

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный технический



УТВЕРЖАЮ: _____, д.т.н., доцент
С.В. Брованов

_____ 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Костелецкого Валерия Павловича *«Устройства защиты радиоэлектронной аппаратуры 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».

Актуальность работы

Проблема обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) становится все более актуальной в связи с широким распространением современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), которую можно встретить практически во всех сферах хозяйственной деятельности, индустрии отдыха и туризма. По мере своего развития РЭА становится все более чувствительной к кондуктивным помехам, которые могут появляться как в

результате работы РЭА, так и преднамеренного происхождения, что отражено в ГОСТ Р 51275-2007. Влияние помех может привести к искажению информации, сбоям работы РЭА или к полному выходу её из строя. Исходя из этого, бесперебойное функционирование современной РЭА с заданным качеством во многом зависит от используемых устройств защиты. Для подобных устройств одним из серьёзных видов помех являются сверхкороткие импульсы (СКИ), которые за счет широкого спектра способны преодолевать устройства защиты и приводить к необратимым повреждениям или временным сбоям работы РЭА. В связи с необходимостью учитывать вопросы ЭМС на ранних стадиях проектирования, повышением сложности радиоэлектронного оборудования, увеличением числа электронных компонентов на меньшей площади (иными словами: повышением степени интеграции), ростом технических возможностей генераторов электромагнитных воздействий, актуально создание устройств защиты РЭА от СКИ, а также и их дальнейшее совершенствование за счёт использования компактных печатных устройств на электромагнитно связанных полосковых линиях передачи в синфазном и дифференциальном (другими словами: противofазном) режимах распространения сигналов.

Соответствие темы диссертации научной специальности

Диссертационная работа посвящена комплексному исследованию модальных (МФ) и гибридных фильтров, работающих в дифференциальном и синфазном режимах, которые предлагается применять для защиты сигнальных цепей или шин питания радиоэлектронного оборудования от сверхкоротких импульсов. В работе приведены аналитические математические модели для вычисления частотного и временного откликов, результаты моделирования и процесс создания макетов модальных фильтров, а также измерение их частотных и временных характеристик. На основе полученных результатов исследования разработан макет гибридного фильтра для силовой шины питания космического аппарата. Таким образом, в соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней» ВАК, в диссертационной работе Костелецкого В.П. решена актуальная задача, имеющая значение для развития технических наук в части разработки научных и технических основ проектирования и конструирования радиотехнических устройств, согласно п.9 «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиотехнических устройств» областей исследований паспорта специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Краткое содержание работы

В состав диссертации входят введение, 3 раздела, заключение, список литературы из 195 наименований и приложение, объемом 18 страниц.

Во введении автором обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе выполнен обзор литературы по обеспечению ЭМС и помехозащиты радиоэлектронных средств, подходов к моделированию защитных устройств. Показана актуальность обеспечения электромагнитной совместимости, охарактеризованы устройства защиты от помех, включая режимы их использования. Рассмотрен подход к защите от СКИ за счет технологии модальной фильтрации. При этом перечислены задачи исследования и сформулирована его цель.

Второй раздел содержит разработанные автором математические модели для вычисления частотного и временного откликов. Он отражает результаты исследования характеристик модальных фильтров в дифференциальном и синфазном режимах, а также содержит анализ их временных и частотных характеристик. Здесь рассмотрены разработка, реализация и результаты лабораторных экспериментов макетов МФ, работающих в дифференциальном и синфазном режимах.

Третий раздел посвящен разработке гибридного фильтра для силовой шины электропитания космического аппарата, состоящего из МФ и помехоподавляющего фильтра на сосредоточенных элементах. Проведены экспериментальные исследования макета.

В заключении перечислены результаты работы, приведены рекомендации и охарактеризованы перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложении представлены копии актов внедрения, патентов, свидетельств, сертификатов, дипломов, программ и методик, а также актов изготовления и проведения экспериментальных исследований.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы, включает постановку решаемых задач, а также основные результаты и выводы.

Научная новизна

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Представлены математические модели на основе аналитических выражений в виде конечных комбинаций элементарных функций для вычисления частотных и временных откликов двухпроводной линии. При условии существования синфазного и дифференциального режимов они

отличаются учетом асимметрии проводников в двухпроводной линии и попарной симметрии проводников в четырехпроводной линии.

2. Предложен подход к защите радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов за счет применения дифференциального и синфазного режимов модальных фильтров, отличающихся использованием центральной симметрии печатных проводников на керамической подложке и каскадирования.

3. Впервые предложен гибридный фильтр для силовой шины электропитания космического аппарата, отличающийся совместным использованием помехоподавляющего фильтра и модального фильтра, работающего в дифференциальном и синфазном режимах.

Значимость результатов работы для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. Изучено влияние расположения проводников на ослабление СКИ в МФ, работающем в дифференциальном и синфазном режимах.

2. Получены зависимости коэффициента ослабления МФ от расстояний между печатными платами МФ и до экранирующего корпуса.

3. Оценено влияние температуры на коэффициент ослабления и задержки МФ, работающего в дифференциальном и синфазном режимах.

