

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кубанский государственный университет»  
Факультет физико-технический

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

Хагуров Т.А.

подпись

« 31 » \_\_\_\_\_

2019 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.О.20 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль): Нанотехнологии в электронике

Программа подготовки академическая

Форма обучения очная

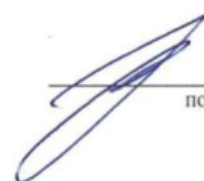
Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Краснодар 2019

Рабочая программа дисциплины Б1.О.20 «Электромагнитные поля и волны» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Направленность «Нанотехнологии в электронике» (академический бакалавриат)

Программу составил:

Г.Ф.Копытов, профессор, доктор ф.-м. наук



\_\_\_\_\_

подпись

Рабочая программа дисциплины «Электромагнитные поля и волны» утверждена на заседании кафедры радиофизики и нанотехнологий протокол № 7 «14» мая 2019г.

Заведующий кафедрой (разработчик) Копытов Г.Ф.



\_\_\_\_\_

подпись

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры (выпускающей) радиофизики и нанотехнологий протокол № 7 «14» мая 2019г.

Заведующий кафедрой (разработчика) Копытов Г.Ф.




\_\_\_\_\_

подпись

Рабочая программа утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета протокол № 11 «21» мая 2019г.

Председатель УМК факультета Богатов Н.М.



\_\_\_\_\_

подпись

Рецензент:

Ю.С. Медведев, доктор тех. наук, профессор, заведующий 103 кафедрой математики и информатики Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков им. Героя Советского Союза А.К. Серова

## **1. Цели и задачи изучения дисциплины (модуля).**

### **1.1 Цель дисциплины.**

Учебная дисциплина «Электромагнитные поля и волны» ставит своей целью изучение студентами основ теории электромагнитного поля, формирование знаний и навыков расчета электромагнитного поля в различных средах и параметров распространяющихся волн, законов отражения и преломления волн на границе сред, изучение методов анализа и расчета параметров линий передачи СВЧ, резонаторов и фильтров, знакомство с аналитическими и компьютерными технологиями расчета элементов высокочастотных трактов средств связи; овладение знаниями в области СВЧ электроники, изучение и применение методов исследования в области сверхвысокочастотной электроники и квазиоптики, а так же ознакомление и приобретение навыков работы с электронными телекоммуникационными СВЧ приборами.

### **1.2 Задачи дисциплины.**

Основной задачей дисциплины является формирование у студентов навыков, знаний и умений, позволяющих проводить самостоятельный анализ физических процессов, происходящих в различных направляющих системах и устройствах сверхвысоких частот в однородных и неоднородных средах, понимать сущность электромагнитной совместимости.

### **1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.**

Дисциплина «Электромагнитные поля и волны» относится к вариативной части Блока Б1.О.20 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Изучение дисциплины базируется на физико-математической подготовке студентов, которую они получают при изучении математики - разделы: векторный анализ, дифференциальные операторы, дифференциальные уравнения первого и второго порядка, контурные, поверхностные и объемные интегралы, комплексные числа и функции и действия над ними, матрицы и действия над ними, а также раздела физики - электромагнитные явления.

Данная дисциплина является первой, в которой студенты изучают вопросы практического применения теории электромагнитного поля. Она находится на стыке дисциплин, обеспечивающих базовую и специальную подготовку студентов. Изучая эту дисциплину, студенты впервые знакомятся со структурой электромагнитного поля, возникающего в различных средах и направляющих системах. Приобретенные студентами знания и навыки необходимы как для грамотной эксплуатации телекоммуникационной аппаратуры, так и для разработки широкого класса устройств, связанных с передачей и приемом сигналов.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты должны получить знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и обеспечивающие базовую подготовку для усвоения ряда последующих дисциплин: «Схемотехника телекоммуникационных

устройств», «Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях», «Сети связи и системы коммутации», «Структурированные кабельные системы».

**1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся общекультурных/профессиональных компетенций (ОК/ПК).

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ОПК-3	Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	основные уравнения, описывающие электромагнитное поле и энергетические соотношения в нем; общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи	анализировать структуру электромагнитного поля, созданного элементарными излучателями; понимать физические процессы, происходящие на границе раздела сред, определять углы преломления и отражения плоских волн; анализировать структуру электромагнитного поля в различных линиях передачи, включая полевые и диэлектрические волноводы, коаксиальные, двухпроводные и оптоволоконные линии, выбирать оптимальный для конкретной ситуации тип линий передачи и рассчитывать их технические характеристики	навыками практической работы с современной измерительной аппаратурой
2.	ПК-9	Готовность организовывать метрологическое	Знать основные математические модели	Уметь анализировать структуру	Владеть практическими навыками

№ п.п.	Индекс компет енции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			<b>знать</b>	<b>уметь</b>	<b>владеть</b>
		обеспечение производства материалов и изделий электронной техники	электромагнитн ых волновых процессов, а также модели сред, условия распространения и возбуждения волн; Знать методы анализа и расчета простейших структур для излучения электромагнитн ых волн, основных типов волноводов и резонаторов	электромагнитно го поля плоских волн, распространяющ ихся в различных средах и линиях передачи;  Уметь анализировать волновые процессы в нерегулярных линиях передачи, знать принципы работы элементов линий передачи; уметь проводить расчеты избирательных свойств объемных резонаторов	измерения комплексных S-параметров линейных одно- и двухпортовых устройств, различных характеристик нелинейных цепей, на современном метрологическ ом оборудовании

## 2. Структура и содержание дисциплины.

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зач.ед. (216 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице (для студентов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		5	—		
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54			
В том числе:					
Занятия лекционного типа	18	18			
Занятия семинарского типа (практические занятия)	18	18			
Занятия семинарского типа (лабораторные работы)	18	18			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	98	98			
В том числе:					
Проработка учебного (теоретического) материала	40	40			
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	38	38			
Подготовка к текущему контролю	20	20			

<b>КСР</b>		10	10			
Контроль		54	54			
Вид промежуточной аттестации - экзамен		5	5			
Общая трудоемкость	час	216	216			
	зач. ед.	6	6			

## 2.2. Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые в 5 семестре (для студентов ОФО)

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	СРС
1	2	3	4	5	6	7
1.	Введение		2			6
2.	Основные уравнения электромагнитного поля		2	2		8
3.	Граничные условия электродинамики			2		6
4.	Уравнения электродинамики для монохроматического поля		2			6
5.	Плоские электромагнитные волны		2	2		8
6.	Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред		2	2	4	6
7.	Общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи		2	2	4	8
8.	Полые металлические волноводы			2	4	8
9.	Линии передачи с Т волнами				4	8
10.	Математическая модель линии передачи		2	2	2	8
11.	Применение матриц для анализа СВЧ устройств			2		6
12.	Элементы линий передачи					6
13.	Объемные резонаторы		2	2		6
14.	Излучение электромагнитных волн		2			8
	<i>Итого по дисциплине:</i>	216	18	18	18	98

## 2.3. Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1. Занятия лекционного типа.

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Введение	Предмет и содержание курса. Краткий исторический обзор развития учения об	

