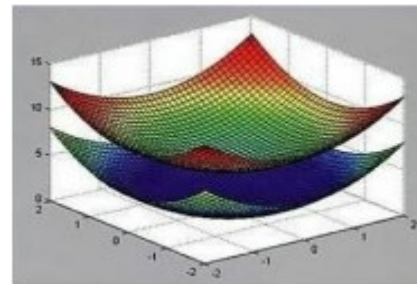


Численные методы в радиофизике

Лекторы:



Язык:

Русский

Трудоемкость:

6 з.е.

Форма контроля:

Экзамен

Образовательная программа:

Беспроводные технологии (магистратура)

2 семестр

Пререквизиты:

Общая физика: современная физика

Техническая электродинамика

Основы теории цепей

Программирование

| Лекции (ак.час)* | Практические занятия (ак.час) | Лабораторные занятия (ак.час) |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 34 | 58 | |
| *1 академический час = 45 минутам | | |

Цель изучения данного курса – глубокое освоение современных методов и методик проектирования и анализа излучения сложных электродинамических систем на основе компьютерного моделирования. В основе курса лежит представление фундаментальных принципов теории электромагнитного поля таким образом, чтобы учащиеся смогли легко применить их к задачам анализа и проектирования антенн.

Курс начинается с рассмотрения общих физических принципов, на которых основывается теория электромагнитного поля, что требуется для понимания принципов излучения радиоволн антеннами. Далее в применении к анализу антенн последовательно рассматриваются три базовых численных метода: метод конечных разностей во временной области (КРВО), метод моментов (ММ) и метод конечных элементов (МКЭ).

Поскольку КРВО непосредственно аппроксимирует уравнения Максвелла, основное место в курсе уделено именно ему. Подробно рассматриваются общая структура КРВО программ, программное представление расчетной области и преобразование уравнений Максвелла в конечно-разностную форму, классический алгоритм Йи, пространственновременная дискретизация материальных объектов, проблемы устойчивости, численной сходимости метода и многое другое, поглощающие граничные условия, идеальносогласованные слои (perfectly matched layers, PML) и т.п.

При изучении метода моментов рассматриваются общие математические ММ, интегральные уравнения произвольной и проволочной структуры, алгоритмическая и программная реализация формирования СЛАУ и представления моделей возбуждения, осуществляется обучение практическому решению систем интегральных уравнений. Параллельно рассматриваются методики численного интегрирования, дифференцирования и т.п. Метод конечных элементов представлен в виде узловой реализации, позволяющей решать скалярные уравнения Лапласа и Пуассона, либо осесимметричные векторные задачи в виде волновых уравнений Гельмгольца.

Последовательно рассматривается процедура решения одномерных, двумерных задач, реализация узлового МКЭ в среде MATLAB и практическое решение простейшей задачи излучения элементарного магнитного диполя. Подавляющее число занятий являются практическими.

Цель практических занятий – самостоятельная и пошаговая подготовка студентами алгоритмов расчета антенн, реализация алгоритмов в среде MATLAB в виде готовых программ. Основной упор в дисциплине делается на приведении физики, математики и основ программирования к понятному для студента уровню, развитие творческого и нестандартного мышления, повышение научного потенциала обучаемых.

Исходя из тенденции широкого внедрения при проектировании радиотехнических систем современных программных комплексов, таких как CST Microwave Studio, ANSYS HFSS, FEKO, COMSOL и т.п., глубокое понимание процессов, моделируемых данными программными продуктами за счет умения самостоятельно их моделировать является крайне актуальным для будущих инженеров – специалистов широкого профиля. Курс является уникальным, ориентирован на развитие у студентов научного нестандартного подхода к разработке сложных электродинамических систем.

