



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«МИРЭА — Российский технологический университет»

РТУ МИРЭА

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор

_____ Н.И. Прокопов
« ____ » _____ 202__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

2.1.6 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Научная специальность

2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Форма обучения

Очная

Москва 2025

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» являются:

1. Подготовка аспирантов к кандидатскому экзамену по специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» в соответствии с программой кандидатского минимума и паспортом научной специальности с учетом ключевых направлений исследований.

2. Освоение общепризнанных методов аналитического описания, научно-практического исследования, программно-численного анализа и построения антенн и устройств СВЧ, на базе которых основаны принципы создания новых научно обоснованных решений, методов и разработок в области развития: фундаментальной теории электродинамики материальных сред и распространение радиоволн; антенных систем и радиоволновых технологий; устройств, сигнальных модулей и электронных СВЧ-технологий; радиоволновых измерений, анализа и моделирования антенных систем, устройств и модулей СВЧ.

3. Изучение перспективных научно-технических методов и особенностей, разработки, автоматизированного проектирования, производства, настройки и эксплуатация антенных систем, устройств и модулей СВЧ для средств радиосвязи, локации и навигации, а также наукоемких отраслей и направлений.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» является обязательной дисциплиной образовательного компонента блока «Дисциплины (модули)» учебного плана научной специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

3. Требования к результатам освоения дисциплины «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

В ходе освоения дисциплины «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» идет дальнейшее формирование элементов (знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности) аспиранта:

способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, способность к пониманию основных проблем в своей предметной области, выбору методов и средств их решения;

способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой своих исследований;

способность анализировать состояние научно-технической проблемы, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию по теме исследований;

способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

фундаментальную теорию распространения радиоволн, методы анализа и исследования радиоволновых процессов в материальных средах, принципы работы, построения и анализа антенных систем, устройств и модулей СВЧ; основные радиотехнические, электродинамические и радиофизические характеристики антенных систем, устройств и модулей СВЧ.

Уметь:

проводить лабораторные, стендовые и промышленные научно-экспериментальные и программно-численные исследования, направленные на изучение и создание новых СВЧ-технологий, разработку антенных систем АФАР, активных и пассивных СВЧ устройств, микрополосковых, твердотельных и гибридных модулей, ИМС СВЧ преобразовательной техники с улучшенными радиотехническими характеристиками.

Владеть:

научно-техническими методами разработки, проектирования, технологии производства, настройки и эксплуатация антенных систем, устройств и модулей СВЧ, использующих электромагнитные волны для приемопередачи информации, на системном, схемотехническом и программно-аппаратном уровне.

4. Содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» составляет 3 зачетных единицы (108 акад. часов).

4.1. Распределение объема дисциплины по разделам (темам), семестрам, видам учебной работы и формам контроля.

№ раздела	Семестр	Неделя семестра	Объем (в акад. час.)							Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
			Всего	Контактная работа (по видам учебных занятий)				СР	Контроль		
				Всего	ЛК	ПР	СР под рук.				
1	4	1	4	2	2			2		Устное собеседование	
1	4	2	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
1	4	3	4	2	2			2		Устное собеседование	
1	4	4	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
2	4	5	4	2	2			2		Устное собеседование	
2	4	6	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
2	4	7	4	2	2			2		Устное собеседование	
2	4	8	6	2		2		2	2	Выполнение практических	

№ раздела	Семестр	Неделя семестра	Объем (в акад. час.)							Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
			Всего	Контактная работа (по видам учебных занятий)				СР	Контроль		
				Всего	ЛК	ПР	СР под рук.				
										заданий	
3	4	9	4	2	2			2		Устное собеседование	
3	4	10	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
3	4	11	4	2	2			2		Устное собеседование	
3	4	12	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
4	4	13	4	2	2			2		Устное собеседование	
4	4	14	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
4	4	15	4	2	2			2		Устное собеседование	
4	4	16	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
5	4	17	4	2	2			2		Устное собеседование	
5	4	18	8	2		2		2	4	Выполнение практических заданий	
По материалам курса			16						16	Экзамен	
Всего в 4 семестре:			108	36	18	18	0	36	36		
Всего:			108	36	18	18	0	36	36		

4.2. Наименование и содержание разделов дисциплины

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
1.	Электродинамика материальных сред и распространение радиоволн	<p>Фундаментальная теория стационарных полей радиоволновых процессов. Уравнения электродинамики Дж. Максвелла.</p> <p>Классификация типов радиоволн и частотных диапазонов. Основы теории электродинамики. Электродинамические свойства радиоволновых процессов. Энергия электромагнитных полей. Поляризация радиоволн. Теорема Пойнтинга. Баланс энергии электромагнитного поля в комплексном представлении. Волновое уравнение для монохроматических полей. Классификация и основные параметры сред. Магнитодиэлектрические параметры материальных сред. Однородные/неоднородные, изотропные/анизотропные, линейные/нелинейные, гиротропные, диспергирующие среды. Среда с отрицательной рефракцией.</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>Материальные уравнения. Стационарные и квазистационарные процессы. Поля электростатической конфигурации. Поля магнитостатической конфигурации. Энергия и силы в статических полях. Релаксационные и квазистационарные волновые процессы. Радиоволновые процессы в направляемых системах. Классификация направляемых радиоволн. Фазовая скорость направляемых радиоволн. Типы волн в волноводных системах. Критическая длина радиоволны в волноводе. Связь между продольными и поперечными составляющими поля. Прямоугольный металлический волновод. Радиоволновой процесс распространения E(ТМ)-волны в прямоугольном волноводе. Аналитическая интерпретация радиоволнового процесса в прямоугольном волноводе. Особенности изменения длины радиоволн в волноводном канале. Радиоволновой процесс распространения H(ТЕ)-волны в прямоугольном волноводе. Радиоволновой процесс и условия распространения H₁₀-волны в прямоугольном волноводе. Характер распределения поверхностных токов в структуре прямоугольного волновода. Щелевая измерительная линия. Радиоволновые процессы в волноводных линиях сложного сечения. Характеристические сопротивления волноводных линий. Радиоволновой процесс в круглой волноводной линии. Радиоволновой процесс распространения E(ТМ)-волны в круглом волноводе. Радиоволновой процесс распространения H(ТЕ)-волны в круглом волноводе. Радиоволновые процессы в направленных линиях с волнами ТЕМ-типа. Радиоволновые процессы в коаксиальных линиях с волнами ТЕМ-типа. Радиоволновые процессы в полосковых линиях с волнами ТЕМ-типа. Радиоволновые процессы в направленных линиях поверхностной ТЕМ-волны. Стационарные радиоволновые процессы в материальных средах. Волновой характер электромагнитных возмущений среды. Модель плоских радиоволн с линейной поляризацией. Фазовая скорость и постоянная затухания</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>плоских волн. Радиоволновые процессы в проводящих средах. Квазимонохроматические радиоволновые процессы в средах с частотной дисперсией. Радиоволновые процессы на границе раздела материальных сред. Влияние типа поляризации радиоволны при наклонном падении на границу материальных сред. Радиоволновые процессы в средах с нормальной дисперсией. Радиоволновые процессы в гиротропных средах.</p> <p>Радиоволновые процессы в метакомпозитных средах. Конфигурации метакомпозитных систем и их характеристики. Метакомпозитные среды в радиоволновых материалах излучателей.</p> <p>Частотно-перестраиваемые метакомпозитные системы и модули. Перестраиваемая ENG-, MNG- и DNG-система.</p> <p>Радиоволновые процессы распространения и излучения электромагнитных колебаний в стационарных средах. Свойства полей, создаваемых радиоволновыми излучателями в однородных средах. Основные характеристики и условия режимов распространения радиоволн различных диапазонов. Условия распространения радиоволн в околоземном пространстве. Условия распространения радиоволн над сферической поверхностью. Условия распространения радиоволн в дифракционной области околоземного пространства. Радиоволновые процессы и условия распространения радиоволн в ионосфере. Радиоволновые процессы и особенности распространения радиоволн в космическом пространстве.</p> <p>Нестационарные радиоволновые процессы в стационарных средах. Нестационарные поля сверхкороткоимпульсных процессов. Особенности представлений нестационарных полей. Нестационарные процессы в направляемых линиях. Рассеяние СКИ неоднородностями материальных сред. Импульсные характеристики нестационарных материальных сред и их декомпозиция.</p> <p>Численные методы электродинамики. Метод конечных разностей во временной области. Метод конечных элементов. Метод моментов. Методы физической и геометрической оптики.</p>
2.	Антенные системы и	Электродинамические принципы излучения

