

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.365
УДК 537.2

На правах рукописи

ЖИТНИКОВ
Андрей Леонидович

**СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ СВЧ-ТЕХНИКИ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра технических наук

по специальности 1–38 80 04 «Технология приборостроения»

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Пискун Геннадий Адамович**,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры проектирования информационно-
компьютерных систем учреждения образова-
ния «Белорусский государственный универ-
ситет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Полубок Владислав Анатольевич**,
кандидат технических наук, ведущий инже-
нер программист Республиканского унитар-
ного предприятия «Центр информационных
технологий Национального статистического
комитета Республики Беларусь»

Защита диссертации состоится «26» января 2018 г. года в 9⁰⁰ часов на за-
седании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в
учреждении образования «Белорусский государственный университет инфор-
матики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П. Бровки 6, 1
уч. корп., ауд. 413, тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образова-
ния «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектро-
ники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Проектирование перспективного высоконадежного радиоэлектронного оборудования относится сегодня к приоритетным направлениям научных исследований в Республике Беларусь. В связи с этим в стране постоянно проводится целенаправленная работа по сохранению и развитию научно-технического и инновационного потенциалов, а также принимаются меры по повышению уровня инновационности производства и предприятий, ориентированных на новые прогрессивные технологии.

Постепенное увеличение сложности производимого оборудования, обусловленное возрастающими требованиями потребителей, стимулирует разработчиков к созданию устройств на базе все более надежных печатных плат и микроэлектронных компонентов, способных работать в жестких эксплуатационных условиях. Всесторонний обзор различных типов дестабилизирующих факторов, приводящих к отказу радиоэлектронных устройств (РЭУ) и компонентов, показывает, что одним из самых разрушительных является электростатический разряд (ЭСР).

Проблема повреждений и выхода из строя электронных средств в результате воздействия ЭСР известна, с самого появления электроники, но так и осталась не решенной. Прогресс в ее решении значителен, однако полного и окончательного решения не ожидается даже в отдаленной перспективе. Причиной этого во многом является то, что развитие технологий электроники связано с микроминиатюризацией, повышением тактовых частот и снижением энергопотребления. Это обуславливает уменьшение физических размеров элементов, длительностей импульсов и другие следствия, снижающие устойчивость электронных средств к воздействию ЭСР.

На современном этапе приборостроения достигнуты определенные успехи в решении частных задач по обеспечению повышения устойчивости РЭУ и компонентов посредством внедрения в разработки перспективных технологий, однако проблема защиты РЭУ от ЭСР остается нерешенной в полной мере до настоящего времени.

Исследования в данной области, проводятся такими учеными, как: Л.Н. Кечиев., Е.Д. Пожидаев, С. Волдман, Д. Бирд, Т. Кюгельштадт, А.Е. Абрамешин, В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун, И.А. Галухин, Д.В. Трегубов, внесших значительный вклад в исследования обеспечения стойкости электронных средств к воздействию ЭСР.

Разработкой методов и средств для решения проблем с ЭСР, занимается широкий спектр специалистов. Но на данный момент, наименее изученным вопросом, является воздействие ЭСР на СВЧ технику. Сложность защиты СВЧ электроники от ЭСР, заключается в сохранении полезного сигнала, без потерь и искажений. В связи с этим поднимается вопрос о разработке защиты для СВЧ техники, которая бы сохраняла полезный сигнал защищая от ЭСР.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Проблема защиты электронных устройств от воздействия электростатического разряда становится все более актуальной. Разработка мер по защите электронной аппаратуры на этапе ее проектирования представляет собой сложную комплексную задачу. Она может быть в определенной мере упрощена, если вычленив в ней ряд направлений, где решения могут быть получены достаточно простым путем, включая технические и организационные мероприятия.

В настоящий момент для защиты от ЭСР применяется огромное количество методов, которые значительно усложняют, удорожают и, что не менее важно, вынужденно увеличивают потребляемые мощности устройств. В частности, в СВЧ-устройствах к защите от ЭСР выдвигаются такие дополнительные требования, как качество и точность полезного сигнала, что, в свою очередь, подчеркивает значимость применяемых устройств защиты, которые не должны его исказить наличием собственных и паразитных емкостей.

