

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Новосибирский

государственный технический  
университет», д.т.н., доцент

С.В. Брованов

«7» сентября 2021 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Черниковой Евгении Борисовны «Зеркально-симметричные модальные фильтры и меандровые линии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

### Актуальность работы

В связи с широким внедрением цифрового радиоэлектронного оборудования почти в каждую отрасль современной экономики становится всё более ощутимой необходимостью комплексного обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств. Возможность возникновения электромагнитных помех, как естественного, так и искусственного происхождения еще более актуализирует данную проблематику. Влияние помех может привести к сбоям в работе систем в виде пропуска части полезного сигнала или к выработке ошибочной команды «ложной тревоги». Если уровень помех слишком высок или оборудование не защищено должным образом – нарушается электромагнитная обстановка в целом. Исходя из этого, надежное и бесперебойное функционирование современной аппаратуры во многом зависит от устройств, надёжно защищающих её в процессе штатной эксплуатации.

Для подобных устройств одним из опасных видов помех являются сверхкороткие импульсы (СКИ). За счет широкого спектра и большой амплитуды они способны преодолевать устройства защиты и приводить к необратимым повреждениям или временным сбоям. Кроме того, серьезное внимание уделяют защите от преднамеренных электромагнитных воздействий (ПД ЭМВ).

В связи с необходимостью учитывать вопросы ЭМС на ранних стадиях проектирования, повышением сложности радиоэлектронного оборудования, увеличением числа электронных компонентов при одновременном сокращении компоновочного объёма (микроминиатюризация узлов), ростом возможностей генераторов ПД ЭМВ, актуален как поиск новых путей при защите от СКИ, так и дальнейшее совершенствование и модернизация устройств защиты на базе комплексного системного подхода.

### **Соответствие темы диссертации научной специальности**

Диссертационная работа посвящена комплексному исследованию зеркально-симметричных модальных фильтров и меандровых линий, которые предлагается применять для защиты радиоэлектронного оборудования по цепям питания или сигнальным цепям от сверхкороткого импульса. В работе приведены результаты предварительного имитационного моделирования, многокритериальной оптимизации параметров, создание макетов зеркально-симметричного модального фильтра и их измерение. На основе полученных результатов исследования данного фильтра предложено усовершенствованное устройство, названное зеркально-симметричной меандровой линией. Таким образом, в соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней» ВАК, в данной диссертационной работе 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 159 наименований, приложение из 38 с. Объём диссертации с приложением – 241 с.

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

**В первой главе** представлен обзор литературы по обеспечению ЭМС и помехозащиты радиоэлектронных средств, подходов к моделированию защитных устройств. Рассмотрен подход к защите от СКИ за счет технологии модальной фильтрации, обоснована необходимость в исследовании зеркальной симметрии модальных фильтров.

**Второй раздел** отражает результаты параметрической оптимизации зеркально-симметричных модальных фильтров, а также анализ их временных и частотных характеристик. Рассмотрены разработка, реализация и измерения макета зеркально-симметричного модального фильтра.

**Третий раздел** посвящен исследованию возможности разложения СКИ в зеркально-симметричных меандровых линиях с разными эквивалентными схемами. Выполнена формулировка методики выявления дополнительных

импульсов во временной характеристике таких меандровых линий. Проведены экспериментальные исследования макета.

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

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

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, включает постановку цели и задач, решаемых в диссертации, основные результаты и выводы.

### **Научная новизна**

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Предложен подход к совершенствованию защиты конструкций радиоэлектронных средств от сверхкоротких импульсов за счет использования зеркально-симметричных модальных фильтров, отличающийся многокритериальной оптимизацией, учетом влияния влагозащитного покрытия и корпуса носителя, использованием дополнительной симметрии и модального резервирования, а также аналитических условий для временных задержек при выравнивании их для соседних погонных мод.

2. Для совершенствования характеристик модальной фильтрации предложены зеркально-симметричные структуры с распределёнными параметрами, отличающиеся отсутствием резисторов на их концах/полосах.

3. Впервые разработана весьма эффективная методика выявления дополнительных импульсов во временном отклике структур с модальным разложением на воздействие сверхкороткого импульса.

### **Значимость результатов работы для науки и практики**

**Теоретическая значимость работы** заключается в следующем:

1. Изучены особенности влияния параметров зеркально-симметричных структур на временные и частотные характеристики.

2. Получены аналитические выражения для вычисления погонных задержек мод в зеркально-симметричном модальном фильтре.

3. Выведены аналитические условия выравнивания разностей соседних погонных задержек мод зеркально-симметричного модального фильтра.

4. Приведено качественное сравнение двух видов модальных фильтров: микрополоскового и зеркально-симметричного.

5. Показано влияние экрана на выходное напряжение зеркально-симметричного модального фильтра.

6. Установлено, что улучшение характеристик после перехода от 4-проводных к 8-проводным зеркально-симметричным модальным фильтрам затруднено резким увеличением числа мод, каждая из которых имеет свою специфику.

