

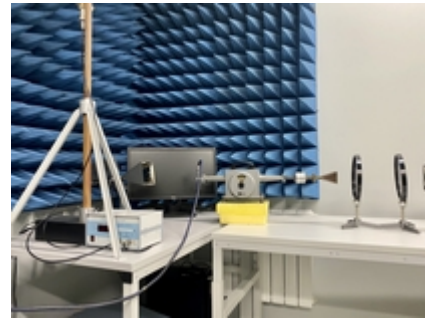
Устройства СВЧ и антенны

Лекторы:

Станислав Глыбовский
Борис Лебедев

Ассистент:

Михаил Сиганов



Язык:

Русский

Трудоемкость:

3 з.е.

Форма контроля:

Экзамен

Образовательная программа:

Беспроводные технологии (магистратура)

1 семестр

Пререквизиты:

Общая физика: электричество и магнетизм

Техническая электродинамика

Введение в теорию электрических цепей

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
32	14	14
*1 академический час = 45 минутам		

Целью курса является изучение теоретических основ работы антенно-фидерных устройств, а также их практических конструкций и характеристик в СВЧ диапазоне. Для этого курс содержит историческую справку о этапах развития и становления радио и антенной техники. Кроме этого, в курсе даны теоретические основы законов электродинамики, необходимые для построения и разработки антенных систем. Сформированы основные определения и термины, используемые при разработке антенной техники. В курсе даны сведения о свойствах и принципах работы волноводных структур, дана классификация волноводов и линий передачи. Дано описание и классификация основных видов антенн и даны теоретические обоснования их работы.

Курс сопровождается лабораторным практикумом и практическими занятиями.

Целью лабораторного практикума является формирование у студентов опыта в исследовании свойств антенной техники (таких как диаграмма) и навыков обращения с антенной техникой. В курсе лабораторных работ исследуются такие типы антенн как вибраторная антенна, антенна типа волновой канал, логопериодическая антенна, зеркальная антенна, рупорная антенна, фрактальная антенна.

Целью практических занятий является формирование у студентов навыков работы с математическим аппаратом, необходимым для разработки антенной систем и фидерной техники. В ходе выполнения расчетных задач, студенты знакомятся с основными методами расчета электродинамических задач, а после выполнения сравнивают с данными, полученными при помощи эксперимента или численного моделирования в САПР-системах.

Содержание курса

1 семестр

Устройства СВЧ и антенны

Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)	Практика (ак.ч.)
Часть 1. Теоретические основы электродинамики		
1.1. Электромагнитный спектр и диапазоны радиоволн. Исторические предпосылки эпохи радио: основные этапы развития электромагнитной теории. Экспериментальное обнаружение электромагнитных волн. Первые устройства радиосвязи. Развитие антенной техники в XX веке. Современные направления исследований в антенной технике.		
1.2. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Материальные уравнения. Граничные условия. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Комплексная диэлектрическая проницаемость.		2
1.3. Плоская волна. Волновое сопротивление среды. Поляризация. Линейная, круговая, эллиптическая поляризация. Коэффициент эллиптичности. Локальное приближение плоской волны для произвольного волнового фронта.		
1.4. Отражение плоской волны от границы раздела. Коэффициенты отражения и прохождения Френеля для случая нормального падения волны и для случая падения волны под углом к нормали.		
1.5. Лемма Лоренца. Теорема взаимности. Частный случай теоремы взаимности для точечных источников электромагнитного поля. Применение теоремы взаимности для решения задач дифракции.		
1.6. Принцип эквивалентности № 1. Эффективные поверхностные электрический и магнитный токи. Применение принципа эквивалентности для расчета поля в произвольной точке пространства. Принцип эквивалентности № 2.		
1.7. Скалярный и векторный электрический потенциалы и их связь с векторами поля. Уравнение Гельмгольца для скалярного и векторного потенциала. Электрический вектор Герца. Магнитные потенциалы и вектор Герца. Решения для TE и TM полей. Принцип перестановочной двойственности.		2
Часть 2. Волноведущие структура и теория длинных линий		
2.1. Общие свойства волноведущих структур. Разделение переменных в уравнении Гельмгольца. Характеристическое уравнение. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия. Критическая частота. Дисперсионная диаграмма. Волны TE, TM и TEM типов и их особенности (структура поля, поляризация и характеристическое сопротивление). Передаваемая мощность.		
2.2. Условия существования волн TE, TM и TEM типов. Граничные условия в пределах поперечного сечения волноведущей структуры. Гибридные EH/HE волны. Условия независимого существования TE и TM волн, пример волновода с металлическими стенками. Условия существования TEM волны. Односвязная и двухсвязная области в поперечном сечении. Основные используемые типы волноведущих структур.		
2.3. Прямоугольный волновод. Основная мода и высшие моды. Запредельный режим и одномодовый режим. Распределение поля и тока для основной моды. Вырождение мод. Круглый волновод. Основная мода и высшие моды. Запредельный режим и одномодовый режим. Конфигурация основной и первой высшей мод, конфигурация моды TE ₀₁ . H- и P-образный волноводы и их применение.		
2.4. Общие свойства линий передачи. Система телеграфных уравнений для произвольного числа проводников и принципы их решения. Телеграфные уравнения для одномодовой линии передачи, их параметры и общее решение. Комплексная постоянная распространения, волновой импеданс.		
2.5. Примеры одномодовых линий передачи и их свойства (распределение поля, волновой импеданс, постоянная распространения): коаксиальная линия, полосковая и микрополосковая линии, радиальная линия.		
2.6. Режимы работы линии передачи. Режим бегущей волны. Отражение от нагрузки. Режим стоячей волны. КСВН. Анализ режима работы и принцип измерения величины комплексной нагрузки: измерительная линия.		

