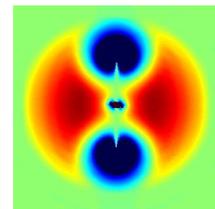


1. Название курса: «Методы численного анализа и оптимизации в радиофизике»



2. Лектор:

доцент практики, д.т.н. Бородулин Роман Юрьевич

3. Ассистент:

доцент практики, к.т.н. Лукьянов Николай Олегович

4. Язык обучения: русский

5. Зачетные единицы: 3 з.е., экзамен

6. Образовательная программа и семестр изучения: Магистратура: «Радиочастотные системы и устройства», 3 семестр

7. Пререквизиты: общая физика, техническая электродинамика, теория цепей, информатика, программирование (ориентирование на MATLAB, FORTRAN)

8. Краткая аннотация:

Цель изучения данного курса – глубокое освоение современных методов и методик оптимизации сложных электродинамических систем на основе практического компьютерного моделирования. В основе курса лежит рассмотрение методов поиска оптимальных значений максимума или минимума целевой функции n -переменных, включающей искомые параметры антенн.

Курс начинается с рассмотрения базовых методов оптимизации, применяющихся при проектировании сложных электродинамических систем. Рассматриваются математические аспекты методов, возможные алгоритмы их практической реализации.

Поскольку в любой практической оптимизационной задаче важным этапом является моделирование рассматриваемой физической ситуации с целью получения математической функции, подлежащей минимизации, основное внимание в курсе уделено методам численного электродинамического анализа. Первым из изучаемых, наиболее быстрым методом, является метод моментов, позволяющий производить оптимизацию проволочных антенн. В курсе в качестве основы рассмотрен метод Галеркина с кусочно-синусоидальным базисом, его реализация в среде MATLAB.

Вторым по скорости нахождения решений является метод конечных элементов и его двумерная узловая реализация. Данный метод хорошо подходит для поиска оптимальных решений для осесимметричных линий питания и антенн, включающих различные диэлектрические неоднородности. Рассмотрение данного метода основано на его практической реализации в среде MATLAB.

Третьим по скорости нахождения решений методом является метод конечных разностей во временной области. Данный метод является наиболее универсальным, поскольку позволяет рассчитывать антенны, содержащие включения из произвольных материалов в произвольных комбинациях. Поскольку скорость анализа здесь напрямую зависит от ресур-

сов ЭВМ и размерности задач, студенты учатся ставить оптимальные граничные условия с целью снижения данных требований. После рассматривается несколько вариантов постановки оптимизационных задач по нахождению оптимальных конструкций различных типов антенн.

Подавляющее число занятий являются практическими. Цель практических занятий – самостоятельная и пошаговая подготовка студентами алгоритмов синтеза антенн, их реализация 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, чего невозможно достичь, используя стандартные готовые пакеты программ.

9. Содержание курса

Номер занятия	Основные темы раздела, разделенные на лекции, практики, лабораторные		Формат занятия
	3 семестр		
	Тема 1	Методы оптимизации в технике	
1.		Эволюционные и градиентные методы.	Л
2.		Оптимизация широкополосной антенны квазиньютоновским методом.	ПЗ
3..		Методика конструкционного синтеза широкополосных антенн градиентным методом.	Л
4.		Методика конструкционного синтеза широкополосных антенн генетическим алгоритмом.	Л
5..		Оптимизация широкополосной антенны генетическим алгоритмом.	ПЗ
	Тема 2	Метод моментов как метод анализа при решении оптимизационных задач	
6.		Решение уравнения Ричмонда.	Л
7.		Алгоритм вычисления интегральной показательной функции для метода моментов с КСБФ (MATLAB).	ПЗ
8.		Разработка программы для расчета трехмерных моделей излучателей.	ПЗ
9.		Методика и алгоритм расчета методом моментов.	Л
10.		Оптимизация характеристики направленности проволочных излучателей алгоритмом Ричмонда.	ПЗ
11.		Решение СЛАУ средствами MATLAB методом моментов.	ПЗ
12.		Разработка модели несимметричного вибратора над поверхностями с различными электрическими параметрами	ПЗ
13.		Оптимизация конструкции несимметричного вибратора расположенного над плоскостью с различными электрическими параметрами.	ПЗ
	Тема 3	Метод конечных элементов как метод анализа при решении задач оптимизации осесимметричных структур	Л
14.		Применение локальных L -координат при формировании СЛАУ элементов.	Л
15.		Применение оптимальных граничных условий в МКЭ.	Л
16.		Алгоритм решения уравнения Гельмгольца МКЭ.	Л
17.		Проблемы применения узлового МКЭ для решения задач излучения	Л
18.		Первый подход к повышению точности решения двумерных электродинамических задач излучения.	Л
19.		Разработка модели с использованием оптимизированной трансформирующей функции при решении задач методом конечных элементов.	ПЗ
20.		Второй подход к повышению точности решения двумерных электродинамических задач излучения.	Л
21.		Представление векторов в узловом МКЭ и проблема «ложных» решений.	Л

