

## ОТЗЫВ

*на автореферат диссертации Куксенко С.П. «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»*

Цель диссертационного исследования – разработать методы уменьшения вычислительных затрат на проектирование полосковых структур и линейных антенн с учетом ЭМС.

В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Предложено совершенствование электродинамического анализа линейных антенн методом моментов, отличающееся 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 совершенствование квазистатического анализа полосковых структур в диапазоне параметров методом моментов, отличающееся 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.

### **Теоретическая значимость**

1. Доказаны две теоремы об условиях существования минимума и убывания зависимости среднеарифметического времени решения последовательности систем линейных алгебраических уравнений от их числа при квазистатическом анализе полосковых структур в диапазоне параметров методом моментов.

2. Применительно к анализу методом моментов и оптимизации линейных и полосковых структур результативно использованы численные методы вычислительной линейной алгебры.

3. Изложены доказательства существования при электродинамическом анализе линейных антенн методом моментов с предложенными способами алгебраической предфильтрации оптимального значения допуска обнуления по критерию минимального времени решения системы линейных алгебраических уравнений, а также влияния при квазистатическом анализе полосковых структур в диапазоне параметров методом моментов выбора очередности итерационного решения системы линейных алгебраических уравнений на время анализа.

4. Изучены причинно-следственные связи, возникающие при анализе линейных антенн и полосковых и линейных структур методом моментов: установлено, как изменения параметров исследуемой структуры изменяют матрицу системы линейных алгебраических уравнений и как эти изменения можно использовать для ускорения анализа.

5. Проведена модернизация математических моделей, численных методов и алгоритмов для анализа полосковых структур и линейных антенн методом моментов, обеспечивающая уменьшение вычислительных затрат на их проектирование с учётом электромагнитной совместимости.

6. Получены аналитические оценки для квазистатического анализа полосковых структур: коэффициента сжатия форматов хранения разреженных матриц; арифметической сложности блочного LU-разложения; максимально возможного ускорения решения системы линейных алгебраических уравнений (относительно метода исключения Гаусса) за счёт использования итерационного метода с предобуславливанием и блочного LU-разложения.

### **Практическая значимость**

1. Разработаны и внедрены методы уменьшения вычислительных затрат на анализ и оптимизацию элементов РЭС в организациях: АО «ИСС» (создание космических аппаратов Экспресс-АТ1, Экспресс-АТ2, Экспресс-80, Экспресс-103, Экспресс-АМУ3, Экспресс-АМУ7 и Экспресс-АМ8); АО «НПЦ «Полюс» (анализ печатных плат и кабелей); МЧС России по Томской области (моделирование сети ведомственной связи и защита сетевого оборудования Fast Ethernet); ООО «Эремекс» (разработка математических моделей для вычисления задержек в меандровых линиях задержки печатных плат); НИ ТГУ и ТУСУР (подготовка бакалавров, магистров и аспирантов).

2. Определены пределы и перспективы применения: в электродинамическом анализе линейных антенн методом моментов с изменением частоты сигнала и сегментации – оптимального (по критерию минимального времени анализа) значения порога/допуска обнуления при алгебраической предфильтрации; в квазистатическом анализе полосковых структур методом моментов – итерационного учащения сетки, модифицированного разреженного формата хранения матрицы при неполном LU-разложении, а также блочного LU-разложения и его гибридизации с итерационным методом при многократном решении системы линейных алгебраических уравнений.

3. Создана система практических рекомендаций по уменьшению вычислительных затрат на электродинамический анализ линейных антенн и квазистатический анализ полосковых и проводных структур за счёт усовершенствования построения сетки, формирования матрицы и решения системы линейных алгебраических уравнений.

4. Созданы программы, позволяющие моделировать с уменьшенными вычислительными затратами новые радиоэлектронные средства и их элементы, включая печатные платы, соединители, модальные фильтры, одиночные и связанные микрополосковые линии передачи, линейные антенны и отводы силовой шины электропитания, за счёт использования при решении системы линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей прямых и итерационных методов, трёх модификаций LU(0)-разложения, выбора очередности решения и матрицы для вычисления предобуславливателя и трёх критериев переформирования предобуславливателя.

Результаты работы масштабно использованы в ходе различных НИОКТР, на производстве, при разработке новых устройств и в учебном процессе двух университетов.

К недостаткам автореферата можно отнести следующее:

1. На с. 6 автореферата говорится, что созданы программы, позволяющие моделировать «новые радиоэлектронные средства и их элементы, включая печатные платы, соединители, модальные фильтры ... и т.д.». Однако из приведенных данных неясно можно ли использовать созданные модели и программы для проектирования модулей 1 и 2-го уровней.

2. Автором проведена модернизация математических моделей, численных методов и алгоритмов анализа структур. Однако ничего не говорится о том, какие внешние воздействующие факторы они учитывают.

Несмотря на указанные недостатки, диссертация «Методы оптимального проектирования линейных антенн и полосковых структур с учетом электромагнитной совместимости» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном и практическом уровне. Наличие у автора большого количества публикаций в научной периодике, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, международных публикаций, входящих в базу цитирования SCOPUS, докладов на международных и всероссийских конференциях, патентов на изобретения, монографий свидетельствует о достаточной апробации работы. По актуальности, степени новизны, практической ценности и достоверности полученных результатов работа отвечает требованиям к докторским диссертациям ВАК Минобрнауки России, а Куксенко Сергей Петрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Профессор кафедры КТЭСиУ,  
научный руководитель НИЛ-39  
д.т.н., профессор



М.Н. Пиганов

Пиганов Михаил Николаевич, д.т.н., профессор  
ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)  
Кафедра конструирования и технологии электронных систем и устройств (КТЭСиУ)  
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34  
Телефон: (846)334-74-43; (846)267-44-61;  
E-mail: kipres@ssau.ru



Пиганова М.Н.

№34  
11

25

19