Содержание курса

2 семестр магистратура

Численные методы в радиофизике

Структура курса

| Разделы | Лекции (ак.ч.) | Практика (ак.ч.) |
|--|-------------------|---------------------|
| 1. Основные уравнения классической электродинамики | | |
| 1.1. Уравнения Максвелла и Гельмгольца | 2 | |
| 1.2. Начальные и граничные условия | 2 | |
| 1.3. Введение в численные методы электродинамики | 2 | |
| 2. Метод конечных разностей во временной области | | |
| 2.1. Введение в метод конечных разностей во временной области | 2 | |
| 2.2. Структура КРВО - программ | | 2 |
| 2.3. Программное представление расчетной области и преобразование уравнений Максвелла в конечно-разностную форму Алгоритм Йи | | |
| 2.4. Представление уравнений Максвелла для решения задач методом КРВО | 2 | |
| 2.5. Пространственная дискретизация объектов в алгоритмах КРВО | | 2 |
| 2.6. Пространственно-временная дискретизация объектов КРВО | | 2 |
| 2.7. Проблемы устойчивости и численной сходимости метода КРВО | 2 | |
| 2.8. Источники возбуждения в методе КРВО | 2 | |
| 2.9. Расчет параметров дискретного электромагнитного поля в классических алгоритмах КРВО | | 2 |
| 2.10. Моделирование простейших излучателей с использованием классических алгоритмов КРВО | | 2 |
| 2.11. Моделирование переходных процессов в цепях питания антенн | | 2 |
| 2.12. Расчет значений составляющих электромагнитного поля на заданном расстоянии от возбуждаемой точки пространства | | 2 |
| 2.13. Методы имитации поглощения волн на границах расчетной области в методе КРВО | 2 | |
| 2.14. Расчет элементов полей рассеяния объекта локальным методом КРВО | | 2 |
| 2.15. Расчет несимметричного вибратора с применением PML | | 2 |
| 2.16. Моделирование плоских волн и объектов сложной конфигурации | | 2 |
| 3. Макроскопическая электродинамика и метод КРВО | | |
| 3.1. Постановка расчетных макроскопических задач электродинамики, решаемых методом КРВО | 2 | |
| 3.2. Расчет амплитудного распределения поля вблизи объектов различной конфигурации | | 2 |
| 3.3. Моделирование прохождения плоской волны через границы раздела сред | | 2 |
| 3.4. Моделирование падения плоской волны на границу раздела сред | | 2 |
| 3.5. Моделирование зон, существенных для РРВ | | 2 |
| 3.6. Моделирование распространения радиоволн над плоской, сферической и неоднородной поверхностью | | 2 |
| 3.7. Постановка антенных задач для решения методом КРВО | 2 | |
| 3.8. Моделирование линейных антенн различной конфигурации | | 2 |
| 3.9. Моделирование антенн круговой поляризации | | 2 |
| 3.10. Расчет амплитудного распределения тока вдоль поверхности вибратора | | 2 |

| | | |
|---|---|---|
| 3.11. Расчёт входного сопротивления антенны методом КРВО | | 2 |
| 3.12. Метод Стреттона-Чу и его применение в задачах амплитуды полей в дальней зоне методом КРВО | 2 | |
| 3.13. Расчет диаграммы направленности симметричного вибратора в свободном пространстве | | 2 |
| 3.14. Расчет элементов полей рассеяния объекта локальным методом КРВО | | 2 |
| 3.15. Моделирование антенн в диссипативных средах методом КРВО | | 2 |
| 3.16. Расчет взаимного влияния антенн методом КРВО | | 2 |
| 4. Метод моментов | | |
| 4.1. Математические аспекты метода моментов | 2 | |
| 4.2. Уравнение для проволочной структуры | 2 | |
| 4.3. Алгоритмическая реализация метода моментов | 2 | |
| 4.4. Модели возбуждения в методе моментов | | 2 |
| 4.5. Модели возбуждения в методе моментов | | 2 |
| 5. Метод конечных элементов | | |
| 5.1. Введение в метод конечных элементов (лекция) | 2 | |
| 5.2. Применение МКЭ для решения одномерных задач (лекция) | 2 | |
| 5.3. Решения двумерных задач методом конечных элементов (лекция) | 2 | |
| 5.4. Аппроксимация линейными многочленами и базисные функции (практическое занятие) | | 2 |
| 5.5. Реализация узлового метода конечных элементов в среде программирования MATLAB (практическое занятие) | | 2 |
| 5.6. Решение уравнения Лапласа (Гельмгольца) узловым методом конечных элементов (MATLAB) (практическое занятие) | | 2 |
| 5.7. Решение задачи излучения элементарного магнитного диполя узловым методом конечных элементов (практическое занятие) | | 2 |

Рекомендуемые ресурсы

Обязательная:

1. Бахвалов, Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – Бином. Лаборатория знаний, 2003. – 640 с.
2. Бородулин Р.Ю. Численные методы электродинамики / Моногр. – СПб.: ВАС, 2016. – 200 с.: ил.

