

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

На правах рукописи

УДК 53.089.62

КОНСТАНТИНОВ
Артем Александрович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИК КАЛИБРОВКИ ИМИТАТОРОВ
ИМПУЛЬСНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПОМЕХ В СООТВЕТСТВИИ С
ТРЕБОВАНИЯМИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ
МЭК 61000-4-4, МЭК 61000-4-5, МЭК 61000-4-11**

АВТОРЕФЕРАТ
магистерской диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

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

Научный руководитель
д-р.техн.наук, профессор
Матюшков В.Е.

Минск 2015

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

Научный руководитель: **Матюшков Владимир Егорович,**
доктор технических наук, профессор, главный инженер ОАО «КБТЭМ-ОМО»

Рецензент: **Полубок Владислав Анатольевич,**
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой МПСС.

Защита диссертации состоится «23» января 2015 г. года в 9⁰⁰ 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, 4 уч.корп., ауд. 804, тел.: 293-89-92, e-mail: kafei@bsuir.by.

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

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем электромагнитной совместимости технических средств является обеспечение их помехоустойчивости, т. е. способности функционировать при воздействии внешних помех искусственного и естественного происхождения. В ближайшее время вся аппаратура промышленного, офисного и бытового назначения должна будет сертифицироваться на устойчивость к воздействию самых разнообразных помех.

Проведённый анализ отечественных и зарубежных источников по тематике электромагнитных помех показывает, что на настоящий момент актуальным является разработка методов моделирования воздействия импульсных помех на РЭС.

Неразрывную связь имеют способы защиты РЭС от ЭМП и методы измерения статических зарядов, полей и потенциалов. Разработка данных методов особенно важна для защиты РЭС от импульсных и динамических помех.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В реальных условиях эксплуатации любое электротехническое, электронное и радиоэлектронное устройство подвергается воздействию внешних электромагнитных помех. Применение радиоэлектронной аппаратуры в неблагоприятной электромагнитной обстановке сопряжено с риском сбоя или полного выхода из строя таких устройств.

Это становится особенно важным, когда от помехоустойчивости используемых систем зависит какой-либо технологический процесс, а его остановка ведет к серьезным убыткам.

Основным методом защиты аппаратуры и кабельных соединений от внешних электромагнитных полей является экранирование, но существующие расчетные методики определения экранного затухания корпусов и помехоустойчивости кабелей оказываются трудно адаптируемыми для практического использования или имеют определенные допущения, что сказывается на точности результата.

Применение методик контроля позволяет выявить опасность возникновения импульсных и динамических помех и оценить эффективность мероприятий по предотвращению помех. Тем самым достигается повышение качества изготовления радиоэлектронной аппаратуры. Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации производимых РЭС к воздействию ЭМП и повышение качества данной аппаратуры относится к приоритетным задачам развития промышленности РБ, и избранная тема является актуальной.

Степень разработанности проблемы

Проблемам защиты от электромагнитных помех посвящено значительное количество монографий и научных публикаций как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Так, Кечиевым Л. Н., Кривовым А. С., Рогинским В.Ю., Кириловым В. Ю., Марченко М. В., Горловым М.А., Строгоновым А.С. и другими авторами были рассмотрены физические основы возникновения импульсных и динамических помех, механизмы их воздействия на электронную аппаратуру, методы и средства ее защиты на стадиях схемотехнического и конструкторского проектирования.

Вместе с тем, несмотря на значительное количество публикаций по данной теме исследования, вопросы, связанные с защитой от импульсных помех остаются до настоящего времени недостаточно изученными. Как следствие, возникает объективная необходимость дальнейшего исследования проблемы обеспечения надёжности функционирования электронных устройств в условиях воздействия электромагнитных помех.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является совершенствование расчетных методов оценки помехоустойчивости радиоэлектронных средств при воздействии импульсных помех и разработка метода имитационного моделирования импульсных помех, воздействующих на цепи радиоэлектронных устройств.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- провести анализ воздействия электромагнитных помех на полупроводниковые изделия;
- провести анализ формирования электростатического разряда для воспроизведения импульсов с напряжением до 4 кВ;
- разработать имитационные методы исследования воздействия импульсных помех на радиоэлектронные средства.

Объектом исследования является имитатор импульсных помех.

Предметом исследования является воздействие импульсных помех на полупроводниковые приборы.

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 базу диссертационного исследования составили научные труды отечественных и зарубежных ученых, теоретические концепции и практические разработки отечественных и зарубежных ученых по проблемам защиты полупроводниковых приборов от электростатического разряда.

