

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 8 от 24.09.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Электроника и схемотехника

---

Уровень высшего образования  
Специалитет

---

Направление подготовки / специальность  
10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем

---

Направленность образовательной программы  
Системы подвижной цифровой защищенной связи

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.14 Электроника и схемотехника относится к обязательной части образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-4: Способен анализировать физическую сущность явлений и процессов, лежащих в основе функционирования радиоэлектронной техники, применять физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности;	ОПК-4.1: Знает: - основные понятия и законы механики - основы термодинамики и молекулярной физики - основные законы электричества и магнетизма - основы физики колебаний и волн, оптики - основы квантовой физики и физики твёрдого тела - принципы работы элементов и функциональных узлов электронной аппаратуры - методы анализа электронных схем - типовые схемотехнические решения основных узлов и блоков электронной аппаратуры - принципы действия и характеристики электронных компонентов телекоммуникационных систем - основные правила выполнения и оформления электрических схем ОПК-4.2: Умеет: - решать типовые прикладные физические задачи - строить математические модели физических явлений и процессов - анализировать компонентную базу электронной аппаратуры - работать с программными средствами схемотехнического	ОПК-4.1: Знает типовые схемотехнические решения основных узлов и блоков электронной аппаратуры, методы анализа электронных схем. Знает физические процессы, протекающие в основных полупроводниковых материалах (Ge, Si, GaAs), и принципы работы основных приборов полупроводниковой наноэлектроники.  ОПК-4.2: Умеет анализировать компонентную базу электронной аппаратуры. Умеет рассчитывать параметры полупроводниковых материалов, диодов и транзисторов. Умеет строить и анализировать зонные диаграммы полупроводниковых приборов.  ОПК-4.3: Владеет начальными навыками расчёта основных характеристик узлов электронной аппаратуры. Владеет навыками анализа	Допуск к лабораторной работе Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы Задания

	моделирования ОПК-4.3: Владеет: - методами теоретического исследования физических явлений и процессов	полупроводниковых приборов СВЧ диапазона и оптоэлектронных приборов.		
--	---	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>8</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>288</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>64</b>
- КСР	<b>4</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>66</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>90</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Вводная часть.	4	2		2	2
Тема 2. Базовые схемы включения транзисторов.	9	6		6	3
Тема 3. Усилители переменного тока.	31	5	16	21	10
Тема 4. Усилители постоянного тока (УПТ).	8	5		5	3
Тема 5. Интегральные дифференциальные усилители.	6	4		4	2
Тема 6. Операционные усилители и их применение.	30	4	16	20	10
Тема 7. Инструментальные микросхемы.	9	6		6	3
Тема 8. Основы физики полупроводников.	49	16	17	33	16
Тема 9. Принципы работы полупроводниковых диодов.	17	6	5	11	6
Тема 10. Принципы работы основных приборов оптоэлектроники.	5	2	1	3	2

Тема 11. Принципы работы биполярных транзисторов.	10	2	4	6	4
Тема 12. Принципы работы полевых транзисторов.	11	4	4	8	3
Тема 13. Принципы работы генераторных диодов	5	2	1	3	2
Аттестация	90				
КСР	4			4	
Итого	288	64	64	132	66

### Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Вводная часть.

Способы аналитического описания основные характеристики линейных четырёхполюсников. Вопросы межкаскадного согласования.

Тема 2. Базовые схемы включения транзисторов.

Базовые схемы включения биполярных и полевых транзисторов. Выбор начальной рабочей точки. Эквивалентные схемы по постоянному и переменному току.

Тема 3. Усилители переменного тока.

Апериодический и резонансный усилители. Амплитудно- и фазочастотные характеристики усилителей.

Тема 4. Усилители постоянного тока (УПТ).

Дрейфовые явления и способы повышения стабильности работы УПТ. Однотактный и дифференциальный каскады УПТ.

Тема 5. Интегральные дифференциальные усилители.

Обобщённая принципиальная схема интегрального дифференциального усилителя. Стандартный операционный усилитель (ОУ) и его характеристики.

Тема 6. Операционные усилители и их применение.

Инвертирующее и неинвертирующее включение ОУ. Безынерционные и инерционные (фильтры) цепи на основе ОУ.

Тема 7. Инструментальные микросхемы.

Компараторы, цифро-аналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи. Аналоговые перемножители в линейном и нелинейном режимах. Смесители и устройства на их основе – синхронный и фазовый детекторы, преобразователи частоты, модуляторы.

Тема 8. Основы физики полупроводников.

Кристаллическая структура твердых тел. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Колебания и волны в кристаллической решетке твердых тел. Технология изготовления полупроводниковых приборов. Теплоемкость, теплопроводность твердых тел. Понятие атома. Статистика носителей заряда в полупроводниковых материалах. Температурные зависимости параметров полупроводниковых материалов. Энергетические спектры твердых тел. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках. Неравновесные явления в полупроводниковых материалах. Генерация, рекомбинация носителей заряда. Описание движения носителей заряда в полупроводниках. Эффект Холла.

Тема 9. Принципы работы полупроводниковых диодов.

Явления на границе раздела полупроводников. Теория р-п перехода. Емкость р-п перехода.

Гетеропереходы. Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки.

Тема 10. Принципы работы основных приборов оптоэлектроники.

Принципы работы фотодиодов. Принципы работы солнечных батарей. Принципы работы светодиодов и полупроводниковых лазеров.

Тема 11. Принципы работы биполярных транзисторов.

Структура биполярного транзистора. Физические процессы, протекающие в активной области прибора.

Схемы включения, ВАХ. Эквивалентная схема и h-параметры. Преимущества гетеробиполярного транзистора.

