

Компонент ОПОП 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Специализация «Радиоэлектронные системы передачи информации»
наименование ОПОП

Б1.О.15

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплины
(модуля)

Электродинамика и распространение радиоволн

Разработчик (и):

Гомонов А.Д.,
доцент, к.т.н.

Утверждено на заседании кафедры

РЭСиТРО

наименование кафедры

протокол № 1 от 01.09.2022 года

Заведующий кафедрой РЭСиТРО



Л.Ф. Борисова

Мурманск
2022

Пояснительная записка

Объем дисциплины 8 з.е.

1. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций, установленными образовательной программой

Компетенции	Индикаторы достижения компетенций ¹	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий</p>	<p>УК-1 ИД-1 Применяет системный подход в поисковой и аналитической деятельности для решения поставленных задач</p> <p>УК-1 ИД-2 Осуществляет сбор, систематизацию и критический анализ информации, необходимой для выработки стратегии действий по разрешению проблемной ситуации</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные уравнения электродинамики: уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме, среды распространения, волновое уравнение, граничные условия; - излучение и распространение электромагнитных волн: вакуум, изотропные и гиротропные среды, однородные и неоднородные среды, равновесные и неравновесные среды; - электромагнитные волны в направляющих системах: виды направляющих систем, собственные волны в прямоугольных и круглых волноводах, поверхностные волны, особенности распространения волн в микрополосковых, щелевых и квазиоптических системах, связь и возбуждение направляющих систем, потери энергии; - электромагнитные колебания в объёмных резонаторах: резонаторы простой формы, собственная добротность резонаторов; - дифракционный метод Кирхгофа и излучение электромагнитных волн различными источниками; - законы распространения электромагнитных волн над поверхностью Земли, в атмосфере и ионосфере
<p>ОПК-1 – Способен использовать основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики</p>	<p>ОПК-1 ИД-1 Знает основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики;</p> <p>ОПК-1 ИД-2 Умеет использовать основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики;</p>	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать уравнения Максвелла и их следствия в теоретических и практических исследованиях; - составлять и решать уравнения электродинамики при заданных начальных и граничных условиях, характерных для радиофизических задач; - пользоваться ПО для расчета задач электродинамики. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками составления и решения уравнений электродинамики при заданных начальных и граничных условиях, характерных для радиофизических задач; - навыками экспериментальной проверки решений простейших электродинамических задач; - навыками пользования ПО при решении электродинамических задач.
<p>ПК-1 Способен обеспечивать радиосвязь при авариях, включая частичный или полный выход из строя радиоустановок.</p>	<p>ПК-1 ИД-1 Знает условия возникновения аварий и обеспечения радиосвязи при авариях, включая частичный или полный выход из строя радиоустановок.</p> <p>ИД-2 ПК-1 Умеет обеспечить радиосвязь при авариях, включая частичный или полный выход из строя радиоустановок.</p>	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать уравнения Максвелла и их следствия в теоретических и практических исследованиях; - составлять и решать уравнения электродинамики при заданных начальных и граничных условиях, характерных для радиофизических задач; - пользоваться ПО для расчета задач электродинамики. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками составления и решения уравнений электродинамики при заданных начальных и граничных условиях, характерных для радиофизических задач; - навыками экспериментальной проверки решений простейших электродинамических задач; - навыками пользования ПО при решении электродинамических задач.

2. Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Основные положения теории электромагнетизма.

¹ Указываются индикаторы достижения компетенций, закрепленные за данной дисциплиной (модулем)

Тема 2. Граничные условия для векторов электромагнитного поля.

Тема 3. Плоские электромагнитные волны.

Тема 4. Поляризация электромагнитных волн. Падение плоских электромагнитных волн на границу раздела двух сред.

Тема 5. Элементарные излучатели.

Тема 6. Направляемые электромагнитные волны.

Тема 7. Металлические волноводы. Объемные резонаторы.

Тема 8. Распространение электромагнитных волн в анизотропной среде.

3. Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины (модуля)

- мультимедийные презентационные материалы по дисциплине (модулю) представлены в электронном курсе в ЭИОС МГТУ;

- методические указания к выполнению лабораторных/практических/контрольных работ представлены в электронном курсе в ЭИОС МГТУ;

- методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) представлены на официальном сайте МГТУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным».

1. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

2. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

3. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

4. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Является отдельным компонентом образовательной программы, разработан в форме отдельного документа, представлен на официальном сайте МГТУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным». ФОС включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины (модуля);

- задания текущего контроля;

- задания промежуточной аттестации;

- задания внутренней оценки качества образования.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы (печатные издания, электронные учебные издания и (или) ресурсы электронно-библиотечных систем)

Основная литература

1. Мандель А.Е. Распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ман-дель А.Е., Замотринский В.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 163 с.— Режим до-ступа: <http://www.iprbookshop.ru/13969.html>.— ЭБС «IPRbooks»

2. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Д.Ю. Муромцев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012.— 200 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63924.html>.— ЭБС «IPRbooks»

3. Яковлев О. И., Якубов В. П. Распространение радиоволн. Учебник. М.: ЛЕНИЗДАТ. 2009.

Дополнительная литература

1. Фальковский, О. И. Техническая электродинамика : учебник для вузов / О. И. Фальков-ский. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2009. - 429, [1] с. : ил. -

(Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 423-424. - ISBN 978-5-8114-0980-8 : 389-40; 405-79.

2. Боков Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Боков Л.А., Замотринский В.А., Мандель А.Е.— Электрон. текстовые дан-ные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013.— 410 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72050.html>.— ЭБС «IPRbooks»

6. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. <http://lib.mstu.edu>
2. <https://e.lanbook.com>
3. <http://www.iprbookshop.ru>

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

- 1) *Офисный пакет Microsoft Office 2007*
- 2) *Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader*
- 3) *MatLab 2020*

8. Обеспечение освоения дисциплины лиц с инвалидностью и ОВЗ

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

№ п./п.	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий	Перечень оборудования и технических средств обучения
1.	512 В «Лаборатория электродинамики и распространения радиоволн» Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.	Количество столов - 12 Количество стульев - 24 Посадочных мест - 24 Доска аудиторная - 1 Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике: «Поляризация плоских волн» - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Отражение плоских волн», - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Электромагнитные поля в волноводах», - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Излучение элементарных источников» - 1 шт., Комплект для проведения лабораторных работ по электродинамике «Электромагнитные волны в анизотропных средах» - 1 шт., Учебные макеты антенн - 4 шт., Учебный макет генератора Г4-76А, - 1 шт., Учебный макет Измерительного приемника RFT SMV 8.5 - 1 шт.

10. Распределение трудоемкости по видам учебной деятельности

Таблица 1² - Распределение трудоемкости

Вид учебной деятельности	Распределение трудоемкости дисциплины (модуля) по формам обучения											
	Очная				Очно-заочная				Заочная			
	Семестр			Всего часов	Семестр			Всего часов	Семестр/Курс			Всего часов
	5	6	-						/3	/3	-	
Лекции	26	26	-	52	-	-	-	-	4	4	-	8
Практические занятия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лабораторные работы	16	16	-	32	-	-	-	-	6	8	-	14
Самостоятельная работа	72	36	-	108	-	-	-	-	98	123	-	221
Подготовка к промежуточной аттестации ³	-	36	-	36	-	-	-	-	-	9	-	9
Всего часов по дисциплине	126	126	-	252	-	-	-	-	108	144	-	252
/ из них в форме практической подготовки												

Формы промежуточной аттестации и текущего контроля

Экзамен	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
Зачет/зачет с оценкой	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+
Курсовая работа (проект)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
Количество расчетно-графических работ	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Количество контрольных работ	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Количество рефератов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Количество эссе	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

² Разработчикам РП можно убирать столбцы с формами обучения, если данная форма не реализуется в МГТУ,

³ Для экзамена очной и очно-заочной формы обучения - 36 часов, для экзамена заочной формы обучения - 9 часов, для зачета заочной формы обучения - 4 часа.

