

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Дмитренко Анатолия Григорьевича на диссертацию Алхаджа Хасана Аднана Фаезовича «Модель и методики для оценки уровня электромагнитного излучения печатных плат с модальным резервированием и антенн с аппроксимацией проводной сеткой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, и специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертации обусловлена охватом трёх важных и насущных для решения задач.

Первая касается всегда актуального повышения надежности, в котором резервирование было и остается одним из основных средств. Например, это важно для увеличения срока активного существования космических аппаратов, который желательно продлить до 15–20 лет. В подобных случаях однократного резервирования может оказаться недостаточно, и требуется двукратное или даже трёхкратное резервирование.

Вторая задача связана с обеспечением электромагнитной совместимости (ЭМС), поскольку требования стандартов всё более ужесточаются, а удовлетворять им становится всё более трудно и затратно. Например, уменьшение излучаемых эмиссий обычно достигается использованием электромагнитных экранов, которые увеличивают массу, габариты и стоимость устройства в целом. В этой связи исследование любых возможностей уменьшения излучаемых эмиссий, причем как можно менее затратно, является актуальным.

Третья задача относится к моделированию антенн. Она актуальна в связи с большим разнообразием и сложностью антенн, используемых в радиоэлектронных устройствах. Одним из наиболее известных методов решения антенных задач является метод моментов с использованием тонкопроводной аппроксимацией поверхности антенн. Этот метод используется очень широко и продолжает активно применяться. Это подтверждает актуальность работ, направленных на дальнейшее совершенствование этого метода.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы из 279 наименований, приложения на 30 стр. Общий объём диссертации (с приложением) – 214 стр., в том числе 191 рисунок и 28 таблиц.

Во введении приведена общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследования.

В первом разделе выполнен обзор исследований по ЭМС и резервированию, а также обзор исследований по моделированию антенн проводной сеткой.

Во втором разделе представлена разработанная соискателем алгоритмическая математическая модель для расчёта напряжённости электрического поля от каждого сегмента отрезков многопроводной линии передачи (МПЛП). Представлены также программы для оценки излучаемых эмиссий (ИЭ) от печатных плат (ПП) с модальным резервированием (МР), созданные на основе этой модели, приведены результаты их тестирования, в том числе на защитных меандровых линиях (МЛ).

В третьем разделе приведены вычислительные и экспериментальные оценки ИЭ от ПП с одно-, двух- и трёхкратным МР, в том числе при изменении температуры.

В четвертом разделе представлены методика виртуальных испытаний на ИЭ от ПП с МР и запатентованный способ симметричной трассировки сигнальных и опорных проводников цепей с МР.

В пятом разделе представлена методика моделирования антенн проводной сеткой с предлагаемыми автором рекомендациями по её совершенствованию, изложены результаты её применения к расчёту характеристик биконической и рупорной антенн.

В заключении подведены итоги работы, сформулированы её научные и практические результаты, а также представлены рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложении приведены копии актов внедрения, свидетельств, грамот и дипломов.

Научная новизна работы

Несмотря на большой объем работы, её научная новизна сформулирована в трёх пунктах.

1. В этом пункте представлены, по сути, два результата (модель и методика), объединённые единым назначением (оценкой излучаемых эмиссий от печатных плат с модальным резервированием) и использованием квазистатического подхода. Для этой цели классически используется электродинамический подход, основанный на численном решении уравнений Максвелла. Он даёт токи в проводниках при заданном возбуждении, но это достигается, если брать, например, метод моментов, путём решения СЛАУ большого порядка с элементами её матрицы, вычисляемыми, как правило, численным интегрированием. В результате, матрица получается очень большого порядка, а вычисление её элементов неточным, причем и решение СЛАУ, и заполнение её матрицы оказываются затратными по времени. Поэтому заманчиво для этой же задачи использовать гораздо более эффективное вычисление токов в проводниках с использованием теории линий передачи, что и предложено в работе.

2. В этом пункте обобщен очень широкий пласт экспериментальных исследований излучаемых эмиссий. Впервые получены экспериментальные оценки ИЭ от печатных плат с одно-, двух- и трехкратным модальным резервированием, в том числе после отказов и при изменении температуры.

3. В этом пункте предложена методика расчёта характеристик антенн с использованием тонкопроводной аппроксимации и метода моментов. И эта аппроксимация, и этот метод, конечно давно известны. Однако автор добавил в эту методику ряд своих рекомендаций для построения проводной сетки, что и обусловило новизну предлагаемого варианта методики.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость определяется следующим:

1. Установлены особенности влияния модального резервирования на излучаемую печатной платой эмиссию.
2. Установлены причинно-следственные связи между температурой и излучаемой эмиссией от печатных плат с модальным резервированием до и после отказа их элементов.
3. Разработана алгоритмическая математическая модель, позволяющая вычислить напряжённость электрического поля вблизи печатных плат или витка МЛ.
4. Получены оценки излучаемой эмиссии для одно-, двух- и трёхкратного модального резервирования.
5. Проведена модернизация алгоритма выбора сетки при использовании тонкопроводной аппроксимации поверхности антенны при расчёте её характеристик.

Практическая значимость определяется следующим:

1. Разработана система практических рекомендаций по моделированию и испытанию печатных плат с модальным резервированием для оценки излучаемой от них эмиссии.
2. Определено влияние отказов на концах проводников печатных плат с модальным резервированием на уровень излучаемой эмиссии.
3. Определены пределы изменения уровня излучаемой эмиссии от печатных плат с модальным резервированием при изменении температуры.
4. Создана система практических рекомендаций по аппроксимации поверхности антенн тонкопроводной сеткой.
5. Получен патент на изобретение «Способ симметричной трассировки сигнальных и опорных проводников цепей с модальным резервированием».