		<p>электромагнетизме. Роль русских учёных в развитии теории электромагнитных полей и волн. Электромагнитное поле как одна из форм материи. Макроскопические и квантовые свойства поля. Предмет классической электродинамики.</p> <p>Электромагнитные поля и современная радиотехника, роль теории электромагнитных полей и волн в развитии науки, систем связи и вещания и телекоммуникаций.</p>	
2.	Основные уравнения электромагнитного поля	<p>Основные уравнения электромагнитного поля - уравнения Максвелла. Векторы электромагнитного поля. Макроскопические параметры материальных сред. Классификация и виды сред. Скалярные и тензорные параметры сред. Материальные уравнения.</p> <p>Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Уравнение непрерывности и закон сохранения заряда.</p> <p>Сторонние источники. Полная система уравнений Максвелла с учётом сторонних источников. Принцип перестановочной двойственности. Плотность электромагнитной энергии и энергия, сосредоточенная в объеме. Плотность мощности и мощность тепловых потерь и сторонних источников. Уравнение баланса для мгновенных значений мощности в дифференциальной и интегральной форме (теорема Пойтинга). Физическая трактовка. Мощность, выходящая (входящая) из объема через замкнутую поверхность. Мощность излучения. Вектор Пойтинга.</p>	
3.	Граничные условия электродинамики	<p>Поведение векторов на границе раздела двух сред. Граничные условия для нормальных и касательных составляющих векторов электромагнитного поля.</p> <p>Граничные условия на поверхности идеального проводника.</p>	
4.	Уравнения электродинамики для монохроматического поля	<p>Классификация электромагнитных явлений по их зависимости от времени. Статические, стационарные и квазистационарные поля. Гармонические колебания. Роль гармонических колебаний в теории и технике телекоммуникационных систем и радиотехнике.</p> <p>Метод комплексных амплитуд. Система уравнений Максвелла для монохроматического поля в комплексной форме. Комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды. Факторы,</p>	

		<p>влияющие на величину мнимой части комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости. Диэлектрические и магнитные потери. Средние за период значения энергетических характеристик гармонического электромагнитного поля.</p> <p>Теорема Умова-Пойнтинга для комплексных мощностей. Комплексный вектор Пойнтинга. Уравнения баланса для активных и реактивных мощностей.</p> <p>Физическая трактовка. Условие резонанса для изолированной области.</p>	
5.	Плоские электромагнитные волны	<p>Плоская волна как предельный случай сферической волны. Решение системы уравнений Максвелла для плоской однородной волны. Свойства плоской волны. Структура поля, Взаимная ориентация векторов поля, коэффициент фазы, фазовая скорость, скорость распространения энергии, характеристическое сопротивление. Плоские однородные волны в однородной изотропной среде без потерь. Плоская однородная волна в однородной среде с потерями. Свойства волн. Коэффициенты фазы и ослабления, фазовая скорость и длина волны в средах с малыми и большими тангенсами угла потерь. Дисперсионные свойства поглощающей среды.</p> <p>Поляризация волн. Линейно поляризованные волны. Волны с круговой и эллиптической поляризацией. Плоские однородные волны в однородной анизотропной среде. Намагниченный феррит. Гиротропная среда как частный случай анизотропной среды. Частота собственной и вынужденной прецессии. Тензор магнитной проницаемости намагниченного феррита. Разложение линейно поляризованной волны на две волны круговой поляризации. Особенности распространения волн круговой поляризации левого и правого вращения в гиротропной среде. Магнитная проницаемость для волн круговой поляризации левого и правого вращения. Эффект Фарадея. Использование эффекта Фарадея в технике СВЧ.</p>	Контрольная работа
6.	Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред	<p>Связь углов падения, отражения и преломления с электродинамическими параметрами сред. Первый и второй законы Снеллиуса. Представление произвольно поляризованной волны как суперпозиции</p>	защита лабораторной работы (ЛР)



		<p>нормально и параллельно поляризованных волн.</p> <p>Падение нормально поляризованной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Законы отражения и преломления. Коэффициенты отражения и прохождения (формулы Френеля). Падение параллельно поляризованной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Явление полного прохождения, угол Брюстера. Явление полного отражения от границы раздела двух диэлектрических сред.</p> <p>Условия возникновения полного отражения, структура поля над и под границей раздела, поверхности равных фаз и равных амплитуд, фазовая скорость, длина волны, скорость переноса энергии.</p> <p>Понятие поверхностной волны. Отражение от идеально проводящей поверхности; структура поля.</p> <p>Падение плоской волны на границу раздела диэлектрика и поглощающей среды. Неоднородная плоская волна в поглощающей среде. Определение действительного угла преломления. Проникновение поля в проводник, поверхностный эффект, глубина проникновения. Понятие поверхностного импеданса. Приближённые граничные условия Леонтовича, условия их применимости. Расчет потерь энергии в проводниках с помощью граничных условий Леонтовича.</p> <p>Прохождение плоской волны через пластину. Понятие экрана для электромагнитного поля. Тонкие и толстые экраны. Многослойные экраны.</p>	
7.	Общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи	<p>Направляемые электромагнитные волны. Понятие о линиях передачи. Типы регулярных линий передачи. Классификация направляемых волн: волны Т, Е, Н, гибридные волны.</p> <p>Решение уравнений Гельмгольца для направляемых волн. Связь поперечных составляющих векторов поля с продольными. Постоянная распространения, критическая частота (критическая длина волны), длина волны в линии передачи, фазовая скорость, характеристическое сопротивление. Общие свойства волн типа Т, Е, и Н. Скорость распространения энергии. Дисперсия.</p> <p>Понятие об одноволновом и</p>	защита лабораторной работы (ЛР)

		многоволновом режимах работы. Мощность, переносимая электромагнитной волной в линии передачи. Затухание волн в регулярных линиях.	
8.	Полые металлические волноводы	<p>Прямоугольные волноводы. Волны типа E и H. Структура поля. Основная волна прямоугольного волновода. Выбор размеров для одноволнового режима работы. Токи на стенках волновода при волне основного типа. Коэффициент ослабления. Электрическая и тепловая прочность.</p> <p>Многоволновые режимы работы; фильтрация высших типов волн. Область применения прямоугольных волноводов.</p> <p>Круглые волноводы. Структура поля волн типа E и H. Волна основного типа и ее характеристики. Выбор поперечных размеров для одноволнового режима работы.</p> <p>Многоволновые волноводы; способы фильтрации высших типов волн. Область применения круглых волноводов.</p> <p>Волноводы специальной формы.</p> <p>Волноводы П- и Н-образной формы.</p>	защита лабораторной работы (ЛР)
9.	Линии передачи с Т волнами	<p>Коаксиальный волновод. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление, переносимая мощность. Структура токов на внешнем и внутреннем проводниках.</p> <p>Ослабление волн типа Т при распространении, коэффициент ослабления. Высшие типы волн. Условие одно-волнового режима работы. Электрическая и тепловая прочность.</p> <p>Критерии выбора волнового сопротивления. Гофрированные коаксиальные волноводы. Область применения коаксиальных волноводов.</p> <p>Симметричная двухпроводная линия передачи. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление. Распределение токов по сечению проводников. Выбор размеров поперечного сечения линии. Коэффициент ослабления. Электрическая и тепловая прочность. Экранированные двухпроводные линии. Линии типа "витая пара". Область применения двухпроводных линий.</p> <p>Полосковые линии передачи и их разновидности. Симметричные и несимметричные полосковые линии. Структура поля основной волны типа Т. Основные характеристики полосковых линий. Волновое сопротивление. Выбор</p>	защита лабораторной работы (ЛР)