Методология исследования основывается на использовании следующих методов:

- математическое моделирование;
- сравнительный анализ результатов расчетов и экспериментальных данных;

В ходе работы использован пакет программ моделирования MATLAB, COMSOL Multiphysics.

Информационная база в качестве основной информационной базы исследования использованы профильные нормативно-справочные материалы, научные исследования, монографические публикации, а так же интернет ресурсы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в результате моделирования было установлено, что микросекундные ИП предлагается рассчитывать с помощью разработанных упрощенных схем замещения, в которых волновые свойства сети эквивалентированы цепями с сосредоточенными параметрами. Величина погрешности расчета амплитуды и длительности помех по сравнению с результатом эксперимента не превышает 20%.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Рассмотренные в работе особенности, методы и средства измерений могут использоваться при проведении испытаний ТС на соответствие требованиям по ЭМС, определении помеховой обстановки, проверке эффективности средств защиты от помех и при калибровке имитаторов помех. В частности, показана возможность и условия появления погрешности до 30% при измерении амплитуды наносекундных ИП.

2. Экспериментальное исследование воздействия импульсных помех на работу микропроцессорных устройств с использованием имитатора импульсных помех.

3. На основании результатов исследований разработана методика и алгоритм обеспечения помехозащищенности РЭС при воздействии кондуктивных импульсных помех, учитывающие все последовательные этапы технических мероприятий ограничения импульсных помех.

Теоретическая значимость результаты и методы рассмотренные в диссертации могут быть полезными как с теоретической, так и с практической точек зрения специалистами в области изучения влияния импульсных помех. Диссертационное исследование способствует дальнейшему развитию исследований по совершенствованию методик моделирования воздействия импульсных помех на радиоэлектронные средства.

Практическая значимость диссертации состоит в совершенствовании расчетных методов оценки помехоустойчивости радиоэлектронных средств при воздействии импульсных помех и разработка метода имитационного моделирования импульсных помех, воздействующих на цепи радиоэлектронных устройств.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были неоднократно представлены на IV меж-

дународной молодежной научно-практической конференции (Научные стремления – 2013), в III молодежной инновационной конференции (Наука и бизнес '13), 49-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2013).

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в четырех опубликованных работах общим объемом 9,0 п.л. (авторский объем 9,0 п.л.).

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 83 страницы. Работа содержит 7 таблиц, 44 рисунка. Библиографический список включает 50 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы по моделированию импульсных и динамических помех, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной 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, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассмотрены механизмы воздействия импульсных помех на радиоэлектронные средства, а также проанализированы методы и средства защиты от импульсных помех.

Электромагнитные помехи возникают вследствие природных явлений или как результат технических процессов. Примерами естественных помех могут служить атмосферные разряды (электромагнитные импульсы, возникающие при ударе молнии) или электростатические разряды (Electro Static Discharge — ESD).

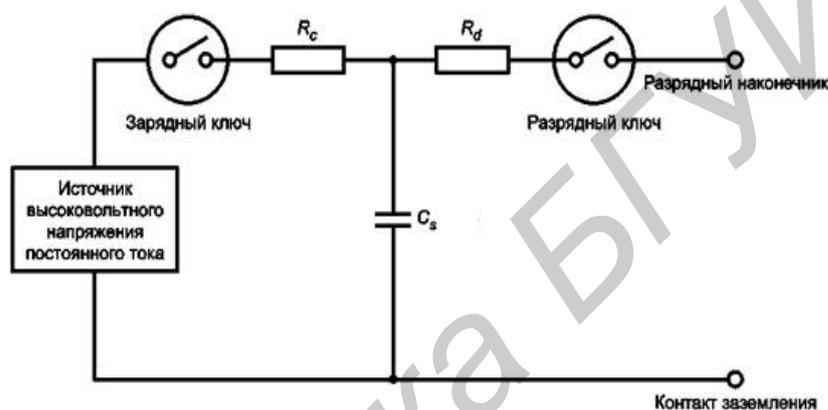
Электромагнитная связь между источником и приёмником помех может возникать в результате:

- гальванической связи (наиболее распространённый случай), которая создаёт симметричные помехи;
- ёмкостной связи, возникающей в результате воздействия переменного электрического поля на паразитные конструктивные ёмкости;
- индуктивной связи, вызванной нахождением проводника, по которому течёт ток, в переменном магнитном поле;

- электромагнитной связи, которая может иметь кондуктивный характер (возникает как наводка на проводники в кабельных жгутах или на проводящие дорожки печатной платы) либо распространяется путём излучения (если ширина зазора между источником и приёмником помехи превышает 0.1 длины волны излучения λ).

