

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

УДК _____

Шлома
Сергей Леонидович

Восприимчивость полупроводниковых приборов и интегральных микросхем
к воздействию ВЧ и СЧВ помех

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 02 «Радиотехника, в том числе системы и устройства
радионавигации, радиолокации и телевидения»

Научный руководитель
Титович Николай Алексеевич
кандидат технических наук, доцент

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

По мере расширения сферы применения радиоэлектронных средств, основными элементами которых являются полупроводниковые приборы и микросхемы, все большую актуальность приобретают вопросы обеспечения защиты радиоаппаратуры от влияния ВЧ и СВЧ электромагнитных помех. С одной стороны, это связано с усложнением электромагнитной обстановки, увеличением числа и мощности источников преднамеренных и непреднамеренных помех, с другой – с ростом степени интеграции цифровых и аналоговых микросхем и, как следствие, их уязвимости к ВЧ и СВЧ наводкам.

Одной из важнейших проблем, которые необходимо решать разработчикам современных радиоэлектронных систем, является обеспечение надежной работы радиоаппаратуры в условиях воздействия электромагнитных помех.

В сложной помеховой обстановке традиционные меры защиты (экранирование, фильтрация и др.) оказываются нередко малоэффективными и связаны с увеличением габаритов и веса радиоаппаратуры. Радиопомехи проникают в аппаратуру через отверстия для вентиляции и индикации, по сигнальным проводам, шинам питания и заземления, диффундируют через экраны. Поэтому важно еще на стадии проектирования оценивать уровни воздействующих ЭМП и степень восприимчивости ПП и ИМС к их действию. Выбирая менее восприимчивую элементную базу и рационально применяя известные методы снижения влияния радиопомех в наиболее уязвимых цепях радиоэлектронных устройств, можно значительно повысить их помехоустойчивость, обеспечив заданные габаритно-весовые показатели. Такой подход позволяет уменьшить затраты на обеспечение нормальной работы устройства на этапе эксплуатации.

Опыт, накопленный отечественными и зарубежными специалистами, показывает, что помехоустойчивость РЭС в конечном итоге определяется помехоустойчивостью её элементной базы. Этим и обусловлена необходимость проведения исследований влияния помех на работоспособность полупроводниковых приборов и интегральных схем, как наиболее уязвимых элементов, а также разработки мер по снижению их восприимчивости к действию ЭМП.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель работы: разработка критериев и методики проведения испытаний влияния ВЧ и СВЧ помех на работоспособность ПП и ИМС.

Задачи исследования:

1 Анализ вероятной помеховой обстановки в зоне работы специальной, промышленной и бытовой РЭА. Оценка уровней наводок в цепях РЭА.

2 Анализ процессов, происходящих в ПП и ИМС при воздействии помех.

3 Обоснование метода подачи помехового воздействия, разработка схем и оборудования для имитации воздействия ВЧ и СВЧ помех.

4 Выбор критериев оценки восприимчивости и разработка методики исследования влияния ВЧ и СВЧ помех на работоспособность ПП и ИМС.

Объект исследования: полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы.

Предмет исследования: воздействие ВЧ и СВЧ электромагнитных помех на работоспособность ПП и ИМС.

Личный вклад автора выражен в:

– исследовании проблемы повышения помехоустойчивости РЭС и анализе эффективности существующих методов повышения помехоустойчивости РЭС;

– обзоре существующих методов исследования помехоустойчивости ИС;

– разработке методики оценки восприимчивости элементов РЭС и макета для проведения исследований;

– исследовании влияния электромагнитных помех на работоспособность ПП и ИМС;

– разработке эффективных методов улучшения параметров ЭМС РЭА и путей дальнейших исследований восприимчивости более сложных микроэлектронных устройств.

Результаты исследований, представленные в данной диссертации, позволяют разработчику РЭА еще на стадии проектирования оценивать уровни воздействующих ЭМП и степень восприимчивости ПП и ИМС к их действию. Выбирая менее восприимчивую элементную базу и рационально применяя известные методы снижения влияния радиопомех в наиболее уязвимых цепях РЭА, можно значительно повысить их помехоустойчивость.

