

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет приборостроения, информационных технологий и электроники

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФПИТЭ

В. Д. Кривчик

« 27 »

2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Б1.2.15 – «Техническая электродинамика и проектирование
микроволновых устройств»**

Направление подготовки: 11.03.03 – «Конструирование и технология электронных средств»

Профиль подготовки: «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Форма обучения – очная

Пенза, 2016

1. Цели освоения дисциплины

Целями и задачами освоения учебной дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств» являются: теоретическое освоение основных разделов теории электромагнитного поля, линий передач СВЧ и физически обоснованное использование теории электромагнитного поля при проектировании микроволновых устройств электронных средств. А также формирование и развитие знаний в области проектирования, экспериментального исследования и эксплуатации микроволновых устройств и антенн с использованием современных методов математического моделирования, средств измерений и систем автоматизированного проектирования.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств» относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин Б 1.2, по направлению подготовки 11.03.03, реализуется на факультете приборостроения, информационных технологий и электроники Пензенского государственного университета кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» (КиПРА) в 6 и 7 семестрах.

Изучение дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств» основано на предшествующих дисциплинах учебного плана:

- Математический анализ и теория функций комплексных переменных Б1.1.06;
 - Линейная алгебра и аналитическая геометрия Б1.1.07;
 - Химия и электрохимия Б1.1.10;
 - Инженерная и компьютерная графика Б1.1.14;
 - Введение в информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств Б1.2.02;
 - Физика Б1.1.09;
 - Физические основы микро- и наноэлектроники Б1.1.12;
 - Теоретические основы схемотехники электронных средств Б1.1.16;
 - Основы конструирования электронных средств Б1.1.17;
 - Схемо- и системотехника электронных средств Б1.1.18;
 - Теория точности в конструировании и технологии радиоэлектронных средств Б1.2.07.
- Освоение данной дисциплины необходимо для изучения следующих дисциплин:*
- Управление качеством электронных средств Б1.1.20;
 - Защита радиоэлектронных средств от внешних воздействий Б1.2.23.1;
 - Информационные технологии конструирования электронных средств Б1.1.13.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения

дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Коды компетенции	Наименование компетенции	Структурные элементы компетенции (в результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, уметь, владеть)
1	2	3
ОПК-2	Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их реше-	Знать: основы теории электромагнитного поля; основы теории электрических цепей СВЧ; физические принципы функционирования микроволновых устройств и антенн различных классов и областей применения; методы тео-

	<p>ния соответствующий физико-математический аппарат</p>	<p>ретического и экспериментального исследования микроволновых устройств и антенн.</p> <p>Уметь: выполнять расчет электромагнитных полей, микроволновых устройств и антенн с применением методов математического анализа и моделирования.</p> <p>Владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования характеристик электромагнитного поля, микроволновых устройств и антенн.</p>
<p>ОПК-7</p>	<p>Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности</p>	<p>Знать: современные тенденции развития СВЧ электроники, измерительной, вычислительной техники и информационных технологий в области микроволновых устройств и антенн.</p> <p>Уметь: выполнять аналитический обзор тенденций развития современной СВЧ электроники измерительной, вычислительной техники и информационных технологий в области микроволновых устройств и антенн.</p> <p>Владеть: методикой, позволяющей учитывать современные тенденции развития СВЧ электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в области микроволновых устройств и антенн.</p>
<p>ПК-6</p>	<p>Готовность выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и модулей электронных средств, в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.</p>	<p>Знать: основные характеристики направляемых электромагнитных волн, линий передачи, резонаторов СВЧ, деталей, узлов и модулей микроволновых электронных средств; основные методы расчета и проектирования деталей, узлов, модулей микроволновых устройств и антенн.</p> <p>Уметь: уметь выполнять расчет и проектирование линий передачи, резонаторов микроволновых электронных средств и антенн в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.</p> <p>Владеть: навыками расчета и проектирования линий передачи, резонаторов СВЧ, деталей, узлов и модулей микроволновых электронных средств и антенн в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.</p>

4. Структура и содержание дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств»

4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет: 7 зачетных единиц, 252 часа. Продолжительность изучения дисциплины 6,7 семестр.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)									Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)								
				Аудиторная работа			Самостоятельная работа						Собеседование (по л. р.)	Коллоквиум (тест по теории)	Проверка тестов (задачи)	Проверка контр. работ	Проверка реферата	Проверка эссе и иных творческих работ	курсовая работа (проект)	др.	
				Всего	Лекция	Лабораторные занятия	Всего	Подготовка к аудиторным занятиям	Реферат, эссе и др.	Курсовая работа (проект)	Подготовка к экзамену										
1.	Раздел 1. Основные положения теории электромагнитного поля	6	1-2	4	4			6	2			4		+							
1.1.	Тема 1.1. Электромагнитное поле и его математические модели	6	1	2	2			3	1			2		+							
1.2.	Тема 1.2. Электромагнитные свойства сред	6	2	2	2			3	1			2		+							
2.	Раздел 2. Уравнения Максвелла	6	3	2	2			4	1			3		+							
2.1.	Тема 2.1. Уравнения Максвелла	6	3	2	2			4	1			3		+							
3.	Раздел 3. Основные свойства монохроматического поля	6	4-5	10	4		6	5,5	1,5			4	+	+							
3.1.	Тема 3.1. Классификация электромагнитных явлений	6	4	2	2			2,75	0,75			2		+							
3.2.	Тема 3.2. Основные свойства переменного электромагнитного поля	6	5	8	2		6	2,75	0,75			2	+	+							

4.	Раздел 4. Энергия электромагнитного поля	6	6	2	2			3	1			2		+					
4.1.	Тема 4.1. Энергия электромагнитного поля	6	6	2	2			3	1			2		+					
5.	Раздел 5. Электромагнитные волны в неограниченных средах	6	7-8	6	6			5,5	1,5			4		+					
5.1.	Тема 5.1. Плоские однородные волны в диэлектриках и проводниках	6	7	4	4			2,75	0,75			2		+					
5.2.	Тема 5.2. Электромагнитные волны в гиротропной среде	6	8	2	2			2,75	0,75			2		+					
6.	Раздел 6. Электромагнитные волны у границы раздела сред	6	9	5	2			3	3,5	1,5		2	+	+					
6.1.	Тема 6.1. Электромагнитные волны у границы раздела сред	6	9	5	2			3	3,5	1,5		2	+	+					
7.	Раздел 7. Излучение и дифракция электромагнитных волн	6	10-11	5	4			1	6	2		4	+						
7.1.	Тема 7.1. Излучение электромагнитных волн	6	10	3	2			1	3	1		2	+						
7.2.	Тема 7.2. Дифракция электромагнитных волн	6	11	2	2			3	1			2							
8.	Раздел 8. Направляемые электромагнитные волны	6	12	2	2			3,5	1,5			2		+					
8.1.	Тема 8.1. Направляемые электромагнитные волны	6	12	2	2			3,5	1,5			2		+					
9.	Раздел 9. Основы теории цепей с распределенными параметрами	6	13	4	2			2	3	1		2	+						
9.1.	Тема 9.1. Основы теории цепей с распределенными параметрами	6	13	4	2			2	3	1		2	+						
10.	Раздел 10. Линии передачи	6	14-16	8	6			2	9	3		6	+	+					
10.1	Тема 10.1. Прямоугольные и круглые волноводы	6	14	2	2			3	1			2		+					
10.2	Тема 10.2. Коаксиальные и полосковые линии передачи	6	15	2	2			3	1			2		+					

10.3	Тема 10.3. Линии поверхностных волн	6	16	4	2		2	3	1			2	+	+					
11.	Раздел 11. Резонаторы	6	17-18	6	2		4	5	2			3	+	+					
11.1	Тема 11.1. Резонаторы	6	17-18	6	2		4	5	2			3	+	+					
	<i>Подготовка к экзамену: 36 часов</i>	6																	
	Общая трудоемкость, в часах: 72+36=108 (3 з.е.)	6		54	36		18	18+ 36= 54	18			36	Промежуточная аттестация						
													Форма		Семестр				
													Экзамен		6				

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)									Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)							
				Аудиторная работа				Самостоятельная работа					Собеседование (по л. р.)	Коллоквиум (тест по теории)	Проверка тестов (задачи)	Проверка контр. работ	Проверка реферата	Проверка эссе и иных творческих работ	курсовая работа (проект)	др.
				Всего	Лекция	Практические занятия	Лабораторные занятия	Всего	Подготовка к аудиторным занятиям	Реферат, эссе и др.	Курсовая работа (проект)	Подготовка к экзамену								
1.	Раздел 1. Введение в теорию волноводов с нерегулярными элементами	7	1-2	2	2			8	2		2	4		+					+	
1.1.	Тема 1.1. Введение в теорию волноводов с нерегулярными элементами	7	1-2	2	2			8	2		2	4		+					+	
2.	Раздел 2. Матричный анализ волноводных устройств	7	3-4	2	2			11	4		3	4		+					+	
2.1.	Тема 2.1. Матричный анализ волноводных устройств	7	3-4	2	2			11	4		3	4		+					+	