Также стоит отметить, что современная электроника стремится к миниатюризации технологических процессов и понижению рабочего напряжения компонентов и потребляемой мощности, достижение чего усложняется увеличением схемных защит и вспомогательных устройств для защиты от ЭСР.

Степень разработанности проблемы

Существующие исследования в данной области достаточно обширны. В решение задач, связанных с исследованиями воздействия ЭСР, внесли большой вклад ученые и специалисты: Кириллов В.Ю. - в области разработки методов и средств исследований и испытаний воздействия ЭСР на бортовые системы космических аппаратов; Файзулаев Б.Н, Логачев В. В, Усанов А. П. - в области экспериментальных исследований воздействия ЭСР на ЭС; Горлов М.И., Андреев А.В., Алексеев В.Ф., Пискун Г.А. - в области исследований непосредственного воздействия ЭСР на интегральные схемы; Кечиев Л.Н. - в области анализа электромагнитных помех при ЭСР и методов защиты от его воздействия; Каверзнев В А. Трошева ГЛ- - в области исследований методов и средств защиты полупроводниковых изделий от воздействия ЭСР и Потапов Г.П. - в области электризации летательных аппаратов. Среди зарубежных авторов необходимо отметить работы Ч. Джоввета. Э. Хабигера и А. Шваба, в которых даны описания некоторых механизмов воздействия и упрощенные аналитические подходы для решения задач, связанных с воздействием ЭСР.

Как видим, для большинства велико значение работ в области защиты электронных средств от его воздействия следующих исследователей и инженеров: Е.Д. Пожидаев, С. Волдман, Д. Бирд, Т. Кюгельтадт, А.Е. Абрамшин, И.А. Галухин, А. Строгонов, Д. В. Трегубов. В своих работах по

электромагнитной совместимости темы ЭСР касается также Т. Уилльямс.

Цель и задачи исследования

Цель работы состоит в исследовании воздействия разряда статического электричества на СВЧ – технику, разработке схемотехнических методов ее защиты от воздействия ЭСР, а также разработка рекомендаций по защите электронных средств от воздействия ЭСР.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

- анализ воздействия электростатического разряда на СВЧ-технику;
- схемотехнические методы защиты СВЧ-техники от воздействия ЭСР;
- экспериментальное исследования воздействия электростатического разряда на СВЧ технику с применением разработанных схемотехнических методов защиты.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 Технология приборостроения.

Теоретическая и методологическая основа исследования

Теоретическую основу исследования составляют научные труды в области разработки электроники, работы по теории статического электричества и ЭСР, практические методики по защите электронных средств от воздействия ЭСР как отечественных, так и зарубежных авторов.

В ходе исследования используются такие научные методы как, моделирование, проведение экспериментов, анализ и синтез результатов экспериментов.

Для реализации полученной математической модели использовался программный пакет *NI Multisim, MatLAB, QUCS(Quite Universal Circuit Simulation)*

Информационная база исследования искажения сигнала при воздействии электростатического разряда сформирована на основе ранее проведенных исследований в данной области с последующим применением в моделировании.

Научная новизна диссертационной работы заключается разработке новых схемотехнические решения по защите СВЧ техники от ЭСР, рекомендации по защите электронных средств, связанные с комплексными мерами защиты.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Анализ и систематизация обратимых отказов СВЧ техники от воздействия ЭСР, основанные на оценке параметров цифровых сигналов с помощью глаз-диаграммы, которая являясь по структуре модификацией осциллограмм, отличается от последних использованием периодической

структуры цифрового сигнала, а также выбором программного комплекса для моделирования электростатического разряда

2. Схемотехническая защита СВЧ техники от воздействия ЭСР, основанный на сохранении полезного сигнала устройства, отличающийся построением комплексной защиты с применением структурных, конструкторских методов, позволяющих значительно усилить схемную защиту без повышения потребляемой мощности.

3. Оценка влияния элементов защиты на качество сигнала, основанный на компьютерном моделировании воздействия электростатического разряда на СВЧ технику.

