

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

УДК 621.3.011.732-049.65

На правах рукописи

МУРЗО
Евгений Александрович

**ЗАЩИТА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СМЕШАННЫХ СИГНАЛЬНЫХ
ЦЕПЕЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО
РАЗРЯДА**

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 Фёдорович

Минск 2016

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

Научный руководитель:

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

Рецензент:

Стемпичкий Виктор Романович, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нано электроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «21» января 2016 г. года в 15⁰⁰ 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.: 293-89-92, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

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

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Современные электронные системы становятся все более восприимчивыми к воздействию статического электричества. Особую опасность для электронных систем представляет разряд статического электричества. Прямое воздействие электростатического разряда на электронные системы заключается в поражении элементов, чувствительных к воздействию электростатического разряда. В связи с техническим прогрессом, уменьшаются размеры функциональных узлов интегральных микросхем, а соответственно, и размеры транзисторов, из которых они состоят. Чем меньше размеры функциональных узлов, тем выше вероятность пробоя слоев кремния, а также обрыва металлических токоведущих дорожек, или образования перемычек между ними.

Новые стандарты высокоскоростной передачи данных, такие как, *USB 3.0*, *eSATA*, *DVI*, *HDMI* и другие, предъявляют более строгие требования к целостности сигнала, чем когда-либо прежде. При этом, перед инженерами-разработчиками возникают такие проблемы, как сохранение стоимости устройства на приемлемом уровне при одновременном удовлетворении растущих требований к скорости передачи данных.

В целях защиты чувствительных электронных систем от необратимого повреждения, в результате воздействия на них электростатического разряда, стало необходимым применение специальных схемотехнических методов защиты, а также применение готовых защитных устройств. Данные защитные устройства, уводят заряд от чувствительных компонентов системы, таких как интегральные микросхемы, высокочастотные интерфейсы ввода/вывода, высокоскоростные сигнальные цепи. При возникновении электростатического разряда, защитное устройство ограничивает напряжение определенным уровнем, а ток разряда отводит на землю. Таким образом, используемое устройство защиты становится первой линией защиты оборудования, а интегральная микросхема, содержащая в своей структуре защиту от электростатического разряда, является второй линией защиты, принимая на себя остаточное явление заряда.

Чтобы правильно выбрать тип устройства электростатической защиты для того или иного применения, необходимо учесть различные факторы. Например, электронные системы, использующие в своей структуре высокоскоростную передачу данных, используют устройства защиты, ёмкость которых должна быть менее 1 пФ, поскольку большая емкость сказывается отрицательно на целостности сигнала, проходящего через высокоскоростные сигнальные цепи.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что на данном этапе развития электронных систем, проблема защиты высокоскоростных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда остаётся актуальной.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований заключается в решении проблемы обеспечения защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда. Контроль над электростатической безопасностью в настоящее время является фундаментальной частью любой деятельности в области изготовления, монтажа, инсталляции и обслуживания изделий электронной техники. Применение методик контроля и схемотехнических методов защиты позволяет выявить опасность возникновения электростатического разряда и оценить эффективность мероприятий по его предотвращению еще на этапе схемотехнического проектирования. Исходя из этого, можно сделать вывод, что выбранная тема диссертации является актуальной.

Практическая ценность работы заключается в предложенной схеме защиты, которая может быть использована на этапе производства электронных систем и тем самым, позволит предотвратить возможные нежелательные последствия воздействия электростатического разряда на высокоскоростные смешанные сигнальные цепи, высокочастотные интерфейсы ввода/вывода данных и цифровые элементы как на этапе производства, так и во время эксплуатации. Это позволит снизить затраты и сократить сроки разработки с учётом необходимых требований, предъявляемых к защите высокоскоростных смешанных сигнальных цепей.

Степень разработанности проблемы

Исследование устройств и методов защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей, высокочастотных интерфейсов ввода/вывода данных широко представлены в работах Б.П. Вонга. Большой вклад в исследование методов защиты электронных систем на этапе схемотехнического и конструкторского проектирования внесли Л.Н. Кечиев и Е.Д. Пожидаев. На сегодняшний день мы можем наблюдать рост скорости передачи данных, а также микроминиатюризацию высокочастотных интерфейсов ввода/вывода данных. Следовательно, предъявляются всё более строгие требования к целостности сигнала. Проблема защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия статического электричества остаётся актуальной.

