

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Газизова Руслана Рифатовича  
**«Математическая модель, численный метод и комплекс программ  
для выявления и локализации экстремумов сигнала  
в многопроводных линиях передачи»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ»

### **Актуальность работы**

Имитационное моделирование широко применяется в процессе разработки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Одними из основных компонентов РЭА являются многопроводные линии передачи (МПЛП). В процессе их моделирования важно выявлять наиболее уязвимые места с превышением напряжения или тока, чтобы устранить их для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Современные программные продукты, используемые для моделирования РЭА, в основном используют электродинамический подход, который требует значительных вычислительных затрат. Однако более эффективен квазистатический подход, который при моделировании МПЛП имеет точность, сравнимую с электродинамическим. Следовательно, тематика диссертационной работы является актуальной.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность результатов работы определяются корректным использованием методов исследования, совпадением результатов, полученных на основе разработанной математической модели, численного метода, алгоритмов и комплекса программ, с результатами теоретическими и полученными с помощью другого программного продукта, а также внедрением результатов моделирования в практическую работу. Результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на научных конференциях и

симпозиумах международного и всероссийского уровня и опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, а также в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science.

### **Научная новизна исследования**

Научная новизна диссертационной работы определяется следующими результатами:

1. Разработана математическая модель, используемая для вычисления отклика линии передачи, которая основана на объединении двух моделей с разными матрично-векторными уравнениями, а также отличается добавлением нового параметра, отвечающего за число сегментов вдоль отрезка МПЛП.

2. Разработан численный метод, отличающийся возможностью вычисления токов и напряжений в любой точке вдоль проводников МПЛП.

3. Усовершенствован существующий программный комплекс TALGAT посредством добавления нового модуля, отличающегося наличием интеграции с библиотекой Qt в сочетании с разработанной математической моделью, алгоритмами и интерактивным интерфейсом пользователя на языке QML.

### **Теоретическая и практическая значимость**

#### **Теоретическая значимость:**

1. Теоретический арсенал дополнен численным методом, позволяющим вычислять формы сигнала в любой точке вдоль проводников произвольных схем из отрезков МПЛП.

2. Использование разработанного численного метода позволяет повысить точность моделирования отклика МПЛП, в частности, получить экстремумы сигнала.

#### **Практическая значимость** работы характеризуется тем, что:

1. Разработаны математическая модель, численный метод и комплекс программ для выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП, которые позволяют моделировать временной отклик реальных фрагментов многопроводных межсоединений. Результаты использования комплекса программ внедрены в учебные процессы двух университетов, а также в процессе

выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР), что подтверждается актами внедрения.

2. Разработанные алгоритмы позволяют их использование в системах компьютерного моделирования для анализа ЭМС различных фрагментов печатных плат.

3. Выявлены новые особенности распространения напряжения вдоль проводников меандровых линий и шины печатной платы, при изменении различных параметров (нагрузок, местоположения источника воздействия, длительности сверхкороткого импульса), в том числе с применением оптимизации генетическим алгоритмом и эволюционной стратегией.

4. Выявлены экстремумы напряжения:

- в С-секции, превышающие амплитуду сигнала на входе в 1,5 и 2 раза;
- в двухвитковой меандровой линии в 1,14 раза;
- в активном проводнике шины печатной платы, превышающие амплитуду сигнала на входе в 1,2 и 2,7 раза, а также на 16, 18, 20, 36 и 38%;
- перекрестной помехи в шине печатной платы, которая составляет 14, 24, 29, 32, 33 и 78% от установившегося уровня в активном проводнике.

5. С использованием разработанного комплекса программ смоделирована ситуация, при которой удалось в 30 раз уменьшить амплитуду помехового сигнала в шине печатной платы.

Практическая значимость полученных в диссертационной работе результатов подтверждается их использованием в ходе выполнения различных НИР и ОКР, а также в учебном процессе двух университетов.

#### **Анализ содержания диссертации**

Диссертация состоит из четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 224 с., в т.ч. 114 рисунков и 22 таблицы. Список литературы включает 109 наименований. В приложении приведены копии актов об использовании результатов диссертационной работы, свидетельств о регистрации программы для ЭВМ и дипломов.

**Во введении** представлено обоснование актуальности работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна, методы исследования, теоретическая и практическая значимость работы.

**В первой главе** выполнен обзор программных средств для моделирования РЭА, подходов к моделированию МПЛП и методов оптимизации. На основании выполненного обзора обоснованы цель и задачи работы.

**Во второй главе** разработана математическая модель для выявления и локализации экстремумов сигнала и указана ее новизна. Для применения разработанной математической модели разработаны специальные алгоритмы.

**В третьей главе** модифицирован численный метод на основе новой математической модели, а также представлен новый алгоритм вычисления токов и напряжений вдоль проводника отрезка МПЛП. С помощью модифицированного численного метода выполнено имитационное моделирование шины печатной платы системы автономной навигации космического аппарата при изменении параметров нагрузок и воздействия, в том числе с применением оптимизации с помощью эволюционных алгоритмов.

**В четвертой главе** усовершенствован комплекс программ за счет добавления возможности выявления и локализации экстремумов сигнала в МПЛП. Описаны структура и интерфейс программного комплекса, протестированы его возможности, показано сравнение результатов с другим ПО. Подробно описано использование результатов диссертации, подтвержденное актами внедрения, свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ, а также представлением в отчетах о выполнении НИР и ОКР.

**В заключении** подведены итоги работы и сформулированы основные результаты, полученные соискателем в процессе работы.

**В приложении** представлены акты внедрения, свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. Из представленного обзора непонятно, какой комплекс программ собирается усовершенствовать соискатель, а также непонятно, почему выбран именно он.

2. В конце раздела 4.4.4 – Сравнение результатов квазистатического и электродинамического моделирования сказано: «В таблице 4.7 показаны значения экстремумов напряжения, вычисленных для десяти разных случаев, отличающихся геометрическими параметрами исследуемых структур. В частности, использованы С-секция и двухвитковая меандровая линия, а также изменялись длины их проводников и расстояния между ними». Следовало бы подробнее описать точные геометрические параметры структур, использованных для сравнения.

3. В разделе 2.1 описывается отличие алгоритма вычисления форм сигнала с помощью новой математической модели от ранее существующего, однако самого алгоритма вычисления не приводится.

4. Для исследований использован идеальный импульс (в форме трапеции) с различными длительностями фронтов, а также электростатический разряд (в разделе 3.3.3), но другие формы реально существующих помеховых сигналов не использовались.

5. В диссертации присутствуют орфографические ошибки и опечатки.


Однако указанные замечания не занижают достоинств диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Газизова Руслана Рифатовича является законченным научным исследованием, выполненным автором на хорошем уровне. В представленной научно-квалификационной работе решена актуальная научно-техническая задача, а полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее основное содержание и оформлен в соответствии с требованиями ВАК Российской Федерации.

Считаю, что диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.13 №842 (ред. от 30.07.2014), а ее автор Газизов Руслан Рифатович заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор

 / З.М. Гизатуллин  
(подпись)

«29» 11 2018 г.

Подпись *З.М. Гизатуллин*  
заверяю. Начальник управления  
делами КНИТУ-КАИ



Гизатуллин Зиннур Марселевич,  
д-р, техн. наук, доцент, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования Казанского Национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ).  
42001 РФ, РТ, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10.  
телефон: +7 (843) 231-00-81,  
телефон: +7 (903) 061-71-76,  
e-mail: gzm\_zinnur@mail.ru