

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

*На правах рукописи*

УДК 621.3.049.77

ВРАБИЙ  
Эдуард Михайлович

**МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ  
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО  
ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии  
проектирования электронных систем

Минск 2016

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 кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **БОНДАРИК Василий Михайлович**,  
кандидат технических наук, доцент, декан факультета непрерывного и дистанционного обучения учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «24» июня 2016 г. года в 9<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

СОГЛАСОВАНО:

\_\_\_\_\_ Г.А. Пискун  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Вся радиоэлектронная аппаратура (РЭА), выпускаемая в настоящее время чувствительна к электростатическому разряду (ЭСР). При этом воздействие ЭСР на современные электронные компоненты может приводить к появлению катастрофических отказов или скрытых дефектов.

Наиболее часто встречаемые в способах электризации в радиоэлектронике могут быть как перенос электростатических зарядов со стороны оборудования, так и от персонала. В связи с этим, источником разряда может служить контакт РЭА с носителями заряда: человеком (*НВМ*-модель); с оборудованием (*ММ*-модель), или заряженной РЭА с заземленным оборудованием (*СДМ*-модель).

В настоящее время основной проблемой работоспособности РЭА является недостаточно длительные сроки эксплуатации входящих в них отдельных радиоэлементов, таких как микросхемы памяти. Они за счет большой плотности размещения и значительной интеграции полупроводникового кристалла, являются заметным источником дефектов современных сложных систем. Вместе с тем достаточно сложно осуществить эффективную защиту микросхем от внешних воздействий, особенно от влияния разрядов статического электричества.

На сегодняшний день существует большое число работ в области определения влияния разрядов статического электричества на функционально сложные изделия твердотельной электроники. Наиболее значимые результаты были получены российскими и белорусскими учеными, которые проводили исследования по воздействию ЭСР на полупроводниковые изделия (М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Л.П. Ануфриев, В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун); методы защиты устройств от электромагнитных помех (Л.Н. Кечиев, Е.Д. Пожидаев). Среди зарубежных авторов особый интерес вызывают работы Ч. Джоввета, Кая Есмарка, А. Шваба, Э. Хабигера, в которых представлено описание некоторых механизмов влияния и упрощенные аналитические подходы для решения задач, связанных с воздействием ЭСР на радиоэлектронную аппаратуру любой сложности.

Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации производимой аппаратуры к воздействию ЭСР и, как следствие, повышение их качества доказывает актуальность темы.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Современные стандарты, применяемые при испытаниях, вводят в рассмотрение новый источник разряда – ЭСР от заряженной печатной платы (*СВМ*-модель). Рассмотрение данного типа воздействия началось недавно, что подтверждается отсутствием данных по СВМ ЭСР. Такой вариант разряда может иметь место, например, в случае если плата накапливает заряд и затем вставляется в разъем и сигнальные контакты при этом контактируют первыми.

В связи с вышесказанным, актуальной является разработка методики обеспечения функциональной надежности электронных модулей на базе микроконтроллеров при воздействии разрядов статического электричества.

### **Степень разработанности проблемы**

Исследование влияния электростатических разрядов от оператора осуществлялось на основе построения теоретических моделей с использованием работ российских и белорусских ученых: М.И. Горлова, В.А. Емельянова, Л.П. Ануфриева, В.Ф. Алексеева, Г.А. Пискуна, Л.Н. Кечиева, Е.Д. Пожидаева, В.А. Каверзнева, Г.Д. Грошева, а так же зарубежных авторов: Ч. Джоввета, Кая Есмарка, А. Шваба, Э. Хабигера, Steven H. Voldman и др.

Одним из недостатков исследований, представленных в современной технической литературе, является неполное рассмотрение особенностей и условий для моделирования процесса воздействия ЭСР от заряженной печатной платы.

Предложенное исследование направлено на устранение этого недостатка на основе модификации алгоритма моделирования процессов воздействия разрядов по *СВМ*-модели.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является разработка методики повышения устойчивости РЭА к ЭСР за счёт выявления влияния характеристик электронных компонентов на порог их отказа при воздействии разряда по *СВМ*-модели.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи**:

1. Провести обзор и анализ механизмов воздействия ЭСР на РЭА, моделей испытаний на воздействие разрядов, методов и средств защиты от них, а также существующих методов моделирования данных воздействий.

