

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан факультета радиотехники и
электроники  /В.А. Небольсин/

«25» ноября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Устройства СВЧ и антенны»

Направление подготовки 11.03.01 Радиотехника

Профиль Радиотехнические средства передачи, приема и обработки
сигналов

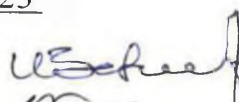
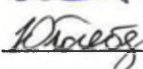
Квалификация выпускника Бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2023

Авторы программы

 /Зеленин И.А.,
 Пастернак Ю.Г./

Заведующий кафедрой
радиоэлектронных
устройств и систем

 /Журавлев Д.В./

Руководитель ОПОП

 /Останков А.В./

Воронеж 2022

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины:

1. Демонстрация места и роли устройств СВЧ и антенн в радиотехническом комплексе;
2. Усвоение основных теоретических положений и физических принципов действия устройств СВЧ и антенн;
3. Получение и закрепление навыков экспериментального исследования и расчёта антенно-фидерных устройств и трактов СВЧ.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

1. Формирование знаний основ теории антенн, физических принципов построения устройств СВЧ и конструкций антенн различного назначения;
2. Освоение методов анализа и расчёта антенн различных диапазонов волн;
3. Формирование умений и навыков по экспериментальному исследованию устройств СВЧ и антенн, обработке результатов эксперимента, работе с современными измерительными приборами;
4. Получение и закрепление навыков практического применения устройств СВЧ и антенн в радиотехнических системах различного назначения;
5. Ознакомление с проблемами электромагнитной совместимости и способами их решения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Устройства СВЧ и антенны» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Устройства СВЧ и антенны» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способен решать задачи по расчету характеристик электрических цепей

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	<u>Знать:</u> Основные уравнения электромагнитного поля и методы их использования при расчётах простейших структур для излучения электромагнитных волн; Свойства, принципы функционирования и конструкции основных устройств СВЧ (линий передачи, волноводов, резонаторов) и антенн; Аналитические и численные методы расчёта

	основных устройств СВЧ и антенн; Методы измерений основных параметров и характеристик устройств СВЧ и антенн.
	<u>Уметь:</u> 1. Проектировать устройства СВЧ, линии передачи и антенны с помощью персональных ЭВМ и стандартных пакетов прикладных программ; 2. Выбирать и обосновывать соответствующую современному уровню теории и техники структуру и конструкцию устройств СВЧ и антенн с учётом их места в радиотехнической системе, электромагнитной совместимости и сопряжения их параметров с общими параметрами системы; 3. Проводить экспериментальные исследования устройств СВЧ и антенн; 4. Измерять значения параметров устройств СВЧ и антенн, выполнять настройку и проверять правильность функционирования данных технических средств при их эксплуатации.
	<u>Владеть:</u> 1. Методами расчёта основных параметров и характеристик устройств СВЧ и антенн; 2. Навыками проведения экспериментальных исследований и обработки их результатов; 3. Навыками практических измерений значений параметров устройств СВЧ и антенн.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Устройства СВЧ и антенны» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18

Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	108	108
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость академические часы	144	144
з.е.	4	4

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
Аудиторные занятия (всего)	14	14
В том числе:		
Лекции	6	6
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Самостоятельная работа	126	126
Контрольная работа	—	—
Часы на контроль	4	4
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость академические часы	144	144
з.е.	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Классификация, характеристики и параметры устройств СВЧ и антенн	Роль устройств СВЧ и антенн в радиотехнических системах и комплексах. Классификация устройств СВЧ и антенн. Характеристики устройств СВЧ: коэффициенты распространения волны, затухания, фазы; волновое сопротивление; коэффициент отражения волны по напряжению; коэффициенты бегущей и стоячей волн; входное сопротивление; коэффициент полезного действия. Характеристики антенн: характеристика (диаграмма) направленности; фазовая и поляризационная характеристики; действующая высота (длина); эффективная площадь (поверхность); коэффициент использования	2	2	10	14

