

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учебно-методическое объединение по образованию
в области информатики и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

Регистрационный № ТД-_____/тип.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине
для специальности**

1-39 01 01 Радиотехника (по направлениям)

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по образованию в
области информатики и
радиоэлектроники

_____ В.А. Богуш

СОГЛАСОВАНО

Начальник Главного управления
профессионального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научно-методической
работе Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

_____ И.В. Титович

Эксперт-нормоконтролер

Минск 2023

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.Б.Кирильчук, доцент кафедры информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра инфокоммуникационных технологий учреждения образования «Белорусская государственная академия связи» (протокол № 3 от 11.10.2022);
А.Г.Перович, начальник отдела радиоэлектронных приборов и систем открытого акционерного общества «Минский научно-исследовательский приборостроительный институт», кандидат технических наук

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 6 от 12.12.2022);
Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № ____ от _____);
Научно-методическим советом по радиосистемам и радиотехнологиям Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 3 от 14.11.2022)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» разработана для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-39 01 01 Радиотехника (по направлениям) в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования первой ступени и типового учебного плана вышеуказанной специальности.

Прогресс в области современных информационных технологий неразрывно связан с разработкой и внедрением высокоскоростных систем передачи и обработки информации, повышением пространственной разрешающей способности зондирующих и измерительных сигналов. Указанные тенденции обуславливают необходимость непрерывного продвижения в диапазоны сверхвысоких (СВЧ) и крайне высоких частот (КВЧ) в которых для передачи, приема и обработки информационных сигналов применяется специфическая элементная база, физические принципы функционирования и расчет которой производится с привлечением электродинамической теории.

В процессе изучения учебной дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн» студенты осваивают теоретические основы взаимодействия электромагнитного поля (ЭМП) с веществом, знакомятся с законами отражения, преломления и дифракции в материальных средах, а также методами решения краевых задач электродинамики для радиотехнических приложений, включая закономерности распространения электромагнитной энергии в линиях передачи, базовых устройствах СВЧ и околоземном пространстве.

«Электродинамика и распространение радиоволн» является фундаментальной учебной дисциплиной, определяющей своим содержанием профессиональную подготовку инженеров по радиоэлектронике по специальности 1-39 01 01 Радиотехника (по направлениям).

В рамках образовательного процесса по учебной дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: освоение основ теории электромагнитного поля, современных методов решения краевых задач электродинамики для базовых элементов СВЧ, включая задачи, связанные с неоднородными и

анизотропными средами, физикой возбуждения, дифракции, преломления и отражения электромагнитных волн в этих средах, а также механизмов и особенностей распространения электромагнитных волн в околоземном пространстве.

Задачи учебной дисциплины:

изучение современной электродинамической классификации физических сред и обобщенных материальных уравнений;

ознакомление с современными численными и аналитическими методами решения задач электродинамики в сплошных и ограниченных средах;

изучение законов отражения, преломления и дифракции электромагнитных волн на объектах с простой формой граничной поверхности;

приобретение навыков применения методики расчета базовых направляющих систем и резонаторов;

освоение методики измерения параметров базовых устройств СВЧ-диапазона;

приобретение знаний о механизмах и особенностях распространения электромагнитных волн в околоземном пространстве;

приобретение навыков применения инженерных методов расчета напряженности электромагнитного поля (ЭМП) для основных механизмов распространения радиоволн в околоземном пространстве.

Базовыми учебными дисциплинами по курсу «Электродинамика и распространение радиоволн» являются: «Математический анализ», «Физика». В свою очередь дисциплина «Электродинамика и распространение радиоволн» является основой для таких учебных дисциплин, как «Радиоприемные устройства», «Телекоммуникационные технологии и системы» (учебная дисциплина компонента учреждения высшего образования), а также тематически связана с дисциплиной «Формирование и генерирование радиосигналов».