3.	Раздел 3. Элементы и узлы волноводных трактов	7	5-6	9	2	5	2	13	6		3	4	+	+	+				+	
3.1.	Тема 3.1. Элементы и узлы волноводных трактов	7	5-6	9	2	5	2	13	6		3	4	+	+	+				+	
4.	Раздел 4. Волноводные микроволновые устройства	7	7-8	6	2		4	11	4		3	4	+	+					+	
4.1.	Тема 4.1. Волноводные микроволновые устройства	7	7-8	6	2		4	11	4		3	4	+	+					+	
5.	Раздел 5. Миниатюрные микроволновые устройства	7	9-10	8	2	6		9	2		3	4		+	+				+	
5.1.	Тема 5.1. Миниатюрные микроволновые устройства	7	9-10	8	2	6		9	2		3	4		+	+				+	
6.	Раздел 6. Микроволновые электронные приборы	7	11-12	8	2		6	13	6		3	4	+	+					+	
6.1.	Тема 6.1. Микроволновые электронные приборы	7	11-12	8	2		6	13	6		3	4	+	+					+	
7.	Раздел 7. Микроволновые антенны	7	13-14	13	2	6	5	13	6		3	4	+	+	+				+	
7.1.	Тема 7.1. Микроволновые антенны	7	13-14	13	2	6	5	13	6		3	4	+	+	+				+	
8.	Раздел 8. Автоматизация проектирования микроволновых устройств и антенн	7	15-18	3	3			12	2		2	8		+					+	
8.1.	Тема 8.1. Автоматизация проектирования микроволновых устройств	7	15-16	2	2			8	2		2	4		+					+	
8.2.	Тема 8.2. Автоматизация проектирования микроволновых антенн	7	17-18	1	1			4				4								
	<i>Курсовая работа (проект): 23 часа</i>	7																		
	<i>Подготовка к зачету</i>																			
	<i>Подготовка к экзамену: 36 часов</i>	7																		
	Общая трудоемкость, в часах: 108+36=144 (4 з.е.)	7		54	18	18	18	54+ 36= 90	32		22	36	Промежуточная аттестация							
													Форма				Семестр			
													Курс. проект				7			
													Экзамен				7			

4.2. Содержание дисциплины

6 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Основные положения теории электромагнитного поля	Предмет и задачи курса. Общая характеристика радиоволн и особенности диапазона волн сверхвысоких частот (СВЧ). Основные операции векторного анализа, используемые в электродинамике, и их физический смысл. Электромагнитное поле и его математические модели. Сила Лоренца. Электромагнитные свойства сред. Материальные уравнения электромагнитного поля. Плотность тока проводимости. Дифференциальная форма закона Ома. Закон сохранения заряда. Закон Гаусса. Электрические потери. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Угол диэлектрических потерь.
2	Уравнения Максвелла	Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме и их физический смысл. Комплексные амплитуды полей. Уравнения Максвелла для гармонических колебаний.
3	Основные свойства монохроматического поля	Классификация электромагнитных явлений. Граничные условия. Нормальные и касательные составляющие векторов электрического и магнитного полей. Граничные условия для переменных полей у поверхности идеального проводника. Волновой характер переменного электромагнитного поля. Однородные волновые уравнения Гельмгольца.
4	Энергия электромагнитного поля	Закон сохранения электромагнитной энергии. Теорема Умова-Пойнтинга. Вектор Пойнтинга. Баланс энергии монохроматического поля. Энергетические характеристики плоской однородной волны. Теорема единственности.
5	Электромагнитные волны в неограниченных средах	Плоские однородные волны: основные уравнения, структура электромагнитного поля. Поляризация плоских однородных волн. Основные характеристики электромагнитного поля. Плоские однородные волны в диэлектриках без потерь, с малыми и большими потерями, в металлах. Скин - эффект. Распространение электромагнитных волн в гиротропной среде.
6	Электромагнитные волны у границы раздела сред	Падение плоской волны на границу раздела двух диэлектриков. Нормальное падение плоской волны на границу раздела диэлектриков. Полное прохождение волны через границу раздела диэлектриков. Полное внутреннее отражение. Падение плоской волны на границу раздела диэлектрика и идеального проводника. Приближенные граничные условия Леонтовича-Щукина. Электромагнитный экран.
7	Излучение и дифракция электромагнитных волн	Электродинамические потенциалы. Элементарный электрический излучатель. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный излучатель. Цилиндрические волны. Сферические волны. Принцип эквивалентности источников. Дифракция электромагнитных волн. Задачи дифракции. Методы геометрической и физической оптики. Поле излучения элемента волнового фронта. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.
8	Направляемые электромагнитные волны	Направляемые электромагнитные волны: основные определения. Волновые уравнения для направляемых волн. Связь между продольными и поперечными составляющими поля. Структура поля направляемых волн. Классификация направляемых волн. Плоские однородные волны в направляющих системах. Основные характеристики направляемых волн.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
9	Основы теории цепей с распределенными параметрами	Основы теории цепей с распределенными параметрами: основное уравнение передачи и его решения; постоянные распространения и характеристическое сопротивление; стоячие и частично стоячие волны, коэффициент отражения. Входное сопротивление линии без потерь. Круговая диаграмма полных сопротивлений и проводимостей, её свойства и применение при решении практических задач.
10	Линии передачи	Назначение линий передачи и предъявляемые к ним требования. Основные конструкции линий передачи и их применение в технике СВЧ. Прямоугольные и круглые волноводы. Коаксиальные волноводы. Полосковые линии. Поверхностные волны и замедляющие структуры.
11	Резонаторы	Общие свойства объемных резонаторов. Основные конструкции коаксиальных и полых резонаторов на отрезках линий передачи, типы колебаний, расчет геометрических размеров и добротности. Способы возбуждения и включения объемных резонаторов. Другие типы резонаторов.

7 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Введение в теорию волноводов с нерегулярными элементами	Нерегулярность реальных волноводов. Метод эквивалентных схем. Эквивалентная схема нерегулярности в волноводе. Реактивные элементы. Конструкции реактивностей в волноводных линиях: штыри, диафрагмы и шлейфы. Связь между электрическими и конструктивными параметрами.
2	Матричный анализ волноводных устройств	Волновые матрицы передачи и рассеяния для пассивных многополюсников. Физический смысл элементов волновых матриц. Условия реактивности, взаимности, симметрии и асимметрии в четырехполюсниках СВЧ.
3	Элементы и узлы волноводных трактов	Соединители волноводных трактов. Повороты, изгибы, скрутки и разветвления. Производственные допуски. Общие вопросы компоновки СВЧ трактов. Защита СВЧ трактов от внешних воздействий. Короткозамыкающие поршни. Согласование СВЧ трактов. Согласующие и переходные устройства СВЧ.
4	Волноводные микроволновые устройства	Нагрузки, аттенуаторы и фазовращатели. Направленные ответвители. Мостовые соединения. Ферритовые устройства. Принцип действия и конструкции фильтров, смесителей, детекторов, антенных переключателей и разрядников. Особенности проектирования СВЧ устройств большой мощности.
5	Миниатюрные микроволновые устройства	Принципы проектирования миниатюрных СВЧ элементов и узлов волноводных трактов. Основные конструкции миниатюрных функциональных узлов СВЧ. Особенности проектирования и производства микросхем СВЧ. Модульный принцип проектирования конструкций СВЧ микросхем. Корпуса микросхем СВЧ: назначение, выбор конструкции и материала корпуса. Подложки и проводниковые материалы СВЧ микросхем. Герметизация СВЧ модулей.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
6	Микроволновые электронные приборы	Классификация и принципы действия электровакуумных приборов СВЧ. Пролетные клистроны. Отражательные клистроны. Лампы бегущей волны. Лампы обратной волны. Магнетроны. Полупроводниковые приборы СВЧ: диоды с р-п переходом, диоды Ганна, диоды с барьером Шоттки, туннельные диоды, р-і-п диоды, варакторные диоды, транзисторы.
7	Микроволновые антенны	Общий подход к проектированию микроволновых антенн. Решение математической задачи синтеза антенн. Конструкторская реализация задачи синтеза одноканальных и моноимпульсных антенн. Назначение и классификация антенн, их параметры и характеристики. Принцип действия, конструкции и особенности проектирования основных типов микроволновых антенн: вибраторных, директорных, рупорных, зеркальных, диэлектрических, спиральных, антенных решеток, микрополосковых антенн.
8	Автоматизация проектирования микроволновых устройств и антенн	Основные принципы автоматизированного проектирования микроволновых устройств и антенн. Математические модели элементов микроволновых схем. Особенности автоматизированного проектирования микроволновых устройств и антенн в пакетах проектирования «Microwave Office» и HFSS.

