

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФРТЭ В.А. Небольсин

«29» июня 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Электроника и схемотехника»

**Направление подготовки 16.03.01 ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

**Профиль Физическая электроника**

**Квалификация выпускника бакалавр**

**Нормативный период обучения 4 года**

**Форма обучения очная**

**Год начала подготовки 2018**

Автор программы

/Коротков Л.Н. /

И.о. заведующего кафедрой  
физики твердого тела

/Костюченко А.В./

Руководитель ОПОП

/ Янченко Л.И./

Воронеж 2018

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в твёрдотельных электронных приборах. Освоение основных схемотехнических решений функциональных узлов аналоговой и цифровой электроники.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

1. Изучение студентами основ физики полупроводников.
2. Освоение студентами начал физических теорий, позволяющих описать устройство и принцип действия основных приборов твёрдотельной электроники;
3. Ознакомление студентов с методами экспериментального определения основных характеристик и параметров приборов электронной техники.
4. Изучение схемотехники базовых аналоговых и цифровых устройств электронной техники и методов ее проектирования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Электроника и схемотехника» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Электроника и схемотехника» направлен на формирование следующих компетенций:

ДПК-5 - способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок физической электроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

ОПК-2 - способностью применять методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности

ОПК-8 - способностью самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ДПК-5	<b>знать</b> физические основы функционирования, основные технические параметры и эксплуатационные характеристики твердотельных электронных приборов.
	<b>уметь</b> строить простейшие физические и математические модели приборов твердотельной электроники.
	<b>владеть</b> стандартными программными средствами компьютерного моделирования приборов твердотельной

	электроники.
ОПК-2	<b>знать</b> методы моделирования приборов и устройств твердотельной электроники
	<b>уметь</b> применять методы математического анализа для расчета полупроводниковых приборов и устройств на их основе.
	<b>владеть</b> навыками расчета электрофизических параметров и характеристик полупроводниковых приборов и устройств на их основе.
ОПК-8	<b>знать</b> измерительную аппаратуру и методы измерения технических характеристик приборов и устройств твердотельной электроники
	<b>уметь</b> проводить измерения параметров и характеристик приборов полупроводниковой электроники и простейших электронных схем на их основе.
	<b>владеть</b> навыками эксплуатации стандартного измерительного оборудования и приборов для измерений параметров электронных схем и анализа их работы.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Электроника и схемотехника» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	126	72	54
В том числе:			
Лекции	72	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18	-
Лабораторные работы (ЛР)	36	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	162	108	54
<b>Курсовой проект</b>	+		+
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	324	180	144
зач.ед.	9	5	4

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего , час
1	Физические основы твёрдотельной электроники	<p>1. Энергетические зоны и свободные носители заряда в твёрдых телах. Модельные представления о механизме образования свободных носителей заряда и зарядопереносе в собственных и примесных полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда в полупроводниках.</p> <p>2. Плотность электронных состояний в разрешённых зонах. Вероятность заполнения электронных состояний в полупроводниках. Функция распределения Ферми-Дирака при умеренных температурах.</p> <p>3. Уровень Ферми и равновесная концентрация свободных носителей заряда в невырожденных полупроводниках. Уравнение электронейтральности для полупроводников. Закон действующих масс для невырожденных полупроводников.</p> <p>4. Температурная зависимость равновесной концентрации и положения уровня Ферми в невырожденных полупроводниках. Неравновесные носители заряда в полупроводниках.</p> <p>5. Элементарная теория электропроводности. Диффузия и дрейф свободных носителей заряда в полупроводниках. Подвижность свободных носителей заряда. Диффузионные и полные токи свободных носителей заряда. Уравнение непрерывности. Диффузионно-дрейфовое равновесие в неоднородно легированных полупроводниках.</p> <p>6. Эффект поля в полупроводниках. Режим обогащения и обеднения, пороговое поле. Длина экранирования Дебая. Приближение полного обеднения. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма. Расчет концентрации носителей.</p>	12	6	-	32	50
2	Контакт металл - полупроводник. Диод Шоттки	<p>Общие сведения о контактах металл-полупроводник. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма и распределение носителей заряда в окрестности барьера Шоттки в состоянии равновесия. Барьерная емкость. Эффект выпрямления на барьере Шоттки. ВАХ выпрямляющего контакта металл-полупроводник. Невыпрямляющие контакты металл-полупроводник.</p>	4	2	-	18	24
3	Контакт электронного и дырочного полупроводников.	<p>Контакт электронного и дырочного полупроводников. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности р-п перехода в состоянии равновесия. Контактная разность потенциалов. Ширина резкого р-п перехода. Барьерная емкость. Распределение носителей заряда.</p> <p>Эффект выпрямления на р-п переходе. Явление инжекции и экстракции неосновных носи-</p>	6	2	4	18	30

