

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 11.03.01 Радиотехника**

**Наименование образовательной программы: Радиотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Электроника**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Торина Е.М.
	Идентификатор	Rf078b9d4-DrozdovaYM-9d5fc66c

Е.М. Торина

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Остапенков П.С.
	Идентификатор	R6356f55c-OstapenkovPS-854af18

П.С.  
Остапенков

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Остапенков П.С.
	Идентификатор	R6356f55c-OstapenkovPS-854af18

П.С.  
Остапенков

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности, связанных с разработкой и проектированием радиотехнических устройств

ИД-2 Применяет естественнонаучные знания, физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

2. ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

ИД-2 Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. ЛР №1.1. Статические характеристики п/п диодов (Лабораторная работа)

2. ЛР №1.2. Статические характеристики биполярных транзисторов (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КР №1.1. Физические основы электропроводности п/п. (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. ЛР №1.3 + КР №1.2. Зачет по разделу БТ (Отчет)

2. ЛР №1.4 + КР №1.3. Зачет по разделу ПТ (Отчет)

## БРС дисциплины

4 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	14	16
Физические основы полупроводниковой электроники						
Физические основы полупроводниковой электроники			+			
Физические основы работы оптоэлектронных элементов						
Оптоэлектронные полупроводниковые элементы и структуры			+			

Контактные явления. Электронно-дырочный переход, барьер Шоттки, гетеропереходы					
Контактные явления. Электронно-дырочный переход, барьер Шоттки, гетеропереходы	+	+			
Полупроводниковые диоды на основе электронно-дырочного перехода.					
Полупроводниковые диоды на основе электронно-дырочного перехода.	+	+			
Биполярные транзисторы					
Биполярные транзисторы			+	+	
Полевые транзисторы					
Полевые транзисторы					+
Вес КМ:	8	12	20	30	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ОПК-1	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub> Применяет естественнонаучные знания, физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера	Знать: методы математического моделирования основных характеристик биполярных транзисторов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ методы математического моделирования основных характеристик полевых транзисторов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ методы математического моделирования основных характеристик полупроводниковых диодов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных	ЛР №1.1. Статические характеристики п/п диодов (Лабораторная работа) ЛР №1.3 + КР №1.2. Зачет по разделу БТ (Отчет) ЛР №1.4 + КР №1.3. Зачет по разделу ПТ (Отчет)

		<p>прикладных программ          типовые режимы          использования          биполярных транзисторов          типовые режимы          использования полевых          транзисторов          типовые режимы          использования          полупроводниковых          диодов</p>	
ОПК-2	<p>ИД-2<sub>ОПК-2</sub> Выбирает          способы и средства          измерений и проводит          экспериментальные          исследования</p>	<p>Знать:          основные типы          полупроводниковых          диодов, их модели и          способы количественного          описания с привлечением          соответствующего физико-          математического аппарата          основные типы          биполярных транзисторов,          их модели и способы          количественного описания          с привлечением          соответствующего физико-          математического аппарата          основные типы полевых          транзисторов, их модели и          способы количественного          описания с привлечением          соответствующего физико-          математического аппарата          физическое основы</p>	<p>ЛР №1.1. Статические характеристики п/п диодов (Лабораторная          работа)          КР №1.1. Физическое основы электропроводности п/п. (Контрольная          работа)          ЛР №1.2. Статические характеристики биполярных транзисторов          (Лабораторная работа)          ЛР №1.3 + КР №1.2. Зачет по разделу БТ (Отчет)          ЛР №1.4 + КР №1.3. Зачет по разделу ПТ (Отчет)</p>

		электропроводности Уметь: экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей биполярных транзисторов экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей полупроводниковых диодов экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей полевых транзисторов	
--	--	--	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. ЛР №1.1. Статические характеристики п/п диодов

**Формы реализации:** Допуск к лабораторной работе

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 8

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка подготовки к лабораторной работе, опрос по контрольным вопросам

