

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

УДК 004.31-022.53:537.2

На правах рукописи

АМЕЛЬЧИЦ
Андрей Геннадьевич

**ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ МАССИВА ДАННЫХ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ**

Автореферат
на соискание степени магистра техники и технологии
по специальности 1-39 81 01 Компьютерные технологии
проектирования электронных систем

Научный руководитель
канд.техн.наук, доцент
АЛЕКСЕЕВ Виктор Федорович

Минск 2016

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

Научный руководитель:

Алексеев Виктор Федорович,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

Стемпичкий Виктор Романович,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Микро- и наноэлектроники. «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «20» января 2016 г. года в 9³⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-88, e-mail: kafpiks@bsuir.by

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

ВВЕДЕНИЕ

Промышленностью Республики Беларусь выпускаются различные технические средства, использующие в своем составе современные изделия микроэлектроники – микроконтроллеры, выполняющие функцию управления электронными устройствами. Их обширная номенклатура, обусловленная разнообразными функциональными возможностями, создает разработчикам изделий достаточно хорошие условия для проектирования сложной конкурентоспособной аппаратуры различного назначения. Вместе с тем достаточно сложно осуществить эффективную защиту микроконтроллеров от внешних воздействий, особенно от такого деструктивного влияния, как электростатический разряд.

Учитывая специфику работы микроконтроллеров, основанную на выполнении запрограммированных функций, особое внимание целесообразно уделять безопасности информационного ресурса, а также защите сведений от их случайного или умышленного повреждения. При этом проблема защиты информации является многоплановой, и комплексной и охватывает ряд важных задач, одной из которых является обеспечение целостности записанного кода (защита от сбоев, ведущих к потере информации, а также защита от уничтожения данных).

На сегодняшний день существует достаточно 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 в таких областях, как воздействие разрядов статического электричества на полупроводниковые изделия (В.Ф. Алексеев, М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Л.П. Ануфриев); методы защиты устройств от электромагнитных помех (Л.Н. Кечиев); средства защиты интегральных схем от воздействия деструктивных импульсов (В.А. Каверзнев, Г.Д. Грошева). Среди зарубежных авторов особый интерес вызывают работы Ч. Джоввета, Э. Хабигера, А. Шваба, А. Amerasekera, О. Semenov и Steven H.Voldman, в которых представлено описание отдельных механизмов влияния и упрощенные аналитические подходы для решения задач, связанных с воздействием разрядов статического электричества на приборы.

В диссертации предлагаются подходы к осуществлению контроля функциональных и эксплуатационных характеристик микроконтроллеров с инсталлированным во встроенную флеш-память программным кодом после воздействия электростатических разрядов. Разработаны методики технической диагностики микроконтроллеров с проверкой целостности записанного массива данных и определением областей их неустойчивого функционирования вследствие появившихся изменений в коде, а также разработаны рекомендации по их использованию.

Выражаю благодарность за оказанную помощь в ходе подготовки диссертационной работы своему научному руководителю, кандидату техниче-

ских наук, доценту кафедры ПИКС Алексееву Виктору Федоровичу, а также за высококвалифицированные консультации по возникающим вопросам кандидату технических наук, доценту кафедры ПИКС Пискуну Геннадию Адамовичу.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Радиоэлектронные средства (РЭС) функционируют в условиях естественных и искусственных радиопомех, в совокупности определяющих электромагнитную обстановку. Большинство научных исследований по изучению воздействия электростатических разрядов на изделия электронной техники направлены на получение данных, при которых наблюдается катастрофическое повреждение. Особенно остро встает вопрос о помехоустойчивости выпускаемых микросхем. Рассмотрение вопроса о целостности массива данных микроконтроллера после воздействия электростатических разрядов является актуальным.

Степень разработанности проблемы

Исследования в области определения влияния разрядов статического электричества широко представлены в работах М.И. Горлова, В.А. Емельянова. Большой вклад в исследование методов и средств защиты от электростатических разрядов внесли Л.Н. Кечиев и Е.Д. Пожидаев. Однако проблема контроля функциональных и эксплуатационных характеристик микроконтроллеров с записанным во встроенную флеш-память программным кодом после воздействия разрядов статического электричества разработана не в полной мере. В частности, научный и практический интерес представляет разработка методик функциональной и эксплуатационной диагностики микроконтроллеров с проверкой целостности записанного массива данных и определением областей их неустойчивого функционирования вследствие появившихся изменений в коде и др.