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн» формируется следующая базовая профессиональная компетенция: использовать в профессиональной деятельности основы теории электромагнитного поля и механизмов распространения радиоволн в различных средах.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:
знать:

основные уравнения электродинамики и методы их решения;

базовые структуры электромагнитных полей в полых волноводах и резонаторах;

современные методы измерения параметров сверхвысокочастотных узлов и трактов;

законы отражения, преломления и дифракции электромагнитных волн на объектах с простой формой граничной поверхности;

основные механизмы распространения радиоволн в околоземном пространстве и методику расчета энергетических характеристик электромагнитного поля на трассах заданной протяженности;

уметь:

правильно оценивать функциональное назначение и требования к параметрам типов линий электропередачи, элементов и устройств СВЧ, на основе которых конструируются СВЧ-тракты радиотехнических устройств (РТУ) и радиотехнических систем (РТС);

производить расчет на ПЭВМ и комбинационный синтез СВЧ-элементов РТУ и РТС;

измерять параметры и характеристики СВЧ-узлов РТУ и РТС;

самостоятельно работать с научно-технической литературой по технике СВЧ и СВЧ-узлам РТУ и РТС;

владеть:

инженерными методами решения прикладных задач электродинамики; методиками расчета амплитудно-фазовых характеристик ЭМП при распространении электромагнитных волн в среде с потерями;

методиками расчета и построения структур полей в направляющих системах и резонаторах;

методикой расчета напряженности ЭМП на трассе заданной протяженности с учетом влияния подстилающей поверхности, тропосферы и ионосферы Земли;

методиками измерения характеристик СВЧ-элементов и узлов РТУ и РТС.

Типовая учебная программа рассчитана на 202 учебных часа, из них – 102 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 70 часов, лабораторные занятия – 32 часа.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела, темы	Всего аудиторных часов	Лекции	Лабораторные занятия
Введение	2	2	-
Раздел 1. Электродинамика	58	42	16
Тема 1. Основные уравнения электродинамики	8	8	-
Тема 2. Граничные условия для векторов ЭМП	4	4	-
Тема 3. Энергия ЭМП	4	4	-
Тема 4. Волновые уравнения и электродинамические потенциалы	8	8	-
Тема 5. Направляющие системы	24	12	12
Тема 6. Объемные резонаторы	8	4	4
Тема 7. Возбуждение резонаторов	2	2	-
Раздел 2. Распространение радиоволн	42	26	16
Тема 8. Излучение электромагнитных волн	8	4	4
Тема 9. Плоские электромагнитные волны	4	4	-
Тема 10. Классификация радиоволн	2	2	-
Тема 11. Дифракция электромагнитных волн	6	2	4
Тема 12. Отражение и преломление электромагнитных волн	6	2	4
Тема 13. Влияние земной поверхности на распространение радиоволн	8	4	4
Тема 14. Распространение электромагнитных волн в тропосфере	4	4	-
Тема 15. Распространение электромагнитных волн в ионосфере	4	4	-
Итого:	102	80	32

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ВВЕДЕНИЕ

Тематика учебной дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн», необходимость и особенности ее изучения, место в системе подготовки инженеров по специальности 1-39 01 01 Радиотехника (по направлениям). Цель и задачи учебной дисциплины.

Базовые понятия математической теории поля: «векторное поле», «градиент», «циркуляция», «вихрь», «поток», «дивергенция». Основные формулы векторного анализа. Радиотехнический канал связи.

Раздел 1. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Тема 1. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

История развития теории электромагнетизма. Векторы и источники ЭМП. Уравнения математической физики. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Классификация сред. Закон сохранения заряда и уравнение непрерывности. Уравнения ЭМП в комплексной форме.

Тема 2. ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ВЕКТОРОВ ЭМП

Граничные условия для тангенциальных составляющих векторов ЭМП. Граничные условия для нормальных составляющих векторов ЭМП. Граничные условия на поверхности идеального проводника.

Тема 3. ЭНЕРГИЯ ЭМП

Мощность сторонних источников в ЭМП. Баланс энергии в ЭМП. Теорема Умова-Пойнтинга.

Тема 4. ВОЛНОВЫЕ УРАВНЕНИЯ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Уравнения Максвелла в комплексной форме, комплексная диэлектрическая и магнитная проницаемость. Волновые уравнения для векторов ЭМП. Вектор Герца. Фиктивные магнитные токи и заряды. Перестановочная двойственность.

Тема 5. НАПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Типы направляющих систем. Волноводы. Методы решения волноводных задач. Собственные значения и собственные функции. Волны типа Т, Е, Н. Критическая длина волны, длина волны в волноводе, фазовая и групповая скорости, волновое сопротивление. Прямоугольные волноводы: типы волн, основная волна, волны высшего типа, рабочий диапазон волн. Круглые волноводы: типы волн, основная волна, волны высшего типа, рабочий диапазон волн.

Возбуждение волноводов. Коаксиальный волновод: типы волн, основная волна, волны высшего типа, рабочий диапазон волн. Планарные линии передачи.

