МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета _____ Небольсин В.А.
«16» декабря 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Проектирование СВЧ устройств и антенн»

Направление подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

Профиль Проектирование и технология радиоэлектронных средств

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года 11 месяцев

Форма обучения Очная / Заочная

Год начала подготовки 2023

Автор программы _____ А.С. Самодуров

Заведующий кафедрой _____ Башкиров А.В.

Руководитель ОПОП _____ Пирогов А.А.

Воронеж 2022

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели дисциплины: формирование компетенций в области проектирования устройств СВЧ и антенн, а также в области экспериментального исследования их характеристик.

1.2.Задачи освоения дисциплины:

- изучение теории излучения, распространения и приема электромагнитных волн;
- изучение конструкции и принципов функционирования СВЧ трактов и антенн;
- освоение аналитических и численных методов расчета устройств СВЧ и антенн;
- ознакомление с современными методами проектирования СВЧ устройств и антенн.

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Проектирование СВЧ устройств и антенн» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 учебного плана.

3 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Проектирование СВЧ устройств и антенн» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 – Способен выполнять проектирование радиоэлектронных устройств в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	знать принципы функционирования устройств СВЧ и антенн, аналитические и численные методы их расчета, конструкции типовых узлов тракта и типов антенн;
	уметь выполнять расчеты основных характеристик элементов СВЧ тракта и параметров антенн различных типов;
	владеть приемами экспериментального исследования характеристик устройств СВЧ и антенн, методами обработки результатов эксперимента.

4 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Проектирование СВЧ устройств и антенн» составляет 4 зачётные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	90	90
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа	54	54
Курсовой проект (работа)		
Контрольная работа		
Вид промежуточной аттестации –зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость час	144	144
зач. ед.	4	4

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	20	20
В том числе:		
Лекции	8	8
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Самостоятельная работа	120	120
Курсовой проект (работа)		
Контрольная работа		
Вид промежуточной аттестации –зачет с оценкой	4	4
Общая трудоемкость час	144	144
зач. ед.	4	4

5 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Уравнения Максвелла. Поля на границах раз-	Общие сведения об электромагнитном поле. Основные понятия и опре-	4	2	4	6	16

	дела сред.	деления. Векторные характеристики электромагнитного поля. Электромагнитные параметры среды. Классификация материальных сред. Закон полного тока. Классификация электромагнитных полей. Разграничение сред по признаку электропроводности. Первое уравнение Максвелла. Закон электромагнитной индукции. Второе уравнение Максвелла. Теорема Гаусса. Третье и четвертое уравнения Максвелла. Закон сохранения заряда. Уравнение непрерывности. Полная система уравнений электродинамики. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Общие свойства направляемых волн. Падение плоской волны с параллельной поляризацией. Падение плоской волны с перпендикулярной поляризацией. Структура электромагнитного поля Е- и Н-волн. Некоторые характеристики электромагнитного поля Е- и Н-волн.					
2	Исследование электромагнитных волн при прохождении через границу раздела сред	Связь между продольными и поперечными составляющими векторов поля направляемых волн. Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия на поверхности идеального диэлектрика и идеального проводника. Нормальное падение плоской электромагнитной волны на границу раздела сред. Наклонное падение плоской электромагнитной волны на границу раздела сред. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе диэлектрик–диэлектрик. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе диэлектрик–проводник. Скин–эффект.	4	2	4	6	16
3	Устройства СВЧ	Двухполюсники. Простейшие четырехполюсники. Фильтры СВЧ. Устройства широкополосного согласования. Шестиполюсники. Направленные ответвители. Мостовые устройства СВЧ. Магнитные свойства ферритовых материалов. Фазовращатели. Вентили. Циркуляторы. Управляемые фильтры. Устройства на магнитостатических волнах.	4	2	4	6	16
4	Антенны различных диапазонов волн .	Классификация, основные характеристики и параметры антенн. Симметричный вибратор в свободном пространстве. Основные характеристики и параметры симметричного вибратора. Линейная антенная решетка на основе ненаправленных излучателей. Антенные решетки различных типов. Понятие о синтезе антенн.	4	2	4	6	16
5	Принципы функционирования и конструкции антенн КВ диапазона	Несимметричные вибраторные антенны. Горизонтальный и наклонный симметричные вибраторы. Пеленгаторные антенны. Проволочные антенны бегущей волны.	4	2	4	6	16

