

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кенжегуловой Зарины Муратбековны «**Аналитические модели защитных полосковых устройств на основе метода модального разложения во временной области**», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Проектирование полосковых устройств защиты радиоэлектронных средств (РЭС) от электромагнитных воздействий (ЭМВ) разной природы, в частности мощных сверхширокополосных (СШП) воздействий, является крайне актуальной задачей в связи с растущей опасностью преднамеренного применения таких воздействий для дестабилизации работы РЭС. Часто проектирование решений для защиты сопряжено с моделированием. В тех случаях, когда требуется анализ в диапазоне параметров (например, воздействий) затраты на такое моделирование могут оказаться крайне высокими. Часто на раннем этапе проектирования нужны быстрые предварительные оценки характеристик устройства, которые могут быть получены даже аналитически. Поэтому актуальны исследование и разработка аналитических методов для анализа и проектирования полосковых устройств защиты.

### АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация Кенжегуловой З.М. состоит из введения, 3 глав и заключения. Она содержит список источников из 166 наименований, 62 рисунка, 20 таблиц и 2 приложения. Общий объем диссертации – 167 страниц.

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

**В первом разделе** обоснована актуальность защиты РЭС от ЭМВ, приведен обзор технических решений для защиты от ЭМВ, представлен обзор методов анализа полосковых устройств.

**Во втором разделе** разработаны модели временного отклика на концах полосковых устройств с модальным разложением, модели нормированных амплитуд и условия их равенства на выходе устройств защиты, представлены результаты верификации моделей и условий.

**В третьем разделе** сведены результаты исследования распространения помеховых воздействий в полосковых устройствах с модальным разложением. Представлены результаты экспериментальных исследований макетов устройств

с модальным разложением и сравнения временных откликов макетов, полученных разными способами, оценены  $N$ -нормы для разных воздействий.

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

**В приложении** приведены копии актов внедрения и личных достижений соискателя.

## НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

1. Разработан комплекс аналитических моделей временного отклика двух- и трехпроводного модальных фильтров и витка меандровой линии на произвольное воздействие, отличающихся возможностью учёта асимметрии поперечного сечения и окончаний этих устройств.

2. Впервые получены аналитические модели нормированных амплитуд составляющих отклика и условия их равенства, на выходе двухпроводного модального фильтра для общего и ряда частных случаев выбора окончаний его пассивного проводника и трехпроводного модального фильтра на основе модифицированной микрополосковой линии с двумя заземленными на концах пассивными проводниками.

3. Впервые выполнено аналитическое, численное и экспериментальное исследование отклика полосковых устройств с модальными явлениями на типовые формы помеховых воздействий: гауссов импульс, затухающую синусоиду и синусоиду, модулированную гауссовым импульсом.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Теоретическая значимость:

1. Получены выражения для нормированной амплитуды составляющих сигнала на выходе полосковых устройств на основе модальных явлений.

2. Сформулированы условия равенства составляющих отклика на выходе двух- и трехпроводного модальных фильтров.

3. С помощью диаграмм координата-время изучено распространение синфазной и дифференциальной мод в витке меандровой линии.

4. Для апробации и доказательства применимости моделей временного отклика результативно применены математическое моделирование методами моментов и конечных разностей во временной области, параметрическая оптимизация эвристическим поиском и лабораторный эксперимент.

Практическая значимость:

1. Доказана применимость аналитических моделей временного отклика для предварительного вычисления формы напряжения на выходе полосковых устройств с модальными явлениями.

2. Предложена методика синтеза пассивных полосковых устройств защиты от импульсных воздействий на основе витка меандровой линии с асимметричным поперечным сечением.

3. Результаты использованы в АО «РЕШЕТНЁВ», НИР по грантам РФФИ, РФФИ, Президента РФ и учебном процессе ТУСУРа (три акта внедрения).

### СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Обоснованность и достоверность результатов, изложенных в диссертации, подтверждается совпадением результатов аналитического вычисления временного отклика с помощью математических моделей, разработанных соискателем, и квазистатического моделирования, а также их согласованностью с результатами электродинамического моделирования. Применимость математических моделей для вычисления отклика подтверждена с помощью измерений разработанных макетов полосковых устройств защиты на базе сертифицированных аппаратно-программных комплексов.

### ПОЛНОТА ОПУБЛИКОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ, СООТВЕТСТВИЕ АВТОРЕФЕРАТА СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

По результатам исследований, представленных в диссертационной работе, **опубликовано** 12 работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня ВАК, 1 статья в журнале, индексируемом Scopus, 3 докладов в трудах конференций, индексируемых в WoS/Scopus, 5 доклада в трудах других конференций, а также в научной монографии. Материалы диссертации достаточно полно изложены в опубликованных работах.

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

### ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ И АВТОРЕФЕРАТУ

1. В разделе 2.2 диссертации приведены условия выравнивания нормированных амплитуд на выходе активного проводника трехпроводного модального фильтра только для частного случая, когда пассивные проводники МФ закорочены на опорный проводник, однако не приведены для общего случая.

2. В части измерений разработанных макетов полосковых устройств недостаточно полно пояснены причины расхождения результатов, полученных разными методами.

3. В работе имеются стилистические, синтаксические и орфографические ошибки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Несмотря на перечисленные недостатки, диссертация Кенжегуловой З.М. является завершенной 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, Кенжегулова З.М., заслуживает присуждения её 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

 З.М.Гизатуллин  
17.05.2023

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

Подпись З.М. Гизатуллин  
заверяю. Начальник управления  
делопроизводства и контроля



