

ОТЗЫВ

официального оппонента

Горбачева Анатолия Петровича

на диссертацию Лакозы Александра Михайловича

***«Модели, методики и технические решения
для защиты радиоэлектронных средств от сверхкоротких импульсов
в синфазном и дифференциальном режимах»***,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Диспозиция

На отзыв официального оппонента представлены материалы в составе:

- диссертационная работа (переплетенный том, 237 листов);
- автореферат (брошюра, 20 страниц).

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников (126 наименований) и приложений.

Актуальность темы исследования

Одной из фундаментальных задач электромагнитной совместимости (ЭМС) является обеспечение надежной защиты радиоэлектронных средств (РЭС) от кондуктивных помеховых воздействий. Актуальность данной проблемы обусловлена непрерывным развитием РЭС, связанным с миниатюризацией их габаритов, повышением быстродействия и снижением рабочих напряжений. С ростом плотности компоновки и существенным усложнением трассировки печатных плат как на органических, так и керамических материалах, эти факторы заметно повышают восприимчивость

РЭС к внешним деструктивным воздействиям. Особого внимания проектировщиков для обеспечения стабильного функционирования РЭС во всех трёх сферах применения (атмосфера, суша, водные поверхности) требуют сверхширокополосные (СШП) помехи, в частности – сверхкороткие импульсы (СКИ) нано- и субнаносекундной длительности. Однако ординарные системотехнические методы и конструкторско-технологические приёмы, такие как экранирование, фильтрация, применение ограничителей напряжения и оптимизация трассировки печатных плат, не обеспечивают достаточной эффективности защиты по причине широкого спектра помеховых воздействий в форме СШП и СКИ. В то же время применение многоступенчатых систем защиты на основе активной и пассивной компонентной базы приводит к нежелательному увеличению массогабаритных характеристик и стоимости проектирования РЭС. В связи с этим, *представляются оправданными* поиск и разработка новых подходов и технических решений, сочетающих высокое быстродействие, компактность и способность эффективно ослаблять/подавлять помехи как в синфазном, так и в дифференциальном режимах. Исследования, направленные на создание современных устройств защиты на основе полосковых/микрополосковых структур, работающих одновременно в синфазном и дифференциальном режимах, являются актуальными как для самой радиотехники, так и для соответствующих отраслей радиоэлектронной промышленности.

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

Сформулированные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации вполне обоснованы в контексте проектирования устройств защиты современных РЭС. Обоснованность достигается за счет постановки целей и задач исследования, их последовательного решения и последующего подтверждения результатами моделирования и экспериментами.

Так, во введении содержится обоснование проводимого исследования: аргументирована актуальность выбранного направления исследования, поставленные цели и задачи. Наряду с этим, в разделе приведены элементы научной новизны, а также раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Первый раздел посвящен обоснованию необходимости совершенствования ЭМС в РЭС. Выполнен сравнительный анализ существующих технических решений для защиты от СКИ, начиная от классических активных и пассивных компонентов до экранированных и перспективных полосковых структур. Здесь же обобщены теоретические подходы к моделированию и анализу подобных устройств, что позволило сформулировать цель и задачи диссертационной работы.

Далее, во втором разделе представлены результаты комплексного выбора и научно-технического обоснования параметров поперечных сечений структур устройств защиты, предназначенных для функционирования в синфазном и дифференциальном режимах. В рамках раздела реализовано построение геометрических и схемных моделей, позволивших провести оценку эффективности различных конфигураций размещения проводников с одинаковыми и неодинаковыми характеристиками при воздействии различных импульсных помех. Особое внимание уделено анализу влияния расположения проводников, параметров диэлектрического заполнения и применения радиопоглощающих материалов на формирование частотных и временных характеристик устройств защиты, а также уровней вносимого затухания. Наряду с этим, в разделе приведены результаты разработки, численного моделирования и экспериментальных исследований каскадных устройств на основе центрально-симметричных экранированных структур. Завершается раздел анализом показателей электромагнитной эмиссии и восприимчивости двухкаскадного экранированного устройства защиты к внешним помехам, а также описанием стадий разработки и исследования временных откликов устройства защиты, реализованного на едином диэлектрическом основании.

В третьем разделе изложены результаты разработки и исследования защитных устройств на базе 6- и 8-проводных структур. В рамках исследования проведено вычисление коэффициентов ослабления, временных характеристик и погонных задержек мод, наряду с оптимизацией параметров поперечного сечения по амплитудным и временным критериям. Отдельное внимание уделено изучению влияния диэлектрических подложек на электрические характеристики устройств защиты. Кроме того, в разделе представлены количественные оценки воздействия экранирующего металлического корпуса и расположения каскадов на изменение коэффициентов затухания и величин погонных задержек в 6- и 8-проводных структурах.