		телей заряда. ВАХ р-n перехода с широкой базой. Пробой р-n перехода					
4	Биполярный транзистор (БТ)	Устройство и электрофизические процессы в биполярном транзисторе (БТ). Усиление сигнала биполярным транзистором. Связь управляемого и управляющего токов БТ в схеме с общей базой и в схеме с общим эмиттером. Коэффициент инжекции, коэффициент переноса и эффективность коллектора. Модуляция толщины базы коллекторным напряжением. Зависимость коэффициента передачи от тока коллектора. Режимы работы и схемы включения БТ. Статические характеристики БТ. Эквивалентные схемы БТ. Динамические характеристики.	6	4	4	18	32
5	Полевой транзистор с управляющим р-n переходом (ПТУП)	Общие сведения о полевых транзисторах и их классификация. Структура и топология интегрального полевого транзистора с р-n затвором. Схема включения и рабочие напряжения полевого транзистора с р-n затвором. Влияние напряжения затвор-исток и сток-исток на процессы в канале и величину тока стока. Принцип действия полевого транзистора с р-n затвором. Выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с р-n затвором. Эквивалентные схемы ПТУП	4	2	4	10	20
6	Полевой транзистор с изолированным затвором	Физические процессы в структуре и принцип действия МОП-транзистора с индуцированным каналом. Выходные и передаточные характеристики МОП-транзисторов. Структура и топология интегральных МОП-транзисторов. Схема включения и рабочие напряжения полевого МОП-транзистора с индуцированным каналом.	4	2	6	12	24
		<b>Итого, за 5 семестр</b>	36	18	18	108	180
7	Пассивные компоненты электронных схем	Пассивные элементы электрических цепей. Резисторы, электрические конденсаторы, катушки индуктивности. Приборы функциональной электроники. Пьезоэлектрические резонаторы, трансформаторы, фильтры, линии задержки.	4	-		4	8
8	Электронные усилители	1. Классификация усилителей. Основные параметры и характеристики усилителя: коэффициент усиления, АЧХ, диапазон рабочих частот, амплитудная характеристика, динамический диапазон, линейные и нелинейные искажения. 2. Обратная связь (ОС) в усилителях. Виды классификации ОС. Способы подключения цепи ОС. Влияние отрицательной ОС на основные свойства усилителей. Критерий устойчивости Найквиста	4	-	4	12	20
9	Усилительные каскады на транзисторах.	1. Схема включения биполярного транзистора «с общим эмиттером». Нагрузочная прямая, рабочая точка. Коэффициент усиления	6	-	4	16	26

		каскада, входное и выходное сопротивление каскада. 2. Включение биполярного транзистора по схемам «с общей базой». «с общим коллектором». Дифференциальный усилительный каскад. 3. Мощные усилительные каскады. Усилители постоянного тока. Многокаскадные усилители, элементы межкаскадной связи.					
10	Операционный усилитель (ОУ) и основные схемы его включения.	Операционный усилитель. Инвертирующая, неинвертирующая и дифференциальная схемы включения. Схемы суммирования, вычитания, логарифмирования и антилогарифмирования сигналов. Схемы умножения, деления, интегрирования и дифференцирования сигналов на ОУ. Компараторы. Триггер Шмидта	6	-		8	14
11	Генераторы электрических сигналов	Классификация генераторов. LC-генератор, - RC генератор синусоидального напряжения, блокинг генератор, мультивибратор.	6	-	4	6	16
12	Цифровая электроника	Логические выражения. Электронные ключи, базовые логические элементы, триггеры, цифровые функциональные узлы. Микропроцессор, архитектура микропроцессора. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи	10	-	6	8	24
		<b>Итого, за 6 семестр</b>	36	-	18	54	108
	Экзамен						36
		<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>162</b>	<b>288</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Изучение полупроводниковых диодов.
2. Изучение статических характеристик биполярных транзисторов
3. Изучение полевых транзисторов с управляющим p-n переходом
4. Изучение МОП-транзисторов.
5. Исследование эмиттерного повторителя
6. Исследование двухтактного оконечного каскада усилителя низкой частоты.
7. Исследование симметричного мультивибратора на биполярных транзисторах.
8. Исследование  $RS$  – триггера на интегральных микросхемах

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 6 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Проектирование усилителя мощности низкой частоты»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- 1. Оценка напряжения источника питания и допустимых параметров

транзисторов.

- 2. Построение принципиальной электрической схемы усилителя.
- 3. Расчет электрической схемы

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ДПК-5	<b>знать</b> физические основы функционирования, основные технические параметры и эксплуатационные характеристики твердотельных электронных приборов.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> строить простейшие физические и математические модели приборов твердотельной электроники.	Своевременное оформление отчетов по лабораторным работам. Умение обрабатывать экспериментальные данные в рамках существующих моделей прибора.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> стандартными программными средствами компьютерного моделирования приборов твердотельной электроники.	Решение прикладных задач на практических занятиях и в ходе защиты лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	<b>знать</b> методы моделирования приборов и устройств твердотельной электроники	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> применять методы математического анализа для расчета полупроводниковых приборов и устройств на их основе.	Своевременное оформление отчетов по лабораторным работам. Умение обрабатывать экспериментальные данные в рамках существующих физических моделей прибора.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> навыками	Решение прикладных задач на	Выполнение работ в	Невыполнение ра-