4.3. Практические занятия

7 семестр

№№ п / п	Темы практических занятий	Раздел учебной дисциплины	Объем в часах
1	Расчет согласующих устройств СВЧ	3	2
2	Расчет миниатюрных элементов микроволновых устройств	5	2
3	Расчет полосковых фильтров СВЧ и направленных ответвителей	5	2
4	Расчет полосковых переключателей и кольцевых мостов	5	2
5	Расчет линзовых и зеркальных антенн	7	2
6	Расчет директорных и стержневых антенн	7	2
7	Расчет спиральных и волноводно-щелевых антенн	7	2
8	Расчет производственных допусков микроволновых устройств	3	4
Итого			18

4.4. Лабораторные занятия 6 семестр

№№ п / п	Наименование лабораторных работ	Раздел учебной дисциплины	Объем в часах
1	Исследование поляризационных характеристик электромагнитного поля	3, 7	4
2	Исследование линий передачи поверхностных электромагнитных волн	10	2
3	Исследование эффективности электромагнитных экранов	6	2
4	Исследование полей в объемных резонаторах СВЧ	11	4
5	Исследование спектральных характеристик СВЧ колебаний	3	2
6	Измерение частоты СВЧ колебаний гетеродинным методом	3	2
7	Исследование эквивалентных сопротивлений линий передачи СВЧ	9	2
Итого			18

7 семестр

№№ п / п	Наименование лабораторных работ	Раздел учебной дисциплины	Объем в часах
1	Исследование элементов и узлов волноводного тракта	3, 4	4
2	Исследование ферритового устройства поворота плоскости поляризации	4	2
3	Исследование отражательного клистрона	6	2
4	Исследование импульсного генератора на многорезонаторном магнетроне	6	2
5	Исследование полупроводниковых приборов СВЧ	6	2
6	Исследование рупорных антенн СВЧ	7	2
7	Исследование щелевых антенн СВЧ	7	4
Итого			18

4.5 Курсовой проект

7 семестр

4.5.1 Перечень рекомендуемых тем:

1. Линзовая антенна.
2. Зеркальная антенна.
3. Директорная антенна.
4. Стержневая антенна.
5. Спиральная антенна.
6. Волноводно-щелевая антенна.
7. Фильтр сверхвысоких частот.
8. Направленный ответвитель.
9. Полосковый переключатель.
10. Кольцевой мост.

Каждая из тем курсовых проектов имеет 10 вариантов, отличающихся по численным значениям исходных данных, способу технической реализации или иным признакам.

4.5.2 Рекомендации по организации проектирования:

Содержание проекта

Электрический и конструкторский микроволновых устройств (ответвителей, фильтров и т.д.) и антенн с использованием пакетов MathCAD или MatLAB, а также "WicroWave Office" и HFSS. Чертежи конструкции заданного устройства, выполненные с использованием пакетов проектирования КОМПАС и др..

Перечень материалов, представляемых к защите:

1 Расчетно-пояснительная записка объемом 25-30 листов, оформленная в соответствии с ГОСТом. Расчетно-пояснительная записка включает: титульный лист, техническое задание на проектирование; введение; обзор технической литературы; анализ технического задания; описание принципа работы проектируемого устройства; электрический и конструкторский расчет устройства; технико-экономическое обоснование технологии изготовления устройства и его элементов.

2 Графическая часть содержит:

- сборочный чертеж изделия (на одном листе формата А3-А2);
- чертеж общего вида (на одном листе формата А3-А1);
- рабочие чертежи 2-3 деталей (на двух-трех листах формата А4);
- спецификация на изделие (на одном и более листе формата А4).

Чертежи выполняются с помощью компьютерных средств проектирования на белой листовой бумаге в соответствии с требованиями ЕСКД и подшиваются в расчетно-пояснительную записку.

5. Образовательные технологии

6 семестр

Требуемые результаты освоения дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств» достигаются за счет использования в процессе обучения интерактивных методов и технологий формирования компетенций у студентов:

- лекций с применением мультимедийных технологий (5-7, 11 разделы);
- проблемных лекций (4, 6, 7, разделы);
- вовлечения студентов в проектную деятельность: во время аудиторных занятий – коллективная работа в бригаде и обсуждение в группе результатов проведенных исследований; во время внеаудиторной (самостоятельной) работы – моделирование электромагнитных полей, деталей, узлов и модулей микроволновых электронных средств в среде пакета "WicroWave Office";
- индивидуального собеседования (консультаций).

Занятия, проводимые в интерактивных формах, с использованием интерактивных технологий составляют 30% аудиторных занятий.

7 семестр

Требуемые результаты освоения дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств» достигаются за счет использования в процессе обучения интерактивных методов и технологий формирования компетенций у студентов:

- лекций с применением мультимедийных технологий (3-5, 7 разделы);
- проблемных лекций (3, 7, 8, разделы);
- вовлечения студентов в проектную деятельность: во время аудиторных занятий – коллективная работа в бригаде и обсуждение в группе результатов проведенных исследований; во время внеаудиторной (самостоятельной) работы – моделирование деталей, узлов и модулей микроволновых устройств и антенн в среде пакетов "WicroWave Office" и HFSS.

– индивидуального собеседования (консультаций).

Занятия, проводимые в интерактивных формах, с использованием интерактивных технологий составляют 30% аудиторных занятий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1. План самостоятельной работы студентов

6 семестр

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1-2	Раздел 1. Основные положения теории электромагнитного поля	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить темы: электромагнитное поле и его математические модели; электромагнитные свойства сред	[1, с. 6-18], [2,3], [4, с. 4-10], [5], [Г] 1]	2
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №1	Рассчитать поляризационные характеристики электромагнитного поля		
3	Раздел 2. Уравнения Максвелла	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить уравнения Максвелла и их физический смысл	[1, с. 18-26], [2], [4, с. 10-15], [5], [Г] 1]	1
		Оформление отчета по л. р. №1	Оформить отчет по л. р. №1 в соответствии с образцом		
4-5	Раздел 3. Основные свойства монохроматического поля	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить темы: классификация электромагнитных явлений; основные свойства переменного электромагнитного поля	[1, с. 26-31], [2,3], [4, с. 15-17], [5], [Г] 1]	1,5
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №2	Рассчитать характеристики поверхностных волн		
		Оформление отчета по л. р. №2	Оформить отчет по образцу л. р. №2		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить разделы 1-3		
6	Раздел 4. Энергия электромагнитного поля	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Энергия электромагнитного поля»	[1, с. 31-38], [2], [4, с. 17], [5], [Г] 1]	1
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №3	Рассчитать характеристики электромагнитных экранов		

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
7-8	Раздел 5. Электромагнитные волны в неограниченных средах	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить темы: плоские однородные волны в диэлектриках и проводниках; электромагнитные волны в гиротропной среде	[1, с. 38-59], [4, с. 18-25, 143-145], [5], [Г] 1]	1,5
		Оформление отчета по л. р. №3	Оформить отчет по образцу л. р. №3		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить раздел 4-5		
9	Раздел 6. Электромагнитные волны у границы раздела сред	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Электромагнитные волны у границы раздела сред»	[1, с. 59-72], [2,3], [4, с. 25-28], [5], [Г] 2]	1,5
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №4	Рассчитать характеристики объемных резонаторов СВЧ		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить разделы 1-6		
10-11	Раздел 7. Излучение и дифракция электромагнитных волн	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить темы излучения и дифракции электромагнитных волн	[1, с. 72-90], [4, с. 198-203], [5], [Г] 2]	2
		Оформление отчета по л. р. №4	Оформить отчет по образцу л. р. №4		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить раздел 7		
12	Раздел 8. Направляемые электромагнитные волны	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить характеристики направляемых электромагнитных волн	[1, с. 91-99], [4, с. 28-34], [5], [Г] 2]	1,5
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №5	Рассчитать спектральные характеристики СВЧ колебаний		
		Оформление отчета по л. р. №5	Оформить отчет по образцу л. р. №5		
13	Раздел 9. Основы теории цепей с распределенными параметрами	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить основы теории цепей с распределенными параметрами	[1, с. 99-127], [5], [4, с. 35-44], [Г] 2]	1
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №6	Изучить гетеродинный метод измерения частоты СВЧ колебаний		

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
		Оформление отчета по л. р. №6	Оформить отчет по образцу л. р. №6		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить разделы 8-9		
14-16	Раздел 10. Линии передачи	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным). Подготовка к экзамену.	Изучить характеристики линий передачи СВЧ	[1, с. 128-177], [2,3], [4, с. 152-184], [5], [г] 2]	3
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №7	Изучить методику расчета эквивалентных сопротивлений линий передачи СВЧ		
		Оформление отчета по л. р. №7	Оформить отчет по образцу л. р. №7		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить раздел 10		
17-18	Раздел 11. Резонаторы	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным занятиям). Подготовка к экзамену.	Изучить теорию резонаторов	[1, с. 178-20], [3], [4, с. 131-138], [5], [г] 2]	2
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить разделы 7-11		
	Подготовка к экзамену		Повторить и изучить разделы 1-11		

7 семестр

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1-2	Раздел 1. Введение в теорию волноводов с нерегулярными элементами	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Курсовое проектирование. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Введение в теорию волноводов с нерегулярными элементами»	[1, с. 89-94], [2], [г] 1], [г] 3], [г] 4], [г] 6,7]	4
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №1	Рассчитать характеристики элементов и узлов волноводного тракта		