		<p>размеров поперечного сечения. Микрополосковые линии. Щелевая и копланарная полосковые линии: структура поля основной волны квази-Т типа. Электрическая и тепловая прочность полосковых линий. Область применения полосковых линий.</p>	
10.	Математическая модель линии передачи	<p>Регулярная линия передачи. Падающие и отраженные волны. Ортогональность распространяющихся падающей и отраженной волн. Нормированное напряжение и ток в линии передачи. Входное сопротивление отрезка линии передачи с нагрузкой. Режимы работы линии. Коэффициент отражения, коэффициент бегущей (стоячей) волны. Условие согласования линии с нагрузкой. Влияние отражения от нагрузки на КПД линии передачи. Круговая номограмма Вольперта-Смитта. Методы узкополосного согласования. Четвертьволновый трансформатор сопротивлений. Шлейфное согласование. Методы широкополосного согласования.</p>	защита лабораторной работы (ЛР)
11.	Применение матриц для анализа СВЧ устройств	<p>Волновые матрицы рассеяния и передачи. Физический смысл элементов матрицы рассеяния. Зависимость элементов матрицы рассеяния от выбора плоскостей отсчета. Коэффициент отражения на входе нагруженного четырехполюсника. Каскадное соединение четырехполюсников. Матрицы рассеяния простейших четырехполюсников. Применение волновых матриц для компьютерного анализа устройств СВЧ. Метод декомпозиции.</p>	
12.	Элементы линий передачи	<p>Возбуждение электромагнитных волн в линиях передачи. Возбудители типов волн. Сочленения и изгибы линий передачи. Трансформаторы типов волн. Фильтры типов волн. Короткозамкнутые поршни, согласованные нагрузки. Разветвление линий передачи. Конструктивные неоднородности: диафрагмы, реактивные штыри, шлейфы, стыки линий с разными поперечными размерами. Управление амплитудой, фазой и поляризацией электромагнитных волн в линиях передачи. Атенюаторы, фазовращатели, поляризаторы. Направленные ответвители. Двойной волноводный тройник.</p>	
13.	Объемные резонаторы	<p>Квазистационарные резонаторы. Резонансная частота и добротность.</p>	

		<p>Резонатор как отрезок линии передачи. Классификация типов колебаний в объемных резонаторах. Свободные (собственные) колебания объёмных резонаторов. Резонансная частота, собственная (ненагруженная) добротность. Вынужденные колебания резонаторов, связанных с источником энергии и нагрузкой. Внешняя добротность. Полная (нагруженная) добротность резонаторов. Прямоугольные и цилиндрические резонаторы. Коаксиальные и полосковые резонаторы. Открытые резонаторы. Диэлектрические резонаторы. Возбуждение волн в резонаторах. Проходные резонаторы. Фильтры СВЧ.</p>	
14.	Излучение электромагнитных волн	<p>Неоднородные волновые уравнения для векторов гармонических электромагнитных полей. Скалярный и векторный электродинамические потенциалы гармонических полей. Электромагнитное поле произвольного источника. Элементарный электрический излучатель. Определение векторов электромагнитного поля, создаваемого элементарным электрическим излучателем в однородной неограниченной изотропной среде. Анализ структуры поля. Особенности поля в ближней зоне. Поле излучателя в дальней зоне: ориентация векторов электромагнитного поля, фронт волны, фазовая скорость, характеристическое сопротивление. Диаграмма направленности элементарного электрического излучателя, коэффициент направленного действия (КНД). Излучаемая мощность и сопротивление излучения. Элементарный магнитный излучатель. Использование принципа двойственности для определения векторов электромагнитного поля, создаваемого элементарным магнитным излучателем в неограниченной однородной изотропной среде. Структура поля излучателя. Элементарная рамочная антенна как физические аналоги элементарного магнитного излучателя. Элемент Гюйгенса. Структура поля элемента Гюйгенса. Диаграмма направленности, КНД. Применение модели элемента Гюйгенса для анализа излучения апертурных антенн и задач дифракции</p>	

## 2.3.2 Занятия семинарского типа.

№	Наименование раздела	Тематика практических занятий (семинаров)	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Основные уравнения электромагнитного поля	<p>Основные уравнения электромагнитного поля - уравнения Максвелла. Векторы электромагнитного поля. Макроскопические параметры материальных сред. Классификация и виды сред. Скалярные и тензорные параметры сред. Материальные уравнения.</p> <p>Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Уравнение непрерывности и закон сохранения заряда. Сторонние источники. Полная система уравнений Максвелла с учётом сторонних источников. Плотность электромагнитной энергии и энергия, сосредоточенная в объеме. Плотность мощности и мощность тепловых потерь и сторонних источников. Уравнение баланса для мгновенных значений мощности в дифференциальной и интегральной форме (теорема Пойтинга). Физическая трактовка.</p>	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
2.	Граничные условия электродинамики	Поведение векторов на границе раздела двух сред. Граничные условия для нормальных и касательных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия на поверхности идеального проводника.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
3.	Плоские электромагнитные волны	<p>Плоская волна как предельный случай сферической волны. Решение системы уравнений Максвелла для плоской однородной волны. Свойства плоской волны. Структура поля, Взаимная ориентация векторов поля, коэффициент фазы, фазовая скорость, скорость распространения энергии, характеристическое сопротивление. Плоские однородные волны в однородной изотропной среде без потерь.</p> <p>Плоская однородная волна в однородной среде с потерями. Свойства волн. Дисперсионные свойства поглощающей среды.</p> <p>Поляризация волн. Линейно</p>	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания

		<p>поляризованные волны. Волны с круговой и эллиптической поляризацией.</p> <p>Плоские однородные волны в однородной анизотропной среде.</p>	
4.	<p>Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред</p>	<p>Связь углов падения, отражения и преломления с электродинамическими параметрами сред. Первый и второй законы Снелля. Представление произвольно поляризованной волны как суперпозиции нормально и параллельно поляризованных волн.</p> <p>Падение нормально поляризованной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Законы отражения и преломления.</p> <p>Коэффициенты отражения и прохождения (формулы Френеля).</p>	<p>Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания</p>
5.	<p>Общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи</p>	<p>Направляемые электромагнитные волны. Понятие о линиях передачи. Типы регулярных линий передачи. Классификация направляемых волн: волны Т, Е, Н, гибридные волны. Решение уравнений Гельмгольца для направляемых волн.</p>	<p>Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания</p>
6.	<p>Полые металлические волноводы</p>	<p>Прямоугольные волноводы. Волны типа Е и Н. Структура поля. Основная волна прямоугольного волновода. Выбор размеров для одноволнового режима работы. Токи на стенках волновода при волне основного типа. Коэффициент ослабления. Электрическая и тепловая прочность.</p>	<p>Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания</p>
7.	<p>Линии передачи с Т волнами</p>	<p>Коаксиальный волновод. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление, переносимая мощность. Структура токов на внешнем и внутреннем проводниках. Ослабление волн типа Т при распространении, коэффициент ослабления. Высшие типы волн. Условие одно- волнового режима работы. Электрическая и тепловая прочность. Критерии выбора волнового сопротивления. Гофрированные коаксиальные волноводы. Область применения коаксиальных волноводов. Симметричная двухпроводная линия передачи. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление. Распределение токов по сечению проводников. Выбор размеров поперечного сечения линии.</p>	<p>Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания</p>
8.	<p>Математическая</p>	<p>Регулярная линия передачи. Падающие</p>	<p>Проверочная</p>