6	Принципы функционирования и конструкции антенн УКВ диапазона	Вибраторные антенны. Спиральные и зигзагообразные антенны. Рамочные антенны. Щелевые антенны. Антенны поверхностных волн.	4	2	4	6	16
7	Принципы функционирования и конструкции антенн СВЧ диапазона	Основы теории антенн СВЧ. Рупорные антенны. Рупорные антенны. Зеркальные антенны.	4	2	4	6	16
8	Фазированные антенные решетки	Общие сведения о фазированных антенных решетках (ФАР). Способы электрического качания луча в ФАР.	4	2	4	6	16
9	Электромагнитные колебания в оптических резонаторах.	Принципиальная необходимость применения открытого резонатора в диапазоне оптических волн. Волновая теория открытого резонатора. Устойчивость открытых резонаторов. Частотный спектр открытого резонатора. Вырождение оптических колебаний в открытых резонаторах. Ввод и вывод электромагнитной энергии оптических колебаний в открытых резонаторах.	4	2	4	6	16
		Итого	**36**	**18**	**36**	**54**	**144**

Заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Уравнения Максвелла. Поля на границах раздела сред.	Общие сведения об электромагнитном поле. Основные понятия и определения. Векторные характеристики электромагнитного поля. Электромагнитные параметры среды. Классификация материальных сред. Закон полного тока. Классификация электромагнитных полей. Разграничение сред по признаку электропроводности. Первое уравнение Максвелла. Закон электромагнитной индукции. Второе уравнение Максвелла. Теорема Гаусса. Третье и четвертое уравнения Максвелла. Закон сохранения заряда. Уравнение непрерывности. Полная система уравнений электродинамики. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Общие свойства направляемых волн. Падение плоской волны с параллельной поляризацией. Падение плоской волны с перпендикулярной поляризацией. Структура электромагнитного поля Е- и Н-волн. Некоторые характеристики электромагнитного поля Е- и Н-волн.	1		1	14	16
2	Исследование электромагнитных волн при прохождении через границу раздела сред	Связь между продольными и поперечными составляющими векторов поля направляемых волн. Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия на поверхности идеального диэлектрика и идеального проводни-	1		1	13	15

		ка. Нормальное падение плоской электромагнитной волны на границу раздела сред. Наклонное падение плоской электромагнитной волны на границу раздела сред. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе диэлектрик–диэлектрик. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе диэлектрик–проводник. Скин–эффект.					
3	Устройства СВЧ	Двухполюсники. Простейшие четырехполюсники. Фильтры СВЧ. Устройства широкополосного согласования. Шестиполюсники. Направленные ответвители. Мостовые устройства СВЧ. Магнитные свойства ферритовых материалов. Фазовращатели. Вентили. Циркуляторы. Управляемые фильтры. Устройства на магнитостатических волнах.	1		1	13	15
4	Антенны различных диапазонов волн .	Классификация, основные характеристики и параметры антенн. Симметричный вибратор в свободном пространстве. Основные характеристики и параметры симметричного вибратора. Линейная антенная решетка на основе ненаправленных излучателей. Антенные решетки различных типов. Понятие о синтезе антенн.	1		1	13	15
5	Принципы функционирования и конструкции антенн КВ диапазона	Несимметричные вибраторные антенны. Горизонтальный и наклонный симметричные вибраторы. Пеленгаторные антенны. Проволочные антенны бегущей волны.	1	1	1	14	17
6	Принципы функционирования и конструкции антенн УКВ диапазона	Вибраторные антенны. Спиральные и зигзагообразные антенны. Рамочные антенны. Щелевые антенны. Антенны поверхностных волн.	1	1	1	13	16
7	Принципы функционирования и конструкции антенн СВЧ диапазона	Основы теории антенн СВЧ. Рупорные антенны. Рупорные антенны. Зеркальные антенны.	1	1	1	14	17
8	Фазированные антенные решетки	Общие сведения о фазированных антенных решетках (ФАР). Способы электрического качания луча в ФАР.		1		13	14
9	Электромагнитные колебания в оптических резонаторах.	Принципиальная необходимость применения открытого резонатора в диапазоне оптических волн. Волновая теория открытого резонатора. Устойчивость открытых резонаторов. Частотный спектр открытого резонатора. Вырождение оптических колебаний в открытых резонаторах. Ввод и вывод электромагнитной энергии оптических колебаний в открытых резонаторах.	1		1	13	15
		Итого	**8**	**4**	**8**	**120**	**140**