Цели и задачи исследования.

Целью диссертационной работы являются: исследование воздействия разряда статического электричества на интегральные схемы памяти и оценка целостности инсталлированного во встроенную флеш-память программного кода.

Для достижения поставленной цели работа проводилась в несколько этапов, на каждом из которых решались следующие задачи:

1. Анализ принципов построения и функционирования интегральных микросхем со встроенными запоминающими устройствами.
2. Принципы технической диагностики интегральных микросхем памяти после воздействия электростатических разрядов.

3. Разработка методики диагностики микросхем со встроенной флеш-памятью после воздействия разряда статического электричества.

Объектом исследования являются интегральные схемы памяти.

Предметом работы выступают алгоритмы технической диагностики интегральных микросхем памяти.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1–39 81 01 Компьютерные техно-логии проектирования электронных систем.

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских, белорусских и зарубежных специалистов в области определения влияния разрядов статического электричества.

Для получения теоретических результатов исследования применялся междисциплинарный подход, позволяющий использовать теоретические положения физики твердого тела.

Обработка графических данных проводилась с использованием *CorelDRAW*.

Информационная база основана на использовании существующих исследований в области воздействия электростатического разряда на интегральные схемы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке контроля функционирования МК после воздействия разрядов статического электричества, построенного на базе представления исследуемого микроконтроллера по средствам функциональных блоков.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Принципы построения и функционирования ИМС со встроенными ЗУ.
2. Методы технической диагностики ИМС памяти после воздействия ЭСР.
3. Методика диагностики микросхем со встроенной флеш-памятью после воздействия разряда статического электричества.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в обобщении подходов и методов защиты интегральных схем от воздействия статического электричества.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что полученные результаты позволят выработать новые требования к методам защиты

элементов памяти от воздействия электростатических разрядов.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь 13 – 17 апреля 2015 г.); 11-ой международной молодёжной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2015» – 16-20 ноября 2015 г., Севастополь, Российская Федерация.

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании курса «Конструирование радиоэлектронных устройств».

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 9 страниц.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 108 страниц. Работа содержит 17 таблиц, 31 рисунок. Библиографический список включает 70 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассмотрены основные принципы построения и функционирования запоминающих устройств, а также приведена классификация ЗУ. По структуре ячеек в матрице накопителя все ПЗУ можно разделить на 2 группы:

- однократно-программируемые на диодах;
- многократно-программируемые на транзисторах.

По технологии изготовления кристалла:

– ROM – (англ. read-only memory, постоянное запоминающее устройство), масочное ПЗУ, изготавливается фабричным методом. В дальнейшем нет возможности изменить записанные данные;

– PROM – (англ. programmable read-only memory, программируемое ПЗУ (ППЗУ)) – ПЗУ, однократно «прошиваемое» пользователем;

– EPROM – (англ. erasable programmable read-only memory, перепрограммируемое/репрограммируемое ПЗУ (ПППЗУ/РПЗУ)). Память со стиранием с помощью фототока. Например, содержимое микросхемы K537PФ1 стиралось при помощи ультрафиолетовой лампы. Для прохождения ультра-

фиолетовых лучей к кристаллу в корпусе микросхемы было предусмотрено окошко с кварцевым стеклом.

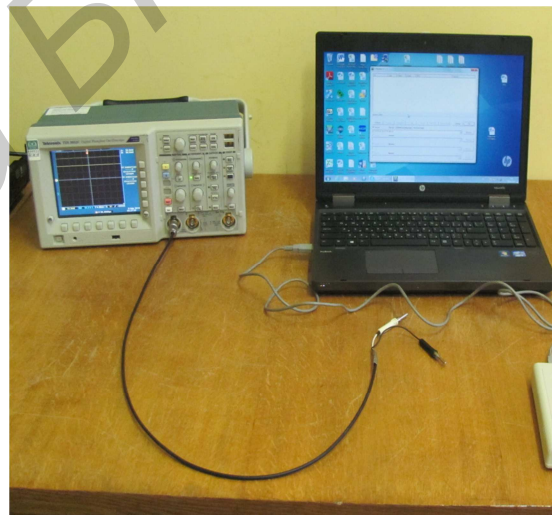
– EEPROM – (англ. electrically erasable programmable read-only memory, электрически стираемое перепрограммируемое ПЗУ). Память такого типа может стираться и заполняться данными несколько десятков тысяч раз. Используется в твердотельных накопителях. Одной из разновидностей EEPROM является флеш-память (англ. flash memory).

