

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Владимир Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 03.02.2022 15:17:47

Уникальный программный ключ:

c3b3b7c62516c115afa2aztc4zba1f9e05a38b7be

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СЕРВИСА» (ФГБОУ ВО «ПВГУС»)

Кафедра Информационный и электронный сервис

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

по междисциплинарному курсу «Прикладная электроника»

для студентов специальности 09.02.01 "Компьютерные системы и комплексы"

Тольятти 2018

Рабочая учебная программа по дисциплине « Прикладная электроника» включена в основную профессиональную образовательную программу специальности 09.02.01 «Компьютерные системы и комплексы» решением Президиума Ученого совета

Протокол № 4 от 28.06.2018 г.

Начальник учебно-методического отдела _____  _____ Н.М.Шемендок
28.06.2018г.

Рабочая учебная программа по дисциплине «Прикладная электроника» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом специальности 09.02.01 «Компьютерные системы и комплексы», утвержденным приказом Минобрнауки РФ от 28.07.2014г № 849.

Составил к.т.н., доцент, Шишлин Б.В.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Согласовано Директор научной библиотеки  В.Н.Бремина
Согласовано Начальник управления информатизации  В.В.Обухов

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры « Информационный и электронный сервис»
(наименование кафедры)

Протокол № 11 от «27» июня 2018 г.

Заведующий кафедрой  д.т.н., профессор Воловач В.И.
(подпись) (ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Согласовано начальник учебно-методического отдела  Н.М.Шемендюк

1. Перечень планируемых результатов обучения по междисциплинарному курсу, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1. Цели освоения дисциплины «Прикладная электроника»

Целями освоения дисциплины являются:

- приобретение теоретических знаний, практических умений и навыков в области прикладной электроники;
- воспитывать у обучаемых организованность, гражданственность, патриотичность, умения работать в коллективе.

1.2. В соответствии с видами профессиональной деятельности, на которые ориентирована образовательная программа указанной специальности, содержание дисциплины позволит обучающимся решать следующие профессиональные задачи:

- Проектирование цифровых устройств.
- Применение микропроцессорных систем, установка и настройка периферийного оборудования.
- Техническое обслуживание и ремонт компьютерных систем и комплексов.
- Разработка компьютерных систем и комплексов.
- Выполнение работ по одной или нескольким профессиям рабочих, должностям служащих

1.3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции:

Код компетенции	Наименование компетенции
1	2
ОК-1	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
ОК 2	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
ОК 3	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
ОК 4	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
ОК 5	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.
ОК 6	Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.
ОК 7	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.
ОК 8	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.
ОК 9	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.
ПК 1.1	Выполнять требования технического задания на проектирование цифровых устройств.
ПК 2.3	Осуществлять установку и конфигурирование персональных компьютеров и подключение периферийных устройств

1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Результаты освоения дисциплины	Технологии формирования компетенции по указанным результатам	Средства и технологии оценки по указанным результатам
<p>Знает: принципы функционирования интегрирующих и дифференцирующих RC-цепей; технологию изготовления и принципы функционирования полупроводниковых диодов и транзисторов, тиристора, аналоговых электронных устройств; свойства идеального операционного усилителя; принципы действия генераторов прямоугольных импульсов, мультивибраторов; особенности построения диодно-резистивных, диодно-транзисторных и транзисторно-транзисторных схем реализации булевых функций; цифровые интегральные схемы: режимы работы, параметры и характеристики, особенности применения при разработке цифровых устройств; этапы эволюционного развития интегральных схем: большие интегральные схемы, сверхбольшие интегральные схемы, микропроцессоры в виде одной или нескольких сверхбольших интегральных схем, переход к нанотехнологиям производства интегральных схем, тенденции развития (ПК 1.1); и понимает сущность и социальную значимость своей будущей профессии и проявляет к ней устойчивый интерес (ОК 1).</p>	<p><i>лекции, лабораторные занятия, решение разноуровневых и проблемных задач, самостоятельная работа</i></p>	<p><i>Собеседование, конспект, сообщение, защита лабораторных работ, тестирование</i></p>
<p>Умеет: различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях; определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах; использовать операционные усилители для построения различных схем; применять логические элементы, для построения логических схем, грамотно выбирать их параметры и схемы включения; организовывать собственную деятельность, выбирать типовые</p>	<p><i>лекции, лабораторные занятия, решение разноуровневых и проблемных задач, самостоятельная работа</i></p>	<p><i>Собеседование, конспект, сообщение, защита лабораторных работ, тестирование</i></p>

методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество (ОК 2); брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий (ОК 7).		
Имеет практический опыт: работы в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями (ОК 6); осуществления поиска и использования информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития (ОК 4). использования информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности (ОК 5). самостоятельного определения задач профессионального и личностного развития, занятия самообразованием, осознанного планирования повышения квалификации (ОК 8); ориентирования в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности (ОК 9).	<i>лекции, лабораторные занятия, решение разноуровневых и проблемных задач, самостоятельная работа</i>	<i>Собеседование, конспект, сообщение, защита лабораторных работ, тестирование</i>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к общепрофессиональному модулю.
(базовой, вариативной)

Его освоение осуществляется в 6* семестре (ах) – у очной формы обучения, в 7* семестре у заочной формы обучения.

№ п/п	Наименование дисциплин, определяющих междисциплинарные связи	Код и наименование компетенции(й)
	Предшествующие дисциплины	
	Физика	-
	Элементы высшей математики	ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес. ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество. ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность. ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития. ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности. ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями. ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий. ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального

		<p>и личного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.</p> <p>ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.</p> <p>ПК 1.2 Разрабатывать схемы цифровых устройств на основе интегральных схем разной степени интеграции.</p> <p>ПК 1.4 Проводить измерения параметров проектируемых устройств и определять показатели надежности.</p> <p>ПК 2.2 Производить тестирование, определение параметров и отладку микропроцессорных систем.</p>
Последующие дисциплины		
	Проектирование цифровых устройств	<p>ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.</p> <p>ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.</p> <p>ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.</p> <p>ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личного развития.</p> <p>ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.</p> <p>ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.</p> <p>ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.</p> <p>ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.</p> <p>ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.</p> <p>ПК 1.1 Выполнять требования технического задания на проектирование цифровых устройств.</p> <p>ПК 1.2. Разрабатывать схемы цифровых устройств на основе интегральных схем разной степени интеграции.</p> <p>ПК 1.3. Использовать средства и методы автоматизированного проектирования при разработке цифровых устройств.</p> <p>ПК 1.4. Проводить измерения параметров проектируемых устройств и определять показатели надежности.</p> <p>ПК 1.5. Выполнять требования нормативно-технической документации.</p>
	в ходе выполнения дипломной работы	<p>ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.</p> <p>ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.</p> <p>ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.</p> <p>ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личного развития.</p> <p>ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.</p> <p>ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.</p> <p>ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.</p> <p>ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.</p> <p>ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.</p>

	ПК 2.1. Создавать программы на языке ассемблера для микропроцессорных систем. ПК 2.2. Производить тестирование, определение параметров и отладку микропроцессорных систем. ПК 2.3. Осуществлять установку и конфигурирование персональных компьютеров и подключение периферийных устройств. ПК 2.4. Выявлять причины неисправности периферийного оборудования. ПК 3.1. Проводить контроль параметров, диагностику и восстановление работоспособности компьютерных систем и комплексов. ПК 3.2. Проводить системотехническое обслуживание компьютерных систем и комплексов. ПК 3.3. Принимать участие в отладке и технических испытаниях компьютерных систем и комплексов, инсталляции, конфигурировании программного обеспечения.
--	---

*Здесь и далее семестры указаны для обучающихся на базе основного общего образования. Для лиц, обучающихся на базе среднего общего образования, семестры соответствуют учебному плану и нормативному сроку обучения, установленному ФГОС.

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу

Распределение фонда времени по семестрам и видам занятий

Виды занятий	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения	заочная форма обучения
Итого часов	<u>150</u> ч.	<u> </u> ч.	<u>150</u> ч.
Лекции (час)	28	-	8
Практические (семинарские) занятия (час)	28	-	6
Лабораторные работы (час)	14	-	2
Самостоятельная работа (час)	79	-	134
Курсовой проект (работа) (+,-)	-	-	-
Контрольная работа (+,-)	+	-	+
Экзамен, семестр /час.	6/1	-	7/-
Зачет (дифференцированный зачет), семестр	-	-	-
Контрольная работа, семестр	6	-	7

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в академических часах)	Средства и технологии оценки

		Лекции, час	Практические (семинарские) занятия, час	Лабораторные работы, час	Самостоятельная работа, час	
1	<p>Тема 1. Материалы электронной техники и их электрофизические свойства.</p> <p>Основное содержание</p> <p>1. Основные сведения о материалах электронной техники: классификация материалов; зонная теория твердого тела.</p> <p>2. Полупроводниковые материалы: собственные и примесные полупроводники.</p> <p>3. Классификация и основные свойства полупроводниковых материалов, применяемых в электронике.</p>	2/-/-	4/-/-	-/-/-	10/-/26	Собеседование, защита лабораторных работ
2	<p>Тема 2. Характеристики р-п-перехода.</p> <p>Основное содержание</p> <p>1. Контактные явления в металлах.</p> <p>2. Электронно-дырочный переход; <i>p-n</i>-переход; вольтамперная характеристика <i>p-n</i>-перехода.</p> <p>3. Контакты полупроводников с металлами. Граница полупроводник – диэлектрик.</p> <p>4. Гетеропереходы.</p>	2/-/2	4/-/-	-/-/-	10/-/26	устный опрос, собеседование
3	<p>Тема 3. Полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы.</p> <p>Основное содержание</p> <p>1. Разновидности полупроводниковых диодов и их особенности;</p> <p>2. Принцип действия, схема включения, режимы работы, статические характеристики и параметры биполярного транзистора,</p> <p>3. Принцип действия, схема включения, режимы работы, статические характеристики, параметры полевого транзистора с управляющим электронно-дырочным</p>	8/-/2	16/-/6	8/-/2	30/-/27	Собеседование, устный опрос, защита лабораторных работ

	переходом и переходом металл-полупроводник, транзистора со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). 4. Принцип действия и вольтамперные характеристики транзисторов.					
4	Тема 4. Интегральные схемы. Основное содержание 1. Основные понятия микроэлектроники, достоинства микроэлектронных изделий; 2. Представление о физико-технологических процессах изготовления активных и пассивных элементов полупроводниковых и гибридных микросхем; 3. Инвертор и усилительный каскад как основа цифровых и аналоговых микросхем; структурная схема операционного усилителя (ОУ). 4. Проблемы повышения степени интеграции; применение базового матричного кристалла.	8/-/2	4/-/-	6/-/-	19/-/26	Собеседование, устный опрос, защита лабораторных работ
5	Тема 5. Устройства функциональной электроники. Основное содержание 1. Что такое функциональная электроника. Основные приборы функциональной электроники. 2. Понятие о поверхностно-акустических волнах, цилиндрических магнитных доменах, приборах с зарядовой связью.	8/-/2	-/-/-	-/-/-	10/-/26	устный опрос, собеседование
	Промежуточная аттестация по дисциплине	28/-/8	28/-/6	14/-/2	79/-/134	Контрольная работа, Экзамен

Примечание:

-/-/-, объем часов соответственно для очной, очно-заочной, заочной форм обучения

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№	Наименование темы практических (семинарских) занятий	Объем часов	Форма проведения
<u>6/7 семестр</u>			
1	Занятие 1. «Материалы электронной техники и их электрофизические свойства»	4/-/-	<i>решение разноуровневых и проблемных задач, тестирование</i>
2	Занятие 2. «Характеристики р-п-перехода. »	4/-/-	<i>решение разноуровневых и проблемных задач, тестирование</i>

3	Занятие 3 «Полупроводниковые диоды»	4/-/2	<i>решение разноуровневых и проблемных задач, тестирование</i>
4	Занятие 4 «Биполярные транзисторы»	12/-/4	<i>решение разноуровневых и проблемных задач, тестирование</i>
5	Занятие 5 «Синтез схем на логических элементах в составе интегральных схем»	4/-/-	<i>решение разноуровневых и проблемных задач, тестирование</i>
	Итого за 6/7 семестр	28/-/6	
	Итого	28/-/6	

4.3. Содержание лабораторных работ

№	Наименование лабораторных работ	Объем часов	Наименование темы дисциплины
	6/7 семестр		
1	Лабораторная работа 1. «Исследование характеристик и параметров полупроводникового диода»	2/-/2	Тема 3. Полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы.
2	Лабораторная работа 2. « Исследование характеристик и параметров полупроводникового стабилитрона»	2/-/-	Тема 3. Полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы.
3	Лабораторная работа 3. «Исследование свойств и параметров биполярных транзисторов»	2/-/-	Тема 3. Полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы.
4	Лабораторная работа 4. «Исследование свойств и параметров полевых транзисторов»	2/-/-	Тема 3. Полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы.
5	Лабораторная работа 5. «Исследование логического элемента. Исследование характеристик интегральных микросхем»	6/-/-	Тема 4. Интегральные схемы.
	Итого за 6/7 семестр	14/-/2	
	Итого	14/-/2	

Примечание:

-/-/-, объем часов соответственно для очной, очно-заочной, заочной форм обучения

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Технологическая карта самостоятельной работы студента