Тема 12. Принципы работы полевых транзисторов.

Принцип работы полевого транзистора с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. Принципы работы полевых транзисторов с подзатворной конструкцией металл-диэлектрик-полупроводник.

Тема 13. Принципы работы генераторных диодов.

Принцип работы диода Ганна. Принцип работы туннельного диода. Принцип работы лавинно-пролетного диода. Принцип работы инжекционно-пролетного диода.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Самостоятельная работа обучающихся состоит в изучении рекомендованной литературы по заданным на лекционных занятиях темам, изучении методических рекомендаций к лабораторным работам, написанию отчетов по лабораторным работам.

2. ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ. Авторы-составители: Д.Н. Ивлев, Д.В. Савельев:

Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. – 27 с.

3. МУЛЬТИВИБРАТОР. Авторы: Д.Н. Ивлев, В.В. Пархачёв: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. – 16 с.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО МАТЕРИАЛА: Практикум. Авторы: Савинов Д.А., Оболенский С.В., Волкова Е.В., Павельев В.Г., Тарасова Е.А., Чуринов А.Ю. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 20 с.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ И ДИФФУЗИОННОЙ ДЛИНЫ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ: Практикум. Авторы: Савинов Д.А., Оболенский С.В., Волкова Е.В., Павельев В.Г., Тарасова Е.А., Чуринов А.Ю. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 22 с.

6. ЭФФЕКТ ХОЛЛА: Практикум. Авторы: Павельев В.Г., Оболенский С.В., Волкова Е.В., Савинов Д.А., Тарасова Е.А., Чуринов А.Ю. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 14 с.

7. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК р-п ПЕРЕХОДА. Авторы: Е.С. Оболенская, А.Ю. Чуринов, Е.А. Тарасова, Е.В. Волкова, С.В. Оболенский: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. – 24 с.

## 8. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ

ТРАНЗИСТОРОВ. Авторы: Е.С. Оболенская, А.Ю. Чурин, Е.А.Тарасова, Е.В.Волкова, С.В. Оболенский: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. – 25 с.

## 9. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ.

Авторы: Д.А. Санжаревский, Е.С. Оболенская, А.Ю. Чурин, Е.А. Тарасова, Е.В.Волкова, С.В. Оболенский: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. – 19 с.

### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

#### 5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

##### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ОПК-4:

1. Что такое мультивибратор, релаксационный генератор ?
2. Какие бывают варианты схемы мультивибратора и в чём их особенности ?
3. Что такое биполярный п-р-п транзистор ?
4. Изобразите принципиальную схему мультивибратора на транзисторах и объясните принцип её работы с использованием рис. 2.
5. Когда мультивибратор называется симметричным и каковы особенности генерируемого им сигнала ?
6. Для чего в лабораторной установке используется переменное сопротивление  $R_5$  и на какие параметры генерируемого сигнала будет влиять его значение ?
7. На какие параметры генерируемого мультивибратором сигнала, снимаемого с коллектора транзистора VT2, будут влиять значения резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 4) ?
8. На какие параметры генерируемого мультивибратором сигнала, снимаемого с коллектора транзистора VT2, будут влиять значения резисторов  $R_3$  и  $R_4$  (рис. 4) ?
9. На какие параметры генерируемого мультивибратором сигнала, снимаемого с коллектора транзистора VT2, будет влиять значение ёмкости  $C_2$  (рис. 4) ?
10. Что такое операционный усилитель ? Перечислите основные отличительные свойства ОУ ?
11. Из каких узлов (подсхем) состоит типичный операционный усилитель ?
12. Цепи с какими функциями можно построить на базе операционных усилителей ?
13. Что такое инвертирующее включение ОУ ? Почему оно называется инвертирующим ?
14. Что такое повторитель напряжения и как выглядит схема повторителя напряжения на ОУ ?
15. В чём преимущество использования ОУ при построении полосовых фильтров ?
16. Что такое неинвертирующий сумматор на ОУ ?
17. Напишите выражение для АЧХ дифференцирующей цепи на идеальном ОУ, изобразите качественно АЧХ в виде графика.
18. Напишите выражение для АЧХ интегрирующей цепи на идеальном ОУ, изобразите качественно АЧХ в виде графика.
19. На какой частоте, выраженной в герцах, должен наблюдаться максимум амплитудно-частотной характеристики полосового RC-фильтра, схема которого приведена на рис. 17 ?
20. Напишите выражение для АЧХ активного полосового RC-фильтра на идеальном ОУ, схема которого показана на рис. 17. Изобразите качественно АЧХ в виде графика.
21. Что такое тип носителей заряда, собственные и примесные полупроводники? Привести примеры донорных и акцепторных примесей.

22. Как зависят от температуры ширина запрещенной зоны, уровень Ферми в полупроводниках?
23. Как зависит подвижность электронов от концентрации примесных атомов?
24. Как зависит от температуры проводимость полупроводников?
25. Написать выражение для плотности тока носителей заряда в полупроводниках (в приближении диффузии и дрейфа в электрическом поле).
26. Объяснить физический смысл времени жизни и диффузионной длины носителей заряда.
27. Объяснить, в чем состоит эффект Холла.
28. Пояснить методику измерения типа носителей заряда с помощью эффекта Холла.
29. Может ли холловская ЭДС быть равной нулю?
30. Что такое контактная разность потенциалов? Как она зависит от температуры?
31. Принципы работы диода на основе p-n перехода.
32. Пояснить отличия реальной и идеальной ВАХ диода.
33. Объяснить принцип работы биполярного транзистора.
34. Какие физические процессы определяют движение носителей заряда через базу биполярного транзистора?
35. Объяснить, в чем заключается эффект Эрли.
36. Нарисовать выходные и входные ВАХ биполярного транзистора в схеме с общей базой.
37. Принципы работы полевого транзистора с управляющим p-n переходом.
38. Принципы работы МДП полевого транзистора с индуцированным каналом.
39. Принципы работы МДП полевого транзистора со встроенным каналом.
40. Нарисовать и объяснить передаточные ВАХ МДП транзисторов с индуцированным и встроенным каналами.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Даны правильные ответы на несколько заданных при собеседовании контрольных вопросов из методических указаний к лабораторным работам
не зачтено	Нет правильного ответа хотя бы на один из заданных при собеседовании контрольных вопросов из методических указаний к лабораторным работам

