

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Куксенко Сергея Петровича

**«Методы оптимального проектирования линейных антенн и
полосковых структур с учетом электромагнитной совместимости»,**
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

Актуальность избранной темы

При проектировании современных радиоэлектронных средств (РЭС) разработчики вынуждены решать несколько взаимосвязанных и порой противоречивых проблем, в том числе: реализация требуемого энергетического потенциала системы, повышение её надежности, обеспечение приемлемых массогабаритных характеристик при максимально возможном уровне производственной и эксплуатационной технологичности, реконфигурируемость системы по числу каналов, диапазонам частот и поляризации излучения, увеличение срока эксплуатации и количества выполняемых функций. При этом имеющихся методов автоматизированного проектирования не всегда хватает как по быстродействию, так и по функциональным возможностям. Методологически процесс проектирования принято разделять на несколько этапов, наиболее затратным из которых, как правило, является исследование математической модели проектируемого РЭС с целью отыскания оптимального решения методами нелинейной параметрической оптимизации.

В этой связи, одной из основных задач является выбор оптимального сочетания проектных параметров и придания части (или всем) из них статуса «ключевой». Неудачное (непрофессиональное) назначение этого статуса кроме роста временных затрат на оптимизацию может привести к потере перспективного с точки зрения достижения полезного эффекта конечного облика устройства/системы. К сожалению, назначение этого статуса всё ещё во

многим носит эвристический характер и в значительной мере зависит от опыта работы проектировщика-исследователя. Поэтому к таким задачам можно отнести и проблему проектирования РЭС с учетом электромагнитной совместимости (ЭМС), так как например, повышение помехоустойчивости требует дополнительных затрат, в связи с чем и возникает задача выбора минимально необходимого набора способов и устройств, предназначенных для повышения помехоустойчивости РЭС. При анализе и оптимизации для решения технических задач в области техники сверхвысоких частот (СВЧ) приходится обосновывать и формировать большое количество обликов устройств, чтобы в последующем их сравнивать. В результате, применение традиционных методов проектирования в этом случае затруднено из-за их большой вычислительной сложности и необходима разработка новых методов. Поэтому тематика исследований, направленная на создание методологии, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования и оптимального проектирования линейных антенн и полосковых структур с возможностью их полноценной электромагнитной совместимости, является **актуальной**.

Структура и содержание работы

В состав диссертации входят введение, 7 разделов, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы из 794 наименований и приложение, содержащее копии актов внедрения, патентов и свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Объем диссертации с приложением составляет 436 страницы, включая 120 рисунков и 94 таблицы.

Во введении представлена краткая характеристика работы. В разделе 1 выполнен аналитический обзор состояния проблемы и сформулированы цель и задачи исследования. В разделе 2 приведены разработанные методы и алгоритмы для уменьшения вычислительных затрат на одновариантный анализ РЭС. В разделе 3 приведены разработанные методы ускорения многовариантного анализа РЭС. В разделе 4 приведено описание разработанных программ для анализа элементов РЭС с уменьшенными

вычислительными затратами. Результаты одновариантного анализа линейных антенн и полосковых структур с уменьшенными вычислительными затратами приведены в разделе 5. В разделе 6 приведены результаты ускоренного многовариантного анализа и оптимизации проводных и полосковых структур. В разделе 7 приведены сведения об использовании результатов работы в ходе выполнения различных научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов. В конце каждого раздела приведены основные результаты. В заключении изложены итоги выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность первого положения, выносимого на защиту, подтверждается использованием нескольких конфигураций антенн в широких диапазонах частот возбуждающего сигнала, а также сравнением результатов с результатами, полученными с использованием известных способов алгебраической предфильтрации и нескольких численных методов.

Для подтверждения второго положения использовано сравнение эффективности работы разработанных методов с известными методами на нескольких сложных полосковых структурах. Также оценено повышение эффективности от каждой последующей модификации разработанных методов.

Обоснованность третьего положения подтверждена с использованием формулировки и доказательства соответствующих теорем, аналитической оценки сложности решения и нескольких численных методов входе вычислительного эксперимента.

Для подтверждения четвертого положения выполнено теоретическое обоснование научного положения и для нескольких полосковых структур выполнен вычислительный эксперимент с использованием нескольких численных методов, подтверждающий это.

Обоснованность пятого положения подтверждается проведением вычислительных экспериментов в нескольких программных продуктах и сравнением с полученными ранее теоретическими оценками, которые показали хорошее совпадение результатов. Универсальность разработанного метода продемонстрирована на примере анализа нескольких полосковых и проводных структур. Показано, что разработанный метод может быть использован и при параметрической оптимизации полосковых структур. Также выполнена оценка точности полученных результатов при изменении параметров разработанного метода.

