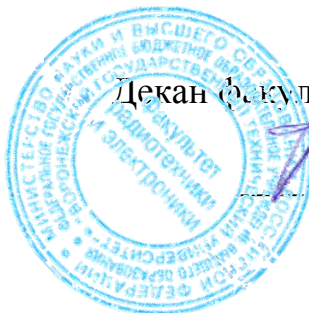


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники и электроники

_____/ В.А. Небольсин /
« 19 » июня 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Электродинамика»**

Направление подготовки (специальность) 12.03.01 «Приборостроение»

Профиль (специализация) «Приборостроение»

Квалификация выпускника Бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 5 лет

Форма обучения Очная / Заочная

Год начала подготовки 2020 г.

Автор программы _____ /Самодуров А.С./

Заведующий кафедрой
конструирования и производства
радиоаппаратуры _____ /Башкиров А.В./

Руководитель ОПОП _____ /Муратов А.В./

Воронеж 2020

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Теоретическое освоение основных разделов теории электромагнитного поля, линий передач СВЧ и физически обоснованное использование теории электромагнитного поля при проектировании СВЧ устройств приборов в соответствии с заданными требованиями и подготовки соответствующей конструкторской документации (КД).

1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение принципа действия основных разделов теории электромагнитного поля, линий передач СВЧ и физически обоснованное использование теории электромагнитного поля при проектировании СВЧ устройств приборов. Изучение представления в КД конструкций различных СВЧ устройств.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Электродинамика» относится к дисциплинам вариативной части блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Электродинамика» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - готовность проектировать и конструировать типовые детали и узлы с использованием стандартных средств компьютерного проектирования.

ПК-5 - способность выполнять математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	Знать: основы теории электромагнитного поля, основные характеристики направляемых электромагнитных волн.
	Уметь: Уметь осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования линий передачи СВЧ.
	Владеть: навыками работы по исследованию структуры электромагнитного поля.
ПК-5	Знать: основы теории электрических СВЧ-цепей, основные характеристики линий передачи СВЧ.
	Уметь: выполнять расчет и проектирование линий передачи СВЧ для электронных средств в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.

	Владеть: навыками проведения расчетов основных характеристик линий передачи СВЧ.
--	---

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Электродинамика» составляет 6 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		8			
Аудиторные занятия (всего)	72	72			
В том числе:					
Лекции	24	24			
Практические занятия (ПЗ)					
Лабораторные работы (ЛР)	48	48			
Самостоятельная работа	117	117			
Курсовой проект	+	+			
Контрольная работа					
Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой					
Вид промежуточной аттестации – экзамен	+	+			
Общая трудоемкость час экзамен. ед.	216	189			
		27			

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		5			
Аудиторные занятия (всего)	24	24			
В том числе:					
Лекции	8	8			
Практические занятия (ПЗ)					
Лабораторные работы (ЛР)	16	14			
Самостоятельная работа	183	183			
Курсовой проект	+	+			
Контрольная работа					
Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой					

Вид промежуточной аттестации – экзамен	+	+			
Общая трудоемкость	216	207			
зач. ед.		5			
эksam. ед.		9			

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	Введение. Предмет и задачи дисциплины.	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.	2	4	9	15
2	Основные уравнения электромагнитного поля.	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.	2	4	10	16
3	Энергия электромагнитного поля.	Электродинамические потенциалы. Калибровка потенциалов. Элементарный электрический излучатель. Диполь Герца. Основные параметры, характеризующие элементарный электрический излучатель. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный излучатель. Сторонние источники электромагнитного поля. Закон Джоуля-Ленца. Баланс энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Вектор Пойнтинга для гармонических электромагнитных полей.	2	4	10	16
4	Электромагнитные волны в неограниченных средах.	Общие замечания и определения. Понятие волнового процесса. Волновые уравнения Гельмгольца. Общее уравнение плоской электромагнитной волны. Поляризация плоских электромагнитных волн. Плоская электромагнитная волна в среде без потерь. Плоская электромагнитная волна в реальной среде.	2	4	10	16
5	Направляемые электромагнитные волны.	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. Связь между продольными и поперечными составляющими векторов поля направляемых волн.	2	4	10	16
6	Преломление и отражение электромагнитных волн на границе раздела двух сред.	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. Нор-	2	4	10	16

