

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

«СОГЛАСОВАНО»

Декан ФЭ

/ Н.М. Верещин

«09» 06 2020 г

Заведующий кафедрой ЭП

/ М.В. Чиркин

«09» 06 2020 г



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор РОПиМД

/ А.В. Корячко

06 2020 г

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.06 «МИКРОВОЛНОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА»

Направление подготовки

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) подготовки

«Электронные приборы и устройства»

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника — бакалавр

Форма обучения — очная

Рязань, 2020 г.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»,

утвержденного 19.09.2017 №927

Разработчики  
к.т.н., доцент кафедры «Электронные приборы»



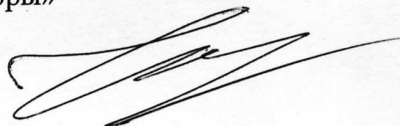
О.А. Горлин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

«09» 06 2020 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой «Электронные приборы»

д.ф. - м.н., профессор



М.В. Чиркин

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Рабочая программа по дисциплине «Микроволновые приборы и устройства» является составной частью основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) академического бакалавриата, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Минобрнауки России от 12.03.2015 № 218.

*Целью освоения дисциплины «Микроволновые приборы и устройства» является формирование у будущих специалистов твердых теоретических знаний о физических процессах, протекающих в различных СВЧ приборах и устройствах, о методах теоретического анализа процессов, о конструктивных особенностях приборов и устройств микроволнового диапазона.*

*Основные задачи освоения учебной дисциплины:*

- изучение физических основ микроволновых приборов, теорию физических процессов в приборах, типы, параметры, характеристики, конструкцию и технологические процессы при разработке и производстве приборов СВЧ, тенденции их развития;

- развитие у студентов навыков научного подхода к выбору и использованию различных методов при производстве и конструировании микроволновых приборов; ознакомление студентов со средствами измерения характеристик и параметров электронных компонентов.

- применение приобретенных практических знаний для решения конкретных задач при прохождении учебных практик, при выполнении курсовых и выпускных работ, а также в дальнейшей профессиональной деятельности.

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Категория (группа) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
	ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также	<u>Знать:</u> теорию физических процессов в микроволновых приборах, типы, параметры, характеристики, конструкцию и технологические процессы при разработке и производстве приборов СВЧ, тенденции их развития, принципы действия, характеристики и параметры основных твердотельных приборов СВЧ <u>Уметь:</u> проводить компьютерное моделирование и расчеты физических

	использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	процессов в приборах, проводить разработку и исследование приборов <u>Владеть:</u> навыками работы с современной аппаратурой, используемой для исследования характеристик и измерения параметров микроволновых приборов
	ПК-3. Готов анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	<u>Знать:</u> основные методы теории планирования эксперимента и обработки данных анализа и систематизации результатов в соответствии с поставленной задачей. <u>Уметь:</u> анализировать, систематизировать и обобщать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций. <u>Владеть:</u> методиками представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.
	ПК-4. Способен проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов	<u>Знать:</u> инновационные и вариативные концепции, модели, технологии и приемы организации и проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов обработки и представления экспериментальных данных. <u>Уметь:</u> применять на практике основные приемы организации и проведения экспериментальных исследований, современные программные средства обработки и представления данных в соответствии с поставленной задачей исследования характеристик микроволновых приборов СВЧ, анализировать результаты расчетов и обосновывать полученные выводы. <u>Владеть:</u> методами организации и проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов, обработки и представления экспериментальных данных, анализа результатов.
	ПК-6. Способен разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы	<u>Знать:</u> нормативные документы, регламентирующие разработку КД (ГОСТ, ОСТ, ЕСКД) <u>Уметь:</u> находить и правильно интерпретировать необходимую информацию из технической документации организации и других разработчиков <u>Владеть:</u> программным обеспечением, реализующим функции необходимые для автоматизации процесса проектирования. (САПР)

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Данная дисциплина (шифр Б1.В.06) относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин блока №1. Дисциплина «Микроволновые приборы и устройства» изучается по очной форме обучения на 4 курсе в 7 семестре. Дисциплина базируется на знаниях, полученных в ходе изучения следующих дисциплин: «Математика» шифр Б1.2.Б.01, «Физика» шифр Б1.2.Б.02, «Численные методы решения задач электроники» шифр Б1.2.В.02а, «Теоретические основы электротехники» шифр Б1.3.Б.04, «Физические основы электроники» шифр Б1.3.Б.08.