Код реализуемой компетенции	Вид деятельности студентов (задания на самостоятельную работу)	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов
1	2	3	4	5
ОК 1-9 ПК 1.1 ПК 2.3	Изучить следующие вопросы: 1. Основные сведения о материалах электронной техники: классификация материалов; зонная теория твердого тела;	<i>Конспект, подготовка к практическому занятию, подготовка</i>	<i>Собеседование, проверка задач, защита лабораторной работы</i>	10/-/26

	<p>электропроводность проводников, полупроводников и диэлектриков. Основные электрофизические свойства. Области применения материалов электронной техники.</p> <p>2. Полупроводниковые материалы: собственные и примесные полупроводники; ток дрейфа; диффузия носителей заряда в полупроводниках. Эффект поля; рекомбинация носителей; законы движения носителей в полупроводниках.</p> <p>3. Классификация и основные свойства полупроводниковых материалов, применяемых в электронике.</p>	<i>отчета по лабораторной работе</i>		
ОК 1-9 ПК 1.1 ПК 2.3	<p>Изучить следующие вопросы:</p> <p>1. Контактные явления в металлах.</p> <p>2. Электронно-дырочный переход; p-n-переход вольтамперная характеристика p-n-перехода.</p> <p>3. Контакты полупроводников с металлами; контакты вырожденных полупроводников. Граница полупроводник – диэлектрик.</p> <p>4. Гетеропереходы.</p>	<i>Конспект, подготовка к практическому занятию, подготовка отчета по лабораторной работе</i>	<i>Собеседование, проверка задач, защита лабораторной работы</i>	10/-/26
ОК 1-9 ПК 1.1 ПК 2.3	<p>Изучить следующие вопросы:</p> <p>1. Разновидности полупроводниковых диодов и их особенности;</p> <p>2. Принцип действия, схема включения, режимы работы, статические характеристики, параметры, электрические модели, частотные и импульсные свойства биполярного транзистора,</p> <p>3. Принцип действия, схема включения, режимы работы, статические характеристики, параметры, электрические модели, частотные и импульсные свойства полевого транзистора с управляющим электронно-дырочным переходом и переходом металл-полупроводник, транзистора со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП);</p> <p>4. Принцип действия и вольтамперные характеристики транзисторов.</p>	<i>Конспект, подготовка к практическому занятию, подготовка отчета по лабораторной работе</i>	<i>Собеседование, проверка задач, защита лабораторной работы</i>	30/-/27
ОК 1-9 ПК 1.1 ПК 2.3	<p>Изучить следующие вопросы:</p> <p>1. Основные понятия микроэлектроники, достоинства микроэлектронных изделий;</p>	<i>Конспект, решение задач</i>	<i>Собеседование защита лабораторной работы,</i>	19/-/26

	<p>2. Представление о физико-технологических процессах изготовлений активных и пассивных элементов полупроводниковых и гибридных микросхем;</p> <p>3. Инвертор и усилительный каскад как основа цифровых и аналоговых микросхем; структурная схема операционного усилителя (ОУ), представление о дифференциальном усилительном каскаде, схемах сдвига уровней потенциала и выходного каскада; особенности включения ОУ;</p> <p>4. Проблемы повышения степени интеграции; применение базового матричного кристалла.</p>			
ОК 1-9 ПК 1.1 ПК 2.3	<p>Изучить следующие вопросы:</p> <p>1. Переход к функциональной электронике. Основные приборы функциональной электроники.</p> <p>2. Понятие о поверхностно-акустических волнах, цилиндрических магнитных доменах, приборах с зарядовой связью.</p>	<i>Конспект, решение задач, индивидуальное задание</i>	<i>Собеседование, защита лабораторной работы</i>	10/-/26
Итого за _6/7_ семестр				79/-/134
Итого				79/-/134

Литература:

1. Ситников, А. В. Прикладная электроника [Электронный ресурс] : учеб. для студентов сред. проф. образования по специальности 09.02.01 "Компьютер. системы и комплексы" / А. В. Ситников, И. А. Ситников. - Документ Bookread2. - М. : Курс [и др.], 2017. - 270 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=851567>.
2. Каганов, В. И. Прикладная электроника [Текст] : учеб. для студентов сред. проф. образования по специальности "Компьютер. системы и комплексы" / В. И. Каганов. - М. : Академия, 2015. - 236 с. : ил.

Содержание заданий для самостоятельной работы

1. Вопросы для самоконтроля

1. Как делятся все материалы по способности проводить электрический ток?
2. Как влияет изменение температуры полупроводника на его проводимость?
3. Для чего в чистые полупроводники вводят примеси?
4. Как получить примесные полупроводники P и N типа?
5. Что происходит на границе контакта полупроводников P и N типа?
6. Чем объясняется односторонняя проводимость PN-перехода?
7. Где используется PN-переход?
8. На какие группы делятся диоды по площади PN-переход?
9. По каким причинам может произойти пробой выпрямительных диодов?
10. Какие параметры нужно учитывать при выборе выпрямительных диодов?
11. Почему при включении стабилитрона параллельно нагрузке, но без балластного

- сопротивления, напряжение на нагрузке не будет стабилизированным?
12. Почему при увеличении прямого напряжения, приложенного к туннельному диоду, появляется падающий участок на ВАХ?
 13. Из-за каких преимуществ обращенные диоды применяются в средствах вычислительной техники?
 14. Почему у варикапов с изменением приложенного напряжения изменяется ёмкость PN-перехода?
 15. Каковы различия между биполярными транзисторами различных типов и принципе их действия и подключении в электрическую цепь?
 16. Каковы функции эмиттерного и коллекторного переходов и базы в биполярном транзисторе?
 17. Изобразите схемы для снятия входных и выходных характеристик транзистора, включенных по схеме ОБ и ОЭ. Что изменяется с изменением схемы включения транзистора?
 18. В какой электронной аппаратуре используется ключевой режим работы транзистора?
 19. Какой параметр будет определяющим при работе транзистора в активном режиме?
 20. В чем отличие в принципе действия между биполярными и полевыми транзисторами?
21. На какие типы делятся полевые транзисторы по способу создания канала?
 22. В чем преимущества полевых транзисторов в сравнении с биполярными?
 23. Чем вызван переход тиристора из закрытого состояния в открытое?
 24. Как можно снизить напряжение открывания у управляемых тиристоров?
 25. Где применяются тиристоры?
 26. Назвать основные типы фотоэлементов?
 27. В чем состоит основной принцип работы фотоэлементов?
 28. Основные области применения фото- и светозащитных элементов.
 29. В чем заключается принципиальная разница работы фото- и светозащитных элементов?
 30. Назвать основные типы оптопар.
 31. В чем заключаются основные преимущества использования оптронов.
 32. Назвать основные характеристики оптопар.
 33. Назовите преимущественные показатели ИМС перед дискретными схемами.
 34. Поясните технологии изготовления ИМС полупроводниковых и гибридных.
 35. В чем разница между аналоговыми и логическими ИМС?
 36. Поясните, что называют БИС? Что такое степень интеграции?
 37. Какую роль выполняет подложка (основание) ИМС? Из каких материалов она изготавливается?
 38. В каких устройствах и для чего используются импульсы?
 39. Какую информацию могут нести импульсы, их формы и параметры?
 40. Поясните работу транзистора в ключевом режиме.
 41. Для чего и где применяются логические элементы?
 42. Какие логические функции они реализуют?
 43. Что представляют собой операционные усилители и для чего они применяются?
 44. В чем преимущества усилителей, выполненных в интегральном исполнении?
 45. Поясните назначение и классификацию электронных усилителей.
 46. Назовите основные параметры усилителей.
 47. Какие режимы работы усилителей применяются и как они определяются?
 48. Что называется обратной связью в усилителях и для чего она вводится?
 49. Нарисуйте схему однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе и произведите графический анализ его работы.
 50. В чем отличие усилителей мощности от усилителей напряжения?
 51. В чем разница между одноканальными и двухканальными усилителями мощности?
 52. В чем особенность построения и работа усилителей постоянного тока?
 53. Каковы недостатки в них по сравнению с усилителями переменного тока?
 54. Что такое дифференциальный усилитель постоянного тока?

55. Дать определение электронного генератора. Виды генераторов.
56. Где применяются электронные генераторы?
57. Какие виды электрических колебаний бывают и как они изображаются на графиках?
58. Изобразите схемы генераторов гармонических колебаний на биполярных транзисторах с самовозбуждением и посторонним возбуждением.
59. Поясните условия самовозбуждения автогенератора.
60. Для чего применяется кварцевая стабилизация частоты в автогенераторах?
61. В чем преимущества и недостатки RC-генератора по сравнению с LC-генераторами?
62. Для чего используются выпрямители?
63. Из каких элементов состоит блок выпрямителя в общем виде? Назначение каждого элемента схемы.
64. Изобразите схемы однофазных неуправляемых диодных выпрямителей и с помощью графиков поясните их работу.
65. Как выбирают диоды в схемы выпрямителей из условий заданного прямого тока и действующего на диод обратного напряжения?
66. Поясните назначение сглаживающих фильтров с помощью графиков заряда и разряда конденсаторов.
67. Какие типы фильтров могут применяться и как оценивается их работа?
68. Для чего используются стабилизаторы напряжения, их типы.

69. Поясните работу параметрического стабилизатора на диоде.
70. Поясните работу компенсационного стабилизатора на биполярном транзисторе.
71. Схемы электронных ключей на биполярных и полевых транзисторах.
72. Поясните работу электронных ключей на транзисторах.
73. Назначение ограничителей импульсов.
74. Построить временные диаграммы и пояснить принцип работы ограничителей сигналов.
75. Для чего используются аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи?
76. Поясните работу аналого-цифровых преобразователей.
77. Поясните работу различных схем цифро-аналоговых преобразователей.

2. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Основные понятия и определения электроники. Требования к электронным элементам РЭА.
2. Полупроводники. Электроны в твердых телах. Электронная и дырочная проводимости.
3. Собственный и примесный полупроводник. Генерация и рекомбинация подвижных носителей заряда.
4. Диффузионное и дрейфовое движение носителей заряд. Эффект поля в собственном и примесном полупроводнике.
5. Неоднородные полупроводниковые структуры. Основные типы неоднородных структур.
6. Энергетическая диаграмма р-п-перехода. Возникновение потенциального барьера. Прямое и обратное смещение р-п-перехода.
7. Барьерная и диффузионная ёмкости.
8. Контакты металл–полупроводник.
9. Полупроводниковые диоды. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода.
10. Ёмкость полупроводникового диода, температурные свойства.
11. Рабочий режим диода. Применение полупроводникового диода для выпрямления переменного тока.
12. Импульсный режим работы полупроводниковых диодов. Переходные процессы в полупроводниковых диодах.
13. Основные типы полупроводниковых диодов: выпрямительные диоды, стабилитроны, импульсные и высокочастотные диоды, диоды Шотки, варикапы и параметрические диоды.
14. Примеры схемных применений диодов.
15. Биполярные транзисторы, общие сведения. Принцип действия биполярного транзистора.
16. Усиление с помощью биполярного транзистора. Основные схемы включения.

17. Распределения носителей в базовой, эмиттерной и коллекторной областях.
18. Основные параметры и эквивалентные схемы биполярных транзисторов.
19. Статические характеристики биполярного транзистора. Расчет рабочего режима транзистора.
20. Влияние температуры на работу биполярных транзисторов.
21. Частотные свойства биполярных транзисторов.
22. Импульсный режим биполярных транзисторов.
23. Собственные шумы биполярных транзисторов.
24. Основные типы биполярных транзисторов: дрейфовые, бездрейфовые, диффузионные, сплавные.
25. Особенности биполярных высокочастотных транзисторов.
26. Полевые транзисторы. Расчет рабочего режима транзистора.
27. Полевые транзисторы с управляющим переходом.
28. Полевые транзисторы с изолированным затвором.
29. Принцип действия, параметры, характеристики, эквивалентные схемы полевых транзисторов.
30. Предельные режимы работы транзисторов.
31. Тиристоры. Вольтамперные характеристики. Принцип действия.
32. Способы управления тиристорами.
33. Примеры применения и основные типы тиристоров.
34. Специальные полупроводниковые приборы. Туннельные диоды, полупроводниковые диоды для СВЧ, лавинно-пролетные диоды.
35. Приборы с гетерогенными переходами, однопереходной транзистор. Полупроводниковые резисторы.
36. Элементы оптоэлектроники. Фотоэлектронная эмиссия. Внутренний и внешний фотоэффекты.
37. Электровакуумные фотоэлементы и фотоумножители. Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры.
38. Светоизлучающие диоды, оптроны. Разновидности индикаторов. Волоконно-оптические линии связи.
39. Понятия и определения микроэлектроники. Основные типы интегральных схем, классификация по конструктивным и технологическим признакам.
40. Особенности технологии микросхем.
41. Схемотехническая реализация элементов в интегральных схемах.
42. Элементы аналоговой микросхемотехники. Основные параметры и характеристики аналоговых микросхем; разновидности аналоговых микросхем.
43. Операционные усилители: параметры, схемотехника и применение.
44. Элементы цифровой микросхемотехники. Классификация ИС. Основные параметры и характеристики цифровых микросхем.
45. Электронные ключи на биполярных и полевых транзисторах; аналоговые и цифровые ключи.
46. Логические элементы интегральных микросхем; диодно-транзисторная логика; транзисторно-транзисторная логика; эмиттерно-связанная логика.
47. Логические элементы на МДП-транзисторах и на совмещенных биполярных и МОП-транзисторах.
48. Параметры логических элементов.
49. Комбинационные цифровые устройства: шифраторы, дешифраторы и преобразователи кодов; мультиплексоры и демультимплексоры; сумматоры; цифровые компараторы.
50. Последовательностные цифровые устройства: бистабильные ячейки и триггеры; счетчики импульсов и регистры.
51. Цифровые запоминающие устройства: общая характеристика и структура запоминающего устройства.
52. Оперативные и постоянные запоминающие устройства; масочные, программируемые и репрограммируемые ПЗУ; элементы памяти ОЗУ статического и динамического типа; флэш-память.
53. Чем функциональная электроника отличается от схемотехнической?
54. Опишите структуру устройств функциональной электроники.
55. Приведите примеры динамических неоднородностей.
56. Что такое поверхностная акустическая волна и как она возбуждается?