Во второй главе представлены результаты технической диагностики наиболее распространенных среди производителей современных электронных средств различного целевого назначения 8-разрядных микроконтроллеров: Attiny 2313/V (изготовитель Atmel); IN89C2051DW (изготовитель ОАО «ИНТЕГРАЛ») и AT89C51RC (изготовитель Atmel), полученные с учетом разработанных автором методик.

Для чистоты эксперимента и обеспечения достаточной точности полученных результатов, испытания необходимо проводить на специализированном оборудовании в лабораторных условиях (рисунок 3).



а



б

Рисунок 3 – Внешний вид установки для проведения испытаний микроконтроллеров на устойчивость к контактному воздействию разрядов статического электричества (*а*) и внешний вид установки для их функционального тестирования (*б*)

При воздействии разрядами статического электричества на микроконтроллеры, начальное (250 В) и последующие (500 В, 1 кВ, 2 кВ и 4 кВ) напряжения импульсов тока соответствовали величинам, приведенным в действующих на территории Республики Беларусь стандартах. Для наиболее точного определения значения напряжения, при котором происходит изменение инсталлированного во встроенную флеш-память массива данных, его повышение осуществлялось с ближайшего наименьшего вышеуказанного значения с шагом 100 В.

На основании проведенных экспериментов были получены следующие результаты технической диагностики для микроконтроллеров типа Attiny 2313/V.

При стандартных напряжениях разряда и из диапазона от 4,1 по 4,9 кВ, не было выявлено никаких изменений ни в одном из функциональных блоков. Составленная таблица состояний соответствовала данным из таблицы с эталонными значениями.

Следующее напряжение воздействующего импульса соответствовало значениям от 5,0 по 5,2 кВ. При данных напряжениях разряда не было выявлено никаких изменений в выполнении запрограммированных функций и значение контрольных сумм осталось без изменений. Однако при осуществлении процесса стирания и инсталляции было выявлено, что контрольная сумма записанного во флеш-память кода не соответствует эталонному значению, что свидетельствует о возникновении повреждений. На основании этого можно сделать вывод о том, что начальным значением напряжения, при котором начинаются изменения в инсталлированном массиве данных, является 5,0 кВ.

После воздействия электростатического разряда напряжением от 5,2 по 5,4 кВ на наружные выводы микроконтроллера было выдано программное сообщение «неверный идентификатор микросхемы». Это привело к некорректному сравнению, чтению, стиранию и контролю записываемого массива данных. Учитывая то, что из памяти микроконтроллеров невозможно было обеспечить считывание какой-либо информации, то снять контрольные суммы и сверить их значения с эталонными не представлялось возможным.

В результате функционального контроля диагностируемых микроконтроллеров после воздействия разрядами напряжением 5,4 кВ и выше составить матрицу результатов не представлялось возможным, что обусловлено полной утратой их работоспособности.

Для микроконтроллеров типа Attiny 2313/V, в которых были выявлены нарушения в инсталлированном массиве данных, можно выделить трех диапазона напряжений: от 5,0 кВ и выше – область функционального нарушения; от 5,2 кВ и выше – область программного нарушения; от 5,4 кВ и выше – область полной утраты работоспособности.

При диагностике микроконтроллеров типа IN89C2051DW производились разряды со стандартными напряжениями и из диапазона от 1,1 до 1,4 кВ. Составляя таблицу состояний, не было выявлено никаких изменений ни в одном из функциональных блоков.

При воздействии разряда статического электричества напряжениями от 1,4 до 1,8 кВ в работе микроконтроллеров данного типа не было выявлено никаких сбоев. Однако при осуществлении процесса формирования контрольных сумм с использованием двух специализированных хеш-функций были получены значения не соответствующие эталонным. Это указывает на то, что исходный записанный код претерпел изменения. Таким образом,

начальным значением напряжения, при котором происходит изменение в инсталлированном программном обеспечении, является 1,4 кВ.

