

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

**Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

**Наименование образовательной программы: Радиоэлектронные системы и комплексы**

**Уровень образования: высшее образование - специалитет**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Электроника**

**Москва  
2023**

## 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	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

А.Ю.  
Сизякова

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сафин А.Р.
	Идентификатор	Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814

А.Р. Сафин

## 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-2 способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения

ИД-2 Осуществляет сбор и анализ научно-технической информации, составляет аналитические обзоры и научно-технические отчеты по результатам выполненной работы

2. ОПК-4 способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных

ИД-1 Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований

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)
3. ЛР №1.3. Параметры модели биполярного транзистора (Лабораторная работа)
4. ЛР №1.4. Статические характеристики полевого транзистора (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КР №1.1. Физические основы электропроводности п/п. (Контрольная работа)
2. КР №1.2. Принцип действия биполярных транзисторов (Контрольная работа)
3. КР №1.3. Принцип действия полевых транзисторов (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

4 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	8	8	12	14	15	16
Физические основы полупроводниковой электроники								
Физические основы полупроводниковой электроники		+						
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					+		+
Оптоэлектронные полупроводниковые элементы и структуры							
Оптоэлектронные полупроводниковые элементы и структуры		+					
Вес КМ:	4	12	20	20	20	12	12

\$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-2	ИД-2 <sub>ОПК-2</sub> Осуществляет сбор и анализ научно-технической информации, составляет аналитические обзоры и научно-технические отчеты по результатам выполненной работы	Знать: основные типы полупроводниковых диодов, 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 основные типы биполярных транзисторов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата физическое основы электропроводности	ЛР №1.1. Статические характеристики п/п диодов (Лабораторная работа) КР №1.1. Физическое основы электропроводности п/п. (Контрольная работа) ЛР №1.3. Параметры модели биполярного транзистора (Лабораторная работа) КР №1.2. Принцип действия биполярных транзисторов (Контрольная работа) КР №1.3. Принцип действия полевых транзисторов (Контрольная работа)
ОПК-4	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub> Знает основные методы и средства	Знать: методы математического	ЛР №1.1. Статические характеристики п/п диодов (Лабораторная работа)

	<p>проведения экспериментальных исследований</p>	<p>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 прикладных программ  методы математического моделирования основных характеристик биполярных транзисторов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ  Уметь:  проводить расчет вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов с помощью соответствующего физико-математического аппарата  проводить расчет вольт-амперных характеристик</p>	<p>ЛР №1.2. Статические характеристики биполярных транзисторов (Лабораторная работа)  ЛР №1.3. Параметры модели биполярного транзистора (Лабораторная работа)  ЛР №1.4. Статические характеристики полевого транзистора (Лабораторная работа)  КР №1.2. Принцип действия биполярных транзисторов (Контрольная работа)  КР №1.3. Принцип действия полевых транзисторов (Контрольная работа)</p>
--	--	---	--

		<p>полевых транзисторов с помощью соответствующего физико-математического аппарата проводить расчет вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов с помощью соответствующего физико-математического аппарата</p>	
ОПК-4	ИД-2ОПК-4 Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования	<p>Знать:          типовые режимы использования полевых транзисторов          типовые режимы использования биполярных транзисторов          типовые режимы использования полупроводниковых диодов          Уметь:          экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей полупроводниковых диодов          экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей биполярных транзисторов</p>	<p>ЛР №1.1. Статические характеристики п/п диодов (Лабораторная работа)          ЛР №1.3. Параметры модели биполярного транзистора (Лабораторная работа)          ЛР №1.4. Статические характеристики полевого транзистора (Лабораторная работа)          КР №1.2. Принцип действия биполярных транзисторов (Контрольная работа)          КР №1.3. Принцип действия полевых транзисторов (Контрольная работа)</p>

		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:** 4

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

**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,	Тип проводимости п/п	Концентрация примеси, см <sup>-3</sup>	$T_0$	$\Delta T$

