**wwЛабораторная работа 23 (Lr23)**

**БИПОЛЯРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Снятие и анализ входных и выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с об­щим эмиттером и оп­ределение по ним его *h*-па­раметров; исследование выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком и построение его стоко-затворной характеристики.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ**

*Транзистор* – это полупроводниковый прибор, предназначенный для уси­ления, генерирования и преобразования электрических сигналов в широком диапазоне частот (от постоянного тока до десяти гигагерц) и мощности (от десятков милливатт до сотен ватт).

Различают биполярные транзисторы, в которых используются кристаллы *n-* и *p-*типа, и полевые (униполярные) транзисторы, изготовленные на кристалле германия или кремния с одним типом проводимости.

**1. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ**

*Биполярные транзисторы* – это полупроводниковые приборы, выполненные на кристаллах со структурой *p-n-p-*типа (*а*) или *n-p-n*-типа (*б*) с тремя выводами, связанными с тремя слоями (областями): коллектор (*К*), база (*Б*) и эмиттер (*Э*) (рис. 23.1, *а* и *б*). Ток в таком транзисторе определяется движением зарядов двух типов: электронов и дырок. Отсюда его название – *биполярный транзистор*.

Физические процессы в транзисторах *p-n-p-*типа и *n-p-n-*типа одинаковы. Отличие их в том, что токи в базах транзисторов *p-n-p-*типа переносятся основными носителями зарядов – дырками, а в транзисторах *n-p-n*-типа – электронами. Каждый из переходов транзистора – эмиттерный (*Б-Э*) и коллекторный (*Б-К*) можно включить либо в прямом, либо в обратном направлении. В зависимости от этого различают три режима работы транзистора:

Рис. 23.1

− режим *отсечки* – оба *p-n*-перехода закрыты, при этом через транзистор протекает сравнительно небольшой ток , обусловленный неосно­в­ными носителями зарядов;

− режим *насыщения* – оба *p-n*-перехода открыты;

− *активный* (усилительный)режим – один из *p-n*-переходов открыт, а другой закрыт.

В режимах отсечки и насыщения управление транзистором практически отсутствует. В активном режиме транзистор выполняет функцию *активного элемента* электрических схем усиления сигналов, генерирования колебаний, переключения и т. п.

Подав отрицательный потенциал ЭДС источника  на коллектор и положительный на эмиттер (рис. 23.1, *в*) в схеме включения транзистора *п-р-п*-типа с общим эмиттером (с ОЭ), мы, тем самым, открыли эмиттерный переход *Э*-*Б* и закрыли коллекторный *Б*-*К*, при этом ток коллектора  мал, он определяется концентрацией неосновных носителей (элек­тронов в данном случае) в коллекторе и базе.

 Если между эмиттером и базой приложить небольшое напряжение (0,3…0,5 В) в прямом направлении *p-n*-пе­рехода *Э*-*Б*, то происходит *ин­же­кция* дырок из эмиттера в базу, образуя ток эмиттера . В базе дырки частично рекомбинируют со свободными электронами, но одновременно от внешнего источни­ка напряжения (*ЕБ* < *ЕК*) в базу приходят новые электроны, образуя ток базы .

Так как база в транзисторе выполняется в виде тонкого слоя, то только незначительная часть дырок рекомбинирует с электронами базы, а основная их часть достигает коллекторного перехода. Эти ды­рки захватываются электрическим полем коллекторного перехода, являющегося ускоряющим для дырок. Ток дырок, попавших из эмиттера в коллектор, замыкается через резистор  и источник напряжения с ЭДС  образуя ток коллектора  во внешней цепи.

Токи транзистора в схеме включения с ОЭ (см. рис. 23,1, *в*), работающего в активном режиме, связаны уравнением

.

Отношение тока коллектора к току эмиттера называют *коэффициентом передачи тока*

,

откуда ток базы



где *IK*0 = 0,1…10 мкА у кремниевых и *IK*0 = 10…100 мкА у германиевых транзисторов

Схема включения транзистора с ОЭ является наиболее распространенной вследствие малого тока базы во входной цепи и усиления входного сигнала как по напряжению, так и по току.

Транзистор может работать на постоянном токе, малом переменном сиг­нале, большом переменном сигнале и в ключевом (импульсном) режиме.

Основные свойства транзистора определяются соотношениями токов и напряжений в различных его цепях и взаимным их влиянием друг на друга. На рис. 23.2 представлены семейства входных  (*а*) и вы­­ходных  (*б*) статических характеристик транзистора в схеме с ОЭ. Они могут быть получены в результате эксперимента или расчёта.