		площади; коэффициенты усиления, направленного и полезного действия; сопротивление излучения; входное сопротивление; допустимая излучаемая мощность; рабочий диапазон частот; шумовая температура.				
2	Линии передачи СВЧ	Режимы работы линии передачи без потерь и с потерями. Металлические волноводы. Режимы работы волновода. Прямоугольный, круглый и коаксиальный волноводы. Полосковые линии передачи. Соединения, изгибы и скрутки линий передачи. Переходы между линиями передачи. Выбор линии передачи.	2	4	14	20
3	Согласование линии передачи СВЧ с нагрузкой и симметрирование	Цели согласования линии передачи (фидера) с нагрузкой (антенной). Способы и устройства узкополосного согласования (четвертьволновый трансформатор, последовательный и параллельный шлейфы). Способы и устройства широкополосного согласования (частотные компенсаторы, ступенчатые трансформаторы, плавные переходы). Симметрирующие устройства: функции, U-колесо, четвертьволновый стакан.	2	-	10	12
4	Устройства СВЧ	Элементы волноводного тракта СВЧ: нагрузки, тройники, направленные ответвители, мостовые устройства, многоканальные делители мощности, трансформаторы типов волн. Устройства СВЧ с применением ферритов: основные свойства ферритов, вентили циркуляторы. Управляющие устройства СВЧ: устройства управления амплитудой СВЧ-колебаний (выключатели, коммутаторы, аттенюаторы, ограничители мощности, фазовращатели, поляризаторы).	2	4	14	20
5	Симметричный вибратор	Распределение тока на симметричном вибраторе. Поле излучения вибратора. Диаграмма направленности. Коэффициент направленного действия. Действующая длина (высота) вибратора. Сопротивление излучения и входное сопротивление. Широкополосные симметричные вибраторы. Подключение симметричного вибратора к фидерному тракту.	2	-	10	12
6	Антенные решётки	Функции и возможности антенных решёток. Способы управления положением диаграммы направленности. Эквидистантные и неэквидистантные антенные решётки. Фазированные антенные решётки (ФАР): активные и пассивные ФАР. Схемы последовательного и параллельного питания ФАР. Проходная и отражательная схемы распределения питания (распределители оптического типа). Многочувствительные антенные решётки. Последовательная и параллельная диаграммообразующие схемы. Адаптивные антенные решётки. Схемы адаптивных решёток.	2	-	10	12
7	Апертурные антенны СВЧ	Рупорные, зеркальные, параболические и линзовые антенны. Облучатели зеркальных антенн. Параболоцилиндрическая антенна.	2	4	14	20

		Антенна с диаграммой направленности косекансной формы.				
8	Антенны для телевидения, радиорелейных линий, спутниковой и космической радиосвязи	Телевизионные антенны: передающие (турникетные, панельные, радиальные вибраторы); приемные (директорные, зигзагообразные). Антенны радиорелейной линии прямой видимости: основные требования, двухзеркальная симметричная антенна со смещенной фокальной осью, антенна с вынесенным облучателем, рупорно-параболическая антенна, перископическая антенна. Антенны для спутниковой и космической радиосвязи: антенны земных станций и бортовые антенны систем спутниковой связи. Питание антенн.	2	4	14	20
9	Расчет и проектирование устройств СВЧ и антенн	Расчет и проектирование антенн. Методы решения задач синтеза антенн. Математическое моделирование антенн и устройств СВЧ. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ и антенн: общая характеристика процесса проектирования антенн; основные принципы автоматизации проектирования; средства автоматизации проектирования; компьютерные программы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн.	2	-	12	14
зачет с оценкой						
Итого			18	18	108	144

Заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Классификация, характеристики и параметры устройств СВЧ и антенн	Роль устройств СВЧ и антенн в радиотехнических системах и комплексах. Классификация устройств СВЧ и антенн. Характеристики устройств СВЧ: коэффициенты распространения волны, затухания, фазы; волновое сопротивление; коэффициент отражения волны по напряжению; коэффициенты бегущей и стоячей волн; входное сопротивление; коэффициент полезного действия. Характеристики антенн: характеристика (диаграмма) направленности; фазовая и поляризационная характеристики; действующая высота (длина); эффективная площадь (поверхность); коэффициент использования площади; коэффициенты усиления, направленного и полезного действия; сопротивление излучения; входное сопротивление; допустимая излучаемая мощность; рабочий диапазон частот; шумовая температура.	1	-	10	11
2	Линии передачи СВЧ	Режимы работы линии передачи без потерь и с потерями. Металлические волноводы. Режимы работы волновода. Прямоугольный, круглый и коаксиальный волноводы. Полосковые линии передачи. Соединения, изгибы и скрутки линий передачи. Переходы между линиями передачи. Выбор линии передачи.	-	4	18	22
3	Согласование линии передачи СВЧ с нагрузкой и симметрирование	Цели согласования линии передачи (фидера) с нагрузкой (антенной). Способы и устройства узкополосного согласования (четвертьволновый трансформатор).	1	-	14	15

