

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке, инновациям  
и цифровизации ФГБОУ ВО «ВГУ»



  
Костин Д.В.

«10» 10 2024г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» на диссертацию Малыгина Константина Петровича «Помехозащитные структуры на основе витка меандровой микрополосковой линии с улучшенными характеристиками» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

### Актуальность диссертации

Внедрение радиоэлектронных средств (РЭС) в различные сферы нашей жизни заставляет разработчиков обеспечивать электромагнитную совместимость (ЭМС) для надежной и безопасной работы РЭС. Миниатюризация и повышение быстродействия РЭС, диктуемые современными технологическими трендами, приводят к росту плотности трассировки и частоты сигнала. Это, в свою очередь, делает РЭС уязвимыми к воздействию электромагнитных помех (ЭМП). Особую опасность для РЭС представляют мощные сверхширокополосные (СШП) помехи, в том числе сверхкороткие импульсы (СКИ), характеризующиеся малой длительностью (в нано- и субнаносекундных диапазонах). Широкий частотный спектр таких СКИ позволяет им проникать внутрь РЭС, вызывая сбои и даже повреждения компонентов. Развитие генераторов СШП импульсов высокой мощности приводит к реальной угрозе выведения РЭС из строя, что делает крайне необходимой их защиту. Поэтому совершенствование существующих методов и разработка новых подходов к защите РЭС от СШП помех является **актуальным**.

### Соответствие темы диссертации научной специальности

Диссертация Малыгина К.П. является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему. Она посвящена выявлению возможности увеличения ослабления СКИ и уменьшения габаритов устройств защиты на основе витка меандровой микрополосковой линии (МПЛ). Для этого Малыгиным К.П. предложены сворачивание основного витка меандровой МПЛ в неосновные витки с усиленной связью между их полувитками, введение дополнительных пассивных или заземленных проводников в структуру витка меандровой МПЛ, а также его покрытие радиопоглощающим материалом. Исследование выполнено посредством моделирования разными подходами и натурных испытаний. Кроме того, выполнен сравнительный анализ эффективности одного из



разработанных прототипов с уже известными техническими решениями. Таким образом, тема и содержание диссертации соответствуют п. 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.**

### **Научная новизна и ценность полученных соискателем результатов, выводов и рекомендаций**

Научная новина диссертации определяется следующими результатами.

1. Предложена оригинальная трассировка помехозащитной структуры на основе витка меандровой микрополосковой линии для дополнительного ослабления сверхкороткого импульса.

2. Впервые показано, что добавление двух пассивных проводников в структуру витка меандровой микрополосковой линии и сворачивание такой структуры в дополнительные витки увеличивает ослабление сверхкороткого импульса.

3. Предсказаны возможности ослабления сверхширокополосной помехи в витке меандровой микрополосковой линии и увеличения полосы пропускания с одновременным уменьшением его площади.

Научная ценность диссертации подтверждается опубликованными результатами в 21 работе, в том числе 3 статьями в изданиях, из перечня ВАК, 2 – в изданиях, индексируемых в Scopus (Q1/Q2), 3 – в изданиях, индексируемых в WoS и Scopus, 4 докладами в сборниках трудов конференций, индексируемых в WoS/Scopus, 4 – других конференций, а также 3 патентами на изобретение.

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

**Теоретическая значимость** определяется тем, что оценено влияние температуры, воды и льда на характеристики витка меандровой МПЛ с симметричным поперечным сечением. Это даёт возможность прогнозирования эксплуатационных характеристик устройств в различных климатических условиях и при экстремальных температурах. Также изучены особенности влияния сворачивания витка меандровой МПЛ в неосновные витки с усиленной связью на ослабление СКИ. Это даёт понимание о влиянии трассировки витка на подавление кондуктивных помех. Сформулированы условия, обеспечивающие разложение СКИ на импульсы меньшей амплитуды в симметричной и асимметричной меандровых МПЛ с двумя пассивными проводниками. Проведенные исследования позволяют создавать полосковые устройства защиты уменьшенных размеров с улучшенными помехозащитными свойствами.

