

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан _____ Матросов В.В.

« 29 » _____ июня 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.Б.23 Электроника и схемотехника

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

специалист

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2018

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Электроника и схемотехника» относится к дисциплинам базовой части (блок Б1.Б) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина обязательна для освоения в 6-м, 7-м и 8-м семестрах.

Целями освоения дисциплины являются:

- сформировать у студентов современное представление об основных методах формирования активной среды в виде электронного пучка для мощных источников когерентного электромагнитного излучения, включая теорию эмиссии электронов из твердого тела.
- рассмотрение современных методов электронной оптики слаботочных систем, включая различные виды электронных микроскопов.
- получить совокупность знаний о кристаллической структуре и зонной модели твердого тела, статистике электронов в твердом теле;
- получить совокупность знаний о неравновесных явлениях в полупроводниках, явлениях на поверхности и границе раздела материалов, магнитных свойствах твердых тел; сверхпроводимости;
- рассмотреть процессы происходящие в металлах, диэлектриках и сверхпроводниках.
- получить представления и понятие о колебаниях решетки, поведении электронов в периодическом потенциале;
- получить совокупность знаний о теории классических полупроводниковых приборов – базовых элементов интегральных схем, полупроводниковых СВЧ диодах – базовых элементах систем передачи данных, полупроводниковых приборах с гетеропереходами;
- получить совокупность знаний о принципах функционирования полупроводниковых приборов;
- изучить основы элементной базы аналоговой техники;
- изучить принципы построения и функционирования усилительных устройств, преобразователей электрических сигналов и устройств фильтровой обработки;
- изучить особенности использования и функционирования транзисторов (полевых и биполярных) в электрических цепях различного предназначения;
- изучить принципы построения и составных частей аналоговых интегральных схем, предназначенных для усиления и преобразования электрических сигналов;
- овладеть техническими средствами, применяемыми в устройствах аналоговой обработки сигналов, в системах синхронизации;
- ознакомиться с перспективными направлениями развития аналоговой схемотехники.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-3 способность оценивать технические возможности и выработать рекомендации по построению	31 (ПК-3) Знать принципы работы вакуумных и полупроводниковых приборов, схемы их включения. У1 (ПК-3) Уметь применять базовые знания в области математики для решения стандартных задач

телекоммуникационных систем и сетей, их элементов и устройств (этап освоения: начальный, базовый)	электроники. <i>В1 (ПК-3) Владеть</i> навыками оценивания технических возможностей и выработки рекомендаций по построению телекоммуникационных систем и сетей, их элементов и устройств.
<i>ПК-4</i> способность участвовать в разработке компонентов телекоммуникационных систем (этап освоения: начальный, базовый)	<i>З1 (ПК-4) Знать</i> комплементарные схемы операционных усилителей и базовые элементы логики. <i>У1 (ОПК-2) Уметь</i> приобретать новые знания в области электроники, используя современные образовательные и информационные технологии. <i>В1 (ОПК-2) Владеть</i> навыком анализа вакуумных и полупроводниковых приборов, способностью участвовать в разработке компонентов телекоммуникационных систем.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 11 зачетных единиц, всего 396 часов, из которых 181 час составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (96 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 64 часа занятия лабораторного типа, в том числе 6 часов – мероприятия текущего контроля успеваемости, 5 часов – мероприятия промежуточной аттестации), 215 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	Занятия лабораторного типа	Всего	
Часть 1. Вакуумная электроника						
1. Введение	4	1			1	3
2. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях	4	1			1	3
3. Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы	6	2		1	3	3
4. Электронно-оптические системы	6	2		1	3	3
5. Интенсивные электронные пучки	6	2		1	3	3

