

**Отзыв официального оппонента Дмитренко Анатолия Григорьевича на диссертацию Носова Александра Вячеславовича «Совершенствование защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов за счет меандровых линий задержки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения**

Диссертация Носова А.В. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованиям распространения сверхкоротких импульсов в меандровых линиях задержки различного типа и использованию особенностей их распространения для защиты радиоэлектронной аппаратуры.

Диссертация содержит введение, 3 главы, заключение, список литературы из 138 наименований и приложение с копиями актов внедрения, патентов на изобретения и свидетельств о государственной регистрации разработанных программ для ЭВМ. Объем с приложением – 185 с., в т.ч. 79 рисунков и 20 таблиц.

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

**В первой главе** говорится об актуальности защиты радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от сверхкоротких импульсов (СКИ) и других преднамеренных электромагнитных воздействий, рассмотрены общие подходы к моделированию соответствующих технических решений, выделен квазистатический подход для решения задач определения электромагнитных полей в многопроводных межсоединениях печатных плат (ПП), а также описаны традиционные средства для защиты РЭА от СКИ и решения, основанные на модальных искажениях сигнала в многопроводных межсоединениях ПП.

**Во второй главе** выполнен детальный анализ искажений в одном и двух витках меандровой линии, подвешенной в воздухе, а также 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, представлены результаты анализа разложения пикового выброса ЭСР в витке меандровой линии.

**В третьей главе** экспериментально подтверждена возможность защиты РЭА от СКИ с помощью витка меандровой микрополосковой линии с боковой и лицевой связью, а также вычислен модуль  $|S_{21}|$  каждого из экспериментальных макетов с учетом их реальных геометрических параметров и проведена оценка влияния потерь на изменение  $|S_{21}|$  в диапазоне частот.

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

#### **Актуальность темы диссертации.**

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью защиты РЭА от импульсов различного, в том числе наносекундного, диапазона. Известно, что для защиты от воздействий в широком диапазоне требуются сложные и многоступенчатые устройства, что ведет к увеличению не только массы и габаритов устройства, но и финансовых затрат на проектирование и производство. Практика же, наоборот, требует простоты и дешевизны устройств защиты. Поэтому актуален поиск новых простых и дешевых устройств защиты и путей их построения. С точки зрения простоты в наносекундном диапазоне представляются перспективными устройства защиты от импульсов на основе меандровых линий. Таким образом, тема диссертационной работы является современной и актуальной.

#### **Научная новизна работы.**

К новым результатам диссертационной работы относятся следующие:

1. Выполнены оценки возможного уменьшения амплитуды СКИ при его разложении в витках меандровых линий различного типа.

2. Сформулировано условие максимизации длительности сверхкороткого импульса, полностью разлагаемого в витке меандровой микрополосковой линии.

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

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

5. Выполнены оценки возможного уменьшения амплитуды напряжения на выходе витка меандровой микрополосковой линии при воздействии на его вход импульса электростатического разряда.

#### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.**

В работе представлены три защищаемых положения.

Первое защищаемое положение обосновывается согласованием результатов моделирования с результатами натурального эксперимента.

Второе защищаемое положение обосновывается согласованием предложенного автором аналитического выражения для длительности СКИ, разлагаемого в меандровой линии, с результатами квазистатического моделирования.

Третье защищаемое положение обосновывается согласованием результатов моделирования с помощью квазистатического и электродинамического подходов.

Результаты диссертации обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science.

## **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость работы заключается в следующем.

1. Выполнены оценки возможного уменьшения амплитуды СКИ при его разложении 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.

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 следующем.

1. Получено максимальное ослабление сверхкороткого импульса в витке меандровой линии в воздушном диэлектрическом заполнении в 1,8 раза, в витке микрополосковой меандровой линии – в 6,3 раза; в витке микрополосковой меандровой линии с лицевой связью – в 4,6 раза.

2. Получено максимальное ослабление сверхкороткого импульса в меандровой линии из двух витков: в воздушном диэлектрическом заполнении в 1,94 раза; микрополосковой – в 5,2 раза; с лицевой связью – в 4,8 раза.

3. Продемонстрировано ослабление в 4,6 раза пикового выброса электростатического разряда в витке меандровой микрополосковой линии.

4. Получены 6 патентов на изобретение: на устройства, защищающие от сверхкоротких импульсов, на основе меандровых линий задержки.

**Замечания и недостатки.** При рассмотрении работы выявлены следующие недостатки.

1. Очень схематично отражен личный вклад соискателя.
2. В ряде разделов диссертации, например в 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.2.4, не указано, каким методом выполнялось моделирование.
3. В разделе 2.1.4, стр.52 говорится, что «на тестовом примере .....отработана методология оптимизации», однако сама методология не описана.
4. В разделах 2.1.5, 2.2.6, 2.3.4 получены результаты разложения СКИ в меандровых линиях из двух витков только путем моделирования методом моментов, однако не выполнено сравнения полученных результатов с результатами эксперимента или моделирования на основе других численных методов.
5. В разделе 2.2.6, стр. 80 говорится, что «многочисленные результаты моделирования.....показали, что для частичного исключения

наложений целесообразно во втором витке выполнить условие  $\tau_{\max} = 3\tau_{\min}$ ». При таком представлении этого условия оно выглядит недоказанным.

6. На стр. 126 утверждается, что представленные на рис. 3.5 «измеренные и вычисленные зависимости согласуются качественно в диапазоне до 5 ГГц» С моей точки зрения, эти результаты качественно согласуются только до 3 ГГц.
7. В тексте диссертации встречаются неудачно сформулированные и не сразу понятные выражения, например, «моделирование технических решений» (стр. 11) или «задача объемных электрических полей» (стр. 17). Встречаются также грамматические и синтаксические ошибки.

**Заключение.** Отмеченные выше недостатки диссертации не влияют на основные результаты и выводы работы. Считаю, что в диссертации Носова Александра Вячеславовича «Совершенствование защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов за счет меандровых линий задержки» представлено решение актуальной технической задачи, она содержит новые результаты, имеющие значение для развития радиотехники. Работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24.09.13 №842 (ред. от 28.08.2017), а её автор, Носов Александр Вячеславович, заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук, профессор

Национального исследовательского

Томского государственного университета



А.Г. Дмитренко

ФГАОУВО Национальный исследовательский Томский государственный университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Тел. (3822) 52-98-52

E-mail: dmitr@fpmk.tsu.ru