		тор, последовательный и параллельный шлейфы). Способы и устройства широкополосного согласования (частотные компенсаторы, ступенчатые трансформаторы, плавные переходы). Симметрирующие устройства: функции, U-колена, четвертьволновый стакан.				
4	Устройства СВЧ	Элементы волноводного тракта СВЧ: нагрузки, тройники, направленные ответвители, мостовые устройства, многоканальные делители мощности, трансформаторы типов волн. Устройства СВЧ с применением ферритов: основные свойства ферритов, вентили циркуляторы. Управляющие устройства СВЧ: устройства управления амплитудой СВЧ-колебаний (выключатели, коммутаторы, аттенюаторы, ограничители мощности, фазовращатели, поляризаторы).	-	-	14	14
5	Симметричный вибратор	Распределение тока на симметричном вибраторе. Поле излучения вибратора. Диаграмма направленности. Коэффициент направленного действия. Действующая длина (высота) вибратора. Сопротивление излучения и входное сопротивление. Широкополосные симметричные вибраторы. Подключение симметричного вибратора к фидерному тракту.	1	-	14	15
6	Антенные решётки	Функции и возможности антенных решёток. Способы управления положением диаграммы направленности. Эквилибрные и неэквилибрные антенные решётки. Фазированные антенные решётки (ФАР): активные и пассивные ФАР. Схемы последовательного и параллельного питания ФАР. Проходная и отражательная схемы распределения питания (распределители оптического типа). Многолучевые антенные решётки. Последовательная и параллельная диаграммообразующие схемы. Адаптивные антенные решётки. Схемы адаптивных решёток.	1	-	10	11
7	Апертурные антенны СВЧ	Рупорные, зеркальные, параболические и линзовые антенны. Облучатели зеркальных антенн. Параболоцилиндрическая антенна. Антенна с диаграммой направленности косекансной формы.	-	-	14	14
8	Антенны для телевидения, радиорелейных линий, спутниковой и космической радиосвязи	Телевизионные антенны: передающие (турникетные, панельные, радиальные вибраторы); приемные (директорные, зигзагообразные). Антенны радиорелейной линии прямой видимости: основные требования, двухзеркальная симметричная антенна со смещенной фокальной осью, антенна с вынесенным облучателем, рупорно-параболическая антенна, перископическая антенна. Антенны для спутниковой и космической радиосвязи: антенны земных станций и бортовые антенны систем спутниковой связи. Питание антенн.	1	4	18	23
9	Расчет и проектирование устройств СВЧ и антенн	Расчет и проектирование антенн. Методы решения задач синтеза антенн. Математическое моделирование антенн и устройств СВЧ.	1	-	14	15

		Автоматизированное проектирование устройств СВЧ и антенн: общая характеристика процесса проектирования антенн; основные принципы автоматизации проектирования; средства автоматизации проектирования; компьютерные программы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн.				
Зачет с оценкой						4
Итого			6	8	126	144

5.2 Перечень лабораторных работ

- 5.2.1. Исследование волноводной линии передачи.
- 5.2.2. Исследование ферритового циркулятора.
- 5.2.3. Исследование косекансной антенны.
- 5.2.4. Исследование директорной антенны.
- 5.2.5. Исследование ферритовой антенны.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-5	<u>Знать:</u> 1. Основные уравнения электромагнитного поля и методы их использования при расчётах простейших структур для излучения электромагнитных волн; 2. Свойства, принципы функционирования и конструкции основных устройств СВЧ (линий передачи, волноводов, резонаторов) и антенн; 3. Аналитические и численные методы расчёта основных устройств СВЧ и антенн; 4. Методы измерений основных параметров и характеристик	Активная работа на лабораторных занятиях. Поясняет физическую сущность ЭМП и принципы действия изучаемых устройств СВЧ и антенн.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	устройств СВЧ и антенн.			
	<u>Уметь:</u> 1. Проектировать устройства СВЧ, линии передачи и антенны с помощью персональных ЭВМ и стандартных пакетов прикладных программ; 2. Выбирать и обосновывать соответствующую современному уровню теории и техники структуру и конструкцию устройств СВЧ и антенн с учётом их места в радиотехнической системе, электромагнитной совместимости и сопряжения их параметров с общими параметрами системы; 3. Проводить экспериментальные исследования устройств СВЧ и антенн; 4. Измерять значения параметров устройств СВЧ и антенн, выполнять настройку и проверять правильность функционирования данных технических средств при их эксплуатации.	Осуществляет расчёт и измерение основных параметров устройств СВЧ и антенн.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<u>Владеть:</u> 1. Методами расчёта основных параметров и характеристик устройств СВЧ и антенн; 2. Навыками проведения экспериментальных исследований и обработки их результатов; 3. Навыками практических измерений значений параметров устройств СВЧ и антенн.	Использует современные методы расчета основных параметров устройств СВЧ и антенн. Владеет навыками практической работы с изучаемой техникой и измерений её основных параметров	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения, 9 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»;

«незачтено»;

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	зачтено	незачтено
ПК-5	<u>Знать:</u> 1. Основные уравнения электромагнитного поля и методы их использования при расчётах простейших структур для излучения электромагнитных волн;	Тест	Выполнение теста на 70- 100%	В тесте менее 70% правильных ответов