2. Разработать методику моделирования воздействия ЭСР по *СВМ*-модели на электронные компоненты на основе схмотехнического моделирования эквивалентной электрической схемы элемента.

3. Экспериментально доказать адекватность разработанной методики посредством моделирования воздействия разряда по *СВМ*-модели на транзистор типа *IRF730* и на такой защитный элемент интегральной микросхемы, как *GGNMOST*.

### **Область исследования**

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных ученых в области определения влияния разрядов статического электричества на функционально сложные изделия твердотельной электроники, а также анализ технических нормативных правовых актов по рассматриваемой тематике.

*Информационная база* исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

### **Научная новизна**

*Научная новизна* и значимость полученных результатов работы заключается в разработке методики моделирования воздействия разряда по СВМ-модели на электронные компоненты на основе схмотехнического моделирования эквивалентной электрической схемы элемента.

*Теоретическая значимость* работы заключается в детальном анализе протекающих процессов воздействия разряда с учетом особенностей компьютерного моделирования.

*Практическая значимость* диссертации состоит в разработанной схмотехнической модели испытательных структур, которая позволит оптимизировать процесс технической диагностики полупроводниковых приборов.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Систематизация механизмов воздействия разрядов статического электричества на полупроводниковые приборы, основанная на анализе особенностей электризации печатных модулей, позволившая более детально описать специфику появления разряда по СВМ-модели.

2. Модель воздействия разряда на полупроводниковый прибор, построенная на базе эквивалентной электрической схемы с сосредоточенными параметрами, позволяющая автоматизированный расчёт переходного процесса в эквивалентной схеме испытуемого элемента.

3. Экспериментально установленное напряжения катастрофического отказа МДП-транзисторов при воздействии разряда по СВМ-модели, основанное на разработке эквивалентной схемы влияния разряда в программной среде *Qucs*, позволяющее оптимизировать защитные схмотехнические решения.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 52-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2016 г.).

### **Публикации**

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. В их числе 1 статья в рецензируемом журнале, рекомендованных ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов исследований, 2 статьи в сборниках материалов научных конференций и 3 тезиса докладов на научных конференциях.

Общий объем публикаций по теме диссертационной работы составляет 1,2 авторских листа.

## **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

**В первой главе** приведен обзор современного состояния проблемы воздействия ЭСР на полупроводниковые приборы, а также рассмотрена возможность разработки новых схемотехнических моделей защитных структур. **Во второй главе** представлена разработанная методика моделирования воздействия разряда по *СВМ*-модели на электронные компоненты на основе схемотехнического моделирования эквивалентной электрической схемы воздействия разряда. **В третьей главе** представлен эксперимент по подтверждению адекватности разработанной методики посредством моделирования воздействия ЭСР по *СВМ*-модели на транзистор типа *IRF730* и на защитный элемент микросхемы типа *GGNMOST*. **В приложении** представлены публикации автора и акт внедрения.

Общий объем диссертационной работы составляет 90 страницы. Из них 65 страниц основного текста, 40 иллюстраций на 10 страницах, 2 таблицы на 1 странице, библиографический список из 79 наименований на 7 страницах, список собственных публикаций соискателя из 6 наименований на 1 странице, 3 приложений на 10 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы повышения устойчивости РЭА к ЭСР, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

**В общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

**В первой главе** приведен обзор современного состояния проблемы воздействия ЭСР на полупроводниковые приборы, а также рассмотрена возможность разработки новых схемотехнических моделей воздействий при выполнении различных операций.

Из анализа следует, что проблема реализации технической диагностики полупроводниковых приборов и интегральных микросхем заключается в отсутствии точных алгоритмов и методик моделирования воздействия разряда по *СВМ*-модели на электронные компоненты на основе схемотехнического моделирования эквивалентной электрической схемы воздействия ЭСР. Ее решение позволит оптимизировать процесс отбраковки микросхем, которые на сегодняшний день являются связующим звеном в устройствах специального и бытового назначения, а также сократить материальные затраты на их дефектацию, что обуславливает актуальность проводимых исследований.

Проанализированы особенности испытаний микросхем на устойчивость к разрядам тока. Выявлено, что они проводятся преимущественно по трем основополагающим моделям: модель тела человека (*HBM-model*), машинная модель

(*MM-model*) и модель заряженного прибора (*CDM-model*). Основным отличием данных моделей является варьирование параметров разряда по длительности и форме импульса, однако закономерности их развития практически идентичны.