Цель и задачи исследования

Целью данной диссертационной работы является анализ существующих схемотехнических методов и устройств защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей, а также моделирование новой схемы защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда. Это обеспечит функциональную безопасность высокоскоростных смешанных сигнальных цепей при воздействии электростатического разряда.

Поставленная цель диссертационной работы определяет решение следующих основных задач:

- 1) Анализ воздействия статического электричества на электронные системы.
- 2) Исследование существующих методов защиты электронных систем от воздействия электростатического разряда.
- 3) Моделирование практической схемы защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда.

Объект исследования: электронные средства, содержащие в своей структуре высокоскоростные смешанные сигнальные цепи.

Предмет исследования: физические процессы, протекающие в высокоскоростных смешанных сигнальных цепях вследствие воздействия электростатического разряда.

Область исследования: содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 Компьютерные технологии проектирования электронных систем.

Теоретическая и методологическая основа исследования

Теоретическую основу диссертации составляют результаты исследований отечественных и зарубежных учёных в области защиты электронных систем от воздействия электростатического разряда. Моделирование работы аналоговых и цифровых устройств производилось в системе автоматизированного проектирования *Proteus*.

Информационная база исследования сформирована из нормативно-правовых актов документов органов государственной власти Республики Беларусь, сведений из научных изданий, ресурсов интернет, описания результатов НИР, а также материалов научных изданий, конференций, семинаров.

Научная новизна диссертационной работы заключается в предложенной практической схеме защиты, которая может быть использована ещё на этапе схемотехнической разработки электронных систем, что позволит предотвратить возможные нежелательные последствия воздействия электростатического разряда на высокоскоростные смешанные сигнальные цепи.

Основные положения, выносимые на защиту

- 1) Анализ воздействия статического электричества на электронные системы.
- 2) Методы защиты электронных систем от воздействия электростатического разряда.

- 3) Моделирование практической схемы защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что на основе рассмотренных схмотехнических решений и методов защиты, можно более подробно изучить алгоритм работы защитных устройств и ограничителей перенапряжения.

Практическая значимость работы заключается в предложенной практической схеме защиты, которая может быть использована на этапе производства электронных систем, что позволит предотвратить возможные нежелательные последствия воздействия электростатического разряда на высокоскоростные смешанные сигнальные цепи, высокочастотные интерфейсы ввода/вывода данных и цифровые элементы. Данная методика позволит снизить затраты и сократить сроки разработки с учётом необходимых требований, предъявляемых к защите высокоскоростных смешанных сигнальных цепей.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследований были представлены на 51-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 22-25 апреля 2015 г.); 11-ой международной молодёжно-технической конференции "Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2015", (16-20 ноября 2015 г. Севастополь, Российская Федерация); международной научно-практической конференции на тему "Современные тенденции развития науки и производства" (23-24 октября 2014 г., г. Кемерово, Российская Федерация).

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 6 страниц (авторский объем 5 страниц).

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 102 страницы. Работа содержит 11 таблиц, 35 рисунков. Библиографический список включает 78 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия статического электричества. Определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы цель и задачи работы, 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** рассматривается воздействие электростатического разряда на электронные системы. Рассмотрены три основных способа накопления электростатического заряда: трибоэлектрический, индукционный и ёмкостной.

Рассмотрены три первичные модели разрядов, используемые при разработке методики проведения испытаний электронных систем на воздействие электростатического разряда:

- модель тела человека (*Human Body Model*);
- модель механизма (*Machine model*);
- модель заряженного компонента (*Charged Device Model*).

На рисунках 1, 2 и 3 изображены типовые электрические схемы имитации электростатического разряда на базе каждой из моделей.

