

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА"

СОГЛАСОВАНО
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ

Микроэлектроника СВЧ
рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Электронных приборов**

Учебный план 11.03.03_24_00.plx
11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

Квалификация **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		Итого	
	16			
Неделя	16			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	16	16	16	16
Лабораторные	16	16	16	16
Иная контактная работа	0,35	0,35	0,35	0,35
Консультирование перед экзаменом и практикой	2	2	2	2
Итого ауд.	34,35	34,35	34,35	34,35
Контактная работа	34,35	34,35	34,35	34,35
Сам. работа	29	29	29	29
Часы на контроль	44,65	44,65	44,65	44,65
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

к.т.н., доц., Горлин Олег Анатольевич

Рабочая программа дисциплины

Микроэлектроника СВЧ

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 928)

составлена на основании учебного плана:

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

утвержденного учёным советом вуза от 26.01.2024 протокол № 8.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Электронных приборов

Протокол от 30.05.2024 г. № 5

Срок действия программы: 2024-2028 уч.г.

И.о. зав. кафедрой Серебряков Андрей Евгеньевич

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры
Электронных приборов

Протокол от _____ 2025 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры
Электронных приборов

Протокол от _____ 2026 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры
Электронных приборов

Протокол от _____ 2027 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры

Электронных приборов

Протокол от _____ 2028 г. № ____

Зав. кафедрой _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1	Формирование у будущих специалистов твердых теоретических знаний о физических процессах, протекающих в различных СВЧ приборах, конструктивных особенностях приборов и устройств микроволнового диапазона, методах теоретического анализа процессов.
1.2	Задачи дисциплины:
1.3	изучение теории физических процессов в СВЧ приборах, типов, параметров, характеристик, конструкции СВЧ устройств и технологических процессов при разработке и производстве данных устройств, а также тенденции их развития; овладение навыками научного подхода к выбору и использованию различных методов при производстве и конструировании микроволновых приборов;
1.4	формирование навыков практического проектирования и конструирования микроволновых приборов с использованием пакетов прикладных программ;
1.5	применение приобретенных практических знаний для решения конкретных задач при прохождении учебных практик, при выполнении курсовых и выпускных работ, а также в дальнейшей профессиональной деятельности;
1.6	закрепление навыков самостоятельной учебной деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:	
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Физика
2.1.2	Математика
2.1.3	Схемотехника
2.1.4	Электромагнитные поля и волны. Ч.2
2.1.5	Информационные технологии
2.1.6	Твердотельная электроника
2.1.7	Технологические процессы наноэлектроники
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Производственная практика
2.2.2	Теория надежности электронных средств
2.2.3	Теория точности в разработке конструкций и технологий
2.2.4	Тепловые процессы в электронике
2.2.5	Технологическая (проектно-технологическая) практика
2.2.6	Технология производства устройств автоматики и электроники
2.2.7	Автоматизированное проектирование модулей сверхвысокочастотного диапазона
2.2.8	Конструирование и разработка ВИЭ
2.2.9	Микрополосковые СВЧ устройства
2.2.10	Приборы и методы контроля и диагностики в электронике
2.2.11	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
2.2.12	Преддипломная практика

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**ПК-3: Способен выполнять работы по конструированию блоков с низкой плотностью компоновки элементов****ПК-3.1. Выполняет компьютерное моделирование конструкций блоков с низкой плотностью компоновки элементов**

Знать
элементы начертательной геометрии и инженерной графики, геометрическое моделирование и программные средства компьютерной графики, комплекс стандартов ЕСДП, организацию электронного документооборота технической документации.

Уметь
применять интерактивные графические системы для выполнения и редактирования изображений и чертежей.

Владеть
современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации.