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
3-4	Раздел 2. Матричный анализ волноводных устройств	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Курсовое проектирование. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Матричный анализ волноводных устройств»	[1, с. 44-52], [2], [г] 1), [г] 3), [г] 4), [г] 6,7]	7
		Оформление отчета по л. р. №1	Оформить отчет по л. р. №1 в соответствии с образцом		
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №2	Рассчитать характеристики ферритового устройства поворота плоскости поляризации		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить разделы 1-4		
5-6	Раздел 3. Элементы и узлы волноводных трактов	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Курсовое проектирование. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Элементы и узлы волноводных трактов»	[1, с. 94-112], [2], [г] 1,2), [г] 3), [г] 4), [г] 6,7]	9
		Оформление отчета по л. р. №2	Оформить отчет по образцу л. р. №2		
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №3	Рассчитать характеристики отражательного клистрона		
		Решение тестовых задач.	Решить тестовые задачи по разделу 3		
7-8	Раздел 4. Волноводные микроволновые устройства	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Курсовое проектирование. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Волноводные микроволновые устройства»	[1, с. 112-161], [2], [г] 2), [г] 3), [г] 4), [г] 6,7]	7
		Оформление отчета по л. р. №3	Оформить отчет по образцу л. р. №3		
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №4	Рассчитать характеристики импульсного генератора на многорезонаторном магнетроне		
9-10	Раздел 5. Миниатюрные микроволновые устройства	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Курсовое проектирование. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Миниатюрные микроволновые устройства»	[1, с. 222-277], [2, с. 323-349], [г] 2), [г] 3), [г] 4), [г] 6,7]	5
		Оформление отчета по л. р. №4	Оформить отчет по образцу л. р. №4		

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №5	Рассчитать характеристики полупроводниковых приборов СВЧ		
		Решение тестовых задач.	Решить тестовые задачи по разделу 5		
		Подготовка к тесту по теории.	Изучить разделы 5-10		
11-12	Раздел 6. Микроволновые электронные приборы	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Курсовое проектирование. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Микроволновые электронные приборы»	[1, с. 162-193], [2, с. 323-349], [г) 2], [г) 3], [г) 4], [г) 6,7]	9
		Оформление отчета по л. р. №5	Оформить отчет по образцу л. р. №5		
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №6	Рассчитать характеристики рупорных антенн СВЧ		
13-14	Раздел 7. Микроволновые антенны	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Курсовое проектирование. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Микроволновые антенны»	[1, с. 194-222], [2, 3], [г) 2], [г) 3], [г) 4], [г) 5] [г) 6,7]	9
		Оформление отчета по л. р. №6	Оформить отчет по образцу л. р. №6		
		Выполнение предварительного расчета к л. р. №7	Рассчитать характеристики щелевых антенн СВЧ		
		Решение тестовых задач.	Решить тестовые задачи по разделу 7		
15-18	Раздел 8. Автоматизация проектирования микроволновых устройств и антенн	Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным). Подготовка к защите курсового проекта. Подготовка к экзамену.	Изучить тему «Автоматизация проектирования микроволновых устройств и антенн»	[1, с. 324-344], [г) 2], [г) 3], [г) 6,7]	4
		Оформление отчета по л. р. №7	Оформить отчет по образцу л. р. №7		
	Подготовка к экзамену		Повторить и изучить разделы 1-8	[1-19]	36

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

6 семестр

Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным и лабораторным) необходимо поль-

зоваться конспектом лекций и соответствующими методическими материалами по теме занятий.

При выполнении предварительного расчета необходимо пользоваться описанием соответствующей лабораторной работы.

При оформлении отчета по лабораторной работе необходимо включить в него титульный лист, предварительный расчет, схему эксперимента, таблицу с результатами эксперимента, результаты обработки экспериментальных данных и выводы по работе в соответствии с примером оформления соответствующей лабораторной работы.

При подготовке к тесту по теории, зачету и экзамену необходимо изучить все темы по списку контрольных вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

7 семестр

Подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим и лабораторным) необходимо пользоваться конспектом лекций и соответствующими методическими материалами по теме занятий.

При выполнении предварительного расчета необходимо пользоваться описанием соответствующей лабораторной работы.

При оформлении отчета по лабораторной работе необходимо включить в него титульный лист, предварительный расчет, схему эксперимента, таблицу с результатами эксперимента, результаты обработки экспериментальных данных и выводы по работе в соответствии с примером оформления соответствующей лабораторной работы.

При подготовке к решению тестовых задач необходимо пользоваться соответствующими методическими материалами по теме тестовых задач.

При выполнении проектной работы необходимо пользоваться методическими указаниями к курсовому проектированию, программными пакетами моделирования и проектирования ("MicroWave Office", HFSS, MatLAB, MathCAD, КОМПАС).

При подготовке к тесту по теории и экзамену необходимо изучить все темы по списку контрольных вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

6.3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

Контроль освоения компетенций

6 семестр

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Проверка тестов по теории	Раздел 1. Основные положения теории электромагнитного поля	ОПК-2
2.	Экзамен		
3.	Проверка тестов по теории	Раздел 2. Уравнения Максвелла	ОПК-2
4.	Экзамен		
5.	Проверка тестов по теории	Раздел 3. Основные свойства монохроматического поля	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
6.	Проверка отчетов по л. р. №1, 5, 6 и их защита		
7.	экзамен		

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
8.	Проверка тестов по теории	Раздел 4. Энергия электромагнитного поля	ОПК-2
9.	Экзамен		
10.	Проверка тестов по теории	Раздел 5. Электромагнитные волны в неограниченных средах	ОПК-2
11.	Экзамен		
12.	Проверка тестов по теории	Раздел 6. Электромагнитные волны у границы раздела сред	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
13.	Проверка отчета по л. р. №3 и его защита		
14.	экзамен		
15.	Проверка отчета по л. р. №3 и его защита	Раздел 7. Излучение и дифракция электромагнитных волн	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
16.	экзамен		
17.	Проверка отчета по л. р. №2 и его защита	Раздел 8. Направляемые электромагнитные волны	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
18.	экзамен		
19.	Проверка отчета по л. р. №7 и его защита	Раздел 9. Основы теории цепей с распределенными параметрами	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
20.	экзамен		
21.	Проверка отчета по л. р. №2 и его защита	Раздел 10. Линии передачи	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
22.	экзамен		
23.	Проверка отчета по л. р. №4 и его защита	Раздел 11. Резонаторы	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
24.	экзамен	Разделы 1-11	ОПК-2, ПК-6, ОПК-7

7 семестр

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Проверка тестов по теории	Раздел 1. Введение в теорию волноводов с нерегулярными элементами	ОПК-2
2	Экзамен		
3	Проверка тестов по теории	Раздел 2. Матричный анализ волноводных устройств	ОПК-2
4	Экзамен		
5	Проверка тестов по теории	Раздел 3. Элементы и узлы волноводных трактов	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
6	Проверка решения тестовых задач.		
7	Проверка отчета по л. р. №1 и его защита		
8	Экзамен		

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
9	Проверка тестов по теории	Раздел 4. Волноводные микроволновые устройства	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
10	Проверка отчета по л. р. №2 и его защита		
11	Экзамен		
12	Проверка тестов по теории	Раздел 5. Миниатюрные микроволновые устройства	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
13	Проверка решения тестовых задач.		
14	Защита курсового проекта, экзамен		
15	Проверка отчета по л. р. №3, 4, 5 и их защита	Раздел 6. Микроволновые электронные приборы	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
16	Экзамен		
17	Проверка отчета по л. р. №6, 7 и их защита	Раздел 7. Микроволновые антенны	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
18	Проверка решения тестовых задач.		
19	Защита курсового проекта, экзамен		
20	Проверка решения тестовых задач.	Раздел 8. Автоматизация проектирования микроволновых устройств и антенн	ОПК-2 ПК-6 ОПК-7
21	Защита курсового проекта, экзамен		
22	Защита курсового проекта, экзамен	Разделы 1-8	ОПК-2, ПК-6, ОПК-7

При проверке отчетов по лабораторным работам и их защите проверяется наличие всех необходимых разделов отчета и правильность их оформления в соответствии с примером оформления. Перечень вопросов для защиты приводится в методических указаниях к соответствующей лабораторной работе.

При проведении практического занятия важно не только решить задачу, получить правильный ответ, но и закрепить определенные знания теории вопроса, добиться приращения этих знаний, проявления элементов творчества. В процессе занятия преподаватель накапливает материал для подведения итогов, где указываются конкретные успехи и недостатки в работе магистрантов. При этом отмечаются общие недостатки в работе и достигнутые успехи, пути дальнейшего совершенствования умений и навыков в период самостоятельной работы.

Демонстрационные варианты тестовых задач

7 семестр

Задача №1. Плоская электромагнитная волна распространяется в немагнитной среде без потерь с неизвестным значением диэлектрической проницаемости. Измерения показали, что на пути, равном 10 см, колебание с частотой 1 ГГц приобретает дополнительный по сравнению с вакуумом сдвиг по фазе в 40° . Определить относительную диэлектрическую проницаемость и коэффициент преломления среды.