Теоретическая значимость. Теоретическую значимость работы представляют полученные в ходе проведения экспериментов данные и наблюдения, зависимости параметров сигнала от ЭСР при примененной схеме защиты.

Практическая значимость. Практическая значимость диссертации представлена способом и рекомендациями по защите СВЧ техники от ЭСР, а также возможностью использования разработанной схемой комплексной защиты для проектирования высокочастотных узлов.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на XII Международной молодёжной научно-технической конференции «*Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций RT-2016*», (14 — 18 ноября 2016 г., Севастополь, Российская Федерация); 52-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, Беларусь, 2017 г.

Отдельные положения диссертации, в частности выработанные методика и рекомендации по защите электронных средств, внедрены в учебном процессе.

Опубликование результатов диссертации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в трех опубликованных работах общим объемом 8 п.л. (авторский объем 8 п.л), в том числе в журнале, входящем в перечень ведущих периодических изданий ВАК, авторским объемом 6 п.л.

Структура и объем работы.

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

Общий объем диссертации – 112 страниц. Работа содержит 4 таблиц, 45 рисунков. Библиографический список включает 45 наименований. Список собственных публикации из 3 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения защиты СВЧ-техники от электростатического разряда, определены основные направления исследования, формулируются цели и задачи исследования, а также обосновывается актуальность темы диссертационной работы.

Проанализировано текущее состояние проработанности области исследования, указана связь данной работы с уже существующими. Указаны теоретическая основа и научная методология. Общая характеристика дает представление о теоретической и практической значимости исследования, его научной новизне. Также она содержит сведения об апробации результатов исследования.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** представлен подробный анализ моделей воздействия электростатических разрядов на электронные устройства. Из анализа следует, что проблема защиты СВЧ-техники от воздействия электростатического разряда, заключается в отсутствии конкретных данных и исследований на предмет изучения стандартных моделей воздействия электростатического разряда на СВЧ-технику. В связи с этим, в большинстве случаев, на стадии разработки высокочастотных устройств, в качестве схем защиты используются методы, которые не могут обеспечить защиту и приводят к отказам, связанным с самой защитой. Понимание физических процессов, протекающих в СВЧ-технике под действием электростатического разряда, а также влияние непосредственно самой защиты на нормальную работу СВЧ устройства, позволит разработать эффективные методы защиты от электростатического разряда. А также позволит сохранить качество полезного сигнала в этих устройствах.

В работе к описанию распространённых моделей воздействия электростатического разряда, добавлены модели актуальные для современного приборостроения, протекающие в высокочастотных скоростных системах. Они представляют наибольший научный интерес с учетом рассматриваемой темы.

- модель человеческого тела (*HBM*);
- модель машины (*MM*);
- модель заряженного устройства (*CDM*);
- модель заряженного кабеля (*CCM*);
- кассетная модель;
- импульсные линии передачи (*TLP*);
- очень быстрые импульсные линии передачи (*VF-TLP*).

В представленном обзоре литературы особое внимание подробно описанию видов и механизмов отказов СВЧ техники, позволяющее определить

наиболее слабые места требующие защиты от ЭСР. А также описаны современные и перспективные методы тестирования необходимые для анализа радиочастотных и высокоскоростных систем передачи данных позволяющие оценить воздействие ЭСР на радиочастотные устройства.

Представлены повреждающие механизмы отказов (рисунок 1) и обратимые отказы, которые по специфике исследовательской работы, имеют наибольший научный интерес.



Рисунок 1 – Классификация механизмов повреждений микроконтроллеров при воздействии электростатических разрядов

В качестве обратимых отказов рассматриваются процессы не выводящие электронные устройства из строя, но искажающее или изменяющие нормальную работу прибора:

- искажение полезного сигнала;
- эффект защелки (паразитные тиристоры).

В качестве инновационных методик оценки воздействия ЭСР на радиочастотную электронику рассматриваются такие как:

- рефлектометрия временного домена (*TDR*) и импеданса;
- тест рефлектометрии во временной области (*TDR*) ЭСР;

– «глазной» тест определяющий системный уровень повреждений от ЭСР.

Отмечаются достоинства, и недостатки каждой методики испытания.