В результате воздействия разрядами напряжением из диапазона от 1,8 кВ и выше составить таблицу состояния было невозможно, что обусловлено полной утратой работоспособности и отсутствием возможности определения каких-либо параметров с использованием специализированного программатора.

После технической диагностики микроконтроллеров типа IN89C2051DW были выявлены нарушения в массиве данных, вызванные разрядами с напряжением из двух диапазонов: от 1,4 до 1,8 кВ – область программного нарушения и от 1,8 кВ и выше – область полной утраты работоспособности.

В результате проведения экспериментов над микроконтроллерами типа AT89C51RC были осуществлены воздействия статического электричества по методу контактного разряда со стандартными напряжениями, а также из диапазона от 4,1 до 5,9 кВ. Анализ состояния функциональных блоков микросхемы, показал, что в коде никаких изменений не установлено.

При воздействии импульсами напряжением от 6,0 до 6,2 кВ, при осуществлении перезаписи массива данных было получено следующее программное сообщение «ошибка сравнения при UCC=5,00V по адресу 00000000 вместо 02 записано 52», подтверждающее появление дефекта, который может привести к некорректному срабатыванию. Время записи данных увеличилось с 1 мин 50 с до 30 мин 57 с.

Действие разряда напряжением от 6,2 по 6,4 кВ привело к существенным изменениям данных, так как было повреждено 94 % информации, инсталлированной во встроенную флеш-память микроконтроллера. Выявленное ухудшение было обнаружено при осуществлении сверки записанного массива данных с эталонным.

На этапе функционального контроля исследуемых микросхем, в случае воздействия импульсами напряжением от 6,4 кВ и выше составить матрицу результатов не представлялось возможным из-за полной утраты работоспособности и отсутствия возможности определения каких-либо параметров.

В микроконтроллерах типа AT89C51RC были выявлены нарушения в инсталлированном во встроенную флеш-память массиве данных при разрядах из трех диапазонов напряжений: от 6,0 кВ и выше – область функционального нарушения; от 6,2 кВ и выше – область программного нарушения; от 6,4 кВ и выше – область полной утраты работоспособности.

В третьей главе разработаны методики контроля функциональных и эксплуатационных характеристик микроконтроллеров с инсталлированным во встроенную флеш-память программным кодом после контактного воздействия разряда статического электричества.

Предложен алгоритм определения напряжения разряда, при котором начинает происходить изменение в инсталлированном программном коде, построенный на сверке данных кода с его эталонным значением (рисунок 4).

В результате проведения экспериментов по предложенному алгоритму поиска дефектов было установлено, что предельное значение воздействующего электростатического разряда не является существенным показателем для микроконтроллеров по сравнению со значением напряжения импульса, при котором происходит изменение установленного программного кода.

Некорректное выполнение запрограммированных функций, выявленное в процессе работы микроконтроллера и обусловленное влиянием электростатических разрядов, целесообразно диагностировать с помощью разработанных специализированных тестовых программ (ТП). Такие программные средства ориентированы под конкретную структуру микроконтроллера и позволяют выявить дефекты на уровне функционального блока (ФБ).