Семейства характеристик, которые связывают напряжения и токи на выходе с токами и напряжениями на входе, называют *характеристиками передачи* или *управляющими характеристиками*. В качестве примера на рис. 23.2, *в* приведена управляющая характеристика по току транзистора (коэффициент передачи тока) при напряжении , т. е.

.

Входные и выходные характеристики транзистора обычно приводятся в справочниках (каталогах) транзисторов, которые широко используют для анализа работы транзисторов и для расчета схем при больших сигналах.

В режиме усиления *малых сигналов* транзистор в схеме с ОЭ часто представляют в виде линейного четырехполюсника, входные и выходные параметры которого связаны следующими уравнениями:

;



где  () − входное динамическое сопротивление транзистора (*h*11*Э* = 100…1000 Ом); () − безразмерный коэффициент внутренней обратной связи по напряжению, значение которого лежит в пределах 0,002…0,0002 (при расчётах им часто пренебрегают, т. е. полагают рав­ным нулю); () − коэффициент передачи (усиления) тока при постоянном напряжении на коллекторе; его также обозначают  или ;

() − выходная проводимость транзистора при постоянном токе базы (*h*22*Э* = См).

Параметры схемы замещения транзистора с ОЭ в *h*-форме определяют по его входным и выходным характеристикам (см. рис. 23,2).

**2. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ**

*Полевой транзистор* − это полупроводниковый прибор, в котором ток стока (*С*) через полупроводниковый канал *п*- или *р*-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. 23.3, *а* 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. 23.3, *в* и *г*), или с *ин­дуцированным каналом* в виде МОП-структуры (их условное обозначение на схемах дано на рис. 23.3, *д* и *е*).

Схема включения полевого транзистора с затвором типа *p-n-*перехо­да и каналом *n*-типа, его семейство выходных характеристик *IС* = *f*(*UС*), *UЗ*= *= const* и стоко-затворная характеристика *IC* = *f*(*UЗ*), *IС* = *const* изображены на рис 23.4.

При подключении выходов стока *С* и истока *И* к источнику питания *Un*по каналу *n*-типа протекает начальный ток *IC*, так как *p-n*-переход не перекрывает сечение канала (рис. 23.4, *а*). 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 *–UЗ* умень­ша­ется сечение канала, его сопротивление увеличивается и уменьшается ток стока *IC* (см. рис. 23,4, *в*).

*-*

*U*

*З*

*0*

*-*

*U*

*З*

2

*И*

*С*

*З*

*U*

*З*

*R*

*C*

*I*

*C*

*+*

*U*

*n*

*U*

*C*

*U*

*C*

*I*

*C*

*-*

*U*

*З0*

*-*

*U*

*З*

1

*-*

*U*

*З*

2

 *<*

*-*

*U*

*З*

1

*U*

*З*

=

0

+

*U*

*З*

0

-

*U*

*З*

 *I*

*C*

0

*п*

-

*область*

*p*

-

*область*

*а*

)

*б*

)

*в*

)

Рис. 23.4

*I*

*C*

2

*E*

*З*

Итак, управление током стока *IC* 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 *–UЗ = -UЗО*, называемым *напряжением отсечки*, сечение канала полностью перекрывается обеднённым носителями заряда барь­ерным слоем, и ток стока *ICО*(ток отсечки) определяется неосновными носителями заряда *p-n*-перехода (см. рис. 23.4, *б*).

 Схематичная структура полевого транзистора с *индуцированным n-*ка­­налом представлена на рис 23.5. Электрод затвора изолирован от полупроводникового канала с помощью слоя диэлектрика из двуокиси кремния (SiO2). 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 равным нулю и при наличии напряжения на стоке ток стока *IC* оказывается ничтожно малым. Заметный ток стока появляется только при подаче на затвор напряжения положительной полярности относительно истока, больше так называемого *порогового напряжения* *UЗ*.*пор*.

При этом в результате проникновения электрического поля через диэлектрический слой в полупроводник при напряжениях на затворе, бόльших *UЗ.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 *IC*0. Такой транзистор может работать как в режиме обогащения, так в режиме обеднения: при увеличении напряжения на затворе канал обогащается носителями зарядов и ток стока растёт, а при уменьшении напряжения на затворе канал обедняется и ток стока снижается.