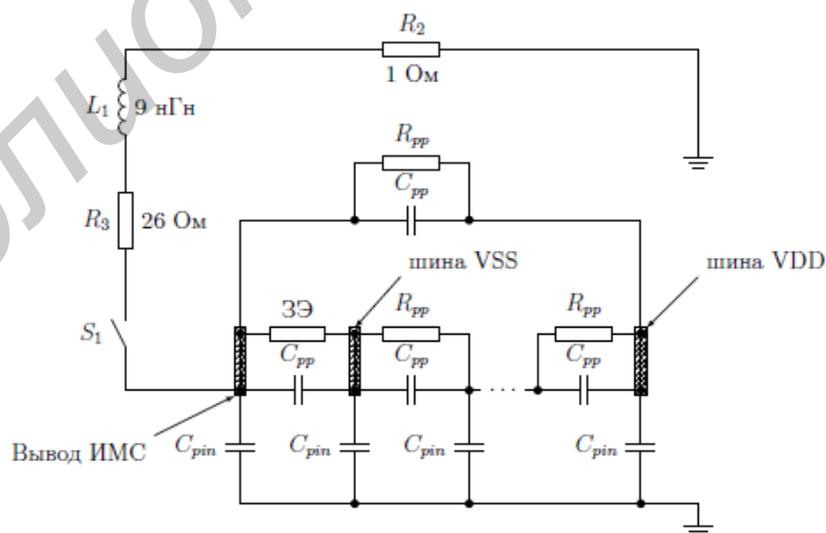
При проведении анализа механизмов повреждений в результате воздействия разрядов статического электричества, выявлено, что в большинстве случаев они могут быть обусловлены не только физико-химическими изменениями в полупроводниковом кристалле микросхем.

**Во второй главе** представлена разработанная методика моделирования воздействия разряда по *СВМ*-модели на электронные компоненты на основе схемотехнического моделирования эквивалентной электрической схемы воздействия разряда статического электричества.

Сущность предложенной методики состоит в том, что объект воздействия ЭСР представляется в виде эквивалентной электрической схемы, а физические параметры объекта – в виде параметров элементов данной схемы. Алгоритм построения моделей состоит в том, что корпус электронного компонента и связанные с ним печатные проводники заменяются цепью из связанных емкостей, которые несут в себе начальный заряд. При контакте вывода ИМС с заземлённым электродом эти ёмкости разряжаются и создают импульсные перенапряжения между выводами микросхемы.

Эквивалентная схема воздействия ЭСР по *СВМ*-модели показана на рисунке 1. На основании представленной схемы можно осуществлять оптимизацию схемотехнических методов защиты ИМС от воздействия разрядов.

Все ёмкости  $C_{pp}$  на схеме заряжены до одинакового напряжения тестирования  $V_{test}$ . Данное напряжение характеризует устойчивость ИМС к ЭСР. Если микросхема отказала после проведения теста с конкретным напряжением, то это значение рассматривают как порог отказа ИМС при *СВМ*-модели.



$R_2$  – сопротивление датчика тока;  $R_3$  – сопротивление дуги; ЗЭ — элемент защитный.

**Рисунок 1 – Эквивалентная схема СВМ-модели воздействия электростатического разряда**

Стоит отметить тот факт, что емкости  $C_{pp}$  между выводами ИМС зашунтированы сопротивлением утечки через кристалл  $R_{pp}$  и в формировании заряда не участвуют. Но они влияют на форму тока при переходном процессе и на величину перенапряжений на защищаемой цепи.

Ключевую роль в формировании тока ЭСР и перенапряжений на элементах защиты здесь играет ёмкость  $C_{pcb}$ , которая достигает сотен пикофарад и накапливает значительный заряд. Эта ёмкость заряжена до напряжения тестирования  $V_{test}$  и несёт заряд  $Q_{pcb}$ .

Здесь возможно несколько вариантов развития ЭСР. Самым благоприятным является вариант, когда заземлённый разрядный наконечник касается печатного проводника. При этом весь заряд накопленный ёмкостью  $C_{pcb}$  стекает на землю и ток ЭСР течёт в обход ИМС.

Самым неблагоприятным является вариант, когда заземляется вывод ИМС. При этом заряд  $Q_{pcb}$  стремится стечь на землю и происходит быстрое перераспределение зарядов между внутренними емкостями ИМС. Заряд  $Q_{pcb}$  создаёт дополнительный ток электростатического разряда, который течёт через вывод микросхемы и создаёт дополнительные перегрузки.