#### Краткое содержание задания:

Измерение статических характеристик полупроводниковых диодов

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы математического моделирования основных характеристик полупроводниковых диодов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ	1. Как изменится <i>прямая ветвь</i> статической характеристики, если температуру кремниевого диода увеличить на 50 К? 2. В чем сходство и различие <i>прямых ветвей</i> статических характеристик германиевого и кремниевого диодов? 3. Перечислите основные типы диодов
Знать: типовые режимы использования полупроводниковых диодов	1. Пояснить, каким образом получается изображение статической характеристики диода на экране осциллографа. Какую роль играет форма импульсов напряжения? 2. Как влияет увеличение измерительного сопротивления на форму наблюдаемой характеристики?
Знать: основные типы полупроводниковых диодов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата	1. Как называются диоды, используемые как переменные конденсаторы в радиоэлектронных устройствах?
Уметь: экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей полупроводниковых диодов	1. Составить схему для измерения статических характеристик диодов

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-2. КР №1.1. Физическое основы электропроводности п/п.

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 12

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает индивидуальное задание из 3-х вопросов. В течение 1 ч. 30 мин. студент в аудитории письменно отвечает на эти вопросы

**Краткое содержание задания:**

**Задано:**

Тип материала, тип проводимости п/п, концентрация примеси, концентрация собственных носителей заряда. Температура  $T_0$ , изменение температуры  $\Delta T$

**Задача 1.**

Определить тип примеси. Рассчитать концентрации основных и неосновных подвижных носителей заряда. Как они изменятся при повышении температуры на  $\Delta T$ ? Если изменятся, то рассчитайте во сколько раз.

**Задача 2.**

Изобразите и поясните зависимость концентрации основных носителей заряда в зоне проводимости (или в валентной зоне) п/п заданного типа с заданной концентрацией примеси от температуры в интервале  $0 < T < 600$  К. Как она изменится, если концентрация примеси станет в 4 раза выше и почему?

**Задача 3**

Рассчитайте удельные проводимости чистого п/п и п/п с заданной примесью при  $T=T_0$  и заданной концентрация собственных носителей заряда, если подвижность электронов  $\mu_n = 3900$  см<sup>2</sup>/В с, подвижность дырок  $\mu_p = 1900$  см<sup>2</sup>/В с. Как изменятся эти проводимости с повышением температуры на  $\Delta T$  К? Если изменятся, то рассчитайте во сколько раз.

Группа/номер в журнале	Тип материала	Концентрация собственных носителей заряда, см <sup>-3</sup>	Тип проводимости п/п	Концентрация примеси, см <sup>-3</sup>	$T_0$	$\Delta T$
11/1	Si	$1,5 \cdot 10^{10}$	n-	$10^{15}$	290	30
11 /2	Ge	$2,5 \cdot 10^{13}$	p-	$2 \cdot 10^{15}$	300	30
11 /3	Si	$1,5 \cdot 10^{10}$	n-	$3 \cdot 10^{15}$	310	30
11/4	Ge	$2,5 \cdot 10^{13}$	p-	$4 \cdot 10^{15}$	290	30
11 /5	Si	$1,5 \cdot 10^{10}$	n-	$5 \cdot 10^{15}$	300	30
11 /6	Ge	$2,5 \cdot 10^{13}$	p-	$6 \cdot 10^{15}$	310	30
11 /7	Si	$1,5 \cdot 10^{10}$	n-	$7 \cdot 10^{15}$	290	30

11 /8	Ge	2,5*10 <sup>13</sup>	p-	8*10 <sup>15</sup>	300	30
11 /9	Si	1,5*10 <sup>10</sup>	n-	9*10 <sup>15</sup>	310	30

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: основные типы полупроводниковых диодов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата</p>	<p>1. Поясните процессы, происходящие в p-n переходе при подаче на него прямого смещения. Покажите, как в обедненном слое искажены энергетические зоны полупроводника при нулевом и положительном смещении. Изобразите распределение концентраций носителей, объемного заряда, внутреннего поля и контактной разности потенциалов в резком ступенчатом p-n переходе при нулевом и положительном смещении.</p>
<p>Знать: физическое основы электропроводности</p>	<p>1. В 4-х валентный элемент введена 5-ти валентная примесь. Определите тип полупроводника  2. В 4-х валентный элемент введена 3-х валентная примесь. Определите тип полупроводника  3. Какие области возникают при контакте полупроводников p-типа и n-типа  4. Поясните процессы происходящие в p-n переходе при подаче на него обратного смещения. Поясните процесс формирования пробоя перехода. Типы и особенности пробоев. Изобразите полную статическую ВАХ полупроводникового диода с учетом пробоя.</p>

