

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Новосибирский

государственный технический

университет», д.т.н., доцент

С.В. Брованов

«08» декабря 2022 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Жечева Евгения «Анализ и экспериментальное исследование частотных и временных характеристик полосковых структур с модальной фильтрацией», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

### Актуальность работы

Радиоэлектронные устройства (РЭУ) широко используются в различных сферах инфраструктуры современного общества. При этом всё более значимы критерии миниатюризации элементов и узлов, что приводит к росту плотности компоновки и монтажа. Повышение производительности РЭУ зачастую обеспечивается за счет увеличения верхних граничных частот используемых сигналов. В результате высокая плотность компоновки элементов и трассировки соответствующих печатных плат приводят зачастую к нарушению работы РЭУ из-за взаимных электромагнитных помех, что обуславливает необходимость обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Частная задача уменьшения преднамеренных электромагнитных помех является актуальной в решении задач ЭМС. Предпосылками возникновения этой проблемы стали прогресс в создании мощных источников электромагнитного поля с одной стороны, а с другой – неуклонное уменьшение уровней обрабатываемых сигналов. Широкое использование РЭУ, а также доступность устройств создания преднамеренных помех сделали эту проблему актуальной.

## **Соответствие темы диссертации научной специальности**

Диссертационная работа посвящена комплексному исследованию полосковых защитных структур с модальной фильтрацией, которые предлагается применять для защиты сигнальных и силовых цепей РЭУ от сверхширокополосных помех (СШП). В работе представлены результаты исследования характеристик зеркально-симметричного модального фильтра в частотной и временной областях, полосковых структур с модальным резервированием, исследуются микрополосковые устройства защиты электрических цепей от СШП помех. Таким образом, в соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней» ВАК, в диссертационной работе Жечева Евгения решена актуальная задача, имеющая значение для развития технических наук в части разработки научных и технических основ проектирования и конструирования радиотехнических устройств, согласно пункту 7 «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» паспорта специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

### **Краткое содержание работы**

В состав диссертации входят введение, 4 раздела, заключение, список литературы из 240 наименований, приложение из 16 с. Объем диссертации с приложением – 240 с.

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

**В первом разделе** выполнен обзор методов защиты РЭУ от сверхширокополосных помех, приведены описание и назначение  $N$ -норм. Определены цели и задачи исследования.

**Второй раздел** содержит результаты исследования характеристик зеркально-симметричного модального фильтра в частотной и временной областях.

**Третий раздел** посвящен исследованию характеристик полосковых структур с модальным резервированием, представлена экспериментально-расчетная методика анализа характеристик таких устройств.

**В четвертом разделе** описаны устройства защиты электрических цепей от СШП помех, в конце раздела даны практические рекомендации по проектированию электрических соединений на печатных платах для защиты цепей от СШП помех.

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

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

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, включает постановку цели и задач, решаемых в диссертации, основные результаты и выводы. Сама диссертационная работа хорошо структурирована, а этапы изложения материала взаимосвязаны и обоснованы с технической точки зрения.

### **Научная новизна**

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Впервые предложена экспериментально-расчетная методика анализа структур с модальной фильтрацией, включающая в себя измерения  $S$ -параметров в частотном диапазоне, переход во временную область для вычисления откликов на воздействие сверхширокополосных помех и оценку уменьшения их опасности на основе  $N$ -норм.

2. Предложен подход к улучшению характеристик модальных фильтров, отличающийся соединением опорных проводников между собой только на концах и использованием четвертьволновых резонаторов и широкополосных радиопоглощающих материалов.

3. Предложен способ компоновки печатных проводников для цепей с модальным резервированием на четырехслойной печатной плате, отличающийся тем, что опорный проводник выполнен в виде двух проложенных друг под другом проводников внутри диэлектрической подложки и закороченных между собой только на концах, так что проводники резервируемой и резервной цепей вместе с дополнительным опорным проводником образуют пятипроводную связанную линию передачи, а радиоэлектронные компоненты размещаются на внешних сторонах печатной платы.

4. Предложен способ трассировки двух микрополосковых линий передачи, отличающийся контролируемым увеличением электромагнитной связи между ними до допустимого уровня перекрестных наводок от полезного сигнала и использованием модальных искажений для защиты от сверхширокополосных помех.

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

**Теоретическая значимость работы** заключается в следующем:

1. Изучены особенности влияния параметров поперечного сечения на временные отклики зеркально-симметричных структур со скрытыми металлизированными отверстиями и различными оконечными нагрузками на ближнем и дальнем концах.