В четвертом разделе изложены результаты анализа и разработки планарного устройства защиты РЭС от деструктивного воздействия СКИ, выполненного на основе каскадного соединения полосковой структуры с модальным разложением (ПСМР) и пассивного помехоподавляющего фильтра (ПФ). В рамках исследования определена топология, используемые материалы, размеры и номиналы индуктивных, емкостных планарных фрагментов пассивного ПФ и элементов ПСМР. Итогом раздела служит представление результатов моделирования в частотной и временной областях, демонстрирующее эффективность предложенного подхода к обеспечению защиты РЭС, а также описана методика проектирования планарных защитных устройств на основе каскадного соединения ПСМР и ПФ.

Достоверность и научная новизна положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, являются обоснованными и достоверными, отвечая актуальным требованиям к методам и средствам обеспечения ЭМС РЭС. Во-первых, теоретические результаты базируются на апробированных методах электродинамического и квазистатического анализа. В работе корректно

применён метод моментов для расчета погонных параметров многопроводных линий передачи, реализованный в пакете программ TUSUR.EMC, а также методы конечного интегрирования для полноволнового анализа в системе схемотехнического и электродинамического моделирования Advanced Design System. Достоверность численных расчетов подтверждена перекрестной верификацией результатов, полученных с помощью различных программных сред, использующих разные математические алгоритмы.

Помимо этого, убедительным подтверждением служит согласованность результатов компьютерного моделирования с данными лабораторных экспериментов. Соискателем разработаны и изготовлены макеты устройств защиты, проведены экспериментальные исследования с использованием сертифицированного оборудования, которые показали согласованность с результатами компьютерного моделирования, что свидетельствует о корректности предложенных автором моделей, методик и технических решений.

Доказательством как достоверности, так и научной новизны является апробация основных результатов исследований в авторитетных рецензируемых научных изданиях. Результаты диссертации опубликованы в 35 работах, в том числе в 5 статьях в журналах из перечня ВАК РФ (например, «Доклады ТУСУР», «Журнал радиоэлектроники», «Системы управления, связи и безопасности») и в 13 докладах, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах «Scopus» и «Web of Science». Новизна технических решений подтверждена также наличием двух патентов Российской Федерации на изобретение и трех свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Рекомендации, сформулированные в Заключение, логически следуют из полученных в работе теоретических и экспериментальных данных и направлены на разработку и исследование перспективных устройств защиты РЭС.

Соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям

Полученные в диссертационной работе результаты соответствуют п. 7 паспорта специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, в частности:

- Исследование и разработка устройств защиты РЭС на основе 6- и 8-проводных структур; каскадного устройства защиты на основе центрально-симметричной экранированной структуры, на общем диэлектрическом основании, планарного гибридного устройства защиты, на основе пассивного помехоподавляющего фильтра и полосковой структуры с модальным разложением.

- Разработка методики проектирования планарного гибридного устройства защиты от сверхкоротких импульсов, работающего в синфазном и дифференциальном режимах, на основе пассивного помехоподавляющего фильтра и полосковой структуры с модальным разложением.

Диссертационная работа имеет в своем библиографическом списке необходимые ссылки на материалы и их авторов, а также на научные работы соискателя. Содержание автореферата корректно отражает диссертационную работу, её основные положения, исследуемые задачи и результаты их решений.

К значимым теоретическим научным результатам относятся анализ влияния числа, расположения и схемы/правила соединения проводников на максимальное напряжение на выходе устройств защиты в синфазном и дифференциальном режимах; получение зависимостей влияния параметров поперечного сечения на временные задержки мод, интервалы между модами во времени и коэффициенты затухания устройства защиты. Исследовано также влияние материала диэлектрической подложки на максимальное напряжение на выходе устройств и проведена оценка влияния расположения каскадов и

расстояния до экранирующего корпуса на коэффициент затухания и погонные задержки структур, работающих в синфазном и дифференциальном режимах.