2.7. Трансформация импеданса отрезком длинной линии. Коэффициент отражения и входное сопротивление в произвольном сечении нагруженной линии. Случай реактивной нагрузки. Случай короткого замыкания. Случай холостого хода. Применения резонансных отрезков длинной линии: повторение и обращение импеданса, КЗ и ХХ шлейфы, замыкание и размыкание по постоянному току, четвертьволновая канавка.		
2.8. Диаграмма Вольперта-Смита. Связь комплексного коэффициента отражения и импеданса нагрузки на координатной плоскости. Отображение на диаграмме входного сопротивления следующих устройств: отрезок согласованной линии, отрезок разомкнутой линии, отрезок замкнутой линии. Согласование импеданса при помощи четвертьволнового трансформатора. Комбинация четвертьволнового трансформатора и дополнительной секции согласованной линии. Комбинация четвертьволнового трансформатора и дополнительной реактивности.		
2.9. Согласование импеданса последовательным и параллельным шлейфом. Примеры реализации шлейфов. Согласование при помощи сосредоточенных элементов. Реализация сосредоточенных элементов в печатном исполнении.		2
2.10. Эквивалентность между волноводами и линиями передачи. Эквивалентный ток и напряжение для волновода. Принцип построения и условия применимости эквивалентной схемы волноводного устройства. Эквивалентные схемы различных волноводных устройств: короткозамкнутая нагрузка, открытый конец волновода, настроечный винт, соединение двух волноводов одинакового сечения с различным заполнением, диэлектрическая вставка в волноводе, индуктивная диафрагма, резонансная диафрагма и резонансная пластинка, волноводные фильтры высших порядков, скачок высоты волновода, скачок ширины волновода, согласованная нагрузка.		2
2.11. Волноводные устройства, их основные свойства и эквивалентные схемы: плавный переход, коаксиально-волноводный переход, Т-образный делитель Е-типа, Т-образный делитель Н-типа, соединитель Magic Tee.		
2.12. Матрица рассеяния и ее определение. Физический смысл коэффициентов матрицы рассеяния. Случай двухполюсника, случай четырехполюсника. Матрицы сопротивлений и проводимостей. Принцип измерения коэффициентов матрицы рассеяния векторным анализатором цепей. Примеры матрицы рассеяния волноводных четырехполюсников: однородный отрезок волновода, скачок характеристического сопротивления, сосредоточенная реактивность.		
2.13. Согласование шестиполюсников. Т-образный делитель и делитель Уилкинсона. Ферритовый циркулятор.		
2.14. Метод согласования мод и его применение.		
Часть 3. Антенны и излучатели		
3.1. Элементарные источники электромагнитного поля. Диполь Герца. Векторный потенциал и компоненты векторов поля диполя Герца. Понятие о ближней, промежуточной и дальней зонах. Комплексная векторная диаграмма направленности.		2
3.2. Элементарный магнитный диполь и его практические реализации: рамка с током, элементарный щелевой излучатель, ферритовый стержень. Элемент Гюйгенса и его свойства. Кардиоидная диаграмма направленности.		
3.3. Классификация антенн. Вибраторные антенны. Распределение тока по вибратору. Приближение синусоидального тока. Диаграмма направленности вибратора конечной длины. Зависимость распределения тока и диаграммы направленности от длины вибратора. Частные случаи: длина вибратора много меньше λ , равна $\lambda/2$, равна λ , равна $3\lambda/2$.		2
3.4. Понятие сопротивления излучения. Сопротивление излучения вибраторной антенны и вещественная часть входного сопротивления. Расчет сопротивления излучения в дальней зоне (при помощи вектора Пойнтинга). Зависимость сопротивления излучения от длины вибратора. Комплексное сопротивление антенны и его расчет методом наведенных ЭДС.		
3.5. Интегральное уравнение для тока в антенне. Вывод уравнения Поклингтона. Приближение сингулярного ядра интегрального уравнения. Принцип решения методом моментов.		
3.6. Теория связанных вибраторов. Z-параметры системы связанных вибраторов и их физический смысл. Расчет взаимного сопротивления двух связанных вибраторов методом наведенных ЭДС. Пример двух параллельных вибраторов: зависимость взаимного импеданса от расстояния между вибраторами. Примеры: горизонтальный вибратор над экраном, вибратор Пистолькорса (петлевой).		
3.7. Расчет пассивного вибратора. Антенна Яги-Уда. Эффект излучения кабеля и его физические причины. Практические схемы питания вибраторных антенн (схемы симметрирования): четвертьволновый стакан, симметрирование отрезком линии, U-колени, ферритовый симметрирующий трансформатор.		
3.8. Коэффициент направленного действия и его определения. Определение дальней зоны для направленных антенн. Антенные решетки. Теорема перемножения. Множитель плоской эквидистантной решетки. Условия главного максимума множителя решетки. Дифракционный максимум и условия его отсутствия. Ширина главного максимума для случая сканирования по нормали и в плоскости решетки.		