2. Изучены температурные зависимости характеристик зеркально-симметричного модального фильтра.

3. Проведена оценка ослабления сверхширокополосных помех в структурах с однократным и трехкратным модальным резервированием и выполнена систематизация способов многократного модального резервирования на основе симметричных структур.

4. Изучено влияние характеристик и параметров симметричных структур с модальной фильтрацией на целостность полезного сигнала.

5. Применительно к проблематике диссертации результативно использован подход к анализу сверхширокополосных помех на основе N-норм.

#### **Практическая значимость работы** заключается в следующем:

1. Разработан прототип модального фильтра с широкополосным радиопоглощающим материалом для экспериментальных исследований модального разложения импульса сверхширокополосной помехи.

2. Представлены рекомендации по проектированию электрических соединений на печатных платах для защиты цепей от сверхширокополосных помех.

3. Результаты исследования зеркально-симметричного модального фильтра использованы в модуле фильтра Ф100-М1 космического аппарата в АО «ИСС», г. Железногорск (акт использования РИД).

4. Экспериментально-расчетная методика анализа частотных и временных характеристик помехоподавляющего фильтра для защиты силовой шины электропитания космического аппарата и результаты моделирования эффективности экранирования корпуса внедрены в АО «ИСС», г. Железногорск (акт внедрения).

5. Комплекс технических решений для обеспечения электромагнитной совместимости, основанный на использовании пассивных помехозащитных устройств, внедрен в ООО «ТРЭМ Инновации», г. Томск (акт внедрения).

6. Результаты электродинамического анализа структур с однократным и трехкратным модальным резервированием внедрены в учебный процесс бакалавриата по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 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 сосредоточенными и распределёнными по длине параметрами, а также согласованностью результатов моделирования и экспериментов.

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

Основные результаты диссертационной работы докладывались и представлялись в материалах следующих конференций: межд. научно-техн.

конф. «Научная сессия ТУСУР», г. Томск, 2017–2021 гг.; межд. научно-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2019–2021 гг.; межд. научно-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», г. Томск, 2018 г.; межд. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, 2019 г.; 18-я межд. конф. «Авиация и космонавтика–2019», г. Москва, 2019 г.; Int. conf. on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM), Алтай, 2019–2022 гг.

Результаты отражены в 62 публикациях (5 без соавторов): 6 статей в журналах из перечня ВАК; 5 статей в журналах из Q1, Q2 WoS или Scopus; 10 статей в журналах, индексируемых в WoS и Scopus; 7 докладов в трудах конференций, индексируемых в WoS и Scopus; 28 докладов в трудах других конференций; 5 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

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

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать при разработке сигнальных и силовых цепей РЭУ. К примеру, взрывозащищённого оборудования для нефтегазовой отрасли, - как в ООО «ТРЭМ Инновации»; печатных плат и узлов бортовой радиоэлектронной аппаратуры на предприятиях, занимающихся разработкой космических аппаратов, - как 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. Неодинаковая глубина проработки некоторых вопросов. Так, в разделе 2 по-разному охарактеризован вклад в общее ослабление факторами модальной фильтрации и диссипативными потерями в проводниках и диэлектрике.

2. В разделе 3 не вполне структурировано, что и зачем резервируется. Недостатки модального резервирования можно было бы охарактеризовать более подробно. Можно было бы также более системно описать область применения предлагаемых структур и подходов.

3. Было бы также целесообразно провести развёрнутое сравнение предлагаемых полосковых устройств с классическими фильтрами.

4. На странице 144 обнаружено незаконченное предложение. Кроме того, в работе встречаются пунктуационные неточности.

Отмеченные недостатки носят локальный характер, не влияют на ее общую положительную оценку и не умаляют нашу убежденность в её поддержке.

### **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 исследованию полосковых структур с модальной фильтрацией для защиты РЭУ от СШП помех.

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

### **Заключение**

Считаем, что диссертационная работа «Анализ и экспериментальное исследование частотных и временных характеристик полосковых структур с модальной фильтрацией» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а её автор, Жечев Евгений, 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 8 декабря 2022 года на заседании кафедры «Радиоприемные и радиопередающие устройства» (РПиРПУ) НГТУ, протокол № 9.

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](mailto:rector@nstu.ru), <http://www.nstu.ru>.