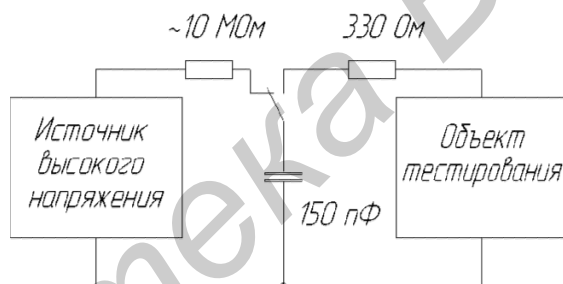


Рисунок 1 — Типовая электрическая схема имитации ЭСР на базе *HBM*-модели

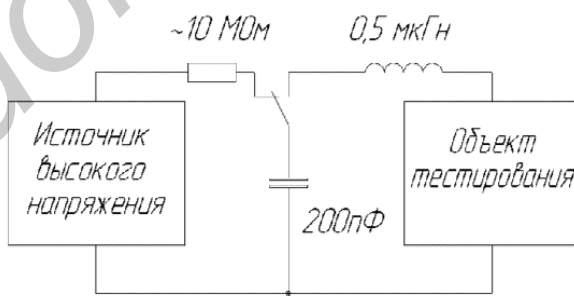


Рисунок 2 — электрическая схема имитации ЭСР на базе *MM*-модели

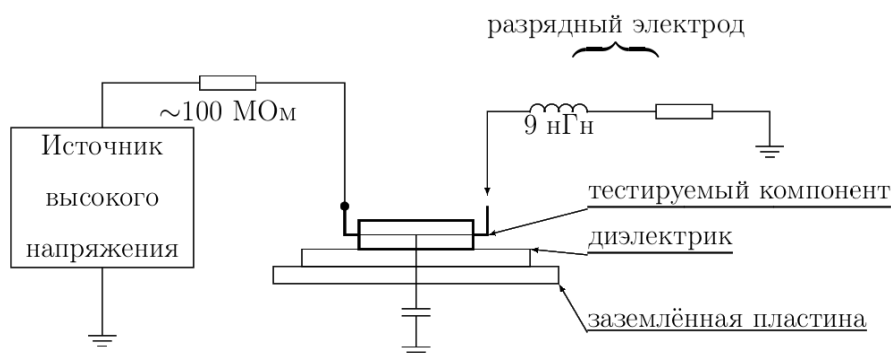


Рисунок 3 — электрическая схема имитации ЭСР на базе *CDM*-модели

Далее были рассмотрены основные способы заземления персонала, используемые на производстве: применение антистатических браслетов, антистатические напольные покрытия и ионизация воздуха.

Во **второй главе** рассмотрены существующие методы защиты электронных систем от воздействия электростатического разряда. Сформулированы основные принципиальные решения на этапе схемотехнического проектирования защиты электронных систем, направленные на обеспечение их стойкости к воздействию электростатического разряда.

Принцип схемотехнической защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от перенапряжений реализуется путем установки фильтров и ограничителей перенапряжений на входе высокочастотных интерфейсов ввода/вывода данных.

Одним из эффективных способов защиты электронных систем от воздействия импульсных перенапряжений и электростатического разряда, является применение ограничителей перенапряжения. Обобщённая схема защиты электронных систем от воздействия импульсных перенапряжений и электростатического разряда изображена на рисунке 4.

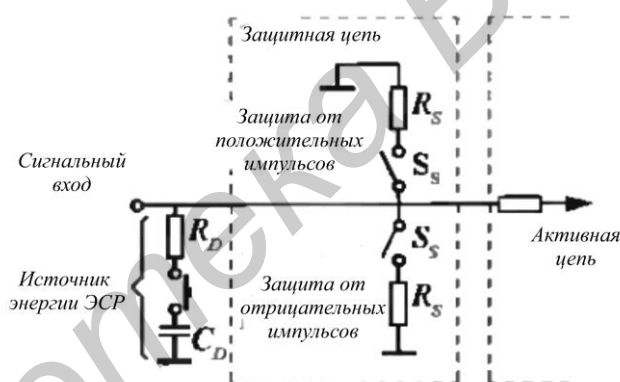


Рисунок 4 — Обобщённая схема защиты ЭС от воздействия импульсных перенапряжений и ЭСР

К основным видам полупроводниковых ограничителей перенапряжений, которые могут быть использованы для ограничения импульсных перенапряжений, вызванных электростатическим разрядом, относятся:

- стабилитроны;
- варисторы;
- лавинные диодные ограничители.

Анализируя информацию, представленную в отечественной и зарубежной литературе, были рассмотрены современные устройства защиты электронных систем от электростатического разряда.

