

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Дроздовой Анастасии Александровны  
«**Методики оценки и обеспечения устойчивости к электростатическому  
разряду цепей электропитания радиоэлектронных устройств**»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы  
и устройства телевидения.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа Дроздовой А.А. посвящена актуальной научно-технической проблеме обеспечения устойчивости цепей электропитания радиоэлектронных устройств (РЭУ) к электростатическому разряду (ЭСР). Актуальность данной проблемы обусловлена широким применением полупроводниковых приборов в РЭУ, высокой чувствительностью этих приборов к ЭСР, а также возрастающими требованиями к надежности и безотказности работы РЭУ, особенно в космической технике. Работа отличается комплексным подходом к решению поставленной задачи. Автор анализирует существующие и разрабатывает собственные модели и методики для оценки восприимчивости электронных компонентов к контактному воздействию ЭСР и электромагнитному излучению, генерируемого ЭСР.

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. Электризация является одной из основных причин отказов космических аппаратов (КА), приводящих к сокращению сроков их активного существования. В условиях жестких требований к надежности и долговечности РЭУ, разработка эффективных методов защиты от ЭСР становится критически важной задачей. Особую актуальность приобретают вопросы оценки и обеспечения устойчивости цепей электропитания, от работоспособности которых зависит функционирование всей аппаратуры

### АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация Дроздовой А.А. состоит из введения, трех разделов, заключения и трех приложений.

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

**В первом разделе** обоснована актуальность защиты РЭУ от ЭСР, приведены модели и методики воздействия ЭСР, применяемые при проектировании РЭУ, а также методики экспериментального воздействия ЭСР и ослабления импульсных помех многозонным регулированием (МР).

**Во втором разделе** представлены результаты разработки моделей и методик оценки восприимчивости электронных компонентов при воздействии

контактного ЭСР и электромагнитного излучения, генерируемого им. Представлены результаты верификации и валидации моделей.

**В третьем разделе** представлены модель и методика для анализа и локализации воздействия ЭСР на линию электропередачи, а также способ ослабления кондуктивных импульсных помех с использованием МР.

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

**В приложениях** приведены копии актов внедрения, патентов, сертификатов и дипломов.

## НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

Научная новизна диссертации определяется следующими результатами.

1. Предложена методика оценки восприимчивости транзисторов к контактному воздействию электростатического разряда, отличающаяся учетом ёмкостей межсоединений печатных проводников и посадочного места.

2. Разработана модель взаимовлияния экранированной и микрополосковой линий передачи, отличающаяся использованием в замкнутой форме аналитических выражений для вычисления токов и напряжений, наведенных на микрополосковую линию передачи в ТЕМ-камере при воздействии на её вход различных сигналов.

3. Разработана модель силовой шины электропитания с проводными отводами, отличающаяся её применимостью для локализации максимума и оценки амплитуды напряжения электростатического разряда вдоль шины.

4. Предложен конвертор с многозонным регулированием выходного напряжения, отличающийся использованием не менее двух инверторов, один из которых формирует нерегулируемую, а второй – регулируемую импульсную составляющие напряжений на входе  $LC$ -фильтра.

Научная ценность диссертации также подтверждается 20 докладами по её результатам на научных конференциях разного уровня, в том числе 8 на конференциях, труды которых индексируются WoS и Scopus, а также на 12 конференциях, труды которых индексируются РИНЦ. Опубликованы 6 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, а также 1 свидетельство о регистрации ЭВМ и 2 патента на изобретение.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

В диссертации получен ряд новых научных результатов, имеющих теоретическое и практическое значение. К наиболее важным из них относятся:

1. Разработка методики оценки восприимчивости транзисторов к контактному ЭСР, учитывающей емкости межсоединений печатных проводников и посадочного места. Предложенная методика учитывает влияние паразитных параметров на распределение тока ЭСР, что позволяет получить более точные результаты оценки восприимчивости транзисторов.

2. Разработка аналитической модели взаимовлияния экранированной и микрополосковой линий передачи в замкнутой форме. Модель позволяет

рассчитывать наведенные токи и напряжения в ТЕМ-камере при воздействии на нее вход различных сигналов, имитируя воздействие ЭМИ, генерируемого ЭСР.

3. Разработка модели силовой шины электропитания с проводными отводами, позволяющей выявить максимум напряжения импульсных кондуктивных помех для различных форм поперечного сечения. Модель может быть использована для оптимизации конструкции СШЭП и повышения её надежности.

4. Предложение конвертора с многозонным регулированием выходного напряжения, отличающегося использованием не менее двух инверторов, формирующих нерегулируемую и регулируемые составляющие напряжения на входе LC-фильтра. Данное решение позволяет уменьшить размер и массу фильтров, снизить пульсации тока и напряжения, а также расширить диапазон регулирования.

Практическая значимость работы подтверждается актами внедрения результатов в АО «РЕШЕТНЁВ» и НИИ АЭМ и использованием в учебном процессе ТУСУРа. Разработанные модели и методики могут быть использованы при проектировании РЭУ для оценки их восприимчивости к ЭСР и повышения их помехоустойчивости. Предложенный конвертор с многозонным может найти применение в системах электропитания РЭУ средней и большой мощности, где требуются низкие массогабаритные показатели и высокое качество выходного напряжения.

#### СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДИССЕРТАЦИИ

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается согласованностью результатов, полученных с использованием разных численных методов, в разных программных продуктах, с результатами экспериментальных исследований.

#### СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ АВТОРЕФЕРАТА СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

Содержание автореферата соответствует диссертации и правильно отражает её основные положения и результаты.

#### ЗАМЕЧАНИЯ

1. В работе представлена аналитическая модель для оценки наведенного тока и напряжения на электронный компонент, расположенный в ТЕМ-камере, однако нет конкретного описания преимущества использования данной модели.

2. В работе не представлено обоснование использования силовой шины электропитания с прямоугольным, коаксиальным и спиральным поперечным сечением основания. В обзоре дано лишь описание данных моделей.

3. Автор предлагает способ ослабления кондуктивных импульсных помех с использованием конвертора с многозонным регулированием, однако нет

сравнения с уже существующими методами.

4. Доказательства в положениях 3 и 4 основываются только на моделировании в разных программных продуктах. Целесообразно было бы выполнить экспериментальные исследования.

Тем не менее, в работе получены значимые результаты, на основе которых выполнено комплексное исследование предлагаемых автором методик для оценки устойчивости к ЭСР цепей электропитания РЭУ. Поэтому перечисленные замечания не влияют на общую научную и практическую значимость диссертационной работы.

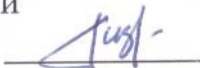
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод, что диссертация Дроздовой А.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной научно-технической задачи. Результаты обладают новизной, теоретической и практической значимостями, являются достоверными. Высокая публикационная активность соискателя является большим преимуществом данной работы.

2. 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, Дроздова Анастасия Александровна, заслуживает присуждения 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 ФГБОУ ВО «Казанский  
национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

  
05.11.2024 Гизатуллин Зиннур  
Марселевич

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

*Зиннур Гизатуллин З.Н. заверяю  
Всё документально верно.*