Практическая подготовка при освоении дисциплины учебным планом не предусмотрена.

5.2 Перечень лабораторных работ

1.Волноводные устройства
2. Переходы волновых устройств
3. Устройства для экранирования электромагнитных полей
4. Исследование непостоянства связи и отражений в волноводной измерительной линии
5. Согласующие волноводные устройства
6. Исследование объемного резонатора
7. Исследование рупорных и рупорно-линзовых антенн
8. Исследование параметров открытых оптических резонаторов
9. Исследование энергетических характеристик излучения лазер

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-2	знать принципы функционирования устройств СВЧ и антенн, аналитические и численные методы их расчета, конструкции типовых узлов тракта и типов антенн;	Активная работа на лабораторных и практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выполнять расчеты основных характеристик элементов СВЧ тракта и параметров антенн различных типов;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть приемами экспериментального исследования характеристик устройств СВЧ и антенн, методами обработки результатов эксперимента.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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 5 семестре для очной формы обучения и в 7 семестре для заочной формы обучения по системе:

«отлично»;
«хорошо»;
«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-2	знать принципы функционирования устройств СВЧ и антенн, аналитические и численные методы их расчета, конструкции типовых узлов тракта и типов антенн;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь выполнять расчеты основных характеристик элементов СВЧ тракта и параметров антенн различных типов;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть приемами экспериментального исследования характеристик устройств СВЧ и антенн, методами обработки результатов эксперимента.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

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

1. Два точечных заряда взаимодействуют с силой 8 мН. Какова будет сила взаимодействия (в мН) между зарядами, если, не меняя расстояния между ними, величину каждого из зарядов увеличить в 2 раза?

а) 16;
б) 24;
в) 32;
г) 44;
д) нет правильного ответа.

2. Два одинаковых по размеру металлических шарика несут заряды 7 мкКл и −3 мкКл. Шарики привели в соприкосновение и развели на некоторое расстояние, после чего сила их взаимодействия оказалась равной 40 Н. Определите это расстояние (в см).

а)13;
б)2;
в)1;
г)0,5;
д) 0,3.

3. Плоская гармоническая волна ТЕМ распространяется по направлению оси z и при z = 0 переходит из одного диэлектрика в другой. Ось *y* параллельна направлению вектора E

Параметры среды:

для < 0 = 1, = 1, = 0 z1ε1μ1σ

для > 0 = 4, = 4, = 0 z2ε 2μ 2σ

Частота волны = 3 ГГц, амплитуда вектора напряженности электрического поля при = 0 = 1 мВ/м. *f z mE*

Найти величину векторов напряженности электрического и магнитного полей.

