

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Горбачева Анатолия Петровича

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

Диспозиция

На отзыв представлена диссертационная работа, изложенная на 145 листах, содержащая введение, 3 раздела, заключение, списки сокращений и использованных источников, а также три приложения. Представлен также автореферат в виде брошюры с текстом на 20-ти страницах.

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа А. А. Дроздовой связана с актуальной проблемой обеспечения устойчивости радиоэлектронных устройств (РЭУ), в частности цепей электропитания, к воздействию электростатического разряда (ЭСР). Как правило, воздействия электростатической природы имеют случайный характер и с трудом поддаются прогнозированию как по времени, так и по интенсивности/уровню воздействия. Цепи электропитания являются неотъемлемой частью любого РЭУ, в том числе бортовой аппаратуры космического базирования. Запуск изделия в космос, включая орбиту вокруг Земли, обходится недёшево, а его ремонт на орбите в случае отказа из-за электростатических разрядов невозможен, если не считать резервирование и организацию специальных «ремонтных» миссий с космонавтом на борту.

Поэтому аргументы соискательницы об **актуальности данной**

диссертационной работы вполне убедительны и заслуживают поддержку. Поддержку заслуживают также и вопросы, связанные с моделированием воздействия ЭСР на электронные компоненты, разработкой методик оценки их восприимчивости к данному виду воздействия, а также отысканием способов повышения устойчивости цепей электропитания к ЭСР.

Анализ содержания диссертационной работы

Как уже отмечалось выше, объем диссертационной работы с приложениями составляет 145 страниц, включая 93 рисунка и 23 таблицы. Работа оставляет хорошее впечатление с радиотехнической точки зрения, выглядит вполне целостной и удачно структурированной.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В 1 разделе проведен анализ существующих моделей и методик оценки воздействия ЭСР на РЭУ, описаны основные механизмы возникновения ЭСР в космических аппаратах, а также рассмотрены существующие методы защиты от ЭСР.

Во 2 разделе представлены разработанные автором модели и методики для оценки восприимчивости электронных компонентов к воздействию ЭСР. Приведены результаты верификации и валидации моделей, подтверждающие их адекватность.

В 3 разделе предложена модель и методика для анализа импульсных помех в силовой шине электропитания, рассмотрен способ ослабления импульсных помех с использованием многозонного регулирования. Приведены результаты моделирования, подтверждающие эффективность предложенных решений.

В заключении подведены итоги работы, сформулированы её научные и практические результаты, а также представлены рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Научная новизна

1. Использование полупроводниковых приборов, в том числе транзисторов, означает наличие под них посадочных мест на монтажных/печатных платах и соответствующую трассировку и последующую реализацию гальванических (например, пайкой) соединений. Поэтому воздействие электростатических разрядов необходимо оценить не только на сам транзистор, но и проанализировать их влияние на электрические соединения и посадочные места под транзисторы, о чём и идёт речь в первом пункте.

2. При реализации микроволновых узлов широко применяются специальные типы высокочастотных линий передачи, включая экранированные симметричные полосковые линии и несимметричные микрополосковые. Поэтому представляется необходимой разработка моделей взаимного влияния таких линий с точки зрения воздействия на них электростатических разрядов как в процессе настройки высокочастотных узлов в безэховых и ТЕМ камерах, так и при эксплуатации в местах установки готовых изделий при воздействии различных сигналов.

3. Подведение электропитания к активным модулям радиотехнических систем или к их узлам с коммутационными полупроводниковыми приборами требует рациональную/выверенную трассировку силовых шин на печатных платах. Поэтому представляется оправданной и необходимой разработка адекватных моделей таких шин с проводными отводами. Следует поддержать решение соискательницы включить в эти модели возможность их применения для локализации максимума и оценки амплитуды напряжения электростатического разряда вдоль шины.

4. Заслуживает поддержку также предложенный в работе 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.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость характеризуется следующим:

- 1) усовершенствованные модели транзистора позволяют полнее учесть паразитные параметры его межсоединений на печатной плате при моделировании воздействия электростатического разряда;
- 2) аналитическая модель позволяет рассчитать формы временных зависимостей тока и напряжения, наведенных на испытуемый объект при воздействии различных испытательных сигналов на входе ТЕМ-камеры;
- 3) конвертор с многозонным регулированием позволяет снизить импульсные помехи входного и выходного фильтров и повысить качественные показатели выходного напряжения при минимальных массогабаритных индикаторах.