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
	радиоволновые технологии	<p>антенн. Диаграмма направленности антенн, ее виды и параметры. Понятия дальней, промежуточной и ближней зон. Векторная комплексная диаграмма направленности антенны. Коэффициенты направленного действия и усиления антенны. Сопротивление излучения, коэффициент полезного действия и входной импеданс антенны. Рабочая полоса частот и предельная мощность антенны. Симметричный вибратор. Постановка и строгое решение задачи о распределении тока на вибраторе. Приближенная теория вибратора. Поле излучения симметричного вибратора и его диаграмма направленности. Сопротивление излучения, действующая высота и входное сопротивление вибратора. Сравнительный анализ строгой и приближенной теорий вибратора.</p> <p>Антенные решетки. Антенные решетки и их классификация. Методы расчета характеристик антенных решеток. Излучение линейной синфазной антенны. Излучение плоской и пространственной синфазных решеток. Решетка с линейным набегом фазы. Антенны с электрическим сканированием. Расчет антенных решеток радиосистем. Взаимодействие излучателей в решетке и диаграмма направленности излучателя. Метод наведенных ЭДС. Расчет входных сопротивлений излучателей с учетом взаимодействия. Расчет характеристик антенн с директором и рефлектором. Антенна типа «волновой канал». Антенны бегущей волны и ДН линейной антенны. Коэффициент направленного действия антенны бегущей волны.</p> <p>Антенны в режиме приема. Параметры и характеристики приемных антенн. Применение принципа взаимности к изучению свойств приемных антенн. Антенна как пассивный рассеиватель. Параметры электромагнитной совместимости антенн.</p> <p>Слабонаправленные антенны. Характеристики антенны с учетом влияния проводящей земной поверхности или летательного аппарата. Метод зеркальных изображений. Диаграммы направленности антенны с учетом влияния подстилающей поверхности. Несимметричный вибратор. Особенности расчета бортовых</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>слабонаправленных антенн. Строгие и приближенные методы расчета слабонаправленных антенн. Щелевой вибратор. Применение принципа двойственности для определения основных характеристик. Полосковые и микрополосковые (печатные) антенны. Активные слабонаправленные антенны. Сверхширокополосные антенны и их характеристики. Мгновенная диаграмма направленности.</p> <p>Строгая и приближенная теории антенн СВЧ. Внутренняя и внешняя задачи теории антенн СВЧ. Поле излучения и диаграмма направленности плоского синфазного раскрыва. Коэффициент направленного действия синфазного плоского раскрыва. Влияние фазовых ошибок на диаграмму направленности и КНД плоского раскрыва.</p> <p>Апертурные антенны. Излучатели в виде открытого конца волновода. Рупорные антенны. Зеркальные антенны. Характеристики направленности зеркальных антенн. Устранение реакции зеркала на облучатель. Точность изготовления зеркальных антенн. Предельный коэффициент усиления зеркальных антенн. Специальные типы зеркальных антенн. Применение зеркальных антенн. Линзовые антенны. Принцип действия линзовых антенн и уравнение профиля линзы.</p> <p>СВЧ-антенны бегущей волны. Диэлектрические стержневые антенны. Спиральные антенны. Импедансные антенны. Антенны вытекающей волны.</p> <p>Фазированные антенные решетки и антенные системы с пространственно-временной обработкой сигнала. Пространственно-временная обработка сигнала в антенных системах. Фазированные антенные решетки. Схемы построения. Элементная база. Характеристики ФАР. Антенны с частотным сканированием. Линейная решетка СВЧ-излучателей. Многолучевые и смещенные антенны.</p> <p>Активные ФАР. Проектирование излучателя ФАР. Многолучевые антенны. Классификация и схемы построения АФАР.</p> <p>Основные характеристики многолучевых ФАР. Многолучевые антенные решетки на основе</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>параллельной ДОС. Многолучевые антенные решетки на основе последовательной ДОС. Основные применения многолучевых антенных решеток.</p>
3.	Устройства, сигнальные модули и электронные СВЧ-технологии	<p>Классификация устройств, элементов микроволновой техники и модулей СВЧ. Объемные, микрополосковые, твердотельные и гибридные модули СВЧ. Направляющие линии СВЧ, их характеристики и методы волнового согласования устройств и модулей СВЧ. Классификация направляющих линий СВЧ и их параметры. Коаксиальные линии и их характеристики. Двухпроводные линии и их характеристики. Линии типа «витая пара» и их характеристики. Прямоугольные волноводы и их характеристики. Круглые волноводы и их характеристики. Полосковые линии и их характеристики. Методы и средства волнового согласования в направляющих линиях. Волновое сопротивление направляющих линий СВЧ. Волновой импеданс. Режим бегущей и стоящей волны. КСВ-частотная характеристика СВЧ устройств и линий передачи. Согласование четвертьволновым трансформатором. Согласование сосредоточенной реактивностью. Согласование диэлектрическим трансформатором. Согласование короткозамкнутым шлейфом. Согласование тремя реактивными шлейфами. Матрично-параметрические характеристики N-полюсников СВЧ. Матрицы рассеяния многополюсников. Передаточные волновые матрицы многополюсников. N-полюсники СВЧ и их радиотехнические характеристики. Двухполюсные устройства СВЧ. Согласование нагрузки. Реактивные нагрузки. Преобразователи мощности СВЧ-сигналов. Четырехполюсные устройства СВЧ. СВЧ-разъемы и соединения СВЧ-переходы (адаптеры). Реактивные нерегулярности в волноводах. Волноводные изгибы. Атенюаторы СВЧ. Фазовращатели СВЧ. Согласующие трансформаторы сопротивления. Шестиполюсные устройства СВЧ. Тройники Y-типа. Тройники E- и H-типа. Делители мощности. Восьмиполюсные устройства СВЧ. Направленные ответвители. Мостовые устройства. Делители и соединения X-типа.</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>Кольцевой резонатор бегущей волны. Десяти- и двенадцатиполусные устройства СВЧ.</p> <p>Ферритовые устройства СВЧ.</p> <p>Ферромагнитические свойства и явления.</p> <p>Ферритовые устройства СВЧ на эффекте Фарадея. Ферритовые вентили с поперечным подмагничиванием. Фазовые циркуляторы на ферритовых пластинах.</p> <p>Резонаторы и фильтры СВЧ. Резонаторы СВЧ и их характеристики. Объемные резонаторы СВЧ и их характеристики. Эквивалентные схемы резонаторов разных типов и способы возбуждения объемных резонаторов. Резонаторы открытого типа и их характеристики.