

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации С.П. Куксенко

«Методы оптимального проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом электромагнитной совместимости»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук

по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Развитие современных радиоэлектронных систем (РЭС) идет по линии возрастания их функциональных возможностей, сокращения массы и габаритов, увеличения надежности и долговечности. Антенны и их схемы питания, как одни из наиболее важных функциональных узлов РЭС, также эволюционируют в сторону увеличения сложности и плотности размещения элементов. Разрабатывать такие узлы практически невозможно без использования методов математического моделирования, основанных на численном решении уравнений Максвелла. Как правило, эта задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) высокого порядка, что требует значительных вычислительных ресурсов. Так, использование для дискретизации метода моментов приводит к СЛАУ с плотной матрицей размерностью до нескольких десятков тысяч. Решение такой задачи требует несколько часов, а то и суток машинного времени даже на современных рабочих станциях. Поэтому сокращение времени счета, повышение точности и универсальности численных методов решения внешних задач электродинамики является актуальной проблемой.

В рецензируемой диссертационной работе предложен целый ряд новых алгоритмов и программ моделирования антенн и полосковых схем. Она лежит в области исследования 1 – “решение внешних и внутренних дифракционных задач электродинамики для анализа и синтеза высокоэффективных антенн и СВЧ-устройств, определения их предельно достижимых характеристик, путей построения и т. д.” паспорта специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. Поэтому тема диссертации С.П. Куксенко, безусловно, **актуальна и соответствует профилю указанной специальности.**

Автор диссертации известен своими работами в области СВЧ техники и вычислительных методов. Им опубликовано 5 монографий, 35 статей в ведущих научных журналах, индексируемых в Scopus, получено 20 патентов на изобретение и полезную модель, а также 25 свидетельств о регистрации вычислительных программ. Изложенные в этих работах результаты, а также другие оригинальные исследования и разработки автора положены в основу его диссертационной работы. Судя по содержанию опубликованных автором работ, можно не сомневаться, что все представленные в работе результаты, как в области математического моделирования, так и в области разработки электродинамических структур получены при непосредственном участии С.П. Куксенко. Таким образом, **личный вклад** соискателя в представленные в диссертации материалы **является определяющим.**

В диссертации С.П. Куксенко содержится подробный обзор современного состояния проблемы, описываются современные программные средства решения задач электро-

динамики. В ней рассматривается широкий круг вопросов, связанных с исследованием и разработкой методов уменьшения вычислительных затрат на одновариантный и многовариантный анализ радиоэлектронных средств, в том числе линейных антенн и полосковых структур. Отметим подробные исследования эффективности методов предобуславливания и префильтрации. О фундаментальности проведенных исследований и компетентности автора свидетельствует, в частности, список литературы, насчитывающий 794 названия.

Автором создан ряд эффективных программ анализа антенн и полосковых структур, основанных как на классическом методе моментов, так и на его квазистатическом приближении, в том числе комплекс программ TALGAT. Эти вычислительные средства были использованы автором для решения практических задач. Таким образом, в диссертационной работе С.П. Куксенко представлено **комплексное решение актуальной научной проблемы.**

В рецензируемой работе содержится целый ряд **новых научных результатов**, к наиболее существенным из которых относятся:

1. Разработан и реализован новый метод префильтрации матрицы системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), основанный на вычислении нормы каждой строки и позволяющий существенно сократить время решения задачи.
2. Разработан адаптивный итерационный метод сегментации полосковых структур, позволяющий сократить число сегментов и порядок СЛАУ при сохранении точности решения.
3. Предложен метод формирования предобуславливателя, основанный на определении среднеарифметических значений времени итерационного решения последовательности СЛАУ. Показано, что момент переформирования предобуславливателя оказывает сильное влияние на скорость решения последовательности СЛАУ и для сокращения этого времени момент переформирования следует выбирать возможно раньше.
4. Доказаны теоремы о существовании единственного минимума среднего арифметического времени решения последовательности СЛАУ при монотонном возрастании функции $s_k = kT_{k+1} - \sum_{j=1}^k T_j$, где T_m – время решения m -й СЛАУ и убывании зависимости времени решения последовательности СЛАУ от их числа.
5. Получены аналитические оценки коэффициента сжатия формата хранения разреженных матриц и арифметической сложности блочного LU-разложения.
6. Предложена аналитическая оценка максимально возможного ускорения решения СЛАУ за счет использования итерационных методов с предобуславливателем и блочного LU-разложения.
7. Предложены три математических модели для многократного вычисления емкостной матрицы многопроводных линий передачи с диэлектрическим заполнением методом моментов.