Высокочастотные интерфейсы передачи данных связаны с высокой производительностью и высокой скоростью передачи данных. При высокой скорости передачи данных на первый план выходит проблема сохранения целостности сигнала. Единственным решением в этом случае может быть применение ограничителей перенапряжения с минимальной емкостью, которые подключаются параллельно к линии передачи данных. Этому условию

удовлетворяют только ограничители перенапряжения на полимерных материалах, которые имеют типовое значение емкости 0,05 пФ.

Пример включения ограничителей перенапряжения в шину передачи данных на примере IEEE 1394, показан на рисунке 6.

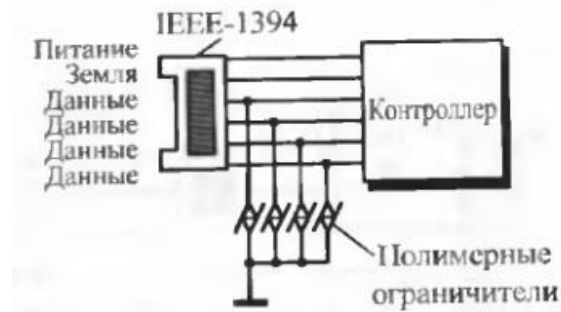


Рисунок 5 — Включение ограничителей перенапряжения в шину передачи данных IEEE 1394

В третьей главе производится моделирование схемотехнического метода защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда.

При моделировании схемотехнических методов защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда, в качестве исследуемого устройства использован высокоскоростной интерфейс *CML* (*Current Mode Logic - CML*). Структура данного интерфейса представляет логическую схему на переключателях тока, которая представляют собой *CML*-логику. Как следует из названия, логические схемы на переключателях тока имеют в своей структуре выходной буфер, переключающий ток. На рисунке 6 показана логическая схема на переключателях тока (*CML*).

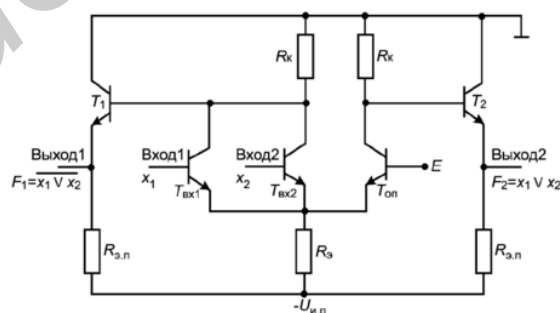


Рисунок 6 — Логическая схема на переключателях тока (*CML*)

Основное преимущество *CML*-логики - способность работать с более низким напряжением сигнала и более высокой частотой, при пониженном напряжении питания. Благодаря своей высокой производительности, она является лучшим выбором при разработке схем защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда.

На рисунке 7 изображена схема двухкаскадного *CML*-фильтра, где используется логическая схема на переключателях тока (*CML*).

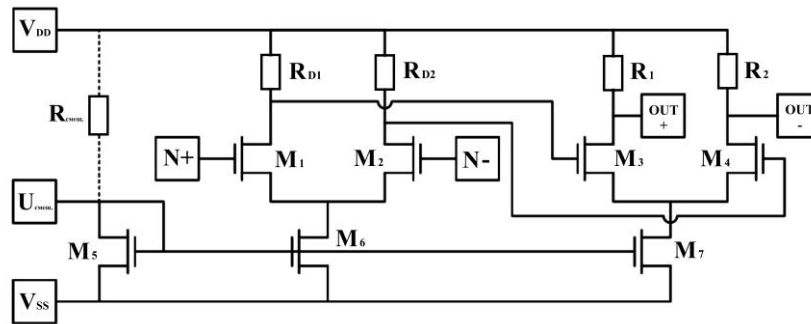


Рисунок 7 — Двухкаскадный CML-фильтр

Чтобы обеспечить более надёжную защиту высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда, для схемы двухкаскадного CML-фильтра (рисунок 7) применяется связка из двух типов защитных схем: схемы защиты на основе МОП-транзисторов и схемы защиты на основе управляемого кремниевого диода (SCR).

На рисунке 8 показана структурная блок-схема защиты двухкаскадного CML-фильтра.