</p> <p>Диэлектрические резонаторы и их характеристики. Проходные резонаторы и их характеристики. Микрополосковые резонаторы и их характеристики. Фильтры СВЧ, их классификация и виды исполнения.</p> <p>Прототипированные и синтез фильтров СВЧ. Общие принципы построения фильтров СВЧ на неоднородных линиях. Построение фильтров СВЧ на микрополосковых линиях. Построение фильтров СВЧ на микрополосковых резонаторах. Волноводные фильтры СВЧ.</p> <p>Микрополосковые линейные элементы модулей СВЧ. Разомкнутый отрезок микрополосковой линии и его эквивалентная схема.</p> <p>Прямоугольное симметричное расширение микрополосковой линии. Разрыв микрополосковой линии. Прямоугольный изгиб микрополосковой линии. Сосредоточенные элементы модулей СВЧ. Сосредоточенные резисторы и индуктивности. Сосредоточенные емкостные элементы. Квазисосредоточенные микрополосковые элементы. Микрополосковые отрезки с высоким и низким импедансами.</p> <p>Замкнутые и разомкнутые микрополосковые отрезки типа шлейф.</p> <p>Твердотельные приборы СВЧ, их вольтамперные характеристики и применение в схемах модулей СВЧ. Лавинно-пролетные диоды СВЧ. Явление лавинного пробоя. Режимы работы лавинно-пролетного диода. СВЧ-диод Ганна. Эффект Ганна и механизм работы диода с объемной неустойчивостью заряда. Режимы работы генератора на диоде Ганна. СВЧ-диод с барьером Шоттки. Диод СВЧ с управлением</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>импедансом (р-і-п диод). Транзисторы СВЧ. Биполярные транзисторы СВЧ. Униполярные (полевые) транзисторы СВЧ. Полевые транзисторы СВЧ с барьером Шоттки. Эквивалентная схема полевого транзистора СВЧ.</p> <p>Твердотельные микросборки и модули СВЧ. Гибридные сборки и модули СВЧ. Микросхемы и микромодули СВЧ. Функциональные модули СВЧ. Модульные генераторы СВЧ. Модульные усилители мощности СВЧ. Модульные однокаскадные усилители мощности СВЧ. Частотно-преобразовательные модули СВЧ. Преобразование частоты в смесителях СВЧ. Характеристики модульных смесителей СВЧ. Небалансные модульные смесители СВЧ. Балансные модульные смесители СВЧ. Классификация ППМ АФАР СВЧ. Частотные конверторы СВЧ.</p> <p>Электронные приборы генерации и усиления СВЧ-сигналов. Классификация электронных приборов СВЧ. Характеристики электронных приборов СВЧ. Триоды и тетроды СВЧ. Электронный механизм работы триода СВЧ. Клистроны и их характеристики. Двухрезонаторный усилитель. Многорезонаторный усилительный клистрон. Отражательные клистроны. СВЧ-лампы бегущей и обратной волны О-типа. Лампа бегущей волны О-типа. Лампа обратной волны О-типа. Гибридные электронные СВЧ-приборы О-типа. Электронные СВЧ-приборы М-типа. Лампа бегущей волны М-типа. Лампа обратной волны М-типа. Многорезонаторный магнетрон. Генераторы магнетронного типа. Электромагнитная совместимость модулей и устройств СВЧ.</p>
4.	Радиоволновые измерения, анализа и моделирования антенных систем, устройств и модулей СВЧ	<p>Особенности радиоизмерений в диапазоне СВЧ и КВЧ. Измерительные тракты и антенна СВЧ. Стандартные элементы измерительных трактов — разъемы, согласованные нагрузки. Эталоны и номинальные ряды сопротивлений СВЧ нагрузок. Методы оценки радиотехнических параметров СВЧ измерительных трактов. Частотно-временные методы анализа антенн и СВЧ-устройств. Измерительные аналоговые и векторные генераторы СВЧ. Измерение КСВ-частотных характеристик антенн и устройств</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>СВЧ. Диаграммы полных сопротивлений и полных проводимостей Вольперта-Смита, их представление, анализ и применение в радиоизмерениях. Волноводно-щелевая измерительная линия, ее устройство, параметры и характеристики.</p> <p>Радиоволновые технологии субнаносекундного разрешения. Скоростные АЦП реального и эквивалентного времени и их характеристики. Измерительные анализаторы спектра и осциллографы СВЧ. Активные осциллографические пробники СВЧ и их характеристики. Радиотехнические методы векторного анализа S-параметров устройств СВЧ. Векторный анализатор цепей сигнальных модулей СВЧ. Анализ и измерение импульсных характеристик антенн и устройств СВЧ. Методы измерения ослабления. Измерительные аттенюаторы. Измерение фазовых характеристик коэффициентов передачи на СВЧ. Особенности измерений параметров невзаимных устройств СВЧ.</p> <p>Анализ и измерение радиотехнических характеристик антенных систем. Принципы выбора и построения БЭК СВЧ-диапазона. Радиопоглощающие материалы СВЧ. Измерение шумовых характеристик антенн и устройств СВЧ.</p> <p>Измерение параметров СВЧ радиосигналов. Измерение мощности СВЧ сигналов. Методы измерения поглощаемой и проходящей мощности СВЧ.</p> <p>Автоматизация измерений на СВЧ. Электродинамическое моделирование радиоволновых процессов в программно-численной среде Feko и сигнальных модулей СВЧ — в среде AWR. Задачи расчета и моделирование устройств и модулей СВЧ. Моделирование одношлейфового согласования линии передачи с нагрузкой. Моделирование микрополоскового аттенюатора. Линейное моделирование микрополоскового аттенюатора на резисторах. Электромагнитное моделирование микрополоскового аттенюатора. Анализ и моделирование фильтра на микрополосковых линиях. Моделирование фильтра нижних частот. Анализ и моделирование фильтра верхних частот.</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		Моделирование полосно-пропускающего фильтра. Анализ и моделирование делителя мощности. Анализ и моделирование линий задержки СВЧ. Анализ и моделирование малошумящего усилителя. Анализ и моделирование балансного смесителя на диодах. Анализ и моделирование секций проходного волноводного дискретного фазовращателя.
5.	Разработка, модернизация, производство, настройки и эксплуатация антенных систем, устройств и модулей СВЧ для наукоемких отраслей и направлений	Особенности прототипирования антенн и модулей СВЧ. Разработка, анализ, исследование и разработка антенных систем и СВЧ устройств для цифровых и интеллектуальных технологий беспроводной передачи данных, высокоскоростных мобильных, спутниковых и подвижных устройств, средств радиолокации и навигации. Разработка новых антенных систем АФАР, активных и пассивных СВЧ устройств, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих с улучшенными характеристиками. Научно-технические методы автоматизированного проектирования, технологии производства, настройки и эксплуатации, а также оптимизации антенных систем и СВЧ устройств для наукоемких отраслей и направлений.