При проведении анализа механизмов отказов СВЧ техники и методик оценки и выявления повреждений выявлено, что в большинстве случаев, наибольшую опасность представляет не полное или частичное повреждение устройства, а не повреждающее воздействие, которое искажает нормальную работу устройства, что может привести не только к неисправности устройства, но и к потере управления другими устройствами, потере или искажению данных, не предсказуемой работе устройства, несущую опасность для обслуживающего персонала и обычных пользователей

Вторая глава посвящена разработке схемотехнической защиты СВЧ техники от воздействия ЭСР. Основным критерием разрабатываемой защиты,

является сохранение полезного сигнала устройства. С учетом того, что нарушение целостности сигнала или его искажение, может протекать по двум основным путям, таким как воздействие электростатического разряда (помехи ЭМИ) и нарушение согласованности схемы внедрением защиты, необходимо разработать способ, позволяющий обеспечить защиту, сразу по двум возникшим проблемам.

Способ описанный в работе, описывает создание защиты, отличающейся построением комплексной защиты с применением структурных и конструкторских методов, позволяющих значительно усилить схемную защиту без повышения потребляемой мощности.

Для защиты от ЭСР применяется огромное количество методов, которые значительно усложняют, удорожают и, что не менее важно, вынужденно увеличивают потребляемые мощности устройств. В частности, в СВЧ-устройствах к защите от ЭСР выдвигаются такие дополнительные требования, как качество и точность полезного сигнала, что, в свою очередь, подчеркивает значимость применяемых устройств защиты, которые не должны его исказить наличием собственных и паразитных емкостей. Современная электроника стремится к миниатюризации технологических процессов и понижению рабочего напряжения компонентов и потребляемой мощности, достижение чего усложняется увеличением схемных защит и вспомогательных устройств для защиты от ЭСР.

В связи с этим в качестве защиты от ЭСР в главе рассматриваются новые материалы и технологии, а также разрастается отдельный класс элементной базы электроники, роль которой защитить от ЭСР. Можно выделить, наиболее современные и перспективные технологии защиты, такие как:

1) защита печатных плат РЭУ при помощи *VSD*-материала. *VSD*-материал представляет собой полимерный нано-композит, который функционирует как изолятор (диэлектрик) во время нормальной работы цепи. Он становится проводящим, когда напряжение увеличивается сверх заранее определенного порогового значения. Материал становится изолятором снова после того, как напряжение падает. Это уникальное свойство в сочетании с возможностью адаптировать пороговое значение напряжения открывает несколько новых направлений в электронике;

2) защита радиоэлектронных устройств при помощи *VVM*-материала. Материал с переменным напряжением (*VVM*), который включает в себя изоляционное связующее вещество, которое в одном варианте воплощения построено так, что оно само по себе является проводящим и непроводящим поверхностями. Связующее самоотверждаемо и может быть нанесено на устройство или его часть в форме чернил, которое высыхает в окончательной форме для использования;

3) формирование внутренней защиты многослойных варисторов (*MLV*-конструкция). Компоненты *MLV* состоят из чередующихся слоев металлических электродов и керамики или оксида цинка. Керамика из оксида цинка в

обычных условиях служит как изолятор. Однако, когда напряжение повышается (как в случае ЭСР), выводы оксида цинка переходят от высоких к низким значениям сопротивления и этим шунтируют защищаемую линию на землю.

Принципы обеспечения помехозащищенности цифровых цепей электронных средств сводятся к следующим основным методам:

- применение микросхем с высоким уровнем допустимых помех и максимально допустимой длительностью фронта сигнала;
- установка фильтров и ограничителей перенапряжений в цепях входа/выхода;
- формирование путей тока ЭСР вдали от критических логических цепей;
- использование сторожевых таймеров в микропроцессорных устройствах и применение программ, стойких к сбоям.