Тема 6. ОБЪЕМНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ

Типы объемных резонаторов. Решение граничной задачи для прямоугольного, цилиндрического и коаксиального резонатора. Типы колебаний в объемном резонаторе, собственные частоты. Добротность резонаторов.

Тема 7. ВОЗБУЖДЕНИЕ РЕЗОНАТОРОВ

Возбуждение резонаторов сторонними токами. Понятие о квазиоптических резонаторах.

Раздел 2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Тема 8. ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Общее и частное решения векторного неоднородного волнового уравнения. Поле элементарного электрического диполя. Поле элементарного магнитного диполя. Эквивалентные источники поля. Элементарный излучатель Гюйгенса.

Тема 9. ПЛОСКИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Плоские электромагнитные волны (ЭМВ) в непроводящей среде. Фазовая скорость волны, волновое сопротивление среды. Поляризация и сложение ЭМВ. Плоские ЭМВ в среде с потерями. Коэффициент фазы и коэффициент затухания. Дисперсия, групповая скорость. Плоские волны в гиротропных средах (плазма, ферриты в постоянном магнитном поле).

Тема 10. КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОВОЛН

Диапазоны длин волн. Виды радиотрасс. Классификация по механизму распространения в природных условиях.

Тема 11. ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Принцип Гюйгенса. Зоны Френеля. Область существенная для распространения ЭМВ. Примеры дифракционных задач.

Тема 12. ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Отражение и преломление плоской ЭМВ на плоской границе раздела двух сред. Вертикальная и горизонтальная поляризация. Коэффициенты Френеля, их зависимость от угла падения и параметров сред. Явления полного преломления и полного отражения на границе двух непроводящих сред. Отражение и преломление ЭМВ на границе раздела с идеальным и реальным проводником. Поверхностный эффект.

Тема 13. ВЛИЯНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Влияние отражений от земной поверхности на диаграмму направленности антенны. Интерференционный множитель, горизонтальная и вертикальная

поляризация волн. Неоднородная и неровная земная поверхность. Критерий Релея. Формула Введенского. Учет сферичности земной поверхности. Поверхностные волны. Формула Шулейкина-Ван дер Поля. Береговая рефракция. Дифракция радиоволн вокруг сферической поверхности Земли.

Тема 14. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ТРОПОСФЕРЕ

Строение тропосферы. Диэлектрическая проницаемость и индекс преломления тропосферы. Неоднородное строение тропосферы и рефракция радиоволн. Уравнение траектории волны в приближении геометрической оптики. Радиус кривизны траектории радиолуча. Виды рефракции. Эквивалентный радиус кривизны траектории радиолуча. Ослабление радиоволн в тропосфере. Рассеяние радиоволн на турбулентных неоднородностях тропосферы. Понятие о потере усиления антенн при дальнем тропосферном рассеянии.

Тема 15. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ИОНОСФЕРЕ

Строение ионосферы. Диэлектрическая проницаемость и удельная электропроводность ионизированного газа без учета и с учетом влияния магнитного поля Земли. Обыкновенная и необыкновенная волны. Эффект Фарадея в ионосфере. Фазовая и групповая скорости распространения радиоволн в ионизированном газе, дисперсия. Поглощение и нелинейные свойства ионизированного газа. Преломление и отражение радиоволн в ионосфере. Влияние магнитного поля Земли. Двойное лучепреломление.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**ЛИТЕРАТУРА****ОСНОВНАЯ**

1. Кураев, А. А. Электродинамика и распространение радиоволн / А. А. Кураев, Т. Л. Попкова, А. К. Сеницын. – Минск : Новое знание, 2012. – 357 с.
2. Кирильчук, В. Б. Основы проектирования СВЧ интегральных схем : учебно-методическое пособие : в 4-х ч. / В. Б. Кирильчук, Д. В. Лихачевский. – Минск : БГУИР, 2012. – Ч. 2 : Элементная база интегральных схем СВЧ. – 308 с.
3. Кирильчук, В. Б. Основы проектирования СВЧ интегральных схем : учебно-методическое пособие : в 4-х ч. / В. Б. Кирильчук, Д. В. Лихачевский. – Минск : БГУИР, 2011. – Ч. 1 : Основы теории электромагнитного поля. – 187 с.
4. Гололобов, Д. В. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства : методическое пособие для студентов специальности 45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» дневной и вечерней форм обучения : в 2 ч. / Д. В. Гололобов, В. Б. Кирильчук. – Минск : БГУИР, 2005. – Ч. 2 : Фидерные устройства. – 299 с.
5. Гололобов, Д. В. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства : методическое пособие для студентов специальности 45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» дневной и вечерней форм обучения : в 2 ч. / Д. В. Гололобов, В. Б. Кирильчук. – Минск : БГУИР, 2003. – Ч. 1 : Распространение радиоволн. – 124 с.
6. Вольман, В. Н. Техническая электродинамика / В. Н. Вольман, Ю. В. Пименов, А. Д. Муравцов. – Москва : Радио и связь, 2002. – 536 с.
7. Баскаков, И. С. Электродинамика и распространение радиоволн / И. С. Баскаков. – Москва : Высшая школа, 1993. – 195 с.
8. Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. – Москва : Наука, 1989. – 273 с.
9. Красюк, П. Л. Электродинамика и распространение радиоволн / П. Л. Красюк, П. Д. Дымович. – Москва : Высшая школа, 1974. – 331 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