		мальное 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.				
7	Основы теории цепей с распределенными параметрами.	Бесконечный волновод. Двухполосник. Отрезок волновода с Т-волной как четырехполосник. Напряжения и токи на входе многополосников. Основные теоремы СВЧ-цепей. Соединение двух волноводов различных сечений. Эквивалентные параметры линии передачи. Коэффициенты отражения и стоячей волны. Входное сопротивление линии передачи. Круговая номограмма полных сопротивлений. Основные режимы работы линии передачи. Согласование в линиях передачи.	2	4	9	15
8	Устройства СВЧ.	Двухполосники. Простейшие четырехполосники. Фильтры СВЧ. Устройства широкополосного согласования. Шестиполосники. Направленные ответвители. Мостовые устройства СВЧ. Магнитные свойства ферритовых материалов. Фазовращатели. Вентили. Циркуляторы. Управляемые фильтры. Устройства на магнитостатических волнах.	2	4	10	16
9	Полые волноводы.	Уравнения Максвелла в прямоугольном волноводе. Е-волны в прямоугольном волноводе. Н-волны в прямоугольном волноводе. Основные характеристики волны H_{10} . Круглый волновод. Использование круглых волноводов в качестве линии передачи.	2	4	10	16
10	Коаксиальные, однопроводные и диэлектрические линии передачи.	Некоторые общие свойства волны типа Т. Коаксиальный волновод. Основные характеристики ТЕМ-волны в коаксиальном волноводе. Линии поверхностной волны. Электромагнитное поле волны типа E_{00} . Параметры волны типа E_{00} . Волна Зоммерфельда. Общие свойства диэлектрических волноводов. Плоский и круглый диэлектрические волноводы. Структуры и параметры диэлектрических волноводов. Световоды.	2	4	10	16
11	Полосковые линии передачи и резонаторы.	Симметричная и несимметричная полосковые линии передачи. Типы волн. Основные параметры. Применение полосковых линий. Общие свойства объемных резонаторов. Прямоугольный объемный резонатор. Условие резонанса. Круглый и коаксиальный объемные резонаторы. Возбуждение объемного резонатора и его эквивалентная схема. Способы включения объемного резонатора в линию передачи. Собственная, нагруженная и внешняя добротности объемного резонатора.	2	4	10	16
12	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.	2	4	9	15
Итого			24	48	117	189

заочная форма обучения

№	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб.	СРС	Все
---	-------------------	--------------------	------	------	-----	-----

п/п				зан.		го, час
1	Введение. Предмет и задачи дисциплины.	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.	1	1	1	3
2	Основные уравнения электромагнитного поля.	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.		2	18	20
3	Энергия электромагнитного поля.	Электродинамические потенциалы. Калибровка потенциалов. Элементарный электрический излучатель. Диполь Герца. Основные параметры, характеризующие элементарный электрический излучатель. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный излучатель. Сторонние источники электромагнитного поля. Закон Джоуля-Ленца. Баланс энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Вектор Пойнтинга для гармонических электромагнитных полей.	1	1	18	20
4	Электромагнитные волны в неограниченных средах.	Общие замечания и определения. Понятие волнового процесса. Волновые уравнения Гельмгольца. Общее уравнение плоской электромагнитной волны. Поляризация плоских электромагнитных волн. Плоская электромагнитная волна в среде без потерь. Плоская электромагнитная волна в реальной среде.	1	1	18	20
5	Направляемые электромагнитные волны.	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. Связь между продольными и поперечными составляющими векторов поля направляемых волн.	1	1	18	20
6	Преломление и отражение электромагнитных волн на границе раздела двух сред.	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.	1	1	18	20
7	Основы теории цепей с распределенными параметрами.	Бесконечный волновод. Двухполюсник. Отрезок волновода с Т-волной как четырехполюсник. Напряжения и токи на входе многополюсников. Основные теоремы СВЧ-цепей. Соединение двух волноводов различных сечений. Эквивалентные параметры линии передачи. Коэффициенты отражения и стоячей волны. Входное сопротивление линии передачи. Круговая номограмма полных сопротивлений. Основные режимы работы линии передачи.		2	2	4