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Задание выполнено полностью*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Из 3-х заданий выполнено 2.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 30*

*Описание характеристики выполнения знания: Из 3-х заданий с незначительными ошибками выполнены все*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Не выполнено ни одно задание или все задания выполнены с грубыми ошибками*

### КМ-3. ЛР №1.2. Статические характеристики биполярных транзисторов

**Формы реализации:** Допуск к лабораторной работе

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка подготовки к лабораторной работе, опрос по контрольным вопросам

**Краткое содержание задания:**

## Измерение статических характеристик биполярных параметров

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные типы биполярных транзисторов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата	1.Изобразить семейства статических характеристик транзистора. 2.Пояснить, как влияют на ВАХ биполярного транзистора напряжения питания, температура.
--	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Правильные ответы на все контрольные вопросы, наличие правильной подготовки. Задание выполнено полностью. Есть опечатки в оформлении отчета

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Не все ответы на все контрольные вопросы верные, наличие правильной подготовки. Задание выполнено полностью. Есть ошибки в расчетах

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Неточные ответы на все контрольные вопросы, наличие правильной подготовки. Задание выполнено полностью. Есть грубые ошибки в измерениях и оформлении отчета

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

### КМ-4. ЛР №1.3 + КР №1.2. Зачет по разделу БТ

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** ЛР №1.3: Проверка подготовки к лабораторной работе, опрос по контрольным вопросам. КР №1.2: каждый студент получает индивидуальное задание из 4-х вопросов. В течение 1 ч. 30 мин. студент в аудитории письменно отвечает на эти вопросы.

### Краткое содержание задания:

Измерение и расчет параметров малосигнальной эквивалентной схемы биполярного транзистора импульсным методом. Определение областей работы биполярного транзистора и соответствие эквивалентной нелинейной и линейной схемы этой области

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы математического моделирования основных характеристик биполярных транзисторов и описания	1.Определите в какой области работает Si n-p-n БТ, если $U_{Б'Э} = 0,65 В$ , $U_{Б'К} = -20 В$ . Нарисуйте передаточную модель БТ, описывающую работу БТ по постоянному току в этой области.
---	--

принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ	2. Изобразите схему передаточной зарядовой модели для активной области работы биполярного транзистора.
Знать: типовые режимы использования биполярных транзисторов	1. Напишите уравнения для расчета входных, проходных и выходных характеристик БТ, включенного по схеме ОЭ. Изобразите входные и проходные характеристики для активной области и области насыщения характеристики. 2. Изобразите малосигнальную ВЧ эквивалентную схему БТ для активной области (схему Джиаклетто). Поясните физический смысл ее элементов. Для режима, в котором постоянный ток коллектора $I_{K0} = 10 \text{ мА}$ , $CЭ = 8 \text{ пФ}$ , $СКП = СКА = 1 \text{ пФ}$ , $rб = 100 \text{ Ом}$ , $\beta = 100$ , $fT = 300 \text{ МГц}$ , рассчитайте диффузионную емкость, крутизну по входу $S$ на низкой частоте и граничную частоту по коэффициенту передачи по току $\beta\beta$ . Поясните смысл этой частоты.
Знать: основные типы биполярных транзисторов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата	1. Поясните физический смысл элементов малосигнальной эквивалентной схемы транзистора.
Уметь: экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей биполярных транзисторов	1. Определение элементов эквивалентной схемы БТ, пользуясь осциллограммами переходных процессов. 2. Определение областей работы биполярных транзисторов и соответствующих эквивалентных схем

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

## КМ-5. ЛР №1.4 + КР №1.3. Зачет по разделу ПТ

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** ЛР №1.4: проверка подготовки к лабораторной работе, опрос по контрольным вопросам. КР №1.3: каждый студент получает индивидуальное задание из 4-х вопросов. В течение 1 ч. 30 мин. студент в аудитории письменно отвечает на эти вопросы.

