

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор НГТУ  
по научной работе,  
Заслуженный деятель науки,  
Д.т.н., профессор  
А.Г. Вострецов



« 10 » 2018 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации – федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования

«Новосибирский государственный технический университет»

на диссертационную работу

**Носова Александра Вячеславовича**

«Совершенствование защиты радиоэлектронной аппаратуры

от сверхкоротких импульсов за счет меандровых линий задержки»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.12.04 –

«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

#### **Актуальность работы**

Одной из актуальных задач электромагнитной совместимости (ЭМС) является защита радиоэлектронных средств (РЭС) от импульсов наносекундного диапазона, поскольку они способны выводить из строя цепи с активными элементами при проникновении внутрь изделий. Это обусловлено тем, что традиционные устройства защиты в силу своих недостатков (ограниченная мощность, недостаточное быстродействие и наличие паразитных параметров) малоэффективны для защиты от таких сверхкоротких импульсов (СКИ). Поэтому для защиты от воздействий в широком диапазоне требуются сложные и многоступенчатые фильтрующе-защитные устройства, что ведет к увеличению не только массы и габаритов готового изделия, но и финансовых затрат на проектирование, разработку и изготовление, а также последующее сопровождение изделия в процессе эксплуатации с учётом факторов климатического районирования обширной территории Российской Федерации. Поэтому актуален поиск новых подходов к модернизации и совершенствованию устройств защиты и фильтрации кратковременных импульсных помех на возможных путях их

распространения. И в этом плане (то есть, для защиты РЭС от СКИ) примечательны широко распространенные элементы современных печатных плат (ПП) – меандровые линии задержки. Основным их достоинством является простота, не требующая введения в РЭС сложных многоступенчатых устройств. В самом деле, традиционным назначением меандровых линий является задержка сигнала, когда ее невозможно обеспечить проведением обычных линий передачи из-за высокой плотности монтажа на ПП. Помимо традиционного назначения, известно использование меандровых линий для фильтрации сигнала в полосе частот, а также всепропускающее свойство витка меандра. Однако, не уделено должного внимания исследованию возможности использования меандровых линий для защиты от помеховых сигналов (в частности от СКИ). Между тем, дополнительные исследования (для разных структур, типов линий и воздействий, а также универсальных аналитических условий) наверняка позволят без введения новых устройств и компонентов в печатные узлы усовершенствовать их защиту от СКИ.

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

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая выполнена на актуальную тему, поскольку защита РЭС от СКИ с помощью новых и достаточно простых устройств защиты является весьма востребованной. В диссертационной работе Носова А.В. для обеспечения защиты РЭС от СКИ предложен сравнительно простой способ – подавление амплитуды СКИ за счет использования свойств витка меандровой линии с сильной торцевой связью. Для этого сформулированы условия, обеспечивающие разложение СКИ на последовательность импульсов в витке меандровой линии. Также сформулированы условия, обеспечивающие разложение пикового выброса электростатического разряда на последовательность образующих его импульсов в витке меандровой микрополосковой линии. Таким образом, тема и содержание диссертационной работы Носова А.В. соответствует паспорту специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» по п. 9 «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиотехнических устройств».

#### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения, содержит список используемых источников из 138 наименований, 79 рисунков, 20 таблиц и одно приложение. Общий объем диссертации – 185 страниц.

**Во введении** соискателем приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи работы, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** работы автором достаточно убедительно обоснована актуальность работы со ссылками на действующие стандарты и актуальные текущие исследования, а также приведен структурированный обзор источников по выбранным направлениям исследований.

**Во второй главе** выполнен детальный анализ искажений в одном и двух витках меандровой линии, подвешенной в воздухе, а также в микрополосковой линии с боковой и лицевой связью. Предложены и обоснованы условия, обеспечивающие разложение СКИ в конце линии на последовательность импульсов меньшей амплитуды. Показано, что для разложения СКИ на последовательность импульсов необходимо обеспечить сильную электромагнитную связь между проводниками линии. Представлены результаты параметрической оптимизации защитного витка меандровой линии с использованием генетических алгоритмов. Выполнены оценки влияния потерь в витке меандра с различными типами связи на искажение формы сигнала в конце линии. Наконец, показаны результаты анализа разложения пикового выброса электростатического разряда в витке меандровой линии.

**Третья глава** посвящена экспериментальному подтверждению возможности защиты РЭС от СКИ с помощью макетов витка меандровой микрополосковой линии с боковой и лицевой связью, а также вычислен модуль коэффициента передачи по напряжению  $|S_{21}|$  каждого из макетов с учетом их реальных геометрических параметров и проведена оценка влияния потерь на изменение  $|S_{21}|$  в диапазоне частот.

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

**В заключении** подведены итоги и сформулированы основные научные и практические результаты, полученные соискателем в процессе работы.

### **Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций**

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Предложено использование меандровых линий из одного и двух витков с различными типами связи для защиты от сверхкороткого импульса за счет его разложения на последовательность импульсов меньшей амплитуды.

2. Сформулировано условие, касающееся длительности сверхкороткого импульса, полностью разлагаемого в витке меандровой микрополосковой линии на импульсы-составляющие.

3. Исследована частотная зависимость модуля коэффициента передачи помехозащитных витков меандровой линии с различными типами связи.

4. Оценено влияние потерь в проводниках и диэлектрике на формы импульсов разложения сверхкороткого импульса в витке меандровой линии с различными типами связи.

