощью переключателя **B** одного из них в цепь базы (затвора) соответствующего транзистора;
- два потенциометра **R1** и **R2** для задания токов в цепях транзисторов;
- два амперметра **A1** и **A2** и два вольтметра **V1** и **V2** для измерения токов и напряжений на электродах исследуемого транзистора.

Скопировать изображение схемы с показаниями приборов (для одного из режимов работы при снятии выходной ВАХ) на страницу отчета. **Определить** крутизну S стоко-затворной характеристики на ее линейном участке.

Таблица 3

Напряжение $U_{си}$, В	1	2	3	4	8	12
-------------------------	---	---	---	---	---	----

Ток стока I_C , мА при напряжении $U_{зи}$, В	Для J211	Для 2N4381						
	0	0						
	-0,5	0,5						
	-1,0	1,0						
	-2,5	1,4						
	-3,56	1,8						
	-4,0	2						

Таблица 4

Номер записи фамилии N	Тип транзистора	$U_{К.маx}$ ($U_{C.маx}$), В	$I_{К.маx}$ ($I_{C.маx}$), А	$h_{21Э}$	S , мА/В	U_{30} ($U_{3.пор}$), В	$f_{маx}$, МГц	$P_{К(PC)}$, Вт
Четные	J211	25	0,02	-	-	-3,56	-	0,4
Нечетные	2N4381	-25	0,012	-	-	1,8	-	-
Нечетные	IRFL9014	-60	-1,8	-	1300	-3,88	-	3,1
Четные	IRF710	400	1,1	-	1000	3,8	-	36

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Таблицы результатов измерений и расчетов стоко-затворной характеристики полевых транзисторов.
4. Изображения электрических схем испытания полевого транзисторов и семейств входных и выходных ВАХ транзисторов.
5. Выводы по работе.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К РАБОТЕ 4

1. Укажите **порядок** входного сопротивления полевых транзисторов, включенных по схеме с ОИ:
 десятки-сотни ом; десятки-сотни килоом; десятки-сотни мегаом.
2. Укажите возможную **максимальную частоту** преобразования сигналов в устройствах на базе полевого транзистора:
 - а) с управляющим *p-n*-переходом:
 500 МГц; 1-2 ГГц; 8-10 ГГц; 12-18 ГГц;
 - б) с изолированным затвором:
 500 МГц; 1-2 ГГц; 8-10 ГГц; 12-18 ГГц.
3. Укажите **номер** стоко-затворной характеристики *n*-канального полевого транзистора (рис. 4):
 - а) с индуцированным каналом: 1; 2; 3;
 - б) с управляющим *p-n*-переходом: 1; 2; 3;
 - в) со встроенным каналом: 1; 2; 3;

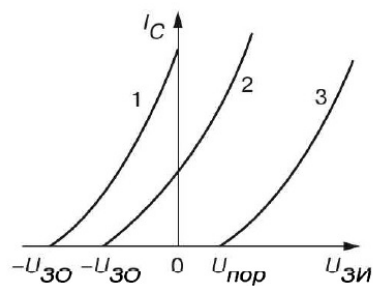


Рис. 4

4. Каков **физический смысл** h -параметров и при каких условиях их определяют?
5. Укажите, какие **основные носители зарядов** в полевом транзисторе:
 а) с *n*-каналом: электроны; дырки; электроны и дырки;
 б) с *p*-каналом: электроны; дырки; электроны и дырки.
6. Укажите, какими **преимуществами** обладают полевые транзисторы по сравнению с биполярными:
 малой инерционностью, обусловленной только процессами перезарядки его входной и выходной емкостей. В полевых транзисторах отсутствуют процессы накопления и рассасывания объемного заряда неосновных носителей, оказывающих заметное влияние на быстродействие биполярных транзисторов; пониженным выходным сопротивлением; высоким входным сопротивлением по постоянному току и высокой технологичностью; большим падением напряжения $U_{СИ}$ при коммутациях малых сигналов; большей температурной стабильностью его характеристик; пренебрежительно малым входным током, не зависящим от напряжения между затвором и истоком.
7. Укажите, в чем **различие** между транзисторами с управляющим *p-n*-переходом и МДП-транзисторами:
 в характере изменения сечения проводящего канала: в транзисторе с *p-n*-переходом площадь поперечного сечения канала меняется за счет изменения площади обедненного слоя обратного включенного *p-n*-перехода, а в МДП-транзисторе сечение проводящего канала меняется за счет изменения приповерхностного обогащенного носителями зарядов слоя или созданием и расширением возникающего инверсионного слоя в полупроводнике; полевые транзисторы с *p-n*-переходом работают только на обеднение канала носителями зарядов, а МДП-транзисторы работают **всегда** только на обогащение проводящего канала; в максимальной границе частоты f_m преобразования сигналов: для устройств на транзисторах с *p-n*-переходом частота $f_m = 12—18$ ГГц, а для устройств на МДП-транзисторах $f_m = 1—2$ ГГц;
- в виде стоко-затворных характеристик: при нулевом напряжении на затворе у транзисторов с *p-n*-переходом ток стока максимальный, а у МДП-транзисторов — ничтожно малый.
8. Укажите, чем **отличаются** МДП-транзисторы от МОП-транзисторов:
 материалом изоляции между затвором и каналом: у первых — диэлектрик, у вторых — диоксид кремния;

материалом подложки: у первых — диэлектрик, у вторых — двуокись кремния; конструкцией канала: в МДП-транзисторах встроенный канал, а в МОП-транзисторах — изолированный; степенью обогащения канала: в МДП-транзисторах канал обеднен носителями заряда, а в МОП-транзисторах обогащен ими.

Таблица 4

Наименование параметра	Обозначение и значение параметра в EWB	Обозначение и значение параметра в Lr3
Обратный ток коллекторного перехода	$I_S = 0,2046 \text{ pA}$	$I_{K0} = 0,2046 \text{ пА}$
Идеальный максимальный коэффициент усиления ток в схеме с ОЭ	$BF = 296,5$	$H_{21Э} = \beta = 296,5$
Напряжение, близкое к максимальному напряжению коллектора	$VAF = 10V$	$U_{K.max} = 10 \text{ В}$
Обратный ток эмиттерного перехода	$I_{SE} = 0,1451 \text{ pA}$	$I_{Э0} = 0,1451 \text{ пА}$
Максимальный ток коллектора	$IKF = 77,25 \text{ mA}$	$I_{K.max} = 77,25 \text{ mA}$
Объёмное сопротивление базы	$R_B = 4 \text{ } \Omega$	$R_B = 4 \text{ Ом}$
Объёмное сопротивление эмиттера	$R_E = 85,73 \text{ m}\Omega$	$R_{Э} = 85,73 \text{ мОм}$
Объёмное сопротивление коллектора	$R_C = 0,4286 \text{ } \Omega$	$R_K = 0,4283 \text{ Ом}$
Контактная разность потенциалов перехода база-эмиттер	$V_{JE} = 0,95 \text{ V}$	$E_{БЭ} = 0,95 \text{ В}$
Контактная разность потенциалов перехода база-коллектор	$V_{JC} = 0,4 \text{ V}$	$E_{БК} = 0,4 \text{ В}$
Емкость эмиттерного перехода при нулевом напряжении	$C_{JE} = 11 \text{ pF}$	$C_{Э} = 11 \text{ пФ}$
Емкость коллекторного перехода при нулевом напряжении	$C_{JC} = 32 \text{ pF}$	$C_K = 32 \text{ пФ}$
Время переноса заряда через базу	$TF = 0,3 \text{ nsec}$	$F_{пер} = 0,3 \text{ нс}$