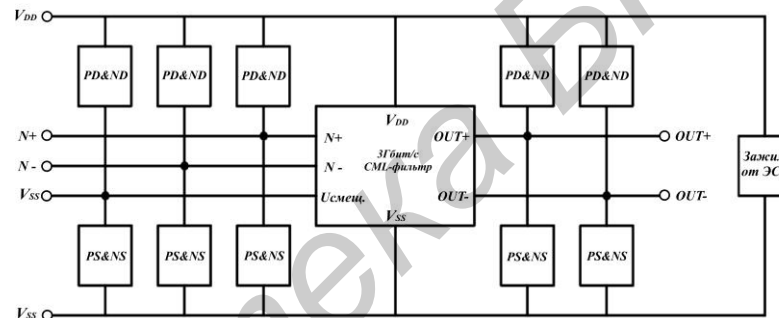


Рисунок 8 — Структурная схема защиты двухкаскадного CML-фильтра

Чтобы сравнить эффективность используемых схемы защиты, которые разработаны на основе МОП- и SCR-структуры, смоделируем два варианта CML-логики. Рассмотрим схему режима полной защиты CML-логики с применением *n*-канальных МОП-транзисторов с низким порогом, изображённую на рисунке 9.

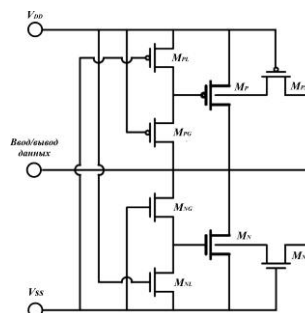


Рисунок 9 — Схема режима полной защиты с применением *n*-канальных МОП-транзисторов с низким порогом

Схема защиты на основе управляемых кремниевых диодов (SCR) состоит из комплементарной пары управляемых кремниевых диодов, защёлкивающихся через подложку, и связкой управляемых кремниевых диодов меж-

ду шинами питания, которые защищают устройство от помех между контактными площадками шин питания V_{DD} .

На рисунке 10 главная защита обеспечивается *SCR*-структурой с низким напряжением срабатывания (*LVTSCR* - *Low Voltage Triggering Silicon Controlled Rectifier*). *LVTSC*-структура срабатывает только для положительных импульсных помех и работает как цепь диод-земля для отрицательных помех. Схема *LVTSC*-структуры с низким напряжением срабатывания изображена на рисунке 10.

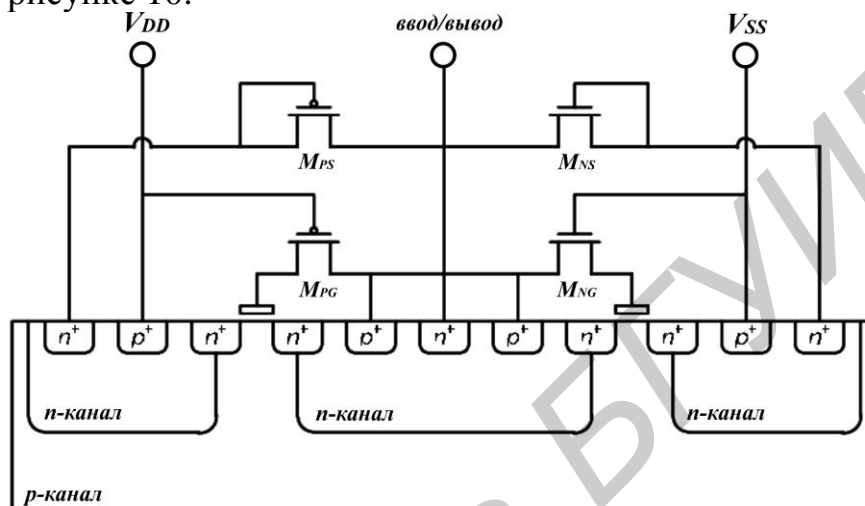


Рисунок 10 — *LVTSC*-структура с низким напряжением срабатывания

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики результатов испытаний *CML*-фильтра без применения защиты, а также *CML*-фильтра с применением защиты от электростатического разряда на основе МОП-транзисторов.