	расчета электрофизических параметров и характеристик полупроводниковых приборов и устройств на их основе.	практических занятиях и в ходе подготовки к защите лабораторных работ.	срок, предусмотренный в рабочих программах	бот в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-8	<b>знать</b> измерительную аппаратуру и методы измерения технических характеристик приборов и устройств твердотельной электроники	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> проводить измерения параметров и характеристик приборов полупроводниковой электроники и простейших электронных схем на их основе.	Активное выполнение практической части лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> навыками эксплуатации стандартного измерительного оборудования и приборов для измерений параметров электронных схем и анализа их работы.	Решение прикладных задач на практических занятиях и в ходе подготовки к защите лабораторных работ. Выполнение курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6 семестре для очной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ДПК-5	<b>знать</b> физические основы функционирования, основные технические параметры и эксплуатационные характеристики твердотельных электронных приборов.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>уметь</b> строить простейшие физические и математические модели приборов твердотельной электроники.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> стандартными программными средствами компьютерного моделирования приборов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	ров твердотельной электроники.			
ОПК-2	<b>знать</b> методы моделирования приборов и устройств твердотельной электроники	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>уметь</b> применять методы математического анализа для расчета полупроводниковых приборов и устройств на их основе.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками расчета электрофизических параметров и характеристик полупроводниковых приборов и устройств на их основе.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-8	<b>знать</b> измерительную аппаратуру и методы измерения технических характеристик приборов и устройств твердотельной электроники	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>уметь</b> проводить измерения параметров и характеристик приборов полупроводниковой электроники и простейших электронных схем на их основе.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками эксплуатации стандартного измерительного оборудования и приборов для измерений параметров электронных схем и анализа их работы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

ИЛИ

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ДПК-5	<b>знать</b> физические основы	Тест	Выполнение теста на 90-	Выполнение теста на 80-	Выполнение теста на 70-	В тесте менее 70%

	функционирования, основные технические параметры и эксплуатационные характеристики твердотельных электронных приборов.		100%	90%	80%	правильных ответов
	<b>уметь</b> строить простейшие физические и математические модели приборов твердотельной электроники.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> стандартными программными средствами компьютерного моделирования приборов твердотельной электроники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	<b>знать</b> методы моделирования приборов и устройств твердотельной электроники	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<b>уметь</b> применять методы математического анализа для расчета полупроводниковых приборов и устройств на их основе.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками расчета электрофизических параметров и характеристик полупроводниковых приборов и устройств на их основе.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-8	<b>знать</b> измерительную аппаратуру и методы измерения технических характеристик приборов и устройств твердотельной электроники	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<b>уметь</b> проводить измерения параметров и харак-	Решение стандартных практических	Задачи решены в полном объеме и по-	Продемонстрирован верный ход ре-	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

теристик приборов полупроводниковой электроники и простейших электронных схем на их основе.	задач	лучены верные ответы	шения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	большинстве задач	
<b>владеть</b> навыками эксплуатации стандартного измерительного оборудования и приборов для измерений параметров электронных схем и анализа их работы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

#### нанию

Какое выражение связывает между собой концентрацию основных и неосновных носителей в невырожденном полупроводнике?

- $n_0 p_0 = (n_i)^2$
- $n_0 = n_i - p_0$
- $n_0 = n_i / p_0$

Правильный ответ – 1.

2. Определить концентрацию дырок (в  $\text{см}^{-3}$ ) при  $T = 300 \text{ K}$  в кристалле кремния, содержащем  $10^{16}$  ионизированных атомов сурьмы в куб. см.

Ответы:

- $10^{16} \text{ см}^{-3}$
- $10^6 \text{ см}^{-3}$
- $10^{12} \text{ м}^{-3}$

Правильные ответы – 2 и 3.

3. Направленное движение носителей заряда под действием электрического поля называют:

- 1 - дрейфом,
- 2- диффузией,
- 3- подвижностью носителей заряда.

Правильный ответ – 1.

4. Назовите физический смысл «эффективной плотности состояний электронов в зоне проводимости» .

Ответы:

1. Эффективная плотность состояний электронов ( $N_c$ ) соответствует числу электронов в зоне проводимости невырожденного полупроводника.
2. Эффективная плотность состояний электронов ( $N_c$ ) соответствует числу электронов в запрещенной зоне невырожденного полупроводника.
3. Эффективная плотность состояний электронов ( $N_c$ ) соответствует числу электронов в зоне проводимости невырожденного полупроводника на энергетических уровнях положение которых соответствует дну зоны проводимости ( $E_c$ ).

Правильный ответ – 3.

5. Диффузионная длина — это:

1 - расстояние, на котором при одномерной диффузии в полупроводнике без электрического поля в нем избыточная концентрация носителей заряда уменьшается вследствие рекомбинации в 2,72 раза;

2 - Расстояние, на которое носители заряда диффундируют за время жизни;

3 - среднее расстояние, проходимое носителями заряда между двумя последовательными актами рассеяния;

4- величина, связанная с временем жизни неравновесных носителей заряда соотношением  $L = \sqrt{D\tau}$ .

Правильные ответы: 1, 2, 4.

5) Как изменяется высота потенциального барьера p-n-перехода с изменением концентрации примесей в прилегающих к переходу областях:

1- возрастает при увеличении концентрации примесей в соответствующих областях,

2 - уменьшается при увеличении концентрации примесей в соответствующих областях,

Правильный ответ: 1.

