

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ТУСУР

кандидат технических наук, доцент

Виктор Михайлович Рулевский



«12» 10 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Диссертация «Совершенствование камер для испытаний на электромагнитную совместимость» выполнена в ТУСУРе на кафедре телевидения и управления (ТУ).

В период подготовки диссертации соискатель Демаков Александр Витальевич обучался в очной аспирантуре ТУСУРа.

Демаков А.В. проходил обучение в 2012–2018 гг. на радиотехническом факультете ТУСУРа по направлению 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2019 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Научный руководитель – Газизов Тальгат Рашитович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра телевидения и управления, заведующий.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Демакова Александра Витальевича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной и актуальной задачи совершенствования камер для испытаний радиоэлектронных средств на электромагнитную совместимость.

Актуальность темы

Обеспечение устойчивой работы радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения в условиях внешних электромагнитных воздействий является ключевой задачей их проектирования. Данное требование актуально в связи с неуклонным ростом частот полезных сигналов, интеграцией элементной базы, ростом плотности монтажа печатных плат (ПП) и снижением уровней питающих напряжений. Использование полупроводниковых компонентов и интегральных схем (ИС) позволяет многократно увеличить производительность, а также снизить массогабаритные показатели РЭС, при этом увеличивая их восприимчивость

к электромагнитному полю (ЭМП). В связи с этим к современным РЭС предъявляются все более жесткие требования электромагнитной совместимости (ЭМС). Рост рабочих частот и неуклонное развитие источников СВЧ-излучения приводят к необходимости совершенствования методов и устройств для проведения актуальных испытаний РЭС на ЭМС в широких диапазонах параметров воздействий.

Личное участие автора в получении результатов

Научные результаты, представленные в диссертации, получены автором. Постановка цели работы и задач исследования, анализ результатов моделирования и эксперимента, а также формулировка основных результатов и выводов выполнена совместно с научным руководителем. Основной объем моделирования выполнен соискателем лично, часть моделирования выполнена со студентами под руководством соискателя. Экспериментальные исследования проведены лично или с непосредственным участием соискателя. В опубликованных работах [1, 3, 7] соискателем выполнены моделирование и разработка устройства на основе линии передачи для испытаний на ЭМС. В работах [2, 5, 9, 10, 13] соискателем выполнены обзор и разработка математической модели реверберационной камеры, тестирование модели выполнено совместно с авторами публикаций. В работах [6, 8, 11, 12] соискателем выполнен обзор экранирующих материалов, разработка усовершенствованной коаксиальной камеры выполнена совместно с соавторами. Список публикаций соискателя прилагается к данному заключению.

Степень достоверности результатов работы

Достоверность результатов основана на корректном использовании численных методов, а также на согласованности результатов: квазистатического и электродинамического подходов, моделирования и натурального эксперимента.

Научная новизна диссертации

1. Разработана и создана ТЕМ-камера для оценки уровня помехоэмиссии и помехоустойчивости интегральных схем, отличающаяся оптимизированной формой согласующих переходов, обеспечивающей требуемое стандартами испытаний значение модуля коэффициента отражения в диапазоне рабочих частот до 5,3 ГГц.

2. Предложена и разработана усовершенствованная конструкция коаксиальной камеры, отличающаяся оптимизированной формой согласующих переходов без учета образца материала и использованием нового подхода к измерению эффективности экранирования композитных экранирующих материалов с ее помощью в диапазоне частот до 10 ГГц.

3. Разработана математическая модель для вычисления напряженности электрического поля в рабочей зоне реверберационной камеры, отличающаяся использованием аналитических выражений.

Практическая значимость

1. Разработаны электродинамические и твердотельные модели ТЕМ-камеры с оптимальными геометрическими размерами, на основе которых может быть изготовлена ТЕМ-камера для испытаний ИС с высотой профиля не более 5 мм.

2. Разработан лабораторный макет ТЕМ-камеры, позволяющий проводить испытания ИС с высотой профиля не более 5 мм в диапазоне частот до 5,3 ГГц согласно стандартам на помехоэмиссию и помехоустойчивость.

3. Разработаны твердотельные модели коаксиальных камер, на основе которых могут быть изготовлены камеры для измерения эффективности экранирования планарных образцов композитных радиопоглощающих материалов в диапазоне частот до 10 ГГц.

4. Выполнена программная реализация модели распределения электрического поля в реверберационной камере, которая позволяет выполнить приближенную и быструю оценку среднеквадратичного отклонения напряженности электрического поля в рабочей зоне.

Ценность научных работ соискателя

Научные работы соискателя имеют высокую ценность. Она подтверждается многочисленными публикациями их результатов в рецензируемых журналах и материалах конференций.