Зная параметры корпуса ИМС ( $C_{pin}$  и  $C_{pp}$ ) и параметры платы печатной ( $L_{pcb}$  и  $C_{pcb}$ ), а также используя программное обеспечение *Quics* для моделирования электронных схем, можно смоделировать эту эквивалентную схему и узнать величину перегрузок по напряжению, которым подвергается интегральная микросхема в результате воздействия разряда статического электричества по *СВМ*-модели.

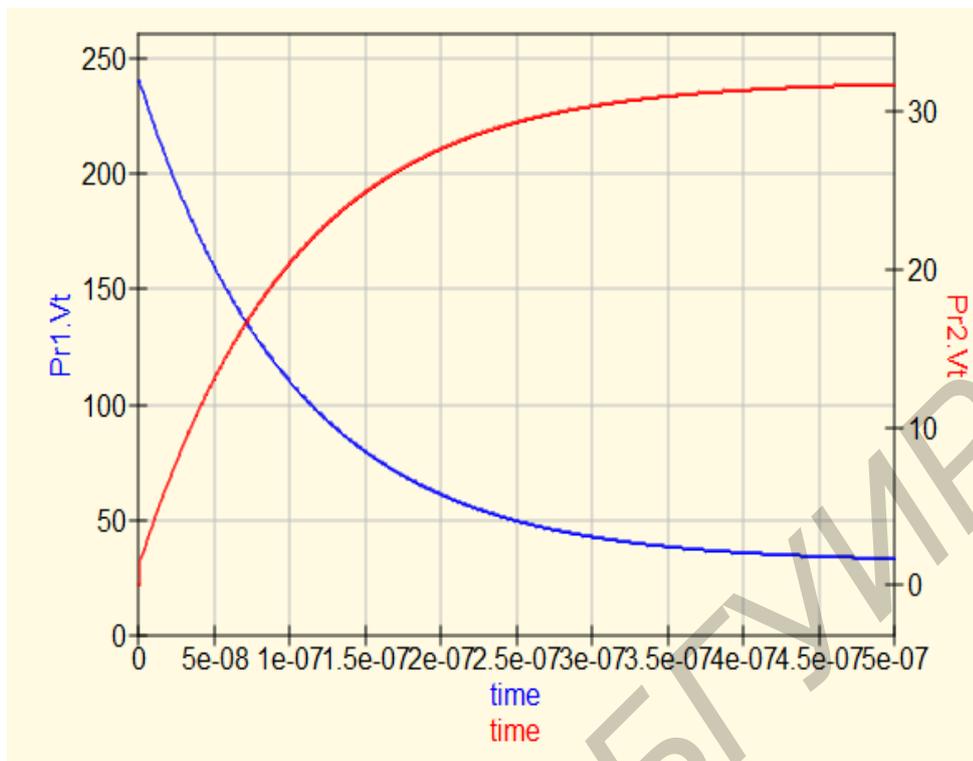
**В третьей главе** представлен эксперимент по подтверждению адекватности разработанной методики посредством моделирования воздействия разряда по *СВМ*-модели на транзистор типа *IRF730* и на защитный элемент интегральной микросхемы *GGNMOST*.

На основании данных о согласовании результатов тестирования и моделирования воздействия ЭСР на МДП-транзисторы было произведено моделирование воздействия разряда на данные полупроводниковые приборы.

Сравнение формы тока ЭСР, полученной в результате моделирования, и указанной в стандарте СТБ МЭК 61000.4.2–2006 показало, что физические процессы воспроизводятся моделью корректно.

