

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Костелецкого Валерия Павловича

### **«Устройства защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов в синфазном и дифференциальном режимах»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

#### **АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ**

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура (РЭА) часто эксплуатируется в условиях неблагоприятной электромагнитной обстановки, кроме того существует также вероятность преднамеренных электромагнитных воздействий, таких как сверхкороткоимпульсных электромагнитных импульсов (СКИ ЭМИ) не ядерного происхождения. При этом следует учитывать, что в настоящее время наблюдается стремительное развитие информационно-телекоммуникационных систем. Увеличение быстродействия таких систем осуществляется за счет их миниатюризации и, как следствие, снижения уровня энергопотребления. Растут аппаратные тактовые частоты, а длительности битовых импульсов при этом снижаются. Увеличение объемов передаваемой информации требует использования широкой полосы спектра сигналов, передаваемых как по радиоканалу, так и с использованием проводных технологий. В этом случае СКИ ЭМИ может оказывать значительное влияние на работу этих современных устройств с длительностями информационных импульсов сопоставимыми с длительностями импульсов СКИ ЭМИ, а также на большинство современных устройств беспроводной широкополосной передачи данных из-за перекрытия спектра помехи СКИ ЭМИ с их рабочими частотами. Именно этими обстоятельствами продиктовано особое внимание к исследованиям влияния СКИ ЭМИ на помехозащищенность радиоэлектронных средств.

Как показывает практика необходимы специальные устройства защиты от СКИ ЭМИ. Однако при эксплуатации РЭА в космосе отсутствует возможность ее обслуживания, поэтому используемые устройства защиты должны быть устойчивы к внешним физическим воздействиям, в том числе и СКИ ЭМИ, чтобы исключить выход из строя в самый неподходящий момент.

Сегодня существуют устройства защиты на основе модальной фильтрации, которые удовлетворяют требованиям, предъявляемым к космическому оборудованию. Однако вопросы, связанные с использованием таких устройств для защиты от сверхкороткоимпульсных помех в дифференциальном и

синфазном режимах, не исследовались. Решение этой задачи может способствовать повышению уровня помехозащиты РЭА, чему и посвящена данная диссертация. Таким образом, тема диссертационной работы является современной и актуальной.

## АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация Костелецкого В.П. состоит из введения, трех глав, заключения и трех приложений.

**Во введении** дана характеристика работы, обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, представлена научная новизна, положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимости полученных результатов.

**В первой главе** представлен обзор литературы по теме исследования, зарубежных и российских авторов.

**Во второй главе** представлены результаты разработки аналитических выражений, модального фильтра, работающего в дифференциальном и синфазном режимах, изготовлены макеты, выполнен анализ временных и частотных характеристик и проведены экспериментальные исследования.

**В третьей главе** представлены результаты разработки гибридного фильтра для сети электропитания космического аппарата, состоящего из модального фильтра и помехоподавляющего фильтра на сосредоточенных элементах.

**В заключении** подведены итоги работы, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

**В Приложении** приведены копии актов внедрения, патентов, свидетельств, сертификатов, диплома, программ и методик, а также актов изготовления и проведения экспериментальных исследований.

## НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

Автором сформулированы аналитические математические модели в виде конечных комбинаций элементарных функций для вычисления частотных и временных откликов двухпроводной линии, отличающиеся учетом асимметрии проводников, и четырехпроводной линии, отличающиеся учетом попарной симметрии проводников и дифференциального и синфазного режимов.

Предложен подход к защите РЭА от сверхкоротких импульсов в дифференциальном и синфазном режимах за счет применения модальных фильтров, отличающихся использованием центральной симметрии проводников, экранирующего корпуса, керамической подложки и каскадирования.

Впервые предложен гибридный фильтр для силовой шины электропитания

космического аппарата, отличающийся совместным использованием помехоподавляющего и модального фильтров, работающий в дифференциальном и синфазном режимах. Предложенный в работе гибридный фильтр для силовой шины электропитания космического аппарата является новым научным результатом, имеющим большое практическое значение, что подтверждено проведенными в диссертации исследованиями.

Автором изучены и критически проанализированы известные достижения и теоретические положения других авторов по поставленным задачам. Список использованной литературы содержит 195 наименований.

### СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

В диссертации сформулировано три научных положения, выносимых на защиту. Их корректность подтверждается сравнением с численными методами, использованием квазистатического и электродинамического подходов, а также их согласованностью с результатами, выполненными экспериментальных исследований.

Выводы по каждой главе убедительны и целостны. В заключении результаты работы показывают, что цели работы достигнуты, а также перспективы дальнейший исследований.

### ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность результатов работы подтверждается согласованностью результатов, полученных с использованием разных численных методов, в разных программных продуктах, экспериментальными исследованиями, а также представлением результатов на всероссийских и международных научно-практических конференциях; публикацией результатов в рецензируемых научных журналах, реализуемость предложенных защитных устройств на практике подтверждена изготовленными макетами, а также результатами эксперимента.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

#### **Теоретическая значимость:**

- изучено влияние расположения проводников на ослабление СКИ в МФ, работающем в дифференциальном и синфазном режимах;
- получены зависимости коэффициента ослабления МФ от расстояний между печатными платами МФ и до экранирующего корпуса;
- оценено влияние температуры на коэффициент ослабления и задержки МФ, работающего в дифференциальном и синфазном режимах;

- получена зависимость коэффициента ослабления МФ от толщины проводников, не подвергающихся токовым нагрузкам;
- оценено ослабление МФ в дифференциальном и синфазном режимах при разных формах входного воздействия;
- показана зависимость вносимого затухания МФ на керамической подложке от длительности импульса;
- изучено влияние компоновки индуктивных элементов помехоподавляющего фильтра на его полосу пропускания в дифференциальном и синфазном режимах.

### **Практическая значимость:**

- внедрен комплекс технических решений для обеспечения ЭМС, конструкторских решений на основе использования пассивных помехозащитных устройств и устройств конструктивного исполнения, позволяющий сохранять работоспособность РЭА в условиях сложной электромагнитной обстановки, в ООО «ТРЭМ Инновации» (Акт внедрения);
- внедрены результаты исследования гибридного фильтра для защиты силовой шины электропитания космического аппарата в АО «ИСС», г. Железногорск. (Акт внедрения);
- внедрены результаты теоретического анализа с использованием выражений в виде конечных комбинаций элементарных функций и моделирования МФ, работающих в дифференциальном и синфазном режимах, в учебный процесс РТФ ТУСУР, г. Томск. (Акт внедрения);
- предложено совершенствование МФ, работающего в дифференциальном и синфазном режимах, за счет применения керамических материалов;
- разработаны макеты помехозащитных устройств, обеспечивающих защиту в дифференциальном и синфазном режимах: экранированных, с горизонтальным и вертикальным расположением каскадов; на керамической подложке; гибридного, для защиты силовой шины электропитания космического аппарата от кондуктивных помех.

### **ЗАМЕЧАНИЯ:**

1. В главе 2 апробация результатов вычислений временных и частотных откликов по аналитическим моделям показана только на структурах, используемых автором в работе.
2. Отсутствует пояснение почему при апробации аналитических выражений показаны отклонения лишь для временных откликов.
3. Не удалось увидеть применимость предлагаемых устройств защиты при воздействии гармоническими сигналами.

4. Отсутствует исследование влияния температуры на характеристики гибридного фильтра.

5. В работе приводятся частотные характеристики устройств, при этом не показаны спектры помеховых воздействий.

Однако перечисленные замечания не снижают ценность и значимость диссертационной работы, которая написана грамотным языком и оформленной в соответствии с существующим стандартом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Несмотря на перечисленные недостатки, диссертация Костелецкого В.П. является завершённой научно квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной научно-технической задачи. Результаты работы обладают новизной, теоретической и практической значимостями и являются достоверными. Также стоит отметить высокую публикационную активность Костелецкого В.П. в т.ч. в рецензируемых научных изданиях.

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

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ,

Ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» (ФГБУ НИИР)

доктор технических наук, профессор  
Людмила Ошеровна Мырова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» (ФГБУ НИИР). 105064, г. Москва, ул. Казакова, 16; Тел. +7 (495) 647-17-77; e-mail: info@niir.ru

Подпись Мыровой Л.О. удостоверяю

08.08.2022 г.