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

### ***Знать:***

- расчет дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных, векторную алгебру; такие разделы физики как электричество, магнетизм; теоретические основы электротехники;
- основные методы численного решения дифференциальных уравнений;
- основные уравнения расчета электромагнитных полей;

### ***Уметь:***

- работать с электроизмерительными приборами;
- анализировать характеристики и закономерности электронных приборов;
- проводить компьютерное моделирование и расчеты физических процессов в приборах;

### ***Владеть:***

- навыками экспериментального исследования характеристик электромагнитных процессов в различных системах;
- навыками расчета результатов исследований.

Требования к входным знаниям совпадают с требованиями к освоению предшествующих математических и естественнонаучных дисциплин: «Математика» шифр Б1.2.Б.01, «Физика» шифр Б1.2.Б.02, «Численные методы решения задач электроники» шифр Б1.2.В.02а, «Теоретические основы электротехники» шифр Б1.3.Б.04, «Физические основы электроники» шифр Б1.3.Б.08.

*Постреквизиты дисциплины:* знания, полученные в результате изучения дисциплины «Микроволновые приборы и устройства» используются для обучения по дисциплинам по дисциплинам «Микроволновая техника» (Б1.В.06а), «Расчет и проектирование микроволновых приборов и устройств» (Б1.В.05а), производственной и преддипломной практиках.

## 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

*Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 6 зачетные единицы*

(ЗЕ), 216 часов.

Вид учебной работы	Всего часов		
	Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе:	216	-	-
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:	80	-	-
Лекции	48	-	-
Лабораторные работы	24	-	-
Практические занятия	8	-	-
Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе:	136	-	-
Курсовой проект/ курсовая работа	16	-	-
Подготовка к экзамену, консультации	40	-	-
Консультации в семестре	10	-	-
Иные виды самостоятельной работы	70	-	-
Вид промежуточной аттестации обучающихся:	экзамен	-	-

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

**Тема 1.** Общие сведения о микроволнах (сверхвысоких частотах) диапазона СВЧ. Основные особенности диапазона и применения СВЧ.

Отличительные особенности микроволновых приборов. Основной процесс в СВЧ – приборах: взаимодействие электронов с СВЧ – полями, поэтому происходит *слияние* в одно целое – пространство взаимодействия электронно-оптической и электродинамической систем. Электронный СВЧ прибор можно рассматривать как устройство, сочетающее электронные СВЧ процессы с процессами в электродинамических и электронно-оптических системах. При этом происходит и изменение функции электронных приборов: от функции регулирования тока до генерации, усиления колебаний, умножения частоты. Соответственно роль электроники СВЧ становится ведущей в технике СВЧ. Вследствие наличия электродинамических систем происходит ограничение поперечных размеров пространства взаимодействия, что затрудняет создание приборов на большие мощности и частоты.

Другая особенность в том, что время пролета электронов становится сравнимым с периодом колебаний. Влияние времени пролета характеризуется узлом пролета. Конечное время пролета усложняет процессы, определяет и ограничивает размеры вдоль движения электронов.

Электронные приборы СВЧ являются преобразователями энергии. В них энергия электронов преобразуется в энергию поля СВЧ и происходит генерация или усиление колебаний. По принципу действия приборы СВЧ являются обратными ускорителям, в которых энергия СВЧ поля переходит в энергию заряженных частиц. Кратко рассматриваются особенности взаимодействия электронов с полями резонансных и замедляющих систем,

особенности взаимодействия в скрещенных электрическом и магнитном полях, при криволинейных периодических траекториях электронов.