57. Из чего изготавливаются звукопроводы ПАВ-устройств? Из каких соображений выбирается период структуры ВШП?
58. Каковы максимальные рабочие частоты для УФЭ на основе ПАВ и МСВ в настоящее время?
59. Что такое спиновая волна в ферритовом образце и когда она возникает?
60. Опишите процесс возникновения спиновой волны в монокристаллической ферритовой пленке.
61. Что представляют собой преобразователи электромагнитных волн в МСВ?
62. Укажите основные направления практического использования устройств на основе ПАВ и МСВ в радиоэлектронике и связи.
63. Поясните конструкцию и работу ПЗС.
64. Чем ограничивается диапазон рабочих частот ПЗС сверху и снизу?
65. Поясните конструкцию и работу ЗУ с ЦМД.
66. На каких частотах работают ЗУ с ЦМД
67. Что такое масштабирование?

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины Инновационные образовательные технологии

Вид образовательных технологий, средств передачи знаний, формирования умений и практического опыта	№ темы / тема лекции	№ практического (семинарского) занятия/наименование темы	№ лабораторной работы / цель
Компьютерные симуляции Использование пакетов ППО машинного моделирования Electronics Workbench., NI Multisim 10.1. для выполнения практических и лабораторных занятий.	Темы №1-5	Практические занятия №1-5/ Темы 1,2,3,4	Лабораторные работы №1-5 / моделирование работы элементов электроники

В начале семестра студентам необходимо ознакомиться с технологической картой дисциплины, выяснить, какие результаты освоения дисциплины заявлены (знания, умения, практический опыт). Для успешного освоения дисциплины студентам необходимо выполнить задания, предусмотренные рабочей учебной программой дисциплины и пройти контрольные точки в сроки, указанные в технологической карте (раздел 11). От качества и полноты их выполнения будет зависеть уровень сформированности компетенции и оценка текущей успеваемости по дисциплине. По итогам текущей успеваемости студенту может быть выставлена оценка по промежуточной аттестации, если это предусмотрено технологической картой дисциплины. Списки учебных пособий, научных трудов, которые студентам следует прочесть и законспектировать, темы практических занятий и вопросы к ним, вопросы к экзамену (зачету) и другие необходимые материалы указаны в разработанном для данной дисциплины учебно-методическом комплексе.

Основной формой освоения дисциплины является контактная работа с преподавателем - лекции, практические занятия, лабораторные работы (при наличии в учебном плане), консультации (в том числе индивидуальные), в том числе проводимые с применением дистанционных технологий.

По дисциплине часть тем (разделов) изучается студентами самостоятельно. Самостоятельная работа предусматривает подготовку к аудиторным занятиям, выполнение заданий (письменных работ, творческих проектов и др.) подготовку к промежуточной аттестации (экзамену (зачету)).

На лекционных и практических (семинарских) занятиях вырабатываются навыки и умения обучающихся по применению полученных знаний в конкретных ситуациях, связанных с будущей профессиональной деятельностью. По окончании изучения дисциплины проводится промежуточная аттестация (экзамен).

Регулярное посещение аудиторных занятий не только способствует успешному овладению знаниями, но и помогает организовать время, т.к. все виды учебных занятий распределены в семестре планомерно, с учетом необходимых временных затрат.

6.1. Методические указания для обучающихся по освоению МДК на практических и лабораторных работах

Практические (семинарские) занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- получение навыков составления докладов и сообщений, обсуждения вопросов по учебному материалу дисциплины;
- обсуждение вопросов в аудитории, разделенной на группы 6 - 8 обучающихся либо индивидуальных;
- выполнение практических заданий, задач;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины;
- другое.

Содержание заданий для практических занятий

Задания, задачи (ситуационные, расчетные и т.п.)

Практические занятия №1

Материалы электронной техники и их электрофизические свойства

Задачи:

1.1. Найти положение уровня Ферми в собственном германии при 300 К, если известно, что ширина его запрещенной зоны $\Delta W = 0,665$ эВ, а эффективные массы плотности состояний для дырок валентной зоны и для электронов зоны проводимости соответственно равны: $m_u = 0,388m_0$; $m_c = 0,55m_0$, где m_0 – масса свободного электрона.

Решение:

Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике определяется выражением

$$W_F = \frac{W_c + W_v}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} = W_i + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c},$$

где W_i – уровень, соответствующий середине запрещенной зоны;

$$N_v = \frac{2(2\pi m_v kT)^{3/2}}{h^3}; N_c = \frac{2(2\pi m_c kT)^{3/2}}{h^3}$$

– эффективная плотность состояний для дырок валентной зоны и для электронов зоны проводимости соответственно. В данном случае

$$N_v = \frac{2(2 \cdot 3,14 \cdot 0,388 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)^{3/2}}{(6,62 \cdot 10^{-34})^3} = 6,04 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3};$$

$$N_c = \frac{2(2 \cdot 3,14 \cdot 0,55 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300)^{3/2}}{(6,62 \cdot 10^{-34})^3} = 1,02 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Таким образом,

$$W_F - W_i = \frac{8,625 \cdot 10^{-5} \cdot 300}{2} \ln \frac{6,04 \cdot 10^{24}}{1,02 \cdot 10^{25}} = -6,78 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$$

или

$$W_F - W_v = W_F - W_v + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} = \frac{\Delta W}{2} + kT \ln \frac{N_v}{N_c} = 0,665/2 - 6,78 \cdot 10^{-3} = 0,326 \text{ эВ},$$

т. е. уровень Ферми в собственном германии при комнатной температуре расположен на 6,78 мэВ ниже середины запрещенной зоны, но на 326 мэВ выше потолка валентной зоны. Результаты расчета показывают, что с ростом температуры уровень Ферми приближается к той зоне, которая имеет меньшую плотность состояний и поэтому заполняется быстрее.

1.2. Образец полупроводника содержит 0,17 моль вещества. Энергетическая протяженность зоны проводимости для этого материала составляет 10,2 эВ. Определить средний энергетический зазор между соседними уровнями зоны. Как изменится этот зазор, если объем полупроводника увеличить в два раза?

1.3. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при $T = 300$ К, если ширина его запрещенной зоны $\Delta W = 1,12$ эВ, а эффективные массы плотности состояний $m_c = 1,05m_0$, $m_v = 0,56m_0$.

Решение:

Собственная концентрация носителей заряда

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} \exp\left(-\frac{\Delta W}{2kT}\right).$$

Эффективная плотность состояний (м^{-3}) для электронов в зоне проводимости (см. решение задачи 1.1)

$$N_c = \frac{2(2 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} T)^{3/2}}{(6,62 \cdot 10^{-34})^3} = 2,69 \cdot 10^{25} \left(\frac{T}{300}\right)^{3/2}.$$

Эффективная плотность состояний (м^{-3}) для дырок в валентной зоне

$$N_v = \frac{2(2 \cdot 3,14 \cdot 0,56 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} T)^{3/2}}{(6,62 \cdot 10^{-34})^3} = 1,05 \cdot 10^{25} \left(-\frac{T}{300}\right)^{3/2}.$$

Отсюда следует, что при $T = 300$ К собственная концентрация

$$n_i = 10^{25} \sqrt{2,69 \cdot 1,05} \exp\left(-\frac{1,12}{2 \cdot 8,625 \cdot 10^{-5} \cdot 300}\right) \approx 7 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}.$$

Ответ: $7 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$.

1.4. Концентрация электронов проводимости в полупроводнике равна 10^{18} м^{-3} . Определить концентрацию дырок в этом полупроводнике, если известно, что собственная концентрация носителей заряда при этой же температуре равна 10^{16} м^{-3} .

1.5. В собственном германии ширина запрещенной зоны при температуре 300 К равна 0,665 эВ. На сколько надо повысить температуру, чтобы число электронов в зоне проводимости увеличилось в два раза? Температурным изменением эффективной плотности состояний для электронов и дырок при расчете пренебречь.

1.6. При комнатной температуре в германии ширина запрещенной зоны $\Delta W = 0,665$ эВ, а собственная концентрация носителей заряда $n_i = 2,1 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Во сколько раз изменится собственная концентрация n_i , если температуру повысить до 200°C . Эффективные массы плотности состояний для электронов и дырок взять из условия задачи 1.1. Коэффициент температурного изменения ширины запрещенной зоны $b = -3,9 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$.

Практические занятия №2

Характеристики p - n -перехода.

Задачи:

2.1. Имеется германиевый p - n -переход с концентрацией примесей $N_d = 10^3 N_a$, причем на каждые 10^8 атомов германия приходится один атом акцепторной примеси. Определить контактную разность потенциалов при температуре $T = 300$ К. Концентрации атомов германия N и ионизированных атомов n_i принять равными $4,4 \cdot 10^{22}$ и $2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Решение:

Концентрация акцепторных атомов $N_a = N/10^8 = 4,4 \cdot 10^{22}/10^8 = 4,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Концентрация атомов доноров $N_d = 10^3 N_a = 4,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Если примеси ионизированы, то контактная разность потенциалов

$$\varphi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2} = 0,0258 \ln \frac{4,4 \cdot 10^{17} \cdot 4,4 \cdot 10^{14}}{(2,5 \cdot 10^{13})^2} = 0,326 \text{ В}.$$

Ответ: 0,326 В.

2.2. Решить задачу 2.1 для кремниевого p - n -перехода с такими же концентрациями примесей. Концентрацию атомов кремния N и собственную концентрацию n_i , принять равными $5,0 \cdot 10^{22}$ и 10^{10} см^{-3} соответственно.

2.3. Удельное сопротивление p -области германиевого p - n -перехода $\rho_p = 2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, а удельное сопротивление n -области $\rho_n = 1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Вычислить высоту потенциального барьера p - n -перехода при $T = 300 \text{ К}$.

Решение:

Удельное сопротивление p -области полупроводника $\rho_p \approx 1/(N_a e \mu_p)$, где μ_p – подвижность дырок. Отсюда, используя прил. 2, найдем концентрацию акцепторов в p -области:

$$N_a = \frac{1}{\rho_p e \mu_p} = \frac{1}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1900} = 1,65 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}.$$

Аналогично найдем концентрацию доноров в n -области полупроводника

$$N_d = \frac{1}{\rho_n e \mu_n} = \frac{1}{1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3900} = 1,6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}.$$

Считая примеси ионизированными, найдем высоту потенциального барьера p - n -перехода

$$e\varphi_K = kT \ln(N_a N_d / n_i^2).$$

Приняв $n_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ (из условия задачи 2.1), находим:

$$e\varphi_K = 8,62 \cdot 10^{-5} \ln \frac{1,65 \cdot 10^{15} \cdot 1,6 \cdot 10^{15}}{(2,5 \cdot 10^{13})^2} = 0,215 \text{ эВ}.$$

Ответ: 0,215 эВ.

2.4. В структуре с германиевым p - n -переходом удельная проводимость p -области $\gamma_p = 10^4 \text{ См/м}$ и удельная проводимость n -области $\gamma_n = 10^2 \text{ См/м}$. Подвижности электронов μ_n и дырок μ_p в германии соответственно равны 0,39 и 0,19 $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Вычислить контактную разность потенциалов в переходе при температуре $T = 300 \text{ К}$, если собственная концентрация $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

Решение:

Для материала p -типа $\gamma_p \approx p_p e \mu_p$, где p_p – концентрация дырок. Отсюда

$$p_p = \gamma_p / (e \mu_p) = 10^4 / (0,19 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) = 3,29 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}.$$

Аналогично найдем концентрацию электронов в n -области:

$$n_n = \gamma_n / (e \mu_n) = 100 / (0,39 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) = 1,6 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}.$$

Концентрация дырок в n -области

$$p_n = n_i^2 / n_n = (2,5 \cdot 10^{19})^2 / (1,6 \cdot 10^{21}) = 3,91 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}.$$

Контактная разность потенциалов

$$\varphi_K = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{p_p}{p_n} \right) = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \ln \left(\frac{3,29 \cdot 10^{23}}{3,91 \cdot 10^{17}} \right) = 0,35 \text{ В}.$$

Ответ: 0,35 В.

Варианты задач приведены в УМП дисциплины.

Практические занятия №3

Полупроводниковые диоды

Задачи:

3.1. Имеется сплавной германиевый p - n -переход с $N_d = 10^3 N_a$, причем на каждые 10^8 атомов германия приходится один атом акцепторной примеси. Определить контактную разность

потенциалов при температуре $T = 300$ К (плотности атомов N и ионизованных атомов n_i принять равными $4,4 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ и $2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ соответственно).