	модель линии передачи	и отраженные волны. Ортогональность распространяющихся падающей и отраженной волн. Нормированное напряжение и ток в линии передачи. Входное сопротивление отрезка линии передачи с нагрузкой. Режимы работы линии. Коэффициент отражения, коэффициент бегущей (стоячей) волны.	контрольная работа, проверка домашнего задания
9.	Применение матриц для анализа СВЧ устройств	Волновые матрицы рассеяния и передачи. Физический смысл элементов матрицы рассеяния. Зависимость элементов матрицы рассеяния от выбора плоскостей отсчета. Коэффициент отражения на входе нагруженного четырехполюсника. Каскадное соединение четырехполюсников. Матрицы рассеяния простейших четырехполюсников. Применение волновых матриц для компьютерного анализа устройств СВЧ. Метод декомпозиции.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания

### 2.3.3 Лабораторные занятия.

№	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	3	4
1.	Исследование структуры поля собственных волн линий передачи СВЧ диапазона.	Отчет по лабораторной работе
2.	Исследование дисперсии и затухания в линиях передачи СВЧ диапазона основной волны $H_{10}$ прямоугольного волновода	Отчет по лабораторной работе
3.	Исследование объемных резонаторов на основе волновода круглого сечения с колебанием $H_{011}$	Отчет по лабораторной работе
4.	Экспериментальное исследование и проверка графического решения задачи согласования линии передачи с нагрузкой с помощью номограммы Вольперта-Смитта	Отчет по лабораторной работе
5.	Исследование поляризации электромагнитных волн	Отчет по лабораторной работе
6.	Эффект Фарадея в круглом волноводе	Отчет по лабораторной работе
7.	Исследование волноводных направленных ответвителей и мостовых устройств	Отчет по лабораторной работе
8.	Методы моделирования СВЧ устройств на компьютерах	Отчет по лабораторной работе
9.	Микрополосковая линия передачи, экспериментальное	Отчет по

	исследование волнового сопротивления и сравнение с рассчитанной моделью на компьютере	лабораторной работе
10.	Методы узкополосного согласования линии с нагрузкой (моделирование на компьютере)	Отчет по лабораторной работе
11.	Расчет полосового фильтра на полосковых линиях (моделируется на компьютере)	Отчет по лабораторной работе
12.	Аттестация параметров векторного анализатора цепей	Отчет по лабораторной работе

### 2.3.4. Примерная тематика курсовых работ (проектов).

1. Излучение заряженной частицы в поле амплитудно-модулированной волны.
2. Спектральные и поляризационные характеристики модулированной электромагнитной волны.
3. Катоды спиндта.
4. Свойства периодических волноводов.
5. Движение заряженной частицы в поле частотно-модулированной электромагнитной волны.

### 2.4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю).

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Проработка учебного (теоретического) материала	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электромагнитные поля и волны», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
2	Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электромагнитные поля и волны», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
3	Подготовка к текущему контролю	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электромагнитные поля и волны», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
4	Подготовка к практическим занятиям	Методические указания по решению задач по дисциплине «Электромагнитные поля и волны», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.



- Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
- в печатной форме;
  - в форме электронного документа.

### **3. Образовательные технологии.**

Для проведения всех лекционных занятий используются мультимедийные средства воспроизведения активного содержимого, позволяющего слушателю воспринимать особенности изучаемой профессии, зачастую играющие решающую роль в понимании и восприятии, а также формировании профессиональных компетенций.

Большая часть лекций и практические занятия проводятся с использованием доски и справочных материалов.

Часть лабораторных работ выполняется на бесплатном программном обеспечении GNL RFSimm99, MMANA, smithchart. Более 80% лабораторных работ проходит на военных образцах СВЧ оборудования в широком диапазоне частот (10МГц – 75ГГц).

### **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.**

#### **4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации.**

##### **Варианты контрольных работ.**

##### **Вариант 1.**

1. Электромагнитное поле как особый вид материи. Электрический заряд и электрический ток. Электрическое и магнитное поля как два проявления электромагнитного поля. Предмет изучения макроскопической электродинамики.

2. Теорема Гаусса для электростатического поля и постулат Максвелла. Третье уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл.

3. Граничные условия на поверхности идеального проводника.

4. Волны в диэлектрических средах. Параметры и дисперсионные свойства.

5. Параметры поперечных электромагнитных волн в линиях передачи. Условия существования. Поперечный коэффициент распространения. Фазовая и групповая скорости.

6. Круглый волновод. Конструкция. Постановка электродинамической задачи и ее особенности в случаях электрических и магнитных волн.

##### **Вариант 2.**

1. Основные характеристики электромагнитного поля. Пондеромоторные силы.

2. Четвертое уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл.

3. Монохроматическое электромагнитное поле. Метод комплексных амплитуд. Уравнения Максвелла для монохроматического поля. Комплексная диэлектрическая проницаемость среды. Диэлектрические потери.

4. Волны в проводящих средах. Глубина проникновения поля в материал.

5. Параметры электрических электромагнитных волн в линиях передачи. Условия существования. Поперечный коэффициент распространения. Фазовая и групповая скорости.

6. Структура поля и параметры основной волны круглого волновода.

##### **Вариант 3.**

1. Макроскопические параметры среды. Виды сред и их классификация по характеру взаимодействия с электромагнитным полем. Материальные уравнения.

2. Закон сохранения электрического заряда и уравнение непрерывности линий электрического тока. Закон Ома в дифференциальной форме.

3. Баланс энергии электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга. Физический смысл слагаемых входящих в уравнение баланса. Плотность потока энергии поля.

4. Принципы работы направляющих систем. Закрытые и открытые линии передачи.

5. Параметры магнитных электромагнитных волн в линиях передачи. Условия существования. Поперечный коэффициент распространения. Фазовая и групповая скорости.

6. Затухание направляемых волн. Потери в заполнении и в металлических стенках. Комплексный коэффициент распространения. Коэффициент затухания и глубина проникновения поля в стенки волновода.

#### **Вариант 4.**

1. Закон полного тока. Первое уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл. Токи проводимости и смещения.

2. Классификация электродинамических задач. Степень взаимной обусловленности электрического и магнитного полей.

3. Баланс энергии монохроматического поля. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Среднее значение вектора Пойнтинга. Баланс активной и реактивной мощностей.

4. Классификация направляемых волн. Продольные поперечные волны и гибридные волны. Связь между продольными и поперечными компонентами ЭМП в линиях передачи.

5. Прямоугольный волновод. Конструкция. Постановка электродинамической задачи и ее особенности в случаях электрических и магнитных волн.

6. Граничные условия на поверхности, ограничивающей направляющую систему. Токи на стенках круглого волновода в режиме основной волны.