Необходимость создания переменного тока при взаимодействии электронов с полями. Электродинамические методы управления током. Скоростная модуляция. Группирование. Сортировка электронов. Поперечное управление током.

## **Тема 2.** Общие вопросы электронных приборов СВЧ

Основные уравнения электроники СВЧ: движения электронов, уравнение Максвелла для полного тока и уравнение Пуассона. Противоречивость системы уравнений: использование гидродинамических и дискретных представлений электронного потока. Возможные ошибки при многоскоростном потоке в водном сечении. Две формы уравнения сохранения заряда.

Время и угол пролета электронов. Их определение для простейших случаев. Осложнение процессов и понятий при больших амплитудах напряжения.

Токи в приборах СВЧ. Определение наведенного тока от одного заряда. Энергетический подход к определению наведенного тока. Теорема Шокли-Рамо для компьютерных расчетов.

Полный ток во внешней цепи. Эквивалентная схема. Понятие электронной проводимости.

Формула для определения наведенного тока в аналитических расчетах.

Определение тока, наведенного в контуре. Наведенный ток от переменной составляющей тока. Ток, наведенный в контуре постоянным на выходе в зазор электронным током. Электронная проводимость, вызванная постоянным на входе током.

Эквивалентная схема и условия самовозбуждения для генераторов СВЧ состоящих из одного эквивалентного контура, двух контуров или электродинамической системы, в которой происходит взаимодействие с бегущей волной. Понятие об электронной перестройке и затягивании частоты.

КПД генератора, контура, электронный. Различные формулы для их определения.

Влияние нагрузки на работу генератора СВЧ. Круговые нагрузочные диаграммы. Коэффициент затягивания и выбор связи с нагрузкой.

## **Тема 3.** Клистроны

История создания клистронов. Устные высказывания проф. Д.А. Роженовского 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 двухрезонаторного клистрона. Главные особенности - электродинамическое управление током и наличие коллектора, размеры которого не ограничиваются длиной волны.

Входное пространство взаимодействия: Определение скорости электронов на выходе из входного резонатора, коэффициенты электронного взаимодействия  $M$  и скоростной модуляции.

Бессеточный зазор. Приборы СВЧ отличаются от приборов на более низких частотах ограничениями размеров пространства взаимодействия. Выбор поперечных размеров пространства взаимодействия бессеточного и сеточного зазоров. Выбор продольного размера зазора на основе компромисса между  $(M^2\rho)_{\max}$  и  $M_{\max}$  в зависимости от требований к полосе частот и КПД ( $\rho$ -характеристическое сопротивление контура).

Определение амплитуды напряжения на зазоре по подводимой мощности и суммарной проводимости резонатора.

Кинематическая теория группирования в двухрезонаторном клистроне. Вывод формулы для электронного тока в пролетном пространстве клистрона.

Анализ процесса группирования. Влияние пространственного заряда. Формула для параметра группирования с учетом пространственного заряда.

Процессы в выходном пространстве взаимодействия. Расчетная формула для КПД клистронов с учетом коэффициента взаимодействия и медленных электронов.

Выбор тока клистрона и эквивалентного сопротивления контура.

Многорезонаторные клистроны. Устройство. Характеристики и параметры. Формула для полосы частот.

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.

Электронная перестройка частоты.

Электрические и магнитные силы взаимодействия в электронном потоке.

Основное уравнение группирования с учетом пространственного заряда.

Анализ влияния пространственного заряда на процесс группирования.

Колебания и волны пространственного заряда.

Приложения теории, учитывающей пространственный заряд.

Влияние пространственного заряда в отражательном клистроне.

Полоса многорезонаторного клистрона.

Особенности использования бессеточных СВЧ зазоров

Клистроны – умножители частоты.



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.