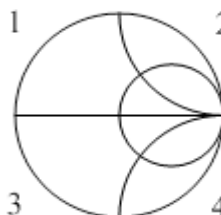
	2. Свойства, принципы функционирования и конструкции основных устройств СВЧ (линий передачи, волноводов, резонаторов) и антенн; 3. Аналитические и численные методы расчёта основных устройств СВЧ и антенн; 4. Методы измерений основных параметров и характеристик устройств СВЧ и антенн.			
	<u>Уметь:</u> 1. Проектировать устройства СВЧ, линии передачи и антенны с помощью персональных ЭВМ и стандартных пакетов прикладных программ; 2. Выбирать и обосновывать соответствующую современному уровню теории и техники структуру и конструкцию устройств СВЧ и антенн с учётом их места в радиотехнической системе, электромагнитной совместимости и сопряжения их параметров с общими параметрами системы; 3. Проводить экспериментальные исследования устройств СВЧ и антенн; 4. Измерять значения параметров устройств СВЧ и антенн, выполнять настройку и проверять правильность функционирования данных технических средств при их эксплуатации.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Задачи не решены
	<u>Владеть:</u> 1. Методами расчёта основных параметров и характеристик устройств СВЧ и антенн; 2. Навыками проведения экспериментальных исследо-	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Задачи не решены

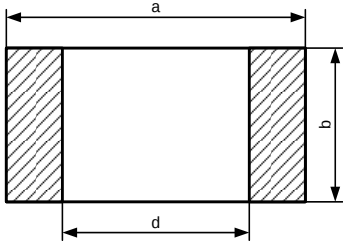
	ваний и обработки их результатов; 3. Навыками практических измерений значений параметров устройств СВЧ и антенн.			
--	---	--	--	--

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

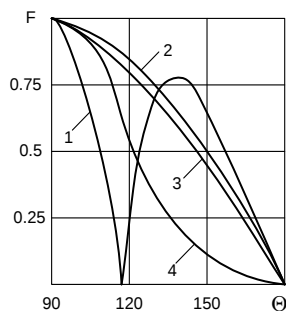
7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

№	Вопрос	Варианты ответов	Код ответа
1	Поперечная электромагнитная волна (Т-волна) НЕ может распространяться в	А. коаксиальном кабеле Б. круглом волноводе В. полосковой линии Г. микрополосковой линии	1А 1Б 1В 1Г
2	Копланарная линия передачи представляет собой	А. двухпроводную линию Б. трехпроводную полосковую линию В. многопроводную проводочную линию Г. коаксиальный волновод	2А 2Б 2В 2Г
3	Бегущая волна, создаваемая генератором и движущаяся в направлении возрастания продольной координаты линии передачи, называется	А. падающей Б. отраженной В. гибридной Г. электрической	3А 3Б 3В 3Г
4	Термин «четвертьволновый трансформатор» употребляется для отрезков линий с электрической длиной $\beta \cdot l$, равной	А. π Б. $\pi/4$ В. $\pi/2$ Г. $3\pi/4$	4А 4Б 4В 4Г
5	На частоте 1 ГГц согласованная нагрузка, подключенная к тракту с волновым сопротивлением 50 Ом, имеет полное входное сопротивление $52 + j \cdot 4.2$ Ом. Точка, соответствующая такому сопротивлению, на номограмме Вольперта-Смита будет расположена в четверти	А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4	5А 5Б 5В 5Г
6	На рисунке сечения прямоугольного волновода показана	А. резонансная диафрагма Б. индуктивный штырь В. емкостная диафрагма	6А 6Б 6В 6Г



		Г. индуктивная диафрагма 	
7	Режим работы резонатора, при котором в определенной полосе частот (соответствующей спектру поступающего сигнала, либо условиям возбуждения генератора) могут существовать колебания только одного типа, называется	А. многомодовым Б. основным В. резонансным Г. одномодовым	7А 7Б 7В 7Г
8	Вырожденными колебаниями называются колебания	А. с разной структурой поля и одинаковыми резонансными частотами Б. с одинаковой структурой поля и разными резонансными частотами В. с разной структурой поля и разными резонансными частотами Г. с одинаковой структурой поля и одинаковыми резонансными частотами	8А 8Б 8В 8Г
9	Метод анализа устройств СВЧ, предусматривающий замену каждого выделенного базового элемента некоторой схемой замещения, состоящей из сосредоточенных элементов L, C и R и отрезков линии передачи, называется	А. рекомпозицией Б. интеграцией В. декомпозицией Г. дезинтеграцией	9А 9Б 9В 9Г
10	Для взаимных четырехполюсников определитель матрицы передачи равен	А. единице Б. нулю В. модулю коэффициента отражения Г. модулю коэффициента передачи	10А 10Б 10В 10Г
11	К проекционным методам анализа СВЧ цепей относятся: А. конечных разностей, Б. Бубнова-Галёркина, В. Трефца, Г. коллокаций	А. А и Г Б. В и Г В. А и Б Г. Б и В	11А 11Б 11В 11Г
12	Комплексная векторная нор-	А. степень согласования	12А