3.9. Классификация и схемы питания антенных решеток. Активные фазированные антенные решетки. Решетки с последовательным питанием. Решетки с параллельным питанием. Совмещенное последовательно-параллельное питание. Проходные и отражательные решетки.		
3.10. Излучение из апертуры. Поле в дальней зоне при излучении из апертуры в приближении приближение Кирхгофа. Множитель апертуры. Поле прямоугольной апертуры. Фурье-преобразование поля в апертуре. Свойства диаграммы направленности. Круглая апертура. Коэффициент направленного действия плоской апертуры.		2
3.11. Принцип работы и классификация рупорных антенн. Прямоугольные рупоры. Конический рупор. Скалярный рупор. Применения рупорных антенн.		
3.12. Пирамидальный рупор. Фазовая ошибка в раскрыве пирамидального рупора. Коэффициент использования площади раскрыва. Идеальный и оптимальный рупоры.		
3.13. Зеркальные антенны и их применения. Параболическая антенна: принципы построения и основные факторы, ограничивающие КНД. Оптимальная численная апертура. Осевое и поперечное смещение облучателя из фокуса. Двухзеркальные системы Грегори и Кассегрена.		

Темы лабораторных работ:

1. Рупорные антенны
2. Зеркальные антенны
3. Вибраторная антенна. Антенна «волновой канал» (антенна Яги — Уда)
4. Фрактальные антенны. Треугольник Серпинского
5. Логопериодические антенны
6. Одноэлементный вибратор
7. Волноводно-щелевые решётки

Темы практических занятий:

1. Уравнения Максвелла. Плоские волны. Расчёт коэффициентов отражения и прохождения для волн различной поляризации.
2. Векторные потенциалы. Потенциал Герца
3. Элементарные излучатели. Диполь Герца.
4. Расчёт вибраторных антенн. Направленность, входное сопротивление.
5. Расчёт апертурных антенн. Функция Грина.
6. Длинные линии. Расчет волноводов.
7. Согласование, методы согласования, широкополосное согласование.

Рекомендуемые ресурсы

1. Сазонов, Дмитрий Михайлович. Антенны и устройства СВЧ : [учебник для вузов по специальности "Радиотехника"] .— М. : Высшая школа, 1988 .
2. Электродинамика и распространение радиоволн, Никольский В.В., Никольская Т.И., 1989.
3. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М. — «Энергия», 1975. - 528 с.
4. Нефедов, Евгений Иванович. Устройства СВЧ и антенны / Е. И. Нефедов .— М. : Издательский центр "Академия", 2009 .— 375, [1] с. : ил.
5. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин [и др.] ; под ред. Г. А. Ерохина, М. : Горячая линия - Телеком, 2007 .— 492 с. : ил.
6. Электродинамика и распространение радиоволн / Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А. — Москва : Лань", 2014
7. Balanis, Constantine A. Antenna Theory: Analysis and Design / Constantine A. Balanis. — Hoboken: John Wiley Sons, 2012
8. Pozar, David M. Microwave Engineering / David M. Pozar. — Hoboken: John Wiley Sons, 2012

Политика оценивания

Оценочные средства дисциплины: лабораторное занятие, практическое занятие, коллоквиум, экзамен.

Все вовремя выполненные практические задания и лабораторные являются допуском к коллоквиуму. Коллоквиум проводится в формате тестирования, за которое выставляется оценка по пятибалльной шкале.

Аттестация в конце семестра - экзамен, минимальный порог для выполнения для получения аттестации - оценка "удовлетворительно". Допуском к экзамену являются выполненные практические задания и лабораторные по второй части курса. Экзамен проводится в письменной форме: по двум вопросам необходимо подготовить основные формулы, графики и схемы. Время на подготовку – 1 час. Разрешается использование конспекта и литературы.

Критерии оценивания:

Оценка 3 - "удовлетворительно": студент уверенно знает основные определения и закономерности, физические принципы работы устройств.

Оценка 4 - "хорошо": студент уверенно знает основные определения и закономерности, физические принципы работы устройств, способен пояснить логику вывода основных формул, может назвать частные случаи, правильно дает определения терминов и понятий из смежных вопросов курса.

Оценка 5 - "отлично": студент уверенно знает основные определения и закономерности, физические принципы работы устройств, способен пояснить логику вывода основных формул, точно называет область применимости формул и основные

допущенные при выводе ограничения, может назвать частные случаи, правильно отвечает на дополнительные устные вопросы из смежных вопросов курса по терминологии и физическим принципам работы устройств, оперирует типичными значениями физических величин для рассматриваемых примеров.