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-4:

1. Расчёт параметров генерируемого сигнала: воспользовавшись схемой мультивибратора, описанием макета и формулами из раздела «Основные параметры колебаний», рассчитать  $T_{и}$ ,  $T_{п}$ ,  $T_{ф}$ ,  $F$  для исследуемых вариантов параметров схемы согласно таблице 1 при условии, что выходное напряжение снимается с коллектора транзистора VT2. При выполнении расчетов значение подаваемого на резисторы R3 и R4 напряжения полагать  $E_{з4} = 15 \text{ В}$  (если в таблице не указано иначе). Результаты расчетов занести в таблицу 1.
2. Измерение и анализ параметров генерируемого сигнала: устанавливая последовательно значения параметров элементов схемы согласно таблице 1, измерить с помощью осциллографа и записать в таблицу значения длительности импульса  $T_{и}$ , длительности паузы  $T_{п}$ , времени нарастания фронта

импульса  $T_f$ , частоты импульсов  $F$  для сигнала на коллекторе транзистора VT2; сделать вывод о влиянии величин  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  и  $E_{34}$  на параметры импульсов.

3. Изучение влияния напряжения  $E_{34}$  на форму и параметры импульсов:

- установить следующие значения параметров элементов схемы:  $R_1 = R_2 = 2 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = R_4 = 60 \text{ кОм}$ ,  $C_1 = 10 \text{ нФ}$ ,  $C_2 = 20 \text{ нФ}$ ;
- плавно изменяя значение сопротивления резистора  $R_5$  и наблюдая осциллограммы импульсов на коллекторе транзистора VT2, выяснить, как влияет значение напряжения  $E_{34}$  на форму и параметры импульсов;
- сохранить (записать на флэш-накопитель[1], сфотографировать или зарисовать) осциллограммы для двух крайних положений резистора  $R_5$ ;
- сделать вывод о влиянии напряжения смещения на параметры импульсов.

4. Изучение осциллограмм сигналов:

- установить значения параметров элементов схемы как в предыдущем задании:  $R_1 = R_2 = 2 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = R_4 = 60 \text{ кОм}$ ,  $C_1 = 10 \text{ нФ}$ ,  $C_2 = 20 \text{ нФ}$ ;
- установить значение напряжения  $E_{34} = 5 \text{ В}$  (ручка потенциометра в крайнем левом положении);
- получить на экране осциллографа осциллограммы сигналов одновременно с коллектора транзистора VT1 (гнездо КТ1) и базы транзистора VT2 (гнездо КТ4), разнеся их в вертикальном положении на экране так, чтобы они не перекрывались друг с другом;
- измерить (предпочтительно с помощью горизонтальных курсоров осциллографа) и записать максимальное и минимальное значения напряжения ( $V_{\min}$  и  $V_{\max}$ ) на полученных осциллограммах;
- сохранить полученные осциллограммы;
- аналогично получить и сохранить осциллограммы сигналов с баз транзисторов VT1 и VT2 (гнезда КТ3, КТ4), разнеся их в вертикальном положении на экране;
- изменив значение ёмкости конденсатора  $C_1$  ( $C_1 = 20 \text{ нФ}$ ) получить и сохранить осциллограмму дифференциального выходного сигнала мультивибратора (разность сигналов с коллекторов транзисторов), подключив разъёмы одного из измерительных кабелей к гнездам КТ1 и КТ2;
- измерить и записать максимальное и минимальное значения напряжения ( $V_{\min}$  и  $V_{\max}$ ) на осциллограмме дифференциального сигнала.

5. Исследование неинвертирующего усилителя. Соберите схему для исследования, приведённую на рисунке 12 с начальными значениями  $R_1 = R_2 = 5 \text{ кОм}$ . Входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  на схему подать с любого из трёх генераторов напряжений, расположенных в левом верхнем углу на той же панели, что и схема с ОУ. Это напряжение подать также и на первый вход осциллографа, а второй вход осциллографа подключить к выходу схемы усилителя.

Порядок выполнения задания:

- с помощью осциллографа измерить и записать амплитуду и частоту подаваемого на вход схемы напряжения;
- произвести измерения амплитуды выходного напряжения схемы, меняя значения резисторов  $R_1$  и  $R_2$  в соответствии с таблицей из протокола измерений;
- наблюдая осциллограммы, сравнить фазы входного и выходного сигналов, сохранить (записать на флэш-накопитель[1], сфотографировать или зарисовать) осциллограммы входного и выходного сигналов с экрана осциллографа для последующей вставки в отчёт;
- вычислить теоретические ( $K_{\text{ус теор}}$ ) и экспериментальные ( $K_{\text{ус экспер}}$ ) значения коэффициента усиления неинвертирующего усилителя в приведённой таблице;
- записать в отчёт объяснение всех полученных при выполнении задания результатов.