6. Общие вопросы эмиссионной электроники	6	2		1	3	3
7. Термоэлектронная эмиссия	6	2		1	3	3
8. Полевая эмиссия	6	2		1	3	3
9. Вторичная электронная эмиссия	6	2		1	3	3
10. Фотоэлектронная эмиссия	6	2		1	3	3
11. Технические применения фото- и вторичной эмиссии	7	2		1	3	4
12. Основные понятия электроники СВЧ	7	2		1	3	4
13. Клистроны	7	2		1	3	4
14. Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О)	7	2		1	3	4
15. ЛБВ М-типа. Магнетрон	7	2		1	3	4
16. Релятивистская высокочастотная электроника.	6	2		1	3	3
17. Лазеры и мазеры на свободных электронах	5	1		1	2	3
18. Вакуумная микроэлектроника СВЧ	5	1		1	2	3
Часть 2. Твердотельная электроника						
1. Кристаллическая структура твердого тела	6	1	1		2	4
2. Колебания и волны в кристаллической решетке	5	1			1	4
3. Электроны в периодическом потенциале	7	1	1	1	3	4
4. Статистика носителей заряда	8	2	1	1	4	4
5. Квазиклассическое описание движения носителей заряда	8	2	1	1	4	4
6. Неравновесные явления в полупроводниках	8	2	1	1	4	4
7. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках	8	2	1	1	4	4
8. Теория р-п перехода	8	2	1	1	4	4
9. Устройства на базе диода	8	2	1	1	4	4
10. Биполярный транзистор	9	2	1	1	4	5
11. Работа биполярных транзисторов в схемах	9	2	1	1	4	5
12. Явления на резкой границе раздела материалов	8	2	1	1	4	4
13. Полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки	9	2	1	1	4	5
14. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник	9	2	1	1	4	5
15. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник	9	2	1	1	4	5
16. Работа полевых транзисторов в схемах	9	2	1	1	4	5
17. Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона	6	1		1	2	4
18. Оптоэлектронные приборы	8	2	1	1	4	4
Часть 3. Схемотехника						
1. Вводная часть. Способы аналитического описания основные характеристики	3	1			1	2

линейных четырёхполюсников. Вопросы межкаскадного согласования.						
2. Базовые схемы включения усилительных приборов. Выбор начальной рабочей точки. Эквивалентные схемы по постоянному и переменному току	18	4		6	10	8
3. Усилители переменного тока. Аперiodически и резонансный усилители. Амплитудно- и фазо-частотные характеристики усилителей.	18	4		6	10	8
4. Усилители постоянного тока (УПТ). Дрейфовые явления и способы повышения стабильности работы УПТ. Однотактный и дифференциальный каскады УПТ.	24	4		6	10	14
5. Интегральные дифференциальные усилители. Обобщённая принципиальная схема интегрального дифференциального усилителя. Стандартный операционный усилитель (ОУ) и его характеристики.	19	3		4	7	12
6. Операционные усилители и их применение. Инвертирующее и неинвертирующее включение ОУ. Безынерционные и инерционные (фильтры) цепи на основе ОУ.	24	6		6	12	12
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.	18	6			6	12
8. Система фазовой автоподстройки (ФАП). Функциональный состав и структурная схема. Система ФАП в режиме слежения - основные характеристики и параметры кольца обратной связи. Применение системы ФАП.	18	4		4	8	10
В т.ч. текущий контроль	6		2	4	6	
Промежуточная аттестация: зачет, экзамен						

4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных и практических занятий.

Освоение схемотехнических решений и функционирование исследуемых объектов происходит под руководством преподавателя.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного и практического типа:

- лекции с проблемным изложением учебного материала.
- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.
- лабораторные работы.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечена учебными пособиями и методическими разработками для лабораторных работ. Учебно-методические разработки содержат необходимый для контроля освоения дисциплины перечень вопросов, по ответам на которые в процессе выполнения лабораторных работ производится контроль приобретённых обучающимся знаний. Кроме того каждый студент оформляет отчёт по выполненным лабораторным работам, в которых содержится объяснение принципа работы исследуемых функциональных радиоэлектронных узлов с привлечением преподаваемого в лекциях материала.