Решение:

Определим концентрацию акцепторных атомов:

$$N_a = N / 10^8 = 4,4 \cdot 10^{22} / 10^8 = 4,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$$

($N = 4,4 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ – плотность атомов германия).

Концентрация атомов доноров $N_D = 10^3 N_a = 4,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Контактная разность потенциалов

$$\varphi_K = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a N_D}{n_i^2} = 0,0258 \ln \frac{4,4 \cdot 10^{17} \cdot 4,4 \cdot 10^{14}}{(2,5 \cdot 10^{13})^2} = 0,326 \approx 0,33 \text{ В.}$$

Ответ: 0,33 В.

3.2. Решить предыдущую задачу для кремниевого p - n -перехода с такими же концентрациями примеси. Значения N и n_i приведены в приложении.

3.3. Удельное сопротивление p -области германиевого p - n -перехода $\rho_p = 2$ Ом·см, а удельное сопротивление n -области $\rho_n = 1$ Ом·см. Вычислить контактную разность потенциалов (высоту потенциального барьера) при $T = 300$ К.

Решение:

Известно, что удельное сопротивление p -области полупроводника

$$\rho_p = \frac{1}{\sigma_p} \approx \frac{1}{N_a e \mu_p},$$

где N_a – концентрация акцепторов; e – заряд электрона; μ_p – подвижность дырок.

Отсюда

$$N_a = \frac{1}{\rho_p e \mu_p} = \frac{1}{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 1900} = 1,65 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}.$$

Аналогично найдем концентрацию доноров в n -области полупроводника:

$$N_D = \frac{1}{\rho_n e \mu_n} = \frac{1}{1 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 3900} = 1,6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}.$$

Контактная разность потенциалов

$$\varphi_K = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a N_D}{n_i^2} = 0,0258 \ln \frac{1,65 \cdot 10^{15} \cdot 1,6 \cdot 10^{15}}{(2,5 \cdot 10^{13})^2} = 0,215 \approx 0,22 \text{ В.}$$

Ответ: 0,22 В.

3.4. Решить предыдущую задачу для кремниевого диода с такими же значениями удельных сопротивлений p - и n -областей.

3.5. В германиевом p - n -переходе удельная проводимость p -области $\sigma_p = 10^4$ См/м и удельная проводимость n -области $\sigma_n = 10^2$ См/м. Подвижности электронов μ_n и дырок μ_p в германии соответственно равны 0,39 и 0,19 м²/(В·с). Концентрация собственных носителей в германии при $T = 300$ К $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Вычислить контактную разность потенциалов (высоту потенциального барьера) при $T = 300$ К.

Решение:

Для материала p -типа $\sigma_p \approx p_p e \mu_p$, где σ_p – удельная проводимость; μ_p – подвижность дырок; p_p – концентрация дырок; e – заряд электрона. Отсюда

$$p_p = \sigma_p / (e \mu_p) = 10^4 / (0,19 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}) = 3,29 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}.$$

Аналогично для материала n -типа

$$n_n = \sigma_n / (e \mu_n) = 100 / (0,39 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}) = 1,60 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}.$$

Концентрация

$$p_n = n_i^2 / n_n = (2,5 \cdot 10^{19})^2 / (1,60 \cdot 10^{21}) = 3,91 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}.$$

Контактная разность потенциалов

$$\varphi_k = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{p_p}{p_n} \right) = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,602 \cdot 10^{-19}} \ln \left(\frac{3,29 \cdot 10^{23}}{3,91 \cdot 10^{17}} \right) = 0,35 \text{ В.}$$

Ответ: 0,35 В.

3.6. Используя данные и результаты предыдущей задачи, найти: а) плотность обратного тока насыщения, а также отношение дырочной составляющей обратного тока насыщения к электронной, если диффузионная длина электронов и дырок $L_n = L_p = 1 \cdot 10^{-3}$ м, б) напряжение, при котором плотность прямого тока $j = 10^5$ А/м².

Решение:

а) Плотность обратного тока насыщения

$$j_0 = D_p e p_n / L_p + D_n e n_p / L_n.$$

Из предыдущей задачи

$$p_n = 3,91 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}; n_p = n_i^2 / p_p = 1,9 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}.$$

Известно, что

$$D_p = (kT / e) \mu_p \text{ и } D_n = (kT / e) \mu_n.$$

Следовательно,

$$j_0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \left[\frac{(3,91 \cdot 10^{17} \cdot 0,19 + 1,9 \cdot 10^{15} \cdot 0,39)}{1 \cdot 10^{-3}} \right] = 0,31 \text{ А/м}^2.$$

Отношение дырочной составляющей обратного тока насыщения к электронной

$$I_{0p} / I_{0n} = \mu_p p_n L_n / (\mu_n n_p L_p) = 0,19 \cdot 3,91 \cdot 10^{17} / (0,39 \cdot 1,9 \cdot 10^{15}) = 100.$$

б) Напряжение, которое необходимо приложить к p - n -переходу для получения тока плотностью 10^5 А/м², найдем из выражения $j = j_0 (e^{eU/(kT)} - 1)$.

При этом

$$e^{eU/(kT)} - 1 = 10^5 / 0,31 = 3,2 \cdot 10^5; eU / (kT) = 12,7,$$

откуда

$$U = \frac{12,7 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 0,328 \approx 0,33 \text{ В.}$$

Ответ: 0,31 А/м²; 100; 0,33 В.

Практические занятия №4 Биполярные транзисторы

Задачи:

4.1. Транзистор типа p - n - p включен по схеме с общим эмиттером. Пояснить, в каком режиме работает транзистор, если: а) напряжение база – эмиттер $U_{бэ} = -0,4$ В и напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ} = -0,3$ В; б) напряжение $U_{бэ} = -0,4$ В и напряжение $U_{кэ} = -10$ В; в) напряжение $U_{бэ} = 0,4$ В и напряжение $U_{кэ} = -10$ В.

4.2. Транзистор типа n - p - n включен по схеме с общей базой. Напряжение эмиттер – база $U_{эб} = -0,5$ В, напряжение коллектор – база $U_{кб} = 12$ В. Определить напряжение коллектор – эмиттер.

4.3. Концентрации примесей в базе, эмиттере и коллекторе некоторого транзистора p - n - p и ширина базы контролируются так, что только 1 % дырок, инжектируемых из эмиттера, теряется при рекомбинации в базе. Пренебрегая токами утечки, найти коэффициент передачи тока эмиттера, эффективность эмиттера, коэффициент переноса, если электронная составляющая тока эмиттера $I_{нэ} = 0,01 I_{э}$ (коэффициент умножения в коллекторном переходе принять равным единице).

Решение:

Эффективность эмиттера (коэффициент инжекции)

$$\gamma = I_{pэ} / (I_{pэ} + I_{нэ}) = (I_{э} - I_{нэ}) / I_{э} = 1 - I_{нэ} / I_{э} = 1 - 0,01 = 0,99.$$

Коэффициент переноса

$$\beta^* = I_{pк} / I_{pэ} = (I_{pэ} - 0,01 I_{pэ}) / I_{pэ} = 0,99.$$

Коэффициент передачи тока эмиттера

$$\alpha = \gamma\beta^* M,$$

где коэффициент умножения $M = 1$. Следовательно,

$$\alpha = 0,99 \cdot 0,99 \cdot 1 = 0,98.$$

Ответ: 0,98; 0,99; 0,99.

4.4. В $n-p-n$ -транзисторе концентрация доноров в эмиттере $N_d = 10^{24} \text{ м}^{-3}$, концентрация акцепторов в базе $N_a = 10^{22} \text{ м}^{-3}$. Считая, что подвижности электронов и дырок равны 0,4 и 0,2 $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ соответственно, определить отношение дырочного тока к электронному на переходе эмиттер – база.

Решение: Отношение дырочного тока к электронному на $p-n$ -переходе примерно равно отношению удельных проводимостей материалов базы и эмиттера, которые составляют $p-n$ -переход, для любых напряжений смещения. Следовательно,

$$I_p / I_n = \sigma_p / \sigma_n = e\mu_p N_a / (e\mu_n N_d),$$

где N_a и N_d – концентрации акцепторов и доноров.

В рассматриваемом случае

$$I_p / I_n = 10^{22} \cdot 0,2 / (10^{24} \cdot 0,4) = 1 / 200.$$

Ответ: 0,98; 0,99; 0,99.

4.5. Рассчитать и построить график зависимости тока эмиттера от напряжения $U_{эб}$ идеального транзистора, у которого коэффициент передачи эмиттерного тока $\alpha = 0,98$, обратный ток коллектора $I_{кб0} = 2 \text{ мкА}$, обратный ток эмиттера $I_{эб0} = 1,6 \text{ мкА}$, если: а) напряжение коллекторного перехода $U_{кб} = 0$; б) на коллекторный переход подано обратное напряжение 10 В. Распределенным сопротивлением базы пренебречь.

4.6. Прямой ток эмиттера транзистора $n-p-n$ составляет $I_э = 2 \text{ мА}$, коллекторная цепь разорвана. Определить: а) напряжение на эмиттерном и коллекторном переходах; б) напряжение эмиттер – коллектор, полагая $I_{кб0} = 2 \text{ мкА}$, $I_{эб0} = 1,6 \text{ мкА}$, $\alpha = 0,98$. В каком режиме работает транзистор?

Решение:

$$\text{а) } I_k = 0, I_э = 2 \text{ мА и } U_{эб} = U_T \ln(1 + I_э / I_{эб0}),$$

откуда

$$U_{эб} = 0,026 \ln[1 + 2 / (1,6 \cdot 10^{-3})] = 0,026 \ln(1250) = 0,1853 \text{ В.}$$

Напряжение база – коллектор

$$U_{БК} = U_T \ln(1 + \alpha I_э / I_{кб0}) = 0,026 \ln\left(1 + \frac{0,98 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}}\right) = 0,179 \text{ В.}$$

Следовательно, транзистор работает в режиме насыщения.

б) Напряжение эмиттер – коллектор

$$U_{ЭК} = U_{БК} - U_{эб} = 0,179 - 0,1853 = -0,0063 \text{ В.}$$

Ответ: 0,1853 В; 0,179 В; -0,0063 В.

4.7. Определить постоянный ток базы $p-n-p$ -транзистора при температуре $T = 300 \text{ К}$. Током утечки перехода база – эмиттер пренебречь. Ток коллектора $I_k = 1 \text{ мА}$. Время жизни носителей $\tau_p = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}$, подвижность дырок $\mu_p = 0,2 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, ширина базы $w = 10^{-5} \text{ м}$.

Практические занятия №5

Синтез схем на логических элементах в составе интегральных схем

Задачи:

4.1 Разработайте схему пороговой логики, которая вырабатывает сигнал 1, если, по крайней мере, на K входах из N ($K < N$) появляется сигнал 1 (частным случаем пороговой логики является мажоритарная логическая схема).

Решите задачу для случаев:

В какую схему превращается пороговое устройство, если $K = 1$? $K = N$? Выполните схему, используя генератор слов, логический пробник, базовые логические элементы 2И—НЕ, 2ИЛИ—НЕ, микросхемы серии 74, содержащие указанные элементы.

4.2

У вас имеется логическая схема И с числом входов K . Вы должны убедиться в ее исправности. Простой, но не самый быстрый способ — подать на входы поочередно $2K$ несовпадающих слов длиной K бит от генератора слов и убедиться, что сигнал на выходе соответствует таблице истинности схемы И. Предложите более компактный тестовый набор, который достоверно выявляет неисправность любого входа или выхода.

Подсказка. Длина минимальной тестовой последовательности составляет $K + 1$ входных наборов.

4.3

Годится ли тестовая последовательность предыдущей задачи для проверки схемы И—НЕ с числом входов $K = 2, 3, 4, 8$?

4.4

Запрограммируйте генератор слов на такую последовательность выходных слов, которая была бы пригодна для испытания схем И, И—НЕ с $K = 2, 3, 4, 8$ входами.

4.5

Разработайте последовательность тестовых слов для контроля схем ИЛИ с K входами ($K = 2, 3, 4, 8$). Число слов должно быть минимальным для достоверного обнаружения любого неисправного входа. В чем отличие тестовой последовательности от решения задачи 3?