6. Исследование инвертирующего усилителя. Собрать схему для исследования, приведённую на рисунке 13, с начальными значениями  $R_1 = R_2 = 5 \text{ кОм}$ . Входное напряжение  $U_{вх}$  на схему подать с любого из трёх генераторов напряжений, расположенных в левом верхнем углу на той же панели, что и схема с ОУ. Это напряжение подать также и на первый вход осциллографа, а второй вход осциллографа подключить к выходу схемы усилителя.

Порядок выполнения задания:

- с помощью осциллографа измерить и записать амплитуду и частоту подаваемого на вход схемы напряжения;
- произвести измерения амплитуды выходного напряжения схемы, меняя значения резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , в соответствии с таблицей из протокола измерений;
- наблюдая осциллограммы, сравнить фазы входного и выходного сигналов, сохранить (записать на флэш-накопитель, сфотографировать или зарисовать) осциллограммы входного и выходного сигналов с экрана осциллографа для последующей вставки в отчёт;
- вычислить теоретические ( $K_{ус \text{ теор}}$ ) и экспериментальные ( $K_{ус \text{ экспер}}$ ) значения коэффициента усиления инвертирующего усилителя в приведённой таблице;
- записать в отчёт объяснение всех полученных при выполнении задания результатов.

7. Исследование неинвертирующего сумматора напряжений. Подать на первый вход осциллографа синусоидальное колебание с выхода генератора напряжения, расположенного в левом верхнем углу на той же панели, что и схема с ОУ (рис. 9), а на второй вход осциллографа – прямоугольное колебание. Сохранить осциллограммы данных сигналов с экрана осциллографа (при сохранении должны быть видны амплитуды этих сигналов). Собрать схему для исследования, приведённую на рисунке 14. В качестве входных напряжений  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$  подать на схему синусоидальное и прямоугольное колебания. Одно из этих напряжений подать также и на первый вход осциллографа, а второй вход осциллографа подключить к выходу схемы усилителя.

Порядок выполнения задания:

- произвести измерения амплитуды входных напряжений схемы, сохранить осциллограммы входных напряжений;
- произвести измерение амплитуды выходного напряжения схемы, сохранить осциллограммы одного из входных и выходного сигналов с экрана осциллографа для последующей вставки в отчёт;
- вычислить теоретическое ( $U_{вых \text{ рас}}$ ) значение коэффициента усиления схемы;
- записать в отчёт объяснение всех полученных при выполнении задания результатов.

8. Исследование интегрирующей цепи на ОУ. Собираете схему, изображённую на рисунке 15 с начальным значением  $R = 5 \text{ кОм}$ . Входное напряжение  $U_{вх}$  на схему подать с выхода генератора прямоугольных импульсов, расположенного в левом верхнем углу на той же панели, что и схема с ОУ. Это напряжение подать также и на первый вход осциллографа, а второй вход осциллографа подключить к выходу схемы интегратора.

Порядок выполнения задания:

- с помощью осциллографа измерить и записать амплитуду и частоту подаваемого на вход схемы напряжения;
- произвести измерения амплитуды напряжения на выходе схемы для двух значений резистора  $R$  ( $R = 5 \text{ кОм}$  и  $R = 10 \text{ кОм}$ );
- наблюдая осциллограммы, сравнить форму входного и выходного сигналов, сохранить осциллограммы входного и выходного сигналов с экрана осциллографа для последующей вставки в отчёт;

- выбрав  $R = 10 \text{ кОм}$  и подав на вход интегратора синусоидальное напряжение с выхода генератора НЧ (рис. 10), измерить с помощью вольтметров PV1.1 и PV1.2 (рис. 11) действующие значения входного и выходного напряжений интегрирующей цепи для указанных в таблице протокола значений частоты с учётом следующих особенностей:
  - тумблеры режима измерения вольтметров PV1.1 и PV1.2 установить в положение «U~» (измерение действующего значения переменного напряжения);
  - изменение частоты производится переключением диапазонов генератора («1» и «2») и вращением ручек грубой и точной настройки частоты в соответствии с таблицей в протоколе выполнения задания;
  - ручка плавного изменения амплитуды выходного напряжения генератора НЧ должна быть установлена в крайнее правое положение, что соответствует максимальной амплитуде;
- вычислить экспериментальные  $K_{\text{экспер}}$  и теоретические  $K_{\text{теор}}$  значения амплитудно-частотной характеристики интегрирующей цепи для частот из таблицы, построить графики зависимостей данных величин от частоты;
- записать в отчёт объяснение всех полученных при выполнении задания результатов.

9. Исследование дифференцирующей цепи на ОУ. Соберите схему, изображённую на рисунке 16 с начальным значением  $R = 10 \text{ кОм}$ . Входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  на схему подать с выхода генератора треугольных импульсов, расположенного в левом верхнем углу на той же панели, что и схема с ОУ. Это напряжение подать также и на первый вход осциллографа, а второй вход осциллографа подключить к выходу схемы.