Перечень лабораторных работ по формам обучения⁴

№ п/п	Темы лабораторных работ
1	2
	Очная форма
1.	Электромагнитное поле. Электромагнитные свойства сред. Электромагнитное поле на границе раздела двух сред
2.	Поляризация плоских волн
3.	Отражение и преломление плоских волн
4.	Излучение элементарных источников
5.	Элементарный щелевой излучатель
6.	Распространение волн у поверхности Земли. Траектория радиоволн в ионосфере
7.	Направляемые волны
8.	Волноводы. Электромагнитные поля в волноводах
9.	Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах
10.	Электромагнитные волны в анизотропных средах
	Заочная форма
1.	Электромагнитное поле. Электромагнитные свойства сред. Электромагнитное поле на границе раздела двух сред
2.	Поляризация плоских волн
3.	Отражение и преломление плоских волн
4.	Излучение элементарных источников
5.	Элементарный щелевой излучатель
6.	Распространение волн у поверхности Земли. Траектория радиоволн в ионосфере
7.	Направляемые волны
8.	Волноводы. Электромагнитные поля в волноводах
9.	Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах
10.	Электромагнитные волны в анизотропных средах

Перечень практических занятий по формам обучения⁵

№ п/п	Темы практических занятий
1	2
	Очная форма
1.	Элементы векторного анализа. Понятие электромагнитного поля. Виды сред. Электромагнитные свойства сред. Система уравнений электродинамики в дифференциальной и интегральной формах. Закон сохранения заряда. Теорема Гаусса. Закон электромагнитной индукции.
2.	Граничные условия для векторов электромагнитного поля на границе раздела двух сред. Граничные условия для идеального проводника. Энергия электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Уравнения Максвелла для монохроматического поля сторонние токи и сторонние заряды. Волновые уравнения.
3.	Электродинамические потенциалы. Вектор Герца. Плоские волны. Распространение плоских волн в средах с потерями. Фазовая и групповая скорости, волновое число и постоянная затухания плоских волн. Волны в проводнике. Скин слой.
4.	Поляризация электромагнитных волн. Стоячие волны. Распространение волн в плазме. Волновые явления на границе раздела двух сред. Формула Френеля для плоских электромагнитных волн с вертикальной и горизонтальной поляризацией. Явление полного преломления и полного отражения.
5.	Излучение элементарных источников. Элементарный электрический. Вибратор (диполь) Герца. Поле излучения элементарного электрического вибратора. Мощность и

⁴ Если лабораторные работы не предусмотрены учебным планом, таблица может быть удалена

⁵ Если практические занятия не предусмотрены учебным планом, таблица может быть удалена