#### **Вариант 5.**

1. Закон электромагнитной индукции. Второе уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл.

2. Граничные условия на поверхности раздела сред с различными макроскопическими параметрами. Поверхностные заряды и токи

3. Волновые уравнения для монохроматического поля. Однородные и неоднородные уравнения Гельмгольца.

4. Параметры направляемых волн. Поперечный коэффициент распространения. Критическая длина волны и критическая частота. Волна основного типа. Условие одноволнового режима.

5. Структура поля и параметры основной волны прямоугольного волновода.

6. Структура поля и параметры направляемых волн в коаксиальном волноводе. Волновое сопротивление. Конструктивные особенности коаксиальных волнопроводов.

### **4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

#### **Контрольные вопросы по дисциплине.**

1. Введение. Основные понятия и определения теории ЭМП.

1.1. Назовите основные исторические этапы развития теории ЭМП.

1.2. Дайте определение ЭМП, электрическому заряду, перечислите основные свойства ЭМП.

1.3. Можно ли ЭМП разделить на электрическое и магнитное поля?

1.4. Дайте определение векторам, характеризующим ЭМП.

1.5. Чем векторное поле отличается от скалярного?

1.6. Назовите основные отличия между понятиями «поле» и «вещество».

1.7. Укажите единицы измерения основных величин ЭМП.

1.8. Как классифицируются векторные поля?

1.9. Дайте определение градиенту, дивергенции, ротору векторного поля.

1.10. Дайте определение циркуляции и потоку вектора.

1.11. Запишите систему уравнений Максвелла в интегральной форме, укажите физическое содержание каждого уравнения системы.

1.12. Запишите систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме, укажите физическое содержание каждого уравнения системы.

1.13. В чем заключается заслуга Максвелла в формировании теории ЭМП?

- 1.14. Какая форма уравнений Максвелла (дифференциальная или интегральная) лучше отражает свойства ЭМП?
- 1.15. Какое уравнение Максвелла описывает закон ЭМ индукции?
- 1.16. Какое уравнение Максвелла обобщает закон Био–Савара?
- 1.17. На какие классы можно разделить среды по  $\operatorname{tg} \delta$ ?
- 1.18. Дайте формулировку граничных условий для нормальных составляющих векторов ЭМП.
- 1.19. Сформулируйте граничные условия для касательных составляющих векторов ЭМП.
2. Энергия и мощность ЭМП.
  - 2.1. Сформулируйте закон баланса энергии для ЭМП.
  - 2.2. Укажите физический смысл, правила ориентации, единицу измерения вектора Пойнтинга.
  - 2.3. Назовите основные разновидности мощностей.
  - 2.4. Проанализируйте баланс энергии ЭМП в замкнутом последовательном контуре с потерями и без потерь.
  - 2.5. Какие величины характеризуют изменение запаса ЭМ энергии в системе?
  - 2.6. Каков смысл мнимой части вектора Пойнтинга и мощности излучения?
  - 2.7. Как определяется вектор Пойнтинга изотропного источника?
3. Решения уравнений Максвелла при заданных источниках.
  - 3.1. Чем волна отличается от колебания?
  - 3.2. Чем отличаются волновые уравнения Д’Аламбера и Гельмгольца?
  - 3.3. Следует ли из волновых уравнений независимость электрической и магнитной составляющих ЭМП?
  - 3.4. Можно ли считать свет ЭМ волной?
  - 3.5. Какие упрощения возможны в волновых уравнениях для сред без потерь?
  - 3.6. Можно ли по виду электрической или магнитной составляющей плоской ЭМВ определить расположение другой составляющей ЭМП и направление распространения ЭМВ?
  - 3.7. Что представляет собой простейшее решение системы уравнений Максвелла?
  - 3.8. Дайте определение волнового фронта.
  - 3.9. Почему плотность потока энергии сферической волны уменьшается при удалении от источника даже в пространстве без потерь?
4. Плоские волны в однородной среде.
  - 4.1. Какие упрощения в анализе ЭМП дает понятие «плоская волна»? В каких практических случаях допустимо ЭМВ считать плоской?
  - 4.2. Чем отличаются однородные и неоднородные плоские волны?
  - 4.3. Дайте определение коэффициентам затухания и фазы плоской ЭМВ.
  - 4.4. Чем отличается волновое число от комплексного коэффициента распространения?
  - 4.5. Какова пространственная структура плоской ЭМВ?
  - 4.6. Как определить направление распространения ЭМВ?
  - 4.7. Как с помощью понятия «толщины поверхностного слоя» можно оценить преимущественную концентрацию ЭМП?
  - 4.8. Дайте определение основным характеристикам ЭМВ.
  - 4.9. Чем групповая скорость отличается от фазовой?
  - 4.10. Может ли фазовая скорость иметь бесконечное значение?
  - 4.11. Чем волновое сопротивление отличается от характеристического?
  - 4.12. Является ли групповая скорость скоростью передачи энергии?
  - 4.13. Дайте определение диэлектрика с точки зрения теории ЭМП.
  - 4.14. Дайте определение проводника с точки зрения теории ЭМП.

- 4.15. Укажите последовательность анализа ЭМП и распространения ЭМВ в среде с заданными параметрами.
- 4.16. Что дает классификация ЭМ свойств сред в зависимости от  $\operatorname{tg} \delta$ ?
- 4.17. Какие разновидности диэлектриков можно выделить в зависимости от молекулярной структуры вещества и ЭМ свойств?
- 4.18. На какие группы делятся вещества в зависимости от их магнитных свойств?
- 4.19. Укажите физические основы микроволнового нагрева.
- 4.20. Сравните характеристики распространения ЭМВ в диэлектриках с потерями, без потерь и в проводящих средах.
- 4.21. Укажите основные особенности частотной характеристики и дайте характеристику поведения импеданса проводника.
- 4.22. Дайте характеристику граничным условиям для идеального проводника.
- 4.23. Каковы критерии выбора металла для экранирования пространства от ЭМП?
- 4.24. Каковы критерии выбора металла для локализации ЭМП с минимальными потерями?
- 4.25. Почему групповую скорость ЭМВ в металле можно принять равной нулю?
- 4.26. Можно ли использовать микроволновую печь для нагрева металлов?
- 4.27. Дайте характеристику поведения коэффициента затухания ЭМВ для проводника и диэлектрика с ростом частоты.
- 4.28. Какова частотная характеристика коэффициента фазы для проводников и диэлектриков?
- 4.29. Дайте определение поляризации ЭМВ и укажите основные разновидности поляризации.
- 4.30. Можно ли из двух ЭМВ линейной поляризации получить ЭМВ круговой поляризации?
- 4.31. Можно ли из двух ЭМВ круговой поляризации получить ЭМВ линейной поляризации?
- 4.32. Антенна настроена на прием ЭМВ определенной поляризации. Будет ли она принимать ЭМВ с поляризацией, ортогональной основной?
5. Классификация ЭМП. Скалярный и векторный потенциалы ЭМП.
- 5.1. Дайте определение электродинамическим потенциалам ЭМП. Что дает введение электродинамических потенциалов?
- 5.2. С помощью какого из электродинамических потенциалов можно охарактеризовать потенциальную энергию зарядов в электростатическом поле?
- 5.3. Какой потенциал связан с потенциальной энергией токов в случае стационарного магнитного поля?
- 5.4. Каково место электродинамических потенциалов в теории ЭМП и теории антенн?
- 5.5. Почему потенциалы называют «запаздывающими»?
- 5.6. Можно ли скалярный потенциал назвать «электростатическим»?
- 5.7. На какие классы можно разделить ЭМП?
- 5.8. Дайте определение основным разновидностям ЭМП. Укажите основные особенности ЭМ процессов для ЭМП различных типов.
- 5.9. Каковы условия применимости геометрической оптики для анализа ЭМП?
- 5.10. Какие упрощения в анализе ЭМП допустимы для весьма высоких частот?
- 5.11. При каких условиях применимо понятие «квазистационарного ЭМП»? Какие упрощения в анализе допустимы для квазистационарного ЭМП?
- 5.12. Какое сходство наблюдается в явлениях электростатики и магнитостатики?
- 5.13. Какие аналогии существуют у статических и стационарных ЭМП?
- 5.14. При каких условиях можно пренебречь волновым характером ЭМП?
- 5.15. Какие принципиальные отличия существуют между законами электротехники и электродинамики?