6) Базой полупроводникового прибора называют:

1 - область, в которую происходит инжекция неосновных для этой области носителей заряда,

2 - область, в которую происходит экстракция основных для этой области носителей заряда,

3- область, из которой происходит инжекция основных для этой области носителей заряда,

4 - область, из которой происходит экстракция неосновных для этой области носителей заряда.

Правильные ответы: 1, 4.

7. Электронно-дырочный переход смещен в прямом направлении, если к нему приложено внешнее напряжение:

1 - полярность которого совпадает с полярностью контактной разности потенциалов,

2 - создающее напряженность электрического поля, которая противоположна по направлению напряженности внутреннего электрического поля,

3- «плюсом» к p-области, а «минусом» к n-области,

4 - «минусом» к p-области, а «плюсом» к n-области,

5 - уменьшающее суммарную напряженность электрического поля в переходе,

6- уменьшающее высоту потенциального барьера.

Правильные ответы: 2,3,5 б.

8. Контакт металл-полупроводник обладает выпрямительными свойствами:

1 - в режиме обеднения,

2 - в режиме обогащения,

3 - в режиме слабой инверсии,

4 - в режиме сильной инверсии.

Правильный ответ: 1.

9. Условие, при котором можно пользоваться приближением полного обеднения.

1.  $kT/q \gg \phi_s$  ( $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $q$  – заряд электрона,  $\phi_s$  – потенциал на поверхности полупроводника)

2.  $kT/q \ll \phi_s$

3.  $kT/q \approx \phi_s$

Правильный ответ - 2.

10. Как изменяется барьерная емкость при увеличении обратного напряжения на p-n-переходе?

1 – возрастает

2 – не меняется

3 - уменьшается

Правильный ответ - 3.

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных за-

### дач

1. Однородно легированный кремний n – типа имеет концентрацию легирующей примеси  $N_D = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Оценить величину дебаевской длины экранирования  $L_D$  при  $T = 300 \text{ К}$ .

Ответ:  $L_D \approx 0,13 \text{ мкм}$

2. Определить собственную концентрацию носителей заряда  $n_i$  в кремнии при температуре  $300 \text{ К}$ , если известно, что  $m_n^* = 1,08m_0$ ,  $m_p^* = 0,56m_0$  при  $T = 300 \text{ К}$ ,  $E_g = 1,11 \text{ эВ}$ , а  $kT = 0,0255 \text{ эВ}$ .

Ответ:  $n_i = 1,9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ .

3. Образец из полупроводника в форме прямоугольного параллелепипеда размером  $0,25 \times 0,25 \times 0,05 \text{ см}$  характеризуется концентрацией носителей  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ . К двум противоположным узким граням приложено напряжение  $U = 15 \text{ В}$ . Найти значение тока в мА, полагая подвижность носителей заряда  $500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ .

Ответ:  $60 \text{ мА}$ .

4. Ток коллектора биполярного транзистора, работающего в режиме насыщения, равен  $10 \text{ мА}$ , коэффициент передачи тока базы равен  $50$ , коэффициент насыщения равен  $1.2$ . Определить ток базы в мкА.

Ответ:  $240 \text{ мкА}$ .

5. Вычислить прямое напряжение (в мВ) на p-n-переходе при прямом токе  $I = 9 \text{ мА}$ , если обратный ток насыщения при температуре  $T = 300 \text{ К}$  равен  $1 \text{ мкА}$ . Ответ округлить до целого числа.

Ответ:  $237 \text{ мВ}$ .

6. В каком режиме работает биполярный p-n-p-транзистор, если напряжение база-эмиттер  $U_{бэ} = -0,4 \text{ В}$ , а напряжение коллектор-эмиттер  $U_{кэ} = -5 \text{ В}$ .

Ответ - в активном режиме.

7. В транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, ток коллектора равен  $29 \text{ мА}$ , ток базы равен  $500 \text{ мкА}$ . Чему равен коэффициент передачи тока эмиттера. Ответ округлить до сотых.

Ответ:  $0,98$ .

8. Удельная проводимость канала n-типа полевого транзистора с управляющим p-n-переходом и двумя затворами равна  $8,85 \text{ См/м}$ , подвижность электронов  $0,12 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , относительная диэлектрическая проницаемость кремния  $12$ , толщина канала  $4,8 \text{ мкм}$ . Определить абсолютную величину напряжения отсечки в В.

Ответ:  $2 \text{ В}$ .

9. В МДП-транзисторе отношение ширины канала к его длине равно  $10$ , приповерхностная подвижность электронов  $500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , удельная емкость затвора  $100 \text{ нФ/см}^2$ . Определить удельную крутизну.

Ответ:  $500 \text{ мкА/В}^2$ .

10. Найти ширину p-n- перехода  $\delta_0$  в кремневом диоде при отсутствии внешнего напряжения, если известна концентрация акцепторной примеси  $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$  в p- области и донорной примеси  $N_d = 10^{17} \text{ см}^{-3}$  в n- области. Диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon = 12$ .