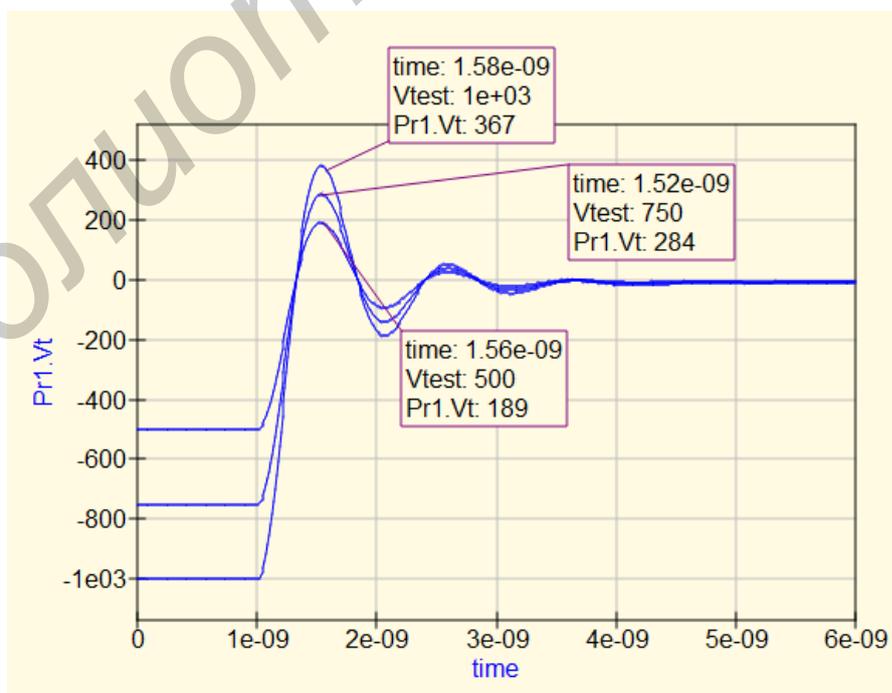
При проведении моделирования воздействия ЭСР по *СВМ*-модели на транзистор типа *IRF730*, установленного на печатной плате, была разработана эквивалентная схема. Система печатных проводников связана с истоком МДП-транзистора. Для моделирования ЭСР по *СВМ*-модели была увеличена ёмкость  $C_2$  до 190 пФ, что эквивалентно значению ёмкости системы печатных проводников, связанных с истоком транзистора. Физический принцип измерения основан на определении ёмкости исходя из законов электростатики.

Полученные в результате моделирования графики напряжения на затворе при ЭСР показаны на рисунке 2. Уже при напряжении тестирования 250 В перенапряжения на затворе транзистора достигают 80 В, что соответствует отказу транзистора. Таким образом, порог отказа транзистора снизился на 75 %.



**Рисунок 2 – Осциллограммы переходного процесса при ЭСР на разрядном конденсаторе и на затворе тестируемого транзистора**

После произведенного параметрического анализа влияния ёмкости печатной платы на порог отказа МДП-транзистора в результате ЭСР по *СВМ*-модели было установлено, что осциллограммы напряжения переходного процесса в цепи транзистора *IRF510* имеют следующий вид (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Осциллограмма напряжения переходного процесса в цепи транзистора *IRF510* при воздействии ЭСР по *СДМ*-модели.**

В результате представлен принцип построения схемы модели воздействия ЭСР по *СВМ*-модели на транзистор *IRF510* и получены осциллограмма в программной среде *Qucs*.

На рисунке 4 представлена осциллограмма напряжения на затворе МДП-транзистора при воздействии разряда статического электричества, с учетом того, что транзистор соединён с печатной платой. Напряжение тестирования 250В.