		см -3				
11/1	Si	1,5*1010	n-	1015	290	30
11 /2	Ge	2,5*1013	p-	2*1015	300	30
11 /3	Si	1,5*1010	n-	3*1015	310	30
11/4	Ge	2,5*1013	p-	4*1015	290	30
11 /5	Si	1,5*1010	n-	5*1015	300	30
11 /6	Ge	2,5*1013	p-	6*1015	310	30
11 /7	Si	1,5*1010	n-	7*1015	290	30
11 /8	Ge	2,5*1013	p-	8*1015	300	30
11 /9	Si	1,5*1010	n-	9*1015	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.Какие области возникают при контакте полупроводников p-типа и n-типа 2.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.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: методы математического моделирования основных характеристик биполярных транзисторов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ	1.Изобразить семейства статических характеристик транзистора. 2.Пояснить, как влияют на ВАХ биполярного транзистора напряжения питания, температура.
Уметь: проводить расчет вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов с помощью соответствующего физико-математического аппарата	1.Определение количественных параметров статических характеристик биполярных транзисторов 2.Количественное определение ошибки, которую вносит измерительное сопротивление $R_{и} = 10 \text{ Ом}$ в расчет крутизны проходной характеристики. 3.Пояснить работу характериографа.

**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. Параметры модели биполярного транзистора

**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 и расчет параметров малосигнальной эквивалентной схемы биполярного транзистора импульсным методом

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные типы биполярных транзисторов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата	1. Дайте определение понятия граничная частота биполярного транзистора
Знать: типовые режимы использования биполярных транзисторов	1. Поясните физический смысл элементов малосигнальной эквивалентной схемы транзистора. 2. Что такое граничная частота по крутизне.
Уметь: проводить расчет вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов с помощью соответствующего физико-математического аппарата	1. Определение элементов эквивалентной схемы БТ, пользуясь осциллограммами переходных процессов.

**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. Статические характеристики полевого транзистора**

**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 полевых транзисторов

### 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. Методика расчета крутизны проходной характеристики и выходного дифференциального сопротивления полевого транзистора 3. Принцип работы характериографа
Знать: типовые режимы использования полевых транзисторов	1. Области работы полевых транзисторов
Уметь: проводить расчет вольт-амперных характеристик полевых транзисторов с помощью соответствующего физико-математического аппарата	1. Проводить измерение статических характеристик полевых транзисторов по стрелочным приборам и с помощью характериографа 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*

### КМ-6. КР №1.2. Принцип действия биполярных транзисторов

**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 4-х вопросов. В течение 1 ч. 30 мин. студент в аудитории письменно отвечает на эти вопросы

**Краткое содержание задания:**

Определение областей работы биполярного транзистора и соответствие эквивалентной нелинейной и линейной схемы этой области

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основные типы биполярных транзисторов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата</p>	<p>1.Изобразите малосигнальную ВЧ эквивалентную схему БТ для активной области (схему Джиаклетто). Поясните физический смысл ее элементов. Для режима, в котором постоянный ток коллектора <math>I_{К0} = 10 \text{ мА}</math>, <math>CЭ = 8 \text{ пФ}</math>, <math>СКП = СКА = 1 \text{ пФ}</math>, <math>rб = 100 \text{ Ом}</math>, <math>\beta = 100</math>, <math>fТ = 300 \text{ МГц}</math>, рассчитайте диффузионную емкость, крутизну по входу <math>S</math> на низкой частоте и граничную частоту по коэффициенту передачи по току <math>f\beta</math>. Поясните смысл этой частоты. 2. Изобразите схему передаточной зарядовой модели для активной области работы биполярного транзистора.</p>
<p>Знать: методы математического моделирования основных характеристик биполярных транзисторов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ</p>	<p>1.Определите в какой области работает Si n-p-n БТ, если <math>UБ'Э = 0,65 \text{ В}</math>, <math>UБ'К = -20 \text{ В}</math>. Нарисуйте передаточную модель БТ, описывающую работу БТ по постоянному току в этой области.</p>
<p>Знать: типовые режимы использования биполярных транзисторов</p>	<p>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.</p>
<p>Уметь: экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей биполярных транзисторов</p>	<p>1.Определение областей работы биполярных транзисторов и соответствующих эквивалентных схем</p>

