

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Дмитренко Анатолия Григорьевича на диссертацию Газизова Рустама Рифатовича «Комплексный поиск уязвимых мест в радиоэлектронных устройствах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Тема работы актуальна, поскольку поиск уязвимых мест в радиоэлектронных устройствах является элементом их моделирования. Моделирование позволяет значительно снизить затраты на получение устройств с наилучшими характеристиками. К сожалению, это требует большой работы по созданию подходящих моделей и снижению вычислительных затрат на получение результатов с помощью этих моделей, причем для решения задач не только анализа, но и оптимизации. Эту непростую работу дополнительно усложняет специфика всего, что связано с электромагнитными помехами, особенно преднамеренными. Данная работа решает ряд задач в этом направлении.

### **Анализ содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы из 138 наименований и приложения. Общий объем диссертации с приложением – 191 с., в т.ч. 133 рисунка и 88 таблиц.

**Во введении** дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимости полученных результатов.

**В первом разделе** выполнен обзор исследований по проблемам электромагнитной совместимости (ЭМС).

**Во втором разделе** протестирован ранее реализованный в системе TUSUR.EMC алгоритм перенумерации элементов матрицы, позволяющий ускорить процесс многократного решения системы линейных алгебраических уравнения (СЛАУ), получены оценки этого ускорения при вычислении матрицы для двухпроводной и трёхпроводной линий передачи.

**В третьем разделе** изложены результаты исследования экстремумов сигнала (максимумов напряжения) в силовых шинах электропитания (СШЭП) и печатных платах при воздействии электростатического разряда (ЭСР), а также при синфазном и дифференциальном воздействиях сверхкоротких импульсов (СКИ). Приведены также результаты оптимизации длительности дифференциального воздействия СКИ на СШЭП и длины СШЭП. Рассмотрено влияние СКИ и ЭСР на печатную плату (ПП) системы автономной навигации (САН).

**В четвертом разделе** изложены результаты исследований защищённости

5 цепей с модальным резервированием (МР) с помощью N-норм. Рассмотрены все 5 N-норм. В качестве воздействия использовались трапециевидный СКИ, ЭСР и реальный СКИ. Вычислялись портреты N-норм (зависимость величины N-нормы от номера сегмента) с целью локализации максимальных и минимальных значений N-норм. Исследовано влияние температуры и окружающей среды (воды и льда) на однослойную печатную плату с МР с боковой связью с помощью N-норм.

**В пятом разделе** представлен усовершенствованный алгоритм локализации экстремумов сигнала. Усовершенствование заключается в том, что рассматривается не только путь с наименьшим номером узла, но и всевозможные пути распространения сигнала. Изложена программная реализация усовершенствованного алгоритма в системе TUSUR.EMC. Выполнен сравнительный анализ локализации экстремумов сигнала исходным и усовершенствованным алгоритмом. Получено экспериментальное подтверждение возможности использования усовершенствованного алгоритма.

**В заключении** представлены основные результаты, даны рекомендации и приведены перспективы дальнейшей разработки темы.

**В приложении** приведены копии актов внедрения и свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Научная новизна**

1. Исследовано многократное вычисление ёмкостной матрицы 2- и 3-проводных микрополосковых линий передачи с изменяющейся толщиной проводника, отличающееся использованием блочного LU-разложения с перенумерацией элементов.

2. Предложены алгоритм локализации максимума напряжения и оценка перекрёстных наводок в печатной плате системы автономной навигации космического аппарата, отличающиеся использованием эволюционных стратегий и генетических алгоритмов.

3. Усовершенствован алгоритм локализации экстремумов сигнала за счёт учёта его параллельных путей в многопроводных линиях передачи и схеме из их отрезков.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость определяется следующим:

1. Применительно к локализации экстремумов сигнала результативно использованы метод моментов, модифицированный узловый метод, методы оптимизации и N-нормы.

2. Выполнен массовый анализ безопасности структур с модальным резервированием с помощью N-норм.

3. Обнаружено, что при моделировании различных сигналов в силовой шине электропитания максимум напряжения локализуется вблизи источника.

Практическая значимость определяется следующим:



1. Установлено, что при использовании блочного LU-разложения достигается ускорение многократного решения систем линейных алгебраических уравнений до 3 раз.

2. Результаты работы использованы в ряде НИР, учебном процессе ТУСУРа и АО «ИСС», г. Железногорск.