Необходимо отметить, что выводы, сделанные автором и приведенные в конце каждого раздела, обобщают полученные результаты и также являются обоснованными. Именно на основании них автором сформулированы положения, выносимые на защиту, а также научная новизна результатов работы и их теоретическая и практическая значимость.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность результатов подтверждена использованием проверенных математических моделей и численных методов; качественным и количественным совпадением полученных результатов с результатами теоретических оценок и вычислительного эксперимента; достижимостью технического результата, указанного в полученных патентах; использованием нескольких программных продуктов; согласованностью результатов, полученных несколькими методами. Помимо этого результаты работы опубликованы в известных научных журналах и докладывались, в том числе, на международных конференциях. Также автором получено 20 патентов на изобретения и полезные модели.

Отдельно стоит отметить, что разработанные соискателем программы, реализующие предложенные методы, использовались другими авторами в своих научных исследованиях, что также подтверждает как достоверность

полученных результатов, так и универсальность разработанных методов и программ.

Научная новизна диссертационной работы определяется следующими основными результатами:

1. Предложен и апробирован подход, направленный на совершенствование электродинамического анализа линейных антенн методом моментов, отличающийся использованием итерационного решения системы линейных алгебраических уравнений с вычислением предобусловливателя на основе алгебраической предфильтрации по евклидовой норме строк матрицы системы.

2. Разработаны два метода квазистатического анализа полосковых структур, отличающихся использованием модифицированного адаптивного итерационного выбора оптимальной сегментации и итерационного решения системы линейных алгебраических уравнений с неполным LU-разложением и модифицированным разреженным строчным форматом хранения предобусловливателя.

3. Предложено усовершенствовать квазистатический анализ полосковых структур в диапазоне параметров методом моментов, отличающийся адаптивным переформированием предобусловливателя по средним арифметическим значениям времени и сложности итерационного решения последовательности систем линейных алгебраических уравнений.

4. Доказано, что время квазистатического анализа полосковых структур в диапазоне параметров методом моментов может зависеть от выбора очередности (с начала, конца или середины диапазона) решения полученной последовательности систем линейных алгебраических уравнений.

5. Разработан метод квазистатического анализа полосковых и проводных структур в диапазоне параметров, отличающийся решением последовательности систем линейных алгебраических уравнений на основе блочного LU-разложения или его гибридизации с итерационным методом.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертационного исследования.

Замечания по диссертационной работе

1. К задачам обеспечения ЭМС РЭС тесно примыкают вопросы оптимального распределения радиочастотного ресурса по службам, времени суток и года, странам и континентам. Было бы весьма кстати увидеть в диссертационной работе рекомендации, выработанные соискателем по результатам его работы, и по этим вопросам, но, увы, их нет.

2. В диссертации рассматриваются только проволочные антенны, хотя линейную поляризацию можно было бы обеспечить и, например, печатными резонансными излучателями.

- 3. В диссертации мало уделено внимания рекомендациям по использованию разработанных программ.

4. В автореферате имеются не раскрытые, но используемые сокращения (на стр. 15 это – МПЛ, а на стр. 16 – МФ).

Тем не менее, в работе получены значимые научные результаты, на основе которых выполнена комплексная оптимизация и изготовлены конструкции ряда антенн и устройств сверхвысоких частот, прошедших стадии успешных экспериментальных исследований. Поэтому перечисленные замечания не снижают общей научной и практической ценности диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод о том, что диссертация Куксенко Сергея Петровича является научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема, имеющая важное значение для совершенствования антенн и устройств СВЧ, развития соответствующих разделов прикладного математического моделирования, а также численных методов в области комплексной оптимизации элементов радиоэлектронных устройств.

Считаю, что рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет требования п. 9 Положения ВАК о присуждении ученых степеней, а её автор, Куксенко Сергей Петрович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент,
доктор технических наук (05.12.21 по номенклатуре
1999 года), доцент по кафедре «Конструирование и
технология радиоэлектронных средств»,
и.о. профессора по кафедре «Радиоприёмные и радио-
передающие устройства» Новосибирского государст-
венного технического университета



А.П. Горбачев

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

630073, Новосибирск, проспект Карла Маркса, дом 20, корпус 4.

Телефон: +7 (383) 346-15-46.

E-mail: gorbachev@corp.nstu.ru

Подпись и.о. профессора А. П. Горбачева заверяю.

Начальник отдела кадров НГТУ

Пустовалова Ольга Константиновна
года.



«20» ноября 2019