Задача №2. В короткозамкнутой линии без потерь длиной 210 м с волновым сопротивлением 600 Ом распространяется электромагнитная волна длиной 50 м. На расстоянии 10 м

от к.з. конца этой линии амплитуда тока равна 0,2 А. Рассчитать амплитуды тока и напряжения на входе и на конце линии.

Задача №3. Полый прямоугольный волновод с идеально проводящими стенками и сечением (72x34) мм работает на волне 10 см. Определить мощность, которая выделяется в согласованной нагрузке волновода, если известно, что максимальная напряженность электрического поля в волноводе равна 10000 В/см.

Задача №4. Определить толщину медного экрана, который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в 10^4 раза на частотах 50 Гц и 50 МГц.

Задача №5. При сочленении двух коаксиальных линий передачи с волновым сопротивлением $z_{\text{в}} = 150$ Ом использован высокочастотный разъем, трущиеся контакты которого допускают протекание тока не более 22 А. Какую предельную мощность можно передать по такой линии?

Задача №6. В прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b = (72 \times 34)$ мм, работающем в качестве линии передачи на частоте $f = 3$ ГГц, возбуждена волна основного типа. Волновод нагружен сопротивлением, величина которого, отнесенная к волновому сопротивлению волновода, равна $1,6 + i0,6$. Определить размеры окна бесконечно тонкой индуктивной диафрагмы, с помощью которой волновод может быть согласован с нагрузкой. Определить также минимально возможное расстояние от нагрузки до места включения диафрагмы в волновод.

Задача №7. Пленочная индуктивность, выполненная в виде одновитковой катушки из меди, имеет индуктивность $L = 1$ нГн. Рассчитать её геометрические параметры и добротность на частоте $f = 3$ ГГц.

Задача №8. Пленочный плоский конденсатор прямоугольного сечения, выполненный на подложке из поликора, имеет емкость 5 пФ. Рассчитать его геометрические параметры и добротность на частоте $f = 1$ ГГц для медных проводящих элементов..

Задача №9. Определите коэффициент направленного действия идеализированной антенны, интенсивность излучения которой равномерна внутри главного лепестка в виде конуса с углом раствора при вершине $2\theta = 4^\circ$, а во всех других направлениях также равномерна, но равна 1% мощности относительно главного лепестка.

Задача №10. Секториальный рупор, расширяющийся в плоскости вектора \mathbf{H} , возбуждается стандартным прямоугольным волноводом на волне $\lambda = 10 \text{ м}$. Определите оптимальные размеры рупора, при которых его максимальный коэффициент направленного действия будет равен 20.

Вопросы коллоквиума (теста по теории) для проведения текущего контроля

6 семестр

1. В чем отличие макроскопической и микроскопической электродинамик?
2. Что описывает уравнение Лоренца?
3. Как действуют электрическая и магнитная составляющие электромагнитного поля на движущийся единичный точечный положительный заряд?
4. Что описывают материальные уравнения?
5. Что такое граничные условия и зачем они нужны?
6. Что описывают волновые уравнения Гельмгольца и какие задачи позволяют решать?
7. В чем суть теоремы Умова-Пойнтинга? Чем отличаются уравнения Умова-Пойнтинга для комплексных и гармонических колебаний?
8. В чем суть теоремы единственности?
9. Какие элементарные источники излучения электромагнитных волн Вам известны, каков принцип их работы?
10. В чем принцип перестановочной двойственности?

11. В чем принцип эквивалентности источников?
12. Как определить ближнюю, промежуточную и дальнюю зоны излучения электромагнитных волн?
13. Чем отличаются поля в ближней, промежуточной и дальней зонах излучения электромагнитных волн?
14. Чем отличаются сферические и цилиндрические волны и каким образом они могут быть сформированы?
15. Что понимается под поляризацией и какие виды поляризации Вам известны?
16. Каким образом могут быть получены электромагнитные волны с вращающейся поляризацией?
17. Какие волны называются направляемыми? Перечислите их основные типы.
18. По каким признакам отличаются основные типы направляемых волн?
19. Охарактеризуйте основные типы направляемых волн.
20. Дайте определение стоячей и частично стоячей волнам. Какими параметрами они описываются?
21. Для решения каких задач технической электродинамики используется теория цепей с распределенными параметрами?
22. Какие данные о линии передачи и параметрах сигнала должны быть известны, чтобы с помощью уравнений передачи можно было найти распределение токов и напряжения вдоль этой линии?
23. Как изменяется входное сопротивление короткозамкнутой линии без потерь от ее длины?
24. Как изменяется входное сопротивление разомкнутой линии без потерь от ее длины?
25. Как изменяется входное сопротивление нагруженной на активное сопротивление линии без потерь от ее длины?
26. Каковы принципы построения круговой диаграммы полных сопротивлений и проводимостей?
27. Для решения каких задач технической электродинамики может быть использована круговая диаграмма полных сопротивлений и проводимостей?
28. Перечислите основные характеристики электромагнитных волн?
29. Какие линии передачи электромагнитных волн Вам известны?
30. В каком диапазоне частот используются коаксиальные линии передачи?
31. Какой тип волны используется в коаксиальных линиях передачи и чем он характеризуется?
32. Какой высший тип волны может возникать в коаксиальной линии и как избежать его возбуждения?
33. Какие параметры коаксиальной линии передачи влияют на ее волновое сопротивление, потери, пробивную мощность?
34. В каком диапазоне частот используются прямоугольные и круглые волноводы?
35. Какие типы волн могут распространяться в прямоугольном волноводе? Какой из них является низшим или основным?
36. Как обеспечить распространение только низшего типа волны в прямоугольном волноводе?
37. На что влияет размер узкой стенки прямоугольного волновода?
38. Какие токи существуют в прямоугольном волноводе и какую пространственную структуру они имеют при низшем типе волны?
39. Какие типы волн могут распространяться в круглом волноводе и чем они характеризуются? Какой из них является низшим?
40. Как обеспечить распространение только низшего типа волны в круглом волноводе?
41. Каковы достоинства и недостатки круглых волноводов в сравнении с прямоугольными волноводами?

42. Какие виды полосковых линий передачи Вам известны, в чем особенности их конструкций и характеристик?
43. Почему в несимметричных полосковых линиях используют диэлектрические подложки с более высокой диэлектрической проницаемостью, чем в симметричных?
44. В чем преимущества и недостатки полосковых линий передачи в сравнении с прямоугольными и круглыми волноводами?
45. Что называют резонатором СВЧ?
46. Какие конструкции резонаторов Вам известны?
47. Каковы основные параметры резонатора?
48. Каковы элементы связи резонаторов с внешними цепями?
49. Какие параметры резонатора влияют на его добротность?
50. Каково практическое использование резонаторов СВЧ?

**Вопросы коллоквиума (теста по теории)
для проведения текущего контроля
7 семестр**

1. Каким образом общая теория линейных многополюсников может быть использована в анализе и синтезе сверхвысокочастотных устройств (СВЧ)?
2. Какой физический смысл волновой матрицы рассеяния?
3. Каким образом могут быть использованы волновые матрицы передачи?
4. Перечислите основные свойства взаимных четырехполюсников.
5. Дайте определение согласования и перечислите условия его достижения на СВЧ.
6. Каковы последствия рассогласования?
7. Какие методы согласования Вам известны?
8. Объясните принцип работы согласующего трансформатора и перечислите известные Вам реактивные элементы СВЧ.
9. Объясните принцип работы четвертьволнового согласующего трансформатора?
10. Какие типы фильтров СВЧ Вам известны?
11. Каков принцип действия полосно-пропускающих фильтров СВЧ на связанных резонаторах в полосковом исполнении?.
12. Из каких соображений выбирают число резонаторов в полосно-пропускающем фильтре СВЧ и расстояния между ними?
13. Какие типы направленных ответвителей Вам известны?
14. Каков принцип действия направленного ответвителя Бете?
15. Какой расстояние между элементами связи выбирается в двухэлементном направленном ответвителе и почему?
16. Каков принцип действия полоскового направленного ответвителя на связанных линиях?
17. Зачем нужны переключатели СВЧ мощности и чем они отличаются от выключателей?
18. Какие типы переключателей СВЧ мощности Вам известны?
19. Зачем в полосковых переключателях СВЧ мощности необходимо компенсировать емкость диода?
20. Каким образом в полосковых переключателях СВЧ мощности обеспечивается развязка между цепями СВЧ и постоянного тока?
21. Из каких соображений в полосковых переключателях СВЧ мощности выбирают число используемых диодов и расстояния между ними?
22. Какие типы мостовых соединений Вам известны?
23. В чем особенности конструирования кольцевой моста на полосковом волноводе?
24. Из каких соображений выбирают длину кольцевого моста и расстояния между его плечами?