ПК-4: Способен строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования и проводить анализ результатов

ПК-4.1. Проводит моделирование и исследования функциональных, статических, динамических, временных, частотных характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и микроэлектроники различного функционального назначения

Знать	основные физические закономерности, лежащие в основе работы современных приборов автоматики и электроники.
Уметь	строить простейшие физические и математические модели приборов и устройств различного функционального назначения с использованием средств автоматизации проектирования.
Владеть	навыками компьютерного моделирования сложных физических процессов с использованием средств автоматизации проектирования.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	основные физические закономерности, лежащие в основе работы современных приборов автоматики и электроники; методы проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения; элементы начертательной геометрии и инженерной графики, геометрическое моделирование и программные средства компьютерной графики, комплекс стандартов ЕСДП, организацию электронного документооборота технической документации.
3.2	Уметь:
3.2.1	строить простейшие физические и математические модели приборов и устройств различного функционального назначения с использованием средств автоматизации проектирования; проводить сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием; применять интерактивные графические системы для выполнения и редактирования изображений и чертежей.
3.3	Владеть:
3.3.1	навыками компьютерного моделирования сложных физических процессов с использованием средств автоматизации проектирования; навыками по расчету и проектированию электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием; современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Форма контроля
	Раздел 1. Общие сведения о микроволнах (сверхвысоких частотах) диапазона СВЧ. Основные особенности диапазона и применения СВЧ. Общие вопросы электронных приборов СВЧ					
1.1	Введение /Тема/	5	0			
1.2	Общее представление о дисциплине «Микроэлектроника СВЧ». Основные цели дисциплины. Отличительные особенности микроволновых приборов и устройств СВЧ. Общие сведения о микроволнах (сверхвысоких частотах) диапазона СВЧ. Основные особенности диапазона и применения СВЧ. Общая характеристика микроэлектронных вакуумных и полупроводниковых приборов СВЧ. Группы сложности СВЧ. Особенности гибридно-интегральных схем и монолитных СВЧ-микросхем. Классификация активных элементов, используемых в микроэлектронике СВЧ. Ограничение выходных параметров твердотельных активных и вакуумных приборов. /Лек/	5	1	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен

1.3	Особенности гибридно-интегральных схем и монолитных СВЧ-микросхем. Классификация активных элементов, используемых в микроэлектронике СВЧ. Ограничение выходных параметров твердотельных активных и вакуумных приборов. Изучение конспекта лекций. /Ср/	5	4	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
	Раздел 2. Приборы клистронного типа («О»-типа)					
2.1	Приборы клистронного типа (часть 1) /Тема/	5	0			
2.2	История создания клистронов. Устные высказывания проф. Д.А. Роженского о возможности «создания лампы, в которой быстрые электроны догоняют медленные» (1932). Работа профессора МГУ Витта о возможности самовозбуждения колебаний в диоде при постоянном токе катода. Патенты и теоретическая работа Арсеньевой и Гейля о новом методе получения интенсивных колебаний кратчайших волн (1934-35). Приборы Хана и Меткалфа, клистрон братьев Вариан и Хансена (1939г.). Конструкция и параметры двухрезонаторного клистрона. Главные особенности: электродинамическое управление током и наличие коллектора, размеры которого не ограничиваются длиной волны. Общие сведения по отражательному клистрону. Особенности группирования, основное уравнение группирования для отраженного клистрона и определение электронного тока. Электронная проводимость и условия самовозбуждения для отражательного клистрона. Графики установления колебаний в зависимости от амплитуды напряжения и угла пролета в пространстве отражателя. Пусковой и рабочий токи. Мощность и КПД отражательного клистрона. Объяснение закономерностей изменения КПД, амплитуды напряжения, пускового тока для различных зон. Принцип работы и основные параметры многорезонаторного клистрона. Клистроны – умножители частоты. /Лек/	5	1	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
2.3	Принцип работы и основные параметры многорезонаторного клистрона. Клистроны – умножители частоты. Изучение конспекта лекций. /Ср/	5	4	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
2.4	Приборы клистронного типа (часть 2) /Тема/	5	0			