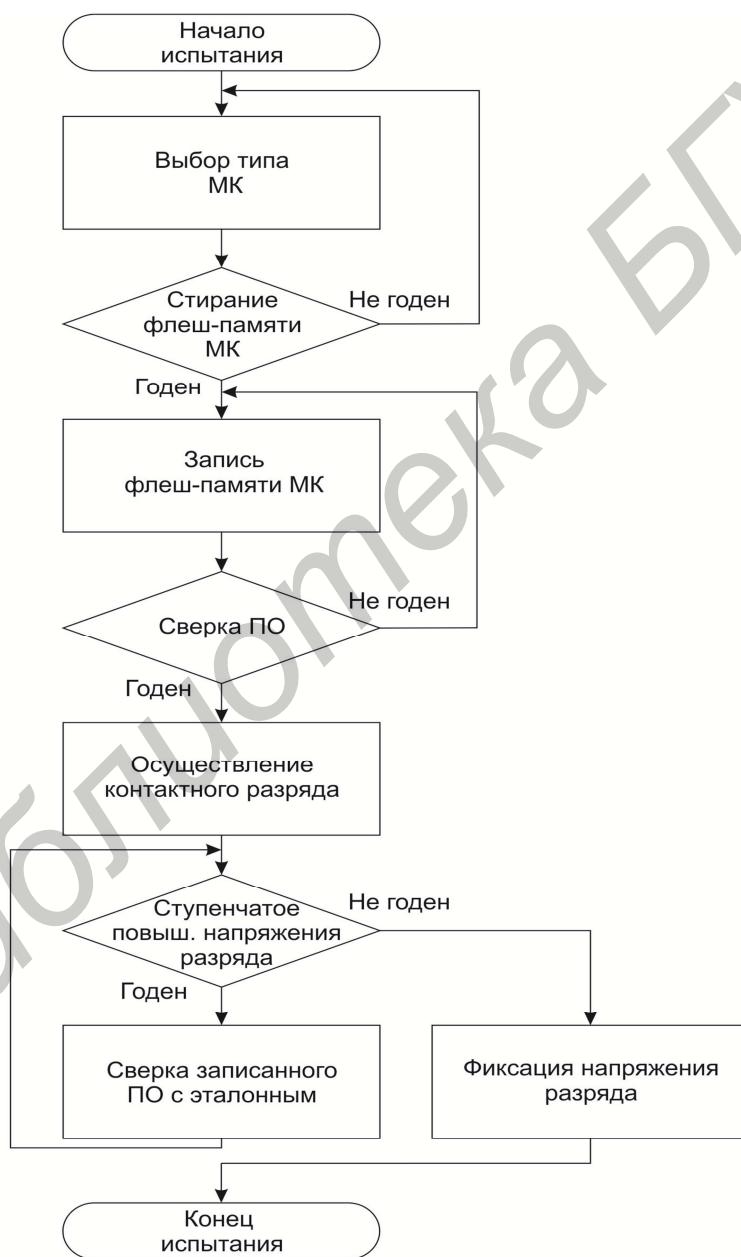


Рисунок 4 – Алгоритм определения значения напряжения, при котором происходит некорректное срабатывание запрограммированных функций микроконтроллеров со встроенной флеш-памятью, после контактного воздействия разряда статического электричества

Результаты выполнения тестирования представляются таблицей состояния функциональных блоков (таблица 1), в которую вносятся значения корректного «1» или некорректного «0» выполнения тестовых программ.

Таблица 1. – Пример таблицы состояния функциональных блоков микроконтроллера после контактного воздействия разряда статического электричества

Тестовая программа	Функциональный блок								
	ФБ1	ФБ2	ФБ3	ФБ4	ФБ5	ФБ6	ФБ7	...	ФБn
ТП1	1	0	0	1	1	1	0	...	0
ТП2	1	0	1	0	1	0	1	...	0
...
ТПn
Результат теста	1	0	0	0	1	0	0	...	0

Исходя из специфики проведения испытаний микроконтроллеров с установленным во встроенную флеш-память программным обеспечением на устойчивость к воздействию статического электричества по методу контактного разряда, предложена методика функционального контроля, состоящая из трех этапов: «подготовительный», «экспериментальный» и «аналитический».

Целью «подготовительного» этапа является выявление потенциально ненадежных изделий. Это осуществляется за счет определения критериев отбраковки, проведения отбраковочных испытаний, а также анализ встроенной флеш-памяти с учетом специфики процессов стирания, записи и инициализации программного обеспечения.

На «экспериментальном» этапе определяются значения напряжения, при которых происходит изменение в установленном во встроенную флеш-память программном коде по сравнению с эталонным массивом данных.

На «аналитическом» этапе проводится анализ достоверности полученных результатов и формирование групп микроконтроллеров по надежности. Также осуществляется оценка их работоспособности, построенная на расчете эксплуатационной интенсивности отказов с использованием поправочного коэффициента (КЭСР).

$$\lambda_{эл} = \frac{-\ln[1 - 0,00057 \exp(-0,0002 K_{эср} U_{эср})]}{0,00876} \times 10^{-6},$$

где $U_{эср}$ – напряжение разряда статического электричества, В;
 $K_{эср}$ – поправочный коэффициент, учитывающий тип воздействия разряда (контактный или воздушный).