**Тема 4.** Приборы с бегущей волной типа «O» (с длительным, протяженным взаимодействием).

Краткие исторические сведения. Первые патенты Гаева об использовании взаимодействия с бегущей волной (33г.). 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

Расчетная формула для определения коэффициента усиления ЛБВ с учетом начальных и распределенных потерь и затухания в локальном поглотителе.

Область синхронизации в ЛБВ и приближенная формула КПД в ЛБВ. Методы повышения КПД ЛБВ.

Взаимодействие электронов с пространственными гармониками замедляющих систем. Лампа обратной волны.

**Тема 5.** 5 Приборы магнетронного («M») типа (со скрещенными полями).

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 обеспечивающее 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

Формула и диаграмма анодных напряжений.

Электронный КПД многорезонаторного магнетрона.  
Рабочие характеристики многорезонаторного магнетрона.  
Электронное смещение и электронная настройка частоты.  
Магнетроны перестраиваемые по частоте напряжением (митроны)  
Магнетрон циклотронной частоты.  
Классификационные признаки приборов М типа.  
Биматрон (ЛБВ типа М). ЛОВ типа М. Дематрон.  
Волноводный усилительный магнетрон.  
Амплитрон. Отличительные черты амплитрона по сравнению с усилителями других типов. Отличия амплитрона от многорезонаторного магнетрона.  
Сравнение «0» и «М» типов приборов.

**Тема 6.** Приборы с (сеточным) управлением током катода.

Общая характеристика приборов этого типа. 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 не электронного 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, «приодетая в современные одежды».

Приборы СВЧ вакуумной микроэлектроники. Проекты диодов-генераторов СВЧ с автоэлектронным и термоэлектронным катодами.

**Тема 7.** Приборы с незамедленной (быстрой) волной.

Достижение высоких мощностей на крайне высоких частотах (КВЧ) требует отказа от обычных резонаторов и замедляющих систем и перехода к гладким электродинамическим системам с большой площадью поперечного сечения пространства взаимодействия (открытые резонаторы, сверхразмерные волноводы) и периодическими поперечными движениями электронов.

Условие взаимодействия с незамедленной волной. Мазеры на циклотронном резонансе и другие схемы реализации взаимодействия электронов с быстрой волной. Гиротроны.

**Тема 8.** Состояние микроволновой электроники на рубеже веков.  
Направления развития.

Графики и диаграммы, характеризующие выходную мощность  $P_{\text{вых}}$ , частоту  $f$ ,  $Pf^2$ , коэффициент шума для различных приборов и изменения параметров за последние годы. Ведущая роль отечественных ученых в этой области.

Направление развития микроволновой электроники. Новые методы генерации СВЧ и новые приборы особенно в области КВЧ. Преодоление ограничений связанных с главными особенностями приборов СВЧ. Пространственно развитые системы. Расширение площади поперечного сечения электронного потока, внедрение нетрадиционных электродинамических систем СВЧ в различных типах приборов. Миниатюризация и вакуумная СВЧ электроника. Модули СВЧ и комплексированные изделия. Вопросы создания новых технологий и конструкций. Компьютерное моделирование для анализа электронных СВЧ процессов, электродинамических и электронно-оптических систем, автоматизированного проектирования приборов.

Собственное излучение электронов и виды излучений. Лазеры на свободных электронах, использующие криволинейное движение электронов в ондуляторах. Генераторы СВЧ, использующие излучение электронов при равномерном прямолинейном движении (излучение Черенкова и дифракционное). Рассмотрение классических приборов СВЧ как приборов, использующих собственное излучение электронов. ЛБВ как прибор с излучением Черенкова.

Виркаторы (приборы с виртуальным катодом). Гирокконы.