Стратегия защиты от воздействия ЭСР предусматривает предотвращение появления переходных процессов и высокочастотных токов, протекающих в цепях, и обеспечение их поглощения или возможности протекания непосредственно к земле. Это достигается следующим:

- расположением всех внешних интерфейсов в непосредственной близости один от другого;
- фильтрацией всех интерфейсов с заземлением непосредственно в их точках входа;
- изоляцией, если невозможна фильтрация, чувствительных интерфейсов с помощью ферритового изолирующего трансформатора с общим режимом или оптоэлектронной развязки;
- применением экранированных кабелей с экранированными соединителями, которые непосредственно подсоединяются к заземлению интерфейса;
- экранированием печатных плат, расположенных около щелей и отверстий кожуха или в точках внешнего приложения разряда.

В этой главе описывается поэтапная защита схемы модуля преобразователя *USB-UART* на микросхеме *FT232RL*.

Построение защиты сразу на всех уровнях, через которые проходит жизненный цикл электронного устройства, позволяет всесторонне защитить его от всевозможных последствий электростатического разряда.

Третья глава посвящена исследованию модели воздействия ЭСР на СВЧ технику.

Компьютерное моделирование проводилось двум направлениям:

1) построение модели генератора ЭСР на основе стандарта гост 51317.4.2. и построение тестового стенда для моделирования воздействия электростатическим разрядом на микросхемы логики в программе Multisim. Оценка результатов воздействия;

2) построение тестового стенда, позволяющего оценить степень влияния компонента защиты на качество полезного сигнала в программе MatLab+Simulink. В качестве рассмотрения влияния защиты на качество сигнала, рассмат-

ривались диоды TVS. Такие диоды используются для защиты высокоскоростных линий передачи данных. Связанная с ними емкость может вызывать нарушения сигналов, что приведет к потере целостности данных. В качестве метода оценки выбран метод глазковых диаграмм.

Итоги моделирования в программе *Multisim 13*:

- 1) используемая программа *Multisim 13* не может работать с необходимой точностью;
- 2) имеющиеся в программе модели ИМС полностью нечувствительны к воздействию ЭСР;
- 3) в справочниках и сети интернет отсутствует внятная информация о точном внутреннем устройстве микросхем серий КР1533 и КР1554;
- 4) корреляция результатов моделирования, даже учитывая множественные допущения, результатами реального эксперимента достигает 70 %.

Итоги моделирования в программе *MatLab+Simulink*:

- 1) используемая программа может с высокой достоверностью воспроизводить сигнал и его анализировать;
- 2) имеющиеся в программе модели, полностью настраиваемые и позволяют смоделировать процессы любой сложности.

Поставленный эксперимент, показывает существенное влияние емкости защиты на качество полезного сигнала, как показано на рисунке 3.

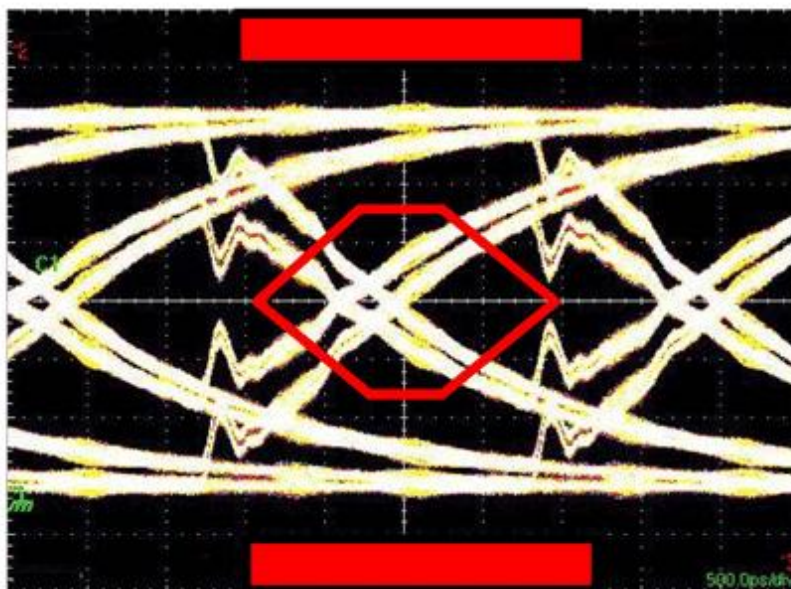


Рисунок 2 - Схема глаз для строки данных *USB2 .0* с диодом защиты от ЭСР и емкостью 65pF