Лабораторные работы

№	Наименование лабораторных работ	Задание по лабораторным работам
1	Лабораторная работа 1. «Исследование характеристик и параметров полупроводникового диода»	1. Исследование прямой ветви ВАХ полупроводникового диода 2. Исследование обратной ветви ВАХ полупроводникового диода 3. Получение вольт-амперной характеристики диода на экране осциллографа 4. Аналитический расчет по результатам исследований
2	Лабораторная работа 2. «Исследование характеристик и параметров полупроводникового стабилитрона»	1. Исследование ВАХ полупроводникового стабилитрона 2. Получение вольт-амперной характеристики стабилитрона на экране осциллографа
3	Лабораторная работа 3. «Исследование свойств и параметров биполярных транзисторов»	1. Исследование семейства входных статических характеристик транзистора 2. Исследование семейства выходных статических характеристик транзистора 3. Построение семейств статических характеристик транзистора и определение по ним h -параметров 4. Построение нагрузочной прямой каскада на биполярном транзисторе 5. Исследование режимов работы каскада на биполярном транзисторе 6. Исследование неустойчивости коэффициента усиления каскада 7. Исследование изменения тока коллектора транзистора в зависимости от схемы включения транзистора 8. Вычисление отдельных параметров

		<p>усилительных каскадов</p> <p>9. Исследование амплитудной характеристики каскада с ОЭ</p> <p>10. Исследование основных параметров каскада с ОЭ</p> <p>11. Исследование амплитудно- и фазочастотной характеристик каскада с ОЭ</p> <p>12. Исследование влияния ООС на показатели и характеристики каскада с ОЭ</p> <p>13. Исследование амплитудной и нагрузочной характеристик и основных параметров каскада с ОК</p> <p>14. Исследование амплитудно- и фазочастотной характеристик каскада с ОК</p>
4	Лабораторная работа 4. «Исследование свойств и параметров полевых транзисторов»	<p>1. Снятие и анализ стоко-затворных и стоковых характеристик полевого транзистора.</p> <p>2. Определение крутизны характеристики и активной выходной проводимости.</p> <p>3. Построить стоко-затворные и стоковые характеристики в координатных осях.</p> <p>4. Определить необходимые параметры и рассчитать крутизну стоко-затворной характеристики и активную выходную проводимость.</p>
5	Лабораторная работа 5. «Исследование логического элемента. Исследование характеристик интегральных микросхем»	<p>1. Вычисление отдельных параметров схем на ОУ.</p> <p>2. Исследование влияния напряжения смещения на выходное напряжение ОУ.</p> <p>3. Исследование амплитудно- и фазочастотной характеристик повторителя напряжения на ОУ</p> <p>4. Исследование инвертирующего усилителя на ОУ</p> <p>5. Исследование неинвертирующего усилителя на ОУ</p> <p>6. Проведение экспериментального моделирования простейших логических схем</p>

Лабораторные работы обеспечивают:

формирование умений и навыков обращения с приборами и другим оборудованием, демонстрацию применения теоретических знаний на практике, закрепление и углубление теоретических знаний, контроль знаний и умений в формулировании выводов, развитие интереса к изучаемой дисциплине.

Применение лабораторных работ позволяет вовлечь в активную работу всех обучающихся группы и сформировать интерес к изучению дисциплины.

Самостоятельный поиск ответов на поставленные вопросы и задачи в ходе лабораторной работы приобретают особую значимость в восприятии, понимании содержания дисциплины.

Изученный на лекциях материал лучше усваивается, лабораторные работы демонстрируют практическое их применение.

6.2. Методические указания для выполнения контрольных работ (письменных работ)

Контрольная работа проводится в соответствии с учебным планом дисциплины во время самостоятельной подготовки в шестом семестре на очном отделении и в седьмом на заочном отделении. Контрольная работа посвящена решению практических заданий из учебно-методического комплекса дисциплины. Вариант выбирается по таблице в соответствии с последней цифрой номера студенческого билета.

Варианты заданий на контрольную работу

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер первого задания	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Номер второго задания	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Номер третьего задания	3.10	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	3.11
Номер четвертого задания	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
Номер пятого задания	4	6	7	8	9	11	12	13	14	15

Пояснительная записка контрольной работы должна содержать следующие материалы в представленном ниже порядке:

- 1) лист обложки (в приложении);
- 2) титульный лист (в приложении);
- 3) рецензию (составляется преподавателем);
- 4) содержание;
- 5) введение;
- 6) решение практических заданий;
- 7) заключение о результатах работы;
- 8) библиографический список.

Примерная тематика задания на контрольную работу

Задание 1. Раздел " Материалы электронной техники и их электрофизические свойства "

Вариант 1.1. Определить, на сколько различаются вероятности заполнения электронами нижнего уровня зоны проводимости в собственном германии и собственном кремнии: а) при 300 К; б) при 100 К.

Вариант 1.2. Уровень Ферми в германии при 300 К расположен на 0,1 эВ выше потолка валентной зоны. Рассчитать равновесные концентрации электронов и дырок в этом материале, используя данные задачи 1.1.

Вариант 1.3. Определить, как изменится концентрация дырок в германии, содержащем мелкие доноры в концентрации $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$, при его нагревании от 300 до 400 К. При расчете использовать данные задачи 1.8.

Вариант 1.4. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в арсениде галлия при температуре 300 и 500 К, если эффективные массы плотности состояний $m_c = 0,067m_0$; $m_v = 0,48m_0$, а температурное изменение ширины запрещенной зоны подчиняется выражению $\Delta W(T) = 1,522 - 5,8 \cdot 10^{-4} T^2 / (T + 300)$.

Вариант 1.5. Определить положение уровня Ферми при температуре $T = 300 \text{ К}$ в арсениде галлия, легированном теллуром до концентрации $N_{Te} = 10^{23} \text{ м}^{-3}$. При расчете использовать данные предыдущей задачи. Объяснить, почему и как смещается уровень Ферми этого полупроводника с

понижением температуры.

Вариант 1.6. Вычислить, во сколько раз различаются равновесные концентрации дырок при комнатной температуре в кристаллах кремния и арсенида галлия, имеющих одинаковую концентрацию донорных примесей $N_d = 10^{21} \text{ м}^{-3}$. Для расчета использовать данные задачи 1.4.

Вариант 1.7. Определить, как изменится концентрация электронов в арсениде галлия, легированном цинком до концентрации $N_{Zn} = 10^{22} \text{ м}^{-3}$, при повышении температуры от 300 до 500 К. Полагать, что при 300 К все атомы цинка полностью ионизированы.

Вариант 1.8. В кристаллах арсенида галлия на каждые 10^6 атомов галлия приходится один атом цинка. Полагая, что эффективная масса плотности состояний для дырок валентной зоны $m_v = 0,48m_0$, найти положение уровня Ферми при 300 К.

Вариант 1.9. Оценить тепловую и дрейфовую скорости электронов при 300 К в германии n -типа с концентрацией доноров $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$, если плотность тока через образец $j = 10^4 \text{ А/м}^2$, а эффективная масса электронов проводимости $m_n = 0,12m_0$.

Вариант 1.10. Определить, во сколько раз дрейфовая скорость электронов в германии n -типа с $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$ отличается от дрейфовой скорости электронов в меди при пропускании через них электрического тока одинаковой плотности $j = 10^4 \text{ А/м}^2$. Объясните причину различия скоростей.

Вариант 1.11. К стержню из арсенида галлия длиной 50 мм приложено напряжение 50 В. За какое время электрон пройдет через весь образец, если подвижность электронов $\mu_n = 0,9 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 1.12. Удельное сопротивление собственного кремния при $T = 300 \text{ К}$ равно $2000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, собственная концентрация носителей заряда $n_i = 1,5 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$. Чему равно при этой температуре удельное сопротивление кремния n -типа с концентрацией электронов $n = 10^{20} \text{ м}^{-3}$? Полагать, что подвижность электронов в три раза больше подвижности дырок и что это соотношение сохраняется как для собственного, так и для примесного полупроводника с заданной степенью легирования.

Вариант 1.13. Вычислить удельное сопротивление германия p -типа с концентрацией дырок $4 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Найти отношение электронной проводимости к дырочной. Собственную концентрацию и подвижность носителей заряда взять такими же, как в задаче 1.20.

Вариант 1.14. Эпитаксиальный слой арсенида галлия, легированный серой, имеет при комнатной температуре удельное сопротивление $5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Определить концентрацию доноров в слое, если подвижность электронов $0,8 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 1.15. Через пластину кремния с удельным сопротивлением $0,01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ проходит электрический ток плотностью 10 МА/мм^2 . Найти средние скорости дрейфа электронов и дырок, если их подвижности $0,14$ и $0,05 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ соответственно.

Вариант 1.16. Вычислить отношение собственной удельной проводимости к минимальной при $T = 300 \text{ К}$ для антимонида индия, имеющего следующие параметры: $n_i = 2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$; $\mu_n = 7,8 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$; $\mu_p = 0,075 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 1.17. Определить ток через образец кремния прямоугольной формы размерами $l \times b \times h = 5 \times 2 \times 1 \text{ мм}$ если вдоль образца приложено напряжение 10 В. Известно, что концентрация электронов в полупроводнике $n = 10^{21} \text{ м}^{-3}$, их подвижность $\mu_n = 0,14 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 1.18. Рассчитать удельное сопротивление кристаллов арсенида галлия, легированных хромом до концентрации $2 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ при температуре 300 К, если энергия ионизации атомов хрома $\Delta W_a = 790 \text{ мэВ}$, а подвижность дырок $\mu_p = 0,04 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Эффективную массу дырок принять равной $0,48 m_0$.

Вариант 1.19. Вычислить при температуре 300 К удельное сопротивление кристалла германия, в котором на каждые 10^7 атомов кристаллической решетки приходится один атом сурьмы. Известно, что период решетки германия $a = 0,5657 \text{ нм}$, а подвижность электронов $\mu_n = 0,39 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 1.20. Образец германия содержит 10^{20} м^{-3} донорных атомов и $7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ акцепторных примесных атомов. При данной температуре собственное удельное сопротивление германия равно $0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Определить равновесные концентрации электронов и дырок, а также плотность дрейфового тока, который будет проходить по образцу под действием электрического поля напряженностью 200 В/м . Подвижность электронов и дырок соответственно равна $0,39$ и $0,19 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Задание 2. Раздел "Характеристики p - n -перехода"

Вариант 2.1. Вычислить для температуры 300°C контактную разность потенциалов p - n -перехода, сформированного в фосфиде индия, если равновесные концентрации основных носителей заряда в p - и n -областях одинаковы и равны 10^{17} см^{-3} , а собственная концентрация $n_i = 10^{13}\text{ см}^{-3}$.

Вариант 2.2. Определить контактную разность потенциалов в p - n -переходе из арсенида галлия при комнатной температуре, если концентрация основных носителей заряда в областях p - и n -типа одинакова и равна 10^{23} м^{-3} . Сравните полученный результат с контактной разностью потенциалов в кремниевом p - n -переходе с аналогичным распределением примесей. Собственную концентрацию носителей заряда при $T = 300\text{ К}$ принять равной $1,7 \cdot 10^{12}\text{ м}^{-3}$ для арсенида галлия и 10^{16} м^{-3} для кремния.

Вариант 2.3. В структуре с кремниевым p - n -переходом удельное сопротивление p -области $\gamma_p = 10^4\text{ Ом}\cdot\text{м}$, а удельное сопротивление n -области $\gamma_n = 10^{-2}\text{ Ом}\cdot\text{м}$. Вычислить контактную разность потенциалов φ_k , если подвижность дырок μ_p и электронов μ_n соответственно равна $0,05$ и $0,13\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, а собственная концентрация м^{-3} при температуре $T = 300\text{ К}$.

Вариант 2.4. Концентрация доноров и акцепторов в n - и p -областях резкого p - n -перехода соответственно равна $5 \cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$ и 10^{17} см^{-3} . Определить контактную разность потенциалов и плотность обратного тока насыщения, полагая, что при комнатной температуре коэффициенты диффузии для неосновных электронов и дырок составляют 100 и $50\text{ см}^2/\text{с}$ соответственно, а диффузионная длина $L_n = L_p = 0,8\text{ см}$. Собственную концентрацию носителей заряда считать равной 10^{13} см^{-3} .

Вариант 2.5. Структура с кремниевым p - n -переходом имеет удельную проводимость p -области $\gamma_p = 10^3\text{ См}/\text{м}$ и удельную проводимость n -области $\gamma_n = 20\text{ См}/\text{м}$. Время жизни неосновных носителей заряда 5 и 1 мкс в p - и n -областях соответственно. Определить: а) отношение дырочной составляющей тока в p - n -переходе к электронной; б) плотность обратного тока насыщения и плотность тока через p - n -переход при прямом напряжении $0,3\text{ В}$. Расчет проводить для температуры $T = 300\text{ К}$, полагая, что собственная концентрация носителей заряда $n_i = 1,4 \cdot 10^{16}\text{ м}^{-3}$, подвижность электронов $\mu_n = 0,12\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, подвижность дырок $\mu_p = 0,05\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 2.6. Резкий p - n -переход сформирован из материала p -типа с удельным сопротивлением $\rho_p = 1,3 \cdot 10^{-3}\text{ Ом}\cdot\text{м}$ и из материала n -типа с удельным сопротивлением $\rho_n = 4,6 \cdot 10^{-3}\text{ Ом}\cdot\text{м}$ при $T = 300\text{ К}$. Время жизни неосновных носителей заряда в материале p - и n -типа 100 и 150 мкс соответственно, площадь перехода $S = 1\text{ мм}^2$. Вычислить обратный ток насыщения в предположении, что протяженность p - и n -областей много больше диффузионной длины, если $\mu_p = 4,8 \cdot 10^{-2}\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$; $\mu_n = 0,135\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$; $n_i = 6,5 \cdot 10^{16}\text{ м}^{-3}$.

Вариант 2.7. Ток, проходящий через p - n -переход при большом обратном напряжении и $T = 300\text{ К}$, равен $2 \cdot 10^{-7}\text{ А}$. Найти ток при прямом напряжении $0,1\text{ В}$.

Вариант 2.8. Вычислить прямое напряжение на p - n -переходе при токе 1 мА , если обратный ток насыщения при комнатной температуре равен: а) 1 мкА ; б) 1 нА .