	мированная диаграмма направленности антенны НЕ характеризует ее	Б. поляризационные свойства В. фазовые свойства Г. угловое распределение поля	12Б 12В 12Г
13	Степень концентрации излучения в направлении максимума амплитудной диаграммы направленности оценивается	А. уровнем боковых лепестков Б. коэффициентом направленного действия В. коэффициентом полезного действия Г. коэффициентом использования поверхности	13А 13Б 13В 13Г
14	Излучающая система с равномерным распределением амплитуды возбуждения и линейным распределением фазы волны называется	А. идеальным линейным излучателем Б. антенной решеткой В. диполем Г. магнитным вибратором	14А 14Б 14В 14Г
15	Способом подавления побочных главных максимумов антенной решетки НЕ является	А. ограничение шага решетки Б. применение направленных элементов В. неэквидистантное расположение излучателей Г. снижение мощности излучения	15А 15Б 15В 15Г
16	Форма амплитудной диаграммы направленности симметричного электрического вибратора в меридиональной плоскости зависит от	А. входного сопротивления вибратора Б. положения точек подключения к вибратору генератора В. распределения тока вдоль вибратора Г. толщины вибратора	16А 16Б 16В 16Г
17	Из семейств диаграмм направленности вибратора в меридиональной плоскости для различных l/λ случаю $l = 0.5\lambda$ соответствует кривая	А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4	17А 17Б 17В 17Г
18	Фазовый центр симметричного электрического вибратора	А. совпадает с его серединой Б. отсутствует В. располагается на одном из его концов Г. обладает сильной дисперсией	18А 18Б 18В 18Г
19	Множитель направленности двух вибраторов при их равноамплитудном возбуждении и расстоянии между ними 0.25λ в графическом представлении имеет вид кардио-	А. 0 Б. $\pi/2$ В. π Г. $\pi/4$	19А 19Б 19В 19Г



	иды, если сдвиг фаз возбуждающих эти вибраторы токов равен		
20	Пассивный излучатель в системе связанных вибраторов, обеспечивающий максимум излучения в сторону активного вибратора, называется	А. директором Б. облучателем В. рефлектором Г. шунтом	20А 20Б 20В 20Г
21	Для излучения волн с круговой поляризацией микрополосковые антенны	А. не приспособлены Б. возбуждаются квадратурно (в резонаторе присутствуют колебания двух ортогональных линейных поляризаций с равной амплитудой и взаимным фазовым сдвигом $\pm \pi/2$) В. возбуждаются коаксиальной линией Г. должны работать в диапазоне частот не более 10 ГГц	21А 21Б 21В 21Г
22	Несимметричный полуволновый электрический вибратор резонирует на частоте 2.5 ГГц, при этом его длина составляет	А. 12 см Б. 25 мм В. 25 см Г. 12.5 см	22А 22Б 22В 22Г
23	Коэффициент стоячей волны однозначно связан с модулем коэффициента отражения через формулу	А. $1 - \rho $ Б. $\frac{1 - \rho }{1 + \rho }$ В. $\frac{1 + \rho }{1 - \rho }$ Г. $1 + \rho $	23А 23Б 23В 23Г
24	Фронт волны в пирамидальном рупоре имеет	А. сферическую форму Б. плоскую форму В. цилиндрическую форму Г. цилиндрическую форму с образующей, параллельной вектору Н	24А 24Б 24В 24Г
25	Сопротивление излучения полуволнового вибратора приблизительно равно	А. 200 Ом Б. 50 Ом В. 75 Ом Г. 1 кОм	25А 25Б 25В 25Г
26	Одной из целей, преследуемых при создании фазированных антенных решеток, является	А. формирование глубоких минимумов в амплитудной ДН, направляемых на помеху Б. создание тороидальной ДН всей антенной системы В. выравнивание фаз сигналов всех элементов, входящих в ФАР Г. повышение входного сопротивления антенной ре-	26А 26Б 26В 26Г