Вопросы для самостоятельной работы

1. Зоны Бриллюэна. Рентгеноструктурный анализ кристаллов.
2. Основные и неосновные носители заряда. Управление проводимостью с помощью легирования.
3. Эффект Холла
4. Фотоионизация и фотопроводимость.
5. Максвелловская релаксация в проводящей среде.
6. Магнитная восприимчивость и намагничённость.
7. Схемы включения биполярных транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.
8. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.
9. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Высокочастотные свойства.
10. Комплементарные схемы.
11. Лавинно-пролетный диод. Генератор Ганна.
12. Солнечные батареи.
13. Движение в слабонеоднородных полях (дрейфовая теория). Поперечный адиабатический инвариант. Дрейфовые уравнения. Уравнения Лагранжа. Теорема Буша.
14. Вариационные принципы динамики заряженных частиц. Электронно-оптический коэффициент преломления.
15. Классификация магнитных линз. Электронно-оптические свойства короткой (слабой) и длинной магнитных линз. Сильные магнитные линзы. Аберрации электронных линз. Электронные зеркала. Квадрупольные линзы. Отклоняющие системы.
16. Проекторы электронно-лучевых трубок. Электронно-лучевые технологические установки. Электронные микроскопы (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы). Разрешающая сила электронных микроскопов просвечивающего типа.

17. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа. Формирование ленточных электронных пучков. Пушки Пирса.
18. Особенности работы электронных ламп на СВЧ. Инерция электронов. Наведенные токи в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо.
19. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.
20. Принцип работы многорезонаторного клистрона.
21. Электронная проводимость клистрона. Стартовый ток и перестройка частоты клистрона.
22. Свойства периодических замедляющих систем. Пространственные гармоники. Фазовая скорость пространственной гармоники.
23. Нелинейная теория ЛБВ. Модель электронного потока в электронных приборах СВЧ. Метод крупных частиц. Дебаевский радиус электронного пучка.
24. Лампа обратной волны. Принцип действия. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.
25. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов. Виды колебаний колебательной системы магнетрона, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.
26. Классические электроны-осцилляторы и электронные мазеры. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров. Устройство и работа гиротрона.
27. Релятивистские электронные мазеры - МЦАР и убитрон.
28. Согласование четырёхполосников по току, по напряжению и по мощности.
29. В чём состоит механизм использования активных приборов (транзисторов) для усиления аналоговых сигналов.
30. Разновидности, основные свойства и отличия схем включения усилительных приборов – транзисторов: схемы с общим эмиттером (общим истоком), общей базой (общим затвором), общим коллектором (общим стоком).
31. Каскодные схемы включения транзисторов. В каких случаях используются каскодные схемы включения и исходя из чего делается выбор той или иной каскодной конфигурации.
32. Усилители переменного тока. Эквивалентные схемы по постоянному и переменному токам.
33. Основные характеристики усилителей переменного тока. От чего зависят коэффициент усиления по напряжению и частотные свойства усилителя.
34. Принципиальная схема апериодического усилителя. Коэффициент усиления по напряжению и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя.
35. Принципиальная схема резонансного усилителя. Коэффициент усиления по напряжению и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя.
36. Отнотактный усилитель постоянного тока (УПТ). Дрейфа УПТ. Механизм применения отрицательной обратной связи для устранения дрейфовых явлений в УПТ.
37. Дифференциальный каскад (ДК). Принцип подавления дрейфовых явлений в ДК. Коэффициент усиления по напряжению и способ подавления синфазной составляющей в ДК.
38. Обобщённая схема интегрального дифференциального усилителя.
39. Стандартный операционный усилитель (ОУ) и его частотные свойства.
40. Инвертирующее и неинвертирующее включение ОУ.
41. Принцип использования ОУ для выполнения операций над аналоговыми сигналами (в частности, операций суммирования и фильтрации).
42. Механизм использования ОУ в цифро-аналоговых преобразователях (ЦАП).
43. Операционный усилитель в роли аналогового компаратора напряжений. От чего зависит точность работы компаратора.
44. Механизм использования аналогового компаратора для выполнения аналого-цифрового преобразования.
45. Разновидности аналого-цифровых преобразователей (АЦП): АЦП последовательных приближений, параллельный АЦП.