Вариант 2.9. Резкий p - n -переход имеет площадь поперечного сечения $S = 1\text{ мм}^2$. Область p сильно легирована, так что ее удельная проводимость в несколько раз больше удельной проводимости n -области. Удельное сопротивление n -области $5\text{ Ом}\cdot\text{см}$, а время жизни неосновных носителей заряда в ней $\tau_p = 50\text{ мкс}$. Определить обратный ток p - n -перехода и прямое напряжение при токе 1 мА .

Вариант 2.10. Определить при температуре $T = 300\text{ К}$ контактную разность потенциалов кремниевого p - n -перехода, если концентрации примесей $N_a = 2 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$ и $N_d = 5 \cdot 10^{12}\text{ см}^{-3}$.

Вариант 2.11. При комнатной температуре ($T = 300\text{ К}$) обратный ток насыщения p - n -перехода, полученного в арсениде галлия, равен $2,5\text{ мкА}$. Определите сопротивление p - n -перехода при прямом напряжении $0,1\text{ В}$. Постройте прямые ветви вольт-амперной и вольт-омной характеристик этого p - n -перехода.

Вариант 2.12. Определить концентрацию акцепторных примесей в p -области электронно-дырочного перехода и концентрацию донорных примесей в n -области, если известно, что при комнатной температуре (300 К) удельные проводимости областей: $\gamma_n = 1\text{ См}/\text{см}$; $\gamma_p = 100\text{ См}/\text{см}$.

Вариант 2.13. При прямом напряжении $0,1\text{ В}$ на p - n -переходе через него проходит определенный ток. Каким должно быть прямое напряжение, чтобы ток увеличился в два раза? Расчет провести для комнатной температуры.

Вариант 2.14. Обратный ток насыщения I_0 германиевого p - n -перехода площадью $S = 1\text{ мм}^2$ при

температуре 300 К равен 10 мкА. Полагая, что ток обусловлен только электронами, вычислить диффузионную длину электронов L_n в p -области. Уровень Ферми в p -области лежит на 0,5 эВ ниже дна зоны проводимости, подвижность электронов $\mu_n = 0,39 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 2.15. Если к резкому p - n -переходу приложить переменное напряжение амплитудой 0,5 В, то максимальная емкость перехода равна 2 пФ. Определить контактную разность потенциалов и минимальное значение емкости перехода, если при отсутствии внешнего напряжения она равна 1 пФ.

Вариант 2.16. Барьерная емкость резкого p - n -перехода равна 200 пФ при обратном напряжении 2 В. Какое требуется обратное напряжение, чтобы она уменьшилась до 50 пФ, если контактная разность потенциалов $\varphi_k = 0,82 \text{ В}$?

Вариант 2.17. В кремниевом резком p - n -переходе с концентрациями примесей $N_a = 10^{20} \text{ м}^{-3}$ и $N_p = 10^{22} \text{ м}^{-3}$ лавинный пробой наступает при напряженности электрического поля $6 \cdot 10^7 \text{ В/м}$. Вычислить ширину p - n -перехода и обратное напряжение, необходимое для начала возникновения пробоя. Относительная диэлектрическая проницаемость кремния $\epsilon = 12$.

Вариант 2.18. Определить барьерную емкость и ширину p - n -перехода, сформированного в арсениде индия, при температуре $T = 300 \text{ К}$, если концентрация основных носителей заряда: $p_p = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; $n_n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, относительная диэлектрическая проницаемость InAs $\epsilon = 14,6$, площадь поперечного сечения p - n -перехода $S = 0,01 \text{ см}^2$. К p - n -переходу приложено обратное напряжение $|U_{\text{обр}}| = 100 \text{ В}$.

Вариант 2.19. Определить удельное сопротивление инверсного слоя поверхностной электропроводности, образовавшегося в кремнии p -типа, покрытого пленкой диоксида кремния, если толщина инверсного слоя $\delta = 1 \text{ мкм}$, подвижность электронов $\mu_n = 0,12 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. При расчете положить, что средняя концентрация электронов в инверсном слое $n = 1,5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$.

Вариант 2.20. Контакт металл–полупроводник с барьером Шотки, имеющий обратный ток насыщения $I_0 = 10 \text{ мкА}$, соединен последовательно с источником напряжения $U_{\text{ист}} = 10 \text{ В}$ и резистором сопротивлением $R = 1 \text{ кОм}$. Найти прямой ток, прямое напряжение и сопротивление контакта при комнатной температуре.

Задание 3. Раздел "Полупроводниковые диоды"

Вариант 3.1. В кремниевом p - n -переходе удельное сопротивление p -области $\rho_p = 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а удельное сопротивление n -области $\rho_n = 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Вычислить контактную разность потенциалов φ_k , если подвижности дырок μ_p и электронов μ_n соответственно равны 0,05 и 0,13 $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, а собственная концентрация $n_i = 1,38 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ при $T = 300 \text{ К}$.

Вариант 3.2. p - n -переход выполнен из собственного германия с концентрацией $n_i = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, легированного акцепторной примесью с концентрацией $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и донорной примесью с концентрацией $N_d = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Коэффициенты диффузии для неосновных электронов и дырок соответственно равны 100 и 50 $\text{см}^2/\text{с}$, диффузионная длина $L_n = L_p = 0,8 \text{ см}$. Определить: а) контактную разность потенциалов φ_k , б) плотность обратного тока насыщения j_0 при $T = 300 \text{ К}$.

Вариант 3.3. В германиевом p - n -переходе удельные сопротивления областей равны $\rho_p = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и $\rho_n = 2,08 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Подвижность электронов $\mu_n = 0,3 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и дырок $\mu_p = 0,15 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, концентрация собственных носителей заряда равна $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Время жизни неосновных носителей заряда $\tau_n = 75 \text{ мкс}$ и $\tau_p = 150 \text{ мкс}$. Площадь поперечного сечения p - n -перехода $\Pi = 10^{-6} \text{ м}^2$ ($T = 300 \text{ К}$).

Определить: а) контактную разность потенциалов φ_k ; б) обратный ток насыщения; в) долю тока, создаваемую дырками.

Вариант 3.4. Рассчитать и построить вольт-амперную характеристику идеального полупроводникового диода при $T = 300 \text{ К}$, если обратный ток насыщения $I_0 = 10 \text{ мкА}$. Расчет провести в интервале напряжений от 0 до -10 В (через 1 В) и от 0 до 0,2 В (через 0,05 В). Затем рассчитать и построить вольт-амперную характеристику того же диода, предположив, что диод имеет омическое сопротивление p - и n -областей, равное 25 Ом. Характеристики построить совместно.

Вариант 3.5. Удельная проводимость p -области полупроводникового диода $\sigma_p = 100$ См/см, удельная проводимость n -области $\sigma_n = 1$ См/см, площадь поперечного сечения $\Pi = 0,5 \cdot 1$ мм², длина диода 2 мм, переход находится посередине. Обратный ток насыщения $I_0 = 5$ мкА, $T = 300$ К. Вычислить напряжения, при которых ток диода будет равен 1 и 10 мА. Уточнить результаты с учетом падения напряжения на объемных сопротивлениях p - и n -областей. Изменением сопротивлений объемов при увеличении уровня инжекции пренебречь.

Вариант 3.6. Резкий германиевый p - n -переход имеет площадь поперечного сечения $\Pi = 1$ мм². Область p сильно легирована, так что ее удельная проводимость в несколько раз больше удельной проводимости n -области. Удельное сопротивление n -области равно 5 Ом·см, а время жизни носителей заряда $\tau_p = 50$ мкс. Определить: а) обратный ток насыщения I_0 ; б) прямое напряжение, при котором ток равен 1 мА.

Вариант 3.7. Найти барьерную емкость германиевого p - n -перехода, если удельное сопротивление p -области $\rho_p = 3,5$ Ом·см, контактная разность потенциалов $\phi_k = 0,35$ В, приложенное обратное напряжение $U_{обр} = 5$ В и площадь поперечного сечения p - n -перехода $\Pi = 1$ мм².

Вариант 3.8. Удельная проводимость p -области образца германия с резким p - n -переходом $\sigma_p = 10^2$ См/см, а удельная проводимость n -области $\sigma_n = 1$ См/см. Относительная диэлектрическая проницаемость образца $\epsilon = 16$. В равновесном состоянии высота потенциального барьера $\phi_k = 0,358$ В. Найти: а) барьерную емкость C_b перехода, имеющего площадь поперечного сечения $\Pi = 0,5$ мм²; б) барьерную емкость C_b перехода при обратных напряжениях, $U_{обр} = 5$ и 10 В

Вариант 3.9. В равновесном состоянии высота потенциального барьера сплавного германиевого p - n -перехода равна 0,2 В, концентрация акцепторных примесей N_a в p -области много меньше концентрации доноров N_d в n -области и равна $3 \cdot 10^{14}$ см⁻³. Требуется: а) вычислить ширину p - n -перехода для обратных напряжений, равных 0,1 и 10 В; б) для прямого напряжения 0,1 В; в) найти барьерную емкость C_b , соответствующую обратным напряжениям, равным 0,1 и 10 В, если площадь p - n -перехода $\Pi = 1$ мм².

Вариант 3.10. Резкий кремниевый p - n -переход состоит из области p -типа с концентрацией акцепторной примеси $N_a = 3 \cdot 10^{23}$ м⁻³ и n -области с концентрацией донорной примеси $N_d = 3 \cdot 10^{22}$ м⁻³. Площадь p - n -перехода $\Pi = 1$ мм², обратное напряжение $U_{обр} = 10$ В.

Определить: а) ширину p - n -перехода; б) максимальную напряженность электрического поля E внутри обедненного носителями заряда слоя; в) барьерную емкость C_b ; г) напряжение на p - n -переходе, при котором произойдет электрический пробой, если для наступления пробоя требуется напряженность электрического поля $E = 5 \cdot 10^7$ В/м.

Вариант 3.11. Германиевый p - n -переход с площадью $\Pi = 1$ мм² имеет обратный ток насыщения $I_0 = 10$ мкА при $T = 300$ К. Полагая, что ток обусловлен только электронами, вычислить диффузионную длину электронов L_n в p -области. Уровень Ферми в p -области лежит на 0,5 эВ ниже дна зоны проводимости, подвижность электронов $\mu_n = 3900$ см²/(В·с).

Вариант 3.12. Кремниевый p - n -переход формируется путем диффузии бора в кремний n -типа с удельным сопротивлением 0,015 Ом·м. Концентрация бора на поверхности равна $5 \cdot 10^{25}$ м⁻³. Известно, что на глубине 1,5 мкм от поверхности концентрация бора уменьшается в e раз.

Площадь поперечного сечения p - n -перехода $\Pi = 1$ мм², обратное напряжение $U = 10$ В.

Определить: а) ширину p - n -перехода; б) максимальную напряженность электрического поля в обедненном носителями заряда слое при обратном напряжении, равном 10 В. Относительная диэлектрическая проницаемость кремния $\epsilon = 12$.

Вариант 3.13. Кремниевый сплавной p - n -переход имеет площадь поперечного сечения $\Pi = 1$ мм² и барьерную емкость $C_b = 300$ пФ, если подводится обратное напряжение $U = 10$ В. Найти: а) изменение емкости, если обратное напряжение становится равным 20 В; б) максимальную напряженность электрического поля в обедненном носителями заряда слое при обратном напряжении, равном 10 В. Относительная диэлектрическая проницаемость кремния $\epsilon = 12$.

Вариант 3.14. Определить диффузионную емкость и высоту потенциального барьера p - n -перехода германиевого диода, если концентрация дырок в p -области $p_p = 10^{15}$ см⁻³, концентрация электронов в n -области $n_n = 10^{16}$ см⁻³, температура $T = 300$ К. Обратный ток насыщения $I_0 = 5$ мкА. Прямое напряжение $U_{пр} = 0,2$ В. Время жизни носителей заряда $\tau = 100$ мкс.

Вариант 3.15. Определить диффузионную емкость C_d , сопротивление $r_{\text{диф}}$ p - n -перехода и объемное сопротивление R_s в эквивалентной схеме германиевого диода, работающего при $T = 300$ К и напряжении $U = 0,25$ В. Радиус p - n -перехода $r = 0,06$ см, обратный ток насыщения $I_0 = 10$ мкА, диффузионная длина электронов $L_n = 0,1$ см, коэффициент диффузии электронов $D_n = 93$ см²/с, удельное сопротивление материала диода p - и n -областей $\rho = 0,1$ Ом·см.

Вариант 3.16. Составить эквивалентную схему германиевого диода и определить ее основные параметры, если концентрация дырок в p -области $p_p = 10^{15}$ см⁻³, а концентрация электронов в n -области $n_n = 10^{16}$ см⁻³, обратный ток насыщения $I_0 = 5$ мкА, прямое напряжение $U_{\text{пр}} = 0,2$ В, температура $T = 300$ К, объемное сопротивление диода $R_s = 1$ Ом, время жизни носителей заряда $\tau_p = 10$ мкс.

Вариант 3.17. Определить полное сопротивление и диффузионную емкость эквивалентной схемы замещения германиевого диода, работающего при $T = 20$ °С, если площадь поперечного сечения p - n -перехода $\Pi = 0,01$ см². Концентрация основных носителей заряда p -области $p_p = 10^{17}$ см⁻³, n -области $n_n = 10^{16}$ см⁻³, значение приложенного напряжения $U_{\text{пр}} = 0,25$ В, коэффициенты диффузии $D_n = 93$ см²/с, $D_p = 44$ см²/с, диффузионные длины носителей заряда $L_n = 0,1$ см, $L_p = 0,07$ см, время жизни носителей заряда $\tau = 10$ мкс.