5.16. Назовите основные допущения, позволяющие перейти от законов электродинамики к 15 основным уравнениям электротехники и теории электрических цепей.

6. ЭМВ на границе раздела сред.

6.1. Сформулируйте законы Снеллиуса.

6.2. Являются ли законы отражения и преломления плоских волн на границе раздела сред фундаментальными законами природы?

6.3. Дайте определение коэффициентам отражения и прохождения. Какова область значений этих величин?

6.4. Каково поведение ЭМВ параллельной поляризации на границе раздела сред?

6.5. Охарактеризуйте поведение ЭМВ перпендикулярной поляризации на границе раздела.

6.6. Укажите условие согласования сред.

6.7. Назовите условия полного прохождения.

6.8. Назовите условия полного отражения.

6.9. При критическом угле падения исчезает прошедшая волна. Что наблюдается, если угол падения больше критического?

6.10. Как изменяются условия прохождения ЭМВ через границу раздела в средах с потерями?

6.11. Возможно ли полное отражение ЭМВ от границы раздела диэлектриков с потерями?

6.12. Дайте определение стоячей волне и объясните особенности ее ЭМП.

6.13. Почему стоячая ЭМВ не переносит энергию, хотя векторы ее ЭМП существуют и не равны нулю?

6.14. Дайте определение и укажите область значений КСВ и КБВ.

6.15. Можно ли получить стоячую волну из бегущих волн?

7. Основные теоремы и принципы электродинамики.

7.1. Сформулируйте условие излучения на бесконечность.

7.2. Какой смысл имеет теорема единственности?

7.3. Дайте характеристику принципу двойственности.

7.4. Дайте определение принципу взаимности.

7.5. Какое значение принцип взаимности имеет для теории антенн?

7.6. Дайте характеристику принципу эквивалентности.

7.7. Дайте определение принципу Гюйгенса.

7.8. Какие упрощения в анализе ЭМП возможны с помощью принципа суперпозиции?

7.9. Дайте характеристику принципу электродинамического подобия.

7.10. Приведите примеры электродинамически подобных задач и систем.

7.11. Какой смысл в электродинамике имеют магнитные токи и заряды?

7.12. Что дает введение в систему уравнений ЭМП магнитных источников?

8. Излучение ЭМП.

8.1. Приведите примеры «вредного» и «полезного» излучения.

8.2. Дайте характеристику зонам излучения антенны.

8.3. Укажите особенности ЭМП в дальней зоне.

8.4. Какие упрощения в анализе дает приближение дальней зоны?

8.5. Как определяется расстояние дальней зоны?

8.6. На какие составляющие делят комплексную ДН?

8.7. Опишите основные разновидности элементарных излучателей.

8.8. Какие приближения используют при определении ЭМП элементарных излучателей.

8.9. Дайте характеристику ЭМП электрического диполя. Опишите ДН.

8.10. Дайте характеристику ЭМП диполя Герца в ближней зоне.

- 8.11. Дайте характеристику ЭМП электрического диполя в дальней зоне.
- 8.12. Дайте характеристику свойствам элементарных излучателей. Опишите ДН.
- 8.13. Дайте определение сопротивлению и проводимости излучения.
- 8.14. Укажите основные отличия магнитного диполя от электрического.
- 8.15. Как реализуется магнитный диполь в практических конструкциях?
- 8.16. Почему рамки с током не излучают в осевом направлении?
- 8.17. Дайте характеристику излучателю Гюйгенса. Опишите особенности ДН излучателя Гюйгенса.
- 8.18. Объясните отличия в эффективности излучения двухпроводной линии и вибраторной антенны.
- 8.19. Объясните, как LC-контур сделать излучающей системой.
9. ЭМВ в анизотропной среде.
  - 9.1. Дайте определение анизотропной среды. Приведите примеры таких сред.
  - 9.2. Дайте определение гиротропной среды.
  - 9.3. Что такое продольный ферромагнитный резонанс?
  - 9.4. Дайте определение эффекту Фарадея и постоянной Фарадея.
  - 9.5. Опишите свойства обыкновенной и необыкновенной ЭМВ в поперечно-намагниченном феррите.
  - 9.6. Дайте характеристику поведения векторов ЭМП в феррите.
  - 9.7. Дайте определение поперечного ферромагнитного резонанса.
  - 9.8. Опишите эффект Коттона – Мутона.
  - 9.9. Укажите возможные применения анизотропии ферритов в технике СВЧ.
10. Понятие о дифракции ЭМВ.
  - 10.1. Дайте определение явлению дифракции.
  - 10.2. Дайте характеристику основным методам решения задач дифракции.
  - 10.3. Каковы пределы применимости метода геометрической оптики?
  - 10.4. Какие особенности имеет метод физической оптики?
  - 10.5. Дайте определение зонам Френеля.
  - 10.6. Какие особенности имеет дифракция Фраунгофера?
11. Основные разновидности ЛП. Общие свойства волн, распространяющихся в ЛП.
  - 11.1. Дайте определение направляющим системам.
  - 11.2. Какие отличия имеют регулярные и нерегулярные линии?
  - 11.3. Как классифицируются направляемые ЭМВ?
  - 11.4. Как можно использовать связь между продольными и поперечными координатами при анализе направляемых ЭМВ?
  - 11.5. Дайте определение Т, Е, Н и гибридным волнам.
  - 11.6. На какие типы можно разделить линии передачи по количеству независимых проводящих поверхностей?
  - 11.7. Дайте сравнительную характеристику параметров линий передачи основных классов.
  - 11.8. Какие разновидности волноводов применяются в радиотехнике?
  - 11.9. Дайте характеристику распространения ЭМВ в односвязных волноводах.
  - 11.10. Дайте характеристику частотной зависимости групповой и фазовой скоростей в односвязных волноводах.
  - 11.11. Отличается ли длина волны генератора от длины ЭМВ в волноводе?
  - 11.12. Чем ограничивается уровень передаваемой мощности в односвязных волноводах?
  - 11.13. Чем ограничивается рабочая полоса частот односвязных волноводов?
  - 11.14. Какой тип волн является основным в прямоугольном волноводе?
  - 11.15. Почему рабочий и одномодовый диапазоны частот различаются?
  - 11.16. Какой тип волн является основным в круглом волноводе?