46. Принцип работы АЦП на коммутируемых ёмкостях.
47. Принцип работы Δ - Σ АЦП.
48. Механизм использования дифференциального каскада для выполнения операции умножения.
49. Дифференциальный каскад в роли активного смесителя. Чем отличается работа ДК в роли смесителя и в роли аналогового перемножителя.
50. Перечислите функциональные узлы, построенные на основе смесителей.
51. Синхронный и фазовый детекторы. Структурные схемы и отличия в работе.
52. Преобразователь частоты. структурная схема преобразователя. Роль смесителя в процессе преобразовании частоты.
53. Структурная схема системы фазовой автоподстройки (ФАП). Механизм использования ФАП для синтеза частот и в системах фазовой синхронизации.
54. Система ФАП в режиме слежения и её основные характеристики.
55. От чего зависят характер переходных процессов и установившаяся ошибка слежения в системе ФАП.
56. В чём состоит особенность импульсно-фазовой системы ФАП.

Изучение дисциплины сопровождается приобретением навыков экспериментальных исследований в рамках лабораторного практикума. В лабораторных установках исследуются как чисто аналоговые, так и цифровые и цифро-аналоговые устройства. К первым относятся базовые схемы включения и дифференциальный каскад, ко вторым – (1) система ЦАП-АЦП со специально разработанным программным обеспечением и интерфейсом пользователя для исследования базовых схем включения биполярных транзисторов и (2) цифровая система фазовой автоподстройки.

Выполняются три лабораторные работы:

Наименование лабораторной работы	Раздел дисциплины
Преобразование сигналов на биполярном транзисторе (14 часов)	2, 3
Дифференциальный каскад и функциональные узлы на его основе (14 часов)	4, 6
Синтезатор частоты (8 часов)	8

Осваиваемые в ходе выполнения лабораторных работ компетенции ПК-3 и ПК-4 оцениваются по ответам на контрольные вопросы при допуске к лабораторным работам, в ходе их выполнения и по письменному отчёту, завершающему выполнение лабораторной работы. Заключительная оценка качества формирования компетенций при выполнении лабораторных работ происходит по правилу «зачтено» или «не зачтено»

Уровень освоения компетенций оценивается по ответам на контрольные вопросы при допуске к лабораторным работам и в ходе их выполнения, а также по письменному отчёту, завершающему выполнение каждой лабораторной работы. Заключительная оценка качества формирования компетенций происходит по итоговому экзамену, включающему оценку качества знаний, приобретённых в процессе выполнения лабораторных работ.

Оценка сформированности компетенций происходит в соответствии с таблицей индикаторов.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

Оценка сформированности компетенций происходит в соответствии с таблицей индикаторов.

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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 недочетами.	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 незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

6.2. Описание шкал оценивания.

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета в 6-м семестре и экзаменов в 7-м и 8-м семестрах, на которых определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;

- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен и зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение задачи.

Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами. 100 %--ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Студент активно работал на практических занятиях. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.
Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы. Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.

Зачтено	Превосходная, отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Обучаемый не менее чем удовлетворительно отвечает на основные вопросы, а также на большинство дополнительных вопросов.
Не зачтено	Обучаемый показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- устные и письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания, включающие одну или несколько задач

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются: устный опрос, решение практических задач.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Вопросы на зачет для оценки сформированности компетенций ПК-3, ПК-4

1. Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.
2. Представление радиус-вектора и скорости электрона при движении в слабо неоднородных полях. Условия сохранения поперечного адиабатического инварианта. Теорема Буша. Устройство и принцип работы магнетронно-инжекционной пушки гиротрона.
3. Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.
4. Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.
5. Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды аббераций электронных линз.
6. Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия.
7. Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.
8. Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.
9. Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.
10. Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твердого тела.
11. Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизмы действия пленочного и оксидного катодов.
12. Изменение профиля потенциального барьера на границе твердого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.
13. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных

- электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.
14. Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.
 15. Принцип работы и быстродействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители.
 16. Понятие о наведенном токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.
 17. Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.
 18. Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.
 19. Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.
 20. Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.
 21. Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.
 22. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.
 23. Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.
 24. Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.
 25. Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.
 26. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.
 27. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.
 28. Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.
 29. Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта. Диод и триод с катодом Спиндта. Особенности устройства и работы ЛБВ О и М типов с катодами Спиндта.