а) $E_{ml} = 1{,}5 \cdot 10^{-3} e^{-j120\pi z} + 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j120\pi z}$ В/м,

$H_{ml} = 3{,}98 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j120\pi z} + 1.3 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j120\pi z}$ А/м,

б) $E_{ml} = 1{,}5 \cdot 10^{-3} e^{j120\pi z} + 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j120\pi z}$ В/м,

$H_{ml} = 3{,}98 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j120\pi z} + 1.3 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j120\pi z}$ А/м,

в) $E_{ml} = 1{,}5 \cdot 10^{-3} e^{-j120\pi z} + 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j120\pi z}$ В/м,

$H_{ml} = 3{,}98 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-j120\pi z} + 1.3 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-j120\pi z}$ А/м,

г) $E_{ml} = 0{,}5 \cdot 10^{-3} e^{-j120\pi z} + 1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j120\pi z}$ В/м,

$\mathbf{H_{ml} = 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-j120\pi z} + 3.98 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j120\pi z}}$ А/м

4. Кабель РК-75 длиной 14,5 м с изоляцией из полиэтилена (ε = 2,3) замкнут накоротко и питается генератором с частотой 50 МГц. Определить входное сопротивление кабеля

а) $z = -j75$ Ом

б) $z = j75$ Ом

в) $z = 10 + j75$

г) $\boldsymbol{z = -j25}$

5. Линия без потерь имеет волновое сопротивление $\boldsymbol{\rho}$= 100 Ом и нагружена на чисто индуктивное сопротивление, равное $X_н$ = 50 Ом. Найти входное сопротивление линии на частоте *f* = 3 МГц при длине линии *l* = 5 м

а) $\mathbf{z = -j98}$ **Ом**

б) $\mathbf{z = j98}$ **Ом**

в) $\mathbf{z = 13 + j75}$

г) $\mathbf{z = 13 + j75}$

6. От каких параметров зависит волновое сопротивление коаксиального кабеля

а) только от диэлектрической проницаемости диэлектрика;

б) от диэлектрической проницаемости диэлектрика и толщины внутреннего проводника;

в) от диэлектрической проницаемости диэлектрика и отношения диаметров внешнего и внутреннего проводников;

г) от отношения диаметров внешнего и внутреннего проводников.

7. Какое волновое сопротивление должен иметь кабель четверть волнового трансформатора для согласования активных сопротивлений 100 и 50 Ом

а) 50 Ом

б)75 Ом

в) 30 Ом

г) 71 Ом

8. Какие типы волн могут распространяться в заполненном воздухом прямоугольном волноводе сечением , b ×a = 5 × 2 5 см при частоте f = 7, 5 ГГц.

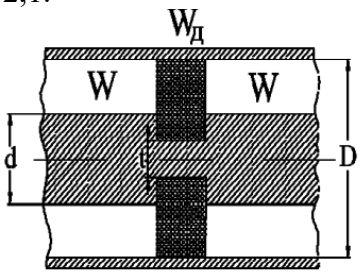
а) H_{10} , H_{20}, H_{11};

б) H_{10}, $H_{20,}$ H_{01}, H_{11}, E_{11};

в) H_{10}, H_{20}, H_{01}, H_{11}, E_{11}, E_{01};

г) H_{10}, H_{20}, H_{01}, H_{11}

9. Для крепления внутреннего проводника в центре коаксиальной линии используют диэлектрические шайбы. Скачок волнового сопротивления линии на участке шайбы вызовет появление отраженных от нее волн. Эскиз неотражающей шайбы показан на рисунке. Определить диаметр внешнего проводника D и глубину кольцевой проточки t , если диаметр центрального проводника d = 3 мм, волновое сопротивление линии W= 50 Ом, а шайба изготовлена из фторопласта -4 с ε = 2,1.



а) = 7,2 = 2,2 мм;мм, *D t*

б) = 6.3 мм, = 2,02 мм; *D t*

в) = 6,9 = 2,06 мм; мм, *D t*

г) = 8,1 = 2,43 мм. мм, *D t*

10. Предельная мощность, которую можно передать по волноводу МЭК-100 сечением a × b = 23 × 10 мм на частоте *f* = 9375 МГц, если волновод заполнен воздухом. Равна

а) 41 кВт;

б) 309 кВт;

в) 110 кВт;

г) 126 кВт.

