

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Комнатнова Максима Евгеньевича**
"Методы проектирования экранирующих конструкций,
шин электропитания и устройств для испытаний
радиоэлектронных средств на электромагнитную совместимость
с учётом дестабилизирующих воздействий",

представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

1. Актуальность темы диссертационной работы

Борьба с электромагнитными помехами всегда остается востребованной при создании и применении различных видов радиоэлектронных средств (РЭС). Хотя в этой области достигнут определенный прогресс, стремление к компактности, малому энергопотреблению и расширению сфер применения электронных устройств приводит к их большей восприимчивости к помехам. В этих условиях возрастает потребность в разработке новых методов и средств защиты современных радиоэлектронных средств от помех при обеспечении электромагнитной совместимости (ЭМС). В этой связи актуальность темы диссертационной работы Комнатнова А.В. не вызывает сомнений.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация содержит введение, 6 разделов, заключение, список литературы из 789 наименований и приложение. Объем – 520 страниц основного текста, включая 383 рисунка и 22 таблицы.

В *первом разделе* рассмотрены методы проектирования экранирующих конструкций РЭС. Описаны методы и способы проектирования помехозащищенных СШЭП. Представлены методы и способы проектирования РЭС с учетом дестабилизирующих воздействий и сформулированы цель и задачи работы.

Во *втором разделе* представлены разработанные устройства для исследований и испытаний объектов в области ЭМС, с возможностью проведения испытаний при дестабилизирующих воздействиях, а также исследований по влиянию ЭМИ на биологические объекты.

В *третьем разделе* представлены разработанные модели, методики, методы и средства проектирования экранирующих конструкций РЭС с учетом дестабилизирующих воздействий.

В *четвертом разделе* представлены разработанные методы проектирования и способы изготовления помехозащищённых силовых линий передач, для больших токов постоянного или переменного напряжения, от одного или нескольких источников к одному или нескольким потребителям электроэнергии.

В *пятом разделе* приведены модель для оценки уровня наведённого тока на объект испытаний, методики измерения уровня излучаемых помех и помехоустойчивости интегральных схем, метод выявления и исправления ошибок данных в памяти микроконтроллера после воздействия помех, а также проведен ряд экспериментальных исследований излучаемых помех и помехоустойчивости МК.

В *шестом разделе* приведены результаты оценки влияния температуры на экранирующие свойства электромагнитных барьеров, разработки модели и методики учета воздействия температуры и влажности окружающей среды на характеристики микрополосковой линии, а также методики измерения уровней излучаемых помех и помехоустойчивости интегральной схемы в ТЕМ-камере при температурном воздействии.

3. Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций

1. Созданы устройства для испытаний РЭС на ЭМС, обеспечивающие возможность имитации и оценки электромагнитных помех в широких диапазонах частот и температур.
2. Предложен метод оптимального проектирования многоуровневых экранирующих конструкций РЭС на основе оригинальных аналитических моделей и методик измерения эффективности экранирования используемых материалов и частотно-селективных структур.
3. Предложены методы проектирования помехозащищённых линий передачи повышенной электрической мощности спирального или прямоугольного поперечного сечения из двух и более электропроводящих слоёв с разнородным диэлектрическим заполнением и электромагнитными связями между слоями, уменьшающими паразитные параметры, и внешнего электромагнитного экрана из металлизированной ткани.
4. Предложены методики оценки помехоэмиссии и помехоустойчивости интегральной схемы с учетом ее угла поворота относительно центрального проводника в ТЕМ-камере на заданное значение, наведенных токов на микрополосковую линию и устойчивости к импульсному электромагнитному излучению (ЭМИ), создаваемому внутри ТЕМ-камеры при воздействии на её вход сигнала от генератора сверхкороткого импульса или имитатора электростатического разряда.
5. Предложен метод уменьшения уровней излучаемой помехи и восприимчивости микроконтроллера путем использования слоистого электромагнитного

экрана из тканного, композитного и металлического материалов и специальных программных средств для обнаружения и восстановления работоспособности после сбоя.

4. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, выдвигаемых автором, подтверждаются использованием метрологически аттестованного оборудования; корректным применением теории многопроводных линий передачи; согласованностью результатов моделирования и эксперимента.

