

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южный федеральный университет»  
Инженерно-технологическая академия**

**Н.Н. Кисель**

**ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
РЭС САПР СВЧ**

Учебное пособие

Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2016

УДК 621.396.67

ББК 32.845

К443

*Печатается по решению редакционно-издательского Совета  
Южного федерального университета*

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности систем и технологий. СКФУ *Макаров А.А.*;  
зав. кафедрой антенн и радиопередающих устройств, доктор технических наук, профессор *Юханов Ю.В.*

**Кисель, Н.Н.**

К443 Основы компьютерного проектирования РЭС САПР СВЧ : учебное пособие / Кисель Н.Н. ; Южный федеральный университет. – Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2016. – 196 с.  
ISBN 978-5-9275-2207-1

Учебно-методическое пособие посвящено вопросам моделирования антенн и СВЧ-устройств в современном пакете СВЧ-моделирования FEKO. В пособие излагаются основные этапы работы в пакете FEKO, особенности выбора методов решения. Приведены примеры моделирования с указанием последовательности действий. Материал пособия соответствует программе учебного курса «Основы компьютерного проектирования РЭС».

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 11.03.01, 11.03.02 при изучении учебного курса учебного курса «Основы компьютерного проектирования РЭС».

ISBN 978-5-9275-2207-1

УДК 621.396.67

ББК 32.845

© Южный федеральный университет 2016

© Кисель Н.Н., 2016

## О Г Л А В Л Е Н И Е

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АРХИТЕКТУРЕ ПРОГРАММЫ FEKO.....	5
1.1. Методы вычислительной электродинамики, используемые в FEKO.....	5
1.2. Базовые компоненты FEKO.....	6
1.3. Установки задачи для электромагнитного моделирования.....	7
1.3.1. <i>Заполнение раздела дерева модели Medium</i> .....	7
1.3.2. <i>Задание ветрозащитного экрана Windscreen</i> .....	9
1.3.3. <i>Установка свойств среды для элементов модели</i> .....	11
1.3.4. <i>Установки для элементов разбиения</i> .....	16
1.3.5. <i>Некоторые правила численного моделирования</i> .....	17
1.3.6. <i>Требования к размеру элементов разбиения</i> .....	18
1.3.7. <i>Правила дискретизации элементов, имеющие общие точки касания</i> .....	22
1.4. Проверка достоверности полученных результатов.....	32
2. ОСОБЕННОСТИ ЗАПУСКА FEKO НА РЕШЕНИЕ .....	34
2.1. Запуск последовательной версии FEKO .....	34
2.2. Запуск версии FEKO в режиме MPI .....	35
2.3. Запуск на удаленный вычислительный кластер .....	36
2.4. Очереди заданий, добавление заданий в очередь.....	36
2.5. Способы уменьшения вычислительных затрат .....	37
2.6. Некоторые рекомендации при выборе метода расчета.....	42
2.7. Некоторые рекомендации для снижения затрат времени расчета и памяти .....	45
3. УСТАНОВКА МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	50
3.1. Общие сведения об установке метода решений.....	50
3.2. Локальные установки для элементов объекта .....	56
4. УСТАНОВКА ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ.....	59
4.1. Выходные характеристики .....	59
4.1.1. <i>Расчет токов на поверхности Currents</i> .....	59
4.1.2. <i>Расчет S-параметров</i> .....	59

4.1.3. Расчет поля в дальней зоне <i>FarFields</i> .....	61
4.1.4. Расчет ближнего поля <i>Nearfields</i> .....	63
4.1.5. SAR – объемная плотность поглощенной в среде мощности .....	64
4.1.6. Анализ длинных линий <i>Cableanalysis</i> .....	66
4.1.7. <i>Ideal receiving antennas</i> – идеальная приемная антенна ....	68
4.2. Предварительная проверка правильности установок для проекта и запуск на решение .....	69
5. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ В <i>CADFEKO</i> .....	74
5.1. Установка задачи оптимизации .....	74
5.2. Выбор метода оптимизации и критерии выхода из итерационного процесса .....	75
5.3. Краткое описание методов оптимизации .....	76
5.3.1. Метод Нелдера-Мида – <i>Simplex (Nelder Mead)</i> .....	76
5.3.2. Метод роя частиц – <i>Particleswarmoptimisation (PSO)</i> ...	80
5.3.3. Генетический алгоритм – <i>Genetic algorithm (GA)</i> .....	82
5.3.4. Метод слепого поиска <i>Gridsearch</i> .....	85
5.4. Параметры оптимизации .....	86
5.5. Ограничения на параметры оптимизации .....	88
5.6. Оптимизация при помощи масок – <i>Definingoptimisationmasks</i> .....	88
5.7. Целевая функция <i>optimisationGoals</i> .....	88
5.8. Типы целевых функций .....	92
5.8.1. Целевая функция по импедансу <i>ImpedanceGoal</i> .....	92
5.8.2. Целевая функция по ближнему полю – <i>NearfieldGoal</i> ....	93
5.8.3. Оптимизация по дальнему полю – <i>FarfieldGoal</i> .....	94
5.8.4. Оптимизация по элементам матрицы рассеяния – <i>S- parameterGoal</i> .....	95
5.8.5. Удельный коэффициент поглощения – SAR ( <i>SpecificAbsorptionRates</i> ) .....	98
5.8.6. Глобальная оптимизация по нескольким локальным целям .....	98
5.8.7. Особые установки для задачи оптимизации .....	100
5.9. Анализ чувствительности критерия оптимизации .....	101
5.10. Запуск задачи оптимизации <i>OPTFEKO</i> .....	102

6. ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПАКЕТЕ FEKO.....	104
6.1. Возбуждение рупорной антенны с помощью штыря.....	104
6.2. Волноводно-щелевая антенна .....	113
6.3. Прямоугольная микрополосковая антенна .....	122
6.4. Соосный волноводный стык.....	130
6.5. Микрополосковый фильтр.....	137
6.6. Микрополосковая антенная решетка.....	146
6.7. Исследование характеристик частотно-селективных поверхностей.....	154
6.8. Эффективная поверхность рассеяния (RCS) тонкой диэлектрической полосы .....	161
6.9. Эффективная поверхность рассеяния RCS и ближнее поле диэлектрической сферы .....	163
6.10. Моделирование биоматериала в виде мышечной ткани, используя гибридный метод моментов и конечных элементов МоМ/FEM.....	165
6.11. Директорная антенна над экраном .....	168
6.12. Оптимизация характеристик директорной антенны .....	171
6.13. Различные способы возбуждения рупорной антенны .....	175
6.14. Зеркальная антенна с рупорным облучателем.....	177
6.15. Возбуждение апертурой волновода зеркальной антенны ..	180
6.16. Развязка между антеннами на объекте больших электрических размеров.....	181
6.17. Использование метода MLFMM для моделей электрически больших размеров .....	183
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	188
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	190