Номер занятия	Основные темы раздела, разделенные на лекции, практики, лабораторные	Формат занятия
22.	Применение двумерного векторного метода конечных элементов.	Л
23.	Основные соотношения векторного метода конечных элементов.	Л
24.	Тетраэдральный векторный элемент.	Л
25.	Моделирование возбуждающего зазора в методе конечных элементов на основе уравнения Поклингтона.	ПЗ
	Тема 4	
	Оптимизация граничных условий в методе КРВО.	Л
26.	Формирование поглощающих слоев при решении задач методом КРВО.	ПЗ
27.	Оптимизация ПГУ Мура первого порядка точности.	ПЗ
28.	Разработка ПГУ Мура второго порядка точности.	ПЗ
29.	Особенности разработки модели расчетной области с идеально согласованными слоями.	Л
30.	Разработка модели расчетной области с поглощающими граничными условиями.	ПЗ
31.	Сравнение результатов расчета при моделировании электродинамических задач с использованием различных поглощающих слоев.	ПЗ
32.	Разработка и расчет трехмерной диаграммы направленности.	ПЗ
33.	Модели возбуждения, применяемые в методе КРВО.	Л
34.	Модель возбуждения Гауссовым импульсом.	Л
35.	Возбуждение антенн Гауссовым импульсом.	ПЗ
36.	Возбуждение антенн многочастотным оптимальным сигналом.	ПЗ
37.	Оптимизация многовибраторных антенн связкой КРВО-Хука-Дживса.	ПЗ
38.	Оптимизация электрических характеристик антенн сложной конфигурации связкой КРВО-метод Ньютона.	ПЗ
39.	Конструкционный синтез полосковых антенн генетическим алгоритмом.	ПЗ
40.	Моделирование и расчет линий питания антенн методом КРВО.	ПЗ
41.	Оптимизация объектовой ЭМС при расчетах методом КРВО.	ПЗ
42.	Экзамен	Э

Л - лекция.

ПЗ – практическое занятие.

10. Литература:

Обязательная

1. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: пер. с английского / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
2. Бородулин Р.Ю. Конструкционный синтез электрически малых антенн / Моногр. – СПб.: ВАС, 2020. – 180 с.: ил.

Дополнительная

1. Рейклетис Г. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Пер. с англ / Г. Рейклетис, А. Рейвиндран, К. Рэгсел. – М.: Мир, 1986, 200 с.
2. Chambers D.L. The Practical Handbook of Genetic Algorithms, applications – 2nd ed., N.-Y: Chapman & Hall/ CRC, 2001.

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	Практическое задание (задача)		оценка 3	1 час.	
Промежуточная аттестация (Mid-term)	Экзамен		оценка 3	4 часа	
Допуск к аттестации (если есть)					
Аттестация (экзамен/зачёт)					
Σ		100			

Примеры заданий

№ п/п	Тип задания	Составные части задания	Как используются
Текущий контроль успеваемости			
1	Задача/домашнее задание	<ul style="list-style-type: none"> • Описание технологии применения <p>Текущий контроль осуществлять для проверки качества усвоения учебного материала и стимулирования учебной работы обучающихся. Текущий контроль проводить путем решения практической задачи во время одного из практических занятий.</p> • Комплект задач <p>Задача 1. Рассчитать электрические характеристики антенны волновой канал методом моментов.</p> <p>Задача 2. Рассчитать и построить трехмерную диаграмму направленности несимметричного вибратора, расположенного на идеальнопроводящей плоскости.</p> <p>Задача 3. Рассчитать входное сопротивление ЛПА в полосе частот методом моментов.</p> <p>Задача 4. Рассчитать амплитудное распределение ЭМП методом КЭ.</p> <p>Задача 5. Рассчитать коэффициент отражения ЭМП излучаемого симметричным вибратором на границе ПГУ Мура второго порядка точности при различной толщине поглощающих слоев.</p> <p>Задача 6. Рассчитать входное сопротивление в полосе частот, возбуждаемого Гаусс импульсом конического несимметричного вибратора, расположенного над идеально проводящей плоскостью методом КРВО.</p> <p>Задача 7. Рассчитать трехмерную диаграмму направлен-</p> 	Решение задач индивидуально