11. Определить критическую длину волны в круглом волноводе, в котором распространяется волна H_{11} с частотой *f* = 10 ГГц при длине волны в волноводе λ = 4,5 см. Найти диаметр волновода.

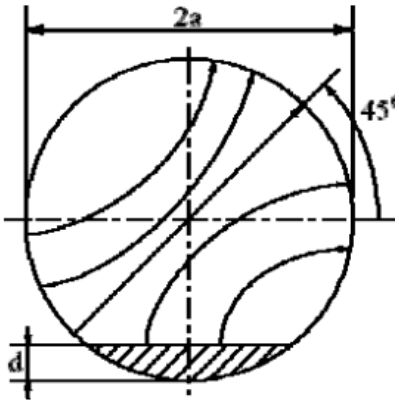
а) λ = 4,71 см, D= 2,66 см;

б) λ = 4,89 см, D= 2,64 см;

в) λ = 4,03 см, D= 2,36 см;

г) λ = 3,79 см, D= 2,06 см;

12. В круглом волноводе с волной H_{11} имеется металлическая вставка длиной *l* Ориентация вставки относительно структуры поля распространяющейся волны показана на рисунке. Толщина вставки $\boldsymbol{d = 3}$ мм, радиус волновода *a = 2 см*, частота волны *f=5,5 ГГц.* Определить длину вставки для получения круговой поляризации волны H_{11}



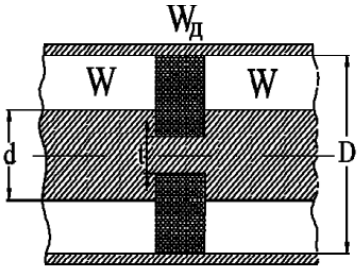
а) 16,2см;

б) 10,5 см;

в) 14,1 см;

г) 13,68 см.

13. Для крепления внутреннего проводника в центре коаксиальной линии используют диэлектрические шайбы. Скачок волнового сопротивления линии на участке шайбы вызовет появление отраженных от нее волн. Эскиз неотражающей шайбы показан на рисунке. Определить диаметр внешнего проводника D и глубину кольцевой проточки t , если диаметр центрального проводника d = 3 мм, волновое сопротивление линии W= 50 Ом, а шайба изготовлена из фторопласта -4 с ε = 2,1.



а) = 7,2 = 2,2 мм;мм, *D t*

б) = 6.3 мм, = 2,02 мм; *D t*

в) = 6,9 = 2,06 мм; мм, *D t*

г) = 8,1 = 2,43 мм. мм, *D t*

14. Предельная мощность, которую можно передать по волноводу МЭК-100 сечением a × b = 23 × 10 мм на частоте *f* = 9375 МГц, если волновод заполнен воздухом. Равна

а) 41 кВт;

б) 309 кВт;

в) 110 кВт;

г) 126 кВт.

15. Определить критическую длину волны в круглом волноводе, в котором распространяется волна H_{11} с частотой *f* = 10 ГГц при длине волны в волноводе λ = 4,5 см. Найти диаметр волновода.

а) λ = 4,71 **см**, D= 2,66 см;

б) λ = 4,89 см, D= 2,64 см;

в) λ = 4,03 см, D= 2,36 см;

г) λ = 3,79 см, D= 2,06 см;

г) 13,68 см.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету с оценкой

1. Электромагнитное поле. Основные характеристики поля и среды. Материальные уравнения.

2. Уравнения электромагнитного поля в дифференциальной и интегральной формах

3. Сторонние источники поля и полная система уравнений Максвелла.

4. Уравнения Максвелла относительно комплексных амплитуд. Комплексная диэлектрическая проницаемость.

5. Система уравнений стационарного электромагнитного поля. Общие понятия электростатики.

6. Поля, заряды и токи на границах.

7. Граничные условия для нормальных и тангенциальных составляющих векторов поля.