Важнейшей особенностью полевых транзисторов является высокое вхо­­­­д­­ное сопротивление (десятки-сотни мегаом) и малый входной ток. Одним из основных параметров полевых транзисторов является *крутизна* *S* =  стоко-затворной характеристики (см. рис. 23.4, *в*), выражаемая в мА/В.

**3. ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРОВ**

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

Входные характеристики *IБ*(*UБ*) при *UКЭ*= *const* биполярных транзисторов, включенных по схеме с ОЭ (см. рис. 23.2, *а*), имеют вид, аналогичный характеристикам диодов: ток базы экспо­ненциально возрастает с увеличением напряжения база-эмиттер при заданном напряжении на коллекторе. В виду ничтожно малых токов затвора *IЗ* полевых транзисторов, включенных по схеме с ОИ, их входные ВАХ, как правило, не снимают.

Как отмечалось, выходные характеристики биполярных транзисторов *IK*(*UK*) при *IБ*= *const*, включенных по схеме с ОЭ (см. рис. 23.2, *б*), определяют зависимость выходного тока коллектора от напряжения между коллектором и эмиттером при заданных значениях тока базы, а выходные характеристики полевых транзисторов *IC*(*UC*) при *UЗ*= *const*, включенных по схеме с ОИ, определяют зависимость тока стока от напряжения между стоком и истоком при фик­сированном напряжении затвора.

**4. ПОСТРОЕНИЕ ВАХ ТРАНЗИСТОРОВ**

**С ПОМОЩЬЮ ХАРАКТЕРИОГРАФА CРЕДЫ MS10**

Снять семейство выходных характеристик биполярных транзисторов в схеме с ОЭ или полевых транзисторов в схеме с ОИ можно с помощью характериографа **IV Analyzer**, подключая соответствующие выводы транзисторов к его входам, например модели **2N2222A** (рис. 23.6).

Границы изменения напряжения на коллекторе *UK* (**V\_ce**), тока базы *IБ* (**I\_b**) и числа фиксированных уровней тока базы (**Num steps**) можно установить в диалоговом окне (рис. 23.7), (см. рис. 23.6). Если щелкнуть мышью вначале в поле семейства ВАХ транзистора (см. рис. 23.6), а затем в открывшемся окне (рис. 23.8, *а*) на закладках **Hide Select Marks** (Выделение ВАХ маркерами) и **Select Trace ID** (Выбор ВАХ *IK*(*UK*) из семейства выходных характеристик по заданному току базы, см. рис. 23.8, *б*), то при щелчке мышью на кнопке **OK** и закрытии окон выбранная ВАХ будет выделена треугольными маркерами (см. рис. 23.6), а при движении визирной линии внизу рисунка выводятся координаты точек (значения напряжения *UK* и тока *IK*) выделенной ВАХ, в которых их пересекает визирная линия. Значение тока базы *IБ* (**I\_b**) выводится в левом нижнем углу рисунка.

Рис. 23.6

 При щелчке мышью на любой кривой ВАХ маркеры перемещаютя на неё, а в нижней строке выводятся значение тока базы и координаты точки пересечения визира с выделенной кривой ВАХ.

Записав координаты двух точек ВАХ при двух фиксированных положениях визира на линейном участке характеристики (например, при заданном токе *IБ*1 = 0,74 мA, *UK*1= 1,5 В и *IK*1 ≈ 74,13 мА, а при *UK*2= 2 В, *IK*2 ≈ ≈ 77,58 мА), вычислим выходное динамическое сопротивление транзистора

*Rвых*= *ΔUK/ΔIК* = 0,5/0,00345 ≈ 145 Ом,

Рис. 23.7

а записав при фиксированном напряжении на коллекторе (например, *UK* = = 1,5 В) два значения тока коллектора при двух значениях тока базы (например *IK*1 = 74,13 мАпри *IБ*1 = 0,74 mAи *IK*2= 90,09 мА при *IБ*2 = 0,97 мA) найдём коэффициент передачи тока транзистора в схеме с ОЭ по формуле:

*h*21*Э* = *ΔIK/ΔIБ* = 15,96/0,23 ≈ 69,4.

На рис. 23.9 представлено семейство ВАХ модели полевого тра­н­зис­тора **2N3823** (*UС⋅max* = 100 В; напряжение отсечки *UЗО* = −3,3 В) c управляющим затвором типа *р-п*-перехода и с каналом *п*-типа, снятое с помощью характериографа **IV Analyzer** при изменении напряжения сток-исток (**drain**-**source**) *UСИ* (**V−ds**) от 0 до 20 В, напряжени затвор-исток (**gate-source**) *UЗИ* (**V−gs**) от −3,5 В до 0,5 В и числе фиксированных уровней напряжения затвора *N* = 6.