Дополнительная:

1. Вычислительные методы в электродинамике / под ред. Р. Митры; пер. с англ. под ред. Э. Л. Бурштейна. – М., 1977.
2. Марков, Г. Т. Антенны: Учеб. для студентов радиотехнич. специальностей вузов / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975.
3. Stutzman, W. L. Antenna Theory and Design / W. L. Stutzman, G. A. Thiele. – 3-rd ed. – N.Y.: John Wiley and Sons, Inc., 2012.
4. Sadiku, M. Numerical Techniques in Electromagnetics / M. Sadiku. – Second ed. – CRC Press, 2001.
5. Jin, J. M. The finite element method in electromagnetics / J. M. Jin. – Second ed. – N.Y.: John Wiley and Sons, Inc., 2002.

Политика оценивания

Оценочные средства дисциплины: контрольное задание, практическое задание, коллоквиум, экзамен.

В конце семестра проводится публичная защита выданного на семестр контрольного задания (оформление в виде презентации и текстовой части). Тема контрольного задания формируется в начале семестра, закрепляется за каждым студентом индивидуально, исходя из предпочтений и темы магистерской диссертации.

При выставлении итоговой оценки учитывается процент выполненных практических заданий. Все практические задания выполняются в виде текстовых отчетов с приложением рабочих скриптов программ.

Оценка за коллоквиум формируется исходя из количества представленных отчетов :

1. по аналитической части курса (max. 30 баллов)
2. по численным методам анализа, пройденным за половину курса (max. 40 баллов)
3. по представленной математической модели из практического задания, в виде рабочего скрипта и письменного отчета, (max. 30 баллов)

Максимальное число баллов за коллоквиум 100 баллов.

Оценка за коллоквиум формируется исходя из количества баллов: от 90 до 100 – «отлично», от 74 до 90 – «хорошо», от 60 до 74 – «удовлетворительно».

Допуск к экзамену производится по результатам защиты практического задания. Если работа не защищена, то студент на экзамене получает 0 баллов за практику, что приводит к выставлению оценки "неудовлетворительно".

Оценка за экзамен складывается из баллов за теорию и за практику. Практика является определяющей.

Оценка за практику формируется исходя из количества представленных отчетов за:

1. рабочие скрипты программ по реализации методов оптимизации в системе MATLAB с их верификацией, оформление в виде письменного отчета (max 30 баллов);
2. рабочие скрипты программ по конструкционному синтезу и оптимизации рассмотренных в курсе антенн в системе MATLAB, оформление в виде письменного отчета (max 40 баллов)

Максимальное количество баллов за практику - 70 баллов.

Устная часть экзамена проводится по билетам, состоящим из двух вопросов:

1. по аналитической части курса (max 10 баллов)
2. по математическому аппарату численных методов и методов оптимизации (max 20 баллов)

Максимальное количество баллов за теорию 30 баллов.

Оценка за экзамен формируется исходя из общего количества баллов: от 90 до 100 – «отлично», от 74 до 90 – «хорошо», от 60 до 74 – «удовлетворительно».

Тип самостоятельных заданий

Задача 1. Рассчитать и построить диаграмму направленности в плоскостях E и H элементарного электрического диполя, расположенного в свободном пространстве.

Задача 2. Рассчитать и построить диаграмму направленности в плоскостях E элементарного электрического диполя, расположенного над идеально проводящей плоскостью на высоте $\lambda/4$.

Задача 3. Рассчитать и изобразить графически распределение относительной амплитуды тока вдоль бесконечно тонкого симметричного вибратора с длиной плеча $l=0,5\lambda$.