Материалы диссертации докладывались на 53-й и 54-й научных конференциях аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, БГУИР), а также на 14-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ-2018» (Севастополь, СевГУ).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении указана цель данной работы, обоснована ее актуальность и практическая ценность полученных результатов. Приведены основные факторы, которые обуславливают повышенный интерес к проблеме обеспечения помехоустойчивости полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

В первой главе рассматриваются вопросы актуальности проблемы повышения помехоустойчивости радиоэлектронных средств, интерес к которым обусловлен рядом основных тенденций в развитии современной радиоэлектроники.

В разделе 1.1 рассматривается усложнение электромагнитной обстановки как следствие экспоненциального роста числа, многообразия и сложности РЭС; усложнения самих РЭС, которые, как правило, состоят из множества узлов и аппаратуры различного функционального назначения; и непрерывного роста степени интеграции интегральных схем, что в свою очередь приводит к снижению их рабочих напряжений и токов, и, как следствие, их повышенной чувствительности к внешним помехам.

Раздел 1.2 посвящен определению пороговых значений нежелательных электромагнитных воздействий, приводящих к сбою в работе ПП или ИС.

Во второй главе проводится анализ эффективности существующих методов повышения помехоустойчивости РЭС.

В разделе 2.1 рассматриваются вопросы защиты РЭС от помех на уровне комплексов и систем, уделяя внимание системным (организационным) методам защиты, которые проводятся обычно на стадии эксплуатации или испытаний РЭС и заключаются в соблюдении регламента радиосвязи, выполнении установленных требований по допустимым уровням побочных излучений, оптимальном расположении РЭС на местности и т.п.

В разделе 2.2 рассматриваются методы повышения помехоустойчивости РЭС на уровне устройств и цепей, среди которых особое внимание уделяется методам обеспечения помехоустойчивости при конструировании печатных плат, методам обеспечения помехоустойчивости при разработке блоков питания; методам защиты от помех при компоновке и прокладке соединительных кабелей, а также обеспечению помехоустойчивости при конструировании корпуса блока РЭС.

В разделе 2.3 рассматривается обеспечение помехоустойчивости РЭС с помощью экранирования, которое является конструктивным средством локализации электромагнитного поля помех в пределах определенного пространства и предназначено для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем.

В разделе 2.4 приведены результаты исследования зависимости эффективности экранирования экранов $A_{\text{экр}}$ от частоты ЭМП (f), толщины (d) и типа (m) экрана, типа материала экрана, размеров отверстий и щелей.

В третьей главе приводятся результаты влияния электромагнитных помех на работоспособность полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: изменение характеристик полупроводниковых диодов, транзисторов, операционных усилителей, логических элементов (ЛЭ), интегральных схем и микропроцессоров; возникновение обратимых и необратимых отказов микросхем; повреждения элементов на кристалле ИМС (повреждения компонентов, повреждения монтажных соединений, повреждения элементов кристалла ИМС).

В четвертой главе рассматриваются методы измерения помехоустойчивости интегральных схем.

В разделе 4.1 описываются нормы и стандарты электромагнитной совместимости, которые определяют методику испытаний электрических устройств на ЭМС путем установки критериев, на основании которых может быть сделан вывод, что испытываемые устройства удовлетворяют требованиям ЭМС.

В разделе 4.2 описывается стандарт *IEC 62132*, который определяет методы измерения помехоустойчивости интегральных схем, уделяя внимания методу *ТЕМ*-камеры (*IEC 62132-2*), методу инъекции объёмного тока (*IEC 62132-3*), методу прямого введения мощности (*IEC 62132-4*) и стендовому методу с применением клетки Фарадея (*IEC 62132-5*).

В пятой главе осуществляется разработка методики оценки восприимчивости элементов РЭС и макета для проведения исследований.

В разделе 5.1 осуществляется выбор и обоснование метода подачи помехового воздействия на исследуемую интегральную схему, руководствуясь следующими основными критериями: получение максимума информации об изменении характеристик и параметров ПП и ИС в условиях действия помех; достоверность получаемой информации, т.е. точность определения уровней воздействующих помеховых сигналов и значений контролируемых параметров; минимизация затрат на проведение исследований; приближение условий эксперимента к реальной помеховой обстановке.

В разделе 5.2 осуществляется выбор и обоснование критериев оценки восприимчивости ПП и ИС к воздействию ЭМП («достоверный сбой» и «вероятный сбой»).