	сопротивление излучения. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный вибратор. Диаграмма направленности излучателя. Мощность излучения. Элементарный щелевой излучатель. Принцип эквивалентности. Элемент Гюйгенса. Лемма Лоренца.
6.	Распространение волн в неоднородных средах. Уравнение эйконала. Геометрическая оптика слоисто-неоднородной среды. Распространение волн у поверхности Земли. Траектории радиоволн в ионосфере.
7.	Направляемые волны. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в однородной направляемой системе. Критическая частота. Длина волны в направляющей системе. Поперечные ТЕМ волны. Электрические E и магнитные H типы волн в направляющих системах. Концепция парциальных волн Бриллюэна. Групповая и фазовая скорости волн в направляющих системах. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.
8.	Прямоугольный волновод. Структура электромагнитного поля волны H ₁₀ в прямоугольном волноводе. Вырожденные волны. Круглый волновод. Структура волны E ₀₁ в круглом волноводе. Основные типы волн в прямоугольном и круглом волноводах. Токи на стенках волноводов. Волны в коаксиальной линии.
9.	Передача электромагнитной энергии по направляемым системам. Предельная и допустимая мощности. Коэффициент затухания. Передача энергии по прямоугольному волноводу. Затухание электрических и магнитных волн. Передача энергии по круглому волноводу. Передача энергии по коаксиальной линии. Объемные резонаторы. Добротность резонаторов. Классификация колебаний в объемных резонаторах.
10.	Прямоугольный резонатор. Коаксиальный резонатор. Добротность коаксиального резонатора. Цилиндрический резонатор. Элементы линий передач. Диафрагмы. Отверстия связи. Направленные ответвители. Атенюаторы. Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах. Возбуждение штырем и рамкой с током.
11.	Поверхностные волны и замедляющие системы. Ферритовые устройства СВЧ. Распространение волн в ферритах. Эффекты Фарадея и Коттон-Мутона. Вентили. Циркуляторы, использующие эффект Фарадея.
	Заочная форма
1.	Элементы векторного анализа. Понятие электромагнитного поля. Виды сред. Электромагнитные свойства сред. Система уравнений электродинамики в дифференциальной и интегральной формах. Закон сохранения заряда. Теорема Гаусса. Закон электромагнитной индукции.
2.	Граничные условия для векторов электромагнитного поля на границе раздела двух сред. Граничные условия для идеального проводника. Энергия электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Уравнения Максвелла для монохроматического поля сторонние токи и сторонние заряды. Волновые уравнения.
3.	Электродинамические потенциалы. Вектор Герца. Плоские волны. Распространение плоских волн в средах с потерями. Фазовая и групповая скорости, волновое число и постоянная затухания плоских волн. Волны в проводнике. Скин слой.
4.	Поляризация электромагнитных волн. Стоячие волны. Распространение волн в плазме. Волновые явления на границе раздела двух сред. Формула Френеля для плоских электромагнитных волн с верти-кальной и горизонтальной поляризацией. Явление полного преломления и полного отражения.
5.	Излучение элементарных источников. Элементарный электрический. Вибратор (диполь) Герца. Поле излучения элементарного электрического вибратора. Мощность и сопротивление излучения. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный вибратор. Диаграмма направленности излучателя. Мощность излучения. Элементарный щелевой излучатель. Принцип эквивалентности. Элемент Гюйгенса. Лемма Лоренца.
6.	Распространение волн в неоднородных средах. Уравнение эйконала. Геометрическая оптика слоисто-неоднородной среды. Распространение волн у поверхности Земли. Траектории радиоволн в ионосфере.
7.	Направляемые волны. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в однородной направляемой системе. Критическая частота. Длина волны в направляющей системе. Поперечные ТЕМ волны. Электрические E и магнитные H типы волн в направляющих системах. Концепция парциальных волн Бриллюэна. Групповая и фазовая скорости волн в направляющих системах. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.
8.	Прямоугольный волновод. Структура электромагнитного поля волны H ₁₀ в прямоугольном волноводе. Вырожденные волны. Круглый волновод. Структура волны E ₀₁ в круглом волноводе. Основные типы волн в прямоугольном и круглом волноводах. Токи на стенках волноводов. Волны в коаксиальной линии.
9.	Передача электромагнитной энергии по направляемым системам. Предельная и допустимая

	мощности. Коэффициент затухания. Передача энергии по прямоугольному волноводу. Затухание электрических и магнитных волн. Передача энергии по круглому волноводу. Передача энергии по коаксиальной линии. Объемные резонаторы. Добротность резонаторов. Классификация колебаний в объемных резонаторах.
10.	Прямоугольный резонатор. Коаксиальный резонатор. Добротность коаксиального резонатора. Цилиндрический резонатор. Элементы линий передач. Диафрагмы. Отверстия связи. Направленные ответвители. Атенюаторы. Возбуждение электромагнитных колебаний в направляемых системах. Возбуждение штырем и рамкой с током.
11.	Поверхностные волны и замедляющие системы. Ферритовые устройства СВЧ. Распространение волн в ферритах. Эффекты Фарадея и Коттон-Мутона. Вентили. Циркуляторы, использующие эффект Фарадея.

Перечень примерных тем курсовой работы /курсового проекта

№ п\п	Темы курсовой работы /проекта
1	2
1.	Расчет одномодового прямоугольного волновода
2.	Расчет одномодового круглого волновода
3.	Расчет одномодового коаксиального волновода
4.	Расчет одномодового оптического волновода
5.	Расчет сферического резонатора