Экзаменационные вопросы для оценки сформированности компетенций ПК-3, ПК-4

1. Особенности кристаллической структуры твердых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца.
2. Причины возникновения зонной структуры твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок
3. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда.
4. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки.
5. Кинетическое уравнение Больцмана и механизмы рассеяния электронов. Подвижность носителей заряда.
6. Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии
7. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей.
8. Диффузионный и дрейфовый ток. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.
9. Каковы магнитные свойства твердых тел?
10. p-n переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода.

11. Распределение заряда, структура поля и потенциала в р-п переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей.
12. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики диода на основе р-п перехода.
13. Барьерная емкость р-п перехода и сопротивление базы. Пробой р-п перехода.
14. Выпрямители. Стабилизаторы.
15. Варисторы. Варакторы. Диоды с накоплением заряда.
16. Биполярный транзистор. Типы транзисторов. Теория работы транзистора. Токи созданные основными и неосновными носителями.
17. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания биполярных транзисторов.
18. Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.
19. Явления на резкой границе раздела материалов. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.
20. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.
21. Полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки. Эффект поля. Распределение потенциала и поля в приборе.
22. Расчет статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.
23. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов.
24. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик.
25. Работа полевых транзисторов в схемах. Основные способы включения транзисторов. Комплементарные схемы. Базовые элементы логики.
26. Туннельный диод. Лавинно-пролетный диод.
27. Генератор Ганна.
28. Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи.
29. Согласование четырёхполюсников по току, по напряжению и по мощности.
30. В чём состоит механизм использования активных приборов (транзисторов) для усиления аналоговых сигналов.
31. Разновидности, основные свойства и отличия схем включения усилительных приборов – транзисторов: схемы с общим эмиттером (общим истоком), общей базой (общим затвором), общим коллектором (общим стоком).
32. Каскодные схемы включения транзисторов. В каких случаях используются каскодные схем включения и исходя из чего делается выбор той или иной каскодной конфигурации.
33. Усилители переменного тока. Эквивалентные схемы по постоянному и переменному токам.
34. Основные характеристики усилителей переменного тока. От чего зависят коэффициент усиления по напряжению и частотные свойства усилителя.
35. Принципиальная схема апериодического усилителя. Коэффициент усиления по напряжению и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя.
36. Принципиальная схема резонансного усилителя. Коэффициент усиления по напряжению и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя.
37. Отнотактный усилитель постоянного тока (УПТ). Дрейфа УПТ. Механизм применения отрицательной обратной связи для устранения дрейфовых явлений в УПТ.
38. Дифференциальный каскад (ДК). Принцип подавления дрейфовых явлений в ДК. Коэффициент усиления по напряжению и способ подавления синфазной составляющей в ДК.
39. Обобщённая схема интегрального дифференциального усилителя.

40. Стандартный операционный усилитель (ОУ) и его частотные свойства.
41. Инвертирующее и неинвертирующее включение ОУ.
42. Принцип использования ОУ для выполнения операций над аналоговыми сигналами (в частности, операций суммирования и фильтрации).
43. Механизм использования ОУ в цифро-аналоговых преобразователях (ЦАП).
44. Операционный усилитель в роли аналогового компаратора напряжений. От чего зависит точность работы компаратора.
45. Механизм использования аналогового компаратора для выполнения аналого-цифрового преобразования.
46. Разновидности аналого-цифровых преобразователей (АЦП): АЦП последовательных приближений, параллельный АЦП.
47. Принцип работы АЦП на коммутируемых ёмкостях.
48. Принцип работы Δ - Σ АЦП.
49. Механизм использования дифференциального каскада для выполнения операции умножения.
50. Дифференциальный каскад в роли активного смесителя. Чем отличается работа ДК в роли смесителя и в роли аналогового перемножителя.
51. Перечислите функциональные узлы, построенные на основе смесителей.
52. Синхронный и фазовый детекторы. Структурные схемы и отличия в работе.
53. Преобразователь частоты. структурная схема преобразователя. Роль смесителя в процессе преобразовании частоты.
54. Структурная схема системы фазовой автоподстройки (ФАП). Механизм использования ФАП для синтеза частот и в системах фазовой синхронизации.
55. Система ФАП в режиме слежения и её основные характеристики.
56. От чего зависят характер переходных процессов и установившаяся ошибка слежения в системе ФАП.
57. В чём состоит особенность импульсно-фазовой системы ФАП.