В разделе 5.3 осуществляется разработка структурной схемы для оценки восприимчивости логических элементов к воздействию ЭМП и схемы для оценки изменения среднего времени задержки распространения ЛЭ.

В разделе 5.4 приводится порядок и методика проведения испытаний, а также параметры, которые необходимо контролировать в ходе проведения испытаний.

В разделе 5.5 приводится анализ результатов оценки восприимчивости ИМС и зависимости изменения среднего времени задержки распространения ЛЭ от уровня и частоты помехового сигнала.

В разделе 5.6 описываются пути повышения эффективности проектирования помехоустойчивых радиоэлектронных систем с точки зрения системного подхода к проектированию РЭС.

В разделе 5.7 перечислены основные задачи дальнейших исследований по повышению помехоустойчивости элементной базы РЭС: обобщение результатов экспериментальных исследований восприимчивости ПП и базовых логических элементов ИМС к воздействию ЭМП; анализ существующих моделей, описывающих воздействие ВЧ и СВЧ помех на ПП и базовые элементы ИМС; исследование зависимости восприимчивости ИС от конструктивного исполнения и разработка конструкторских методов повышения их помехоустойчивости; исследование влияния технологии изготовления ИС и их элементов на помехоустойчивость; разработка универсальных моделей для описания влияния ВЧ и СВЧ помех на сложные микроэлектронные устройства: микропроцессоры, БИС и СБИС; экспериментальная проверка полученных результатов расчета путем испытаний работы ИМС методом облучения электромагнитным полем помехи.

В заключении приводятся результаты полученных исследований и их значимость для разработчиков РЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ большого числа литературных источников, проведенный в ходе выполнения данной работы, позволяет утверждать, что вопрос обеспечения помехоустойчивости элементной базы РЭС сегодня весьма актуален. При разработке методов повышения надежности и качества ИС следует применять системный подход, т.е. учитывать опыт борьбы с помехами на более низких иерархических уровнях, а также рассматривать схемные, конструктивные, технологические и системные меры в комплексе.

Результаты исследований представляют интерес для разработчиков РЭС и элементной базы, устойчивых к воздействию помех. В то же время они позволяют определить задачи дальнейших исследований в этой области, основными из которых являются:

1 Дальнейшие исследования восприимчивости ПП и базовых элементов ИС к воздействию ЭМП. В продолжение проведенных ранее работ, посвященных оценке влияния непрерывных ВЧ и СВЧ помех, импульсных помех, необходимо рассмотреть действие радиоимпульсных ВЧ и СВЧ ЭМП, широкого спектра промышленных помех, ЭМИ. Полученные результаты следует обобщить в виде справочно-методического пособия. Используя такой материал, разработчик может выбирать менее восприимчивую элементную базу для построения блоков и узлов РЭС, а также выявить наиболее уязвимые цепи ПП и ИС, оценить зависимость восприимчивости от частоты с целью более рационального применения традиционных методов защиты.

2 Разработка универсальных расчетных моделей прогнозирования влияния ЭМП на сложные микросистемные устройства, достаточно точно описывающих: воздействие ЭМП на ПП и элементы, расположенные на кристалле ИМС; распределение электромагнитных полей в корпусе ИМС; влияние внешних и взаимных помех по сигнальным цепям, цепям питания и заземления.

3 Разработка методики исследования влияния ЭМП на сложные микросистемные устройства с целью проверки достоверности результатов моделирования.

4 Создание справочного пособия по восприимчивости к воздействию ЭМП как простейших, так и сложных микросистемных устройств.

Решение этих и ряда других вопросов позволит вооружить разработчиков современной РЭС и элементной базы конкретными рекомендациями по обеспечению высокой помехоустойчивости.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А.] Шлома, С.Л. Исследование влияния электромагнитных помех на работоспособность цифровых микросхем / С.Л. Шлома, Н.А. Титович // 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР: Тезисы докл. – Минск, 2018. – С. 130 – 131.

[2-А.] Шлома, С.Л. Влияние электромагнитных помех на восприимчивость цифровых микросхем / С.Л. Шлома, Н.А. Титович // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ-2018»: Материалы 14-й международной молодежной научно-технической конференции – Севастополь, 2018. – С. 63.