Устройства СВЧ и антенны

Lecturers:

Станислав Глыбовский Борис Лебедев

Assistants:

Михаил Сиганов



Language:

Русский

Credit points:

3 з.е.

Monitoring type:

Экзамен

Educational Program:

Беспроводные технологии (магистратура)

1 семестр

Prerequisites:

Общая физика: электричество и

магнетизм

Техническая электродинамика

Введение в теорию электрических цепей

Lectures (a.h)*	Practice (a.h)	Labs (a.h)		
32	14	14		
*1 academic hour = 45 minutes				

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 теоретическое 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 волноведущих 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.

Course content

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 ТЕ и ТМ 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 ТЕ, ТМ и ТЕМ типов и их особенности (структура поля, поляризация и характеристическое сопротивление). Передаваемая мощность.		
2.2. Условия существования волн ТЕ, ТМ и ТЕМ типов. Граничные условия в пределах поперечного сечения волноведущей структуры. Гибридные ЕН/НЕ волны. Условия независимого существования ТЕ и ТМ волн, пример волновода с металлическими стенками. Условия существования ТЕМ 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 TEO1. Н- и П-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 сопротивления 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 закороченной 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 $3\lambda/2$.	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-колено, 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. Фурьепреобразование 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.

Recommended resources

- 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

Grading Policy

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.