Таблица 1 - Результаты испытаний

Вариант	$U_{\text{вых } p-p}$	Время нарастания	Входное колебание	Выходное колебание
<i>CML</i> -Фильтр	425 мВ	116 пс	0	229 пс
<i>CML</i> -Фильтр + МОП (моделирование)	287 мВ	134 пс	0	3,4 пс
<i>CML</i> -Фильтр + МОП (измерение)	250 мВ	315 пс	7 пс	10,7 пс

Результаты испытаний, приведённые в таблице 1 показывают, что при применении схемы защиты на основе МОП-транзисторов, общая защита *CML*-фильтра ухудшается.

Второй *CML*-фильтр использует в своей структуре схему защиты на базе управляемых кремниевых диодов (*SCR*). Защита от ЭСР будет обеспечиваться через затвор *LVTSC*.

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики результатов испытаний *CML*-фильтра без применения защиты, а также *CML*-фильтра с применением защиты от ЭСР на базе управляемых кремниевых диодов.

Таблица 2 - Результаты испытаний

Вариант	$U_{\text{вых р-р}}$	Время нарастания	Входное колебание	Выходное колебание
<i>CML</i> -фильтр	425 мВ	116 пс	0	229 fs
<i>CML</i> -фильтр + <i>SCR</i> (моделирование)	415 мВ	125 пс	0	338 пс
<i>CML</i> -фильтр + <i>SCR</i> (измерение)	350 мВ	148 пс	7 пс	7,7 пс

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной диссертационной работы являлся анализ существующих методов защиты высокоскоростных смешанных сигнальных цепей и интерфейсов ввода/вывода данных, а также моделирование нового схемотехнического решения для защиты и обеспечения функциональной безопасности высокоскоростных смешанных сигнальных цепей при воздействии электростатического разряда.

На начальном этапе выполнения данной работы был проведен обзор научной литературы и проанализировано воздействие статического электричества на электронные системы.

На втором этапе выполнения данной работы были рассмотрены основные методы защиты электронных систем от воздействия электростатического разряда. При рассмотрении данного вопроса были изучены: методы защиты электронных систем от воздействия электростатического разряда на этапе схемотехнического проектирования; основные типы ограничителей перенапряжений и их использование в структуре электронных систем; современные устройства защиты, а также способы защиты интерфейсов ввода/вывода.

Анализируя полученные данные было разработано две практические схемы защиты *CML*-логики от электростатического разряда: схема защиты на основе МОП-транзисторов, а также схема защиты на основе управляемого кремниевого диода (*SCR*). Проведённые испытания показали, что *SCR*-структура оказывает меньшее влияние на фазовое дрожание цифрового сигнала *CML*-логики, ввиду более меньшей паразитной ёмкости схемы защиты, что обеспечивает целостность цифрового сигнала.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Мурзо Е.А. Особенности проектирования электронных устройств с учётом защиты от перенапряжения и электромагнитных помех/ Е.А. Мурзо, А.Г. Амеличиц, И.Н. Богатко // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств : сб. материалов 51-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 13-17 апреля 2015 года) / Минск : БГУИР, 2015. - С.240.

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

[3-А] Мурзо Е.А. Воздействие электростатических разрядов на полупроводниковые изделия / С.М. Швед, Е.А. Мурзо, А.Г. Амеличиц, 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.

[4-А] Мурзо Е.А. Особенности конструкций СБИС ЗУ с элементами структурно-логической избыточности / А.Г. Амеличиц, Е.А. Мурзо, А.Д. Элькинд // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств : сб. материалов 51-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 13-17 апреля 2015 года) / Минск : БГУИР, 2015. - С.146.

[5-А] Мурзо Е.А. Моделирование встроенных средств защиты от электростатического разряда/ А.Д. Элькинд, Е.А. Мурзо, И.Н. Богатко // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств : сб. материалов 51-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» ((Минск, 13-17 апреля 2015 года) / Минск : БГУИР, 2015. - С.295.

[6-А] Мурзо Е.А. Влияние температуры и влажности окружающей среды на работоспособность полупроводниковых приборов в условиях воздействия электростатических разрядов / А.И. Альхимович, Е.А. Мурзо, И.Н. Богатко // // Современные тенденции развития науки и производства: сб. материалов Международной научно-практической конференции ООО «ЗапСибНЦ» в 4-х томах, Том 3, Кемерово, Россия, 23–24 октября 2014 г. ООО «ЗапСибНЦ» – Кемерово, 2014. – С. 10–13.