4.3. Лабораторные работы (ЛБ)

Учебным планом не предусмотрены.

4.4. Практические занятия (ПР)

№ п/п	Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (в акад. часах)
1	1	Программно-численное моделирование и анализ распространения радиоволн в материальных средах с частотной дисперсией в радиоприложении Altair Feko.	4
2	2	Синтез, программно-численное моделирование и анализ радиотехнических характеристик ДН АФАР в радиоприложении Altair Feko.	4
3	3	Программно-численное моделированиеППМ СВЧ в радиоприложении AWR Design Environment.	4
4	4	Векторная генерация СВЧ-сигналов. Частотно-временные и векторные радиоизмерения S-параметров сигнальных модулей СВЧ.	4
5	5	Экспериментальная работа с цифровой диаграммой Вольперта-Смита. Настройка и согласование	2

№ п/п	Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (в акад. часах)
		сигнальных устройств и модулей СВЧ в режиме реального времени.	
Всего:			18

5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Виды самостоятельной работы обучающегося, порядок и сроки ее выполнения:

подготовка к лекциям и практическим занятиям с использованием конспекта лекций, материалов практических занятий и приведенных ниже (п 8.1 и 8.2) источников (в соответствии с расписанием занятий);

оформление отчетов по выполненным практическим заданиям и теоретическая подготовка к их сдаче (в соответствии с расписанием занятий).

Перечень вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации — в соответствии с тематикой дисциплины.

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1. Описание показателей и критериев оценивания знаний, умений и владений на различных этапах их формирования, описание шкал оценивая

6.1.1. Показатели и критерии оценивания, используемые шкалы оценивания

Показатели оценивания	Критерии оценивания	Средства оценивания	Шкалы оценивания
Умение	Правильность выполнения учебных заданий, аргументированность выводов	<i>Текущий контроль:</i> выполнение устных/письменных заданий, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 1
Знание	Правильность и полнота ответов, глубина понимания вопроса	<i>Текущий контроль:</i> выполнение устных/письменных заданий, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 1
Владение	Обоснованность и аргументированность выполнения учебной деятельности	<i>Текущий контроль:</i> выполнение практического задания, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 2

6.1.2. Описание шкал оценивания степени сформированности знаний,

умений и владений

Шкала 1. Оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений		
Цифр.	Оценка	Знать	Уметь	Владеть
1	Неудовлетворительно	Отсутствие знаний	Отсутствие умений	Отсутствие навыков
2	Неудовлетворительно	Фрагментарные знания	Частично освоенное умение	Фрагментарное применение
3	Удовлетворительно	Общие, но не структурированные знания	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение	В целом успешное, но не систематическое применение
4	Хорошо	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков
5	Отлично	Сформированные систематические знания	Сформированное умение	Успешное и систематическое применение навыков

Шкала 2. Комплексная оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений
Цифр.	Оценка	
1	Неудовлетворительно	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале
2	Удовлетворительно или неудовлетворительно (по усмотрению преподавателя)	Знать на уровне ориентирования , представлений. Субъект учения знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает их в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения
3	Удовлетворительно	Знать и уметь на репродуктивном уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях
4	Хорошо	Знать, уметь, владеть на аналитическом уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений
Цифр.	Оценка	
		взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения
5	Отлично	Знать, уметь, владеть на системном уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания учебной дисциплины, его значимость в содержании учебной дисциплины

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования знаний, умений и владений в процессе освоения образовательной программы.

Типовые вопросы и задания для текущего контроля (оценка сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках текущего контроля по дисциплине) по разделам дисциплины

Примеры вопросов по теме 1:

1. Классификация и основные параметры сред. Магнитодиэлектрические параметры материальных сред. Однородные/неоднородные, изотропные/анизотропные, линейные/нелинейные, гиротропные, диспергирующие среды. Среда с отрицательной рефракцией. Материальные уравнения электродинамики.

2. Основные характеристики и условия режимов распространения радиоволн различных диапазонов. Условия распространения радиоволн в околоземном пространстве. Условия распространения радиоволн над сферической поверхностью. Условия распространения радиоволн в дифракционной области околоземного пространства.

3. Численные методы электродинамики. Метод конечных разностей во временной области. Метод конечных элементов. Метод моментов. Методы физической и геометрической оптики.

Пример практического задания по теме 1:

В программной среде Altair FEKO построить модель распространения радиоволн в полой прямоугольной волновод. Исследовать структуру поля в волновод при различных размерах его поперечного сечения. Заполнить полость волновода диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_a = 2,4$, тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta = 0,005$. Сформулировать выводы о влиянии потерь в диэлектрике и изменении длины волны в волновод.

Примеры вопросов по теме 2:

1. Электродинамические принципы излучения антенн. Диаграмма направленности антенн, ее виды и параметры. Понятия дальней, промежуточной и ближней зон. Векторная комплексная диаграмма направленности антенны. Коэффициенты направленного действия и усиления антенны. Сопротивление излучения, коэффициент полезного действия и входной импеданс антенны. Рабочая полоса частот и предельная мощность антенны.

2. Антенные решетки. Антенные решетки и их классификация. Методы расчета характеристик антенных решеток. Излучение линейной синфазной антенны. Излучение плоской и пространственной синфазных решеток.

3. Активные ФАР. Проектирование излучателя ФАР. Многолучевые антенны. Классификация и схемы построения АФАР.

Пример практического задания по теме 2:

В программной среде Altair FEKO построить модель линейной АФАР, состоящей из 10 элементов — МПЛ-антенн. Длина волны $\lambda = 8$ см, относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\varepsilon = 2,55$, габаритные размеры подложки $4 \times 4 \times 0,16$ см, длина и ширина МПЛ-антенны 2,4 см. Разность фаз токов двух соседних излучателей задать равной $\frac{\pi}{4}$. Построить пространственную

диаграмму направленности полученной антенной решетки, а также ее сечения в полярной и прямоугольной системах координат. Провести анализ множителя антенной решетки и определить основные его параметры.

Примеры вопросов по теме 3:

1. Матрично-параметрические характеристики N-полюсников СВЧ. Матрицы рассеяния многополюсников. Передаточные волновые матрицы многополюсников. N-полюсники СВЧ и их радиотехнические характеристики.

2. Модульные усилители мощности СВЧ. Модульные однокаскадные усилители мощности СВЧ.

3. Частотно-преобразовательные модули СВЧ. Преобразование частоты в смесителях СВЧ. ППМ АФАР СВЧ. Частотные конверторы СВЧ.

Пример практического задания по теме 3:

В программной среде AWR Design Environment при помощи утилиты EMSight провести электродинамическое моделирование режекторного фильтра (центральная частота 3 ГГц, ширина полосы заграждения 1 ГГц) на полосковых линиях. Провести расчет низкочастотного прототипа и определить габаритные размеры полосковых проводников. Начертить топологию рассчитанного фильтра и получить графики зависимости коэффициента отражения и коэффициента передачи от частоты. Провести оптимизацию полученной топологии под требуемый вид АЧХ фильтра.