4. Получена зависимость коэффициента ослабления МФ от толщины проводников, не подвергающихся токовым нагрузкам.

5. Оценено ослабление МФ в дифференциальном и синфазном режимах при разных формах входного воздействия.

6. Показана зависимость вносимого затухания МФ на керамической подложке от длительности импульса.

7. Изучено влияние компоновки индуктивных элементов помехоподавляющего фильтра на его полосу пропускания в дифференциальном и синфазном режимах.

Практическая значимость работы характеризуется тем, что разработаны макеты помехозащитных устройств, обеспечивающих защиту в дифференциальном и синфазном режимах: экранированных, с горизонтальным и вертикальным расположением каскадов; на керамической подложке; гибридного, для защиты силовой шины электропитания космического аппарата от кондуктивных помех. Результаты исследования позволили создать комплекс технических решений для обеспечения ЭМС, конструкторских решений на основе использования пассивных помехозащитных устройств и устройств конструктивного исполнения, позволяющий сохранять работоспособность РЭА в условиях сложной электромагнитной обстановки, который внедрен в ООО «ТРЭМ Инновации», г. Томск (Акт внедрения). Также внедрены результаты исследования гибридного фильтра для защиты силовой шины

электропитания космического аппарата в АО «ИСС», г. Железногорск (Акт внедрения). Результаты теоретического анализа с использованием аналитических математических выражений в виде конечных комбинаций элементарных функций и моделирования модальных фильтров, работающих в дифференциальном и синфазном режимах, внедрены в учебный процесс радиотехнического факультета ТУСУР, г. Томск (акт внедрения).

Достоверность положений и результатов работы

Достоверность и обоснованность научных положений и полученных результатов исследования подтверждаются использованием апробированного математического аппарата, корректным использованием теории линий передачи и численных методов, согласованностью результатов моделирования и лабораторного эксперимента.

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы докладывались и представлялись в материалах следующих конференциях:

1. International Siberian conference on control and communications (SIBCON-2017), г. Астана, 2017 г.

2. International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM), Алтай, 2020, 2022 г.

3. Международная научно-техническая конференция «Научная сессия ТУСУР», г. Томск, 2017, 2020, 2021 г.

4. Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2019, 2020, 2021 г.

5. Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», г. Томск, 2018 г., 2021 г.

6. Международная конференция «Авиация и космонавтика–2019», г. Москва, 2019 г.

7. Межрегиональная научная конференция «Промышленная революция 4.0: взгляд молодежи», г. Тула, 2020 г.

Результаты, полученные в диссертации опубликованы в 36 работах (3 работы без соавторов), в том числе 5 публикаций в журналах из перечня ВАК, 1 публикация в журналах, индексируемых в WoS и Scopus (Q1), 5 публикаций в журналах и 4 в трудах конференций, индексируемых WoS и Scopus, 13 публикаций в трудах отечественных конференций, 4 тезисов в трудах отечественных конференций, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и 2 патента на изобретение.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать при разработке сигнальных цепей и цепей питания промышленного, бытового и специального оборудования. Например, взрывозащищённого оборудования для нефтегазовой отрасли, как в ООО «ГРЭМ Инновации», печатных плат и узлов бортовой радиоэлектронной аппаратуры на предприятиях, занимающихся разработкой космических аппаратов, в частности в АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева. Также они могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов в области радиотехники и телекоммуникаций.

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации не приведено обоснование выбора программного обеспечения, применяемого для электродинамического моделирования.

2. Не удалось обнаружить описание методов инъекции СКИ в электрические цепи.

3. В подразделе 2.1.1 не приведено доказательство применимости предлагаемых аналитических математических моделей для линий передачи с произвольным поперечным сечением, отличным от используемого автором.

4. В работе имеются пунктуационные неточности, например:

- стр. 71: «...3,84 и 4 раза, в синфазном...»;

- стр. 74: «...уменьшаются на 1,7%1,9% соответственно...»;

- стр. 112: «...с активным проводником МФ а также...».

Отмеченные недостатки не снижают достоинств диссертационной работы и не влияют на ее общую положительную оценку.

Выводы

1. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

2. Основные результаты диссертации являются новыми, обладают научной и практической значимостями. Решена задача по созданию устройств защиты РЭА от СКИ в дифференциальном и синфазном режимах.

3. Результаты работы хорошо апробированы на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных изданиях.

Заключение

Считаем, что диссертационная работа «Устройства защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов в синфазном и дифференциальном режимах» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а её автор, Костелецкий Валерий Павлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв на диссертационную работу и её автореферат после доклада соискателя обсужден и одобрен на заседании кафедры «Радиоприемные и радиопередающие устройства» (РПиРПУ) Новосибирского государственного технического университета, состоявшемся 15 сентября 2022 года, протокол № 7.

Заведующий кафедрой «РПиРПУ»
доктор техн. наук, доцент



М. А. Степанов

Секретарь
кандидат техн. наук, доцент



И. С. Савиных

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Проспект К. Маркса, 20, город Новосибирск, 630073.

Телефон: (383) 346-50-01, E-mail: rector@nstu.ru, <http://www.nstu.ru>.