Вариант 3.18. Определить прямой ток и сопротивление постоянному току R_0 кремниевого диода при напряжении $U_{\text{пр}} = 1$ В, если коэффициент выпрямления кремниевого диода $K_v = 2500$, а обратный ток насыщения $I_0 = 20$ мкА при $U_{\text{обр}} = -1$ В.

Вариант 3.19. Полупроводниковый стабилитрон включен для стабилизации напряжения на нагрузке (см. рис. П.5). Напряжение стабилизации $U_{\text{ст}} = 50$ В, максимальный ток стабилитрона $I_{\text{стmax}} = 40$ мА, минимальный ток стабилитрона $I_{\text{стmin}} = 5$ мА, напряжение источника питания $E = 200$ В. Вычислить ограничительное сопротивление $R_{\text{огр}}$, если ток нагрузки меняется от $I_n = 0$ до $I_{n\text{max}}$. Чему равен максимальный ток нагрузки $I_{n\text{max}}$?

Вариант 3.20. Определить ширину электронно-дырочного перехода l_n и l_p в n - и p -областях соответственно, контактную разность потенциалов φ_k и максимальное значение напряженности электрического поля E_{max} в p - n -переходе кремниевого туннельного диода при $T = 300$ К с $N_a = 10^{19}$ см⁻³.

Задание 4. Раздел "Биполярные транзисторы"

Вариант 4.1. Транзистор p - n - p имеет следующие параметры: $\alpha = 0,99$, $\alpha_I = 0,9$, $I_{\text{эбк}} = 10^{-6}$ А, $I_{\text{кбк}} = 1,1 \cdot 10^{-6}$ А, $T = 300$ К. Определить токи транзистора I_3 , I_6 , I_k , если: а) $U_{\text{эб}} = -5$ В и $U_{\text{кб}} = -10$ В; б) $U_{\text{эб}} = 0,25$ В и $U_{\text{кб}} = -10$ В; в) $U_{\text{эб}} = 0,25$ В и $U_{\text{кб}} = 0,2$ В.

Вариант 4.2. Некоторый p - n - p -транзистор имеет эффективную ширину базы $w = 20$ мкм при некоторых напряжениях на переходах. Ширина эмиттерной области 5 мкм, и ее удельное сопротивление $\rho_3 = 50 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. Эффективное время жизни в базе $\tau_p = 20$ мкс и коэффициент диффузии дырок $D_p = 0,0047$ м²/(В·с). Вычислить коэффициент передачи тока базы β этого транзистора.

Вариант 4.3. Дан кремниевый сплавной p - n - p -транзистора, имеющий следующие данные: удельное сопротивление эмиттера $\rho_3 = 0,1$ Ом·см, удельное сопротивление базы $\rho_6 = 25$ Ом·см, удельное сопротивление коллектора $\rho_k = 5$ Ом·см, ширина базы $w = 2,5 \cdot 10^{-3}$ см. Диаметры эмиттера и коллектора равны 0,05 см. Время жизни неосновных носителей заряда 50 мкс. Транзистор работает при $T = 300$ К. Переходы транзистора резкие. Требуется: а) вычислить высоту потенциальных барьеров эмиттерного и коллекторного переходов; б) определить напряжение эмиттер – база $U_{\text{эб}}$, при котором ток эмиттера $I_3 = 1$ мА (предположить, что работа транзистора происходит в активном режиме при напряжении коллектор – база $U_{\text{кб}} = -10$ В).

Вариант 4.4. Транзистор, имеющий коэффициент передачи тока базы $\beta = 100$, обратный ток коллекторного перехода $I_{\text{кб0}} = 5$ мкА, включен в схему с общим эмиттером. Определите: а) ток эмиттера I_3 ; б) ток базы I_6 ; в) коэффициент передачи тока эмиттера α ; г) обратный ток коллектора $I_{\text{кэ0}}$, если ток коллектора $I_k = 1$ мА.

Вариант 4.5. Транзистор, включенный в схему с общей базой, имеет следующие значения z -параметров: $z_{11} = 700$ Ом; $z_{12} = 500$ Ом; $z_{21} = 80$ кОм; $z_{22} = 100$ кОм. Определить: а) собственные параметры транзистора в Т-образной схеме замещения (r_3 , r_6 , r_k и α); б) Y-параметры.

Вариант 4.6. Транзистор имеет следующие значения h -параметров: $h_{21э} = 60$; $h_{22э} = 0,8$ мкСм; $h_{11э} = 20$ Ом; $h_{12э} = 5 \cdot 10^{-4}$. Определить собственные параметры в Т-образных схемах замещения для транзистора, включенного по схеме с общей базой и общим эмиттером.

Вариант 4.7. Транзистор, включенный в схему с общим эмиттером, имеет следующие параметры: $h_{11э} = 2$ кОм; $h_{12э} = 6 \cdot 10^{-4}$; $h_{21э} = 50$; $h_{22э} = 25$ мкСм. Определить h -параметры этого транзистора, включенного в схему с общей базой.

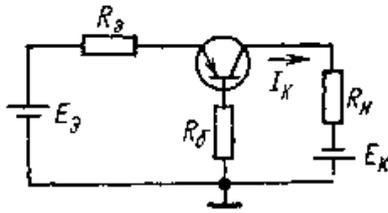


Рис. II.33.

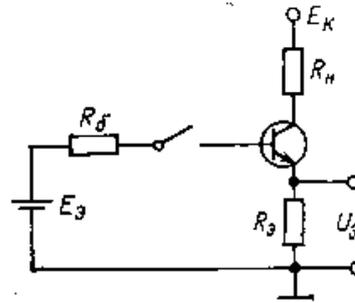


Рис. II.34

Вариант 4.8. Дана схема (рис. II.33), в которой $R_з = 500$ Ом, $E_з = 2$ В, $R_к = 25$ кОм, $R_н = 4$ кОм, $E_к = 16$ В. Транзистор имеет $\alpha = 0,98$, $I_{кб0} = 0$. Определить ток коллектора $I_к$ и напряжение коллектор – база $U_{кб}$.

Вариант 4.9. В схеме на рис. II.34 используется транзистор с коэффициентом передачи тока базы $\beta = 19$. Данные схемы: $R_к = 10$ кОм, $R_з = 0,5$ кОм, $R_н = 5$ кОм, $E_з = 2$ В, $E_к = 15$ В. Определить напряжение $U_э$ при разомкнутом и замкнутом ключе (током $I_{кб0}$ пренебречь)

Вариант 4.10. Транзистор, включенный в схему с общим коллектором, имеет следующие значения h -параметров: $h_{11к} = 22$ кОм, $h_{12к} = 1$, $h_{21к} = -31$, $h_{22к} = 23 \cdot 10^{-6}$ См. Сопротивление резистора нагрузки в цепи эмиттера $R_н = 1$ кОм, внутреннее сопротивление источника сигнала $R_г = 10$ кОм. Определить коэффициенты усиления по току K_I , по напряжению K_U и по мощности K_P , входное сопротивление $R_{вх}$, выходное сопротивление $R_{вых}$.

Вариант 4.11. Вычислить напряженность электрического поля в p -базе диффузионного транзистора с экспоненциальным распределением примеси в базе и время пролета носителей через базу, если дано: материал – германий, концентрация примеси меняется от 10^{18} см $^{-3}$ при $x = 0$ до $2,5 \cdot 10^{13}$ см $^{-3}$ при $x = w$, а ширина базы $w = 2$ мкм (при вычислении времени пролета принять, что перенос носителей в базе осуществляется только диффузионным путем).

Вариант 4.12. Емкость коллекторного перехода германиевого сплавного транзистора равна 10 пФ при обратном напряжении смещения 10 В. Чему равна емкость при нулевом напряжении смещения (считайте контактную разность потенциалов $\phi_к = 0,3$ В)?

Вариант 4.13. В германиевом $p-n-p$ транзисторе с толщиной базы $w = 2 \cdot 10^{-4}$ см, работающем при температуре $T = 300$ К, ток эмиттера $I_э = 2$ мА. Определить сопротивление эмиттера, время пролета носителей через базу, предельную частоту $f_{h_{21э}}$, диффузионную емкость эмиттерного перехода.

Вариант 4.14. На частоте 20 МГц транзистор имеет $|h_{21э}| = 9$. Чему равна граничная частота $f_{гп}$? Чему равен $|h_{21э}|$ на частоте 6 МГц, если на частоте 1 кГц $h_{21э} = 30$?

Вариант 4.15. Определить предельную частоту передачи тока транзистора ГТ104 при включении его в схему с общей базой, если граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером этого транзистора $f_{гп} = 160$ МГц, а коэффициент передачи тока базы $h_{21э0} = 50$.

Вариант 4.16. Предельная частота передачи тока эмиттера в схеме с общей базой транзистора $f_{h_{21э}} = 20$ МГц, $h_{21э0} = -0,98$. Подсчитать коэффициент передачи тока этого транзистора на частоте 100 кГц в схеме с общим эмиттером.

Вариант 4.17. Некоторый транзистор при $T = 300$ К в рабочей точке при $I_к = 5$ мА и $U_{кэ} = 10$ В имеет следующие значения параметров: $h_{21э} = 100$, $h_{11э} = 600$ Ом, $|h_{21э}| = 10$ при $f = 10$ МГц, $C_к = 3$ пФ. Определить: $f_{h_{21э}}$, $f_{гп}$, $f_{h_{21э}}$, $C_э$, $r_{б'э}$ и $r_{бб'}$.

Вариант 4.18. Кремниевый планарный транзистор при $T = 300$ К в рабочей точке с координатами $U_{кз} = 10$ В и $I_{к} = 2$ мА имеет следующие значения параметров гибридной схемы замещения $C_{к} = 2$ пФ, $g_{кз} = 30$ мкСм. Определить параметры $C_{к}$ и $g_{кз}$ в рабочей точке с координатами $U_{кз} = 6$ В и $I_{к} = 5$ мА, если известно, что при $U_{кз} = 10$ В и $I_{к} = 0$ емкость $C_{к} = 1,8$ пФ.

Вариант 4.19. В кремниевом полевом транзисторе с управляющим p - n -переходом с каналом p -типа половина ширины канала при напряжении $U_{зи} = 0$ составляет 3 мкм. Удельное сопротивление канала равно 0,1 Ом·м. Определить: а) напряжение отсечки $U_{отс}$, полагая, что подвижность дырок $\mu_p = 0,05$ м²/(В·с) и относительная диэлектрическая проницаемость кремния $\epsilon = 12$; б) половину ширины канала, если напряжение затвора $U_{зи} = U_{отс}/2$ и ток стока равен нулю.

Вариант 4.20. Крутизна полевого транзистора S с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа в области насыщения при напряжении $U_{зи} = -0,7$ В и $U_{си} = 10$ В равна 1 мА/В. Чему равна крутизна транзистора при напряжениях $U_{зи} = -1$ В и $U_{си} = 10$ В, если напряжение отсечки транзистора $U_{отс} = +3$ В.

Задание 5. Раздел «Интегральные микросхемы»

Разработать логические схемы для реализации частично определенных логических функций четырех аргументов, заданных в таблицах. Каждая комбинация значений аргументов двоичных переменных $ABCD$ отображается числом N , равным: $2^3D + 2^2C + 2^1B + 2^0A$. Значения функций при неуказанных комбинациях значений аргументов необходимо доопределить для получения схемы с минимальным числом элементов. Минимизацию логической функции проводить с помощью карт Карно или логического преобразователя.

Разработку провести на базе следующих типов элементов и схем:

элементы 2И, 2ИЛИ, НЕ;

элементы 2И—НЕ;

элементы 2ИЛИ—НЕ;

логические схемы серии 74, содержащие указанные элементы.

Пример. Таблица 1.2 соответствует таблице 1.1.

Таблица 1.1

N	4	6	7	8	9	11	12	13	14	15
F	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1

Таблица 1.2

N	D	C	B	A	F
4	0	1	0	0	0
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	0
14	1	1	1	0	0
15	1	1	1	1	1

Из карты Карно, составленной на основе данных табл. 1.2, следует, что минимальный вариант решения задачи имеет вид:

$$F = \overline{D}B \vee BA \vee \overline{C}A = B(\overline{D} \vee A) \vee \overline{C}A = \overline{D}B \vee A(B \vee \overline{C}) = B(\overline{D} \vee A) \vee A(B \vee \overline{C}).$$

Варианты контрольной работы приведены в УМП дисциплины.

6.3. Методические указания для выполнения курсовых работ (проектов)

Курсового проекта (работы) по дисциплине учебным планом не предусмотрено.