Значение результатов диссертационной работы С.П. Куксенко для **практики** определяется тем, что

1. Создан комплекс программ моделирования радиоэлектронных средств квазистатическим методом моментов TALGAT. Комплекс позволяет проводить анализ, параметрический анализ и оптимизацию различных двумерных и трехмерных структур из проводников и диэлектриков и решать задачи электромагнитной совместимости. Автор диссертации усовершенствовал ряд вычислительных модулей этого комплекса, что позволило существенно сократить время решения задач.
2. Создана система практических рекомендаций по уменьшению вычислительных затрат за счет усовершенствованных методов построения сетки, формирования матрицы и решения СЛАУ.
3. Решен целый ряд практических задач по анализу и оптимизации полосковых структур и линейных антенн для ряда организаций.
4. Разработанные автором диссертации алгоритмы и программы используются в целом ряде организаций как инструмент для решения задач проектирования изделий и анализа их электромагнитной совместимости.
5. Результаты работы используются в учебном процессе Национального исследовательского Томского государственного университета и Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники при подготовке магистров.

Все применения результатов работ подтверждены соответствующими актами внедрения, патентами и свидетельствами о регистрации программ.

Обоснованность и достоверность научных и практических результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается тем, что автор использует современные численные методы для моделирования поля в исследуемых структурах, причем использование различных численных методов приводит к близким результатам. Разработанные с помощью разработанных автором алгоритмов и программ устройства успешно работают в реальных микроволновых системах.

Как и любая большая работа, диссертация С.П. Куксенко не свободна от **недостатков**. К ним относятся:

1. При обзоре методов решения задач электродинамики, в частности, метода моментов, автор не упоминает быстрый метод мультиполя (Fast multipole method) и методы декомпозиции (Domain decomposition), позволяющие существенно сократить вычислительные затраты метода моментов, реализовать эффективное распараллеливание вычислений и эффективно решать значительно более широкий круг задач, в том числе и с электрически большими объектами.
2. Несмотря на большой объем работы, в ней отсутствуют описания реальных антенно-фидерных и полосковых устройств, разработанных с помощью программных средств, предложенных автором (кроме тестовых расчетов). Отсутствуют и результаты анализа электромагнитной совместимости.

3. На стр. 35 утверждается, что потери в линиях передачи (ЛП) обусловлены «частотной зависимостью электрофизических параметров ЛП, скин-эффектом, эффектом близости и угловым эффектом». Однако, все эти эффекты являются следствиями конечной электропроводности проводников и дисперсии диэлектриков.
4. В формуле (1.18) на стр. 39 отсутствует плотность заряда под интегралом.
5. В таблице 5.25 на стр. 222 сравниваются коэффициенты ускорения решения для различных погрешностей решения, что не совсем корректно.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не меняют общего положительного впечатления от рецензируемой работы. Диссертационная работа С.П. Куксенко является **законченной научно-квалификационной работой**, в которой изложены новые научно обоснованные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. В частности, решена задача существенного сокращения вычислительных затрат на решение задач анализа и оптимизации линейных антенн и полосковых устройств, а также на исследование их электромагнитной совместимости. Решение этой задачи потребовало от автора усовершенствования численных методов моделирования высокочастотных электромагнитных полей. Результаты работы нашли широкое практическое применение.

Считаю, что диссертационная работа С.П. Куксенко соответствует требованиям пунктов 9-11 «Положения о порядке присуждения ученых степеней». Автор работы заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Официальный оппонент,
Д.т.н., профессор кафедры
Радиотехнической электроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, СПб, ул. Проф. Попова, 5.
Тел. +7(812)234-93-70, E-mail: adgrigorev@etu.ru



А.Д. Григорьев

Подпись А.Д. Григорьева заверяю.
Начальник отдела диссертационных советов



Григорьева