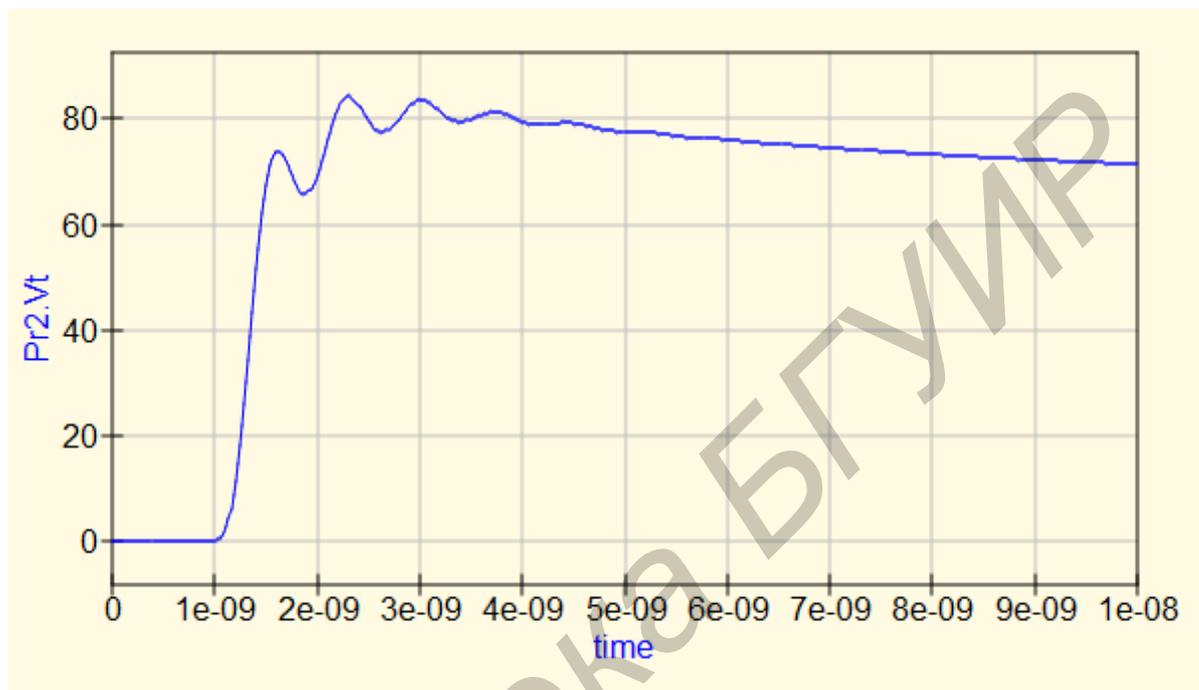


Рисунок 4 – Осциллограммы напряжения на затворе МДП-транзистора при ЭСР

Из рисунка видно, что построена модель воздействия разряда на печатный узел по *СВМ*-модели, адекватно описывает процесс протекания разряда статического электричества.

При реализации метода конечных элементов в работе использовался универсальный симулятор электрических цепей *Qucs* (от англ. *Quite Universal Circuit Simulator*), который был разработан как доступный симулятор электронных цепей и контуров, имеющий графический интерфейс и основанный на открытом исходном коде. Программа поддерживает все виды моделирования схем, например *DC*, *AC*, *S*-параметры, гармонический анализ баланса, анализ шума и так далее. Результаты моделирования можно посмотреть на странице презентации или окне программы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Выполнен анализ существующих методов моделирования воздействия ЭСР на РЭА. Выявлено, что в настоящее время в отечественных и зарубежных источниках недостаточно освещён вопрос моделирования ЭСР по модели заряженной печатной платы (*СВМ*-модель) [1, 2].

2. Разработана модель воздействия разряда на полупроводниковый прибор, построенная на базе эквивалентной электрической схемы с сосредоточенными параметрами, позволяющая автоматизированный расчёт переходного процесса в данной эквивалентной схеме [3, 4].

3. В результате разработки эквивалентной схемы влияния разряда статического электричества на МДП-транзистор (на примере транзистора типа *IRF730*), экспериментально установлено напряжения его отказа, что позволяет оптимизировать структуру исследуемого транзистора [5, 6].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в учебный курс “Физические основы проектирования радиоэлектронных средств”.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ**

### *Статьи в рецензируемых журналах*

1. Совершенствование алгоритма испытаний микропроцессорной техники на устойчивость к воздействию разрядов статического электричества / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, А.Н. Пикулик, Э.М. Врабий // Стандартизация. – 2016. – № 2-2016. – С. 52-58.

### *Статьи в сборниках научных трудов*

2. Причины повреждения металлизации интегральных схем в условиях воздействия токов повышенной плотности / Э.М. Врабий, Д.А. Дегалевич, Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. трудов по материалам междунар. заоч. науч.-практич. конф., Воронеж, Российская Федерация / ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж. 2015. – 228-232.

3. Специфика использования методов неразрушающего диагностического контроля полупроводниковых изделий после воздействия электростатических разрядов / Д.А. Дегалевич, Э.М. Врабий, Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. трудов по материалам междунар. заоч. науч.-практич. конф., Воронеж, Российская Федерация / ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж. 2015. – 342-346.

### *Тезисы конференций*

4. Дегалевич, Д.А. Эффективность защиты электронной аппаратуры с помощью внешних схем защиты от воздействия электростатических разрядов / Д.А. Дегалевич, Г.А. Пискун, Э.М. Врабий // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С.44–46.

5. Дегалевич, Д.А. Механизмы воздействия электростатических зарядов на радиоэлектронную аппаратуру / Д.А. Дегалевич, Г.А. Пискун, Э.М. Врабий // ма-

териалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 25-30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С.47-48.