Ответ:  $\delta_0 = 0,316 \text{ мкм}$

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных за-

#### дач

1. Через идеальный p-n-переход протекает прямой ток  $30 \text{ мА}$ . Определить падение напряжения на переходе, если при температуре  $300 \text{ К}$  обратный ток диода  $10 \text{ мкА}$ .

Решение.

ВАХ идеального диода описывается формулой  $I = I_0[\exp(U/\varphi_T) - 1] \approx I_0 \exp(U/\varphi_T)$ , где  $\varphi_T = kT/q \approx 0,0256 \text{ В}$ .

Тогда  $U = \varphi_T \cdot \ln(I/I_0) = 0.205 \text{ В}$ .

2. В образце p-Si, находящемся при  $T=300 \text{ К}$ , распределение примеси вдоль оси  $x$ :  $N_a(x) = N_0 \cdot \exp(-x/x_0)$ , где  $x_0 = 0.5 \text{ мкм}$ . Считая  $p(x) = N_a(x)$ , вычислить напряженность внутреннего электрического поля  $E_i$  и плотности диффузионного и дрейфового токов дырок в зависимости от  $N$ . Считать  $D_p = 10 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$  и  $\mu_p = 400 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ .

Решение.

В условиях термодинамического равновесия полная плотность тока дырок  $j_p$  равна нулю, т.е

$$j_p = j_{p\text{диф}} + j_{p\text{др}} = q \left( \mu_p E - D_p \frac{dp}{dx} \right) = 0$$

Отсюда внутреннее поле

$$E_i = \frac{D_p}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx} \cdot \frac{1}{p}$$

Продифференцировав  $p(x)$ :  $dp/dx = -p/x_0$ , получим

$$E_i = \frac{D_p}{\mu} \cdot \frac{1}{x_0} = 500 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

3. В транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, ток коллектора равен 29 мА, ток базы равен 500 мкА. Чему равен коэффициент передачи тока эмиттера?

Решение.

Коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером определяется выражением

$$\beta = I_K / I_B = 58.$$

С другой стороны коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером связан коэффициентом передачи по току в схеме с общим эмиттером  $\alpha$  следующим соотношением  $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$ . Откуда находим  $\alpha = 0,98$ .

4. Электронный усилитель имеет коэффициент усиления по напряжению  $K_{U0} = 1000$ . После того, как к нему подключили цепь общей отрицательной обратной связи, коэффициент усиления уменьшился до величины  $K = 100$ . Найти глубину обратной связи  $F$  и коэффициент петлевого усиления  $K_{U0} \beta$  и коэффициент передачи в цепи обратной связи  $\beta$ .

Решение.

$$F = K_{U0} / K = 10$$

$$K_{U0} \beta + 1 = F. \quad K_{U0} \beta = 9$$

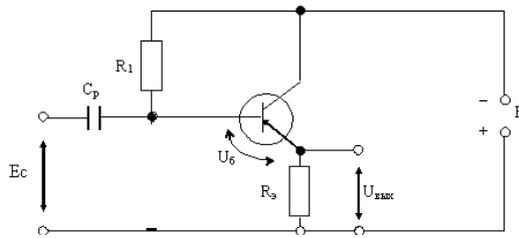
$$\beta = 9 / 1000 = 0,009$$

5. Покажите, что в случае, когда коэффициент петлевого усиления усилителя с обратной связью  $K_{U0} \beta \gg 1$ , коэффициент усиления  $K$  не зависит от свойств усилителя, в частности, от его коэффициента усиления без обратной связи  $K_{U0}$ . (Здесь  $\beta$  - коэффициент передачи в цепи обратной)

Решение

Коэффициент усиления усилителя, охваченного отрицательной обратной связью, дается формулой:  $K = K_{U0} / (1 + K_{U0} \beta)$ . Видим, при  $K_{U0} \beta \gg 1$  коэффициент  $K \approx 1/\beta$ . Это значит, что усиление определяется только коэффициентом передачи в цепи обратной связи.

6. Найти входное сопротивление  $R_{вх}$  эмиттерного повторителя (рис), если известно, что  $h_{11} = 100 \text{ Ом}$ ,  $h_{12} = 0$ ,  $h_{21} = 99$  и  $h_{22} = 0 \text{ Ом}^{-1}$ . Нагрузочный резистор, включенный в цепь эмиттера  $R_Э = 1000 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = 50 \text{ кОм}$ . Сопротивление конденсатора считать равным нулю.

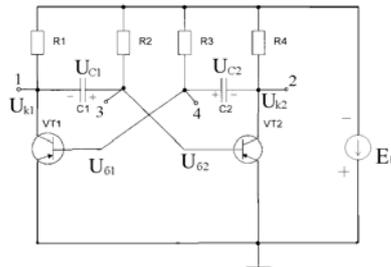


Найдем входное сопротивление эмиттерного повторителя без учета параллельно подключенного резистора смещения  $R_1$ .

$$R_{вх}^* = [h_{11} + (h_{21} + 1)R_2] = 100,1 \text{ кОм.}$$

С учетом  $R_1$  входное сопротивление  $R_{вх} = (R_{вх}^* R_1) / (R_{вх}^* + R_1) = 33,3 \text{ кОм.}$

7. Найти частоту сигнала, генерируемого симметричным мультивибратором (рис), если  $C_1 = C_2 = 0,05 \text{ мкФ}$ ,  $R_2 = R_4 = 3,3 \text{ кОм}$ .



