А.Н. Ткачев
С.С. Селюк
И.В. Шкуропадский

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

**А.Н. Ткачев, С.С. Селюк,
И.В. Шкуропадский**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Рекомендовано Ученым советом Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технических университет (Новочеркасский политехнический институт)» в качестве учебного пособия для студентов, магистров, аспирантов и докторантов технических специальностей

Часть I

Новочеркасск
ЮРГТУ (НПИ)
2010

УДК 004.9:537.8 (075.8)
ББК 22.18:22.33я73
Т 48

Рецензент – доктор технических наук, проф. Ю.А. Бахвалов

Ткачев А.Н., Селюк С.С., Шкуропадский И.В.

Т 48 Математическое и компьютерное моделирование электромагнитных процессов и электротехнических систем: учеб. пособие. Ч.1 / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2010. – 255 с.
ISBN 978-5-9997-0088-9

Пособие посвящено описанию методов математического и компьютерного моделирования электромагнитных процессов в электротехнических системах. Пособие содержит формулировки уравнений Максвелла в разных формах, условия на границах раздела сред с различными электрофизическими свойствами, описаны постановки краевых задач расчёта электрического, магнитного и квазистационарного электромагнитного поля. Рассмотрены математические и инструментальные методы их решения.

Предназначено для использования в учебном процессе по специальности 230401 «Прикладная математика», будет представлять интерес для студентов и магистрантов, обучающихся по электротехническим специальностям и направлениям подготовки.

УДК 004.9:537.8 (075.8)
ББК 22.18:22.33я73

ISBN 978-5-9997-0088-9

© Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), 2010

© Ткачев А.Н., Селюк С.С.,
Шкуропадский И.В., 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ..... **Error! Bookmark not defined.**
1. КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ**Error! Bookmark not defined.**
1.1. Уравнения Максвелла..... **Error! Bookmark not defined.**
1.1.1. Дифференциальная форма уравнений Максвелла**Error! Bookma**
1.1.2. Интегральная форма уравнений Максвелла**Error! Bookmark no**
1.1.3. Комплексная формулировка уравнений Максвелла..... **Error! Bookmark not defined.**
1.1.4. Условия на границе раздела сред с различными физическими свойствами**Error! Bookmark not defined.**
1.2. Краевые задачи электростатики**Error! Bookmark not defined.**
1.2.1. Уравнения электростатики**Error! Bookmark not defined.**
1.2.2. Электрический потенциал**Error! Bookmark not defined.**
1.2.3. Формулировки краевых задач в электростатике**Error! Bookmar**
1.2.4. Теорема единственности**Error! Bookmark not defined.**
1.2.5. Потенциал от источников поля специального типа**Error! Bookm**
1.2.6. Плоскопараллельные и плоскомеридианные поля**Error! Bookma**
1.2.7. Интегральное свойство зарядов в задачах электростатики ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.2.8. Электрическая емкость . **Error! Bookmark not defined.**
1.2.9. Пример формулировки задач расчета электрической емкости . **Error! Bookmark not defined.**
1.3. Краевые задачи магнитного поля постоянных токов**Error! Bookmark**
1.3.1. Уравнения магнитного поля постоянных токов**Error! Bookmarl**
1.3.2. Векторный магнитный потенциал**Error! Bookmark not defined.**
1.3.3. Граничные условия для векторного потенциала**Error! Bookmar**
1.3.4. Краевые задачи относительно векторного потенциала ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.3.5. Теорема единственности**Error! Bookmark not defined.**
1.3.6. Векторный потенциал объемных и линейных токов ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.3.7. Векторный потенциал плоскопараллельного и плоскомеридианного полей**Error! Bookmark not defined.**
1.3.8. Скалярный магнитный потенциал**Error! Bookmark not defined.**
1.3.9. Краевые задачи для скалярного магнитного потенциала ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.3.10. Примеры формулировок краевых задач**Error! Bookmark not defin**
1.4. Квазистационарное электромагнитное поле**Error! Bookmark not defined.**
1.4.1. Приближение квазистационарности**Error! Bookmark not defined.**
1.4.2. Потенциалы квазистационарного электромагнитного поля**Error! Bookmark not defined.**
1.4.3. Пример формулировки краевой задачи расчета квазистационарного электромагнитного поля**Error! Bookmark not**
Контрольные вопросы и задания ...**Error! Bookmark not defined.**
2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**Error! Bookmark not defined.**
2.1. Решение задач электростатики в линейных однородных средах .....**Error! Bookmark not defined.**
2.1.1. Свойства потенциалов простого и двойного слоев**Error! Bookmark**
2.1.2. Решение краевых задач для уравнения Лапласа методом граничных интегральных уравнений**Error! Bookmark not**
2.1.3. Свойства интегральных уравнений в теории потенциалов.....**Error! Bookmark not defined.**
2.1.4. Регуляризация интегральных уравнений в теории потенциалов в пространственном случае**Error! Bookmark not defin**
2.1.5. Регуляризация интегральных уравнений теории потенциалов в плоском случае**Error! Bookmark not defined.**
2.1.6. Решение первой и второй задач электростатики в однородной области, ограниченной проводящим телом.....**Error! Bookmark not defined.**
2.1.7. Решение первой и второй задач электростатики в однородном пространстве вне проводящего тела**Error! Bookmark n**
2.1.8. Решение задачи Дирихле для многосвязной области в пространственном случае**Error! Bookmark not defined.**
2.1.9. Решение задач Дирихле для многосвязной области в плоском случае**Error! Bookmark not defined.**
2.1.10. Решение задач электростатики в многосвязных областях, заполненных однородным диэлектриком.....**Error! Bookmark not defined.**
2.2. Расчет магнитных полей постоянного тока в однородных средах вне ферромагнитных сред с большой магнитной проницаемостью**Error! Bookmark not defined.**

2.3. Учет симметрии расчетных областей и решение смешанных краевых задач методом интегральных уравнений ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.4. Расчет электростатических полей в линейных, кусочно-однородных средах..... **Error! Bookmark not defined.**
2.5. Расчет магнитных полей в линейных кусочно-однородных средах..... **Error! Bookmark not defined.**
Контрольные вопросы и задания... **Error! Bookmark not defined.**
3. РАСЧЕТ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ И БЕСКОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.1. Конечные элементы и аппроксимация потенциалов плоскопараллельного поля ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.2. Базисные функции в неограниченных областях**Error! Bookmark not d**
3.3. Вариационная формулировка метода конечных элементов при расчете поля в линейных однородных и кусочно-однородных средах .. **Error! Bookmark not defined.**
3.4. Решение краевых задач относительно скалярных магнитных и электрических потенциалов в нелинейных однородных средах..... **Error! Bookmark not defined.**
3.5. Расчет полей в неограниченных областях методом конечных и бесконечных элементов**Error! Bookmark not defined.**
Контрольные вопросы и задания... **Error! Bookmark not defined.**
4. ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ**Error! Bookmark no**
Краткая характеристика программного комплекса Elcut**Error! Bookmark**
Работа № 1. Расчёт электростатического поля и емкостей плоского и цилиндрического конденсаторов**Error! Bookmark not def**
Работа № 2. Компьютерное моделирование магнитостатического поля цилиндрической катушки со стальным сердечником ..... **Error! Bookmark not defined.**
Работа № 3. Компьютерное моделирование переменного электромагнитного поля тороидальной катушки**Error! Bookmark not**
Работа № 4. Компьютерное моделирование взаимодействия двух соосных цилиндрических катушек с токами**Error! Bookmark no**
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... **Error! Bookmark not defined.**
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК... **Error! Bookmark not defined.**