Примеры вопросов по теме 4:

1. Частотно-временные методы анализа антенн и СВЧ-устройств. Измерительные аналоговые и векторные генераторы СВЧ. Измерение КСВ-частотных характеристик антенн и устройств СВЧ. Диаграммы полных

сопротивлений и полных проводимостей Вольперта-Смита, их представление, анализ и применение в радиоизмерениях. Волноводно-щелевая измерительная линия, ее устройство, параметры и характеристики.

2. Анализ и измерение радиотехнических характеристик антенных систем. Принципы выбора и построения БЭК СВЧ-диапазона. Радиопоглощающие материалы СВЧ. Измерение шумовых характеристик антенн и устройств СВЧ.

3. Электродинамическое моделирование радиоволновых процессов в программно-численной среде Feko и сигнальных модулей СВЧ — в среде AWR. Задачи расчета и моделирование устройств и модулей СВЧ.

Пример практического задания по теме 4:

При помощи векторного генератора R&S SMBV100B и осциллографа R&S RTO2000 экспериментально рассчитать матрицу рассеяния ферритовых устройств СВЧ на примерах вентиля и Y-циркулятора. Частота сигнала генератора 9953,5 МГц. На векторном генераторе задать последовательность прямоугольных импульсов с амплитудной модуляцией (глубина модуляции 50%). К первому каналу осциллографа подсоединить детекторную секцию. Сравнить амплитуду сигнала на осциллографе при непосредственном подключении детекторной секции к генератору и при подключении через вентиль/циркулятор. Сравнить результаты при прямом и обратном прохождении сигнала через вентиль. При исследовании Y-циркулятора к одному из выходных плеч подключить согласованную нагрузку. Исследовать прямые и обратные потери в циркуляторе.

Примеры вопросов по теме 5:

1. Прототипирование и создание новых методов и СВЧ-технологий в области разработки антенных систем АФАР, активных и пассивных СВЧ устройств, микрополосковых, твердотельных и гибридных модулей, ИМС СВЧ преобразовательной техники с улучшенными радиотехническими характеристиками.

81. Разработка новых антенных систем АФАР, активных и пассивных СВЧ устройств, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих с улучшенными характеристиками.

82. Научно-технические методы автоматизированного проектирования, технологии производства, настройки и эксплуатации, а также оптимизации антенных систем и СВЧ устройств для наукоемких отраслей и направлений.

Пример практического задания по теме 5:

При помощи векторного анализатора цепей R&S ZNLE определить матрицу рассеяния и передачи подключаемого четырехполюсного устройства на примере СВЧ-фильтра при различных частотах (1...3 ГГц), возбуждаемых в тестовом генераторе. Для этого при помощи цифровой диаграммы Вольперта-Смита определить величину КБВ и через него — коэффициент отражения и передачи от каждого входа фильтра. Построить Z-матрицу полных сопротивлений и Y-матрицу полных проводимостей фильтра. Добиться

нахождения согласованного режима работы фильтра.

Перечень вопросов для подготовки к экзамену (оценка сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках промежуточной аттестации по дисциплине).

1. Фундаментальная теория стационарных полей радиоволновых процессов. Уравнения электродинамики Дж. Максвелла.
2. Классификация типов радиоволн и частотных диапазонов. Основы теории электродинамики.
3. Электродинамические свойства радиоволновых процессов.
4. Энергия электромагнитных полей. Поляризация радиоволн. Теорема Пойнтинга.
5. Баланс энергии электромагнитного поля в комплексном представлении. Волновое уравнение для монохроматических полей.
6. Классификация и основные параметры сред.
7. Магнитоэлектрические параметры материальных сред.
8. Среды с отрицательной рефракцией.
9. Материальные уравнения электродинамики.
10. Стационарные и квазистационарные процессы.
11. Поля электростатической конфигурации.
12. Поля магнитостатической конфигурации.
13. Энергия и силы в статических полях.
14. Релаксационные и квазистационарные волновые процессы в материальных средах.
15. Радиоволновые процессы в направляемых системах.
16. Классификация направляемых радиоволн.
17. Фазовая скорость направляемых радиоволн.
18. Типы волн в волноводных системах. Критическая длина радиоволны в волноводе.
19. Связь между продольными и поперечными составляющими поля. Прямоугольный металлический волновод.
20. Радиоволновой процесс распространения $E(TE)$ -волны в прямоугольном волноводе.
21. Аналитическая интерпретация радиоволнового процесса в прямоугольном волноводе.
22. Особенности изменения длины радиоволн в волноводном канале.
23. Радиоволновой процесс распространения $H(TM)$ -волны в прямоугольном волноводе.
24. Радиоволновой процесс и условия распространения H_{10} -волны в прямоугольном волноводе.
25. Характер распределения поверхностных токов в структуре прямоугольного волновода.
26. Радиоволновые процессы в волноводных линиях сложного сечения.

Характеристические сопротивления волноводных линий.

27. Радиоволновой процесс в круглой волноводной линии.
28. Радиоволновой процесс распространения $E(TM)$ -волны в круглом волноводе.
29. Радиоволновой процесс распространения $H(TE)$ -волны в круглом волноводе.
30. Радиоволновые процессы в направленных линиях с волнами TEM -типа.
31. Радиоволновые процессы в коаксиальных линиях с волнами TEM -типа.
32. Радиоволновые процессы в полосковых линиях с волнами TEM -типа.
33. Радиоволновые процессы в направленных линиях поверхностной TEM -волны.
34. Стационарные радиоволновые процессы в материальных средах.
35. Волновой характер электромагнитных возмущений среды.
36. Модель плоских радиоволн с линейной поляризацией.
37. Фазовая скорость и постоянная затухания плоских волн.
38. Радиоволновые процессы в проводящих средах.
39. Квазимонохроматические радиоволновые процессы в средах с частотной дисперсией.
40. Радиоволновые процессы на границе раздела материальных сред.
41. Влияние типа поляризации радиоволны при наклонном падении на границу материальных сред.
42. Радиоволновые процессы в средах с нормальной дисперсией.
43. Радиоволновые процессы в гиротропных средах. Гиромагнитны и гидроэлектрические среды.
44. Радиоволновые процессы в метакомпозитных средах.
45. Частотно-дисперсные модели метакомпозитных сред.
46. Конфигурации метакомпозитных систем и их характеристики.
47. Метакомпозитные среды ENG -, MNG - и DNG -среды.
48. Радиоволновые процессы распространения и излучения электромагнитных колебаний в стационарных средах.
49. Свойства полей, создаваемых радиоволновыми излучателями в однородных средах.
50. Основные характеристики и условия режимов распространения радиоволн различных диапазонов.
51. Условия распространения радиоволн в околоземном пространстве.
52. Условия распространения радиоволн над сферической поверхностью.
53. Условия распространения радиоволн в дифракционной области околоземного пространства.
54. Радиоволновые процессы и условия распространения радиоволн в ионосфере.

55. Радиоволновые процессы и особенности распространения радиоволн в космическом пространстве.

56. Нестационарные радиоволновые процессы в стационарных средах. Нестационарные поля сверхкороткоимпульсных процессов.