#### 4.2. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах).

№ п/п	Тема	Общая трудоемкость всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа обучающихся
			Всего	лекции	Практ	лабор	
1	Общие сведения о микроволнах (сверхвысоких частотах) диапазона СВЧ. Основные особенности диапазона и применения СВЧ.	6	4	2	2	-	2
2	Общие вопросы электронных приборов СВЧ.	14	10	4	2	4	4
3	Клистроны.	32	22	10	4	8	10
4	Приборы с бегущей волной типа «О».	34	14	6	-	8	20
5	Приборы магнетронного	22	12	8	-	4	10

	(«М») типа (со скрещенными полями).						
6	Приборы с (сеточным) управлением током катода.	16	6	6	-	-	10
7	Приборы с незамедленной (быстрой) волной.	18	8	8	-	-	10
8	Состояние микроволновой электроники на рубеже веков. Направления развития.	8	4	4	-	-	4
9	Курсовое проектирование	16	-	-	-	-	16
10	Консультации в семестре	10	-	-	-	-	10
11	Экзамен	40	-	-	-	-	40
	Всего:	<b>216</b>	<b>80</b>	48	8	24	<b>136</b>

### 4.3 Виды практических, лабораторных и самостоятельных работ

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
1	Общие сведения о микроволнах (сверхвысоких частотах) диапазона СВЧ. Основные особенности диапазона и применения СВЧ.	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций.	2
		Практическая работа	Особенности субмиллиметрового диапазона	2
2	Общие вопросы электронных приборов СВЧ.	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	4
		Лабораторная работа	Отражательный клистрон	4
		Практическая работа	Основные перспективы терагерцового диапазона	2
3	Клистроны.	Самостоятельная работа обучающегося	Клистроны – умножители частоты. Однорезонаторные двухзачорные автогенераторные клистроны. Клистроны с резонаторами на виде колебаний “О” и “π”.	5
			Анализ влияния пространственного заряда на процесс группирования в пролётном клистроне. Подготовка к лабораторным работам. Изучение конспекта	5

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
			лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	
		Лабораторная работа	Нагрузочные характеристики отражательного клистрона	4
			Многорезонаторный клистрон	4
		Практическая работа	Методы управления электронными потоками (создание переменного тока).	4
4	Приборы с бегущей волной типа «О».	Самостоятельная работа	Расчет и проектирование ЛБВ. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	20
		Лабораторная работа	Лампы обратной волны	4
			Лампы бегущей волны	4
5	Приборы магнетронного («М») типа (со скрещенными полями).	Самостоятельная работа обучающегося	Магнетрон настраиваемого напряжения. Область применения, параметры. Изучение конспекта лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	10
		Лабораторная работа	Магнетрон	4
6	Приборы с (сеточным) управлением током катода.	Самостоятельная работа обучающегося	Меговаттные приборы с сеточным управлением.	10
7	Приборы с незамедленной (быстрой) волной.	Самостоятельная работа обучающегося	Приборы с циклотронным резонансом.	10
8	Состояние микроволновой электроники на рубеже веков. Направления развития.	Самостоятельная работа обучающегося	Лазеры на свободных электронах. Общие сведения. Лазеры на свободных электронах с криволинейным движением электронов. Ондулятор. Изучение конспекта лекций. Подготовка к теоретическому зачету	4
9	Курсовое проектирование	Самостоятельная работа обучающегося	Проектирование многорезонаторного клистрона	16
10	Консультации в семестре	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к экзамену.	10

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
11	Экзамен	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к экзамену	40

### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Соколова Ж.М. Приборы и устройства СВЧ, КВЧ и ГВЧ диапазонов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ж.М. Соколова. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 283 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13961.html>
2. Кацман Ю.А. Приборы СВЧ- М. Высшая школа. 1983.