Основываясь на специфике проведения испытаний микроконтроллеров на устойчивость к воздействию электростатических разрядов, а также на особенностях воздействия (контактный или воздушный), получены следующие поправочные коэффициенты: для контактного разряда $K_{ЭСР} = 1$; для воздушного разряда $K_{ЭСР} = 0,75$ при $U_{ЭСР} = 8$ кВ и $K_{ЭСР} = 0,5$ при $U_{ЭСР} = 15$ кВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При работе над магистерской диссертацией были тщательно изучены, рассмотрены и учтены все мировые тенденции в сфере защиты интегральных схем от воздействия электростатических разрядов.

На первом этапе выполнения данной работы был проведен обзор научной литературы и проанализированы основные принципы построения и функционирования запоминающих устройств, а также факторы определяющие технологичность приборов. Немаловажным было рассмотреть вопросы надежности сверхбольших интегральных схем, а также особенностей резервирования элементов памяти.

На втором этапе выполнения данной работы при помощи проведенного анализа трех типов МК, а также ТП было выявлено, что нарушение в установленном во встроенную flash-память МК программном обеспечении, наступает значительно раньше, чем катастрофическое повреждение самого МК. В результате проведенного анализа микросхем с установленным во встроенную flash-память программным обеспечением с помощью специализированных хеш-функций, было выявлено, что нарушения в массиве данных наступает значительно раньше, чем катастрофическое повреждение самого МК. Результаты экспериментов позволяют создавать и интегрировать в процесс производства и эксплуатации современных микроконтроллеров вероятностные показатели, которые позволят осуществить наиболее точное прогнозирование потенциально ненадежных МК на этапе инсталляции программного обеспечения.

Некорректное выполнение запрограммированных функций МК, выявленное в процессе функционирования, вследствие воздействия ЭСР, целесообразно диагностировать с помощью специализированных тестовых программ. Данные программы, ориентированные под детальную структуру МК, позволят выявить дефекты на уровне конкретного функционального блока.

Введение критерия оценки остаточного ресурса МК позволит повысить уровень выявления потенциально ненадежных изделий на этапе технологических отбраковочных и диагностических испытаний. Данный признак, построенный на оценке состояния МК, определении области работоспособного состояния и обнаружения однократных и многократных дефектов, даст возможность наиболее адекватно оценить функциональные режимы МК.

Список опубликованных работ

[1-А] Амельчиц, А.Г. Особенности конструкций СБИС ЗУ с элементарно-структурно-логической избыточности / А.Г. Амельчиц, Е.А. Мурзо, А.Д. Элькинд // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. статей 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 13 апреля 2015 года) – Минск: БГУИР, 2015. – С. 146 – 148.

[2-А] Амельчиц, А.Г. Особенности проектирования электронных устройств с учётом защиты от перенапряжения и электромагнитных помех / Е.А. Мурзо, А.Г. Амельчиц, И.Н. Богатко // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. статей 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 13 апреля 2015 года) – Минск: БГУИР, 2015. – С. 240 – 242.

[3-А] Амельчиц, А.Г. Модели электростатического разряда / А.Д. Элькинд, А.Г. Амельчиц, И.Н. Богатко // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. статей 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 13 апреля 2015 года) – Минск: БГУИР, 2015. – С. 297 – 299.

[4-А] Амельчиц, А.Г. TVS-диод как метод защиты полупроводниковых компонентов от воздействия электростатических разрядов / И.В. Ковшик, Е.А. Мурзо, А.Г. Амельчиц // 11-я международная молодёжная научно-техническая конференция "Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2015" – 16-20 ноября 2015 г., Севастополь, Российская Федерация.

[5-А] Амельчиц, А.Г. Воздействие электростатических разрядов на полупроводниковые изделия / С.М. Швед, Е.А. Мурзо, А.Г. Амельчиц, А.Д. Элькинд // 11-я международная молодёжная научно-техническая конференция "Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2015" – 16-20 ноября 2015 г., Севастополь, Российская Федерация.

[6-А] Амельчиц, А.Г. Применение полупроводниковых структур для защиты от электростатического разряда / И.И. Балаш., А.Д. Элькинд, А.Г. Амельчиц // 11-я международная молодёжная научно-техническая конференция "Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2015" – 16-20 ноября 2015 г., Севастополь, Российская Федерация.

РЭЗІЮМЭ

Амельчыц Агдрэй Генадзьевіч

Ацэнка цэласнасці масіваў дадзеных мікракантролераў пасля ўздзеяння электростатычных разрадаў

Ключавыя словы: электростатычны разрад, мікракантролер, кантроль.