Практическая значимость включает в себя:

- 1) разработанные модели и методика оценки электрических параметров силовых транзисторов к воздействию электростатического разряда позволяют на этапе проектирования оценить восприимчивость транзисторов к воздействию электростатического разряда с учётом паразитных параметров печатных плат цепей электропитания;
- 2) предложенная модель анализа взаимовлияния микрополосковой линии и центрального проводника ТЕМ-камеры позволяет рассчитать наведённые токи и напряжения во временной области при воздействии импульсных и непрерывных испытательных сигналов на центральный проводник камеры;
- 3) разработанная модель силовой шины электропитания с проводными отводами позволяет оценить амплитуды напряжения электростатического разряда вдоль силовой шины электропитания и оптимизировать её конструкцию для предотвращения пробоя изолятора;
- 4) предложенная модель конвертора с многозонным регулированием выходного напряжения позволяет уменьшить размер и массу входных и

выходных электрических фильтров с сохранением качественных показателей выходного напряжения;

5) результаты использованы в 4-х научно-исследовательских работах, на двух предприятиях (АО «РЕШЕТНЕВ», НИИ АЭМ) и учебном процессе ТУСУРа (четыре акта внедрения).

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Научные результаты, положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе А. А. Дроздовой, отвечают критериям обоснованности и достоверности. Это подтверждается согласованностью результатов аналитического анализа и численных расчётов с экспериментальными данными измерений лабораторных макетов, включая апробацию полученных результатов на научных конференциях.

Полнота опубликования результатов исследований, соответствие автореферата содержанию диссертационной работы

По тематике диссертационной работы опубликованы 29 работ, в том числе 6 статей в журналах из перечня ВАК; 8 докладов в трудах конференций, индексируемых цитатно-аналитическими базами “Web of Science” и “Scopus”; 12 докладов в трудах отечественных конференций, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и 2 патента на изобретение. Материалы научных исследований достаточно полно изложены в опубликованных работах. Автореферат диссертационной работы хорошо продуман и вполне конкретно и лаконично отражает основное содержание работы, её цели, задачи, методы исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а также основные выводы и рекомендации. Так что содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

Замечания по диссертации

Несмотря на хороший системно-технический уровень диссертационной работы, возникли следующие замечания.

1. Апробация методики восприимчивости электронных компонентов к воздействию контактного ЭСР выполнена только на примере полевых транзисторов. Целесообразно было бы выполнить апробацию и на других видах электронных компонентов, в том числе полупроводниковых.

2. Автор ограничивается анализом воздействия ЭСР только по модели человеческого тела, однако в обзорном разделе диссертационной работы представлены и другие стандартизированные модели, такие как модель заряженного устройства и механическая модель.

3. Неодинаковость глубины проработки вопросов, относящихся к практической реализации предложенных методик с учетом специфики конкретных РЭУ по сферам применения и объектам установки.

4. Излишняя лаконичность описания некоторых ключевых моментов. Например, описание модели конвертора с многозонным регулированием недостаточно детальное, что затрудняет ее восприятие и быструю расстановку акцентов в понимании ключевых особенностей модели.

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы и не умаляют мою убежденность в её поддержке. Диссертационная работа Дроздовой Анастасии Александровны «*Методики оценки и обеспечения устойчивости к электростатическому разряду цепей электропитания радиоэлектронных устройств*» является законченным и самостоятельно выполненным научным исследованием, в котором представлены новые результаты, имеющие важное системно-техническое и прикладное значение в

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

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертационной работы.

Официальный оппонент

 А.П. Горбачёв
«15» ноября 2024 г.

Сведения об официальном оппоненте

Горбачёв Анатолий Петрович, доктор технических наук по специальности 05.12.21 (номенклатура 1999 года), профессор по специальности «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (аттестат ПРФ №002123), профессор кафедры «Радиоприемные и радиопередающие устройства» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, телефон: +7 (383) 346-15-45, email: gorbachev@corp.nstu.ru

Подпись А.П. Горбачёва заверяю
Начальник отдела кадров НГТУ
Пустовалова Ольга Константиновна



«15» ноября 2024 года.