Методы проектирования антеннной техники

Лекторы:
Станислав Глыбовский
Михаил Сиганов

Язык:
Русский

Трудоемкость:
3 з.е.

Форма контроля:
Экзамен

Образовательная программа:
Беспроводные технологии (магистратура)
2 семестр

Пререквизиты:
Техническая электродинамика
Антенны и радиочастотные устройства

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
16	16	
*1 академический час = 45 минутам		

Целью курса является ознакомление с практическими вопросами решения задачи синтеза современных компактных антенных систем и изучение методов решения задачи узкополосного и широкополосного согласования и обеспечения заданной формы диаграммы направленности. Внимание уделяется фундаментальным и практическим ограничениям при решении обеих задач. Кроме того, рассматриваются проблемы миниатюризации и интеграции антенн, включая методы настройки и согласования электрически малых антенн, максимизации их КПД, а также снижения взаимного влияния между близкорасположенными антеннами. Наконец, приводятся принципы работы и методы расчета основных типов планарных антенн (микрополосковых антенн, печатных антенн вытекающей волны, а также планарных широкополосных антенн).

Содержание курса

2 семестр

Специальные вопросы теории антенн

Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)	Практика (ак.ч.)
Введение		
1. Виды антенн и их применения: всенаправленные и направленные, частотно-независимые антенны и антенны ближнего поля;	2	2
2. Основные тенденции в развитии современной антенной техники. Этапы процесса разработки антенны. Внутренняя и внешняя задача теории антенн;		
Тема 1. Внутренняя задача синтеза антенн: согласование с линией передачи		
1.1. Физический смысл согласования импеданса в сосредоточенных и распределенных системах. Эффекты, вызванные рассогласованием импеданса. Согласование по мощности и по шумам. Максимальная передача мощности в нагрузку. Классификация устройств согласования, сосредоточенные и распределенные цепи согласования. Элементы цепей согласования и их печатная реализация;	2	2
1.2. Диаграмма Вольперта-Смита, физический смысл ее координатных поверхностей. Добавление последовательного и параллельного сосредоточенного элемента, представление на диаграмме. Цепь согласования L-типа, ее расчет и основные ограничения;		
1.3. Полоса частот при согласовании заданной нагрузки. Полоса частот согласования двухэлементной цепью согласования. Применения метода кривых постоянной добротности, оценка количества элементов цепи согласования. Трехэлементная цепь согласования, цепи Т- и П-типов;		
1.4. Линии передачи, используемые для цепей согласования с распределенными параметрами. Добавление секции линии передачи, импеданс короткозамкнутого шлейфа и шлейфа холостого хода. Согласование шлейфом и отрезком линии передачи, выбор типа шлейфа. Соответствие шлейфа и сосредоточенного импеданса в схемах согласования; Согласование двумя и более шлейфами;	2	2
1.5. Четвертьволновый трансформатор, факторы, влияющие на ширину полосы согласования. Многозвенные трансформаторы импеданса, расширение полосы и уменьшение физических размеров устройства согласования. Трансформаторы на основе связанных линий. Визуальный метод широкополосного согласования при помощи диаграммы Вольперта-Смита;		
1.6. Приближение малого отражения при расчете многозвенных трансформаторов импеданса. Применение к синтезу цепей с биномиальной и чебышевской характеристиками. Примеры практической реализации многозвенных трансформаторов.		
1.7. Плавный переход как широкополосное устройство согласования, основные уравнения. Экспоненциальный и треугольный переходы, переход Шлопфельштайна.	2	2
1.8. Теоретическое ограничение на ширину полосы согласования импеданса. Предел Боде-Фано. Примеры записи для различных видов нагрузки. Не-Фостеровские цепи согласования, отрицательная емкость, отрицательная индуктивность. Схема реализации отрицательных элементов на операционном усилителе. Практические схемы реализации отрицательных элементов на транзисторах. Применение не-Фостеровских цепей согласования;		
1.9. Особенности согласования четырехполюсников. Двухстороннее согласование импеданса.		
Тема 2. Внешняя задача синтеза антенн: обеспечение заданной диаграммы направленности		
2.1. Основные параметры излучения антенн. Диаграмма направленности и ее характеристики. Классификация волновых зон антенны. Мощностные характеристики в дальней зоне: КНД, КУ и КПД. Виды эффективностей излучения антенны. Реализованный коэффициент усиления антенны.	2	2
2.2. Характеристики поляризации в зоне излучения антенны. Виды поляризации. Эллипс поляризации и его характеристики. Примеры антенн с различными визами поляризации.		
2.3. Теоретические ограничения на добротность и полосу электрически малых антенн. Зависимость импеданса и КПД дипольной антенны от длины антенны. Понятия об оптимальном распределении тока по сфере Чу. Антенна Чу с минимальной добротностью и ее реализация в виде сферической катушки. Влияние поляризации и заполнения материалом. Предел Харрингтона-Чу и примеры его достижения при помощи антенн различных конфигураций.		