**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-7. КР №1.3. Принцип действия полевых транзисторов**

**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 4-х вопросов. В течение 1 ч. 30 мин. студент в аудитории письменно отвечает на эти вопросы

#### **Краткое содержание задания:**

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: основные типы полевых транзисторов, их модели и способы количественного описания с привлечением соответствующего физико-математического аппарата	1. Условные графические обозначения полевых транзисторов разного типа. 2. Эквивалентные малосигнальные схемы полевых транзисторов на средних и умеренно-высоких частотах.
Знать: методы математического моделирования основных характеристик полевых транзисторов и описания принципов их работы с использованием типовых моделей и стандартных прикладных программ	1. Области работы полевых транзисторов.
Уметь: экспериментально определять основные характеристики и параметры моделей полевых транзисторов	1. Расчет малосигнальных параметров полевых транзисторов по статическим характеристикам в рабочей точке.

#### **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  $n_i = 2.25 \cdot 10^{10}$  м<sup>-3</sup> подвижность электронов  $\mu_n = 0,4$  м<sup>2</sup>/Вс, подвижность дырок  $\mu_p = 0,2$  м<sup>2</sup>/Вс. Определите проводимости а) чистого германия, б) германия, легированного элементом 3 группы, если концентрация легирующих примесей равна  $4,5 \cdot 10^{11}$  м<sup>-3</sup> и все примеси ионизированы, в) германия, легированного элементом 5 группы, если концентрация легирующих примесей равна  $4,5 \cdot 10^{12}$  м<sup>-3</sup> 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  $I_{к0} = 5$  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.

### 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-2</sub> Осуществляет сбор и анализ научно-технической информации, составляет аналитические обзоры и научно-технические отчеты по результатам выполненной работы

### Вопросы, задания

1. Что такое эффективная плотность состояний электронов в зоне проводимости? Как она зависит от температуры и почему?
2. Изобразите и сравните между собой вольт-фарадные характеристики варикапов с плавным, резким и сверхрезким p - 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.
3. Как зависит от напряжения между затвором и истоком полевого транзистора с управляющим p-n переходом проводимость канала при малых напряжениях между стоком и истоком. При каких условиях полевой транзистор можно использовать как линейное электрически регулируемое сопротивление?
4. Сравните между собой крутизны проходных характеристик биполярного и полевого транзисторов, при параболической аппроксимации, работающих при одинаковых постоянных токах  $I_0 = 10$  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  $\beta = 100$ .

5. Изобразите и сравните между собой проходные и выходные характеристики полевых транзисторов с управляющим переходом и p каналом и с наведенным p каналом. Сравните также малосигнальные высокочастотные эквивалентные схемы этих транзисторов.
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. Поясните принцип действия светодиода
8. Поясните принцип действия фотодиода

### 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. 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

3. Каково напряжение открывания кремниевого полупроводникового диода

Ответы:

0 В 0,2 В 0,6 В

Верный ответ: 0,6 В

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

Ответы:

Активная область Область отсечки Область насыщения Инверсная область

Верный ответ: Активная область

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

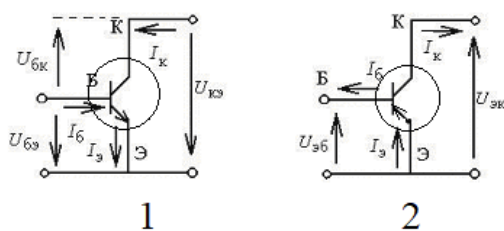


Figure 1 Обозначения биполярного транзистора

Ответы:

1 2

Верный ответ: 1

6. Какой зависимостью описывается проходная характеристика биполярного транзистора

Ответы:

линейная параболическая экспоненциальная

Верный ответ: экспоненциальная

7. Какой зависимостью описывается проходная характеристика полевого транзистора

Ответы:

линейная параболическая экспоненциальная

Верный ответ: параболическая

8. Какой тип рекомбинации лежит в основе принципа действия светодиода

Ответы:

излучательная безизлучательная с образованием фононов

Верный ответ: с образованием фононов

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-4</sub> Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований

### Вопросы, задания

1. Определите в какой области работает n-p-n БТ, если  $U_{Б'Э} = 0,65$  В,  $U_{КЭ} = 10$  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.