10. Вайнштейн, Л. А. Электромагнитные волны / Л. А. Вайнштейн. – Москва : Радио и связь, 1988. – 442 с.
11. Марков, Г. Т. Электродинамика и распространение радиоволн / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская. – Москва : Сов. радио, 1979. – 376 с.
12. Фальковский, О. И. Техническая электродинамика : учебник / О. И. Фальковский. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 432 с.
13. Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры / под ред. Б. Ф. Высоцкого. – Москва : Сов. радио, 1977. – 345 с.
14. Грудинская, Г. П. Распространение радиоволн / Г. П. Грудинская. – Москва : Высшая школа, 1975. – 280 с.
15. Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский. – Москва : Наука, 1973. – 273 с.

16. Семенов, Н. А. Техническая электродинамика Н. А. Семенов. – Москва : Связь, 1973. – 480 с.

17. Долуханов, М. П. Распространение радиоволн / М. П. Долуханов. – Москва : Связь, 1972. – 336 с.

18. Калинин, А. И. Распространение радиоволн и работа радиолиний / А. И. Калинин, Е. Л. Черенкова. – Москва : Связь, 1971. – 739 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЩАЮЩИХСЯ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

изучение накануне каждой лекции материала предыдущих лекций, пользуясь конспектом лекций с устранением возможных ошибок и пропусков;

выполнение лабораторных работ с качественным оформлением отчетов;

решение теоретических и практических задач по указанию преподавателя и подготовка индивидуальных заданий;

изучение дополнительного материала;

повторение пройденного теоретического материала;

выполнение исследовательских и творческих заданий;

подготовка сообщений, тематических докладов, рефератов, презентаций;

выполнение обзора научной литературы по заданной теме.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТА

Типовым учебным планом специальности 1-39 01 01 Радиотехника (по направлениям) в качестве формы промежуточной аттестации по учебной дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» рекомендуются зачет и экзамен. Оценка учебных достижений студента производится по системе «зачтено/не зачтено» и десятибалльной шкале.

Для текущего контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов могут использоваться следующие формы:

собеседования;

коллоквиумы;

выполнение лабораторных работ с оформлением и защитой отчетов по результатам;

использование ПЭВМ для диагностики уровня знаний студентов;

модульно-рейтинговая система.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые методы (технологии) обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

лекционные занятия, имеющие объяснительно-иллюстративный характер с использованием метода проблемного изложения материала и компьютерного сопровождения (активное применение современных мультимедийных средств с программным обеспечением, разработанным преподавателем и студентами);

лабораторные занятия с использованием аппаратных и программных средств для исследования процессов распространения электромагнитных полей и волн в направляющих системах и резонаторах, явлений отражения и дифракции с целью практического освоения научно-теоретических положений учебной дисциплины.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Исследование направленных волн при наклонном падении на отражающую поверхность.
2. Исследование прямоугольного волновода на основной волне.
3. Исследование дисперсии волн в прямоугольном волноводе.
4. Исследование согласующих устройств в волноводах.
5. Измерение параметров нагрузок и методика их согласования с линиями передачи.
6. Исследование параметров щелей в стенках волновода.
7. Исследование цилиндрического резонатора.
8. Исследование дифракции радиоволн на отверстии в непрозрачном экране.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

(необходимого оборудования, наглядных пособий и т. п.)

Наглядные пособия:

- плакаты структуры поля в волноводе;
- плакаты структуры поля в резонаторах;
- диаграмма направленности элементарного электрического вибратора;
- диаграмма направленности элемента Гюйгенса;
- отрезки различных линий передачи;
- образцы различных линий передачи и колебательных систем СВЧ.