

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу 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 ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Одним из важных направлений электромагнитной совместимости является защита радиоэлектронных средств (РЭС) от помеховых воздействий. Это связано с миниатюризацией и повышением быстродействия РЭС вследствие неуклонного роста технического прогресса, что приводит к росту плотности трассировки на печатных платах и частоты сигнала, а также к уменьшению рабочих напряжений устройств. Это, в свою очередь, приводит к повышению восприимчивости РЭС к помеховым воздействиям. Особо опасными воздействиями являются мощные сверхширокополосные (СШП) помехи, в том числе сверхкороткие импульсы (СКИ), характеризующиеся малой длительностью. Из-за широкого частотного спектра СКИ они могут проникать в РЭС, вызывая сбои и даже повреждения компонентов. Кроме того, из-за роста технического прогресса развиваются и генераторы СШП импульсов высокой мощности, что приводит к реальной угрозе выведения РЭС из строя, что делает их защиту крайне актуальной. Большинство традиционных устройств защиты неспособны обеспечить защиту от СКИ из-за малой мощности, недостаточного быстродействия, наличия паразитных параметров выводов компонентов и т.д. Поэтому актуальны совершенствование существующих и разработка новых подходов/устройств к защите РЭС от СШП помех, на что направлена данная диссертационная работа. В этой связи ее актуальность не вызывает сомнений.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация Малыгина К.П. состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Общий объем диссертации с приложениями – 149 с., в т.ч. 81 рисунок и 65 таблиц.

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимости полученных результатов.

В первом разделе обоснована актуальность защиты РЭС от СШП воздействий, приведен обзор источников мощных СШП воздействий, подходов к защите от СШП воздействий и методов моделирования полосковых структур.

Во втором разделе выполнена однокритериальная и многокритериальная оптимизация параметров поперечного сечения витка меандровой микрополосковой линии (МПЛ). Сформулированы целевые функции: однокритериальная, обеспечивающая равенство среднего геометрического волновых сопротивлений четной и нечетной мод витка (Z_{cp}) сопротивлению 50 Ом; многокритериальная, обеспечивающая равенство интервалов времени

между импульсами разложения и минимизацию амплитуды. Выполнены анализ влияния температуры на характеристики витка меандровой МПЛ и его оптимизация с помощью ГА и ЭС с температурной моделью. Проанализировано влияние воды и льда на его характеристики и с помощью ГА и ЭС выполнена оптимизация его параметров. Продемонстрирована возможность ослабления СКИ витком меандровой МПЛ в воде и льде.

В третьем разделе выполнен анализ разложения СКИ в витке меандровой МПЛ с двумя пассивными проводниками. Рассмотрены две схемы его соединений и различные граничные условия пассивных проводников. Получены оптимальные параметры по критерию минимизации амплитуды на выходе витка. Проанализировано влияние геометрических параметров витка на задержки каждого импульса разложения и амплитуду СКИ на его выходе. Сформулированы условия разложения СКИ в такой структуре. Выполнено сворачивание витка меандровой МПЛ и его же, но с двумя пассивными проводниками в неосновные витки и проанализировано разложение СКИ в таких структурах. Выполнен анализ N -норм. Показано, что сворачивание исходных структур в неосновные витки с усиленной связью приводит к появлению дополнительных импульсов, вызванных отражениями и перекрестными помехами. С учетом этого выполнена структурно-параметрическая оптимизация витка по критериям разложения СКИ и минимизации его амплитуды.

В четвертом разделе экспериментально подтверждено увеличение ослабления СКИ при сворачивании витка меандровой МПЛ, а также при добавлении двух пассивных проводников и его сворачивании. Показано, что введение двух пассивных проводников в структуру меандровой МПЛ позволяет разложить СКИ на большее количество импульсов, увеличивая его ослабление. Кроме того, показано, что сворачивание витка уменьшает конечную площадь структуры и увеличивает количество отражений, которые дополнительно ослабляют СКИ. Продемонстрировано значительное ослабление узкополосной и сверхширокополосной помех на примере затухающей синусоиды и СШП импульса со спектром от 0,1 до 6 ГГц в свёрнутом витке меандровой МПЛ с двумя заземленными проводниками и покрытием из радиопоглощающего материала ЗИПСИЛ 601 РПМ-01. Кроме того, в результате его структурной оптимизации продемонстрированы уменьшение его площади и увеличение его полосы пропускания. Выполнен сравнительный анализ, демонстрирующий превосходство такой структуры над 25 известными фильтрами по ослаблению помех.