#### ***Перечень методического обеспечения самостоятельной работы:***

1. Микроволновые приборы и устройства. Ч.1: Клистроны. Методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Т.А. Глебова, О.А. Горлин, В.К. Федяев, А.А. Шишков, В.И. Юркин.— Рязань: РГРТУ, 2018. - 32 с.
2. Микроволновые приборы и устройства. Ч.2: ЛБВ, ЛОВ, МАГНЕТРОН. Методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Т.А. Глебова, О.А. Горлин, В.К. Федяев, А.А. Шишков, В.И. Юркин.— Рязань: РГРТУ, 2018. - 32 с.
3. Математические модели и автоматизированное проектирование электронных приборов. Федяев В.К., Рыбачек В.П., Соколовский, //Методические указания. Рязань, 1993г.

### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств приведен в Приложении к рабочей программе дисциплины (см. «Оценочные материалы по дисциплине «Микроволновые приборы и устройства»).

### **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

#### **Основная учебная литература:**

1. Куш Г.Г. Приборы и устройства оптического и СВЧ диапазонов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Г. Куш, Ж.М. Соколова, Л.И. Шангина. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.

— 414 с. — 2227-8397. — Режим доступа:  
<http://www.iprbookshop.ru/14020.html>

2. Березин В.М., Буряк В.С., Гутцайт Э.М., Марин В.П. Электронные приборы СВЧ.- М. Высшая школа. 1985.

3. Соколова Ж.М. Микроволновые приборы и устройства [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ж.М. Соколова. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2009. — 272 с. — 2227-8397. — Режим доступа:  
<http://www.iprbookshop.ru/13945.html>

#### **Дополнительная учебная литература:**

1. Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Лекции по СВЧ-электронике для физиков Т I-II, М.: Физматлит, 2005.

2. Коваленко В.Ф. Введение в электронику СВЧ- М. Сов. Радио. 1955

3. Лебедев И.В. Электронные устройства СВЧ. Кн 1, Кн. 2. М.Радиотехника, 2008.

4. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Т.2. М. Высшая школа. 1972

#### **8. Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет, базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Справочная правовая система «ГАРАНТ».
2. Справочная правовая система «КонсультантПлюс».
3. Электронно-библиотечная система (ЭБС).

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Материал каждой лекции рекомендуется изучать в день ее прочтения лектором, когда она еще не забыта. При этом необходимо использовать конспект и рекомендованную литературу. Использовать литературу необходимо для углубленного изучения материала лекции и для уточнения тех мест, которые в конспекте оказались записаны недостаточно понятно. В конспекте каждой лекции необходимо оставлять чистое место и конспектировать в нем изученную литературу, чтобы при подготовке к текущей, промежуточной или итоговой аттестации можно было повторить всю тему. Лектором в течение всего семестра проводятся консультации по лекционному материалу.

Каждую тему, предусмотренную планом самостоятельной работы, следует изучать самостоятельно в течение отведенных для ее изучения двух недель с помощью рекомендованной литературы. Все возникающие при этом вопросы надо записывать, чтобы получить на них ответы на

консультации. По каждой теме для каждой учебной группы лектор проводит консультации в конце ее изучения (один раз в две недели).

К каждой лабораторной работе надо готовиться с помощью конспекта лекций по теме работы, изучения рекомендованной литературы и методических рекомендаций к лабораторным работам. Необходимо подготовить и шаблон отчета, чтобы за время, отведенное для выполнения работы, можно было оформить отчет, защитить и сдать его.

Отчет о лабораторной работе должен содержать следующие элементы:

- номер, название и цель работы;
- чертеж функциональной схемы установки, выполненный карандашом по линейке либо при помощи соответствующей компьютерной программы;
- основные расчетные соотношения;
- таблицы результатов экспериментов, выполненные карандашом по линейке;
- графики экспериментальных зависимостей, полученных при выполнении лабораторной работы;
- выводы, содержащие анализ экспериментальных зависимостей, сравнение результатов, полученных в работе, с данными справочной литературы.

При выполнении лабораторной работы каждому студенту необходимо иметь полностью оформленный отчет о ранее выполненной работе и отчет о выполняемой работе, содержащий все перечисленные элементы (за исключением экспериментальных данных в таблице, графиков, выводов). При несоблюдении указанных требований студент к лабораторной работе не допускается.