57. Особенности представлений нестационарных полей.

58. Нестационарные процессы в направляемых линиях.

59. Рассеяние СКИ неоднородностями материальных сред.

60. Импульсные характеристики нестационарных материальных сред и их декомпозиция.

61. Численные методы электродинамики.

62. Метод конечных разностей во временной области.

63. Метод конечных элементов.

64. Метод моментов. Методы физической и геометрической оптики.

65. Электродинамические принципы излучения антенн.

66. Диаграмма направленности антенн, ее виды и параметры. Понятия дальней, промежуточной и ближней зон.

67. Векторная комплексная диаграмма направленности антенны. Коэффициенты направленного действия и усиления антенны.

68. Сопротивление излучения, коэффициент полезного действия и входной импеданс антенны.

69. Рабочая полоса частот и предельная мощность антенны.

70. Симметричный вибратор. Постановка и строгое решение задачи о распределении тока на антенном диполе.

71. Приближенная теория вибратора. Поле излучения симметричного диполя и его диаграмма направленности.

72. Сопротивление излучения, действующая высота и входное сопротивление вибратора.

73. Сравнительный анализ строгой и приближенной теорий вибратора.

74. Антенные решетки. Антенные решетки и их классификация.

75. Методы расчета характеристик антенных решеток.

76. Излучение линейной синфазной антенны.

77. Излучение плоской и пространственной синфазных решеток.

78. Решетка с линейным набегом фазы.

79. Антенны с электрическим сканированием.

80. Расчет антенных решеток радиосистем.

81. Взаимодействие излучателей в решетке и диаграмма направленности излучателя. Метод наведенных ЭДС.

82. Расчет входных сопротивлений излучателей с учетом взаимодействия. Расчет характеристик антенн с директором и рефлектором.

83. Антенна типа «волновой канал».

84. Антенны бегущей волны и ДН линейной антенны. Коэффициент направленного действия антенны бегущей волны.

85. Антенны в режиме приема. Параметры и характеристики приемных

антенн.

86. Применение принципа взаимности к изучению свойств приемных антенн.

87. Параметры электромагнитной совместимости антенн.

88. Слабонаправленные антенны.

89. Характеристики антенны с учетом влияния проводящей земной поверхности или летательного аппарата. Метод зеркальных изображений.

90. Диаграммы направленности антенны с учетом влияния подстилающей поверхности.

91. Несимметричный вибратор. Особенности расчета бортовых слабонаправленных антенн.

92. Строгие и приближенные методы расчета слабонаправленных антенн.

93. Щелевая антенна. Применение принципа двойственности для определения основных характеристик.

94. Полосковые и микрополосковые (печатные) антенны. Активные слабонаправленные антенны.

95. Сверхширокополосные антенны и их характеристики. Мгновенная диаграмма направленности.

96. Строгая и приближенная теории антенн СВЧ.

97. Внутренняя и внешняя задачи теории антенн СВЧ.

98. Поле излучения и диаграмма направленности плоского синфазного раскрыва.

99. Коэффициент направленного действия синфазного плоского раскрыва.

100. Влияние фазовых ошибок на диаграмму направленности и КНД плоского раскрыва.

101. Апертурные антенны. Излучатели в виде открытого конца волновода.

102. Рупорные антенны, их параметры и характеристики.

103. Зеркальные антенны. Характеристики направленности зеркальных антенн.

104. Устранение реакции зеркала на облучатель. Точность изготовления зеркальных антенн.

105. Предельный коэффициент усиления зеркальных антенн. Специальные типы зеркальных антенн. Применение зеркальных антенн.

106. Линзовые антенны. Принцип действия линзовых антенн и уравнение профиля линзы.

107. СВЧ-антенны бегущей волны. Диэлектрические стержневые антенны.

108. Спиральные антенны. Импедансные антенны. Антенны вытекающей волны.

109. Фазированные антенные решетки и антенные системы с пространственно-временной обработкой сигнала.

110. Пространственно-временная обработка сигнала в антенных системах.
111. Фазированные антенные решетки. Схемы построения. Элементная база. Характеристики ФАР.
112. Антенны с частотным сканированием. Линейная решетка СВЧ-излучателей.
113. Многолучевые и совмещенные антенны.
114. Активные ФАР. Проектирование излучателя ФАР. Многолучевые антенны. Классификация и схемы построения АФАР.
115. Основные характеристики многолучевых ФАР.
116. Многолучевые антенные решетки на основе параллельной ДОС.
117. Многолучевые антенные решетки на основе последовательной ДОС.
118. Основные применения многолучевых антенных решеток.
119. Классификация устройств, элементов микроволновой техники и модулей СВЧ.
120. Цифровые антенные решетки.
121. Объемные, микрополосковые, твердотельные и гибридные модули СВЧ.
122. Направляющие линии СВЧ, их характеристики и методы волнового согласования устройств и модулей СВЧ.
123. Классификация направляющих линий СВЧ и их параметры.
124. Коаксиальные линии и их характеристики.
125. Прямоугольные волноводы и их характеристики.
126. Круглые волноводы и их характеристики.
127. Полосковые линии и их характеристики.
128. Методы и средства волнового согласования в направляющих линиях.
129. Волновое сопротивление направляющих линий СВЧ. Волновой импеданс.
130. Режим бегущей и стоящей волны. КСВ-частотная характеристика СВЧ устройств и линий передачи.
131. Согласование четвертьволновым трансформатором.
132. Согласование сосредоточенной реактивностью.
133. Согласование диэлектрическим трансформатором.
134. Согласование короткозамкнутым шлейфом.
135. Согласование тремя реактивными шлейфами.
136. Матрично-параметрические характеристики N-полюсников СВЧ.
137. Матрицы рассеяния многополюсников.
138. Передаточные волновые матрицы многополюсников. N-полюсники СВЧ и их радиотехнические характеристики.
139. Двухполюсные устройства СВЧ. Согласование нагрузки. Реактивные нагрузки. Преобразователи мощности СВЧ-сигналов.
140. Четырехполюсные устройства СВЧ. СВЧ-разъемы и соединения СВЧ-переходы (адаптеры).
141. Реактивные нерегулярности в волноводах. Волноводные изгибы.

Аттенюаторы СВЧ. Фазовращатели СВЧ.

142. Согласующие трансформаторы сопротивления.

143. Шестиполусные устройства СВЧ. Тройники Y-типа. Тройники E- и H-типа. Делители мощности.

144. Восьмиполусные устройства СВЧ. Направленные ответвители. Мостовые устройства. Делители и соединения X-типа. Кольцевой резонатор бегущей волны.

145. Десяти- и двенадцатиполусные устройства СВЧ.

146. Ферритовые устройства СВЧ. Ферромагнетические свойства и явления.

147. Ферритовые устройства СВЧ на эффекте Фарадея.

148. Ферритовые вентили с поперечным подмагничиванием.

149. Фазовые циркуляторы на ферритовых пластинах.

150. Резонаторы и фильтры СВЧ. Резонаторы СВЧ и их характеристики.

151. Объемные резонаторы СВЧ и их характеристики.

152. Эквивалентные схемы резонаторов разных типов и способы возбуждения объемных резонаторов.

153. Резонаторы открытого типа и их характеристики.