2.5	Однорезонаторные двухззорные автогенераторные клистроны. Клистроны с резонаторами на виде колебаний «0». Клистроны с резонаторами на виде колебаний «π». Тенденции развития мощных клистронов. Увеличение КПД. Повышение напряжения. Повышение тока. Клистроны с большой площадью поперечного сечения электронного потока. Многолучевые клистроны. Клистроны с бегущей волной. Клистроны с двухззорными резонаторами и распределенным взаимодействием. Клистроны с электростатической фокусировкой. Краткие исторические сведения. Первые патенты Гаева об использовании взаимодействия с бегущей волной (1933 г.). Работы Компфнера, Пирса. Схема конструкции и общие сведения о лампах с бегущей волной. Упрощенная линейная теория ЛБВ. Допущения теории. Три этапа теории. Получение самосогласованного уравнения для постоянной распространения в замедляющей системе и решение уравнения. Расщепление волны холодной системы на три при наличии электронного потока; появление волны нарастающей по амплитуде, определяющей усиление в ЛБВ. /Лек/	5	1	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
2.6	Клистроны с большой площадью поперечного сечения электронного потока. Многолучевые клистроны. Клистроны с бегущей волной. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). /Ср/	5	4	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
2.7	Исследование многорезонаторного клистроны. /Лаб/	5	4	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен, отчет по лабораторной работе
	Раздел 3. Приборы магнетронного «М»-типа. Приборы с (сеточным) управлением током катода					
3.1	Приборы магнетронного «М»-типа (часть 1) /Тема/	5	0			

3.2	<p>Краткая история развития. Движение электронов в магнитном и электрическом полях. Критическое магнитное поле (условие отсечки точки). Многорезонаторные магнетроны. Общие сведения. Резонансная система многорезонаторного магнетрона. Виды колебаний. Методы разделения колебаний по частоте и стабилизации рабочего вида. Электронные процессы в многорезонаторном магнетроне. Условия синхронизма вида колебаний с точки зрения дискретного взаимодействия и бегущей волны. Магнетроны как приборы с бегущей волной. Образование переменного тока в приборах магнетронного типа. Сортировка (сепарация) электронов. Преимущество магнетронов (передается потенциальная энергия электронов, синхронизм не нарушается, что обеспечивает более высокий КПД). Разогрев катода обратными электронами. Вторичная эмиссия. Холодные катоды. Фазовая фокусировка (группирование) электронов. Распределение пространственного заряда в работающем магнетроне и общая картина электронных процессов. Электронный КПД многорезонаторного магнетрона. Рабочие характеристики многорезонаторного магнетрона. Магнетроны, перестраиваемые по частоте напряжением (митроны). Классификационные признаки приборов М-типа. ЛОВ типа М. Дематрон. Волноводный усилительный магнетрон. /Лек/</p>	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
3.3	<p>Рабочие характеристики многорезонаторного магнетрона. Магнетроны, перестраиваемые по частоте напряжением (митроны). Классификационные признаки приборов М-типа. ЛОВ типа М. Дематрон. Волноводный усилительный магнетрон. Изучение конспекта лекций. /Ср/</p>	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
3.4	<p>Приборы магнетронного «М»-типа (часть 2) /Тема/</p>	5	0			

3.5	Амплитрон. Отличительные черты амплитрона по сравнению с усилителями других типов. Отличия амплитрона от многорезонаторного магнетрона. Сравнение «О»- и «М»-типов приборов. Общая характеристика приборов с управлением токов катода. Проводимость диода на СВЧ при малых колебаниях. Уравнения Гринберга и Левеллина. Диодные СВЧ генераторы (малые колебания). Входная проводимость лампы, работающей по схеме с общим катодом. Особенности схемы с общей сеткой. Входная проводимость, устойчивость схемы к самовозбуждению. Произведение коэффициента усиления на полосу пропускания как важный параметр. Соотношения для определения этого параметра для схемы с общей сеткой. Особенности работы приборов при больших амплитудах напряжения. Ток катода в поле СВЧ. Процессы в промежутках катод-сетка, сетка-анод. Факторы электронного и неэлектронного характера, приводящие к снижению КПД при повышении частоты. Особенности работы тетродов на СВЧ. Основные вехи развития этого класса приборов. Лампа Гаева с индукционным выходом - первый электронный прибор, в котором использовался эффект наведенных токов. Особенности триодов Девяткова. Маячковые лампы. Металлокерамические и титанокерамические лампы (ТКЛ), модули СВЧ на ТКЛ. Резнатрон, коакситрон, тристрон, клистрод как лампа Гаева, «придетая в современные одежды». Приборы СВЧ вакуумной микроэлектроники. Проекты диодов-генераторов СВЧ с автоэлектронным и термоэлектронным катодами. /Лек/	5	1	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
3.6	Маячковые лампы. Металлокерамические и титанокерамические лампы (ТКЛ), модули СВЧ на ТКЛ. Резнатрон, коакситрон, тристрон, клистрод как лампа Гаева, «придетая в современные одежды». Приборы СВЧ вакуумной микроэлектроники. Проекты диодов-генераторов СВЧ с автоэлектронным и термоэлектронным катодами. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета. /Ср/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
3.7	Исследование многорезонаторного магнетрона. /Лаб/	5	4	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен, отчет по лабораторной работе
	Раздел 4. Пассивные микроэлектронные устройства СВЧ. Устройства СВЧ на полупроводниковых диодах с положительным динамическим сопротивлением					
4.1	Пассивные микроэлектронные устройства СВЧ /Тема/	5	0			