Рис. 23.9

Рис. 23.8

*а*)

 *б*)

Переместим визир в окне характериографа в положение, при котором напряжение стока *UC* = 10 В, и запишем значения тока стока при двух напряже­ниях затвора транзистора, например, при *UЗ* = − 0,3 В ток стока *IС* = = 10,87 мА, а при *UЗ* =−1,13 В ток *IС* = 5,86 мА. Тогда крутизна уп­рав­ляющей стоко-затворной характеристики *IС*(*UЗ*) транзистора при *UC* = 10 В равна

*S* = *ΔIC* */ΔIЗ* ≈ /0,8 = 6,25 мА/B.

Подобным образом с помощью характериографа **IV Аnalyzer** можно снять ВАХ и определить параметры других моделей биполярных и полевых транзисторов, записанных в библиотеке среды MS10, учитывая знаки полярности их электродов и устанавливая на них соответствующие границы изменения напряжений, ориентиром для которых служат паспортные данные транзисторов.

В библиотеке компонентов среды MS10 имеется большое количество моделей номинированных импортных транзисторов, отечественные аналоги которых можно найти в справочниках [10, 11]. Например, аналогом импортного транзистора типа **IRFL710** является отечественный транзистор типа КП731А, транзистора **2N3906** – транзистор КТ6136A, транзистора **2N2222А** – транзистор КТ3117Б и т. д.

Подробную информацию о параметрах транзистора можно найти в диалоговом окне, после двойного щелчка мышью на изображении и закладке **Edit Component in BD**. В качестве примера в табл. 23.1 приведены некоторые параметры (всего их 41) модели биполярного транзистора **2N2222А** и их обозначения, принятые в среде MS10 и в данной работе.

Т а б л и ц а 23.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение и значение параметра в MS10 | Обозначение и значение параметра в Lr23 |
| Обратный ток коллекторного перехода | IS = 0,2046 pA | *IK*0 = 0,2046 пА |
| Идеальный максимальный коэффициент усиления тока в схеме с ОЭ | BF = 296,5 | *h*21*Э = β =* 296,5 |
| Напряжение, близкое к максимальному напряжению коллектора | VAF = 10 V | *UK.max* = 10 B |
| Обратный ток эмиттерного перехода | ISE = 0,1451 pA | *IЭ*0 *=*0,1451 пA |
| Максимальный ток коллектора  | IKF = 77,25 mA | *IK.max* = 77,25 мА |
| Объёмное сопротивление базы | RB = 4 Ω | *RБ* = 4 Ом |
| Объёмное сопротивление эмиттера | RE = 85,73 mΩ | *RЭ* = 85,73 мОм |
| Объёмное сопротивление коллектора | RC = 0,4286 Ω  | *RК* = 0,4283 Ом |
| Контактная разность потенциалов перехода база-эмиттер | VJE = 0,95 V | *ЕБЭ =* 0,95 В |
| Контактная разность потенциалов перехода база-коллектор | VJC = 0,4 V | *ЕБK =* 0,4 В |
| Ёмкость эмиттерного перехода при нулевом напряжении | CJE = 11 pF | *CЭ* = 11 пФ |
| Ёмкость коллекторного перехода при нулевом напряжении | CJC = 32 pF | *CK =*32 пФ |
| Время переноса заряда через базу | TF = 0,3 nsec | *tпер =* 0,3 нс |

**УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ И** **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

 **К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

**Задание 1. Запустить лабораторный комплекс** Labworks и среду МS10 (щёлкнув мышью **на команде Эксперимент меню комплекса** Labworks)**.** **На рабочем поле среды MS10 собрать схему для снятия ВАХ биполярных транзисторов с общим эмиттером (ОЭ) и полевых транзисторов с общим истоком (ОИ) (рис. 23.10, *а*) или открыть файл 23.10.ms10, размещённый в папке Circuit Design Suit 10.0 среды** МS10.