5. Практическая значимость результатов работы

В ходе диссертационных исследований решены конкретные практические проблемы, связанные с разработкой предложенных в диссертационной работе моделей, методик, прототипов устройств и специального программного обеспечения.

Соответствующие результаты внедрены в ряде организаций: АО «РЕШЕТНЕВ», г. Железногорск; Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск; Томский государственный университет (ТГУ); НИИ прикладной математики и механики при ТГУ, г. Томск. Результаты работы используются в учебном процессе при подготовке бакалавров, специалистов и магистров в ТГУ и Томском университете систем управления и радиоэлектроники.

Результаты диссертационной работы использованы при выполнении большого количества НИР, поддержанных в рамках федеральных целевых программ, Российским научным фондом, договоров с промышленными предприятиями и др.

6. Полнота опубликования результатов работы, соответствие автореферата содержанию диссертации

По теме диссертации опубликованы 182 работы, в том числе: 31 – в журналах из списка ВАК, 5 статей в журналах, индексируемых WoS и (или) Scopus; 40 докладов в трудах конференций, индексируемых в WoS и (или) Scopus; 63 доклада в трудах других конференций; 11 патентов на изобретение; 29 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ; 1 монография. Материалы диссертации достаточно полно изложены в опубликованных работах.

Автореферат правильно отражает содержание и основные положения диссертации.

7. Замечания по диссертации и автореферату

1. Вторая глава диссертации посвящена разработанным автором прототипам устройств для испытаний на электромагнитную совместимость при дестабилизирующих воздействиях. Для разработанных устройств в работе приведены только технические характеристики. К сожалению, в этой главе, как и во всей диссертации, нет ни одного упоминания такого понятия, как "метрологическая характеристика", хотя в состав испытательного оборудования обязательно входят средства измерения, для которых метрологические характеристики являются основными функциональными показателями.

2. В диссертационной работе не уделено должного внимания анализу погрешностей разработанных как аппаратно-программных комплексов, так и методик, многие из которых являются, по сути, методиками выполнения измерений. В частности, методики измерения помехоэмиссии и помехоустойчивости интегральных схем, по-видимому, требуют оценки допустимого отклонения воспроизведения условий испытаний.

3. Разработанные автором аппаратно-программные комплексы для испытаний радиоэлектронных средств на электромагнитную совместимость, вообще говоря, подлежат обязательной аттестации как испытательное оборудование (см. ГОСТ Р 8.568-2017 "ГСИ. Аттестация испытательного оборудования"). Упоминания о такой перспективе в диссертации отсутствуют.

4. В п. 4 раздела автореферата "Положения, выносимые на защиту" есть фраза: "Предложенные методики, использующие устройства на основе линий передачи, позволяют аналитически с разницей до 29% оценить наведенные на микрополосковую линию токи...". Непонятно, о какой "разнице" здесь идет речь. Поиск этой фразы в основном тексте диссертации результатов не дал.

5. Автор слишком часто прибегает к использованию сокращений и заменяет понятия их обозначениями, что не способствует повышению легкости восприятия читателем материала диссертации. Например, "Поскольку индуктивность запасает энергию магнитного поля, то энергия воздействия ЭСР по ММ выше, чем по МЧТ" или "...в которой $E < 600$ В/м может воздействовать на ИО".

В целом замечания не снижают научной ценности и практической значимости проведенного исследования.

8. Заключение

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом на актуальную тему, выполненным автором самостоятельно на высоком научном и методическом уровне. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Диссертационная работа содержит рисунки, графики, обобщения в виде схем и таблиц, необходимые расчёты. Она написана технически грамотно и аккуратно оформлена.

Диссертация отвечает требованиям п. 9 "Положения о присуждении учёных степеней", а её автор Комнатнов М.Е. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Даю согласие на обработку моих персональных данных

Профессор отделения автоматизации и робототехники
Инженерной школы информационных технологий и робототехники
Томского политехнического университета,
доктор технических наук, профессор



Муравьев Сергей Васильевич

Полное наименование организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Ф.И.О.: Муравьев Сергей Васильевич

Должность: профессор отделения автоматизации и робототехники

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ОАР

Телефон: +7 3822 701 777 доб. 2776

Эл. почта: muravyov@tpu.ru

21.03.2025 г.

Подпись Муравьева С.В. заверяю:

И.о. ученого секретаря Ученого совета

В.Д. Новикова