Типовые задачи для оценивания сформированности умений и навыков по компетенциям ПК-3, ПК-4.

1. Найти предельную частоту (длину волны) для плоского диода при которой можно пренебречь инерцией электронов. Рассмотреть 2 случая : а) диод работает в режиме ограничения тока пространственным зарядом; б) влиянием пространственного заряда можно пренебречь. Ускоряющее напряжение $U=300$ В, зазор анод-катод $d=5$ мм.
2. Найти заряд, прошедший во внешней цепи плоского диода при пролете единичного электрона.
3. Найти частоту генерации монотрона с $d=20$ мм, $U=400$ В.
4. Пользуясь методом полного тока найти время пролета электрона в диоде в режиме ограничения тока пространственным зарядом.
5. Доказать, что в монотроне активная и реактивная проводимости электронного пучка $Y_a(0)=Y_r(0)=0$.
6. При какой частоте f в клистроне после прохождения первого резонатора отсутствует модуляция электронного пучка по скорости ? Ускоряющее напряжение $U_0=300$ В, зазор между сетками модулятора $d=5$ мм.
7. Найти частоту f , при которой коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора в клистроне $M=0.9$, если $d=5$ мм, $U_0=400$ В.
8. На каком расстоянии x от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне образуется наиболее плотный электронный сгусток, если $\lambda=4$ см, $U_0=4$ кВ, $d=2$ мм, $U_{1M}=150$ В.
9. На каком расстоянии x от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне надо поставить второй резонатор, чтобы получить максимальный КПД на второй гармонике рабочей частоты, если $\lambda=8$ см, $U_0=4$ кВ, $d=6$ мм, $U_{1M}=100$ В.