2.4. Влияние высших мультипольных мод в электрически малых антеннах. Явление сверхнаправленности. Ограничение по направленности и полосе для многомодовых электрически малых антенн. Предел Харрингтона-Чу для многомодовых антенн.		
Тема 3. Планарные и интегрированные типы антенн		
3.1. Микрополосковые антенны как основной тип антенн, применяемый для интеграции антенны (антенной решетки) и электронных устройств на печатной плате. Основные виды микрополосковых антенн. Преимущества и недостатки микрополосковых антенн в различных применениях.	2	2
3.2. Виды питания микрополосковых антенн: коаксиальный кабель, микрополосковая линия, электромагнитно-связанный фидер, фидер со щелевой связью, апертурно-связанное питание.		
3.3. Модель резонатора с магнитными стенками для описания микрополосковой антенны. Расчет полей различным собственных мод прямоугольной микрополосковой антенны. Резонансная частота антенны. Учет краевого эффекта: теория эффективных размеров резонатора.		
3.4. Ограничение по полосе для прямоугольной микрополосковой антенны. Практические приемы расширения рабочей полосы частот. Влияние потерь различного типа в микрополосковой антенне и факторы, влияющие на ее КПД.	2	2
3.5. Диаграмма направленности прямоугольной микрополосковой антенны и ее расчет. Сопротивление излучения. Влияние эффектов дифракции на краях экрана в E- и H-плоскостях и методы борьбы с ними.		
3.6. Микрополосковые антенны круговой поляризации: различные виды питания в одной и двух точках, их преимущества и недостатки.		
3.7. Антенны бегущей волны и их примеры. Антенны вытекающей волны и их классификация. Волноводно-щелевые антенные решетки. Антенны вытекающей волны на основе волновода, интегрированного в подложку и искусственных право- и левосторонних линий передачи. Частотное сканирование в полном угловом диапазоне.	2	2
3.8. Методы расчета и синтеза антенн вытекающей волны. Двумерные антенны вытекающей волны и голографические антенны на основе пространственной модуляции поверхностного импеданса.		
3.9. Плоские сверхширокополосные антенны. Принципы их построения и практические реализации.		
Тема 4. Вопросы электромагнитной совместимости при решении задачи синтеза антенн		
4.1. Методы миниатюризации антенн. Нагрузка проволочных антенн на реактивные элементы. Применение щелей и надрезов металлизации. Сгибание и меандрирование. IFA и FIFA антенны и их практические реализации. Применение пространственно-заполняющих кривых. Фрактальные антенны. Заполнение материалами с высокой диэлектрической и магнитной проницаемостью.	2	2
4.2. Антенны для разнесенного приема. Одиночная приемная антенна. Эквивалентная схемы приемной антенны. Пространственное разделение каналов. SIMO и MIMO антенные системы и их применения. Модель канальной матрицы и матрицы передачи многоэлементной антенной системы. Детерминированные и статистические каналы.		
4.3. Расчетная модель двухэлементной приемной системы из двух параллельных вибраторов. Влияние расположения и КПД и взаимного влияния на характеристики принятых сигналов.	2	2
4.4. Практические конфигурации многоэлементных приемных антенн мобильных терминалов 4G и 5G.		
4.5. Методы развязки близкорасположенных антенн. Ортогональные поляризации. Цепи развязки-согласования. Пример модальной развязки при помощи гибридных делителей. Резонансная и нерезонансная развязка за счет пассивной развязывающей структуры в ближнем поле. Развязка при помощи метаповерхностей: частотно-селективные поверхности, структуры с запрещенной зоной.		
4.6. Симметричное и асимметричное питание. Эффекты затекания токов. Устройства симметрирования: четвертьволновый стакан, U-колено, ферритовые кольца и трансформаторы.		

Рекомендуемые ресурсы

1. Pozar D. M. Microwave and RF design of wireless systems. – John Wiley & Sons, 2000.
2. Volakis J. L., Chen C. C., Fujimoto K. Small antennas: miniaturization techniques & applications. – McGraw-Hill, 2010.
3. Caloz C., Itoh T. Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications. – John Wiley & Sons, 2005.
4. Balanis C. A. Antenna theory: analysis and design. – John wiley & sons, 2016.
5. Kumar G., Ray K. P. Broadband microstrip antennas. – Artech house, 2003.
6. Chen X., Zhang S., Li Q. A review of mutual coupling in MIMO systems //IEEE Access. – 2018. – Т. 6. – С. 24706-24719.

Политика оценивания

Оценочные средства дисциплины: практическое задание, зачет.

Тип самостоятельных заданий

Домашнее задание 1.
Рассчитать уровень КСВН и форму диаграммы направленности в полосе частот для планарной спиральной антенны со следующими параметрами: Ширина проводника 3.1 мм, Радиус антенны
70 мм, Расстояние между проводниками постоянное 4.4 мм, В центре антенны установлен дискретный источник питания с сопротивлением 250 Ом.

Домашнее задание 2.
1. Согласовать 50-омный порт с двумя нагрузками: 150 Ом и 200 Ом в полосе частот от 1 до 10 ГГц. Согласовать 50-омный порт с заданной спиральной антенной. Для согласования использовать
биномиальный трансформатор из 6-ти сегментов.
2. Повторить п.1, но в качестве согласующего устройства использовать трансформатор с Чебышевской характеристикой из 4-х секций.
3. Рассчитать экспоненциальный трансформатор для согласования заданной антенны на 50 Ом.

Домашнее задание 3.
Рассчитать характеристики согласования и излучения микрополосковой антенны с различными значениями диэлектрической проницаемости подложки и согласовать ее импеданс с портом 50
Ом на частоте 10 ГГц. Исходные размеры для значения диэлектрической проницаемости подложки Eps=1. Размеры микрополоскового резонатора 15 x 14.2 мм; ширина микрополосковой линии 4.9 мм; толщина подложки 1 мм; зазор между линией и краями патча 0.8 мм; углубление линии внутрь патча 4 мм.