#### Порядок выполнения задания:

- с помощью осциллографа измерить и записать амплитуду и частоту подаваемого на вход схемы напряжения;
- произвести измерения амплитуды напряжения на выходе схемы для двух значений резистора  $R$  ( $R = 10 \text{ кОм}$  и  $R = 20 \text{ кОм}$ );
- наблюдая осциллограммы, сравнить форму входного и выходного сигналов, сохранить осциллограммы входного и выходного сигналов с экрана осциллографа для последующей вставки в отчёт;
- выбрав  $R = 10 \text{ кОм}$  и подав на вход интегратора синусоидальное напряжение с выхода генератора НЧ (рис. 10), измерить с помощью вольтметров PV1.1 и PV1.2 (рис. 11) действующие значения входного и выходного напряжений цепи для указанных в таблице протокола значений частоты с учётом следующих особенностей:
  - тумблеры режима измерения вольтметров PV1.1 и PV1.2 установить в положение «U~» (измерение действующего значения переменного напряжения);
  - изменение частоты производится переключением диапазонов генератора («1», «2» и «3») и вращением ручек грубой и точной настройки частоты в соответствии с таблицей в протоколе выполнения задания;
  - ручка плавного изменения амплитуды выходного напряжения генератора НЧ должна быть установлена в крайнее правое положение, что соответствует максимальной амплитуде;
- вычислить экспериментальные  $K_{\text{экспер}}$  и теоретические  $K_{\text{теор}}$  значения амплитудно-частотной характеристики дифференцирующей цепи для частот из таблицы, построить на одном графике кривые зависимостей данных величин от частоты;
- записать в отчёт объяснение всех полученных при выполнении задания результатов.

10. Исследование активного полосового RC-фильтра. Соберите схему, изображённую на рисунке 17.

Входное напряжение  $U_{вх}$  на схему подать с выхода генератора треугольных импульсов, расположенного в левом верхнем углу на той же панели, что и схема с ОУ. Это напряжение подать также и на первый вход осциллографа, а второй вход осциллографа подключить к выходу схемы.

Порядок выполнения задания:

- с помощью осциллографа измерить и записать амплитуду и частоту подаваемого на вход схемы напряжения;
- наблюдая осциллограммы, сравнить форму входного и выходного сигналов, сохранить осциллограммы входного и выходного сигналов с экрана осциллографа для последующей вставки в отчёт;
- подав на вход исследуемой цепи синусоидальное напряжение с выхода генератора НЧ (рис. 10), измерить с помощью вольтметров PV1.1 и PV1.2 (рис. 11) действующие значения входного и выходного напряжений цепи для указанного в таблице протокола диапазона частот (от 220 Гц до 10000 Гц, в 10-12 точках) с учётом следующих особенностей:
  - тумблеры режима измерения вольтметров PV1.1 и PV1.2 установить в положение «U~» (измерение действующего значения переменного напряжения);
  - изменение частоты производится переключением диапазонов генератора («2» и «3») и вращением ручек грубой и точной настройки частоты в соответствии с таблицей в протоколе выполнения задания;
  - ручка плавного изменения амплитуды выходного напряжения генератора НЧ должна быть установлена в крайнее правое положение, что соответствует максимальной амплитуде;
- вычислить экспериментальные  $K_{экспер}$  и теоретические  $K_{теор}$  значения амплитудно-частотной характеристики исследуемой цепи, построить на одном графике кривые зависимостей данных величин от частоты;
- записать в отчёт объяснение всех полученных при выполнении задания результатов.

11. Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника

- Произведите измерение электропроводности образца, в соответствии с планом, приведенным в методическом пособии.
- Постройте график полученной зависимости в координатах  $\ln(\sigma) - 10^3/T$  ( $T$  – абсолютная температура в К).
- Найдите связь между угловым коэффициентом наклона кривой  $\ln(\sigma) - 10^3/T$  и величиной  $Wg$ .
- Определите угловой коэффициент наклона кривой  $\ln(\sigma) - 10^3/T$  в области высоких температур и найдите значение  $Wg$  (в электронвольтах).

12. Измерение статических характеристик полупроводникового диода

- Снимите вольтамперную характеристику диода при комнатной температуре. При работе в лаборатории установите на блоке режимов переключатель «Сб – I(U)» в положение «I(U)». Прямая ветвь характеристики измеряется в положении переключателя «Прям», напряжение регулируется ручкой «Uпр». Обратная ветвь – «Обр» и «Uобр».
- Снимите вольтамперную характеристику нагретого диода. При измерениях в лаборатории нагрейте диод: включите режим измерения обратной характеристики, установите напряжение 20...30 В, закройте диод с нагревателем термоизолирующей коробочкой, включите тумблер «Нагрев» (вверх). Дождитесь, пока ток диода возрастет до 70...80 мкА, выключите нагреватель. После этого выполните действия, описанные в п. 1. Диод будет остывать 1...2 минуты - за это время необходимо успеть снять ВАХ.
- По результатам измерений найдите контактную разность потенциалов перехода.

## Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Практическое задание выполнено без грубых ошибок. Получены правильные ответы на вопросы по практическому заданию.
не зачтено	Практическое задание не выполнено или выполнено с грубыми ошибками, либо получены неправильные ответы на вопросы по практическому заданию.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнен	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				недочетами		ы все задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-4

Типы транзисторов, их графические обозначения, названия выводов транзисторов. Условия межкаскадного согласования 4-полюсников.

2. Схемы включения транзисторов с общим эмиттером (истоком). Входные и выходные характеристики п-р-п биполярного транзистора. Выбор режима работы транзистора по постоянному току. Эквивалентная схема по переменному току. Вывод формулы для комплексного коэффициента передачи схемы по напряжению.