Решение. Период колебаний определяется формулой  $T \approx 1,4 \cdot R_2 \cdot C_1 = 1,4 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot 3,3 \cdot 10^3 = 23,1 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ . Отсюда частота  $F = 1/T = 4,33 \text{ кГц}$ .

8. Изобразить схему RS - триггера на логических элементах 2ИЛИ-НЕ и составить для нее таблицу истинности.

Решение

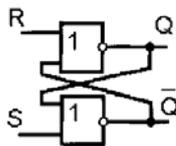


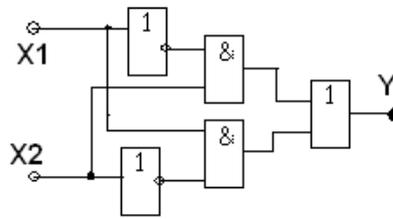
Схема RS – триггера

Таблица истинности для RS – триггера

Переменные		Исходные состояния выхода Q	последующие состояния выходов	
$S^n$	$R^n$		$Q^{n+1}$	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	0	0	1	0
1	1	0	X	X
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	1	X	X

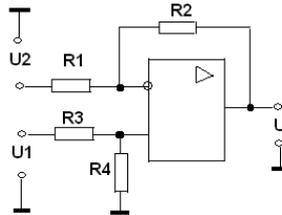
9. Изобразите логическую схему, реализующую выражение  $Y = X_1 \oplus X_2$

Ответ



10. Изобразите электрическую схему, реализующую операцию вычитания аналоговых сигналов ( $U = U_1 - U_2$ ) на идеальном операционном усилителе. Как должны соотноситься номиналы резисторов в этой схеме?

Решение.



Между резисторами в схеме должны выполняться следующие соотношения:  $R_2 = R_1$  и  $R_4 = R_3$ .

### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Элементарная теория электропроводности.
2. Энергетические зоны и свободные носители заряда в твёрдых телах. Модельные представления о механизме образования свободных носителей заряда и зарядопереносе в собственных и примесных полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда.
2. Плотность электронных состояний в разрешённых зонах. Эффективная плотность состояний.
3. Вероятность заполнения электронных состояний в полупроводниках. Функция распределения Ферми-Дирака.
4. Уровень Ферми и равновесная концентрация свободных носителей заряда в невырожденных полупроводниках. Уравнение электронейтральности для полупроводников. Закон действующих масс для невырожденных полупроводников.
5. Диффузия и дрейф свободных носителей заряда в полупроводниках. Подвижность свободных носителей заряда. Диффузионные и полные токи свободных носителей заряда.
6. Эффект поля в полупроводниках. Приближение слабого поля. Длина экранирования.
7. Эффект поля в полупроводниках. Приближение сильного поля. Ширина области обеднения.
8. Общие сведения о контактах металл-полупроводник. Работа выхода. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности барьера Шоттки в состоянии равновесия.
9. Энергетическая зонная диаграмма в окрестности барьера Шоттки в равновесном состоянии. Эффект выпрямления на барьере Шоттки. ВАХ выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
10. Барьерная емкость перехода металл – полупроводник.
11. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности p-n перехода в состоянии равновесия.
12. Контактная разность потенциалов. Ширина резкого p-n перехода
13. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности p-n перехода в равновесном состоянии.
14. Контактная разность потенциалов и ширина резкого p-n перехода при наличии внешнего напряжения. Барьерная емкость p-n перехода.
15. Эффект выпрямления на p-n переходе. Явление инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. ВАХ p-n перехода с широкой базой.
16. Пробой p-n перехода
17. Биполярный транзистор. Структура и принципы функционирования. Коэффициент инжекции, коэффициент переноса и эффективность коллектора.
18. Связь управляемого и управляющего токов биполярного транзистора в схеме с общей базой и в схеме с общим эмиттером.
19. Структура и топология планарного биполярного транзистора. Режимы работы и схемы включения биполярных транзисторов.

20. Принцип действия биполярного транзистора. Статические характеристики биполярных транзисторов. Основные параметры биполярных транзисторов.
21. Зависимость коэффициента передачи по току от тока и напряжения на коллекторе.
22. Биполярный транзистор как линейный четырехполюсник. Малосигнальные параметры биполярного транзистора.
23. Входные и выходные ВАХи биполярного транзистора в схемах с ОЭ и ОБ.
24. Структура и топология интегрального полевого транзистора с р-п затвором.
25. Принцип действия полевого транзистора с р-п затвором.
26. Влияние напряжения затвор-исток и сток-исток на процессы в канале и величину тока стока.
27. Выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с р-п затвором. Крутизна характеристики.
28. Полевые транзисторы с переходом Шоттки.
29. Контакт металл – диэлектрик – полупроводник. Образование слоя с инверсной проводимостью.
30. Структура и топология МДП-транзисторов.
31. Схема включения полевого МДП-транзистора с индуцированным каналом.
32. Физические процессы в структуре и принцип действия МОП-транзистора с индуцированным каналом.
33. Выходные и передаточные характеристики МОП-транзисторов.
34. МДП транзисторы с плавающим затвором. МДП транзисторы со встроенным каналом.

### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзаменам**

1. Элементарная теория электропроводности.
2. Энергетические зоны и свободные носители заряда в твёрдых телах. Модельные представления о механизме образования свободных носителей заряда и зарядопереносе в собственных и примесных полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда.
2. Плотность электронных состояний в разрешённых зонах. Эффективная плотность состояний.
3. Вероятность заполнения электронных состояний в полупроводниках. Функция распределения Ферми-Дирака.
4. Уровень Ферми и равновесная концентрация свободных носителей заряда в невырожденных полупроводниках. Уравнение электронейтральности для полупроводников. Закон действующих масс для невырожденных полупроводников.
5. Диффузия и дрейф свободных носителей заряда в полупроводниках. Подвижность свободных носителей заряда. Диффузионные и полные токи свободных носителей заряда.
6. Эффект поля в полупроводниках. Приближение слабого поля. Длина экранирования.
7. Эффект поля в полупроводниках. Приближение сильного поля. Ширина области обеднения.
8. Общие сведения о контактах металл-полупроводник. Работа выхода. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности барьера Шоттки в состоянии равновесия.
9. Энергетическая зонная диаграмма в окрестности барьера Шоттки в равновесном состоянии. Эффект выпрямления на барьере Шоттки. ВАХ выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
10. Барьерная емкость перехода металл – полупроводник.
11. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности р-п перехода в состоянии равновесия.
12. Контактная разность потенциалов. Ширина резкого р-п перехода
13. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности р-п перехода в равновесном состоянии.
14. Контактная разность потенциалов и ширина резкого р-п перехода при наличии внешнего напряжения. Барьерная емкость р-п перехода. Варикапы.
15. Эффект выпрямления на р-п переходе. Явление инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. ВАХ р-п перехода с широкой базой.

16. Пробой р-n перехода. Виды электрического пробоя. Стабилитроны.
17. Биполярный транзистор. Структура и принципы функционирования. Коэффициент инжекции, коэффициент переноса и эффективность коллектора.
18. Связь управляемого и управляющего токов биполярного транзистора в схеме с общей базой и в схеме с общим эмиттером.
19. Структура и топология планарного биполярного транзистора. Режимы работы и схемы включения биполярных транзисторов.
20. Статические характеристики биполярных транзисторов. (Входные и выходные ВАХи биполярного транзистора в схемах с ОЭ и ОБ.) Основные параметры биполярных транзисторов.
21. Зависимость коэффициента передачи по току от уровня инжекции и напряжения на коллекторе.
22. Биполярный транзистор как линейный четырехполюсник. Малосигнальные параметры биполярного транзистора.
23. Принцип действия полевого транзистора с р-n затвором. Структура и топология интегрального полевого транзистора с р-n затвором.
24. Влияние напряжения затвор-исток и сток-исток на процессы в канале и величину тока стока. Выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с р-n затвором. Крутизна характеристики.
25. Контакт металл – диэлектрик – полупроводник. Образование слоя с инверсной проводимостью. Структура и топология МДП-транзисторов. Принцип действия МОП-транзистора с индуцированным каналом.
26. Физические процессы и выходные и передаточные характеристики МОП-транзисторов.
27. Пассивные элементы электрических цепей. Резисторы, основные параметры и конструкции. Конденсаторы, основные параметры и конструкции.
28. Классификация электронных усилителей. Основные параметры и характеристики усилителя.
29. Обратная связь (ОС) в усилителях. Способы подключения цепи ОС.
30. Влияние отрицательной ОС на основные свойства усилителей. Расчет коэффициента усиления, входного и выходного сопротивления усилителя с ОС
31. Положительная обратная связь. Устойчивость работы усилителя. Критерий устойчивости Найквиста..
32. Рабочая точка и режим работы по постоянному току каскада с транзистором, включенным по схеме «с общим эмиттером». Расчет каскада.
33. Многокаскадные усилители, элементы межкаскадной связи.
34. Эмиттерный повторитель. Расчет каскада с транзистором, включенным по схеме «с общим коллектором».
35. Усилительный каскад по схеме с общей базой. Основные параметры каскада.
36. Дифференциальный усилительный каскад. Схемотехника УПТ.
37. Мощные усилительные каскады. Двухтактные выходные каскады.
38. Операционный усилитель (ОУ). Инвертирующие, неинвертирующие и дифференциальные каскады.
39. Схемы суммирования, вычитания, логарифмирования и антилогарифмирования сигналов.
40. Схемы умножения, деления, интегрирования и дифференцирования сигналов на ОУ. Компараторы на ОУ.
41. Электронные ключи и простейшие логические элементы. Схемы полусумматора и сумматора.
42. Триггеры. Реализация триггеров на основе биполярных и КМОП структур.
43. Генераторы. Классификация. Разновидности генераторов синусоидального напряжения

LC, RC, функциональные генераторы на ОУ.