5. Выявлены возможности уменьшения амплитуды напряжения на выходе витка меандровой микрополосковой линии при воздействии на его



вход импульса электростатического разряда.

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

**Теоретическая значимость работы** заключается в следующем:

1. Сформулирован ряд условий, обеспечивающих разложение сверхкороткого импульса в витке меандровых линий на последовательность импульсов меньшей амплитуды.
2. Сформулировано условие, обеспечивающее увеличение длительности сверхкороткого импульса, который может быть разложен в витке меандровой линии на последовательность импульсов, до значения, равного удвоенному произведению минимальной из погонных задержек четной и нечетной мод на длину полувитка.
3. Сформулированы условия, обеспечивающие разложение пикового выброса электростатического разряда на последовательность импульсов меньшей амплитуды в витке меандровой линии.
4. Для линии из двух витков сформулирован ряд условий, обеспечивающих в первом витке разложение сверхкороткого импульса на последовательность из трех основных импульсов с равными задержками между импульсами, а во втором витке – разложение трех импульсов с выхода первого витка на последовательность из девяти импульсов.
5. Выявлено, что в меандровой микрополосковой линии потери в проводниках оказывают более существенное влияние на амплитуду и форму сверхкороткого импульса, чем потери в диэлектрике, а в линии с лицевой связью, наоборот.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что:

1. Получено максимальное ослабление сверхкороткого импульса в витке меандровой линии: с воздушным диэлектрическим заполнением – 1,8 раза; микрополосковой – 6,3 раза; с лицевой связью – 4,6 раза.
  2. Получено максимальное ослабление сверхкороткого импульса в меандровой линии из двух витков: с воздушным диэлектрическим заполнением – 1,94 раза; микрополосковой – 5,2 раза; с лицевой связью – 4,8 раза.
  3. Продемонстрировано ослабление в 4,6 раза пикового выброса ЭСР в витке меандровой микрополосковой линии.
  4. Оработана методология оптимизации генетическими алгоритмами на тестовом примере одновременной оптимизации всех параметров меандровой линии с воздушным диэлектрическим заполнением и комбинации из нескольких параметров меандровой микрополосковой линии с боковой и лицевой связями.
  5. Получены 6 патентов на изобретение: на устройства, защищающие от сверхкоротких импульсов на основе меандровых линий задержки.
  6. Результаты использованы в учебном процессе двух университетов:
- Также практическая значимость результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается их использованием в ходе выполнения различных НИР.

### **Обоснованность и достоверность результатов и выводов работы**

Достоверность изложенных в диссертационной работе результатов основана на корректном использовании метода моментов и теории линий передачи, а также на согласованности результатов: моделирования и натурального эксперимента; квазистатического и электродинамического подходов.

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

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и симпозиумах: Межд. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2015 и 2016 гг.; Int. Conf. of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, Эрлагол (Алтай), 2015, 2016 и 2017 гг.; X International IEEE Scientific and Technical Conference «Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines», Омск, 2016 и 2017 гг.; Межд. науч.-метод. конф. «Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов», Томск, 2016 г.; Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР», Томск, 2017 и 2018 гг.; 2017 Int. Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Новосибирск, 2017 г.; Науч.-техн. конф. молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства» на базе АО НПП «Полюс», Томск, 2018 г.

Основная часть диссертации отражена в 28 работах соискателя (3 работы без соавторов), в том числе в 3 статьях в журналах из перечня ВАК, 2 статьях в журналах (WoS и SCOPUS), 7 статьях в трудах конференции (WoS и SCOPUS), 7 докладах в трудах отечественных конференций, 6 патентах на изобретение, 3 свидетельствах о регистрации программы для ЭВМ.

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

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке печатных плат и узлов бортовой РЭА космических аппаратов на предприятиях, занимающихся проектированием таких изделий, например АО «ИСС имени академика М.Ф. Решетнева». Также они могут быть использованы в специализированном и офисном оборудовании, в бытовых электроприборах различного назначения и т.д.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В диссертационной работе все внимание уделено ослаблению амплитуды СКИ и электростатического разряда, в то время как в явном виде не рассмотрено влияние меандровых линий на искажение полезных импульсных сигналов.

2. Не все результаты диссертационной работы подтверждены экспериментально. Например, в части исследования разложения СКИ в

меандровых линиях из двух витков, а также в части ослабления амплитуды электростатического разряда.

3. В работе отсутствует сравнение предлагаемых меандровых линий с традиционными устройствами защиты от СКИ. Кроме того, видится очевидным необходимость сравнения ослабления СКИ с устройствами, также основанными на модальных искажениях сигнала – модальными фильтрами.

4. В диссертации имеются пунктуационные неточности.

**Выводы**

1. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну и значимость для науки и практики, является законченной научно-квалификационной работой, раскрывающей сформулированную соискателем цель и задачи.

2. Основные результаты, полученные в ходе подготовки диссертационной работы, опубликованы в научных трудах автора.

3. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание и оформлен в соответствии с требованиями ВАК Российской Федерации.

**Заключение**

Указанные замечания не снижают достоинств работы, выполненной на высоком научном уровне. Считаем, что работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а её автор, Носов Александр Вячеславович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на заседании межкафедрального научно-технического семинара факультета «Радиотехника и электроника» Новосибирского государственного технического университета 25 октября 2018 г., протокол № 6.

Председатель семинара, декан  
факультета «Радиотехника и электроника»,

д.т.н., профессор

В.А.Хрусталев

Секретарь семинара

д.т.н., профессор

А.П.Горбачев