Мэта працы: даследаванне ўздзеяння разраду статычнай электрычнасці на інтэгральныя схемы памяці і ацэнка цэласнасці інсталяванага ва ўбудава-ную флэш-памяць праграмага кода.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: прадстаўлены алгарытм кантролю функцыянавання МК пасля ўздзеяння разрадаў статычнай электрычнасці, пабудаваны на базе прадстаўлення доследнага мікракантролера па сродках функцыянальных блокаў. Крытычнае значэнне ўздзейнічае разраду статычнага электрычнасці на кантактныя высновы МК з'яўляецца не гэтак значным паказчыкам, як значэнне напружання, пры якім адбываецца парушэнне выканання праграмаваных функцый. Для вызначэння значэння такіх высілкаў мэтазгодна выкарыстоўваць пакрокавае павышэнне, пры ўмове, што характарыстыкі імпульсу ўздзейнічае разраду аднолькавыя.

У выніку выканання эксперыменту былі атрыманы значэнні высілкаў ўздзейнічае ЭСР з ітэрацыйныя крокам у 100 У пры якіх выяўляліся збоі ў выкананні ТП, а таксама змены ў самым кодзе ПА. Такім чынам, ўздзеянне ЭСР прыводзіць не толькі да фізіка-хімічным зменаў у структуры крышталю МК на ўзроўні ФБ, але і ў самым інсталявана праграмным забеспячэнні.

Ступень выкарыстання: вынікі могуць быць выкарыстаны пры выкладанні курсу «Канструяванне радыёэлектронных прылад».

Вобласць ужывання: паўправадніковая прамысловасць, мікрапрацэсарныя сістэмы.

РЕЗЮМЕ

Амельчиц Андрей Геннадьевич

Оценка целостности массива данных микроконтроллера после воздействия электростатических разрядов

Ключевые слова: электростатический разряд, микроконтроллер, контроль.

Цель работы: исследование воздействия разряда статического электричества на интегральные схемы памяти и оценка целостности установленного во встроенную флеш-память программного кода.

Полученные результаты и их новизна: представлен алгоритм контроля функционирования МК после воздействия разрядов статического электричества, построенный на базе представления исследуемого микроконтроллера по средствам функциональных блоков. Критическое значение воздействующего разряда статического электричества на контактные выводы МК является не столь значимым показателем, как значение напряжения, при котором происходит нарушение выполнения запрограммированных функций. Для определения значения таких напряжений целесообразно использовать пошаговое повышение, при условии, что характеристики импульса воздействующего разряда одинаковы.

В результате выполнения эксперимента были получены значения напряжений воздействующего ЭСР с итерационным шагом в 100 В при которых выявлялись сбои в выполнении ТП, а также изменения в самом коде ПО. Таким образом, воздействие ЭСР приводит не только к физико-химическим изменениям в структуре кристалла МК на уровне ФБ, но и в самом установленном программном обеспечении.

Степень использования: результаты могут быть использованы при преподавании курса «Конструирование радиоэлектронных устройств».

Область применения: полупроводниковая промышленность, микропроцессорные системы.

SUMMARY

Amelchits Andrey Gennadevich

Integrity assessment after solid the microcontroller Electrostatic discharge

Keywords: electrostatic discharge, microcontroller, control.

The object of study: study the impact of static electricity in the integrated circuit memory and evaluation of the integrity of installed in the built-in flash memory code.

The results and novelty: an algorithm for monitoring the functioning of the MC after exposure to static electricity built on the basis of the submission of test tools for the microcontroller functional units. The critical value affecting the discharge of static electricity to the contact pin on the device is not as important an indicator of how the voltage at which the violation is programmed functions. To determine the value of voltage step-up should be used, provided that the characteristics of the same pulse discharge action.

As a result of the experiment were obtained values of the stresses acting ESR with the iterative steps of 100 V at which the identified failures in the implementation of the TA, as well as changes in the software code. Thus, the effect of ESR results not only in physico-chemical changes in the crystal structure at MK FB, but also the installed software.

Degree of use: results can be used in teaching the course « Construction of electronic devices ».

Sphere of application: semiconductor industry, microprocessor-based systems.