В схему включить следующие компоненты

− источники **Е1** и **Е2** постоянного напряжения, к одному из с помощью переключателя **А** подключается коллектор биполярного или сток полевого транзистора. Выбор источника питания зависит от знака полярности коллектора (стока) соответствующего транзистора (см. рис. 23.10, *б*);

Рис. 23.10

− источники **Е3** и **Е4** постоянного напряжения для включения с помощью переключателя **В** одного из них в цепь базы (затвора) соответствующего транзистора;

− два потенциометра **R1** и **R2** для задания токов в цепях транзисторов;

− два амперметра **А1** и **А2** и два вольтметра **V1** и **V2** для измерения токов и напряжений на электродах исследуемого транзистора.

Основные параметры транзисторов, предлагаемых для испытания в работе, даны в табл. 23.2. Приведенные марки транзисторов могут быть заменены на другие после двойного щелчка мышью на соответствующем изображении прибора на рабочем поле среды MS10 и на **Replace Components**.

**Задание 2. Снять и построить (по точкам) входных** *IБ*(*UБ*) при *UКЭ*= *const* **и выходных** *IК*(*UК*) при *IБ*= *const* **ВАХ соответствующего биполярного транзистора** (см. табл. 23.2).

**Для этого:**

− заменить транзистор в схеме испытания на рекомендованный тип;

Т а б л и ц а 23.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номерзаписифамилии*N* | Тип транзистора | *UK*.*max* (*UC.max*), В | *IK*.*max*(*IC*.*max*), A | *h2*1*Э* | *S*, мА/B | *UЗО*(*UЗ.пор*), В | *f max*, МГц | *PK*(*PС*),Вт |
| Нечётн. | **2N2222A** | 10 | 0,077 | 30…300 | − | − | 300 | 1,5 |
| Чётные | **2N3906** | 40 | 0,2 | 30…300 | − | − | 250 | 0,625 |
| Чётные | **J211** | 25 | 0,02 | − | − | -3,56 | − | 0,4 |
| Нечётн. | **2N4381** | -25 | 0,012 | − | − | 1,8 | − | − |
| Нечётн. | **IRFL9014** | -60 | -1,8 | − | 1300 | -3,88 | − | 3,1 |
| Чётные | **IRF710** | 400 | 1,1 | − | 1000 | 3,8 | − | 36 |

− в соответствии со знаком полярности коллектора (стока) и базы (за твора) исследуемого транзистора выбрать источники напряжения, задать их ЭДС и установить переключатели **А** и **В** в соответствующие положения;

− изменяя сопротивления потенциометров **R1** и **R2** и, при необходимости, ЭДС источников **Е1**…**Е4**, заносить показания приборов в табл. 233 и в табл. 23.4;

− по данным измерений построить графики семейств входных и выходных ВАХ (см. рис. 232, *а* и *б*);

− скопировать изображение схемы с показаниями приборов (для одного из режимов работы при снятии выходной ВАХ) на страницу отчёта;

− воспользовавшись графиками семейств входных и выходных ВАХ, определить *h*-параметры биполярного транзистора.

**Задание 3. Снять и построить (по точкам) семейство выходных** *IС*(*UС*) при *UЗИ*= *const* **ВАХ (см. рис. 234, *б*) и стоко-затворную характеристику** *IС*(*UЗ*) при *UСИ* = 12 В (см. рис. 23.4, *в*) полевого транзистора с типа *р-п*-перехода (см. табл. 23.2), заполнив показаниями приборов табл. 235.

Т а б л и ц а 23.3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ток базы *IБ*, мкА** | **50** | **100** | **200** | **300** | **400** | **500** |
| **Напряжение *UБЭ*, В при*****UКЭ*, В** | **0** |  |  |  |  |  |  |
| **5** |  |  |  |  |  |  |

Т а б л и ц а 23.4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Напряжение *UКЭ*, В**  | **0,1** | **0,5** | **1** | **5** | **8** | **12** |
| **Ток коллектора *IК*, мА при *IБ*, мкА**  | **50** |  |  |  |  |  |  |
| **100** |  |  |  |  |  |  |
| **200** |  |  |  |  |  |  |
| **300** |  |  |  |  |  |  |
| **400** |  |  |  |  |  |  |
| **500** |  |  |  |  |  |  |

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

Т а б л и ц а 23.5

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Напряжение *UСИ*, В**  | **1** | **2** | **3** | **4** | **8** | **12** |
| **Ток стока *IС*, мА принапряжении *UЗИ*, 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** |  |  |  |  |  |  |

**Задание 4.** Снять семейство выходных ВАХ соответствующего полевого транзистора с индуцированным каналом (см. табл. 23.2) с помощью прибора **IV** . изображение на страницу отчёта (см. рис. 23.9). Определить крутизну *S* стоко-затворной характеристики *IС*(*UЗ*) при *UСИ* = 10…12 В на линейном её участке.

**СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Наименование и цель работы.

2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их крат­кими характеристиками.

3. Таблицы результатов измерений и расчётов *h*-параметров биполярного транзистора и крутизны стоко-затворной характеристики полевых транзисторов

4. Изображения электрических схем испытания биполярного и полевого транзисторов и семейств входных и выходных ВАХ транзисторов.

5. Выводы по работе.

#####  ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ 23

**1**. Назовите **режимы** работы биполярного транзистора и дайте их краткую характеристику.

**2**. Укажите, какой **формулой** описывается коэффициент передачи по току *h*21*Э* биполярного транзистора?

    

**3**. Укажите, в какой **схеме включения** биполярного транзистора:

 а) *максимальное входное сопротивление*:

 в схеме с ОЭ в схеме с ОБ в схеме с ОК

 б) *максимальный коэффициент усиления по мощности*:

 в схеме с ОЭ в схеме с ОБ в схеме с ОК?

 **4**. Укажите **порядок** входного сопротивления полевых транзисторов, включенных по схеме с ОИ:

 Десятки-сотни ом; Десятки-сотни килом; Десятки-сотни мег*аом*.

**5**. Укажите возможную **максимальную частоту** преобразования сигналов в устройствах на базе полевого транзистора:

 а) *с управляющим* *р-п*-*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

**6**. Укажите **номер** стоко-зат­вор­ной характеристики *п*-канального полевого транзистора:

 а)

*IC*0

 1 2 3

 б) *с управляющим* *р-п*-*переходом*:

 1 2 3

 в) со встроенным ка­­налом:

 1 2 3

**7**. Каков **физический смысл** *h*-параметров и при каких условиях их определяют?

**8.**. Укажите, какая **схема включения** биполярного транзистора наиболее распространена?

 Схема с ОЭ Схема с ОК Схема с ОБ

**9**. Укажите, какие **основные носители** **зарядов** в полевом транзисторе:

 а) *с п-каналом*: электроны; дырки; электроны и дырки;

 б)  *с р-каналом*: электроны; дырки; электроны и дырки.

**10**.. Укажите, какими **преимуществами** обладают полевые транзисторы по сравнению с биполярными?

 Малой инерционностью, обусловленной только процессами перезарядки его вход­ной и выходной ёмкостей. В полевых транзисторах отсутствуют процессы накапливания и рассасывания объёмного 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 *UСИ* при коммутациях малых сигналов.

 Большей температурной стабильностью его характеристик.

 Пренебрежительно малым входным током, независящим от напряжения между затвором и истоком.

**11**. Определите **понятия** полевых транзисторов: а) пороговое напряжение; б) напряжение отсечки; в) напряжение насыщения.

**12**. Укажите, в чём различие между транзисторами с управляющим *р-п*-пере­ходом и МДП-тра­н­зисторами?

 Характером изменения сечения проводящего канала: в транзисторе с *р-п*-пере­хо­дом площадь поперечного сечения канала меняется за счёт изменения площади обеднённого слоя обратно включенного *р-п*-перехода, а в МДП-транзисторе сечение проводящего канала меняется за счёт изменения приповерхностного обогащённого носителями зарядов слоя или созданием и расширением возникающего инверсионного слоя в полупроводнике.

 Полевые транзисторы с *р-п*-переходом работают только на обеднение канала носителями зарядов, а МДП-транзисторы работают **всегда** только на обогащение проводящего канала.

 Максимальной границей частоты *fm* преобразования сигналов: для устройств на транзисторах с *р-п*-переходом частота *fm* = 12…18 ГГц, а для устройств на МДП-тран­зисторах *fm* = 1…2 ГГц.

 Видом стоко-затворных характеристик: при нулевом напряжении на затворе у транзисторов с *р-п*-переходом ток стока максимальный, а у МДП-транзисторов – ток стока ничтожно малый.

**13**. Укажите, чем **отличаются** МДП- МОП-?

 Материалом изоляции (диэлектрик или диоксид кремния) между затвором и каналом.

 Материалом подложки (диэлектрик или двуокись кремния).

 Конструкцией канала: в МДП-транзисторе встроенный канал, а в МОП-тран­­зисторе − изолированный.

 Степенью обогащения канала: в МДП-транзисторе канал обеднен носителями заряда, а в МОП-транзисторе обогащён ими.