Практическая работа студента заключается в решении или выполнении типовых задач и заданий. Каждое решение должно быть оформлено в виде отчета и должно содержать следующие элементы:

- титульный лист;
- начальное данные;
- решение задачи или результат выполненного задания.

В конце семестра при подготовке к аттестации студент должен повторить изученный в семестре материал и в ходе повторения обобщить его, сформировав цельное представление о нем. Следует иметь в виду, что на подготовку к промежуточной аттестации времени бывает очень мало, поэтому начинать эту подготовку надо заранее, не дожидаясь последней недели семестра.

Следует всегда помнить, что залог успеха студента в учебе – планомерная работа в течение всего семестра и своевременное выполнение всех видов работы.

Самостоятельная работа как вид учебной работы может использоваться на лекциях и практических занятиях, а также иметь самостоятельное значение – внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся – при подготовке к лекциям, практическим занятиям, а также к теоретическому зачету.



Основными видами самостоятельной работы по дисциплине являются:

- самостоятельное изучение отдельных вопросов по темам самостоятельных работ (п.4.3);
- подготовка к защите практического задания, оформление отчета.
- подготовка к защите лабораторных работ, оформление отчета.

Курсовой проект является этапом изучения дисциплины. Целью выполнения курсового проекта является закрепление, углубление и проверка усвоения студентами теоретических знаний и умения их практического и творческого использования при проектировании микроволновых приборов и устройств.

Курсовой проект должен содержать следующие элементы

- титульный лист;
- оглавление;
- введение;
- расчётная часть;
- заключение;
- список используемых источников.

#### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», при изучении студентами дисциплины «Микроволновые приборы и устройства» реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных технологий проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой преподавателя и студента.

Изучение дисциплины предусматривает применение активных форм проведения занятий с целью формирования и развития общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся.

При проведении самостоятельной работы обучающихся используются следующие информационные технологии:

- доступ в сеть Интернет, обеспечивающий, поиск актуальной научно-методической и научно-технической информации;
- необходимое программное обеспечение для выполнения программы дисциплины, установленное в вузе, а также для выполнения самостоятельной работы в домашних условиях;

При организации самостоятельной работы студентов используется комплекс учебных и учебно-методических материалов в сетевом доступе (программа, методические пособия, список рекомендуемых источников литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме и вопросы для самоконтроля).

Принятая технология обучения базируется на интерактивной работе в аудитории, когда в процессе лекций, лабораторных и практических занятий, дополняемых самостоятельной работой обучаемых, в том числе и с участием преподавателя, выполняется серия экспресс-заданий, совокупность которых позволяет практически применить полученные знания, развивая компетенции, предусмотренные для данной дисциплины.

Проведение ряда занятий осуществляется с использованием компьютеров и мультимедийных средств, наглядных пособий.

#### **Перечень лицензионного программного обеспечения:**

- 1) Операционная система Windows XP (лицензия Microsoft DreamSpark Membership ID 700102019);
- 2) Свободно распространяемый офисный пакет LibreOffice (лицензия LGPL-3.0+)

#### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Для освоения дисциплины необходима следующая материально-техническая база.

##### **1. Лекционные занятия:**

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
- комплект электронных презентаций/слайдов.

##### **2. Лабораторные работы:**

- лаборатория СВЧ приборов оснащена генераторами ГКЧ 57, ГКЧ 59, ГКЧ 60, ГКЧ 61; частотометры 43-54, генераторы СВЧ Г4-81 блоками питания: ВИП-09, ВИП-010; персональными компьютерами, оригинальными программными продуктами, созданными в среде Delphi для проектирования многорезонаторного клистрона.
- шаблоны отчетов по лабораторным работам.

##### **3. Практические занятия:**

- аудитория, оснащенная ПК, для проведения необходимых расчетов и тестового контроля успеваемости.

Программу составил  
к.т.н., доцент кафедры ЭП



О.А. Горлин