8. Граничные условия на поверхности идеального проводника.

9. Энергии электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга и вектор Пойнтинга.

10.Понятие комплексного вектора Пойнтинга. Средний за период баланс энергии электромагнитного поля

11.Волновые уравнения для плоской электромагнитной волны

12.Плоские волны в непоглощающей и поглощающей среде.

13.Поляризация плоских электромагнитных волн.

14.Наклонное падение плоских волн. Формулы Френеля.

15.Нормальное падение плоских волн. Приближённые граничные условия Щукина-Леонтовича

16.Природа проявления анизотропии в продольно- и поперечно - намагниченном феррите

17.Поворот плоскости поляризации в продольно - намагниченном феррите (Эффект Фарадея)

18.Эффект Каттона-Мутона

19.Понятие об элементарных источниках поля.

20.Методы решений уравнений Максвелла. Электродинамические потенциалы.

21.Расчёт поля элементарного электрического диполя

22.Принцип перестановочной двойственности. Поле элементарного магнитного диполя и его характеристики

23.Метод зеркальных изображений.

24.Поле элемента Гюйгенса и его диаграмма направленности

25.Первичные параметры длинных линий.

26.Телеграфные уравнения длинной линии.

27.Режимы работы длинных линий

28.Назначение и состав типового тракта СВЧ.

29.Способы описания многополюсников СВЧ. Классификация многополюсников СВЧ.

30.Соединительные устройства СВЧ. Трансформаторы и фильтры типов волн.

31.Мостовые соединения СВЧ.

32.Направленные ответвители.

33.Аттенюаторы и фазовращатели.

34.Циркуляторы.

35.Частотные фильтры СВЧ и их характеристики.

36.Методы согласования линий передачи. Узкополосное согласование. Понятие о широкополосном согласовании.

37.Основные определения. Классификация и общие свойства направляемых волн

38.Распространяющиеся и местные поля в волноводах. Возбуждение полей в волноводах

39.Типы и спектр волн прямоугольного волновода. Характеристики прямоугольного волновода на основной волне

40.Электромагнитные поля в круглом волноводе

41.Спектр волн и основная волна круглого волновода

42.Назначение и устройство коаксиальных ЛП

43.Основная волна и электрические характеристики коаксиальных ЛП

44.Полосковые линии передачи и их основные характеристики.

45.Оптико-волоконные линии передачи и их основные характеристики.

46.Основные свойства поля в замедляющих структурах

47.Способы и условия замедления фазовой скорости направляемых волн. Особенности структуры поля над замедляющей поверхностью

48.Пространственные гармоники в замедляющих структурах. Конструкции замедляющих структур.

49.Общая теория электромагнитных резонаторов. Свойства и характеристики резонаторов различной формы

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 с оценкой проводится по билетам, каждый из которых содержит 2 теоретических вопроса.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент продемонстрировал:

-отсутствие знаний значительной части программного материала;

-неправильный ответ хотя бы на один из основных вопросов, существенные и грубые ошибки в ответах на остальные вопросы, непонимание сущности излагаемых вопросов

-неумение применять теоретические знания при решении практических задач, отсутствие навыков в использовании математического аппарата.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент продемонстрировал:

-знание основного материала учебной дисциплины без частных особенностей и основных положений смежных дисциплин;

-правильные, без грубых ошибок, ответы на поставленные вопросы;

-умение применять теоретические знания к решению основных практических задач, ограниченное использование математического аппарата;

-слабые навыки, необходимые для решения практических задач, связанных с предстоящей профессиональной деятельностью.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент продемонстрировал:

-достаточно полные и твердые знания всего программного материала учебной дисциплины, правильное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов, достаточно полные знания основных положений смежных дисциплин;

-последовательные, правильные, конкретные, без существенных неточностей ответы на поставленные вопросы, свободное устранение замечаний в недостаточно полном освещении отдельных положений при постановке дополнительных вопросов;