### Краткое содержание задания:

Измерение статических характеристик полевых транзисторов. Изобразить условное графическое обозначение МОП с индуцированным  $n$ -каналом. Изобразить проходную и выходную характеристики заданного ПТ. Изобразить структуры заданного ПТ при работе в крутой и пологой области. Рассчитать крутизну проходной характеристики ПТ, если известны параметры параболической аппроксимации проходной характеристики и рабочая точка. Изобразить эквивалентную схему ПТ, работающего в пологой области на умеренно высоких частотах.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы математического моделирования основных характеристик полевых транзисторов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ	1. Проходные и выходные характеристики полевых транзисторов различных типов: а) с изолированным затвором и встроенным каналом $n$ -типа; б) с изолированным затвором и индуцированным каналом $p$ -типа; в) с управляющим $p$ - $n$ переходом и каналом $p$ -типа. 2. Принцип работы характеристикиографа
Знать: типовые режимы использования полевых транзисторов	1. Области работы полевых транзисторов. 2. Эквивалентные малосигнальные схемы полевых транзисторов на средних и умеренно-высоких частотах.
Знать: основные типы полевых транзисторов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата	1. Методика расчета крутизны проходной характеристики и выходного дифференциального сопротивления полевого транзистора 2. Области работы полевых транзисторов
Уметь: экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей полевых транзисторов	1. Проводить измерение статических характеристик полевых транзисторов по стрелочным приборам и с помощью характеристикиографа 2. Уметь рассчитывать параметры модели полевого транзистора в заданной рабочей точке 3. Уметь рассчитывать по модели вольт-амперные характеристики разных типов полевых транзисторов

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 4 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

1. Концентрация собственных носителей тока в Ge  $n_i = 2.25 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$   
подвижность электронов  $\mu_n = 0,4 \text{ м}^2/\text{Вс}$ , подвижность дырок  $\mu_p = 0,2 \text{ м}^2/\text{Вс}$ .  
Определите проводимости а) чистого германия, б) германия, легированного элементом 3 группы, если концентрация легирующих примесей равна  $4,5 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$  и все примеси ионизированы, в) германия, легированного элементом 5 группы, если концентрация легирующих примесей равна  $4,5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$  и все примеси ионизированы.
2. Изобразите малосигнальную высокочастотную эквивалентную схему биполярного транзистора для активной области (схему Джиаколетто). Поясните физический смысл ее элементов. Для режима, в котором постоянный ток коллектора  $I_{к0} = 5 \text{ мА}$ ,  $C_{э} = 8 \text{ пФ}$ ,  $C_{ка} = C_{кп} = 1 \text{ пФ}$ ,  $r_{б} = 100 \text{ Ом}$ ,  $\beta = 100$ ,  $f_T = 800 \text{ МГц}$  найдите диффузионную емкость  $S_D$ , крутизну проходной характеристики транзистора на низкой частоте и граничную частоту по крутизне.

### Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 60 минут.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ОПК-1</sub> Применяет естественнонаучные знания, физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

### Вопросы, задания

1. Изобразите и сравните эквивалентные схемы полупроводниковых р - n диодов, используемые для расчетов статических режимов диодов и динамических процессов в них. Постройте статическую характеристику диода, имеющего при  $T = 300 \text{ К}$  ток насыщения  $10\text{-}13 \text{ А}$  и сопротивление материала базы  $12 \text{ Ом}$  при изменении прямого тока до  $30 \text{ мА}$ .
2. Как зависит от напряжения между затвором и истоком полевого транзистора с управляющим р-п переходом проводимость канала при малых напряжениях между стоком и истоком. При каких условиях полевой транзистор можно использовать как линейное электрически регулируемое сопротивление?
3. Определите в какой области работает п-р-п БТ, если  $U_{Б'Э} = 0,65 \text{ В}$ ,  $U_{КЭ} = 10 \text{ В}$ . Нарисуйте инжекционную модель БТ, описывающую работу БТ по постоянному току в этой области. Напишите уравнения для расчета входных, проходных и выходных характеристик БТ, включенного по схеме ОБ.
4. Изобразите и поясните проходные и выходные статические характеристики МОП транзистора со встроенным n каналом. Как изменятся эти характеристики при изменении температуры.
5. Сравните между собой крутизны проходных характеристик биполярного и полевого транзисторов, при параболической аппроксимации, работающих при одинаковых постоянных токах  $I_0 = 10 \text{ мА}$ , если в полевом транзисторе этот ток соответствует