б. Специфика повреждений, возникающих в кремниевых полупроводниковых изделиях под воздействием электростатических разрядов / Д.А. Дегалевич, Э.М. Вrabий, Г.А. Пискун, Д.М. Климович // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 25-30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С.49-50.

Библиотека БГУИР

## РЭЗІЮМЭ

Врабій Эдуард Міхайлавіч

### Методыка забеспячэння функцыянальнай надзейнасці электронных модуляў на базе мікракантролераў пры ўздзеянні разрадаў статычнага электрычнасці

**Ключавыя словы:** электростатычны разрад, мадэль.

**Мэта працы:** павышэнне ўстойлівасці РЭА да пабойцам фактараў электрызацыі за кошт выяўлення ўплыву характарыстык электронных кампанентаў на парог іх адмовы пры ўздзеянні разраду па СВМ–мадэлі.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** выкананы аналіз існуючых метадаў мадэлявання прамога ўздзеяння ЭСР на РЭА. Выяўлена, што ў цяперашні час у айчынных і замежных крыніцах недастаткова асвежэн пытанне мадэлявання ЭСР па мадэлі зараджанага кампанента (СДМ–мадэль); распрацавана мадэль ўздзеяння разраду на паўправадніковы прыбор, пабудаваная на базе эквівалентнай электрычнай схемы з засяроджанымі параметрамі, якая дазваляе аўтаматызаваць разлік пераходнага працэсу ў дадзенай эквівалентнай схеме; у выніку распрацоўкі эквівалентнай схемы ўплыву разраду на МДП–транзістар, эксперыментальна ўстаноўлена напружанне яго адмовы, што дазваляе аптымізаваць структуру доўгасроднага транзістара.

**Ступень выкарыстання:** вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстановы адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі ў навучальны курс "Фізічныя асновы праектавання радыёэлектронных сродкаў".

**Вобласць ужывання:** паўправадніковая прамысловасць, мікропроцэсорныя сістэмы.

## РЕЗЮМЕ

Врабий Эдуард Михайлович

### Методика обеспечения функциональной надежности электронных модулей на базе микроконтроллеров при воздействии разрядов статического электричества

**Ключевые слова:** электростатический разряд, модель.

**Цель работы:** повышение устойчивости РЭА к поражающим факторам электризации за счёт выявления влияния характеристик электронных компонентов на порог их отказа при воздействии разряда по СВМ–модели.

**Полученные результаты и их новизна:** выполнен анализ существующих методов моделирования прямого воздействия ЭСР на РЭА. Выявлено, что в настоящее время в отечественных и зарубежных источниках недостаточно освещён вопрос моделирования ЭСР по модели заряженного компонента (СДМ–модель); разработана модель воздействия разряда на полупроводниковый прибор, построенная на базе эквивалентной электрической схемы с сосредоточенными параметрами, позволяющая автоматизированный расчёт переходного процесса в данной эквивалентной схеме; в результате разработки эквивалентной схемы влияния разряда на МДП–транзистор, экспериментально установлено напряжения его отказа, что позволяет оптимизировать структуру исследуемого транзистора.

**Степень использования:** результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в учебный курс “Физические основы проектирования радиоэлектронных средств”.

**Область применения:** полупроводниковая промышленность, микропроцессорные системы.

## SUMMARY

Vrabii Edward Mihailovich

### **The method for ensuring the functional reliability of electronic modules based on microcontrollers when exposed to static discharges electricity**

**Keywords:** electrostatic discharge model.

**The object of study:** To increase the stability of the CEA to the damaging factors of electrification due to detection the effect of characteristics of electronic components on the threshold of their failure when subjected to discharge by CBM-model.

**The results and novelty:** the analysis of existing direct impact on ESD simulation methods by CEA. It was revealed that at the moment in the domestic and foreign sources the question regarding ESD simulation for the charged component (CDM-model); is not clear model of the impact of the discharge on the semiconductor device, built on the basis of an equivalent electric circuit with lumped parameters, allowing the automated calculation of the transition process in the equivalent circuit; as a result of the development of the equivalent circuit of the discharge impact on the MIS transistor, experimentally determined stress his refusal, to optimize the structure of the test transistor.

**Degree of use:** the results implemented in the educational process at the department of design information and computer systems educational institution "Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics in the training course" Physical fundamentals of the design of radio-electronic means. "

**Sphere of application:** industry, MPU-sor system.

Библиотека БГУИР