Результаты работы использованы в НПК «ТЕСАРТ», при выполнении научных проектов, хозяйственных договоров и в учебном процессе ТУСУРа (4 акта внедрения).

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

Обоснованности и достоверности результатов в работе уделено большое внимание.

В разделе 2, после представления первого же результата (алгоритмической математической модели для оценки излучаемой эмиссии), для проверки её достоверности выполняется сравнение квазистатической и

электродинамической оценок излучаемой эмиссии от одиночной и связанной проводных линий передачи. Это делается постепенно и ясно, от простого к сложному. При этом приводится именно первичная характеристика (распределение тока вдоль провода, а не производные характеристики от него). Обращает на себя внимание также сравнение с результатами не только других компьютерных программ, но и методов. Затем, для дополнительной проверки достоверности, выполняется сравнение для меандровой линии с различными параметрами. Структуры с модальным резервированием анализируются на примере одиночной и связанных микрополосковых линий разными подходами. При этом сравниваются результаты для диаграмм направленности в конкретных углах, а также максимальные значения во всей диаграмме, на отдельных частотах и в широком диапазоне.

В разделе 3 достоверность полученных результатов подтверждается путём сравнения результатов моделирования и измерений, в том числе для разных граничных условий, имитирующих последующие отказы типа короткого замыкания и холостого хода. Существенно, что для измерений использовалось сертифицированное измерительное оборудование.

В разделе 4, посвященном виртуальным испытаниям на излучаемые эмиссии печатных плат с модальным резервированием, достоверность результатов подтверждается путём сравнения вычисленных в системе TALGAT и измеренных в классической и мини- ТЕМ-камерах частотных зависимостей напряжения на ближнем и дальнем концах центрального проводника этих камер.

В разделе 5, посвящённом методике моделирования антенн проводной сеткой, обоснованию достоверности результатов отведён целый подраздел 5.3 под названием «Результаты верификации методики». Для этого, как часто рекомендуется, использовался метод, отличный от исследуемого (метода моментов) и реализованный в другом программном продукте: метод конечных разностей во временной области в системе EMPro. При этом менялись сегментация, частота и тип антенны. Для сравнения получаемых результатов также использовались результаты вычислений по аналитическим моделям и результаты измерений.

Полнота опубликования результатов работы

По тематике диссертационной работы опубликованы 89 работ (9 без соавторов): 6 статей в журналах из перечня ВАК; 5 статей в журналах, входящих в Q1 WoS или Scopus; 22 доклада в трудах конференций, индексируемых в базах данных WoS и Scopus; 39 докладов в трудах других конференций. Получены 14 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 3 патента на изобретение. Материалы диссертации достаточно полно изложены в опубликованных работах.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат диссертации правильно отражает её содержание.

Общая характеристика работы

В целом, работа выглядит нацеленной на всестороннее изучение излучаемых эмиссий от связанных помехозащитных структур, а также на совершенствование методики расчёта характеристик антенн, использующей тонкопроводную аппроксимацию поверхности антенны. В работе предложена математическая модель для оценки излучаемых эмиссий, сочетающая квазистатический и электродинамический подходы. Далее эта модель широко используется для оценки излучаемых эмиссий от печатных плат с модальным резервированием, в том числе при отказах типа КЗ и ХХ, а также от витка меандровой линии. Для печатных плат с однократным модальным резервированием проведены тщательные исследования влияния температуры на величину излучаемых эмиссий. Обращает на себя внимание большой объём экспериментальных оценок излучаемых эмиссий, выполненных на конкретных макетах печатных плат, в том числе с двух- и трёхкратным модальным резервированием. Что касается антенной тематики, то здесь речь идёт только о дополнительных рекомендациях по выбору проводной сетки и о сравнении результатов, полученных с помощью известной методики с включёнными в неё рекомендациями, с результатами, полученными в системе EMPro, для биконической и рупорной антенн.

Замечания

1. В подразделе 3.1 представлены результаты измерения излучаемой эмиссии от макетов печатных плат с однократным модальным резервированием в ТЕМ-камерах, однако на рисунках приведены частотные зависимости напряжения на ближнем и дальнем концах центрального проводника ТЕМ-камеры, а не напряжённость электрического поля, как в подразделе 3.2.
2. В подразделе 3.2 отсутствует сравнение результатов оценки излучаемых эмиссий от цепей с многократным модальным резервированием с соответствующими результатами для цепи без резервирования.
3. В разделе 5 сравниваются результаты расчёта характеристик биконической и рупорной антенн, полученные с помощью известной методики, но с предложенными автором рекомендациями по выбору сетки, с соответствующими результатами, полученными в системе EMPro, использующей совершенно другой метод. Сравнение осуществляется в том числе по точности и быстродействию. Хотелось бы видеть также сравнение результатов, полученных одним и тем же методом сеток с использованием известных ранее рекомендаций по выбору сетки, с результатами, полученными с использованием улучшенной автором диссертации сетки.
4. В диссертации присутствуют стилистические и грамматические ошибки.

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Как следует из вышеизложенного, диссертационная работа Алхаджа Хасана Аднана Фаезовича «Модель и методики для оценки уровня электромагнитного излучения печатных плат с модальным резервированием и антенн с аппроксимацией проводной сеткой» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи оценки уровня электромагнитного излучения печатных плат и антенн, имеющей существенное значение для радиотехники и антенной техники. Диссертационная работа удовлетворяет п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Алхадж Хасан Аднан Фаезович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, и специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор Национального исследовательского
Томского государственного университета
Дмитренко А.Г.

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский
государственный университет»
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.
Тел.: 3822 52-94-85
E-mail: dmitr.tsu.202@mail.ru



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ВЕДУЩИЙ ДОКУМЕНТОВЕД
АНДРИЕНКО И.В.