

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Носова Александра Вячеславовича

**«Совершенствование защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов за счет меандровых линий задержки»,**  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### **Актуальность темы диссертации**

Одним из актуальных направлений электромагнитной совместимости (ЭМС) является защита радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от нежелательных воздействий. Это связано с уменьшением рабочих напряжений устройств и увеличением плотности их монтажа внутри блоков оборудования, что приводит к повышению восприимчивости РЭА к воздействиям. В связи с этим необходима должная защита РЭА от различных электромагнитных воздействий, которые могут быть как внутрисистемными (сбои в работе РЭА из-за перенапряжений), так и внешними (естественными или преднамеренными). К тому же, особую важность приобретает защита РЭА от преднамеренных электромагнитных воздействий. Особо опасными воздействиями являются сверхкороткие импульсы (СКИ), поскольку большинство устройств защиты неспособны обеспечить защиту от них из-за малой мощности, недостаточного быстродействия и наличия паразитных параметров. Все вышесказанное говорит о том, что тематика данной диссертационной работы является актуальной для обеспечения ЭМС РЭА.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы Носова А.В. подтверждается тем, что для получения результатов эффективно использованы аналитические оценки, имитационное моделирование с использованием квазистатического и электродинамического подходов и натурный эксперимент. Для подтверждения первого научного положения автором использованы вычислительный и натурный эксперименты. Для подтверждения второго положения сначала предложены аналитические соотношения, связывающие геометрические параметры витка меандровой линии с длительностью импульсного сигнала, а после эти соотношения подтверждены моделированием. Для подтверждения третьего положения использовано моделирование двумя подходами: квазистатическим и электродинамическим. Поэтому обоснованность каждого из научных положений, а также выводов, сделанных на их основе, не вызывает сомнений.

### **Достоверность результатов**

Достоверность результатов подтверждена следующим:

- корректным использованием метода моментов и теории линий передачи;



- согласованностью результатов моделирования воздействия электростатического разряда (ЭСР), полученных с помощью разных подходов (квазистатического и электродинамического);

- согласованностью результатов моделирования и результатов натуральных экспериментов для воздействия СКИ.

Результаты диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на научных конференциях международного и всероссийского уровня и опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, а также в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science. Весьма примечательно наличие статьи в ведущем мировом журнале по ЭМС IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, где представлены наиболее значимые результаты диссертационной работы.

### **Научная новизна**

Научная новизна работы определяется комплексом полученных автором результатов:

- 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;

- сформулировано условие максимизации длительности сверхкороткого импульса, полностью разлагаемого в витке меандровой микрополосковой линии (МПЛ);

- исследована частотная зависимость модуля коэффициента передачи помехозащитных витков меандровой линии с различными типами связи;

- исследовано влияние потерь в проводниках и диэлектрике на формы импульсов разложения сверхкороткого импульса в витке меандровой линии с различными типами связи;

- выявлены возможности уменьшения амплитуды напряжения на выходе витка меандровой МПЛ при воздействии на его вход импульса ЭСР.

### **Теоретическая и практическая значимости**

Теоретическая значимость:

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 ЭСР 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 МПЛ 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:

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

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

4. Отработана методология оптимизации генетическими алгоритмами на тестовом примере одновременной оптимизации всех параметров меандровой линии в воздушном диэлектрическом заполнении и комбинации из нескольких параметров меандровой МПЛ 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.

### Анализ содержания диссертации

В состав диссертации входят введение, 3 главы, заключение, список литературы из 138 наименований, приложение из 20 с. Объем диссертации с приложением – 185 с., в т.ч. 79 рисунков и 20 таблиц.

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 28 работ (3 работы без соавторов), в том числе 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 2 статьи в журналах, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, 7 статей в трудах конференций, индексируемых базами Scopus и Web of Science, 7 докладов в трудах отечественных конференций, 6 патентов на изобретение, 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

**Автореферат** диссертации написан и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ и в полной мере отражает содержание диссертационной работы. **Во Введении** соискателем приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи работы, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимости полученных результатов. **В первой главе** диссертации автором детально обоснована актуальность работы со ссылками на действующие стандарты и 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 МПЛ и линии с лицевой связью. Кроме того, предложены и обоснованы условия, обеспечивающие разложение СКИ в конце линии на последовательность импульсов меньшей амплитуды. Также 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, а также 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 ЭСР в витке меандровой линии. **В третьей главе** выполнено экспериментальное подтверждение возможности защиты РЭА от СКИ с помощью макетов витка меандровой МПЛ и линии с лицевой связью, а также вычислен модуль  $|S_{21}|$  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. **В Приложении** представлены акты о внедрении результатов диссертационной работы в производство и учебный процесс нескольких университетов, показывающие высокую значимость результатов работы, а также копии патентов на изобретение и свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

### Замечания

1. В разделе 2.2.7 рассмотрено подавление амплитуды пикового выброса ЭСР в витке меандровой МПЛ, за счет увеличения связи между полувитками, на основе моделирования методом моментов, однако не представлено результатов моделирования другими численными методами. Кроме того, не рассмотрены другие типы линии для подавления амплитуды именно ЭСР.

2. В разделе 2.3, при моделировании витка меандровой линии с лицевой связью не учтено влияние перемычки между активными проводниками.

3. В диссертации присутствуют орфографические ошибки и опечатки.


Однако указанные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы, которая написана в хорошем стиле, грамотным языком, оформлена в соответствии с установленными требованиями.

### Заключение

Диссертация А.В. Носова является завершённым научным исследованием, выполненным автором на хорошем научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Считаю, что рассматриваемая диссертация полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а её автор, Носов Александр Вячеславович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор

  
31.10.2018

З.М. Гизатуллин

Гизатуллин Зиннур Марселевич,  
докт. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ)  
420011 РФ, РТ, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10  
телефон: +7 (843) 231-00-81,  
телефон: +7 (903) 0617176,  
e-mail: gzm\_zinnur@mail.ru

Подпись З.М. Гизатуллин  
заверяю. Начальник управления  
делами КНИТУ-КАИ 