11.17. Какие типы мод круглого волновода находят практическое применение? Какие моды следует использовать для передачи ЭМВ по круглому волноводу с минимальным затуханием?

11.18. Какие достоинства имеет эллиптический волновод?

11.19. Какие достоинства имеют волноводы П-и Н-образной формы сечения?

11.20. Опишите частотную характеристику поведения затухания основных типов волн в односвязных волноводах.

11.21. Сравните односвязные волноводы с другими типами линий передачи.

11.22. Оцените дисперсию характеристик ЭМВ в односвязных волноводах.

11.23. Как выбирают прямоугольный волновод на заданный диапазон частот?

11.24. Опишите конструкции основных линий передачи Т-волны.

11.25. Запишите формулы для вычисления волнового сопротивления линий передачи Т- волны основных типов.

11.26. Опишите распределение ЭМП в пространстве линий передачи Т-волны.

11.27. Поясните физический смысл понятий тока и напряжения в линиях передачи Т- волны.

11.28. Дайте сравнительную характеристику параметров коаксиальной и двухпроводной линий.

11.29. Какие достоинства имеет двухпроводная линия в виде «витой пары»?

11.30. Назовите основные разновидности полосковых линий. Дайте сравнительную характеристику СПЛ и МПЛ.

11.31. Какие особенности имеют многосвязные линии? Какое влияние оказывает синфазность или противофазность возбуждения проводников связанных линий? Укажите основные разновидности и область применения многосвязных ЛП.

11.32. По каким критериям выбирают  $Z_c$  коаксиальных линий? Для каких радиотехнических целей используются коаксиальные кабели с характеристическим сопротивлением 50 и 75 Ом?

11.33. Опишите конструкцию и принцип работы световода. Какое физическое явление положено в основу работы световода и диэлектрического волновода?

11.34. Назовите основные разновидности ОВ. Сравните характеристики этих ЛП с характеристиками ЛП других классов.

11.35. Какие достоинства имеет градиентный световод?

11.36. Чем отличаются характеристики одномодовых и многомодовых ОВ?

11.37. Назовите основные виды дисперсии в световодах. Дайте рекомендации для уменьшения дисперсии в ВОЛС.

11.38. Опишите конструкцию и принцип работы диэлектрического волновода. Опишите принцип работы линии Губо, планарных волноводов. Дайте сравнительную характеристику основных типов ЛП поверхностных волн. Какие типы волн являются основными в данных линиях?

11.39. Дайте определение нерегулярностям в ЛП. Опишите влияние нерегулярностей на распространение ЭМВ в ЛП?

11.40. Опишите явление трансформации сопротивлений в линии передачи.

11.41. Опишите поведение сопротивления линии при ее коротком замыкании.

11.42. Опишите поведение сопротивления разомкнутой линии.

11.43. Дайте определение свойству четвертьволновой трансформации.

11.44. Как отражения ЭМВ от нагрузки влияют на характеристики ЛП?

11.45. Приведите примеры эквивалентных емкостей и индуктивностей в линиях.

11.46. Дайте определение декомпозиции, матрицам рассеяния и передачи.

11.47. Дайте определение и объясните особенности ЭМП стоячей ЭМВ. Почему нежелательно появление стоячей ЭМВ в линии?

11.48. Дайте определение и укажите область значений КСВ и КБВ.

11.49. Опишите методику работы с диаграммой Смита – Вольперта.

12. Объемные резонаторы.
- 12.1. Дайте определение объемному резонатору.
- 12.2. Перечислите основные типы объемных резонаторов.
- 12.3. Сравните объемный резонатор с LC-контуром.
- 12.4. Как определяется добротность объемного резонатора?
- 12.5. Назовите основные параметры объемных резонаторов.
- 12.6. Чем нагруженная добротность отличается от собственной?
- 12.7. Какие способы возбуждения объемных резонаторов вам известны?
- 12.8. Назовите основные типы открытых резонаторов.
- 12.9. Как накапливается энергия в открытых резонаторах?
- 12.10. Как определяются резонансные частоты объемных резонаторов?
- 12.11. Какие особенности имеют ферритовые резонаторы?
- 12.12. Как из регулярной линии можно сделать объемный резонатор?

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

### **5.1 Основная литература:**

1. А.Д. Григорьев Электродинамика и микроволновая техника. Учебник - СПб.: Издательство Лань, 2007 – 704с. <https://e.lanbook.com/book/118>
2. Василишин И.И. Микроструктура электромагнитного поля, физические величины: Учебное пособие. – Архангельск: ИД САФУ, 2014
3. Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П. Электромагнитные поля: Учебное пособие. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012
4. Муромцев Д.Ю. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012 <https://e.lanbook.com/book/50680>
5. Муромцев Д.Ю., Белоусов О.А. Техническая электродинамика: Учебное пособие. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012 <https://e.lanbook.com/book/50680>

### **5.2 Дополнительная литература.**

1. В.В. Запорожец, Н.А. Яковенко. Волновые процессы и квантовая радиофизика. Лабораторный практикум. Допущено Министерством образования РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению Физика и специальностей Физика. Физика и техника оптической связи. Краснодар. 2001. – 172с.
2. Фальковский О.И. Техническая электродинамика: учебник. – СПб.: Лань 2009 <https://e.lanbook.com/book/403>
3. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы. Коллективная монография / Под ред. А. М. Кудрявцева. - М.: Радиотехника, 2007. – 208 с.
4. Иванов А.Е. Электродинамика: учебник. – М.: КНОРУС 2012
5. Батыгин В.В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности: учебное пособие. – СПб.: Лань 2010 <https://e.lanbook.com/book/544>
6. Пименов Ю. В. Линейная макроскопическая электродинамика. Вводный курс для радиофизиков и инженеров: учебное пособие. – Долгопрудный: Интеллект 2008
7. А.В. Володько. Электромагнитные поля и волны. Уч. пособие в 2-х частях/ Воронеж., Междунар. ин-т. компьют. технологий 2008.
8. Джурицкий К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Москва: Техносфера, 2006. - 216 с.
9. Чернушенко А.М. Конструирование экранов и СВЧ устройств. М., Радио и связь. 1990. – 352с.
10. Ю.П. Гришин и др. Радиотехнические системы. М., Высш. шк. 1990. – 496с,



11. Г.И. Веселов и др. Микроэлектронные устройства СВЧ, М., Высш. тк. 1988. –280с,
12. Гильденбург В.Б., Миллер М.А. Сборник задач по электродинамике: учебное пособие. – М.: Физматлит 2001
13. В.В., Запорожец, В.А, Никитин, Н.А. Яковенко, Основы радиофизических методов исследований. Лаб. Работы. 4.1. Краснодар. 1998. – 80с.
14. В.В. Запорожец, В.А. Никитин, НА. Яковенко. Основы радиофизических методов исследований. Лаб. Работы. 4.2. Краснодар. 2000. – 55с.