№ п/п	Тип задания	Составные части задания	Как используются
		<p>ности волнового симметричного вибратора методом КРВО.</p> <p>Задача.8. Рассчитать мгновенное значение ЭМП излучаемого антенной, на границе с ИСС.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Требования к выполнению задач Создать модель. Разработать программу. Провести расчет. Представить результаты расчета в виде пояснительной записки. 	
2	Исследовательская работа/проект/доклад	<ul style="list-style-type: none"> • Описание технологии применения Задание на курсовой проект (работу): разработать компьютерную программу, позволяющую решать электродинамические задачи и рассчитывать электрические характеристики антенн используя методики и алгоритмы численных методов решения задач электродинамики. Результаты расчета должны соответствовать теоретическим данным, необходимо доказать, что результаты, полученные в ходе решения задачи в рамках курсовой работы верны, а разработанная программа, позволяет получить корректный результат. • Примерная тематика исследовательских работ <ol style="list-style-type: none"> 1. Решение задачи дифракции электромагнитного поля антенны, расположенной на объекте сложной геометрической формы методом КРВО. 2. Расчет электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств методом КРВО. 3. Разработка широкополосной антенны и анализ ее электрических характеристик методом КРВО. 4. Разработка антенной решетки поперечного излучения и анализ ее электрических характеристик методом КРВО. 5. Разработка полосковой антенны и анализ ее электрических характеристик методом КРВО. • Требования к выполнению задач Пояснительная записка должна содержать: описание конфигурации объекта; схема и модель объекта, расчетной области и антенны (четвертьволновой диполь для каждой частоты) результаты расчета ЭМП в ближней зоне (на трех частотах); результаты расчета ЭМП в дальней зоне (диаграмма направленности на трех частотах); выводы. 	Индивидуальный
Промежуточная аттестация / Сессия			
30	Собеседование по экзаменационным билетам	<ul style="list-style-type: none"> • Описание технологии применения Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. Билеты содержат один теоретический вопрос по дисциплине и один практический в виде типовой задачи, взятой из перечня задач. Перечень вопросов к зачету получить у преподавателя за 1 месяц до начала промежуточной аттестации через ответственного за связь с преподавателем. Подготовку осуществлять с использованием текстов лекций, основной и дополнительной литературы. • Примерный перечень вопросов/заданий к экзамену <ol style="list-style-type: none"> 1. Общий случай некомпланарного расположения взаимодействующих проводников. 	Собеседование с экспертами, перекрестное собеседование, письменный ответ на билет

№ п/п	Тип задания	Составные части задания	Как используются
		<ol style="list-style-type: none"> 2. Анализ сходимости метода при тонкопроволочной аппроксимации. 3. При использовании кусочно-синусоидального базиса, в случае малого радиуса проводников. 4. Методика и алгоритм метода моментов. 5. Особенности программирования при решении задач методом моментов. 6. Применение традиционного метода Галеркина. 7. Слабая формулировка метода Галеркина с узловыми конечными элементами. 8. Выражение интегралов через L-координаты. 9. Ансамблирование элементов и построение глобальной системы. 10. Условия Неймана. 11. Анализ сходимости при решении краевых задач узловым методом конечных элементов. 12. Особенности построения расчетной области. 13. Решение уравнений Гельмгольца. 14. Ограничение применения узлового МКЭ. 15. Математическая модель элементарных излучателей при решении задач методом КЭ. 16. Применение трансформирующей функции. 17. Синтез трансформирующей функции. 18. Вывод матрицы жесткости конечного элемента для решения осесимметричных задач. 19. Методика вывода функциональной зависимости возбуждения точечного источника для решения осесимметричных задач излучения. 20. Векторные величины в двумерном треугольном конечном элементе. 21. Размерность матрицы жесткости для двухмерного треугольного элемента. 22. Двумерная задача поиска распределения электрического поля внутри неоднородного цилиндра. 23. Интегро-дифференциальное уравнение Поклингтона. 24. Процесс постановки поглощающих граничных условий в методе КРВО. 25. Виды поглощающих условий. 26. Выражения ПГУ для ТМ-волны. 27. Цели создания поглощающих слоев в методе КРВО. 28. Сложности моделирования задач с поглощающими слоями. 29. Особенности решения уравнений Максвелла при моделировании задач с поглощающими слоями. 30. Особенности моделирования поглощающих граничных условий. 31. Идеально-согласованные слои (perfectly matched layer, PML) Беранже. 32. Вид конечноразностных уравнений Максвелла с поглощающими граничными условиями. <ul style="list-style-type: none"> • Порядок формирования экзаменационного билета <p>Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. Билеты содержат один теоретический вопрос по дисциплине и один практический в виде типовой задачи, взятой из перечня задач. Перечень вопросов к зачету получить у преподавателя за 1 месяц до начала промежуточной аттестации. Подготовку осуществлять с использованием текстов лекций, основной и дополнительной литературы.</p>	

№ п/п	Тип задания	Составные части задания	Как используются
		<ul style="list-style-type: none"> • Шкала оценивания и критерии оценки <ol style="list-style-type: none"> 1. «Отлично» – обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок. 2. «Хорошо» – обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических заданий. 3. «Удовлетворительно» – обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий. 4. «Неудовлетворительно» – обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические задания, задачи. 	