РЭЗІЮМЭ

Мурзо Яўген Аляксандравіч

«Абарона высакахуткасных змешаных сігнальных ланцугоў ад ўздзеяння электростатычнага разрада»

Ключавыя словы: статычная электрычнасць, электростатычны разрад, высакахуткасныя змешаныя сігнальныя ланцугі, абмежавальнікі перанапружання.

Мэта работы: мэтай дадзенай працы з'яўляецца аналіз існуючых прылад і метадаў абароны высакахуткасных сігнальных ланцугоў, а таксама распрацоўка новых схематэхнічных рашэнняў для абароны высакахуткасных сігнальных ланцугоў ад ўздзеяння электростатычнага разраду. Гэта забяспечыць функцыянальную бяспеку высакахуткасных сігнальных ланцугоў пры ўздзеянні электростатычнага разраду.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана практычная схема прылады абароны высакахуткасных сігнальных ланцугоў ад ўздзеяння электростатычнага разраду. Праведзеныя выпрабаванні паказалі, што SCR-структура аказвае меншы ўплыў на прадукцыйнасць CML-фільтра, з прычыны меншай паразітнай ёмістасці электростатычнага разраду, што забяспечвае больш надзейную абарону і захаванне цэласнасці сігналу.

Навуковая навізна працы заключаецца ў прапанаванай схеме прылады абароны, якая можа быць выкарыстана яшчэ на этапе схематэхнічнай распрацоўкі электронных сістэм, што дазволіць прадухіліць магчымыя непажаданыя наступствы ўздзеяння электростатычнага разраду на высакахуткасныя змешаныя сігнальныя ланцуга.

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

Вобласць прымянення: паўправадніковая прамысловасць, мікрапрацэсарныя сістэмы.

РЕЗЮМЕ

Мурзо Евгений Александрович

«Защита высокоскоростных смешанных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда»

Ключевые слова: статическое электричество, электростатический разряд, высокоскоростные смешанные сигнальные цепи, ограничители перенапряжения.

Цель работы: целью данной диссертационной работы является анализ существующих устройств и методов защиты высокоскоростных сигнальных цепей, а также разработка новых схемотехнических решений для защиты высокоскоростных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда. Это обеспечит функциональную безопасность высокоскоростных сигнальных цепей при воздействии электростатического разряда.

Полученные результаты и их новизна: разработана практическая схема устройства защиты высокоскоростных сигнальных цепей от воздействия электростатического разряда. Проведённые испытания показали, что *SCR*-структура оказывает меньшее влияние на производительность *CML*-фильтра, ввиду более меньшей паразитной ёмкости электростатического разряда, что обеспечивает более надёжную защиту и сохранение целостности сигнала.

Научная новизна диссертационной работы заключается в предложенной схеме устройства защиты, которая может быть использована ещё на этапе схемотехнической разработки электронных систем, что позволит предотвратить возможные нежелательные последствия воздействия электростатического разряда на высокоскоростные смешанные сигнальные цепи.

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

Область применения: полупроводниковая промышленность, микропроцессорные системы.

SUMMARY

Murzo Yauheni

"Protection of high-speed mixed signal circuits from the effects of electrostatic discharge"

Keywords: static electricity, electrostatic discharge, high-speed mixed signal circuits, surge protectors.

Objective: the aim of this thesis is the analysis of existing devices and methods to protect high-speed signal circuits, and development of new circuit solutions to protect high-speed signal circuits from electrostatic discharge. This will provide functional safety of high speed signal nets under the influence of electrostatic discharge.

The results obtained and their novelty: developed practical circuit protection device high-speed signal circuits from electrostatic discharge. Tests have shown that SCR structure has a smaller effect on the performance of the CML-filter, due to lesser parasitic capacitance electrostatic discharge, which provides greater protection and preservation of signal integrity.

Scientific novelty of the thesis lies in the proposed circuit protection device, which can be used at the stage of schematic design of electronic systems that will prevent possible undesirable effects of electrostatic discharge on high-speed mixed signal circuits.

Extent of use: the results can be used in teaching the course "Designing electronic devices".

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