

1. Название

Специальные вопросы теории антенн

2. Лектор (ы)

Глыбовский Станислав Борисович

3. Ассистент (ы)

Соломаха Георгий Алексеевич

4. Язык обучения

Русский

5. Зачётные единицы (кредиты) и форма оценивание (экзамен, зачёт, зачёт с оценкой)

5 з.е., экзамен

6. Образовательная программа (ы) и семестр изучения

Магистратура: ФИЗИКА РАДИОЧАСТОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, 3 семестр

7. Пререквизиты (курсы и темы, навыки и умения, как необходимое условие для изучения дисциплины – уточните базовые или продвинутое курсы, присутствуют ли в программах ФТФ, так как под разными названиями курсов может быть различное содержание)

Техническая электродинамика, Антенны и радиочастотные устройства.

8. Краткая аннотация (на простом и доступном языке с обязательным указанием пунктов ниже):

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 (микроразомкнутых антенн, печатных антенн вытекающей волны, а также планарных широкополосных антенн).

9. Содержание курса

Введение

1. Виды антенн и их применения: всенаправленные и направленные, частотно-независимые антенны и антенны ближнего поля;
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

3. 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;
4. 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;
5. 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 T- и П-типов;
 6. 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;
 7. 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;
 8. Приближение малого отражения при расчете многозвенных трансформаторов импеданса. Применение к синтезу цепей с биномиальной и чебышевской характеристиками. Примеры практической реализации многозвенных трансформаторов.
 9. Плавный переход как широкополосное устройство согласования, основные уравнения. Экспоненциальный и треугольный переходы, переход Шлопфельштайна.
 10. Теоретическое ограничение на ширину полосы согласования импеданса. Предел Боден-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;
 11. Особенности согласования четырехполюсников. Двухстороннее согласование импеданса.

Тема 2. Внешняя задача синтеза антенн: обеспечение заданной диаграммы направленности

12. 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.
13. Характеристики поляризации в зоне излучения антенны. Виды поляризации. Эллипс поляризации и его характеристики. Примеры антенн с различными видами поляризации.
14. 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.
15. 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

16. Микрополосковые антенны как основной тип антенн, применяемый для интеграции антенны (антенной решетки) и электронных устройств на печатной плате. Основные виды

- микроразомосковых антенн. Преимущества и недостатки микроразомосковых антенн в различных применениях.
17. Виды питания микроразомосковых антенн: коаксиальный кабель, микроразомосковая линия, электромагнитно-связанный фидер, фидер со щелевой связью, апертурно-связанное питание.
 18. Модель резонатора с магнитными стенками для описания микроразомосковой антенны. Расчет полей различным собственными мод прямоугольной микроразомосковой антенны. Резонансная частота антенны. Учет краевого эффекта: теория эффективных размеров резонатора.
 19. Ограничение по полосе для прямоугольной микроразомосковой антенны. Практические приемы расширения рабочей полосы частот. Влияние потерь различного типа в микроразомосковой антенне и факторы, влияющие на ее КПД.
 20. Диаграмма направленности прямоугольной микроразомосковой антенны и ее расчет. Сопротивление излучения. Влияние эффектов дифракции на краях экрана в E- и H-плоскостях и методы борьбы с ними.
 21. Микроразомосковые антенны круговой поляризации: различные виды питания в одной и двух точках, их преимущества и недостатки.
 22. 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.
 23. Методы расчета и синтеза антенн вытекающей волны. Двумерные антенны вытекающей волны и голографические антенны на основе пространственной модуляции поверхностного импеданса.
 24. Плоские сверхширокополосные антенны. Принципы их построения и практические реализации.

Тема 4. Вопросы электромагнитной совместимости при решении задачи синтеза антенн

25. Методы миниатюризации антенн. Нагрузка проволочных антенн на реактивные элементы. Применение щелей и надрезов металлизации. Сгибание и меандрирование. IFA и FFA антенны и их практические реализации. Применение пространственно-заполняющих кривых. Фрактальные антенны. Заполнение материалами с высокой диэлектрической и магнитной проницаемостью.
26. 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.
27. Расчетная модель двухэлементной приемной системы из двух параллельных вибраторов. Влияние расположения и КПД и взаимного влияния на характеристики принятых сигналов.
28. Практические конфигурации многоэлементных приемных антенн мобильных терминалов 4G и 5G.
29. 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.
30. Симметричное и асимметричное питание. Эффекты затекания токов. Устройства симметрирования: четвертьволновый стакан, U-колени, ферритовые кольца и трансформаторы.

10. Литература

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.

11. Оценка успеваемости по курсу и примеры заданий

Форма контроля	Тип задания	Вес %	Минимальный порог выполнения для получения аттестации (оценка 3 или зачёт) %	Сроки выполнения	Комментарии
Текущий контроль	Расчетное домашнее задание	25	зачет	Конец семестра	
Промежуточная аттестация (Mid-term)	Презентация	25	Оценка 3	Конец второго месяца обучения	
Аттестация (экзамен/зачёт)	Экзамен	50	Оценка 3	Конец семестра	
Σ		100			

Содержание презентации и критерии выставления оценки по промежуточной аттестации:

Подготовить презентацию по выбранному вопросу из курса лекций, рассказать содержание презентации лектору и ответить на вопросы лектора по содержанию презентации. В презентации освещены основные принципы работы устройств и физический смысл методов (3 балла).

Дополнительно приводится и поясняется вывод основных уравнений и дается ответ на вопросы по практическим аспектам (4 балла). Дополнительно дается правильный ответ по смежным темам курса и/или в презентации приводятся результаты самостоятельного обзора литературы или проведенных исследований (5 баллов).

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 $\epsilon_{rs}=1$. 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.