		шетки	
27	Направление вектора Умова-Пойтинга совпадает с	А. направлением вектора напряженности электрического поля Б. направлением вектора напряженности магнитного поля В. направлением переноса энергии волны Г. направлением вектора магнитной индукции	27А 27Б 27В 27Г
28	Принцип работы развязывающих устройств волноводного типа основан на	А. эффекте Коттона-Мутона Б. эффекте Фарадея В. эффекте Доплера Г. скин-эффекте	28А 28Б 28В 28Г
29	Игольчатой диаграммой направленности обладают: 1) петлевой вибратор, 2) ТЕМ-рупор, 3) зеркальная параболическая антенна, 4) симметричный электрический вибратор, 5) щелевая антенна бегущей волны, 6) турникетный вибратор	А. 2, 3, 5 Б. 1, 4, 6 В. 2, 3, 5, 6 Г. все	29А 29Б 29В 29Г
30	Антенны, у которых может быть выделена плоская поверхность раскрыва, формирующая остро направленное излучение, относятся к	А. вибраторным Б. полосковым В. микрополосковым Г. апертурным	30А 30Б 30В 30Г

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	К проекционным методам анализа СВЧ цепей относятся: А. конечных разностей, Б. Бубнова-Галёркина, В. Трефтца, Г. коллокаций	А. А и Г. Б. В и Г. В. А и Б. Г. Б и В.	1А 1Б 1В 1Г
2	Комплексная векторная нормированная диаграмма направленности антенны НЕ характеризует ее	А. степень согласования. Б. поляризационные свойства. В. фазовые свойства. Г. угловое распределение поля.	2А 2Б 2В 2Г
3	Степень концентрации излучения в направлении максимума амплитудной диаграммы направленности оценивается	А. уровнем боковых лепестков. Б. коэффициентом направленного действия. В. коэффициентом полезного действия. Г. коэффициентом использования поверхностей.	3А 3Б 3В 3Г
4	Излучающая система с равномерным распределением амплитуды возбуждения и	А. идеальным линейным излучателем. Б. антенной решеткой. В. диполем.	4А 4Б

	линейным распределением фазы волны называется	Г. магнитным вибратором.	4В 4Г
5	Способом подавления побочных главных максимумов антенной решетки НЕ является	А. ограничение шага решетки. Б. применение направленных элементов. В. неэквидистантное расположение излучателей. Г. снижение мощности излучения.	5А 5Б 5В 5Г
6	Форма амплитудной диаграммы направленности симметричного электрического вибратора в меридиональной плоскости зависит от	А. входного сопротивления вибратора. Б. положения точек подключения к вибратору генератора. В. распределения тока вдоль вибратора. Г. толщины вибратора.	6А 6Б 6В 6Г
7	Из семейств диаграмм направленности вибратора в меридиональной плоскости для различных l/λ случаю $l = 0.5\lambda$ соответствует кривая	А. 1. Б. 2. В. 3. Г. 4.	7А 7Б 7В 7Г
8	Фазовый центр симметричного электрического вибратора	А. совпадает с его серединой. Б. отсутствует. В. располагается на одном из его концов. Г. обладает сильной дисперсией.	8А 8Б 8В 8Г

9	Множитель направленности двух вибраторов при их равноамплитудном возбуждении и расстоянии между ними $0,25\lambda$ в графическом представлении имеет вид кардиоиды, если сдвиг фаз возбуждающих эти вибраторы токов равен	А. 0. Б. $\pi/2$. В. π . Г. $\pi/4$.	9А 9Б 9В 9Г
10	Пассивный излучатель в системе связанных вибраторов, обеспечивающий максимум излучения в сторону активного вибратора, называется	А. директором. Б. облучателем. В. рефлектором. Г. шунтом.	10А 10Б 10В 10Г

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	Для излучения волн с круговой поляризацией микрополосковые антенны	А. не приспособлены. Б. возбуждаются квадратурно (в резонаторе присутствуют колебания двух ортогональных линейных поляризаций с равной амплитудой и	1А 1Б
---	--	--	----------

		взаимным фазовым сдвигом $\pm \pi / 2$. В. возбуждаются коаксиальной линией. Г. должны работать в диапазоне частот не более 10 ГГц.	1В 1Г
2	Несимметричный полуволновой электрический вибратор резонирует на частоте 2.5 ГГц, при этом его длина составляет	А. 12 см. Б. 25 мм. В. 25 см. Г. 12,5 см.	2А 2Б 2В 2Г
3	Коэффициент стоячей волны однозначно связан с модулем коэффициента отражения через формулу	А. $1 - \rho $. Б. $\frac{1- \rho }{1+ \rho }$. В. $\frac{1+ \rho }{1- \rho }$. Г. $1 + \rho $.	3А 3Б 3В 3Г
4	Фронт волны в пирамидальном рупоре имеет	А. сферическую форму. Б. плоскую форму. В. цилиндрическую форму. Г. цилиндрическую форму с образующей, параллельной вектору Н.	4А 4Б 4В 4Г
5	Сопротивление излучения полуволнового вибратора приблизительно равно	А. 200 Ом. Б. 50 Ом. В. 75 Ом. Г. 1 кОм.	5А 5Б 5В 5Г