Во второй главе приведен анализ формирования электростатического разряда для воспроизведения импульсов с напряжением до 4 кВ.

Для формирования импульсов электростатического разряда используют генератор, упрощенная схема которого приведена на рисунке 2.



R_c – зарядный резистор; C_s – накопительный конденсатор;
 R_d – разрядный резистор

Рисунок 1 – Упрощенная схема испытательного генератора

Разряд создается при замыкании реле внутри генератора. Конструкция специальных реле обеспечивает хорошую воспроизводимость форм разрядного тока. Однако из-за того, что реле является внутренним и не является точкой, в которой испытательный генератор соприкасается с испытуемым техническим средством, появление разрядного тока отличается от возникновения разряда от человека.

В процессе калибровки измеряют горизонтальную составляющую напряженности испытательного поля (при горизонтальном расположении излучающей антенны) и вертикальную составляющую напряженности поля (при вертикальном расположении излучающей антенны).

В третьей главе приведено исследование воздействия импульсных помех на стабильность работы микропроцессорного устройства.

Методы испытаний и формы испытательных импульсов описаны в международных стандартах. Несмотря на то, что генераторы испытательных импульсов являются довольно специфичным оборудованием, все же можно

найти промышленно произведенные экземпляры. В данной диссертационной работе использовались генераторы стандартных импульсов, собранные сотрудниками Омского государственного университета путей сообщения для нужд лаборатории электромагнитной совместимости.

Амплитуда таких помех может достигать нескольких сотен вольт, в зависимости от напряжения питания и допустимого напряжения исток-сток полевого транзистора.

Далее, эта методика была реализована в виде прототипа имитатора помех наносекундной и микросекундной длительности [45]. Структурная схема имитатора приведена на рис 3.1.

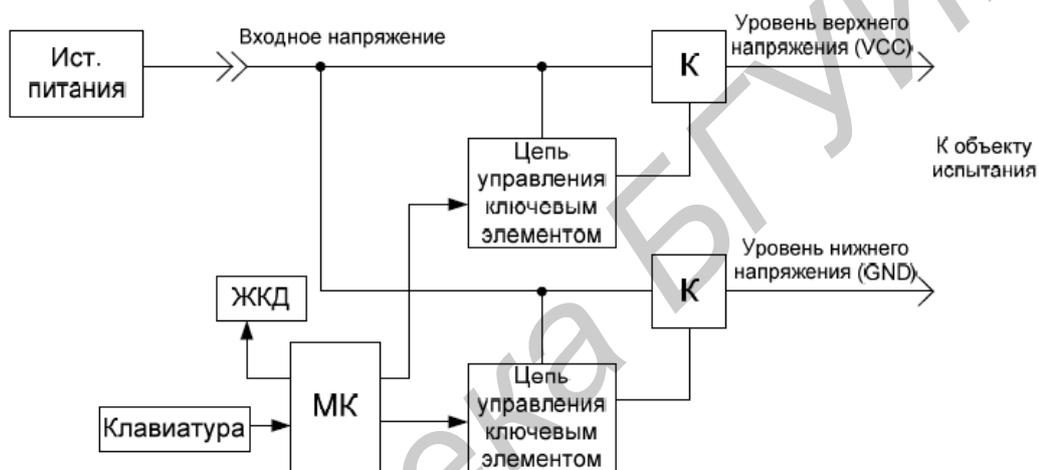


Рисунок 2 - Структурная схема имитатора помех наносекундной и микросекундной длительности

Имитатор состоит из следующих блоков:

- а) источник питания, подключаемый к сети 220 В;
- б) два ключевых элемента, выполненных на основе МОП-транзисторов;
- в) два блока управления ключевым элементом, представляющих собой коммутируемые резистивные матрицы;
- г) микроконтроллер, управляющий процессом генерации импульсов;
- д) клавиатура управления;
- е) жидкокристаллический дисплей.

Структурная схема возможного подключения имитатора помех к объекту испытания показана на рисунке 3.