В заключении представлены основные результаты, даны рекомендации и приведены перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложении приведены копии патентов и актов внедрения.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

В диссертационной работе получены следующие новые результаты:

– предложена трассировка помехозащитной структуры на основе витка меандровой микрополосковой линии для дополнительного ослабления

сверхкороткого импульса, отличающаяся тем, что виток дополнительно свернут в витки с усиленной связью;

– впервые показано, что добавление двух пассивных проводников в структуру витка меандровой микрополосковой линии и сворачивание такой структуры в дополнительные витки увеличивает ослабление сверхкороткого импульса;

– доказаны возможности неизменного ослабления сверхширокополосной помехи в витке меандровой микрополосковой линии, а также увеличения полосы пропускания и уменьшения его площади, отличающиеся добавлением к нему двух заземленных на концах проводников, его сворачиванием в дополнительные витки с усиленной связью и покрытием из радиопоглощающего материала.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Теоретическая значимость определяется следующим:

– оценено влияние температуры, воды и льда на характеристики витка меандровой МПЛ с симметричным поперечным сечением;

– изучены особенности влияния сворачивания витка меандровой МПЛ в неосновные витки с усиленной связью на ослабление СКИ;

– оценено влияние добавления к витку меандровой МПЛ двух пассивных проводников на ослабление СКИ;

– сформулированы условия, обеспечивающие полное разложение СКИ на импульсы меньшей амплитуды в симметричной и асимметричной меандровых МПЛ с двумя пассивными проводниками;

– выявлено, что за счет наличия перемычек и связи между неосновными витками при сворачивании меандровой МПЛ возникают отраженные импульсы разной полярности, дополнительно уменьшающие амплитуду СКИ на её выходе.

Практическая значимость определяется следующим:

– получено максимальное ослабление СКИ в свернутом витке меандровой МПЛ 5,6 раза, а при добавлении к нему двух пассивных проводников – 17,6 раза;

– получено ослабление 17 раз СШП импульса со спектром от 0,1 до 6 ГГц и 20,5 раза затухающей синусоиды в свернутом витке меандровой МПЛ с двумя заземленными проводниками и покрытием из радиопоглощающего материала ЗИПСИЛ 601 РПМ-01;

– выявлено и продемонстрировано уменьшение площади меандровой МПЛ в 6,74 раза при неизменном уровне ослабления СШП импульса со спектром от 0,1 до 6 ГГц при сворачивании основного витка, добавлении двух заземленных проводников и покрытии радиопоглощающим материалом ЗИПСИЛ 601 РПМ-01;

– продемонстрировано увеличение в 5,88 раза полосы пропускания меандровой МПЛ при неизменном уровне ослабления СШП импульса со спектром от 0,1 до 6 ГГц при сворачивании основного витка, добавлении двух заземленных проводников и покрытии радиопоглощающим материалом ЗИПСИЛ 601 РПМ-01;

– разработана оптимизация генетическими алгоритмами (ГА) и эволюционными стратегиями (ЭС), по одному и нескольким критериям,

меандровой МПЛ, в том числе с учетом изменения температуры и покрытой водой и льдом;

– получены 3 патента на изобретение устройств защиты от СКИ на основе меандровой МПЛ и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ;

На значимость работы для решения практических задач также указывает внедрение её результатов в АО «РЕШЕТНЁВ», НИР по грантам РФФИ и госзаданий, а также в учебный процесс ТУСУРа (три акта внедрения).

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Обоснованность и достоверность результатов, изложенных в диссертации, подтверждается совпадением результатов численного моделирования разными методами и их согласованностью с результатами, полученными экспериментально на базе современных аппаратно-программных комплексов.

ПОЛНОТА ОПУБЛИКОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ, СООТВЕТСТВИЕ АВТОРЕФЕРАТА СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

По результатам исследований, представленных в диссертационной работе, **опубликована** 21 работа, в том числе 3 статьи в изданиях, из перечня ВАК, 2 – в изданиях, индексируемых в Scopus (Q1/Q2), 3 – в изданиях, индексируемых в WoS и Scopus, 4 доклада в сборниках трудов конференций, индексируемых в WoS/Scopus, 4 – в других конференциях, а также 3 патента на изобретение. Материалы диссертационной работы в достаточной степени изложены в опубликованных работах.

Автореферат диссертационной работы написан и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ и в достаточной мере отражает содержание и основные положения, сформулированные в диссертации.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ И АВТОРЕФЕРАТУ

1. Не обоснован выбор материала подложки FSD1020T для прототипирования полосковых устройств. Не ясно, будут ли обладать разработанные прототипы на основе других материалов теми же свойствами.

2. Не рассмотрена возможность трассировки разработанных устройств в многослойных печатных платах.

3. Недостаточно подробно рассмотрены вопросы практической реализации разработанных устройств, в том числе технологические аспекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Несмотря на перечисленные недостатки, диссертация Малыгина К.П. является завершённой научно-квалификационной работой, где предложено решение актуальной научно-исследовательской задачи. Результаты работы

обладают новизной, теоретической и практической значимостями, а выводы, сделанные в работе, являются обоснованными и достоверными.

2. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г №842, а её автор, Малыгин К.П., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры систем автоматизированного
проектирования Казанского национального
исследовательского технического
университета им. А.Н. Туполева-КАИ


Гизатуллин Зиннур
Марселевич
05.11.2024

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.
E-mail: zmgizatullin@kai.ru
Телефоны: +7(843)231-00-81

*Подпись Гизатуллина З.М. заверено
Вед. документов УДн К*