6	Одной из целей, преследуемых при создании фазированных антенных решеток, является	А. формирование глубоких минимумов и максимумов в амплитудной ДН, направленных на помеху. Б. создание тороидальной ДН всей антенной системы. В. выравнивание фаз сигналов всех элементов, входящих в ФАР. Г. повышение входного сопротивления антенной решетки.	6А 6Б 6В 6Г
7	Направление вектора Умова-Пойтинга совпадает с	А. направлением вектора напряженности электрического поля. Б. направлением вектора напряженности магнитного поля. В. направлением переноса энергии волны. Г. направлением вектора магнитной индукции.	7А 7Б 7В 7Г
8	Принцип работы развязывающих устройств волноводного типа основан на	А. эффекте Коттона-Муттона. Б. эффекте Фарадея. В. эффекте Доплера. Г. скин-эффекте.	8А 8Б 8В 8Г

9	Игольчатой диаграммой направленности обладают: 1) петлевой вибратор, 2) ТЕМ-рупор, 3) зеркальная параболическая антенна, 4) симметричный электрический вибратор, 5) щелевая антенна бегущей волны, 6) турникетный вибратор.	А. 2, 3, 5. Б. 1, 4, 6. В. 2, 3, 5, 6. Г. все.	9А 9Б 9В 9Г
10	Антенны, у которых может быть выделена плоская поверхность раскрыва, формирующая остронаправленное излучение, относятся к	А. вибраторным. Б. полосковым. В. микрополосковым. Г. апертурным.	10А 10Б 10В 10Г

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Роль и значение устройств СВЧ и антенн в радиотехнических системах и комплексах.
2. Классификация устройства СВЧ и антенн.
3. Характеристики устройств СВЧ: коэффициенты распространения волны, затухания и фазы.
4. Характеристики устройств СВЧ: коэффициенты отражения, бегущей и стоячей волн.
5. Характеристики устройств СВЧ: входное сопротивление линии передачи, коэффициент полезного действия.
6. Характеристики антенн: диаграмма направленности, фазовая и поляризационные характеристики.
7. Характеристики антенн: действующая высота (длина), эффективная площадь (поверхность), коэффициент использования площади.
8. Характеристики антенн: коэффициенты усиления, направ-

ного и полезного действия.

9. Характеристики антенн: сопротивление излучения, входное сопротивление, допускаемая излучаемая мощность.

10. Характеристики антенн: рабочий диапазон частот, шумовая температура.

11. Режимы работы линии передачи без потерь и с потерями.

12. Металлические волноводы. Режимы работы волновода.

13. Прямоугольный волновод.

14. Круглый волновод.

15. Коаксиальный волновод.

16. Полосковые линии передачи.

17. Соединения, изгибы и скрутки линий передачи.

18. Переходы между линиями передачи.

19. Выбор линии передачи.

20. Цели согласования линии передачи с нагрузкой (антенной).

21. Способы и устройства узкополосного согласования.

22. Способы и устройства широкополосного согласования.

23. Симметрирующие устройства.

24. Нагрузки, тройники, направленные ответвители.

25. Мостовые устройства, многоканальные делители мощности, трансформаторы типов волн.

26. Основные свойства ферритов.

27. Ферритовые вентили.

28. Ферритовые циркуляторы.

29. Устройство управления амплитудой СВЧ-колебаний.

30. Симметричный вибратор: распространение тока, диаграмма направленности.

31. Симметричный вибратор: коэффициент направленного действия, действующая высота (длина), сопротивление излучения.

32. Способы подключения симметричного вибратора к фидерному тракту.

33. Антенные решетки. Способы управления диаграммой направленности.

34. Эквилибристическая и неэквилибристическая антенные решетки.

35. Фазированные антенные решетки (ФАР). Активные и пассивные ФАР.

36. ФАР: Схемы последовательного и параллельного питания.

37. Пропускная и отражательная схемы распределения мощности (распределители оптического типа).

38. Многолучевые антенные решетки. Последовательная и параллельная диаграммообразующие схемы (ДОС).
39. Адаптивные антенные решетки.
40. Рупорные антенны.
41. Зеркальные антенны.
42. Линзовые антенны.
43. Облучатели зеркальных антенн.
44. Параболический цилиндр (параболоцилиндрическая антенна).
45. Косекансная антенна.
46. Передающие телевизионные антенны.
47. Приемные телевизионные антенны.
48. Антенны для радиорелейных линий.
49. Антенны для спутниковой и космической радиосвязи.
50. Антенны для мобильной (подвижной) радиосвязи.
51. Методы решения задач синтеза антенн.
52. Математическое моделирование устройств СВЧ и антенн.
53. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ и антенн.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену *Не предусмотрено учебным планом*

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос оценивается 5 баллами, задача оценивается 10 баллами. Максимальное количество набранных баллов – 25.