		Согласование в линиях передачи.				
8	Устройства СВЧ.	Двухполосники. Простейшие четырехполосники. Фильтры СВЧ. Устройства широкополосного согласования. Шестиполосники. Направленные ответвители. Мостовые устройства СВЧ. Магнитные свойства ферритовых материалов. Фазовращатели. Вентили. Циркуляторы. Управляемые фильтры. Устройства на магнитостатических волнах.	1	1	18	20
9	Полые волноводы.	Уравнения Максвелла в прямоугольном волноводе. Е-волны в прямоугольном волноводе. Н-волны в прямоугольном волноводе. Основные характеристики волны H_{10} . Круглый волновод. Использование круглых волноводов в качестве линии передачи.	1	1	18	20
10	Коаксиальные, однопроводные и диэлектрические линии передачи.	Некоторые общие свойства волны типа Т. Коаксиальный волновод. Основные характеристики ТЕМ-волны в коаксиальном волноводе. Линии поверхностной волны. Электромагнитное поле волны типа E_{00} . Параметры волны типа E_{00} . Волна Зоммерфельда. Общие свойства диэлектрических волноводов. Плоский и круглый диэлектрические волноводы. Структуры и параметры диэлектрических волноводов. Световоды.	1	1	18	20
11	Полосковые линии передачи и резонаторы.	Симметричная и несимметричная полосковые линии передачи. Типы волн. Основные параметры. Применение полосковых линий. Общие свойства объемных резонаторов. Прямоугольный объемный резонатор. Условие резонанса. Круглый и коаксиальный объемные резонаторы. Возбуждение объемного резонатора и его эквивалентная схема. Способы включения объемного резонатора в линию передачи. Собственная, нагруженная и внешняя добротности объемного резонатора.		2	18	20
12	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.		2	18	20
Итого			8	16	183	215

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Волноводные устройства
2. Переходы волновых устройств
3. Устройства для экранирования электромагнитных полей
4. Линии передачи сантиметрового диапазона
5. Исследование непостоянства связи и отражений в волноводной измерительной линии
6. Согласующие волноводные устройства
7. Исследование объемного резонатора
8. Исследование коаксиальных линий передач
9. Конструктивный анализ различных волноводных линий передач
10. Исследование рупорных и рупорно-линзовых антенн
11. Исследование параметров открытых оптических резонаторов

12. Исследование энергетических характеристик излучения лазеров

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 8 семестре.

Примерная тематика курсового проекта: «Разработка конструкции измерительного радиоэлектронного модуля СВЧ».

Темой курсового проекта может являться как разработка конструкции наземного, бортового или морского радиоэлектронного устройства различного функционального назначения, так и задачи, связанные с исследовательской работой в области конструирования измерительного оборудования электронных средств. По конструктивной сложности разрабатываемое устройство должно относиться к изделиям второго и более высоких уровней. Курсовые проекты исследовательского профиля связаны с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области конструирования измерительного оборудования электронных средств.

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- произвести анализ электрической принципиальной схемы и технических требований, выданных в задании на курсовой проект с выбором современной элементной базы;
- произвести расчет компоновки на плате и в корпусе;
- разработать сборочные чертежи и чертежи деталей, произвести выбор электрических соединений и соединителей, материалов и покрытий;
- выполнить конструкторские расчеты: обеспечение теплового режима, электромагнитной совместимости, электрической и механической прочности.

Курсовой проект включают в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

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: основы теории электромагнитного поля, основные характеристики направляемых электромагнитных волн.	Активная работа на лабораторных и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: Уметь осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования линий передачи СВЧ.	написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: навыками работы по исследованию структуры электромагнитного поля.	выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	Знать: основы теории электрических СВЧ-цепей, основные характеристики линий передачи СВЧ.	Активная работа на лабораторных и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: выполнять расчет и проектирование линий передачи СВЧ для электронных средств в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.	написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: навыками проведения расчетов основных характеристик линий передачи СВЧ.	выполнение плана работ по разработке курсового проекта	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 8 или 5 семестрах для очной и заочной форм обучения по системе:

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

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл

ПК-2	Знать: основы теории электромагнитного поля, основные характеристики направляемых электромагнитных волн.	Экзамен	если выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "хорошо".	если не выполнены требования на оценку "удовлетворительно".
	Уметь: Уметь осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования линий передачи СВЧ.	Экзамен	если выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "хорошо".	если не выполнены требования на оценку "удовлетворительно".
	Владеть: навыками работы по исследованию структуры электромагнитного поля.	Экзамен	если выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "хорошо".	если не выполнены требования на оценку "удовлетворительно".
ПК-5	Знать: основы теории электрических СВЧ-цепей, основные характеристики линий передачи СВЧ.	Экзамен	если выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "хорошо".	если не выполнены требования на оценку "удовлетворительно".
	Уметь: выполнять расчет и проектирование линий передачи СВЧ для электронных средств в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.	Экзамен	если выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "хорошо".	если не выполнены требования на оценку "удовлетворительно".

	Владеть: навыками проведения расчетов основных характеристик линий передачи СВЧ.	Экзамен	если выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "отлично".	если не выполнены требования на оценку "хорошо".	если не выполнены требования на оценку "удовлетворительно".
--	--	---------	--	---	--	---

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. Электромагнитная волна распространяется в вакууме в направлении оси z . Определить разность фаз между двумя точками с координатами $Z_1 = 5$ см и $Z_2 = 5,7$ см для волны с частотой $f_1 = 10$ ГГц.

- а) 58° ;
- б) 42° ;
- в) 84° ;
- г) 123° ;
- д) 68° .

2. Определить действующее значение напряженности магнитного поля H волны ТЕМ, имеющей в среде с параметрами $\varepsilon = 4$, $\mu = 1$, $\sigma = 0$ амплитуду напряженности электрического поля $E_m = 100$ мкВ/м

- а) 45 мкА/м;
- б) 42 мкА/м;
- в) 0,375 мкА/м;
- г) 123 мкА/м;
- д) 0,68 мкА/м.

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:

$$\text{для } z < 0 \quad \varepsilon_1 = 1, \quad \mu_1 = 1, \quad \sigma_1 = 0$$

$$\text{для } z > 0 \quad \varepsilon_2 = 4, \quad \mu_2 = 4, \quad \sigma_2 = 0$$

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

Найти величину векторов напряженности электрического и магнитного полей.

- а) $E_{m1} = 1,5 \cdot 10^{-3} e^{-j120\pi z} + 0,5 \cdot 10^{-3} e^{j120\pi z}$ В/м,
 $H_{m1} = 3,98 \cdot 10^{-6} e^{-j120\pi z} + 1,3 \cdot 10^{-6} e^{j120\pi z}$ А/м;

б) $E_{m1} = 1,5 \cdot 10^{-3} e^{j120\pi} + 0,5 \cdot 10^{-3} e^{j120\pi} \text{ В/м},$
 $H_{m1} = 3,98 \cdot 10^{-6} e^{j120\pi} + 1,3 \cdot 10^{-6} e^{j120\pi} \text{ А/м};$
в) $E_{m1} = 1,5 \cdot 10^{-3} e^{-j120\pi} + 0,5 \cdot 10^{-3} e^{-j120\pi} \text{ В/м},$
 $H_{m1} = 3,98 \cdot 10^{-6} e^{-j120\pi} + 1,3 \cdot 10^{-6} e^{-j120\pi} \text{ А/м};$
г) $E_{m1} = 0,5 \cdot 10^{-3} e^{-j120\pi} + 1,5 \cdot 10^{-3} e^{j120\pi} \text{ В/м},$
 $H_{m1} = 1,3 \cdot 10^{-6} e^{-j120\pi} + 3,98 \cdot 10^{-6} e^{j120\pi} \text{ А/м}.$

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

а) $z = -j75 \text{ Ом};$
б) $z = j75 \text{ Ом};$
в) $z = 10 + j75;$
г) $z = -j25 .$

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

а) $z = -j98 \text{ Ом};$
б) $z = j98 \text{ Ом};$
в) $z = 13 + j75;$
г) $z = -j75 .$