3. Схемы включения транзисторов с общей базой (затвором). Входное и выходное сопротивления схемы, эквивалентная схема по переменному току, вывод формулы для комплексного коэффициента передачи схемы по напряжению. Преимущества и недостатки схемы с общей базой по сравнению со схемой с общим эмиттером.
4. Схемы включения транзисторов с общим коллектором (стоком). Входное и выходное сопротивления схемы, эквивалентная схема по переменному току, вывод формулы для комплексного коэффициента передачи схемы по напряжению. Особенности и назначение схемы с общим коллектором.
5. Аперiodический усилитель: схемы на биполярном транзисторе и на полевом с управляющим р-п переходом. Назначение всех элементов этих схем. Эквивалентная схема выходной цепи по переменному току. Вывод коэффициента передачи, АЧХ.
6. Резонансный усилитель: назначение элементов схемы, самой схемы, принцип работы, коэффициент передачи, АЧХ.
7. Однотактные усилители постоянного тока: назначение, схема, принцип работы вывод формулы для коэффициента передачи.
8. Дифференциальный каскад: схема, принцип работы, математическое описание, подавление синфазного сигнала, схема с источником тока на транзисторе, умножение двух сигналов.
9. Обобщённая схема интегрального дифференциального усилителя, принцип работы. Схема и принцип работы двухтактного усилителя, его преимущества по сравнению со схемой эмиттерного повторителя.
10. Операционные усилители и их применение. Свойства идеального ОУ. Инвертирующее и неинвертирующее включение ОУ, вывод коэффициента усиления этих схем. Повторитель напряжения.
11. Свойства идеального ОУ. Варианты применения операционных усилителей в безынерционных и инерционных линейных цепях. Интегральные компараторы.
12. Простейший цифро-аналоговый преобразователь. Цифро-аналоговые преобразователи с матрицами R-2R.
13. Простейший аналого-цифровой преобразователь: схема, принцип работы, временная диаграмма, математическое описание. Интегрирующее устройство выборки-хранения (схема, принцип работы).
14. АЦП последовательных приближений: схема, принцип и алгоритм работы, временная диаграмма. Интегрирующее устройство выборки-хранения (схема, принцип работы).
15. Параллельный АЦП: схема, принцип работы, преимущества и недостатки по сравнению с другими схемами АЦП. АЦП последовательных приближений на коммутируемых ёмкостях (схема, принцип работы).
16. Перемножитель Гильберта: схема, назначение, принцип работы, математическое описание.
17. Кристаллическая структура твердых тел. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники.
18. Колебания цепочки атомов. Акустические и оптические фононы.
19. Зонные диаграммы полупроводниковых материалов.
20. Понятие эффективной массы носителя заряда. Понятие дырки.
21. Распределение Ферми-Дирака (график, формула). Уровень Ферми.
22. Собственные и примесные полупроводники. Донорная и акцепторная легирующие примеси.

23. Функция плотности энергетических состояний (график, формула).
24. Зависимости концентрации носителей заряда и уровня Ферми от температуры в собственных полупроводниках.
25. Зависимости концентрации носителей заряда и уровня Ферми от температуры в примесных полупроводниках. Области примесной проводимости, истощения примесей и собственной проводимости.
26. Проводимость и подвижность носителей заряда, их зависимость от температуры.
27. Энергетический спектр твердых тел. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.
28. Зависимость средней дрейфовой скорости носителей заряда от напряженности электрического поля. Эффект всплеска скорости носителей заряда. Электрический пробой в полупроводниках.
29. Диффузия свободных носителей заряда. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна.
30. Эффект Холла в полупроводниках.
31. Уравнение непрерывности. Физический смысл слагаемых.
32. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.
33. Генерация и рекомбинация носителей заряда.
34. p-n переход в равновесном состоянии. Формирование области пространственного заряда.
35. p-n переход при подаче внешнего напряжения. Движение носителей заряда в структуре при прямом и обратом смещениях. Идеальная ВАХ диода.
36. Барьерная емкость p-n перехода и сопротивление базы. Эквивалентная схема диода. Реальная ВАХ p-n перехода. Зависимость тока диода от температуры.
37. Контакт металл-полупроводник. Формирование барьера Шоттки. ВАХ диода.
38. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник. Состояния поверхности в МДП-структуре при подаче внешнего напряжения: обогащение, обеднение, инверсия.
39. Принципы работы полупроводниковых фоторезисторов, фотодиодов и солнечных батарей.
40. Принципы работы светодиодов и полупроводниковых лазеров.
41. Конструкция и принцип работы классического биполярного транзистора в схеме с общей базой (зонные диаграммы, основные физические процессы, протекающие в структуре, вид ВАХ).
42. Структура, принцип работы и качественный вид ВАХ полевого транзистора с управляющим p-n переходом. Преимущества НЕМТ. 26. МДП полевой транзистор со встроенным каналом (конструкция, принцип работы, ВАХ).
43. МДП полевой транзистор с индуцированным каналом (конструкция, принцип работы, ВАХ).
44. Принципы работы туннельного диода.
45. Принципы работы лавино-пролетного диода.
46. Конструкция и принцип работы диода Ганна. Причины нарастания и стабилизации домена в диоде Ганна.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-4

1. Вывести дисперсионную характеристику для акустических фононов в полупроводниковых кристаллах. Качественно объяснить причины возникновения оптических фононов в сложных кристаллических решетках. Рассчитать среднюю тепловую скорость электрона в кремнии при комнатной температуре и длину волны электрона.

2. Вывести закон Дебая для теплоемкости и рассчитать теплоемкость кремния и германия при температуре большей, чем температура Дебая и при 10 К. Температура Дебая для кремния равна 658 К, для германия – 366 К. Оценить температуру поверхности кремниевого кристалла мощного полупроводникового прибора если известны: рассеиваемая прибором мощность - 150 Вт, толщина кристалла - 50 мкм, площадь поверхности 1 см<sup>2</sup>, теплопроводность материала  $\lambda=10^{-4}$  [Вт/мкм·К]. Считать, что кристалл припаян к идеальному теплоотводу. Паразитным тепловым сопротивлением припоя пренебречь.