Оценка «незачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 10 баллов.

Оценка «зачтено» ставится, если студент набрал от 10 до 25 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Классификация, характеристики и параметры устройств СВЧ и антенн	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет
2	Линии передачи СВЧ	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет
	Согласование линии передачи СВЧ с		Тест, защита лабора-

3	нагрузкой и симметрирование	ПК-5	торных работ, устный опрос, зачет
4	Устройства СВЧ	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет
5	Симметричный вибратор	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет
6	Антенные решётки	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет
7	Апертурные антенны СВЧ	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет
8	Антенны для телевидения, радиорелейных линий, спутниковой и космической радиосвязи	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет
9	Расчет и проектирование устройств СВЧ и антенн	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос, зачет

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Тип носителя (печ. / электр.)	Наименование	Автор, название, место издания, издательство, год издания, URL (для фонда ЭБС)	Кол-во экз. / точек доступа	Книгообеспеченность
Печ	Учебник	Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник / Г.А. Ерохин, О.В. Чернышов, Н.Д. Козырев, В.Г. Кочержевский. Под ред. Г.А. Ерохина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 491 с.	50	0,8
Печ.	Учебное пособие	Фельд Я.Н. Основы теории антенн: учеб. пособие. – М.: Дрофа, 2007. – 491 с.	50	0,8
Электр.		Антенны / Ю.Т. Зырянов, П.А. Федюнин, О.А. Белоусов и др. – СПб.: Лань, 2020. – 412 с. URL: https://e.lanbook.com/book/133478	Неогр.	1
Электр.	Учебное пособие	Антенно-фидерные устройства [электронный ресурс]: учеб. пособие. Электрон. текстовые, граф. дан. (9000 Кб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. – 1 файл.	Неогр.	1
Печ.	Лаборат. практикум	Зеленин И.А. Волноводы, циркуляторы и антенны: лабораторный практикум / И.А. Зеленин; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – 367 с.	50	0,8

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1.2.1. Компьютерные практические работы:

Автоматизированное проектирование антенн: специализированное программное обеспечение для компьютерного моделирования устройств СВЧ и антенн SuperNec 2.5.

1.2.2. Мультимедийные видеофрагменты:

- Как работает спутниковая антенна.
- L110.16D Антенна активная.
- Антенна Кассегрена.
- Антенна Уда-Яги.
- Виды моторизированной антенны.
- Рамочная антенна.
- Диаграмма направленности антенны.
- Спиральная антенна.
- Выбор мотоподвеса спутниковой антенны.
- Коэффициент направленного действия антенны
- Штыревая антенна.
- Направление спутниковой антенны.
- Всеволновая телевизионная антенна L113.20.
- Мотоподвес спутниковой антенны.
- Активные антенны Locus
- Турникетная антенна.
- Телевизионная антенна L023.09.
- Всеволновая телевизионная антенна L024.12.
- Ферритовая антенна.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

- 9.1. Специализированная лекционная аудитория**, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций, проекционной аппаратурой и интерактивными досками.
- 9.2 Учебная лаборатория:** «Антенны и СВЧ-устройства».
- 9.3 Стенды для измерения направленных свойств антенн и исследования характеристик передачи устройств СВЧ:** 4 лабораторных стенда, включающих панорамные измерители КСВН и ослаблений в СВЧ-диапазоне, генераторы СВЧ, измерительные линии и осциллографы, а также устройства СВЧ (аттенюаторы, вентили, ферритовые поляризаторы, р-і-п-диодные модуляторы, звуковые генераторы, цифровые вольтметры и источники питания).
- 9.4 Установка для измерения диаграмм направленности антенн СВЧ**, включающая опорноповоротное устройство, измерительный усилитель, цифровой вольтметр, анализатор спектра (измеритель мощности/ детектор СВЧ-колебаний), а также генератор СВЧ, эталонную рупорную антенну и комплект исследуемых антенн СВЧ.
- 9.5 Дисплейный класс**, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума, 6 рабочих мест для компьютерного моделирования устройства СВЧ и антенн (требования к ПК – тактовая частота не ниже 2 ГГц, ОЗУ не менее 4 Гб.).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основой изучения дисциплины «Устройства СВЧ и антенны» являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета устройств СВЧ и антенн. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой контрольной работы, защитой контрольной работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой, зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
	Актуализирован перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	20.04.2025	