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

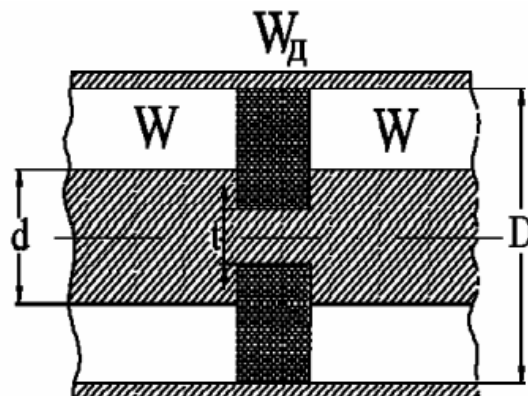
а) 50 Ом;
б) 75 Ом;
в) 30 Ом;
г) 71 Ом.

8. Какие типы волн могут распространяться в заполненном воздухом прямоугольном волноводе сечением $b \times a = 5 \times 25$ 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 $\varepsilon = 2,1$.



- а) $D = 7,2$ мм, $t = 2,2$ мм;
- б) $D = 6,3$ мм, $t = 2,02$ мм;
- в) $D = 6,9$ мм, $t = 2,06$ мм;
- г) $D = 8,1$ мм, $t = 2,43$ мм.

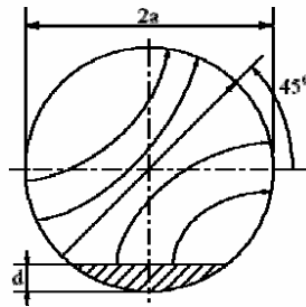
10. Предельная мощность, которую можно передать по волноводу МЭК-100 сечением $a \times b = 23 \times 10$ мм на частоте $f = 9375$ МГц, если волновод заполнен воздухом, равна

- 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 $\lambda = 4,5$ см. Найти диаметр волновода.

- а) $\lambda_{\text{ср}} = 4,71$ см, $D = 2,66$ см;
- б) $\lambda_{\text{ср}} = 4,89$ см, $D = 2,64$ см;
- в) $\lambda_{\text{ср}} = 4,03$ см, $D = 2,36$ см;
- г) $\lambda_{\text{ср}} = 3,79$ 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 $d = 3$ мм, радиус волновода $a = 2$ см, частота волны $f = 5,5$ ГГц. Определить длину вставки для получения круговой поляризации волны H_{11} .



- а) 16,2 см;
- б) 10,5 см;
- в) 14,1 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

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

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. Атенюаторы 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.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен 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 продемонстрировал:

-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 (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Введение. Предмет и задачи дисциплины.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
2	Основные уравнения электромагнитного поля.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
3	Энергия электромагнитного поля.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
4	Электромагнитные волны в неограниченных средах.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
5	Направляемые электромагнитные волны.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП

6	Преломление и отражение электромагнитных волн на границе раздела двух сред.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
7	Основы теории цепей с распределенными параметрами.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
8	Устройства СВЧ.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
9	Полые волноводы.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
10	Коаксиальные, однопроводные и диэлектрические линии передачи.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
11	Полосковые линии передачи и резонаторы.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП
12	Электромагнитные колебания в оптических резонаторах.	ПК-2, ПК-5	Тест, экзамен, устный опрос, КП