Построение глаз диаграммы позволяет оценить сигнал и определить наличие в схеме несогласованных элементов, искажающих сигнал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ существующих методов моделирования прямого воздействия ЭСР на РЭА. Выявлено, что в настоящее время в отечественных и зарубежных источниках недостаточной мере освещён вопрос моделирования ЭСР по модели заряженного кабеля, модели заряженной кассеты, модели скоростных импульсных линий. Выявлено, что в настоящее время отсутствуют исследования о том, насколько меняется порог отказа электронного компонента при увеличении частоты сигнала. Произведён обзор существующих методов контроля и измерения электростатических зарядов в скоростных цепях. Основанные на оценке параметров цифровых сигналов с помощью глаз-диаграммы, в качестве программы для моделирования была выбрана САПР *MATLAB+Simulink* ввиду простоты использования и большими возможностями в представлении результатов моделирования.

2. В результате анализа современной элементной базы, сделан вывод о том, что актуальна разработка метода и аппаратуры для контроля статического потенциала с повышенной устойчивостью к перегрузкам. Разработан схемотехнический способ защиты СВЧ техники от воздействия ЭСР, основанный на сохранении полезного сигнала устройства, отличающийся построением комплексной защиты с применением структурных и конструкторских методов, позволяющих значительно усилить схемную защиту без повышения потребляемой мощности, позволяющий защитить печатный узел на всем цикле жизни.

3. Создан метод схемотехнического моделирования воздействия ЭСР на микросхемы, основанный на замещении физического процесса электростатического разряда эквивалентной электрической схемой и последующим её моделирования, используя программное обеспечение *MATLAB+Simulink*. Расширена область дальнейшего изучения все еще актуального вопроса по защите от электростатического разряда. На основе метода оценки глаз-диаграмм, выявлена зависимости собственной емкости элементов защиты, на целостность и качество сигнала.

На основании вышеизложенных результатов можно заключить, что цель, поставленная в начале исследований выполнена. Необходимые методики и аппаратура, позволяющие повысить стойкость печатных узлов к воздействию электростатического разряда и таким образом их функциональную надёжность успешно разработаны.

Полученные результаты имеют потенциал развития. Так перспективным представляется создание на основе результатов новых схемных решений защиты. Возможность использования полученных результатов в разработке новых правил и методов проектирования устройств

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в журналах рекомендованных ВАК

[1] Житников, А.Л. Способы защиты радиоэлектронных устройств от воздействия электростатических разрядов: обзор современного состояния и перспективы развития в приборостроении/ А.Л. Житников, Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев // науч.практ. журнал «Стандартизация»/Минск: БелГИСС — 2017.— №5.— С.54-59

Статьи в сборниках материалов научных конференций и журналах

[1] Житников, А.Л. Схемотехнические способы обеспечение защиты свч устройств от воздействия электростатического разряда / А.Л. Житников, Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, Ерошевская А.С // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций РТ-2016: материалы XII Международная молодёжная научно-техническая конференция, Севастополь, Российская Федерация, 14 — 18 ноября 2016 г / Изд-во СевГУ, 2016. — 244 с.

[2] Житников, А.Л. Причины возникновения электростатического разряда в СВЧ технике / А.Л. Житников, Г.А. Пискун, Москаленко А.Д. // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций РТ-2016: материалы XII Международная молодёжная научно-техническая конференция, Севастополь, Российская Федерация, 14 — 18 ноября 2016 г / Изд-во СевГУ, 2016. — 244 с

РЭЗІЮМЭ

Жытнікаў Андрэй Леанідавіч

Схематэхніцкія метады абароны ЗВЧ-тэхнікі ад уздзеяння разрадаў статычнай электрычнасці

Ключавыя словы: электростатычны разрад, ЗВЧ, схематэхніцкая абарона, комплексная абарона, камп'ютэрнае мадэляванне, абарона ад электростатычнага разраду.