2. Изобразите и поясните проходные и выходные статические характеристики МОП транзистора со встроенным n каналом. Как изменятся эти характеристики при изменении температуры.

3. 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.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Для какой схемы включения биполярного транзистора применяется инжекционная модель транзистора, показанная на рисунке

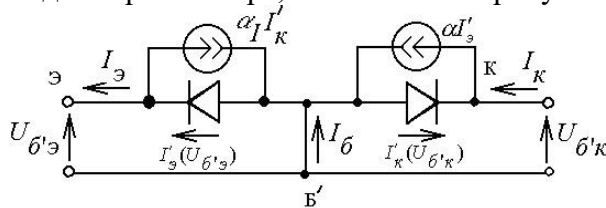


Figure 2 Инжекционная модель биполярного транзистора

Ответы:

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

Верный ответ: Схема с общей базой

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

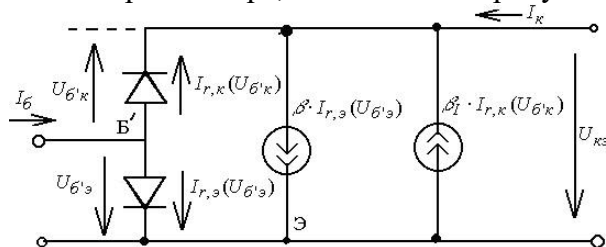


Figure 3 Передаточная модель биполярного транзистора

Ответы:

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

Верный ответ: Схема с общим эмиттером

3. Для какой области работы справедлива линейная малосигнальная эквивалентная схема Джаколетто, показанная на рис.

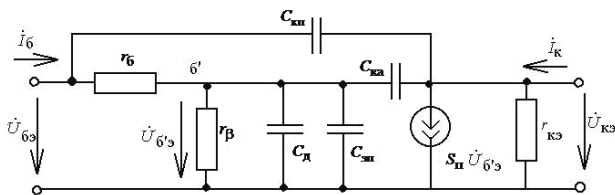


Figure 4 Малосигнальная эквивалентная схема биполярного транзистора

Ответы:

Активная область Область насыщения Инверсная область

Верный ответ: Активная область

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ОПК-4</sub> Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования

### 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  $T = 300 \text{ K}$  ток насыщения  $10\text{-}13 \text{ A}$  и сопротивление материала базы  $12 \text{ Ом}$  при изменении прямого тока до  $30 \text{ mA}$ .
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  $I_{к0} = 5 \text{ mA}$ ,  $C_{э} = 8 \text{ пФ}$ ,  $C_{ка} = C_{кп} = 1 \text{ пФ}$ ,  $r_{б} = 100 \text{ Ом}$ ,  $\beta = 100$ ,  $f_T = 800 \text{ МГц}$  найдите диффузионную емкость  $S_D$ , крутизну проходной характеристики транзистора на низкой частоте и граничную частоту по крутизне.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Выберите правильное определение входной характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

Ответы:

Зависимость  $I_b(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_k(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_k(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$

Верный ответ: Зависимость  $I_b(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$

2. Выберите правильное определение проходной характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

Ответы:

Зависимость  $I_b(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_k(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_k(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$

Верный ответ: Зависимость  $I_k(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$

3. Выберите правильное определение выходной характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

Ответы:

Зависимость  $I_b(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_k(U_{бэ})$  при постоянном напряжении  $U_{кэ}$  Зависимость  $I_k(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$

Верный ответ: Зависимость  $I_k(U_{кэ})$  при постоянном напряжении  $U_{бэ}$

### 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 не принципиальные 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.