10. Найти связь между номером зоны генерации n и потенциалом $U_{отр}$ отражателя в отражательном клистроне.
11. Найти величину параметра группировки и номер зоны генерации для отражательного клистрона при следующих параметрах: $U_0=300$ В, $U_{отр}=50$ В, $f=500$ МГц, $D=5$ мм, $U_{1M}=40$ В, $d=2$ мм.
12. Оценить, на каком расстоянии x от замедляющей системы надо пропускать электронный пучок, если $\lambda=3$ см, $U_0=1$ кВ.
13. Найти коэффициент усиления G в ЛБВ-О, если длина лампы $L=10$ см, $\lambda=3$ см, $U_0=4$ кВ, $R_c=10$ ом, $I_0=10$ мА, считая, что влиянием поля пространственного заряда можно пренебречь, а скорость электронного пучка равна холодной фазовой скорости волны.
14. На сколько скорость электронного пучка должна превышать холодную фазовую скорость волны, чтобы в ЛБВ-О отсутствовала экспоненциально нарастающая волна? $U_0=1$ кВ, $R_c=40$ ом, $I_0=100$ мА. Поле пространственного заряда пренебречь.
15. В ЛБВ-О отношение ускоряющих напряжений при работе на 1-ой и 3-ей пространственных гармониках $U_{01}/U_{03}=1.4$. Определить постоянную распространения нулевой гармоники α , если период системы $D=4$ мм.
16. Найти величину фазовой скорости в ЛБВ-М на границах полосы усиления, если $\lambda=3$ см, $I_0=3$ мА, $R_c=50$ Ом, магнитное поле $B=100$ Гс, потенциалы отрицательного электрода и замедляющей системы относительно катода соответственно $U_1=-100$ В, $U_2=900$ В, а расстояние между ними $d=1$ см.
17. Найти фазовую скорость для π -вида колебаний в 24-резонаторном магнетроне, если $L=10$ см, $R_a=5$ см. Чему примерно равно замедление и анодное напряжение?
18. Оценить оптимальные параметры гиротрона, если $U_0=70$ кВ, $\lambda=2.14$ мм, $g=1$, длина резонатора $L=10$.
19. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристики р-п перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода. С использованием зонной диаграммы и распределения концентрации электронов и дырок дать качественную интерпретацию наличию небольшого наклона на участке насыщения обратной ветви ВАХ для реальных р-п переходов.
20. Вывести вольт-амперную характеристику р-п перехода. По аналогии с р-п переходом объяснить процессы протекания тока в гетеропереходе. Объяснить причины возникновения униполярной инжекции в биполярном гетеропереходе. Оценить соотношение электронной и дырочной компоненты токов в биполярном гетеропереходе. В какой конструкции гетероперехода возможна биполярная инжекция?
21. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристику диода Шоттки. Как будет трансформироваться вольт-фарадная характеристика и напряжение пробоя $Au-n-n^+$ диода Шоттки при уменьшении толщины n -слоя? Ответы обосновать с помощью зонной диаграммы. Объяснить технологию изготовления барьерного и омического контактов (фотолитография, напыление, травление, «взрыв»)
22. 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.
23. 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 $E_g=(0.7 - 3 \cdot 10^{-4} T(K))$ эВ ($m_n=0.02m_0$, $m_p=0.2m_0$). Как зависит уровень Ферми от температуры в примесном полупроводнике и получить (качественно) зависимость контактной разности потенциалов в р-п переходе от температуры.
24. Получив зависимость крутизны ВАХ полевого транзистора с затвором Шоттки и его коэффициента статического усиления от напряжения на затворе и уровня легирования канала, объяснить преимущество канала на основе двумерного электронного газа.
25. Получить зависимость коэффициента усиления полевого транзистора с управляющим р-п переходом от концентрации примеси в канале и напряжения на затворе. Для конкретной

выходной ВАХ транзистора построить нагрузочную прямую и графически (качественно) определить динамический диапазон амплитуды входного сигнала (в схеме с общим истоком) для которого реализуется режим линейного усиления.

26. Объяснить преимущества гетеробиполярного транзистора перед биполярным для чего численно оценить: 1) степень влияния униполярной инжекции на коэффициент переноса носителей через базу; 2) амплитуду встроенного поля в варизонной базе и связанного с ним увеличения скорости носителей заряда.

27. Вывести ВАХ ПТ с управляющим р-п переходом. Качественно, исходя из распределений концентрации носителей заряда и напряженности электрического поля вдоль канала транзистора, объяснить причины возникновения участка насыщения на выходной ВАХ транзистора. Объяснить правила выбора сопротивления нагрузки и напряжения питания транзистора для получения максимальной мощности выходного сигнала.

28. Вывести ВАХ МДП транзистора с индуцированным каналом. Качественно, используя зонную диаграмму и распределение электрического поля в транзисторе, объяснить причины возникновения насыщения на выходной ВАХ транзистора. Вывести коэффициент статического усиления прибора и объяснить почему для реализации максимального усиления транзистора необходимо использовать участок насыщения выходной ВАХ.

29. 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 и эквивалентную схему. Объяснить технологию формирования биполярного транзистора с помощью ионного легирования.

30. На конкретном примере распределения электрического поля вдоль канала полевого транзистора с коротким затвором объяснить физический смысл уравнений релаксации энергии и импульса электронов в полупроводнике. Количественно оценить длину затвора GaAs полевого транзистора Шоттки при которой эффект всплеска скорости будет давать наибольший положительный эффект (считать времена релаксации энергии и импульса известными)?