44. Схемы реализации АЦП. АЦП время импульсного типа, двойного интегрирования и по-разрядного приближения.

*Укажите вопросы для экзамена*

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация осуществляется по нескольким критериям:

1. Тестирование по темам курса тест-задания.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40% вопросов и меньше.
  2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40-60% вопросов.
  3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил правильно на 60-80% вопросов.
  4. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил правильно на 80% вопросов и более.
2. Ответы на семинарских занятиях по теме курса.
  3. Подготовка и защита курсового проекта.
  4. Экзамен.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Физические основы твёрдотельной электроники	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Контакт металл - полупроводник. Диод Шоттки	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Контакт электронного и дырочного полупроводников.	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Биполярный транзистор (БТ)	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Полевой транзистор с управ-	ДПК-5, ОПК-2,	Тест, контрольная работа,

	ляющим р-п переходом (ПТУП)	ОПК-8	защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Полевой транзистор с изолированным затвором	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
7	Пассивные компоненты электронных схем	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
8	Электронные усилители	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
9	Усилительные каскады на транзисторах.	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
10	Операционный усилитель (ОУ) и основные схемы его включения.	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
11	Полевой транзистор с управляющим р-п переходом (ПТУП)	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
12	Генераторы электрических сигналов	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
13	Цифровая электроника	ДПК-5, ОПК-2, ОПК-8	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выстав-

ления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **Основная литература**

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие. М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009.-463 с.
2. Сысоев О.И. Физические основы твердотельной электроники. Часть 1: Учебное пособие/О.И. Сысоев. Воронеж, 2012.-213 с.: ил.
3. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 448 с.
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микроэлектронная техника: Учеб. пособие М.: Высш. шк. 2005,- 622с.

#### **Дополнительная литература**

1. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем: Пер. с англ.-М.: Мир, 1989.- 630с.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 488 с.
3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах, Кн 1, Кн. 2. Пер с англ.-2-е перераб. и доп. изд.-М.: Мир, 1984.-Кн.1.-456 с., Кн.2.-456 с.
4. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов/Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков; Под ред. В.А. Лобунцова.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-576 с.
5. Изъюрова Г.И., Королев Г.В., Терехов В.А., Ожогин М.А., Серов В.Н. Расчет электронных схем. Учеб. пособие для вузов М.: Высш. шк. 1987. 335 с.
6. Хоровиц Г., Хилл У. Искусство схемотехники. В 3-х т./Пер. с англ. – М., 1993.

#### **Методические разработки**

Сысоев О.И., Коротков Л.Н., Янченко Л.И. Методические указания к выполнению лабораторной работы №1 по дисциплине «Электроника» для студентов направления 223200.62 «Техническая физика» очной формы обучения. - Воронеж, ВГТУ, 2011. – 47 с. (Библиотечный номер 252-2011)

Сысоев О.И., Коротков Л.Н., Янченко Л.И. Методические указания к выполнению лабораторной работы №2 по дисциплине «Электроника» для студентов направления 223200.62 «Техническая физика» очной формы обучения. - Воронеж, ВГТУ, 2010. – 31 с. (Библио-

течный номер (401-2010)

Коротков Л.Н., Сысоев О.И., Калядин О.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ №3-4 по дисциплине «Электроника» для студентов направления 223200.62 «Техническая физика» очной формы обучения. - Воронеж, ВГТУ, 2012. – 51 с.  
(Библиотечный номер 287-2012)

*Укажите учебную литературу*

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, Origin

*Укажите перечень информационных технологий*

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Научно-учебная лаборатория кафедры ФТТ с научно-исследовательскими измерительными стендами, комплексами и оборудованием, компьютерный класс. (аудитории 226, 226а первого корпуса ВГТУ)

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Электроника и схемотехника» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета электронных схем. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения

	<p>ния; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.</p>
Практическое занятие	<p>Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.</p>
Лабораторная работа	<p>Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.</p>
Самостоятельная работа	<p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>

### 6 Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Изменения в программе не предусмотрены.	31.08.2019	
2	Изменения в программе не предусмотрены.	31.08.2020	

## **АННОТАЦИЯ**

к рабочей программе дисциплины  
«Электроника и схемотехника»

**Направление подготовки** 16.03.01 ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

**Профиль** техническая физика

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2018

### **Цель изучения дисциплины:**

Ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в твёрдотельных электронных приборах. Освоение основных схемотехнических решений функциональных узлов аналоговой и цифровой электроники.

### **Задачи изучения дисциплины:**

1. Изучение студентами основ физики полупроводников.
2. Освоение студентами начал физических теорий, позволяющих описать устройство и принцип действия основных приборов твёрдотельной электроники;
3. Ознакомление студентов с методами экспериментального определения основных характеристик и параметров приборов электронной техники.
4. Изучение схемотехники базовых аналоговых и цифровых устройств электронной техники и методов ее проектирования.

### **Перечень формируемых компетенций:**

ДПК-5 - способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок физической электроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

ОПК-2 - способностью применять методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности

ОПК-8 - способностью самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней

**Общая трудоемкость дисциплины:** 9 з.е.

**Форма итогового контроля по дисциплине:** Экзамен