-умение самостоятельно анализировать изучаемые явления и процессы, применять основные теоретические положения и математический аппарат к решению практических задач;

-достаточно твердые навыки и умения, обеспечивающие решение практических задач, связанных с предстоящей профессиональной деятельностью.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент продемострировал:

-глубокие и твердые знания всего программного материала учебной дисциплины, глубокое понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов, твердые знания основных положений смежных дисциплин;

-четкие, лаконичные, логически последовательные, полные, правильные и конкретные ответы на поставленные вопросы;

-умение самостоятельно анализировать и прогнозировать рассматриваемые явления и процессы в их взаимосвязи и диалектическом развитии, использовать математический аппарат и применять теоретические положения к решению практических задач, делать правильные выводы из полученных результатов;

-твердые навыки, обеспечивающие решение практических задач, связанных с предстоящей профессиональной деятельностью.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Уравнения Максвелла. Поля на границах раздела сред.	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой
й	Исследование электромагнитных волн при прохождении через границу раздела сред	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой
3	Устройства СВЧ	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой
4	Антенны различных диапазонов волн	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой
5	Принципы функционирования и конструкции антенн КВ диапазона	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой
6	Принципы функционирования и конструкции антенн УКВ диапазона	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой

7	Принципы функционирования и конструкции антенн СВЧ диапазона	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой
8	Фазированные антенные решетки	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой
9	Электромагнитные колебания в оптических резонаторах.	ПК-2	Тест, устный опрос, зачет с оценкой

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 методики 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 методики 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 методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Тяжлов, В. С. Проектирование СВЧ-усилителей на GaAs полевых транзисторах : учебно-методическое пособие для студентов факультета нано- и биомедицинских технологий / В. С. Тяжлов, В. Н. Посадский. - Проектирование СВЧ-усилителей на GaAs полевых транзисторах ; 2025-08-25. - Саратов : Издательство Саратовского университета, 2019. - 36 с. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 25.08.2025 (автопролонгация). - ISBN 978-5-292-04601-1. URL: http://www.iprbookshop.ru/99039.html
2. Филатов И.А. Волноводные устройства и их переходы. Методические указания к лабораторной работе № 1,2 по дисциплине «Техническая электродинамика» для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения, 2009 г.– Режим доступа: ВУ и их переходы
3. Устройства для экранирования электромагнитных волн [Электронный ресурс] : Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3 по курсу "Техническая электродинамика" для студентов специальности

211000.62 "Конструирование и технология радиоэлектронных средств" дневной и заочной форм обучения / Каф. радиоэлектронных устройств и систем; Сост. Ю. В. Худяков. - Электрон. текстовые, граф. дан. (339 Кб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2015.– Режим доступа: Л.р.3 ТЭ

4. Организация самостоятельной работы обучающихся : методические указания для студентов, осваивающих основные образовательные программы высшего образования – бакалавриата, специалитета, магистратуры: методические указания / сост. В.Н. Почечихина, И.Н. Крючкова, Е.И. Головина, В.Р. Демидов; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет ». – Воронеж, 2020. – 14 с. – Режим доступа: 10-2020 Организация самостоятельной работы обучающихся
5. Согласующие волноводные устройства [Электронный ресурс] : Методические указания к выполнению лабораторной работы № 5 по курсу "Техническая электродинамика" для студентов специальности 211000.62 "Конструирование и технология радиоэлектронных средств" очной и заочной форм обучения / Каф. радиоэлектронных устройств и систем; Сост. Ю. В. Худяков. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,1 Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2015.– Режим доступа: ЛР5 ТЭ

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:

Перечень ПО, включая перечень лицензионного программного обеспечения:

ОС Windows 7 Pro;
Google Chrome;
Microsoft Office 64-bit
Компас 3D;
DesignSpark PCB;
Altium Designer;
EasyEDA