### **5.3. Периодические издания.**

1. В мире науки.
2. Известия ВУЗов. Серия: Радиофизика.
3. Известия ВУЗов. Серия: Радиоэлектроника.
4. Известия ВУЗов. Серия: Физика.
5. Успехи физических наук.
6. Физика. Реферативный журнал ВИНТИ.
7. Электромагнитные волны и электронные системы.
8. Электроника.
9. Электроника. Реферативный журнал ВИНТИ.
10. Электроника: наука, технология, бизнес.

### **6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля).**

1. <http://www.edu.ru/> (Единое окно доступа к образовательным ресурсам).
2. [http://www.edu.ru/db/portal/sites/res\\_page.htm](http://www.edu.ru/db/portal/sites/res_page.htm) (Федеральный образовательный портал)
3. <http://www.scientific.narod.ru/literature.htm> (Каталог научных ресурсов)
4. <http://www.sci-lib.com/> (Большая научная библиотека)
5. [http://www.ph4s.ru/books\\_tehnika.html](http://www.ph4s.ru/books_tehnika.html) (Раздел «Технические науки (радиотехника, радиоэлектроника, электроника, схемотехника, полупроводниковая электроника и др.» образовательного проекта А.Н. Варгина «Физика, химия, математика студентам и школьникам»)
6. <http://www.rsl.ru/> (Российская государственная библиотека)
7. <http://www.nlr.ru/> (Российская национальная библиотека)
8. <http://www.benran.ru/> (Библиотека РАН по естественным наукам)
9. <http://www.gpntb.ru/> (Государственная публичная научно-техническая библиотека)
10. <http://www.skrutka.ru/sk/tekst.php?id=19> (Онлайн расчет обмоток трансформатора)
11. <http://www.club155.ru/> (Клуб 155 – разнообразные материалы по программированию и схемотехнике)
12. [http://www.radio-stv.ru/radio\\_tehnologii-radio-programm/raschet-mostovogo-vyiprjamitelja](http://www.radio-stv.ru/radio_tehnologii-radio-programm/raschet-mostovogo-vyiprjamitelja) (Программа для расчета мостового выпрямителя)
13. <http://www.soel.ru> (журнал Современная электроника)
14. <http://www.adcomlogod.narod.ru> (сайт интерактивной поддержки проведения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине)

### **7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля).**

На самостоятельную работу студентов отводится 40% времени от общей трудоемкости дисциплины. Сопровождение самостоятельной работы студентов организовано в следующих формах:

Самостоятельная работа призвана закрепить теоретические знания и практические навыки, полученные студентами на лекциях, практических и лабораторных занятиях. Кроме того, часть времени, отпущенного на самостоятельную работу, должна быть

использована на освоение теоретического материала по дисциплине и на подготовку к лабораторным занятиям.

Сопровождение самостоятельной работы студентов организовано в следующих формах:

- выполнение дополнительных занятий в лабораторных работах. По итогам выполнения каждой лабораторной работы студент составляет подробный отчет, опираясь на который должен в беседе с преподавателем продемонстрировать знание теоретического и экспериментального материала. Проверка знаний студента основана на контрольных вопросах,

- выполнение домашних заданий на практических занятиях,

- усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний, получаемых посредством изучения рекомендуемой литературы,

- консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов.

1. Уравнения Максвелла. Граничные условия для векторов электромагнитного поля на границе раздела двух сред. Электромагнитное поле в поляризуемой среде и решение уравнения вязкости. Примеры решения задач электродинамики на границе раздела двух сред. Электростатическое поле и электрическое поле в проводящей среде. Магнитное поле – 26 часов;

2. Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы. Энергия электромагнитного поля. Переменное электромагнитное поле в проводящей среде и идеальном диэлектрике. Общие вопросы сверхвысокочастотных передающих линий. Распространение электромагнитных волн в прямоугольном и круглом волноводах – 22 часа;

3. Замедляющие системы. Общие свойства замедленных волн. Полые резонаторы и определение их параметров. Области применения полых резонаторов и замедляющих систем. Метод эквивалентных схем для анализа неоднородностей в волноводах. Примеры расчета неоднородностей - 46 часов;

4. Коэффициент отражения и свойства стоячих волн. Методы согласования различных конструкций электродинамических систем с внешними подводщими высокочастотными линиями передач. Методы анализа сложных сверхвысокочастотных цепей. – 42 часа.

#### **Примерный перечень вопросов к экзамену по всему курсу для самопроверки студентов.**

1. Возбуждение и электрическая прочность волноводов.
2. Потери в волноводах.
3. Структура поля и эюры волны типа  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе.
4. Типы волн в волноводах прямоугольного поперечного сечения. Критическая длина волны.
5. Свойства дисперсных волн в микроволновых передающих линиях.
6. Структура поля и эюры волны типа  $E_{01}$  в круглом волноводе.
7. Собственная и нагруженная добротность полых резонаторов.
8. Передача энергии по волноводам. Пробивное напряжение.
9. Типы колебаний полых резонаторов и области их применения.
10. Основные характеристики замедляющих систем.
11. Общие свойства замедленных волн.
12. Решение волнового уравнения для замедляющих систем.
13. Свойства пространственных гармоник в периодических замедляющих системах.
14. Свойства замедляющей системы типа «гребенка».
15. Свойства замедляющей системы типа «спираль».
16. Электростатическое поле. Скалярный потенциал. Уравнение для вычисления скалярного потенциала.

17. Законы электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной форме.
18. Параметры полых резонаторов. Собственная и нагруженная добротность.
19. Электрическое поле в проводящей среде. Энергия электрического поля.
20. Поле в несовершенных диэлектриках. Уравнение вязкости среды.
21. Переменное электромагнитное поле. Теорема Умова-Пойнтинга.
22. Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы.
23. Неоднородности в волноводах и метод эквивалентных схем.
24. Коэффициент отражения и вопросы согласования волноводов.
25. Свойства дисперсных волн микроволновых линий передач.
26. Магнитное поле. Векторный и скалярный потенциалы магнитного поля.
27. Переменное электромагнитное поле в проводящей среде.
28. Переменное электромагнитное поле в идеальном диэлектрике.
29. Коэффициент отражения и свойства стоячих волн.
30. Периодические замедляющие системы. Пространственные гармоники.

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю).**

1. Операционная система MS Windows и Linux.
2. GNU демо пакет программы САПР Micro-Cap.
3. Интегрированное офисное приложение.
4. ПО для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет.
5. GNU и/или GNL пакеты: Свободно распространяющиеся программы моделирования СВЧ устройств MMANA, RFSimm99, smithchart.
6. Программа управления Graphit P4M версия 2 (фирма «МИКРАН»).
7. эмулятор векторного анализатора цепей COM-драйвер версии 1.2.16. (фирма «МИКРАН»).

**9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащённость
1.	Лекционные занятия	Аудитория 209С, оснащенная интерактивным проектором и магнитно-маркерной доской.
2.	Семинарские занятия	Аудитории 230С, 317С оснащенные магнитно-маркерной доской
3.	Лабораторные занятия	Лаборатория 205Са, укомплектованная оборудованием необходимым для проведения лабораторных работ
4.	Курсовое проектирование	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с подключением к сети Интернет
5.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с подключением к сети Интернет
6.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с подключением к сети Интернет
7.	Самостоятельная работа	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.