3. Вывести формулу для функции плотности состояний в трехмерном кристалле. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в германии при  $T=300$  К. Эффективную массу дырок считать равной  $0.36 \times m_0$ , а электронов –  $0.55 \times m_0$ , где  $m_0$  – масса электрона в вакууме. Ширина запрещенной зоны при комнатной температуре в германии составляет 0.66 эВ. Изменится ли (и если изменится, то как) величина и тип проводимости чистого германия, если ввести в него примесь As?



4. Концентрация электронов в собственном полупроводнике при 400 К оказалась равной  $1.38 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Найти произведение эффективных масс электронов и дырок, если ширина запрещенной зоны следующим образом зависит от температуры:  $W_g = 0.785 - 4 \times 10^{-4} T$  (эВ).
5. Вывести формулу для зависимости уровня Ферми от температуры в собственном полупроводнике. Найти положение уровня Ферми и концентрацию электронов в собственном германии при температуре 600 К, если известно, что ширина запрещенной зоны при таких температурах меняется по закону  $E_g = (0.7 - 3 \times 10^{-4} T(K))$  эВ. Использовать значения эффективных масс  $m_n = 0.02 m_0$ ,  $m_p = 0.2 m_0$ . Оценить температуру, при которой достигается экстремальное значение уровня Ферми, считая  $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и  $m_n^* \approx m_0$ .
6. Найти отношение концентраций электронов в верхних (L) и основной (G) долинах невырожденного GaAs при  $T = 300 \text{ К}$  и при  $T = 1000 \text{ К}$ . Считать, что эффективная масса плотности состояний для электронов в верхних долинах в 15 раз больше, чем в основной. Энергетический зазор между долинами составляет  $W_s = 0,35$  эВ. Будут ли отличаться значения проводимости материала при данных температурах?
7. В момент времени  $t_1 = 10^{-4} \text{ с}$  после выключения равномерной по объему генерации электронно-дырочных пар неравновесная концентрация носителей заряда оказалась в 10 раз больше, чем в момент времени  $t_2 = 10^{-3} \text{ с}$ . Определить время жизни носителей заряда, если уровень возбуждения мал.
8. Определить относительное изменение проводимости тонкого полупроводникового образца при стационарном освещении с интенсивностью  $I = 5 \times 10^{15} \text{ 1/с} \times \text{см}^2$ . Коэффициент поглощения  $g = 100 \text{ см}^{-1}$ ; равновесная концентрация электронов составляет  $n_0 = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ; время жизни  $t = 2 \times 10^{-4} \text{ с}$ ; отношение подвижностей электронов и дырок  $m_n/m_p \approx 2$ .
9. Объяснить распределение концентрации электронов, наличие электрического поля и потенциального барьера на границе  $n + -n$ - перехода. Используя условия равновесия в такой системе вывести соотношение Эйнштейна. Объяснить физический смысл теплового потенциала как коэффициента пропорциональности между подвижностью и коэффициентом диффузии. Найти диффузионную длину электронов в невырожденном германии при температуре  $T = 300 \text{ К}$ , если время жизни электронов составляет  $t_n = 10^{-4} \text{ с}$ , а их подвижность -  $m_n = 3800 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$ .
10. При  $T = 300 \text{ К}$  удельное сопротивление образца собственного кремния составляет  $2.3 \times 10^5 \text{ Ом} \times \text{см}$ . Какова концентрация собственных носителей заряда? Если через образец пропустить ток, то какая его часть будет обусловлена электронами? Считать, что  $m_n = 1900 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$ ;  $m_p = 425 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$ .
11. Оценить среднюю скорость теплового движения электронов при комнатной температуре и дрейфовую скорость электронов на участке насыщения зависимости дрейфовой скорости от напряженности электрического поля в Si, если эффективная масса электронов в данном материале составляет  $m^* = 0.2 m_0$ , а энергия оптического фонона  $\hbar \omega_0 = 60 \text{ мэВ}$ .
12. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристики  $p-n$  перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода. В какой конструкции гетероперехода возможна биполярная инжекция?
13. Оценить величину плотности тока тепловой генерации  $p-n$  перехода, если концентрации примесей в  $p$  и  $n$  областях составляют, соответственно,  $N_A = 2 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_D = 2 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Подвижности дырок и электронов  $m_p = 1900 \text{ см}^2/\text{Вс}$ ,  $m_n = 3500 \text{ см}^2/\text{Вс}$ . Времена жизни носителей заряда  $t_p = t_n = 10^{-3} \text{ с}$ .

Концентрация носителей в собственном полупроводнике  $n_i = 2 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Найти величину тока в р-п переходе при внешнем напряжении  $V = +0,15 \text{ В}$ ;  $-0,5 \text{ В}$ ;  $-2 \text{ В}$ . Площадь перехода составляет  $1 \text{ мм}^2$ .

14. Рассчитать контактную разность потенциалов в Ge р-п переходе. Удельное сопротивление р и п областей  $r = 2 \text{ Ом} \times \text{см}$ . Как изменится высота энергетического барьера при изменении напряжения с  $V = +0,15 \text{ В}$  до  $V = -5 \text{ В}$ ? Нарисовать зонные диаграммы. Концентрация носителей в собственном полупроводнике  $n_i = 2 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Изменится ли (и если изменится, то как) контактная разность потенциалов при нагреве полупроводниковой структуры?

15. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристику диода Шоттки.