Практическая значимость научных результатов характеризуется внедрением в производственную деятельность АО «Решетнев», где приняты к использованию схемная/математическая модель и прототип помехоподавляющего фильтра, а также внедрением результатов моделирования многопроводных и экранированных структур в учебный процесс ТУСУРа и научно-исследовательские работы по грантам РНФ и государственным заданиям. Кроме того, ценность работы заключается в разработке и изготовлении экспериментальных макетов устройств защиты, работающих в синфазном и дифференциальном режимах, в том числе экранированные центрально-симметричные конфигурации и 6- и 8-проводные полосковые структуры. Значимы также формулировки и описания методик разработки планарного гибридного устройства защиты РЭС на основе последовательного соединения ПСМР и пассивного ПФ, включая рекомендации по применению разработанных устройств защиты.

Личный вклад соискателя и публикации

Основные результаты диссертационной работы отражены в списке публикаций из 35 работ, 3 из которых выполнены без соавторов. Список включает в себя 5 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 13 докладов на конференциях, индексируемых в международной базе данных Scopus, 12 докладов на авторитетных международных и всероссийских конференциях, а также 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и 2 патента Российской Федерации на изобретение.

Из текста диссертации и автореферата следует, что результаты, сформулированные в выносимых на защиту положениях, и составляющие

научную новизну, получены автором лично, или совместно с научным руководителем. Это характеризует определяющий вклад соискателя в разработку геометрических и схемных моделей, в моделирование и измерения устройств защиты, в подготовку РИД и научных публикаций, то есть, в решения поставленных в диссертационной работе задач.

Вместе с тем, по работе **сформировались следующие замечания.**

1. Для типовых сверхширокополосных/сверхкоротких импульсных воздействий приведены только амплитудно-временные параметры, однако распределение энергии в частотных диапазонах не представлены.

2. Несмотря на достаточно подробное предварительное моделирование и сравнительный анализ геометрических моделей поперечных сечений в подразделе 3.1, не вполне бесспорен выбор 6- и 8- проводных конфигураций, поскольку, на мой взгляд, в первом приближении они не характеризуются привлекательными/многообещающими характеристиками, а также кажутся мне непростыми в геометрическом и конструктивно-технологическом плане.

3. Доказательства в положениях 1 и 3 основываются на результатах моделирования в различных программных продуктах. Целесообразно было бы подкрепить/усилить их экспериментальными исследованиями.

4. В рамках моделирования и экспериментальных исследований использовано несколько материалов диэлектрических подложек с разными значениями диэлектрических проницаемостей, в частности FR-4, FSD1020T, однако не охарактеризованы в явном виде (т.е., приходится догадываться) причины перехода от одного материала к другому (замены одного материала другим).

5. Некоторые рисунки в разделе 4 (например, 4.1, 4.9) имеют плохо различимые элементы визуализации (светло-голубую, почти белую, раскраску)

на самом рисунке и подписи к нему, что «тормозит» визуальный контакт и заставляет «додумывать» особенность рисунка и его понимание.

6. В обзорной главе диссертационной работы приведен перечень типовых современных устройств защиты. Однако, помимо четкого разграничения по признакам конструктивного исполнения, было бы нелишне указать какие-либо дополнительные критерии для сравнения.

Заключение

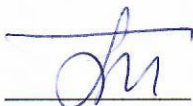
На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Лакозы Александра Михайловича является самостоятельно выполненным и завершенным научным исследованием, в котором представлены результаты, связанные с разработкой и исследованиями устройств защиты радиоэлектронных средств, которые имеют важное значение для технических наук в области радиотехники. В частности, для исследований по тематике «Разработка и исследование методов обеспечения электромагнитной совместимости радиотехнических систем и устройств, включая системы связи и телевидения, методов обеспечения их стойкости к электромагнитному и ионизирующему излучению, методов разрушения и защиты информации в этих системах» согласно п. 7 областей исследования паспорта специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Перечисленные выше недостатки/замечания носят, всё-таки, локальный характер и не влияют на общую положительную оценку работы и мою убежденность в её поддержке. Диссертационная работа Лакозы А.М. *«Модели, методики и технические решения для защиты радиоэлектронных средств от сверхкоротких импульсов в синфазном и дифференциальном режимах»* удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор, Лакоза Александр Михайлович, заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку мои персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертационной работы.

Официальный оппонент



А.П. Горбачев

«04» февраля 2026 года.

Сведения

Горбачев Анатолий Петрович, доктор технических наук по специальности 05.12.21 (номенклатура 1999 года), профессор по специальности «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (аттестат ПРФ №002123), профессор кафедры «Радиоприемные и радиопередающие устройства» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, телефон: +7 (383) 346-15-45, email: gorbachev@corp.nstu.ru

Подпись А.П. Горбачева заверяю.

Начальник отдела кадров НГТУ

Пустовалова Ольга Константиновна



» февраля 2026 года.