Мэта працы: складаецца ў даследаванні ўздзеяння разраду статычнаскага электрычнасці на ЗВЧ - тэхніку, распрацоўцы схематэхніцкіх метадаў абароны ЗВЧ-тэхнікі ад уздзеяння ЭСР, распрацоўка рэкамендацый па абароне электронных сродкаў ад уздзеяння ЭСР

Атрыманая вынікі і іх навізна: Распрацавана метадыка аналізу зварачальных адмоваў ЗВЧ тэхнікі ад уздзеяння ЭСР, заснаваная на ацэнцы параметраў лічбавых сігналаў з дапамогай вачэй-дыяграмы, якая з'яўляючыся па структуры мадыфікацыяй асцылаграм, адрозніваецца ад апошніх выкарыстаннем перыядычным структуры лічбавага сігнала. Распрацаваны спосаб схематэхніцкай абароны ЗВЧ тэхнікі ад воздействия ЭСР, заснаваны на захаванні палезнага сігнала прылады, які адрозніваецца пабудовай комплекснай абароны з прымяненнем структурных, канструктарскіх метадаў, якія дазваляюць значна ўзмацніць схемныя абарону без павышэння спажыванай моцнасці. Распрацаваны спосаб ацэнкі ўплыву элементаў абароны на якасць сігнала, заснаваны на кампутарным мадэляванні ўздзеяння электростатычнага разраду на ЗВЧ тэхніку

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта інфарматыкі і радыёэлектронікі ў лекцыйныя курсы «Фізічныя асновы праектавання радыёэлектронных сродкаў» і «Канструяванне радыёэлектронных сродкаў».

Вобласць ужывання: электронная прамысловасць, ЗВЧ схематэхніка

РЕЗЮМЕ

Житников Андрей Леонидович

Схемотехнические методы защиты СВЧ-техники от воздействия разрядов статического электричества

Ключевые слова: электростатический разряд, СВЧ, схемотехническая защита, комплексная защита, компьютерное моделирование, защита от электростатического разряда.

Цель работы: состоит в исследовании воздействия разряда статического электричества на СВЧ – технику, разработке схемотехнических методов защиты СВЧ-техники от воздействия ЭСР, разработка рекомендаций по защите электронных средств от воздействия ЭСР

Полученные результаты и их новизна:

Разработана методика анализа обратимых отказов СВЧ техники от воздействия ЭСР, основанная на оценке параметров цифровых сигналов с помощью глаз-диаграммы, которая являясь по структуре модификацией осциллограмм, отличается от последних использованием периодической структуры цифрового сигнала. Разработан способ схемотехнической защиты СВЧ техники от воздействия ЭСР, основанный на сохранении полезного сигнала устройства, отличающийся построением комплексной защиты с применением структурных, конструкторских методов, позволяющих значительно усилить схемную защиту без повышения потребляемой мощности. Разработан способ оценки влияния элементов защиты на качество сигнала, основанный на компьютерном моделировании воздействия электростатического разряда на СВЧ технику

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники в лекционные курсы «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» и «Конструирование радиоэлектронных средств».

Область применения: электронная промышленность, СВЧ схемотехника

SUMMARY

Zhitnikov Andrei Leonidovich

Schematic methods of protection of microwave technology from the effects of electrostatic discharge

Keywords: electrostatic discharge, microwave, circuit protection, complex protection, computer simulation, protection from electrostatic discharge.

The object of study: consists in the study of the effect of static electricity discharge on microwave equipment, the development of circuit protection methods for microwave technology from the impact of ESD, the development of recommendations on the protection of electronic means from the impact of ESD

The results and novelty: A technique has been developed for analyzing reversible failures of microwave technology from the effect of ESD, based on the evaluation of the parameters of digital signals by means of the eye diagram, which is a modification of the oscillogram by structure, differs from the latter using the periodic structure of the digital signal. A method for circuitry protection of microwave equipment from the ESD effect is developed, based on the preservation of the useful signal of the device, which is distinguished by the construction of a complex protection using structural and design methods that significantly increase the circuit protection without increasing the power consumption. A method for evaluating the effect of protection elements on signal quality based on computer simulation of the effect of electrostatic discharge on microwave technology

Degree of use: : results are introduced in the educational process of the Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics in the "Physical fundamentals of designing radio-electronic means" and "Design of radio-electronic means".

Sphere of application: electronic industry, microwave circuit technology