154. Диэлектрические резонаторы и их характеристики.

155. Проходные резонаторы и их характеристики.

156. Микрополосковые резонаторы и их характеристики.

157. Фильтры СВЧ, их классификация и виды исполнения.

158. Прототипированные и синтез фильтров СВЧ.

159. Общие принципы построения фильтров СВЧ на неоднородных линиях.

160. Построение фильтров СВЧ на микрополосковых линиях.

161. Построение фильтров СВЧ на микрополосковых резонаторах.

162. Волноводные фильтры СВЧ.

163. Микрополосковые линейные элементы модулей СВЧ.

164. Разомкнутый отрезок микрополосковой линии и его эквивалентная схема.

165. Прямоугольное симметричное расширение микрополосковой линии. Разрыв микрополосковой линии.

166. Прямоугольный изгиб микрополосковой линии. Сосредоточенные элементы модулей СВЧ.

167. Сосредоточенные СВЧ-резисторы и индуктивности СВЧ. Сосредоточенные емкостные СВЧ-элементы.

168. Квазисосредоточенные микрополосковые элементы.

169. Микрополосковые отрезки с высоким и низким импедансами. Замкнутые и разомкнутые микрополосковые отрезки типа шлейф.

170. Твердотельные приборы СВЧ, их вольтамперные характеристики и применение в схемах модулей СВЧ.

171. Лавинно-пролетные диоды СВЧ. Явление лавинного пробоя.

172. Режимы работы лавинно-пролетного диода. СВЧ-диод Ганна.
173. Эффект Ганна и механизм работы диода с объемной неустойчивостью заряда.
174. Режимы работы генератора на диоде Ганна.
175. СВЧ-диод с барьером Шоттки.
176. Диод СВЧ с управлением импедансом (*p-i-n* диод).
177. Транзисторы СВЧ. Биполярные транзисторы СВЧ.
178. Униполярные (полевые) транзисторы СВЧ. Полевые транзисторы СВЧ с барьером Шоттки.
179. Эквивалентная схема полевого транзистора СВЧ.
180. Твердотельные микросборки и модули СВЧ.
181. Гибридные сборки и модули СВЧ.
182. Микросхемы и микромодули СВЧ. Функциональные модули СВЧ.
183. Модульные генераторы СВЧ.
184. Модульные усилители мощности СВЧ. Модульные однокаскадные усилители мощности СВЧ.
185. Частотно-преобразовательные модули СВЧ.
186. Преобразование частоты в смесителях СВЧ.
187. Характеристики модульных смесителей СВЧ.
188. Небалансные модульные смесители СВЧ.
189. Балансные модульные смесители СВЧ.
190. Классификация ППМ АФАР СВЧ. Частотные конверторы СВЧ.
191. Электронные приборы генерации и усиления СВЧ-сигналов.
192. Классификация электронных приборов СВЧ.
193. Характеристики электронных приборов СВЧ.
194. Триоды и тетроды СВЧ. Электронный механизм работы триода СВЧ.
195. Клистроны и их характеристики.
196. Двухрезонаторный усилитель.
197. Многорезонаторный усилительный клистрон.
198. Отражательные клистроны.
199. СВЧ-лампы бегущей и обратной волны О-типа.
200. Лампа бегущей волны О-типа.
201. Лампа обратной волны О-типа.
202. Гибридные электронные СВЧ-приборы О-типа.
203. Электронные СВЧ-приборы М-типа.
204. Лампа бегущей волны М-типа.
205. Лампа обратной волны М-типа.
206. Многорезонаторный магнетрон.
207. Генераторы магнетронного типа.
208. Электромагнитная совместимость модулей и устройств СВЧ.
209. Особенности радиоизмерений в диапазоне СВЧ и КВЧ.
210. Измерительные тракты и антенна СВЧ.
211. Стандартные элементы измерительных трактов — разъемы,

согласованные нагрузки.

212. Эталоны и номинальные ряды сопротивлений СВЧ нагрузок.
 213. Методы оценки радиотехнических параметров СВЧ измерительных трактов.
 214. Частотно-временные методы анализа антенн и СВЧ-устройств.
 215. Измерительные аналоговые и векторные генераторы СВЧ.
 216. Измерение КСВ-частотных характеристик антенн и устройств СВЧ.
 217. Диаграммы полных сопротивлений и полных проводимостей Вольперта-Смита, их представление, анализ и применение в радиоизмерениях.
 218. Волноводно-щелевая измерительная линия, ее устройство, параметры и характеристики.
 219. Радиоволновые технологии субнаносекундного разрешения.
 220. Скоростные АЦП реального и эквивалентного времени и их характеристики.
 221. Измерительные анализаторы спектра и осциллографы СВЧ.
 222. Активные осциллографические пробники СВЧ и их характеристики.
 223. Радиотехнические методы векторного анализа S-параметров устройств СВЧ.
 224. Векторный анализатор цепей сигнальных модулей СВЧ.
 225. Анализ и измерение импульсных характеристик антенн и устройств СВЧ.
 226. Методы измерения ослабления. Измерительные аттенюаторы.
 227. Измерение фазовых характеристик коэффициентов передачи на СВЧ.
- Особенности измерений параметров невзаимных устройств СВЧ.
228. Анализ и измерение радиотехнических характеристик антенных систем.
 229. Принципы выбора и построения БЭК СВЧ-диапазона.
 230. Радиопоглощающие материалы СВЧ.
 231. Измерение шумовых характеристик антенн и устройств СВЧ.
 232. Измерение частотно-временных параметров СВЧ-сигналов.
 233. Измерение мощности СВЧ сигналов.
 234. Методы измерения поглощаемой и проходящей мощности СВЧ.
 235. Автоматизация радиоизмерений на СВЧ.
 236. Электродинамическое моделирование радиоволновых процессов в программно-численной среде Feko и сигнальных модулей СВЧ — в среде AWR.
 237. Задачи расчета и моделирование устройств и модулей СВЧ.
 238. Особенности прототипирования антенн и модулей СВЧ.
 239. Разработка, анализ, исследование и разработка антенных систем и СВЧ устройств для цифровых и интеллектуальных технологий беспроводной передачи данных.
 240. Разработка, анализ, исследование и разработка антенных систем и СВЧ-устройств для высокоскоростных мобильных средств связи.
 241. Разработка, анализ, исследование и разработка антенных систем и

СВЧ устройств для спутниковых и подвижных устройств.

242. Разработка, анализ, исследование и разработка антенных систем и СВЧ устройств для средств радиолокации и навигации.

243. Разработка новых антенных систем АФАР, активных и пассивных СВЧ устройств, в том числе управляющих и фазирующих с улучшенными характеристиками.

244. Научно-технические методы проектирования, технологии производства, настройки и эксплуатации, а также оптимизации антенных систем и СВЧ-устройств.

6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

Процедуры и средства оценивания элементов знаний, умений и владений по дисциплине «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Процедура проведения	Средство оценивания				
	Текущий контроль				Промежуточный контроль
	Выполнение устных заданий	Выполнение письменных заданий	Выполнение практических заданий	Выполнение тестовых заданий	Экзамен
Продолжительность контроля	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	В соответствии с принятыми нормами времени
Форма проведения контроля	Устный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	В письменной форме
Вид проверочного задания	Устные вопросы	Письменные задания	Практические задания	Письменный опрос	Экзаменационный билет
Форма отчета	Устные ответы	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме
Раздаточный материал	Нет	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» предусматривает лекции и практические занятия. Успешное изучение дисциплины требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и указания на самостоятельную работу.