нулевому напряжению затвор-исток при напряжении отсечки - 4 В, а биполярный транзистор имеет сопротивление базы 100 Ом и  $\beta = 100$ .

6. Изобразите проходные характеристики МОП полевого транзистора с индуцированным n-каналом. Как изменятся эти характеристики при увеличении температуры и почему?

Изобразите выходные характеристики такого транзистора. Как изменятся выходные характеристики, если напряжение затвор-исток меньше напряжения в термостабильной точке?

7. Изобразите и сравните между собой проходные и выходные характеристики полевых транзисторов с управляющим переходом и n каналом и с наведенным n каналом.

Сравните также

малосигнальные высокочастотные эквивалентные схемы этих транзисторов.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В 4-х валентный элемент введена 3-х валентная примесь. Определите тип полупроводника

Ответы:

Собственный полупроводник Полупроводник p-типа Полупроводник n-типа

Верный ответ: Полупроводник p-типа

2. Каково напряжение открывания кремниевого полупроводникового диода

Ответы:

0 В 0,2 В 0,6 В

Верный ответ: 0,6 В

3. Определите в какой области работает кремниевый биполярный транзистор, если выполняется следующее условие  $U_{бэ}=0,7$  В  $U_{бк}=-3$  В

Ответы:

Активная область Область отсечки Область насыщения Инверсная область

Верный ответ: Активная область

4. Выберите правильное обозначение n-p-n биполярного транзистора, введя номер рисунка 1 или 2

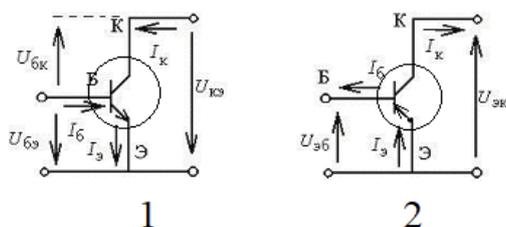


Figure 1 Обозначения биполярного транзистора

Ответы:

1 2

Верный ответ: 1

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ОПК-2</sub> Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования

### Вопросы, задания

1. Что такое эффективная плотность состояний электронов в зоне проводимости? Как она зависит от температуры и почему?

2. Пользуясь моделью Эберса-Молла, постройте и поясните проходные характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, и его малосигнальную эквивалентную схему для низких частот. Какие явления в реальной