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.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. В.И.Юдин, А.В.Останков, Электромагнитные поля и волны. Часть 1. Волны в бесконечных и полубесконечных средах: учеб. пособие. 2007 г.
2. А.В.Володько, Р.П.Краснов, В.И.Юдин, Электромагнитные поля и волны. Часть 2. Электромагнитные волны и колебания в волноводах и резонаторах: учеб. пособие. 2008 г.
3. С.И.Баскаков, Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие для вузов 1992 г.
4. Н.А.Семенов, Техническая электродинамика: Учебное пособие для вузов 1973 г.
5. Д.П.Андреев, И.И.Гак, И.И.Цимблер, Механически перестраиваемые приборы СВЧ и разделительные фильтры 1973 г.
6. И.П.Бушминский, Изготовление элементов конструкций СВЧ 1974 г.
7. А.Д.Григорьев, Электродинамика и техника СВЧ: Учебное пособие для вузов 1990 г.
8. Д.Н.Шапиро, Электромагнитное экранирование: Научное издание 2010 г.
9. И.А.Филатов, Исследование непостоянства связи и отражений в волноводной измерительной линии. Методические указания к лабораторной работе № 5 по дисциплине «Техническая электродинамика» для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения 2003 г.
10. И.А.Филатов, 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.
11. И.А.Филатов, Устройство для экранирования электромагнитных полей. Методические указания к лабораторной работе № 3 по дисциплине «Техническая электродинамика» для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения 2003 г.
12. И.А.Филатов, Линия передачи сантиметрового диапазона. Методические указания к лабораторной работе № 4 по дисциплине «Техническая электродинамика» для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения 2002 г.
13. И.А.Филатов, Согласующие волноводные устройства. Методические указания к лабораторной работе № 6 по дисциплине «Техническая электродинамика» для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения 2005 г.
14. А.С.Самодуров Программа, методические указания к СРС и контрольные задания по дисциплине "Электродинамика" для студентов оч-

ной и заочной форм обучения направления подготовки бакалавров 12.03.01 "Приборостроение"

15. Методические рекомендации по выполнению курсовых проектов (работ) по программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета, магистратуры / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.Н. Почечихина, И.Н. Крючкова, Е.И. Головина. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020. 10 с.
16. 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.

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

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, программный комплекс «Компас 3D LT», расчетная программа на ЭВМ «D5.exe для проведения расчета надежности и виброустойчивости различных конструкций РЭС», программа ‘‘Induct’’ для обработки экспериментальных данных при выполнении лабораторной работы №3, программа ‘‘Delays’’ для конструктивного расчета двухпроводной линии передачи.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная видеопроектором с экраном и пособиями по профилю.

Компьютерный класс, оснащенный ПЭВМ с установленным программным обеспечением, ауд. 234/3, 226/3, 225/3, 2306/3.

Видеопроектор с экраном в ауд. 234/3.

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

По дисциплине «Электродинамика» читаются лекции, проводятся лабораторные и практические занятия, выполняется курсовой проект.

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 его 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, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.

- 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 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.

Степень усвоения материала проверяется следующими видами контроля:

- текущий (опрос, контрольные работы, типовые расчеты);
- рубежный (коллоквиум);
- промежуточный (курсовая работа, зачет, зачет с оценкой, экзамен).

Коллоквиум – форма итоговой проверки знаний студентов по определенным темам.

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.

Экзамен – форма итоговой проверки знаний студентов.

Для успешной сдачи экзамена необходимо выполнить следующие рекомендации – готовиться к экзамену следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-

полтора до экзамена. 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 удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	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.
Подготовка к дифференцированному зачету и экзамену	При подготовке к зачету и экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.

АННОТАЦИЯ

к рабочей программе дисциплины
«Электродинамика»

Направление подготовки (специальность) 12.03.01 «Приборостроение»

Профиль (специализация) «Приборостроение»

Квалификация выпускника Бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 5 лет

Форма обучения Очная / Заочная

Год начала подготовки 2020 г.

Цель изучения дисциплины: теоретическое освоение основных разделов теории электромагнитного поля, линий передач СВЧ и физически обоснованное использование теории электромагнитного поля при проектировании СВЧ устройств приборов в соответствии с заданными требованиями и подготовки соответствующей конструкторской документации (КД).

Задачи изучения дисциплины:

Изучение основных разделов теории электромагнитного поля, принципа действия линий передач СВЧ и физически обоснованное использование теории электромагнитного поля при проектировании СВЧ устройств приборов. Изучение представления в КД конструкций различных СВЧ устройств.

Перечень формируемых компетенций:

ПК-2 - готовность проектировать и конструировать типовые детали и узлы с использованием стандартных средств компьютерного проектирования.

ПК-5 - способность выполнять математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.

Общая трудоемкость дисциплины ЗЕТ: 6 з.е.

Форма итогового контроля по дисциплине: экзамен
(зачет, зачет с оценкой, экзамен)