При подготовке к лекционным занятиям аспирантам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к

основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности аспирантов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию аспиранты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам необходимо:

приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию;

до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;

в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;

в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов;

на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Аспирантам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющие письменного решения задач или не подготовившиеся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изучавшейся на занятии. Аспиранты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме к началу экзаменационной сессии не допускаются к экзамену.

8. Ресурсное обеспечение дисциплины

8.1. Основная и дополнительная учебная литература, необходимая для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Белов Л.А. Интермодуляционные искажения сигналов сверхвысоких частот: учебное пособие для вузов / С.А. Баранов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2020. — 144 с.

2. Богуш В.А. и др. Векторные анализаторы цепей сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн. — М.: Горячая линия — Телеком, 2019. — 656 с.

3. Горгадзе С.Ф. СВЧ-усилители мощности для мобильной связи и радиодоступа. — М.: Горячая линия — Телеком, 2022. — 456 с.

4. Костин М.С., Бойков К.А. Радиоволновые технологии субнаносекундного разрешения: монография / М. С. Костин, К. А. Бойков. — М.: РТУ МИРЭА, 2021. — 142 с.

5. Костин М.С., Ярлыков А.Д. Устройства и модули сверхвысоких частот / М.С. Костин, А.Д. Ярлыков. — М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. — 397 с.

6. Костин М.С., Ярлыков А.Д. Электродинамика, радиоволновые процессы и технологии: учебное пособие / М.С. Костин, А.Д. Ярлыков. — М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. — 311 с.

7. Курушин А.А., Нефедов Е.И., Смольский С.М. Проектирование объёмных интегральных структур СВЧ и КВЧ. — М.: Солон-Пресс, 2020. — 452 с.

8. Ченакин А.В., Горевой А.В. Практическое построение синтезаторов частот СВЧ-диапазона / А.В. Ченакин, А.В. Горевой. — М.: Горячая линия — Телеком, 2021. — 280 с.

9. Юрий Е.М. Антенны и устройства СВЧ: расчет и измерение характеристик. — М.: Юрайт, 2022. — 138 с.

б) дополнительная литература:

10. Alexander N., Trevor B. Non-stationary Electromagnetics. — USA: Jenny Stanford Publishing, 2012. — 616 p.

11. Constantine A. Balanis. Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition. — USA.: John Wiley and Sons Ltd, 2005. — 1136 p.

12. James D. Taylor, Boryssenko A., Boryssenko E. Advanced Ultrawideband Radar. Signals, Targets, and Advanced Ultrawideband Radar Systems. — USA.: CRC Press, 2016. — 494 p.

13. Анищенко В. С., Стрелков Г. И. Радиофизика и нелинейная динамика: учебное пособие. — М.: Институт компьютерных исследований, 2017. — 120 с.

14. Банков С.Е., Грибанов А.Н., Курушин А.А. Электродинамическое моделирование антенных и СВЧ структур с использованием FEKO. — М.: Солон-Пресс, 2017. — 412 с.

15. Баранов С.А. Устройства СВЧ и антенны: учебное пособие для вузов / С.А. Баранов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2018. — 344 с.

16. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в Microwave Office. — М.: Солон-Пресс, 2016. — 152 с.

17. Шаров Г.А. Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн / Г.А. Шаров. — М.: Горячая линия — Телеком, 2016. — 638 с.

18. Максимов В.М., Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д.И. Воскресенского. — М.: Радиотехника, 2016. — 560 с.

19. Нефедов В.И., А.С. Сигов Основы радиоэлектроники и связи: учеб. пособие для вузов / В.И. Нефедов, А.С. Сигов. — М.: Высш. шк., 2009. — 735 с.

20. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. — М.: Радиотехника, 2009. — 288 с.

21. Сомов А.М. Распространение радиоволн и антенны спутниковых систем связи: учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2015. — 456 с.
22. Сомов А.М., Кабетов Р.В. Проектирование антенно-фидерных устройств: учебное пособие для вузов / Под ред. А.М. Сомова. — М.: Горячая линия — Телеком, 2016. — 500 с.
23. Хибель М. Основы векторного анализа цепей / Михаэль Хибель; пер. с англ. С.М. Смольского под ред. Д.М. Сазонова и У. Филипп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2018. — 501 с.
24. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики / А.Д. Григорьев. — М.: Физматлит, 2013. — 432 с.
25. Гринева А.Ю. Широкополосные и сверхширокополосные сигналы и системы. — М.: Радиотехника, 2009. — 168 с.
26. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ. — М.: Радиотехника, 2008. — 184 с.
27. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы: учеб. пособие / И.Е. Иродов. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 264 с.
28. Костин М.С. Субнаносекундные сигналы и технологии: учебное пособие / М. С. Костин. — М.: МИРЭА, 2018. — 110 с.
29. Будагян И.Ф., Дубровин В.Ф., Сигов А.С. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / И.Ф. Будагян, В.Ф. Дубровин, А.С. Сигов. — М.: МГТУ МИРЭА, 2014. — 192 с.
30. Вишневский В.И., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. — М.: Техносфера, 2006. — 288с.
31. Michael Steer. Microwave and RF Design, Vol.2: Transmission Lines. (Third Edition). — USA.: University of North Carolina Press, 2019. — 284 p.
32. Michael Steer. Microwave and RF Design, Vol.3: Networks. (Third Edition). — USA.: University of North Carolina Press, 2019. — 240 p.
33. Michael Steer. Microwave and RF Design, Vol.4: Amplifiers and Oscillators. (Third Edition). — USA.: University of North Carolina Press, 2019. — 219 p.
34. Michael Steer. Microwave and RF Design, Vol.4: Modules. (Third Edition). — USA.: University of North Carolina Press, 2019. — 254 p.
35. Richard G. Carter. Microwave and RF Vacuum Electronic Power Sources (The Cambridge RF and Microwave Engineering Series). — USA.: Cambridge University Press, 2018. — 838 p.
36. Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele. Antenna Theory and Design, 3rd Edition — USA.: Wiley, 2012. — 848 p.

8.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимые для освоения дисциплины

1. <http://library.mirea.ru/>

Научно-техническая библиотека РТУ МИРЭА

2. <https://e.lanbook.com/>

Электронно-библиотечная системы (ЭБС) Издательства «Лань»

3. <https://passport.rsl.ru/>

Российская государственная библиотека

8.3. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем:

- пакет офисных программ Microsoft Office;
- пакет электродинамического моделирования Altair FEKO;
- интегрированная платформа разработки, анализа и моделирования ВЧ/СВЧ-устройств AWR Design Environment;
- программная среда для разработки виртуальных информационно-измерительных систем приборов LabVIEW.

8.4. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

- учебная аудитория;
- учебно-научные лаборатории кафедры радиоволновых процессов и технологий Института радиоэлектроники и информатики: «Радиоволновых технологий», «Радиоволновых процессов и модулей СВЧ», УНЦ «TESLA».