7. Выявлены закономерности появления дополнительных импульсов разложения в асимметричных структурах с модальной фильтрацией.

8. Сформулированы критерии выявления дополнительных импульсов во временном отклике асимметричных структур на примере зеркально-симметричных меандровых линий.

**Практическая значимость** работы характеризуется тем, что разработаны макеты зеркально-симметричных модальных фильтров и меандровых линий для экспериментальных исследований модального разложения сверхкороткого импульса; получены параметры поперечного сечения 4-х структур зеркально-симметричного модального фильтра, позволяющие минимизировать амплитуду выходного напряжения и получить попарно выравненные напряжения выходных импульсов; сформулированы рекомендации по модификации зеркально-симметричного модального фильтра за счет соединения проводников на концах линии перемычкой.

Результаты исследования зеркально-симметричного модального фильтра в качестве варианта устройства помехозащиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры внедрены в АО «ИСС», г. Железногорск (акт внедрения), а результаты вывода аналитических условий выравнивания разностей погонных задержек мод в зеркально-симметричном модальном фильтре и моделирования зеркально-симметричных модальных фильтров 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 с распределёнными параметрами и численных методов их анализа, согласованностью результатов моделирования квазистатическим и электродинамическим подходами, экспериментальными исследованиями и данными, полученных другими авторами по вопросам похожего характера.

#### **Апробация результатов работы и публикации**

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

1. Международная научно-техническая конференция «Научная сессия ТУСУР», г. Томск, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 г.
2. Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2017, 2018, 2020 г.
3. Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», г. Томск, 2017 г., 2019 г.
4. Научно-техническая конференция молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства» на базе АО «НПЦ Полнос», г. Томск, 2018 г.
5. IEEE 2018 Siberian symposium on data science and engineering, г. Новосибирск, 2018 г.
6. International Siberian conference on control and communications (SIBCON-2019), г. Томск, 2019 г.

7. Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, 2019, 2020 г.

8. Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиофизики (АПП-2019)», г. Томск, 2019 г.

9. International multi-conference on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON-2019), г. Томск, 2019 г.

10. 18-я международная конференция «Авиация и космонавтика–2019», г. Москва, 2019 г.

11. International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM), Алтай, 2019, 2020, 2021 г.

12. IEEE Ural symposium on biomedical engineering, radioelectronics and information technology (USBREIT), Россия, 2021 г.

Результаты, полученные в диссертации опубликованы в 49 работах (10 работ без соавторов), в том числе 3 публикации в журналах из перечня ВАК, 2 публикации в журналах, индексируемых в WoS и Scopus, 6 публикаций в журналах и 8 в трудах конференций, индексируемых WoS и Scopus, 19 публикаций в трудах отечественных конференций, 3 тезисов в трудах отечественных конференций, 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ и 2 патента.

#### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в цепях питания промышленного и бытового оборудования, для устранения сбоев в локальных сетях Fast Ethernet, при разработке печатных плат и узлов в бортовой радиоэлектронной аппаратуре на предприятиях, занимающихся разработкой космических аппаратов, например, в АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнёва. Также они могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов в области радиотехники и телекоммуникаций.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Различная глубина проработки некоторых вопросов. Например, в подразделе 2.2.9 сделан вывод о том, что описанные структуры можно использовать для модального резервирования, хотя результаты моделирования этих структур во временной и частотной областях не дают ясного представления об этом.

2. В подразделе 2.2.6 получены аналитические условия для зеркально-симметричных структур, позволяющие выравнять расстояния между погонными задержками мод. Далее говорится о том, что эти условия можно использовать как целевую функцию для оптимизации генетическими алгоритмами, однако явной апробации данных условий в работе не представлено.

3. Не приведено сравнение характеристик исходного зеркально-симметричного модального фильтра и разработанной на его основе зеркально-симметричной меандровой линии.

4. Не представлены фазо-частотные характеристики синтезированных модальных фильтров.

5. В работе имеются пунктуационные неточности, связанные с запятыми, например, страницы 45, 53, 153, 173.

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 совершенствования защиты радиоэлектронного оборудования от распространяющихся кондуктивным путем сверхкоротких импульсов.

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

#### **Заключение**

Считаем, что диссертационная работа «Зеркально-симметричные модальные фильтры и меандровые линии» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённым постановлением правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а её автор, Черникова Евгения Борисовна, заслуживает присуждения ей 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 обсуждён и одобрен на расширенном заседании кафедры «Радиоприёмные и радиопередающие устройства» (РПиРПУ) Новосибирского государственного технического университета, состоявшемся 3 сентября 2021 года, протокол № 7.

Заведующий кафедрой «РПиРПУ»

д.т.н., доцент

 М.А. Степанов

Секретарь

к.т.н., доцент

 И.С. Савиных

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

Проспект Карла Маркса, 20, город Новосибирск, 630073.

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