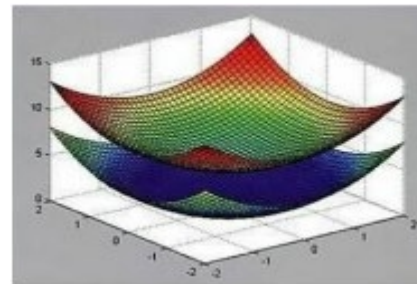


# Численные методы в радиофизике

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.)
<b>1. Основные уравнения классической электродинамики</b>		
1.1. Уравнения Максвелла и Гельмгольца	2	
1.2. Начальные и граничные условия	2	
1.3. Введение в численные методы электродинамики	2	
<b>2. Метод конечных разностей во временной области</b>		
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
<b>3. Макроскопическая электродинамика и метод КРВО</b>		
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
<b>4. Метод моментов</b>		
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
<b>5. Метод конечных элементов</b>		
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  $l=0,5\lambda$ .