16. Найти контактную разность потенциалов в диоде Шоттки n-Ge/Au. Нарисовать зонную диаграмму контакта при термодинамическом равновесии. Удельное сопротивление полупроводника  $r = 1 \text{ Ом} \times \text{см}$ . Работа выхода электронов из золота  $4,7 \text{ эВ}$ . Электронное сродство Ge  $4 \text{ эВ}$ , ширина запрещенной зоны  $W_g = 0,66 \text{ эВ}$ . Концентрация электронов в собственном германии составляет  $n_i = 2 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Подвижность электронов  $\mu_n = 3500 \text{ см}^2/\text{Вс}$ . Определить толщину несмещенного перехода, если диэлектрическая проницаемость составляет  $\epsilon = 16$ .

17. Исходя из времени релаксации импульса ( $10\text{-}13 \text{ с}$ ), эффективной массы электронов ( $0,067 m_0$  для GaAs и  $0,2 m_0$  для Si) и ширины запрещенной зоны ( $1,2 \text{ эВ}$  в Si и  $1,51 \text{ эВ}$  в GaAs) оценить напряженность поля при котором возникает лавинный пробой в GaAs и Si.

18. Могут ли одни и те же GaAs и Si р-п переходы (или гетеропереходы) работать в роли как свето- так и фотодиода? Ответ обосновать с помощью зонной диаграммы, законов сохранения энергии и импульса.

19. Вычислить КПД GaAs солнечной батареи считая, что интенсивность солнечного излучения распределена по спектру равномерно, а диапазон длин волн излучения от  $0,1$  до  $10 \text{ мкм}$ .

20. На практике для уменьшения шумов германиевые фотодиоды помещают в жидкий азот. Определить сдвиг длинноволновой границы рабочего диапазона германиевого фотодиода при его охлаждении от комнатной температуры ( $300 \text{ К}$ ) до температуры жидкого азота ( $78 \text{ К}$ ). Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры для германия  $W_g = 0,742 - 4,8 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 / (T + 235) \text{ (эВ)}$ . Почему темновой ток германиевого фотодиода больше, чем кремниевого?

21. Вывести ВАХ биполярного транзистора. Объяснить причины наличия небольшого наклона на выходных ВАХ транзистора (эффект Эрли). Для ответа использовать зонную диаграмму, график распределения концентраций электронов и дырок от продольной координаты в структуре транзистора, а также объяснить с помощью какого элемента эквивалентной схемы учитывается подобный эффект.

22. Объяснить преимущества гетеробиполярного транзистора перед биполярным для чего численно оценить амплитуду встроенного поля в варизонной базе толщиной  $1 \text{ мкм}$  и  $\Delta W_g = 0,4 \text{ эВ}$  и связанного с ним увеличения скорости носителей заряда (аналогично дрейфовому транзистору).

23. Вывести ВАХ ПТ с управляющим р-п переходом. Качественно объяснить отличия МДП транзисторов с индуцированным и встроенным каналом.

24. Вывести критерий Крамера для диода Ганна. Объяснить три режима работы диода Ганна в резонаторе (пролетный режим, режим запаздывания домена, режим гашения).

**Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все части компетенции сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Все части компетенции сформированы на уровне не ниже «отлично».
очень хорошо	Все части компетенции сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
хорошо	Все части компетенции сформированы на уровне не ниже «хорошо».
удовлетворительно	Все части компетенции сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Компетенция сформирована на уровне «плохо».

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Шкелев Евгений Иванович. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 010800 "Радиофизика" и специальности 090106 "Информ. безопасность телекоммуникац. систем" / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 111 с. - ISBN 978-5-91326-216-5 : 87.25., 2 экз.
2. Гоноровский Иосиф Семенович. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. для студентов радиотехн. специальностей вузов. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1986. - 512 с. : ил. - 1.70., 153 экз.
3. Введение в физику полупроводниковых диодов и методы их проектирования с использованием высокопроизводительных вычислений : учебное пособие / Волкова Е. В., Пузанов А. С., Оболенский С. В., Тарасова Е. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 78 с. - Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 и 03.04.03 «Радиофизика», 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», специальностям 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=709287&idb=0>.
4. Оболенский Сергей Владимирович. Основы физики полупроводников. Транспорт носителей заряда в электрических полях : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 64 с. - В надзаг.: Приоритетный нац.

проект "Образование". Инновац. образоват. программа Нижегород. ун-та: Образоват.-науч. центр "Информационно-телекоммуникационные системы: физические основы и математическое обеспечение". - ISBN 978-5-91326-032-1 : 30.00., 3 экз.

5. Введение в физику транзисторов : учебное пособие / Тарасова Е. А., Пузанов А. С., Волкова Е. В., Оболенский С. В., Оболенская Е. С. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019. - 88 с. - Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 и 03.04.03 «Радиофизика», 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», специальностям 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=709607&idb=0>.

6. Шалимова Клавдия Васильевна. Физика полупроводников : учебник. - Изд. 4-е, стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 400 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0922-8 : 703.56., 39 экз.

Дополнительная литература:

1. Манаев Евгений Иванович. Основы радиоэлектроники. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 512 с. : ил. - 21-00., 4 экз.
2. Степаненко Игорь Павлович. Основы микроэлектроники : [учеб. пособие для вузов по специальностям "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы"]. - М. : Советское радио, 1980. - 423 с. : ил. - 1.20., 15 экз.
3. Степаненко Игорь Павлович. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергия, 1973. - 608 с. - 30.00., 96 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Не используется.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, специализированным оборудованием: лабораторные установки "Мультивибратор на транзисторах" и "Операционный усилитель"; "Запрещенная зона", "Время жизни", "Эффект Холла", "Полупроводниковый диод", "Биполярный транзистор", "Полевой транзистор".

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 10.05.02 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем.

Автор(ы): Ивлев Дмитрий Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент  
Тарасова Елена Александровна, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Горбунов Александр Александрович.

Заведующий кафедрой: Фитасов Евгений Сергеевич, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.