4.2	<p>Линии передачи СВЧ. Микрополосковая линия (МПЛ). Волновое сопротивление МПЛ и потери в МПЛ. Щелевая и копланарная линии. Сравнительные данные по характеристикам линий передач. Элементы и узлы интегральных схем СВЧ. Индуктивности, емкости, резисторы и согласованные нагрузки. Резонаторы на линиях передачи и диэлектрических структурах. Фильтры СВЧ. Полосы пропускания и заграждения. Фильтры нижних и верхних частот в устройствах СВЧ. Детекторные и смесительные устройства СВЧ. Назначение, требования к детекторным и смесительным диодам. Математические модели диодов. Конструкции, параметры диодов и устройств. Устройства СВЧ на диодах с управляемой емкостью (варакторных диодах). Структура, вольт-фарадная характеристика, эквивалентная схема варактора. Параметры и применение варикапов. Варакторные умножители частоты (УЧ). Принцип работы УЧ. Принципиальная схема УЧ последовательного типа. Режимы работы умножительных диодов (УД). Требования к УД. Умножительные диоды с накоплением заряда (ДНЗ). Параметры и применение УЧ. Параметрические усилители (ПУ). Принцип работы ПУ. Схема двухконтурного ПУ отражательного типа. Классификация ПУ. Параметры и применение ПУ. /Лек/</p>	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
4.3	<p>Варакторные умножители частоты. Умножительные диоды с накоплением заряда. Параметрические усилители. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета. /Ср/</p>	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
4.4	<p>Варакторный умножитель частоты. /Лаб/</p>	5	4	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен, отчет по лабораторной работе
	Раздел 5. Полупроводниковые управляющие устройства СВЧ					
5.1	<p>Полупроводниковые управляющие устройства СВЧ /Тема/</p>	5	0			
5.2	<p>Полупроводниковые СВЧ-выключатели на р-і-п-диодах. Структура, эквивалентная схема и принцип действия р-і-п-диода. Параметры и применение р-і-п-диодов. Самоуправляемые устройства СВЧ на ограничительных диодах. Функциональная схема, принцип действия ограничительных устройств. Параметры и применение ограничительных устройств. /Лек/</p>	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен

5.3	Полупроводниковые СВЧ-выключатели на р-и-п-диодах. Самоуправляемые устройства СВЧ на ограничительных диодах. Изучение конспекта лекций. /Ср/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
	Раздел 6. Устройства СВЧ на полупроводниковых диодах с отрицательным динамическим сопротивлением					
6.1	Устройства СВЧ на полупроводниковых диодах с отрицательным динамическим сопротивлением /Тема/	5	0			
6.2	Туннельные диоды (ТД). Энергетическая диаграмма и принцип работы ТД. Применение и параметры устройств на ТД. Физические процессы в диоде Ганна. Междолинный переход электронов. Отрицательная дифференциальная проводимость (ОДП). Объемная электрическая неустойчивость в полупроводниках с ОДП. Критерий вида неустойчивости. Образование домена в образцах с ОДП. Вольт-амперная характеристика диода Ганна с доменной неустойчивостью. Устройства СВЧ на диоде Ганна. Эквивалентная схема генератора на диоде Ганна. Режимы работы диода Ганна в генераторах (пролетный, с задержкой образования домена, с гашением домена, с ограниченным накоплением объемного заряда и гибридный режим). Конструкции и параметры генераторов на диодах Ганна. Перестройка частоты генераторов на диодах Ганна. Усилители на диодах Ганна. Устройства СВЧ на лавинно-пролетном диоде (ЛПД). Физические процессы в ЛПД. Режимы работы ЛПД (пролетный и аномальный). Вольт-амперная характеристика ЛПД. Эквивалентная схема генератора на ЛПД и принцип работы ЛПД в пролетном режиме. Электронные процессы в областях умножения и дрейфа ЛПД. Образование отрицательной динамической проводимости в пролетном режиме. Электронный КПД генераторов на ЛПД. Структуры ЛПД. Двухпролетные ЛПД. Работа автогенератора на ЛПД в аномальном режиме. Конструкции и параметры генераторов на ЛПД. Многодиодные автогенераторы. Особенности усилителей на ЛПД. /Лек/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
6.3	Устройства СВЧ на лавинно-пролетном диоде (ЛПД). Двухпролетные ЛПД. Многодиодные автогенераторы. Особенности усилителей на ЛПД. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета. /Ср/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э2 Э3 Э4	Экзамен

6.4	Генератор СВЧ на диоде Ганна. /Лаб/	5	4	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э2 Э3 Э4	Экзамен, отчет по лабораторной работе
	Раздел 7. Усилители СВЧ на транзисторах. Перспективные транзисторы на «горячих» электронах и с гетеропереходами					
7.1	Усилители СВЧ на транзисторах /Тема/	5	0			
7.2	Особенности биполярных СВЧ-транзисторов. Основные факторы, ограничивающие возможность использования НЧ-транзисторов в СВЧ-диапазоне. Структуры СВЧ-транзисторов. Эквивалентная схема биполярного СВЧ-транзистора. Схемы усилителей на биполярных СВЧ-транзисторах. Параметры усилителей. Усилители СВЧ на полевых транзисторах. Устройство полевого СВЧ-транзистора с барьером Шотки. Эквивалентная схема полевого СВЧ-транзистора. Частотные свойства транзистора. Параметры усилителей СВЧ на полевых транзисторах. Перспективные транзисторы на «горячих» электронах и с гетеропереходами. /Лек/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
7.3	Перспективные транзисторы на «горячих» электронах и с гетеропереходами. Изучение конспекта лекций. /Ср/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
	Раздел 8. Состояние микроэлектроники СВЧ в настоящее время. Направления развития					
8.1	Состояние микроэлектроники СВЧ в настоящее время /Тема/	5	0			
8.2	Направление развития микроэлектроники СВЧ. Новые методы генерации СВЧ и новые приборы особенно в субмиллиметровом диапазоне. Преодоление ограничений, связанных с главными особенностями приборов СВЧ. Пространственно развитые системы. Внедрение нетрадиционных электродинамических систем СВЧ в различные типы приборов. Миниатюризация СВЧ электроники. Вопросы создания новых технологий и конструкций. Компьютерное моделирование для анализа электронных СВЧ процессов, электродинамических и электронно-оптических систем, автоматизированного проектирования приборов. Состояние микроэлектроники СВЧ в настоящее время. Направления развития. /Лек/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
8.3	Компьютерное моделирование для анализа электронных СВЧ процессов, электродинамических и электронно-оптических систем, автоматизированного проектирования приборов. Изучение конспекта лекций. Подготовка к экзамену. /Ср/	5	5	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен

Раздел 9. Промежуточная аттестация						
9.1	Сдача экзамена /Тема/	5	0			
9.2	ИКР /ИКР/	5	0,35	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
9.3	Кнс /Кнс/	5	2	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен
9.4	Экзамен /Экзамен/	5	44,65	ПК-3.1-3 ПК-3.1-У ПК-3.1-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.3 Л1.2 Л1.1Л2.5 Л2.7 Л2.3 Л2.6 Л2.1 Л2.4 Л2.2 Л2.8Л3.2 Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4	Экзамен

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине "Микроэлектроника СВЧ").