3. Получены 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ;

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

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы определяются корректным использованием численных методов, согласованностью аналитических и вычислительных оценок, совпадением полученных результатов с результатами коммерческого программного обеспечения и натурального эксперимента.

### **Полнота опубликования результатов работы**

По тематике диссертационной работы опубликованы 28 работ, в том числе 2 статьи в изданиях из перечня ВАК, 11 докладов в трудах конференций, индексируемых в WoS и Scopus, 3 статьи в журналах, индексируемых в РИНЦ, 7 докладов и 1 тезисы в трудах отечественных конференций, 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Материалы диссертационной работы в достаточной степени изложены в опубликованных работах.

### **Соответствие автореферата содержанию диссертации**

Автореферат диссертации полностью отражает её содержание, основные положения и полученные результаты.

### **Общая характеристика работы**

В работе рассмотрены различные аспекты проблемы поиска уязвимых мест в различных радиоэлектронных устройствах. Довольно большое место уделено исследованию экстремумов сигнала в СШЭП при воздействии ЭСР, а также при синфазном и дифференциальном воздействиях СКИ. С целью уменьшения максимальной амплитуды напряжения в СШЭП с помощью генетического алгоритма выполнена оптимизация длительности СКИ, а также оптимизация длины СШЭП при дифференциальном воздействии СКИ. Некоторое место в работе уделено печатной плате системы автономной навигации, а также печатной плате СН 50, в которой рассматривалась цепь 122. Для ПП САН с помощью генетического алгоритма и эволюционной стратегии оптимизировалась общая длительность СКИ с целью получить такие параметры СКИ, при которых напряжение в двух заранее выбранных узлах будет наибольшим. Для цепи 122 рассмотрены влияние ЭСР и возникающие при этом наводки в соседних цепях. Большое внимание в работе уделено исследованию защищённости цепей с помощью N-норм. Исследованы 5 структур с

модальным резервированием. Для каждой структуры получены портреты всех 5 норм с целью локализации их максимальных и минимальных значений. С помощью N-норм исследовано также влияние воды и льда на однослойную печатную плату с МР. Наконец, много места уделено предложенному соискателем усовершенствованному алгоритму локализации экстремумов сигнала. Представлен сам алгоритм, его программная реализация, выполнен сравнительный анализ локализации экстремумов сигнала исходным и усовершенствованным алгоритмом, получено экспериментальное подтверждение возможности использования алгоритма на примере свёрнутой в меандр микрополосковой линии.

### **Замечания**

1. В подразделе 2.4 отсутствует объяснение, почему вычислительные оценки эффективности алгоритма перенумерации всегда выше, чем аналитические. Кроме того, не понятно, почему с уменьшением числа неизменяемых элементов матрицы (с увеличением числа изменяемых элементов) «вычислительное ускорение» даже несколько возрастает, тогда как «аналитическое ускорение» уменьшается, как и следовало ожидать.

2. В работе не обоснован выбор того или иного устройства для анализа. Например, почему выбрана именно плата СН 50 и именно цепь 122.

3. В подразделах 4.1.1.1 – 4.1.1.5 не обоснован выбор параметров исследуемых структур, которые затем используются в качестве исходных при оптимизации.

4. В подразделе 4.1.2.4 не приведены параметры структуры после оптимизации.

5. В работе в ряде случаев отсутствует полнота описания условий проведения вычислительных экспериментов. Например, в подразделах 3.1.1 и 3.1.2, где рассматривается влияние электростатического разряда на силовую шину электропитания, форма самого электростатического разряда не приведена. Аналогично, в подразделе 5.3 при сравнительном анализе исходного и усовершенствованного алгоритмов не указано, какой сигнал подаётся на вход 7 анализируемых структур.

6. В тексте работы имеются стилистические и грамматические ошибки.

### **Заключение**

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа Газизова Рустама Рифатовича «Комплексный поиск уязвимых мест в радиоэлектронных устройствах» является научно-квалификационной работой, результаты которой вносят существенный вклад в решение проблемы поиска уязвимых мест в радиоэлектронных устройствах, имеющей существенное значение в области радиотехники. Диссертационная работа удовлетворяет п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Газизов Рустам Рифатович, заслуживает



присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 — «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Я, Дмитренко Анатолий Григорьевич, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

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

  
19.03.2023 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  
Андрienko И. В.