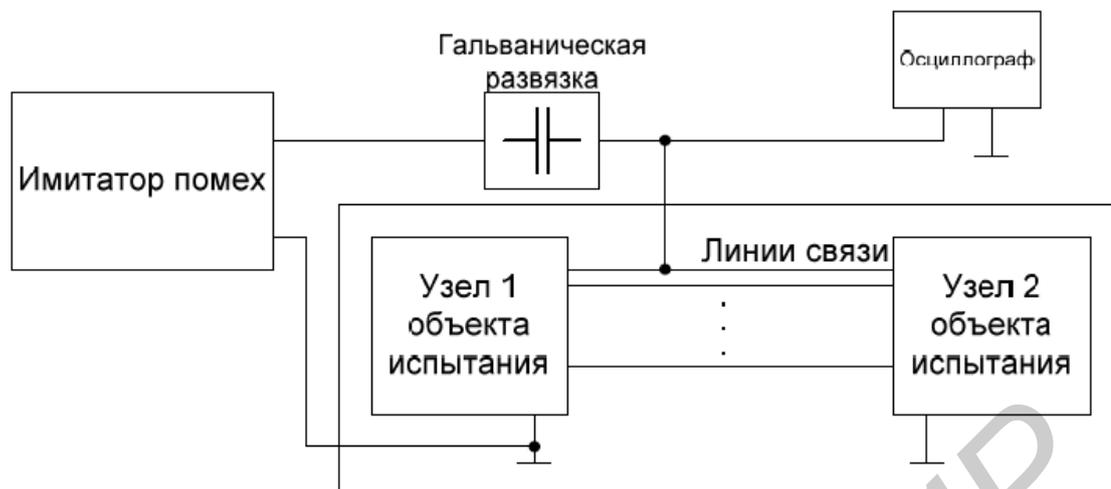


Рисунок 3 - Подключение имитатора помех к объекту испытания

Микросекундные ИП ослабляются LC-фильтром с приемлемыми значениями индуктивности и емкости лишь в несколько раз, а фильтр с малыми значениями L и C дает увеличение помехи.

Наносекундные ИП могут быть ослаблены в десятки-сотни раз с помощью фильтров, выполненных на элементах с малыми значениями паразитных параметров.

При паразитной емкости катушки индуктивности более 10 пФ или паразитной индуктивности конденсатора более 1 нГн коэффициент вносимого затухания фильтра не превосходит 10 раз.

В приложениях приведены 2 схемы, 3 графика и 2 рисунка

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Импульсные помехи, возникающие в радиоэлектронных приборах, содержат компоненты как микросекундного диапазона длительностей, так и длительностью в десятки-сотни наносекунд. Наносекундные ИП могут быть рассчитаны методом распространяющихся волн на основании приведенных в работе выражений.

Микросекундные ИП предлагается рассчитывать с помощью разработанных упрощенных схем замещения, в которых волновые свойства сети эквивалентированы цепями с сосредоточенными параметрами. Величина погрешности расчета амплитуды и длительности помех по сравнению с результатом эксперимента не превышает 20%.

Микросекундные ИП ослабляются LC-фильтром с приемлемыми значениями индуктивности и емкости лишь в несколько раз, а фильтр с малыми значениями L и C дает увеличение помехи.

Наносекундные ИП могут быть ослаблены в десятки-сотни раз с помощью фильтров, выполненных на элементах с малыми значениями паразитных параметров. При паразитной емкости катушки индуктивности более 10 пФ

или паразитной индуктивности конденсатора более 1 нГн коэффициент вносимого затухания фильтра не превосходит 10 раз.

Приведенные графики позволяют быстро оценить значения параметров элементов фильтра, обеспечивающих требуемое затухание ИП. Необходимо учитывать возможное снижение коэффициента при реальных значениях параметров сети и защищаемого оборудования.

Список опубликованных работ

[1.А] Константинов А.А., Электромагнитная совместимость импульсных источников питания / А.А. Константинов // IV Международная молодежная научно-практическая конференция «Научные стремления – 2013». – 2013.

[2.А] Константинов А.А., Методы защиты от импульсных помех / А.А. Константинов // III Молодежная инновационная конференция «Наука и бизнес '13». – 2013.

[3.А] Константинов А.А., Лисовский А.А. Воздействие импульсных помех на стабильность работы микропроцессорных устройств / А.А. Константинов, А.А. Лисовский // III Международная конференция молодых ученых «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества». – 2013.

[4.А] Константинов А.А., Лисовский А.А. Защита линий передачи данных от импульсных помех / А.А. Константинов, А.А. Лисовский // V Международная научная конференция «Интеграция теории и практики мирового научного знания в XXI веке». – 2013.