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л1.1	Фальковский О. И.	Техническая электродинамика	Санкт-Петербург: Лань, 2022, 432 с.	978-5-8114-0980-8, https://e.lanbook.com/book/210371
Л1.2	Кузьмин С. В.	Конструирование устройств СВЧ диапазона : учебное пособие	Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2021, 83 с.	978-5-89160-219-9, https://e.lanbook.com/book/279392
Л1.3	Григорьев А. Д., Иванов В. А., Молоковский С. И.	Микроволновая электроника	Санкт-Петербург: Лань, 2022, 496 с.	978-5-8114-8958-9, https://e.lanbook.com/book/185934

6.1.2. Дополнительная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
---	---------------------	----------	-------------------	-------------------------

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.1	Щука А.А.	Электроника : Учеб.	СПб.:БХВ-Петербург, 2006, 800с.	5-94157-461-4, 1
Л2.2	Белоус, А. И., М., К., Шведов, С. В.	СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. В 2-х книгах. Кн. 1 : техническая энциклопедия	Москва: Техносфера, 2021, 782 с.	978-5-94836-605-0, http://www.iprbookshop.ru/108029.html
Л2.3	Куц Г. Г., Соколова Ж. М., Шангина Л. И.	Приборы и устройства оптического и СВЧ диапазонов : учебное пособие	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012, 414 с.	2227-8397, http://www.iprbookshop.ru/14020.html
Л2.4	под ред. И.В.Лебедева	Электронные устройства СВЧ	М.: Радиотехника, 2008, 352с.	978-5-88070-183-4, 1
Л2.5	Соколова Ж. М.	Микроволновые приборы и устройства : учебное пособие	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2009, 272 с.	2227-8397, http://www.iprbookshop.ru/13945.html
Л2.6	Петрушанский М. Г.	Электронные приборы СВЧ : учебное пособие	Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017, 107 с.	978-5-7410-1838-5, http://www.iprbookshop.ru/78927.html
Л2.7	Соколова Ж. М.	Приборы и устройства СВЧ, КВЧ и ГВЧ диапазонов : учебное пособие	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012, 283 с.	2227-8397, http://www.iprbookshop.ru/13961.html
Л2.8	Белоус, А. И., М., К., Шведов, С. В.	СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. В 2-х книгах. Кн. 2 : техническая энциклопедия	Москва: Техносфера, 2021, 702 с.	978-5-94836-606-7, http://www.iprbookshop.ru/108030.html

6.1.3. Методические разработки

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
---	---------------------	----------	-------------------	-------------------------

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
ЛЗ.1	Балябин А.Н., Федосеев В.П., Юркин В.И.	Микроэлектронные приборы и устройства СВЧ : Метод.указ.к лаб.работам	Рязань, 2006, 44с.	, 1
ЛЗ.2	Глебова Т.А., Горлин О.А., Юркин В.И., Шишков А.А.	Микроволновые приборы и устройства. Ч.1: Климатроны : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2019,	, https://elib.rsre.ru/ubs/download/1912

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Информационная образовательная среда
Э2	Электронно-библиотечная система "IPRbooks"
Э3	Электронно-библиотечная система "Лань"
Э4	Электронная библиотека РГРТУ

6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

Наименование	Описание
Операционная система Windows	Коммерческая лицензия
Kaspersky Endpoint Security	Коммерческая лицензия
LibreOffice	Свободное ПО
Firefox	Свободное ПО

6.3.2 Перечень информационных справочных систем

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	358 учебно-административный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Специализированная мебель (200 мест), компьютер с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ, мультимедиа проектор, экран, доска.
---	--

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания дисциплины "Электроника СВЧ").

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ КАФЕДРЫ **ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Серебряков Андрей Евгеньевич, и.о. заведующего кафедры ЭП **28.08.24** 16:51 (MSK) Простая подпись

ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ **ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Круглов Сергей Александрович, Заведующий кафедрой ПЭЛ **30.08.24** 10:30 (MSK) Простая подпись

ПОДПИСАНО НАЧАЛЬНИКОМ УРОП **ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Ерзылёва Анна Александровна, Начальник УРОП **30.08.24** 10:50 (MSK) Простая подпись