25. Какие соединения называют гибридными? Перечислите известные Вам и объясните принцип работы одного из них?
26. В чем смысл оптимальной длины рупора? Из каких соображений выбирается длина рупора линзовой антенны?
27. Объясните, как длина рупора влияет на его диаграмму направленности?
28. Объясните, как длина рупора влияет на его коэффициент усиления?
29. Как работает волноводно-ускоряющая линза? Из каких соображений выбирается расстояние между ее пластинами и их форма?
30. Как работает замедляющая диэлектрическая линза? Из каких соображений выбирается ее профиль?
31. Какие способы возбуждения рупорной антенны Вы знаете? При возбуждении штырем, на каком расстоянии от короткозамыкающей стенки и почему должен располагаться последний?
32. Какие методы расчета зеркальных параболических антенн Вы знаете? В чем особенности апертурного метода с использованием интерполяционного полинома и лямбда-функций?
33. Как влияет глубина зеркала параболической антенны на уровень ее бокового излучения, ширину диаграммы направленности?
34. Какой уровень поля обычно рекомендуют создавать на краю апертуры зеркальной параболической антенны?
35. Какие излучатели электромагнитных волн обычно используют в качестве облучателей зеркальных параболических антенн?
36. Как изменяется волновой фронт облучателя после взаимодействия его электромагнитного поля с зеркалом параболической антенны?
37. Объясните принцип работы директорной антенны типа "волновой канал".
38. Каким образом формируются противофазные волны в рефлекторе директорной антенны?
39. Каким образом формируются синфазные волны в директорах антенны типа "волновой канал"?
40. Какие способы согласования директорной антенны Вам известны?
41. Какие виды стержневых антенн Вам известны?
42. Объясните принцип работы диэлектрической стержневой антенны.
43. Какой тип волны используется в диэлектрической стержневой антенне и в чем ее особенность?
44. Какие способы возбуждения диэлектрической стержневой антенны Вам известны?
45. Для чего в диэлектрической стержневой антенне стержень делают конусообразным?
46. Какие виды спиральных антенн Вам известны?
47. Объясните принцип работы спиральной антенны?
48. Какие виды поляризации и каким образом могут быть получены в спиральной антенне?
49. Какие виды волноводно-щелевых антенн Вам известны?
50. Чем отличаются методы расчета резонансных волноводно-щелевых антенн и волноводно-щелевых антенн с согласованной нагрузкой?
51. Как следует располагать щели в волноводно-щелевой антенне для их эффективного возбуждения?
52. Какое расстояние от короткозамыкающего поршня резонансной волноводно-щелевой антенны до ближайшей щели следует выбирать и почему?
53. Какие расстояния между щелями в различных видах волноводно-щелевых антенн следует выбирать и почему?
54. Какие способы возбуждения волноводно-щелевых антенн Вам известны?
55. Из каких соображений выбирается производственный допуск на чистоту обработки токонесущих поверхностей СВЧ конструкций и от чего он зависит?
Как рассчитываются допуски на элементы и узлы СВЧ трактов?

Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену

6 семестр

Вопросы для проведения промежуточной аттестации

1. Общая характеристика диапазона радиоволн и особенности волн сверхвысоких частот (СВЧ).
2. История создания и развития теории электромагнитного поля.
3. Основные операции векторного анализа и их физический смысл (grad , div , rot , оператор Набла , теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса).
4. Основные характеристики электромагнитного поля. Сила Лоренца.
5. Основные характеристики среды распространения. Электромагнитные свойства сред.
6. Материальные уравнения.
7. Плотность тока проводимости. Дифференциальная форма закона Ома.
8. Закон сохранения заряда. Закон Гаусса.
9. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме и их физический смысл.
10. Уравнения Максвелла для гармонических колебаний. Метод комплексных амплитуд.
11. Классификация электромагнитных явлений.
12. Граничные условия.
13. Волновой характер переменного электромагнитного поля. Однородные волновые уравнения Гельмгольца.
14. Энергия электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга.
15. Теорема единственности. Внутренняя и внешняя задачи.
16. Электромагнитное поле плоской однородной волны в неограниченной однородной изотропной среде.
17. Поляризация плоских однородных волн.
18. Основные характеристики электромагнитного поля плоской однородной волны.
19. Плоские однородные волны в диэлектриках.
20. Плоские однородные волны в металлах. Поверхностный эффект.
21. Электромагнитные волны в гиротропной среде.
22. Электромагнитные волны у границы раздела сред.
23. Экраны. Основные параметры и характеристики.
24. Экранирование электромагнитных полей.
25. Излучение электромагнитных волн. Цилиндрические и сферические волны.
26. Структура излучаемых электромагнитных волн.
27. Принципы перестановочной двойственности и эквивалентности источников.
28. Элементарные источники электромагнитных волн.
29. Дифракция электромагнитных волн. Методы геометрической и физической оптики.
30. Лемма Лоренца. Теорема взаимности.
31. Направляемые электромагнитные волны. Структура, тип волны.
32. Характеристики направляемых электромагнитных волн.
33. Основные уравнения передачи цепей с распределенными параметрами.
34. Основные характеристики линии передачи. Стоячие волны.
35. Частично стоячие волны и их характеристики.
36. Входное сопротивление линии без потерь.
37. Круговые диаграммы полных сопротивлений и проводимостей.
38. Назначение линий передачи СВЧ и предъявляемые к ним требования.
39. Прямоугольные волноводы.
40. Круглые волноводы.
41. Коаксиальные волноводы.

42. Полосковые линии передачи
43. Линии поверхностных волн.
44. Поверхностные волны.
45. Замедление электромагнитных волн. Теорема Флоке.
46. Объемные резонаторы. Основные конструкции, способы возбуждения и применение.
47. Основные параметры и характеристики объемных резонаторов.
48. Конструктивно-технологические особенности волноводов и объемных резонаторов.

Дополнительные вопросы и задания к экзамену

1. Какие основные характеристики однозначно определяют эллиптически поляризованную волну?
2. Какому виду поляризации соответствует $|r| < 1$, $|r| = 1$, $|r| = 0$, $|r| = \infty$?
3. Какую поляризацию должна иметь индикаторная антенна при использовании метода поляризационной диаграммы?
4. Какая электромагнитная волна называется полностью поляризованной, частично поляризованной, неполяризованной?
5. Как можно с помощью поляризационной решетки получить левополяризованную и правополяризованную волну?
6. Объясните принцип действия поляризационной решетки.
7. Как выбрать размер a поляризационной решетки?
8. Какой набег фазы в поляризационной решетке больше: φ_τ или φ_n ?
9. Что называется поляризационной диаграммой? Поясните метод её получения.
10. Что такое поляризационный эллипс? Поясните метод его получения из поляризационной диаграммы.
11. В каких случаях поляризационный эллипс и поляризационная диаграмма совпадают?
12. Каковы условия полного отражения электромагнитной волны от диэлектрической границы возникновения поверхностных волн?
13. Что называют углом полного внутреннего отражения?
14. Какие электромагнитные волны называются поверхностными? Их основные свойства?
15. Почему поверхностные волны являются замедленными?
16. Как зависит замедление поверхностной волны от толщины диэлектрической пластины?
17. Как зависит замедление поверхностной волны от глубины канавки ребристой структуры?
18. Что называется коэффициентом замедления поверхностное волны, и от каких параметров зависит его величина?
19. Каково распределение амплитуды поля вдоль диэлектрической пластины и в направлении, перпендикулярном к ней?
20. От чего зависит характер распределения поля вдоль плоской ребристой структуры и в направлении, перпендикулярном к ней?
21. Каково назначение экранов СВЧ?
22. Какие типы экранов СВЧ Вы знаете?
23. Какими параметрами характеризуются электромагнитные экраны СВЧ?
24. Объясните принцип действия однослойных и многослойных диэлектрических экранов, сетчатых и перфорированных экранов.
25. Какие параметры диэлектрических, сетчатых, перфорированных экранов влияют на их эффективность?
26. Объясните принцип действия лабораторного макета для исследования экранов СВЧ.
27. Объясните, что такое объемный резонатор?

28. Что такое волномер?
29. На какие группы можно разделить измерители частоты по методам измерения?
30. Каким образом изменяется собственная частота перестраиваемого резонатора?
31. Какие виды резонаторов используются для изготовления волномеров в сантиметровом диапазоне волн?
32. Какие типы волн круглого волновода целесообразно использовать в резонаторах? Какова их структура?
33. Каковы особенности волн H_{11} и H_{01} типов?
34. Из каких условий выбираются габаритные размеры резонатора?
35. Как определяется собственная добротность резонатора?
36. Как связаны добротность резонатора и ширина его частотной характеристики на уровне половинной мощности?
37. Какие элементы связи с резонатором используются в волномере? Как они ориентируются относительно линий электрического и магнитного полей?
38. Из каких составных частей складывается погрешность измерений при помощи волномеров?
39. Какова методика исследования спектральных характеристик СВЧ колебаний?
40. Какова методика измерения частоты СВЧ колебаний гетеродинным методом?
41. Какой физический смысл эквивалентного сопротивления линии передачи?
42. Что такое волновое сопротивление линии, коэффициент отражения, коэффициенты бегущей и стоячей волны?
43. Что называется эквивалентным нормированным сопротивлением линии передачи и как оно может быть вычислено?
44. Каков физический смысл узла и пучности электромагнитного поля и чему равно сопротивление линии передачи в этих местах?
45. Каково назначение круговой диаграммы полных сопротивлений и проводимостей?
46. Какова методика определения эквивалентного сопротивления линии передачи?

Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену

7 семестр

Вопросы для проведения промежуточной аттестации

1. Общий подход к проектированию СВЧ устройств.
2. Нерегулярность реальных волноводов. Реактивные элементы.
3. Волновые матрицы передачи и рассеяния для пассивных многополюсников.
4. Условия реактивности, взаимности, симметрии и асимметрии в четырехполюсниках СВЧ.
5. Соединители волноводных трактов.
6. Изгибы и скрутки.
7. Короткозамкнутые поршни.
8. Общие вопросы компоновки СВЧ трактов и их защита от внешних воздействий.
9. Согласование в СВЧ трактах.
10. Согласующие устройства СВЧ.
11. Переходные устройства СВЧ.
12. Волноводные нагрузки.
13. Волноводные аттенюаторы.
14. Волноводные фазовращатели.
15. Волноводные разветвители.
16. Направленные ответвители.
17. Мостовые соединения. Двойной волноводный тройник.
18. Кольцевые и щелевые мосты.

19. Ферритовые устройства СВЧ.
20. Делители и сумматоры мощности.
21. Волноводные фильтры СВЧ.
22. Детекторы СВЧ.
23. Смесители СВЧ.
24. Антенные переключатели СВЧ.
25. Резонансные разрядники.
26. Выключатели и ограничители
27. Задачи и основные принципы миниатюризации устройств СВЧ
28. Принципы проектирования миниатюрных СВЧ элементов и узлов.
29. Основные конструкции миниатюрных функциональных узлов СВЧ.
30. Модульный принцип проектирования конструкций СВЧ микросхем.
31. Корпуса микросхем СВЧ.
32. Подложки СВЧ микросхем.
33. Проводниковые материалы микросхем СВЧ.
34. Герметизация СВЧ модулей.
35. Классификация и принципы действия электровакуумных приборов СВЧ.
36. Пролетные клистроны.
37. Отражательные клистроны.
38. Лампы бегущей волны.
39. Лампы обратной волны.
40. Многорезонаторные магнетроны.
41. Полупроводниковые приборы СВЧ.
42. Основные параметры и характеристики антенн СВЧ.
43. Основные конструкции антенн СВЧ и особенности их проектирования.
44. Автоматизация проектирования СВЧ устройств.

Примеры задач для проведения промежуточной аттестации

7 семестр

№1. Коаксиальный фидер имеет следующие размеры: диаметр внутреннего проводника равен 2 мм, внутренний диаметр внешнего проводника — 9 мм. Относительная диэлектрическая проницаемость изолятора $\epsilon = 2,5$. Определить волновое сопротивление и фазовую скорость волны, распространяющейся в фидере.

№2. Линия передачи без потерь с волновым сопротивлением $z_в = 100$ Ом нагружена чисто активным сопротивлением. Рассчитать величину этого сопротивления, если известно, что коэффициент бегущей волны равен 0,25, а максимум напряжения приходится на нагрузку.

№3. Линия передачи с волновым сопротивлением 75 Ом нагружена на сопротивление $z_н = (30 + i 45)$ Ом. Определить модуль и фазу коэффициента отражения от нагрузки. Какой коэффициент стоячей волны устанавливается в линии?

№4. Линия передачи, имеющая волновое сопротивление 50 Ом, нагружена на конденсатор емкостью 25 пФ. Частота электромагнитных колебаний равна 300 МГц. Какое расстояние отделяет нагрузку от ближайшего узла стоячей волны?

№5. Разомкнутый на конце отрезок двухпроводной линии передачи с волновым сопротивлением 450 Ом питается от источника гармонического напряжения с амплитудой 180 В и частотой 60 МГц. Длина отрезка равна 3,2 м. Определить амплитуду напряжения на конце линии и амплитуду тока, протекающего через источник.

- №6.** Линия передачи, имеющая волновое сопротивление 50 Ом, нагружена на индуктивность величиной 25 нГн. Частота электромагнитных колебаний равна 300 МГц. Какое расстояние отделяет нагрузку от ближайшего узла стоячей волны?
- №7.** Каков коэффициент отражения по мощности от стыка двух коаксиальных линий передачи с волновым сопротивлением 50 Ом и 75 Ом? Введите понятие коэффициента полезного действия системы и определите его численное значение для данного случая.
- №8.** Произвести расчет коаксиальной линии с воздушным диэлектриком, зная, что ее волновое сопротивление равно 50 Ом, а пробивное напряжение — 50000 В.
- №9.** Медная коаксиальная линия передачи с воздушным диэлектриком имеет следующие поперечные размеры: $D = 7$ мм $d = 2$ мм. Определить длину волны, на которой погонное затухание линии будет равно 0,043 дБ/м.
- №10.** Определить минимальные размеры поперечного сечения полого прямоугольного волновода, предназначенного для передачи электромагнитных колебаний мощностью равной 1000 кВт с частотой 8570 МГц в согласованную нагрузку.
- №11.** Начертите наиболее простую схему возбуждения волны типа H_{01} в круглом волноводе. Определить минимальный относительный диаметр волновода, при котором вдоль последнего еще возможно распространение волны типа H_{01} .
- №12.** Какой тип волны следует возбудить в круглом волноводе, работающем на частоте 30 ГГц, чтобы его диаметр был минимально возможным? Каков будет диаметр такого волновода?
- №13.** Вычислить резонансную частоту и собственную добротность прямоугольного медного резонатора при $a = l = 20$ мм, $b = 10$ мм для колебаний типа H_{101} . Шероховатость стенок учитывается множителем $K_{ш} = 1,2$.
- №14.** Вдоль разомкнутой на конце линии без потерь с волновым сопротивлением 600 Ом распространяется электромагнитная волна длиной 50 м. Длина линии — 210 м, а амплитуда напряжения на ее конце равна 500 В. Рассчитать амплитуды напряжения и тока на входе линии, а также входное сопротивление линии.
- №15.** Линия без потерь длиной 57 м с волновым сопротивлением 200 Ом используется в качестве фидера, работающего на волне 20 м. Нагрузкой фидера является антенна, входное сопротивление которой равно $(100+i50)$ Ом. Определить коэффициент бегущей волны и входное сопротивление фидера.
- №16.** Разомкнутая линия без потерь с волновым сопротивлением 200 Ом имеет относительную длину $l/\lambda = 2,35$. Определить с помощью круговой диаграммы входное сопротивление и входную проводимость линии.
- №17.** Линия без потерь с волновым сопротивлением 600 Ом работает на волне 73 м. Длина линии — 500 м, сопротивление нагрузки равно $(300+i150)$ Ом. Определить с помощью круговой диаграммы коэффициент бегущей волны, входное сопротивление и входную проводимость линии.
- №18.** Каково будет волновое сопротивление коаксиальной линии с воздушным заполнением, если диаметр ее внутреннего проводника равен 1,37 мм, а внутренний диаметр внешнего проводника — 4,8 мм? Какова будет наивысшая частота, при которой в линии будет распространяться только волна основного типа?
- №19.** Цилиндрический объемный резонатор имеет идеально проводящие стенки и воздушное заполнение. Измерения показали, что колебания типа E_{010} имеют резонансную частоту 3,5 ГГц, а колебания типа H_{111} — резонансную частоту 5,8 ГГц. Определите радиус резонатора и его длину.

Примеры заданий для проведения промежуточной аттестации

7 семестр

- №1. Расчет одного из микроволновых согласующих устройств: штыря, диафрагмы, шлейфа.
- №2. Расчет одного из миниатюрных элементов микроволновых устройств: индуктивностей, емкостей, резисторов.
- №3. Расчет одного из полосковых фильтров СВЧ.
- №4. Расчет одного из полосковых направленных ответвителей СВЧ.
- №5. Расчет одного из полосковых переключателей.
- №6. Расчет полоскового кольцевого моста.
- №7. Расчет линзовой антенны.
- №8. Расчет зеркальной параболической антенны.
- №9. Расчет директорной антенны.
- №10. Расчет стержневой диэлектрической антенны.
- №11. Расчет спиральной антенны.
- №12. Расчет волноводно-щелевой антенны.
- №13. Расчет производственных допусков одного из микроволновых устройств.
- №14. Расчет производственных допусков одного из типов антенн.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств»

6 семестр

а) основная литература:

1. Якимов, А.Н. Техническая электродинамика: учебник для вузов / А.Н. Якимов. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2014. – 299 с., 21 экз.
2. Фальковский, О.И. Техническая электродинамика: учебник/ О.И. Фальковский. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 432 с., 16 экз.
3. Нефедов, Е.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: учеб. пособие/ Е.И. Нефедов. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с. 80 экз.
4. Конструирование экранов и СВЧ-устройств/ Под ред. А. М. Чернушенко — М.: Радио и связь, 1990. — 352 с., 78 экз.
5. Муромцев Д.Ю. Электродинамика и распространение радиоволн / Д.Ю. Муромцев, Ю.Т. Зырянов, П.А. Федюнин, О.А. Белоусов, А.В. Рябов, Е.В. Головченко: Учебное пособие – 2-е изд., доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014., Электронно-библиотечная система издательства «Лань» – <http://e.lanbook.com/books/>.