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

http://window.edu.ru – единое окно доступа к информационным ресурсам;
http://www.edu.ru/ – федеральный портал «Российское образование»;
Образовательный портал ВГТУ;
http://www.iprbookshop.ru/ – электронная библиотечная система IPRbooks;
www.elibrary.ru – научная электронная библиотека

Профессиональные базы данных, информационные справочные системы:

https://docplan.ru/ – бесплатная база ГОСТ

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Учебная аудитория (компьютерный класс) для проведения лекционных и практическх занятий, оснащенная следующим оборудованием:

– персональные компьютеры с установленным ПО, подключенные к сети Интернет — 11 шт.;
– принтер цветной лазерный;
– 3D принтер «Альфа-2»;
– доска магнитно-маркерная поворотная;
– цифровой осциллограф DS1052E – 3 шт.;
– анализатор спектра DSA815;
– генератор VC2002;
– источник питания DP832 – 4 шт.;
– источник питания HY 1503D 2 LCD – 6 шт.;
– мультиметр DM3058E – 3 шт.

Учебная аудитория (лаборатория) для проведения лабораторных занятий, оснащенная следующим оборудованием:

– персональные компьютеры с установленным ПО, эмуляторами КР580 и EMURK286, подключенные к сети Интернет — 14 шт.;
– источник питания HY3020E- 9350 – 6 шт.;
– источник питания Б5-49 – 3 шт.;
– осциллограф GDS – 5 шт.;
– осциллограф цифровой запоминающий ОЦ3С02;
– универсальный генератор сигналов DG1022 – 4 шт.;
– цифровой осциллограф MSO2072A;
– электронная программируемая нагрузка AEL-8320 – 4 шт.;
– вольтметр В7-16А;
– частотомер MS6100;
– частотомер Ч3-35А

Помещение (Читальный зал) для самостоятельной работы с выходом в сеть «Интернет» и доступом в электронно-библиотечные системы и электронно-информационную среду, укомплектованное следующим оборудованием:

– персональные компьютеры с установленным ПО, подключенные к сети Интернет — 10 шт.;
– принтер;
– магнитно-маркерная доска;
– переносные колонки;
– переносной микрофон.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Проектирование СВЧ устройств и антенн» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе. Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе. Лекции представляет собой систематическое, последовательное изложение учебного материала. Это – одна из важнейших форм учебного процесса и один из основных методов преподавания в вузе. На лекциях от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. Качественный конспект должен легко восприниматься зрительно, в эго тексте следует соблюдать абзацы, выделять заголовки, пронумеровать формулы, подчеркнуть термины. В качестве ценного совета рекомендуется записывать не каждое слово лектора (иначе можно потерять мысль и начать писать автоматически, не вникая в смысл), а постараться понять основную мысль лектора, а затем записать, используя понятные сокращения

- Практические занятия позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности практических занятий для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомится с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.

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

Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения 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 типовых расчетов;
- работа над темами для самостоятельного изучения;
- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;
- подготовка к зачетам и экзаменам.

Кроме базовых учебников рекомендуется самостоятельно использовать имеющиеся в библиотеке учебно-методические пособия. Независимо от вида учебника, работа с ним должна происходить в течение всего семестра. Эффективнее работать с учебником не после, а перед лекцией.

При ознакомлении с каким-либо разделом рекомендуется прочитать его

целиком, стараясь уловить общую логику изложения темы. При повторном чтении хорошо акцентировать внимание на ключевых вопросах и основных теоремах (формулах). Можно составить их краткий конспект.

Зачет – форма проверки знаний и навыков, полученных на лекционных и практических занятиях. Сдача всех зачетов, предусмотренных учебным планом на данный семестр, является обязательным условием для допуска к экзаменационной сессии.

Для успешной сдачи зачёта с оценкой необходимо выполнить следующие рекомендации –готовиться к такому зачёту следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до зачёта с оценкой. Данные перед экзаменом три-четыре дня эффективнее всего использовать для повторения

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 удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
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, ознакомится 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

(зачету с оценкой)	начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.