- структуре транзистора, заметно влияющие на вид этой эквивалентной схемы и форму проходных характеристик, не учитываются в этой модели?
3. Изобразите и сравните между собой вольтфарадные характеристики варикапов с плавным, резким и сверхрезким р - n переходами. Для варикапа с резким ступенчатым переходом изобразить распределения плотности пространственного заряда, напряженности электрического поля и потенциала вдоль оси, перпендикулярной плоскости перехода, при двух значениях закрывающего напряжения.
4. Определите в какой области находится n-p-n БТ, если  $U_{Б'Э} = 0,7$  В,  $U_{Б'К} = 1$  В. Нарисуйте передаточную модель Эберса-Молла БТ, описывающую работу БТ по постоянному току в этой области. Напишите уравнения для расчета входных, проходных и выходных характеристик БТ, включенного по схеме ОЭ. Изобразите все эти характеристики.
5. Изобразите малосигнальную высокочастотную эквивалентную схему биполярного транзистора для активной области (схему Джиаколетто). Поясните физический смысл ее элементов. Для режима, в котором постоянный ток коллектора  $I_{к0} = 5$  мА,  $C_{э} = 8$  пФ,  $C_{ка} = C_{кп} = 1$  пФ,  $r_{б} = 100$  Ом,  $\beta = 100$ ,  $f_T = 800$  МГц найдите диффузионную емкость СД, крутизну проходной характеристики транзистора на низкой частоте и граничную частоту по крутизне.
6. Поясните физический механизм влияния коллекторного напряжения в биполярном транзисторе на ток коллектора. Сравните по степени этого влияния схемы с заданным напряжением база-эмиттер и с заданным током базы. Какие элементы в малосигнальной низкочастотной эквивалентной схеме транзистора отражают это влияние?
7. Граничные и предельные частоты биполярного транзистора. Соотношения между ними. Зависимости этих частот от параметров малосигнальной эквивалентной схемы транзистора и от рабочего тока.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В 4-х валентный элемент введена 5-ти валентная примесь. Определите тип полупроводника  
 Ответы:  
 Собственный полупроводник Полупроводник p-типа Полупроводник n-типа  
 Верный ответ: Полупроводник n-типа
2. Выберите правильное определение входной характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером  
 Ответы:  
 Зависимость  $I_{б}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_{к}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_{к}(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$   
 Верный ответ: Зависимость  $I_{б}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$
3. Выберите правильное определение проходной характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером  
 Ответы:  
 Зависимость  $I_{б}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_{к}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_{к}(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$   
 Верный ответ: Зависимость  $I_{к}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$
4. Выберите правильное определение выходной характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером  
 Ответы:  
 Зависимость  $I_{б}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_{к}(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_{к}(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$   
 Верный ответ: Зависимость  $I_{к}(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$
5. Для какой схемы включения биполярного транзистора применяется инжекционная модель транзистора, показанная на рисунке

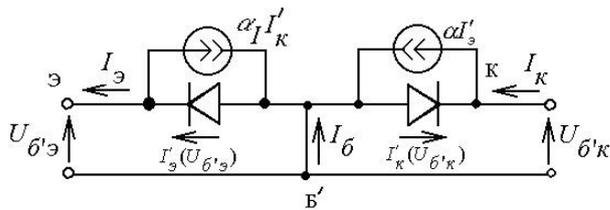


Figure 2 Инжекционная модель биполярного транзистора

Ответы:

Схема с общей базой Схема с общим эмиттером Схема с общим коллектором

Верный ответ: Схема с общей базой

6. Для какой схемы включения биполярного транзистора применяется передаточная модель транзистора, показанная на рисунке

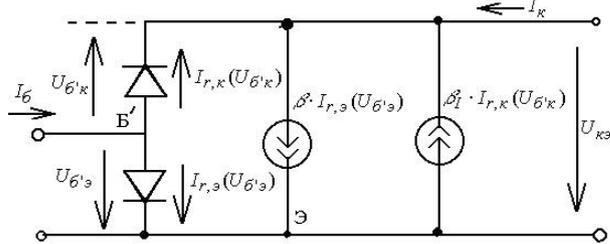


Figure 3 Передаточная модель биполярного транзистора

Ответы:

Схема с общей базой Схема с общим эмиттером Схема с общим коллектором

Верный ответ: Схема с общим эмиттером

7. Какой зависимостью описывается проходная характеристика биполярного транзистора

Ответы:

линейная параболическая экспоненциальная

Верный ответ: экспоненциальная

8. Какой зависимостью описывается проходная характеристика полевого транзистора

Ответы:

линейная параболическая экспоненциальная

Верный ответ: параболическая

9. Для какой области работы справедлива линейная малосигнальная эквивалентная схема Джиаколетто, показанная на рис.

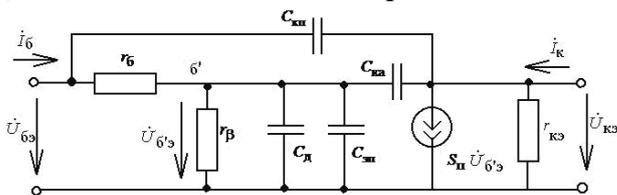


Figure 4 Малосигнальная эквивалентная схема биполярного транзистора

Ответы:

Активная область Область насыщения Инверсная область

Верный ответ: Активная область

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной

дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом непринципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее; в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.