**Практическая значимость** заключается в том, что в работе доказана возможность максимального ослабления СКИ более чем в 5 раз в свернутом



витке меандровой МПЛ, а при добавлении к нему двух пассивных проводников – в 17 раз. Основным результатом, важным для практики, является то, что получено ослабление широкополосного импульса со спектром от 0,1 до 6 ГГц в 17 раз и затухающей синусоиды в 20 раз в свернутом витке меандровой МПЛ с двумя заземленными проводниками и покрытием из радиопоглощающего материала ЗИПСИЛ 601 РПМ-01. Кроме того, выявлено и продемонстрировано уменьшение площади меандровой МПЛ почти в 7 раз с сохранением уровня ослабления широкополосного импульса при сворачивании основного витка, добавлении двух заземленных проводников и покрытии радиопоглощающим материалом ЗИПСИЛ 601 РПМ-01. Важным является и продемонстрированное увеличение в 6 раз полосы пропускания меандровой МПЛ при неизменном уровне ослабления широкополосного импульса. Предложена оптимизация генетическими алгоритмами и эволюционными стратегиями, по одному и нескольким критериям, меандровой МПЛ, в том числе с учетом изменения температуры.

Практическая ценность работы подтверждается наличием у соискателя 3 патентов на изобретение, 2 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ. Кроме того, результаты работы были использованы в АО «РЕШЕТНЁВ», в рамках НИР по грантам РФФИ и в учебном процессе ТУСУРа, что подтверждается актами о внедрении.

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Обоснованность и достоверность результатов, изложенных в работе, основывается на совпадении результатов моделирования квазистатическим и электродинамическим подходами и их согласованности с результатами экспериментальных измерений на базе сертифицированных и поверенных аппаратно-программных комплексов.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертационной работе**

В работе получен комплекс теоретических и практических результатов, которые могут быть использованы на предприятиях: АО «НПО им Лавочкина», г. Химки (Московская область), ПАО «Туполев», г. Москва, АО «НИИП им. В.В. Тихомирова», г. Жуковский (Московская область), АО «ОНИИП», г. Омск, АО «Решетнев», г. Железногорск (Красноярский край).

### **Замечания по работе**

1. В работе не приводится анализ электрической прочности предлагаемых решений.
2. При изготовлении прототипов устройств не обсуждаются необходимые рекомендации и обоснование выбора материалов подложек.
3. Не рассмотрено влияние частоты следования сверхкоротких импульсов на степень защиты предлагаемыми решениями.

### **Выводы**

1. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну и значимость для науки и практики, является законченной



научно-квалификационной работой, в которой поставленная цель достигнута, а задачи выполнены.

2. Основные результаты, полученные в работе, в достаточной степени опубликованы.

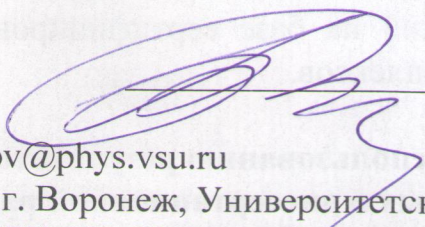
3. Автореферат диссертации достаточно полно отражает её основное содержание и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ.

### Заключение

Указанные выше замечания не снижают достоинств работы, выполненной на высоком научном уровне. Считаем, что диссертационная работа удовлетворяет п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. От 28.08.2017), а её автор, Малыгин Константин Петрович, 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 обсужден на заседании кафедры электроники ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» от «24» октября 2024 г., протокол № 27.

Доктор физико-математических наук, профессор-консультант кафедры электроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет»

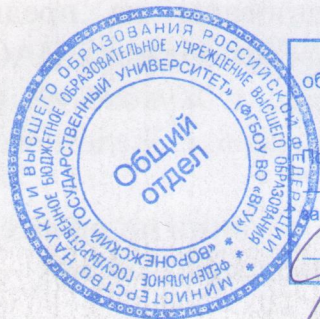


Бобрешов Анатолий Михайлович

E-mail: bobreshov@phys.vsu.ru

394006, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., 1, к. 421.

Телефоны: +7 (473) 220-82-84 (раб.); 8-910-749-79-45 (сот.)



федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)	
подпись	<i>Бобрешов А. М.</i>
являю	<i>Без специализации</i>
подпись, расшифровка подписи	<i>С. Сидорова</i> 29.10.2024