

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.05 Теоретическая электротехника

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины по выбору

«Численные методы расчета электрических и магнитных полей»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.2

Всего: 72 часов

Семестр 5, в том числе

6 часов – контактная работа,
48 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.09.05 Теоретическая электротехника, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение методов численного расчета электрических и магнитных полей.

Задачами дисциплины являются:

- изучение численные методов интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений;
- ознакомление с методами конечных разностей и конечных элементов;
- изучение метода граничных элементов.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-5);
- способность проведения исследований электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах для нужд электронной, приборостроительной, электротехнической промышленности, средств вычислительной техники и связи (ПК-2).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины аспирант должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

знать:

- численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных, возникающих при математическом моделировании электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах (УК-2, ПК-2);

уметь:

- проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные (УК-2);

- использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);

- проводить исследования электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах для нужд электронной, приборостроительной, электротехнической промышленности, средств вычислительной техники и связи (ПК-2);

владеть:

- навыками работы с профессиональным программным обеспечением, реализующим численные методы расчета электромагнитных полей (ПК-2);

- навыками преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-5).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений

Прямые методы интегрирования – явные и неявные методы интегрирования, их общие свойства. Сходимость метода, скорость сходимости, вычислительная сложность метода. Распространенные расчетные схемы: метод Эйлера, метод трапеций, метод Гира. Связь методов численного интегрирования с дискретными и цифровыми фильтрами. Эффект квантования коэффициентов. Расчет в частотной области с

применением дискретного преобразования Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вейвлет-преобразование. Нелинейные задачи – метод простой итерации, метод Ньютона. Применение методов оптимизации (метод многомерного сканирования, генетический алгоритм в многоэкстремальных задачах с ограничениями в виде неравенств. Вариационные задачи, формулировка, методы решения – метод ломанных, метод конечных элементов.

2. Метод конечных разностей

Конечно-разностная аппроксимация уравнений Максвелла в статических и стационарных полях. Скалярный потенциал, разностные схемы различного порядка, скорость сходимости. Равномерные и неравномерные сетки. Решение нестационарных задач во временной области. Конечно-разностная аппроксимация полной системы уравнений Максвелла, ячейка Йи. Условия сходимости, выбор шага во времени и в пространстве. Особенности аппроксимации граничных условий. Метод конечных разностей в частотной области. Применение wave-фильтров, расчет в частотной области, расчет с помощью многомерного интеграла свертки.

3. Метод конечных элементов

Вариационная формулировка для расчета статических и стационарных полей. Выбор пробной функции, локальные координаты, виды конечных элементов. Формирование и решение системы уравнений. Принципы построения конечно-элементного разбиения. Аппроксимация граничных условий. Метод конечных элементов в электродинамике, метод Галеркина. Выбор пробных функций, $\text{curl}(E)$, $\text{curl}(H)$ элементы (элементы Неделека). Особенности задания граничных условий, импедансные граничные условия, порты Флоке. Особенности расчета внешних задач электродинамики. Принципы построения конечно-элементного разбиения, особенности аппроксимации поля в резонансных системах. Особенности использования методов оптимизации разбиения, сходимость решения, сходимость процесса адаптации разбиения. Расчет поля – вычислительная сложность, методы понижения размерности задачи. Расчет собственных частот системы, QR-алгоритм, LR-алгоритм, блочный алгоритм Ланцоша. Учет потерь при расчете электродинамических задач.

4. Метод граничных элементов

Особенности расчета поля с помощью функций Грина. Элементарные излучатели. Особенности формирования систем уравнений для задач статики

при заданных граничных условиях Дирихле. Расчет динамических полей. Метод моментов. Общие принципы создания сетки граничных элементов – выбор аппроксимации поверхностной плотности заряда или тока, выбор формы граничных элементов. Применение быстрого преобразования Фурье для ускорения формирования системы уравнений. Особенности учета потерь и учета граничных условий.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 3 семестр – дифференцированный зачет.

1. Основные понятия, термины, задачи и проблемы электромагнитной совместимости технических средств. Нормативная база.
2. Метод простой итерации, метод Ньютона, методы многомерной оптимизации.
3. Конечно-разностная аппроксимация уравнений Максвелла в статических и стационарных полях.
4. Конечно-разностная аппроксимация полной системы уравнений Максвелла, ячейка Йи.
5. Вариационная формулировка для расчета статических и стационарных полей.
6. Метод конечных элементов: выбор пробной функции, локальные координаты, виды конечных элементов.
7. Метод конечных элементов в электродинамике, метод Галеркина.
8. Метод конечных элементов в электродинамике: $\text{curl}(E)$, $\text{curl}(H)$ элементы. Особенности задания граничных условий, импедансные граничные условия, порты Флоке.
9. Расчет собственных частот системы, QR-алгоритм, LR-алгоритм, блочный алгоритм Ланцоша.
10. Метод граничных элементов: основные положения, особенности формирования систем уравнений для задач статики при заданных граничных условиях Дирихле.
11. Метод моментов: общие принципы создания сетки граничных элементов – выбор аппроксимации поверхностной плотности заряда или тока, выбор формы граничных элементов.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Вишняков С.В., Гордюхина Н.М., Федорова Е.М. Расчет электромагнитных полей с помощью программного комплекса ANSYS –М.: Издательство МЭИ, 2003
2. Чобану М. К. Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов М.: Техносфера, 2009
3. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. / К. С. Демирчян, и др. . – СПб. : Питер, 2009
4. Ульянов М.В. Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ -М.: Физматлит, 2008, 304 с.
5. Гольцов Н.А. Основы численного анализа и алгоритмы для многопроцессорных вычислительных систем -М.: МГУЛ, 2002, 98 с.
6. Самарский А.А., Гулин А.В. Устойчивость разностных схем -М.: Либроком, 2009, 384 с.

Дополнительная литература:

1. Соловейчик Ю. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учебное пособие / Ю. Г. Соловейчик, М. Э. Рояк, М. Г. Персова - Сер. «Учебники НГТУ», 2007. - 896 с.
2. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. В. Вычислительные методы – СПб. : Лань, 2014 . – 672 с.
3. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Тензоры в ТОЭ. Электродинамика. Теория относительности – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011 . – 315 с.
4. Нгуен-Куок Ши Основы математического моделирования низкотемпературной плазмы. – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 446 с.
5. Демирчян К. С. Движущийся заряд в четырехмерном пространстве по Максвеллу и Энштейну / – М. : Комтехпринт, 2008 . – 144 с.

Электронные библиотечные системы

1. Электронная библиотека МЭИ <http://elib.mpei.ru/>
2. Научная электронная библиотека ООО «РУНЭБ» <http://elibrary.ru>

3. Журнал Nature издательства Nature Publishing Group <http://www.nature.com>, доступ только из локальной вычислительной сети МЭИ.

4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией П.А.Бутырина. Том 1. Электрические и магнитные цепи с сосредоточенными параметрами. Электронная версия. Авторы электронной версии справочника: В.Ф.Очков, Т.М. Лоскутова, В.С. Фланден, Ф.Н. Шакирзянов, А.Д. Андрюхин, П.С. Васильев, И.А. Гибадуллин, С.А. Пискотин. http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/TOE/index.htm