б) дополнительная литература:

6. Якимов, А.Н. Техническая электродинамика. Дискретное представление непрерывных излучающих систем: Учеб. пособие для вузов / А.Н. Якимов. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 84 с., 50 экз.
7. Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны: метод. указ / Пенз. гос. ун-т ; сост. Н. А. Уфельман, П. П. Першенков. - Пенза : Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2009. - 60 с.,

8. *Нефёдов, Е.И.* Техническая электродинамика: учебное пособие / Е. И. Нефёдов. - М. : Академия, 2008. - 416 с. : ил., 10 экз.

9. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник /Г.А. Ерохин и д.р. под ред. Г.А. Ерохина – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 491с., 13экз.

10. *Баскаков С.И.* Электродинамика и распространение радиоволн / С.И. Баскаков – М.: Высш. шк., 1992. –416 с., 96 экз.

11. *Якимов А.Н.* Электродинамические основы конструирования СВЧ устройств и экранов: Конспект лекций/А.Н. Якимов. — Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1990. — 56 с., 70 экз.

12. *Никольский В.В.* Электродинамика и распространение радиоволн/ В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, 1989. – 544 с., 118 экз.

13. *Семенов Н.А.* Техническая электродинамика/ Н.А. Семенов. – М.: Связь, 1973. – 480 с., 48 экз.

14. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи с распределенными параметрами. — М.: Высш. шк., 1980. — 152 с., 50 экз.

15. *Минкин, М.А.* Расчет параметров фидерных устройств на основе линий с Т- волнами с использованием методов электростатического анализа : учебное пособие / М. А. Минкин, В. В. Юдин. - М. : Радио и связь, 2005. - 128 с., 14 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» – <http://e.lanbook.com/>

2. Единое окно доступа к информационным ресурсам: <http://window.edu.ru/>

3. Большая электронная онлайн библиотека. – <http://review3d.ru>.

4. Электронная библиотека книг. – <http://www.kodges.ru/tehnika/electro>.

г) методические материалы по проведению лабораторных и практических занятий:

1. Исследование электромагнитных полей волноводного СВЧ тракта: Методические указания к лабораторным работам/ Сост. А. Н. Якимов, А. Г. Царев. – Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1988. – 28 с.

2. Исследования электромагнитных колебаний СВЧ: Методические указания к лабораторным работам/ Сост. А. Н. Якимов, А. Г. Царев. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – 40 с.

7 семестр

а) основная литература:

1. Конструирование экранов и СВЧ-устройств/ Под ред. А. М. Чернушенко — М.: Радио и связь, 1990. — 352 с., 78 экз.

2. Нефёдов, Е.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: учеб. пособие/ Е.И. Нефёдов. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с. 80 экз.

3. *Андреев, П.Г.* Проектирование широкополосных дециметровых антенн: Учеб. пособие с грифом УМО/ П.Г. Андреев, Н.К. Юрков, А.Н. Якимов. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-

б) дополнительная литература:

4. Воскресенский, Д.И. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для вузов/ Д.И. Воскресенский, В.И. Гостюхин, В.М. Максимов, Л.И. Пономарев. Под ред. Д.И. Воскресенского. — М.: Радиотехника, 2006. — 376 с., 10 экз.

5. Сборник задач по курсу "Электродинамика и распространение радиоволн"/ Под ред. С. И. Баскакова. — М.: Высш. шк., 1981 — 208 с., 48 экз.

6. *Говорков В.А.* Теория электромагнитного поля в упражнениях и задачах/ В.А. Говорков, С.Д. Купалян. — М.: Высш. шк., 1970. — 304 с., 35 экз.

7. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Д.И. Воскресенского. — М.: Радио и связь, 1994. — 592 с., 10 экз.

8. *Сазонов, Д.М.* Антенны и устройства СВЧ/ Д.М. Сазонов. — М.: Высш. шк., 1988. — 432 с., 30 экз.

9. *Березин, В.М.* Электронные приборы СВЧ/ В.М. Березин, В.С. Бурак, Э.М. Гутцайт, В.П. Марин. — М.: Высш. шк., 1985. — 296 с., 42 экз.

10. Конструирование и расчет полосковых устройств/ Под ред. И.С. Ковалева. — М.: Сов. радио, 1974. — 296 с., 7 экз.

11. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств/ Под ред. В.И. Вольмана. — М.: Радио и связь, 1982. — 328 с., 7 экз.

12. *Жук, М.С.* Проектирование антенно-фидерных устройств/ М.С. Жук, Ю.Б. Молочков. — М.-Л: Энергия, 1966. — 431 с., 9 экз.

13. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств/ Под ред. В. И. Вольмана. — М.: Радио и связь, 1982. — 328 с., 7 экз.

14. *Андрушко, Л.М.* Электронные и квантовые приборы СВЧ/ Л.М. Андрушко, Н.Д. Федоров. — М.: Радио и связь, 1981. — 208 с., 13 экз.

15. *Лебедев, И.В.* Техника и приборы СВЧ. В 2-х томах/ И.В. Лебедев. — М.: Высш. шк., 1970, 1972. — 440 с., 376 с. 42, 12 экз.

16. *Малорацкий, Л.Г.* Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях/ Л.Г. Малорацкий, Л.Р. Явич. — М.: Сов. радио, 1972. — 232 с., 10 экз.

17. *Воробьев, Е.А.* Расчет производственных допусков устройств СВЧ/ Е.А. Воробьев. — Л: Судостроение, 1980. — 130 с., 48 экз.

18 *Якимов, А.Н.* Основы проектирования антенн СВЧ: Учебное пособие/ А.Н.Якимов. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1999. — 92 с., 50 экз.

19. *Якимов, А.Н.* Проектирование микроволновых антенн с учетом внешних воздействий: Монография/ А.Н. Якимов. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. — 260 с., 44 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» — <http://e.lanbook.com/>

2. Единое окно доступа к информационным ресурсам: <http://window.edu.ru/>

3. Большая электронная онлайн библиотека. — <http://review3d.ru>.

4. Электронная библиотека книг. — <http://www.kodges.ru/tehnika/electro>.

г) методические материалы по проведению лабораторных и практических занятий:

1. Устройства СВЧ: Методические указания к лабораторным работам/ Сост. А.Н. Якимов, П.Г. Андреев. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 32 с.

2. Исследование конструкций электронных приборов и антенн СВЧ: Методические указания к лабораторным работам/ Сост. А.Н. Якимов, А.Г. Царев. – Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1989. – 36 с.

3. Расчет устройств СВЧ: Методические указания к практическим занятиям по курсу "Техническая электродинамика и устройства СВЧ" (Задачи)/ Сост. А. Н. Якимов. — Пенза: Пенз. политехн. ин - т, 1992. — 32 с.

4. Проектирование устройств СВЧ: Методические указания к курсовому проектированию/ Сост. А.Н. Якимов, А.Г. Царев. — Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1991. — 29 с.

5. Якимов А.Н. Проектирование моноимпульсных антенн с применением ЭВМ/ А.Н. Якимов, Е.Д. Абросимов: Учебное пособие. — Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1987. — 32 с.

6. Проектирование антенн СВЧ с использованием ЭВМ: Методические указания к курсовому проектированию/ Сост. Е.Д. Абросимов, А.В. Светлов, А.Н. Якимов. — Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1988. — 20 с.

7. Автоматизированное проектирование линейных антенных решеток: Методические указания/ Сост. А.Н. Якимов, Н.Г. Федотов. — Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1991. — 31 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

«Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств»

При проведении лекционных, лабораторных и практических занятий используются современные технические средства (проекторы, персональные компьютеры, лабораторное оборудование):

- технические средства специализированной лаборатории (кафедра КиПРА, ауд. 3-309);
- вычислительная техника компьютерного класса (кафедра КиПРА, а. 3-313).

Рабочая программа дисциплины «Техническая электродинамика и проектирование микроволновых устройств» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ОПОП по направлению подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Программу составили:

1. Доцент каф. КиПРА,
к.т.н., доцент



(подпись) Андреев П. Г.


Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.

Программа одобрена на заседании кафедры КиПРА.

Протокол № 3

от «21» марта 2016 года

Зав. кафедрой КиПРА,
д.т.н., профессор



(подпись) Юрков Н.К.

Программа одобрена методической комиссией ФПИТЭ

Протокол № 6

от «25» марта 2016 года

Председатель методической комиссии ФПИТЭ,



(подпись) Задера А.В.

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год
и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата, подпись зав. кафедрой)	Внесенные изменения	Номера листов (страниц)		
			заменен- ных	новых	аннули- рован- ных
2017/18					

Примечание — Тексты изменений прилагаются.