

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Черниковой Евгении Борисовны** «Зеркально-симметричные модальные фильтры и меандровые линии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

**Актуальность темы** диссертации определяется необходимостью защиты радиоэлектронной аппаратуры от помеховых импульсов нано- и субнаносекундной длительности. Традиционно для защиты от преднамеренных электромагнитных воздействий в широком диапазоне требуются сложные многоступенчатые устройства, что ведет как к усложнению проектирования, так и увеличению массы и габаритов устройства, однако для практики требуются простые и дешевые устройства защиты, что обуславливает интерес к поиску новых решений.

В нано- и субнаносекундном диапазоне представляются перспективными устройства защиты от импульсов на основе многопроводных структур. Защита в таких структурах основана на явлении модального разложения импульса на последовательность импульсов меньшей амплитуды. Представленные в диссертации Е. Б. Черниковой результаты являются продолжением работ по ЭМС и защите от короткоимпульсных воздействий, которые ведутся в ТУСУРе под руководством д.т.н. Т. Р. Газизова с начала 2000-х годов. Однако многие аспекты проблемы использования многопроводных структур для защиты от коротких импульсов оставались открытыми. Их исследованию посвящена данная диссертация. Таким образом, тема диссертационной работы является современной и актуальной.

**Обоснованность научных положений и выводов** диссертационной работы Е. Б. Черниковой подтверждается разумным сочетанием как имитационного моделирования с использованием квазистатического и

электродинамического подходов, так и натурального эксперимента. Так, для подтверждения первого научного положения автором использовано сравнение результатов квазистатического моделирования и полноволнового электродинамического моделирования. Для подтверждения второго положения предложены аналитические выражения, позволяющие определить парциальные задержки отдельных импульсов для управления временной формой суммарного импульса на выходе фильтра. В третьем положении предложенная методика выявления дополнительных импульсов открывает возможность дальнейшего уменьшения амплитуды разложенного помехового импульса на выходе модального фильтра.

При моделировании в работе использован метод моментов, модифицированный метод узловых потенциалов, квазистатический и электродинамический анализ, параметрическая оптимизация эвристическим поиском, а также натуральный эксперимент с применением современного оборудования.

Выводы, сделанные автором в конце каждого раздела являются вполне обоснованными, из них сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна результатов работы, теоретическая и практическая значимость работы. Рекомендации, приведенные в заключении диссертации, обоснованы содержанием работы.

**Достоверность** результатов подтверждается сравнением результатов моделирования с результатами других программных продуктов и натурального эксперимента, сравнением результатов, полученных по аналитическим моделям, с результатами вычислительного эксперимента численными методами, реализованностью предложенных устройств на практике в виде макетов.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских научных конференциях, опубликованы в журналах из перечня ВАК и в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science.

**Научная новизна** диссертации определяется комплексом новых результатов, полученных автором, в частности:

- предложена методика защиты радиотехнических устройств от сверхкоротких импульсов на основе использования многопроводных модальных фильтров: микрополосковых, зеркально-симметричных, с круговой симметрией;

- разработана методика выявления дополнительных импульсов во временном отклике структур с модальным разложением при воздействии сверхкороткого импульса.

**Теоретическая значимость:**

1. Выявлены влияние параметров зеркально-симметричных модальных фильтров на погонные задержки мод и отклик на воздействие импульса.

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

3. Обнаружены закономерности появления дополнительных импульсов разложения в асимметричных структурах с модальной фильтрацией.

4. Сформулирована методика выявления дополнительных импульсов во временном отклике асимметричных структур на примере зеркально-симметричных меандровых линий.

**Практическая значимость:**

1. Разработаны макеты зеркально-симметричных модальных фильтров и меандровых линий для экспериментальных исследований модального разложения сверхкороткого импульса.

2. Результаты исследования зеркально-симметричного модального фильтра внедрены в качестве варианта устройства помехозащиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры в АО «ИСС», г. Железногорск .

3. Получены параметры поперечного сечения нескольких структур зеркально-симметричного модального фильтра, позволяющие минимизировать амплитуду выходного напряжения и получить попарно выровненные напряжения выходных импульсов.

4. Представлены предложения по модификации зеркально-симметричного модального фильтра за счет замыкания проводников на концах линии.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, полученные оригинальные результаты имеют научную и практическую значимость в области ЭМС и защиты радиоаппаратуры от короткоимпульсных помех. Материал диссертации изложен грамотно, автореферат отражает суть диссертации. Содержание, основные выводы и практические рекомендации представленной работы соответствуют паспорту специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

#### **Замечания по работе**

1. Не указано в каких программных продуктах электродинамического моделирования и с какими параметрами (сетка, временной шаг, граничные условия) получены данные для сравнения с результатами моделирования зеркально-симметричного фильтра квазистатическим методом.

2. Использованная математическая модель не учитывает излучения части энергии наружными микрополосками фильтра, однако в работе не приведена оценка влияния излучения на поведение импульсов мод внешних линий и скрытых в толще диэлектрика.

3. Вместо абсолютной полосы согласования более уместным является использование относительной полосы согласования.

Тем не менее, указанные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы Е. Б. Черниковой и не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

#### **Заключение**

Диссертационная работа Е. Б. Черниковой «Зеркально-симметричные модальные фильтры и меандровые линии» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены важные аспекты защиты

радиоэлектронных средств от сверхкороткого импульса за счет применения зеркально-симметричных структур.

Считаю, что диссертационная работа Е. Б. Черниковой полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением №842 от 24.09.2013 Правительства Российской Федерации, а её автор, Черникова Евгения Борисовна, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Кандидат физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
заведующий лабораторией высокочастотной электроники  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт  
сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии  
наук (ИСЭ СО РАН),

15 сентября 2021 г.

Балзовский Евгений Владимирович

634055, г. Томск, пр. Академический, д. 2/3, ИСЭ СО РАН

тел. (3822) 49-19-00, +79069486174, e-mail: bev@lhfe.hcei.tsc.ru

Подпись Балзовского Е.В. удостоверяю,  
ученый секретарь ИСЭ СО РАН, к.т.н.



 Крысина Ольга Васильевна