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (экзамен)

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить уровень сформированности компетенций и результаты освоения дисциплины, представлены следующими компонентами:

Код оцениваемой компетенции (или ее части)	Тип контроля (текущий, промежуточный)	Вид контроля (устный опрос, письменный ответ, понятийный диктант, компьютерный тест, др.)	Количество Элементов (количество вопросов, заданий), шт.
ОК 1	текущий	устный опрос, понятийный диктант	1-12
ОК 2	текущий	устный опрос	6-18
ОК 3	текущий	устный опрос	6-57
ОК 4	текущий	устный опрос, понятийный диктант	1-34
ОК 5	текущий	устный опрос	6-36
ОК 6	текущий	устный опрос	6-23
ОК 7	текущий	устный опрос	14-36
ОК 8	текущий	устный опрос	34-56
ОК 9	текущий	устный опрос	6-35
ПК 1.1	промежуточный	устный опрос, понятийный диктант	7-67
ПК 2.3	промежуточный	устный опрос, понятийный диктант, компьютерный тест	6-67
ОК 1-9, ПК 1.1, ПК 2.3	промежуточный	Экзамен	1-67

7.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Результаты освоения дисциплины	Оценочные средства (перечень вопросов, заданий и др.)
Знает: принципы функционирования интегрирующих и дифференцирующих RC-цепей; технологию изготовления и принципы функционирования полупроводниковых диодов и транзисторов, тиристора, аналоговых	<ol style="list-style-type: none"> 1. Как делятся все материалы по способности проводить электрический ток? 2. Как влияет изменение температуры полупроводника на его проводимость? 3. Для чего в чистые полупроводники вводят примеси? 4. Как получить примесные полупроводники P и N типа? 5. Что происходит на границе контакта

электронных устройств;
 свойства идеального операционного усилителя;
 принципы действия генераторов прямоугольных импульсов, мультивибраторов;
 особенности построения диодно-резистивных, диодно-транзисторных и транзисторно-транзисторных схем реализации булевых функций;
 цифровые интегральные схемы: режимы работы, параметры и характеристики, особенности применения при разработке цифровых устройств;
 этапы эволюционного развития интегральных схем: большие интегральные схемы, сверхбольшие интегральные схемы, микропроцессоры в виде одной или нескольких сверхбольших интегральных схем, переход к нанотехнологиям производства интегральных схем, тенденции развития (ПК 1.1);
 и понимает сущность и социальную значимость своей будущей профессии и проявляет к ней устойчивый интерес (ОК 1).

- полупроводников Р и N типа?
6. Чем объясняется односторонняя проводимость PN-перехода?
 7. Где используется PN-переход?
 8. На какие группы делятся диоды по площади PN-переход?
 9. По каким причинам может произойти пробой выпрямительных диодов?
 10. Какие параметры нужно учитывать при выборе выпрямительных диодов?
 11. Почему при включении стабилитрона параллельно нагрузке, но без балластного сопротивления, напряжение на нагрузке не будет стабилизированным?
 12. Почему при увеличении прямого напряжения, приложенного к туннельному диоду, появляется падающий участок на ВАХ?
 13. Из-за каких преимуществ обращенные диоды применяются в средствах вычислительной техники?
 14. Почему у варикапов с изменением приложенного напряжения изменяется ёмкость PN-перехода?
 15. Каковы различия между биполярными транзисторами различных типов по принципу их действия и подключении в электрическую цепь?
 16. Каковы функции эмиттерного и коллекторного переходов и базы в биполярном транзисторе?
 17. Изобразите схемы для снятия входных и выходных характеристик транзистора, включенных по схеме ОБ и ОЭ. Что изменяется с изменением схемы включения транзистора?
 18. В какой электронной аппаратуре используется ключевой режим работы транзистора?
 19. Какой параметр будет определяющим при работе транзистора в активном режиме?
 20. В чем отличие в принципе действия между биполярными и полевыми транзисторами?

Умеет:

различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;
 определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах; использовать операционные усилители для построения различных схем;
 применять логические элементы, для построения логических схем, грамотно выбирать их параметры и схемы включения;
 организовывать собственную деятельность, выбирать типовые

1. На какие типы делятся полевые транзисторы по способу создания канала?
2. В чем преимущества полевых транзисторов в сравнении с биполярными?
3. Чем вызван переход тиристора из закрытого состояния в открытое?
4. Как можно снизить напряжение открывания у управляемых тиристоров?
5. Где применяются тиристоры?
6. Назвать основные типы фотоэлементов?
7. В чем состоит основной принцип работы фотоэлементов?
8. Основные области применения фото- и светоэлементов.
9. В чем заключается принципиальная разница работы фото- и светоэлементов?
10. Назвать основные типы оптопар.
11. В чем заключаются основные преимущества

<p>методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество (ОК 2); брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий (ОК 7).</p>	<p>использовании оптронов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 12. Назвать основные характеристики оптопар. 13. Назовите преимущественные показатели ИМС перед дискретными схемами. 14. Поясните технологии изготовления ИМС полупроводниковых и гибридных. 15. В чем разница между аналоговыми и логическими ИМС? 16. Поясните, что называют БИС? Что такое степень интеграции? 17. Какую роль выполняет подложка (основание) ИМС? Из каких материалов она изготавливается? 18. В каких устройствах и для чего используются импульсы? 19. Какую информацию могут нести импульсы, их формы и параметры? 20. Поясните работу транзистора в ключевом режиме.
<p>Имеет практический опыт: работы в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями (ОК 6); осуществления поиска и использования информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития (ОК 4). использования информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности (ОК 5). самостоятельного определения задач профессионального и личностного развития, занятия самообразованием, осознанного планирования повышения квалификации (ОК 8); ориентирования в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности (ОК 9).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Для чего и где применяются логические элементы? 2. Какие логические функции они реализуют? 3. Что представляют собой операционные усилители и для чего они применяются? 4. В чем преимущества усилителей, выполненных в интегральном исполнении? 5. Поясните назначение и классификацию электронных усилителей. 6. Назовите основные параметры усилителей. 7. Какие режимы работы усилителей применяются и как они определяются? 8. Что называется обратной связью в усилителях и для чего она вводится? 9. Нарисуйте схему однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе и произведите графический анализ его работы. 10. В чем отличие усилителей мощности от усилителей напряжения? 11. В чем разница между одноконтурными и двухконтурными усилителями мощности? 12. В чем особенность построения и работа усилителей постоянного тока? 13. Каковы недостатки в них по сравнению с усилителями переменного тока? 14. Что такое дифференциальный усилитель постоянного тока? 15. Дать определение электронного генератора. Виды генераторов. 16. Где применяются электронные генераторы? 17. Какие виды электрических колебаний бывают и как они изображаются на графиках? 18. Изобразите схемы генераторов гармонических колебаний на биполярных транзисторах с самовозбуждением и посторонним возбуждением. 19. Поясните условия самовозбуждения автогенератора.

	<p>20. Для чего применяется кварцевая стабилизация частоты в автогенераторах?</p> <p>21. В чем преимущества и недостатки RC-генератора по сравнению с LC-генераторами?</p> <p>22. Для чего используются выпрямители?</p> <p>23. Из каких элементов состоит блок выпрямителя в общем виде? Назначение каждого элемента схемы.</p> <p>24. Изобразите схемы однофазных неуправляемых диодных выпрямителей и с помощью графиков поясните их работу.</p> <p>25. Как выбирают диоды в схемы выпрямителей из условий заданного прямого тока и действующего на диод обратного напряжения?</p> <p>26. Поясните назначение сглаживающих фильтров с помощью графиков заряда и разряда конденсаторов.</p> <p>27. Какие типы фильтров могут применяться и как оценивается их работа?</p> <p>28. Для чего используются стабилизаторы напряжения, их типы.</p>
--	---

7.2. Методические рекомендации к определению процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Рабочая учебная программа дисциплины содержит следующие структурные элементы:

- перечень компетенций, формируемых в результате изучения дисциплины с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы (далее – задания). Задания по каждой компетенции, как правило, не должны повторяться.

Требования по формированию задания на оценку ЗНАНИЙ:

- обучающийся должен воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты;
- применяются средства оценивания компетенций: тестирование, вопросы по основным понятиям дисциплины и т.п.

Требования по формированию задания на оценку УМЕНИЙ:

- обучающийся должен решать типовые задачи (выполнять задания) на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения;
- применяются следующие средства оценивания компетенций: простые ситуационные задачи (задания) с коротким ответом или простым действием, упражнения, задания на соответствие или на установление правильной последовательности, эссе и другое.

Требования по формированию задания на оценку навыков и (или) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ:

- обучающийся должен решать усложненные задачи (выполнять задания) на основе приобретенных знаний, умений и навыков, с их применением в определенных ситуациях;
- применяются средства оценивания компетенций: задания требующие многошаговых решений как в известной, так и в нестандартной ситуациях, задания, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, ситуационные задачи, проектная деятельность, задания расчетно-графического типа. Средства оценивания компетенций выбираются в соответствии с заявленными результатами обучения по дисциплине.

Процедура выставления оценки доводится до сведения обучающихся в течение месяца с начала изучения дисциплины путем ознакомления их с технологической картой дисциплины, которая является неотъемлемой частью рабочей учебной программы по дисциплине.

В результате оценивания компетенций на различных этапах их формирования по дисциплине студенту начисляются баллы по шкале, указанной в рабочей учебной программе по дисциплине.

7.3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Успешность усвоения дисциплины характеризуется качественной оценкой на основе листа оценки сформированности компетенций, который является приложением к зачетно-экзаменационной ведомости при проведении промежуточной аттестации по дисциплине.

Критерии оценивания компетенций

Компетенция считается сформированной, если теоретическое содержание курса освоено полностью; при устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний, использует в ответе дополнительный материал; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий, качество их выполнения оценено числом баллов от 86 до 100, что соответствует *повышенному уровню* сформированности компетенции.

Компетенция считается сформированной, если теоретическое содержание курса освоено полностью; при устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий, качество их выполнения оценено числом баллов от 61 до 85,9, что соответствует *пороговому уровню* сформированности компетенции.

Компетенция считается несформированной, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, не демонстрирует необходимых умений, доля невыполненных заданий, предусмотренных рабочей учебной программой составляет 55 %, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже 61, что соответствует *допороговому уровню*.

Шкала оценки уровня освоения дисциплины

Качественная оценка может быть выражена: в процентном отношении качества усвоения дисциплины, которая соответствует баллам, и переводится в уровневую шкалу и оценки «отлично» / 5, «хорошо» / 4, «удовлетворительно» / 3, «неудовлетворительно» / 2, «зачтено», «не зачтено». Преподаватель ведет письменный учет текущей успеваемости студента в соответствии с технологической картой по дисциплине.

Шкала оценки результатов освоения дисциплины, сформированности компетенций

Шкалы оценки уровня сформированности компетенции (й)		Шкала оценки уровня освоения дисциплины		
Уровневая шкала оценки компетенций	100 бальная шкала, %	100 бальная шкала, %	5-бальная шкала, дифференцированная оценка/балл	недифференцированная оценка
допороговый	ниже 61	ниже 61	«неудовлетворительно» / 2	не зачтено
пороговый	61-85,9	70-85,9	«хорошо» / 4	зачтено

		61-69,9	«удовлетворительно» / 3	зачтено
повышенный	86-100	86-100	«отлично» / 5	зачтено

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплине

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Списки основной литературы

1. Каганов, В. И. Прикладная электроника [Текст] : учеб. для студентов сред. проф. образования по специальности "Компьютер. системы и комплексы" / В. И. Каганов. - М. : Академия, 2015. - 236 с. : ил.
2. Ситников, А. В. Прикладная электроника [Электронный ресурс] : учеб. для студентов сред. проф. образования по специальности 09.02.01 "Компьютер. системы и комплексы" / А. В. Ситников, И. А. Ситников. - Документ Bookread2. - М. : Курс [и др.], 2017. - 270 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=851567>.

Списки дополнительной литературы

3. Гальперин, М. В. Электронная техника [Электронный ресурс] : учеб. для сред. проф. образования по группам специальностей "Приборостроение", "Электроника и микроэлектроника, радиотехника и телекоммуникации", "Автоматизация и упр.", "Информатика и вычисл. техника" / М. В. Гальперин. - 2-е изд., испр. и доп. - Документ Bookread2. - М. : ФОРУМ [и др.], 2018. - 352 с. : схем. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=926466>.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет"), необходимых для освоения МДК

Интернет-ресурсы

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>. - Загл с экрана
2. Универсальные базы данных East View [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ebiblioteka.ru/>. - Загл. с экрана.
3. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/>. - Загл. с экрана.
4. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
5. Электронно-библиотечная система Лань [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/books>. - Загл. с экрана.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Краткая характеристика применяемого программного обеспечения

№ п/п	Программный продукт	Характеристика	Назначение при освоении дисциплины
-------	---------------------	----------------	------------------------------------

1	Операционная система Microsoft Windows или Linux.	Базовый комплекс компьютерных программ, обеспечивающих управление аппаратными средствами компьютера	Обеспечение выполнения прикладных программ: Модель учебной ЭВМ; MS Office; Браузер Chrome или IE версии 9 или выше.
2	Пакеты ППО машинного моделирования Electronics Workbench (Multisim)	Пакет схемотехнического моделирования цифровых, аналоговых и аналого-цифровых устройств	Используется при выполнении практических и лабораторных работ
3	MS Office	Включает основные пакеты программ для набора и редактирования текстов, таблиц и т.д.	Используется для оформления отчетов, заданий и т.д.
4	Браузер Chrome или IE версии 9 или выше	Компьютерная программа как соединяющее звено между Интернетом и человеком	Используется для поиска информации в сети Интернет

10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Реализация программы дисциплины в соответствии с требованиями ФГОС СПО по специальности требует наличие учебного кабинета, укомплектованного специализированной мебелью, техническими средствами обучения, и лаборатории электронной техники, оснащенной лабораторным оборудованием различной степени сложности