31. Исходя из времени релаксации импульса (10-13 с), эффективной массы электронов ($0.55m_0$ для GaAs и $0.2 m_0$ для Si) и ширины запрещенной зоны (1.2 эВ в Si и 1.4 эВ в GaAs) оценить напряженность поля при котором возникает лавинный пробой в GaAs и Si.

32. Вывести соотношение для плотности состояний в полупроводниковом кристалле. Получить выражение для концентрации электронов в зоне проводимости исходя из плотности состояний и функции Ферми. Объяснить при каких условиях электронный газ является вырожденным.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Электронные приборы СВЧ: [учеб. пособие для вузов по специальности "Электрон. приборы"]./Березин В. М., Буряк В. С., Гутцайт Э. М., [и др.]. - М.: Высшая школа, 1985. - 296 с.

2. Электронные приборы сверхвысоких частот: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника"./Андрушкевич В. С., Будников Н. П., Бочаров Е. П., Григорьев М. А., Жарков Ю. Д., [и др.]. - Саратов: Изд-во Сарат.- 42 экз

3. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. - Физика полупроводников: [учеб. пособие для физ.

специальностей вузов]. - М.: Наука, 1977. - 672 с.

4. Киттель Ч. «Элементарная физика твердого тела» Наука М. 1965

5. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 672 с.

6. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Сов. радио, 1980. – 424 с.

7. Орлов И.Я. Курс лекций по основам радиоэлектроники: Учебное пособие / Н.Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2005. – 168 с.

8. Аваев Н.А. и др. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов / Н.А. Аваев, Ю.В. Наумов, В.Т. Фролкин. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.

9. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/648>. — Загл. с экрана.

10. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Г. Зегря, В.И. Перель. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2009. — 336 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2371>. — Загл. с экрана.

11. Плотников, П.Г. Изучение полупроводников в курсе физики твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / П.Г. Плотников, Л.В. Плотникова, М.В. Успенская. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2015. — 58 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/70852>. — Загл. с экрана.

б) дополнительная литература

1. Фотоэлектронные приборы./Соболева Н. А., Берковский А. Г., Чечик Н. О., Елисеев Р. Е. - М.: Наука, 1965. - 592 с.

2. Гапонов В. И. - Электроника: учеб. пособие для вузов. Ч. 2. - М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. - 592 с.

3. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.П., «Полупроводниковые приборы» Высшая школа, М., 1981.

4. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. - Микроэлектроника: Физические и технологические основы, надежность: [учеб. пособие для приборостроит. специальностей вузов]. - М.: Высшая школа, 1986. - 463, [1] с.

5. Пикус Г.Е. «Основы теории полупроводниковых приборов» Наука, М., 1965

6. Зеегер К. «Физика полупроводниковых приборов» Мир, М., 1977

7. Киреев П. С. – «Физика полупроводников» [учеб. пособие для вузов]. - М.: Высшая школа, 1975. - 584 с.

8. Ансельм А. И. – «Введение в теорию полупроводников» [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1978. - 615 с.

9. Баскаков С.Н. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец «Радиотехника». – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высш. шк., 1988 – 448 с.: ил.

10. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.

11. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 504 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Дисциплина обеспечена учебными аудиториями для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, промежуточной аттестации, а также помещениями для самостоятельной работы.

Материально-техническое обеспечение лабораторного практикума - лаборатория, оснащенная оборудованием: Генератор сигналов UTG9010C, Источник питания GPS-3030D, Источник питания постоянного тока линейный АКПИ Б5.120/0.75, Мультиметр цифровой APPA 201N Мультиметр цифровой TektronixDMM4020 электроизмерительный комбинированный Осциллограф универсальный ОСУ-10А Устройство для питания устройств постоянным напряжением или током №1 Б5-50.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Автор (ы) _____ В.Ю. Заславский

_____ Е.А. Тарасова

_____ Е.И. Шкелев

Рецензент (ы) _____ С.Н. Менсов

Заведующий кафедрой _____ С.А. Бельков

Заведующий кафедрой _____ Е.С. Фитасов

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» июня 2020 года, протокол № 03/20.