Использование результатов исследования

1. НИР «Выявление новых подходов к совершенствованию моделирования и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры» в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности, проект 8.9562.2017, 2017–2019 гг.

2. ПНИ «Теоретические и экспериментальные исследования по синтезу оптимальной сети высоковольтного электропитания для космических аппаратов федеральная целевая программа» в рамках исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы, проект ФЦП 34/17, 2017–2020 гг.

3. НИР «Исследование эффективности экранирования композитных материалов для их применения в составе экранирующих конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры современных космических аппаратов», грант РФФИ 18-38-00619, 2018–2020 гг.

4. НИР «Влияние температуры и влажности на взаимодействие рецепторов и источников электромагнитного излучения вблизи произвольно расположенных и частично замкнутых электромагнитных барьеров», грант РНФ 19-79-10162, 2019–2021 гг.

5. Результаты диссертационной работы использованы в учебном процессе радиотехнического факультета ТУСУР.

Полнота изложенных материалов в печатных работах, опубликованных автором

По результатам исследований опубликовано 17 научных работ: 2 статьи в журналах из перечня ВАК; 3 статьи в трудах конференций, индексируемых в WoS, SCOPUS; 8 докладов в трудах отечественных и международных конференций; 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Демакова Александра Витальевича по своему содержанию соответствует специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» в областях «Исследование характеристик

антенн и СВЧ-устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т.д.» и «Разработка методов проектирования и оптимизации антенных систем и СВЧ-устройств широкого применения» согласно п. 2 и 9 паспорта специальности.

Диссертация «Совершенствование камер для испытаний на электромагнитную совместимость» Демакова Александра Витальевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Заключение принято на объединенном семинаре кафедры сверхвысоких частот и квантовой радиотехники и кафедры телевидения и управления ТУСУРа.

Присутствовало на заседании 18 чел. Результаты голосования: «за» – 18 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 22 от «12» октября 2019 г.

Председатель семинара,
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
сверхвысоких частот и квантовой
радиотехники

Геннадий Георгиевич
Гошин

Секретарь семинара,
доктор технических наук,
профессор кафедры телевидения и
управления

Александр Михайлович
Заболоцкий

Подпись Заболоцкого А.М., Гошина Г.Г. удостоверяю.

Ученый секретарь Томского государственного университета систем
управления и радиозлектроники



Е.В. Прокопчук

Список публикаций соискателя Демакова Александра Витальевича

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Демаков А.В. Разработка ТЕМ-камеры для испытаний интегральных схем / А.В. Демаков, М.Е. Комнатнов // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 52–56.
2. Демаков А.В. Обзор исследований в области разработки и применения реверберационных камер для испытаний на электромагнитную совместимость / А.В. Демаков, М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов // Электронный журнал «Системы управления, связи и безопасности». – 2018. – № 2. – С. 151–190. URL: <https://sccs.intelgr.com/archive/2018-02/09-Demakov.pdf>.

Доклады в трудах конференций, индексируемых в Scopus, Web of Science

3. Demakov A.V. Improved TEM-cell for EMC tests of integrated circuits / A.V. Demakov, M.E. Komnatnov // International multi-conference on engineering, computer and information sciences. – Novosibirsk, 2017. – P. 399-402.
4. Demakov A.V. Command console of environmental shielded TEM-chamber / A.V. Demakov, A.V. Osintsev, M.E. Komnatnov // International multi-conference on engineering, computer and information sciences. – Novosibirsk, 2017. – P. 403– 405.
5. Demakov A.V. Algorithm for an estimation of the electromagnetic field uniformity in the working volume of a reverberation chamber / A.V. Demakov, M.E. Komnatnov // International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – Russia, 2019. – P. 1-5.

Доклады (тезисы) в трудах других конференций

6. Демаков А.В. Обзор коаксиальных камер для измерения эффективности экранирования композитных материалов // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 272–275.
7. Демаков А.В. Модифицированная ТЕМ-камера для испытания интегральных схем на ЭМС / А.В. Демаков, М.Е. Комнатнов // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 2017. – Ч. 3. – С. 53–55.
8. Демаков А.В. Разработка коаксиальной камеры для измерения эффективности экранирования композитных материалов / А.В. Демаков, А.М. Артюшкина // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 2019. – С. 222–225.
9. Демаков А.В. Аналитическая модель реверберационной камеры // Сборник избранных статей по материалам международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 2018. – Ч. 2. – С. 243–246.
10. Сафронова Е.А. Тестирование программной реализации аналитической модели реверберационной камеры / Е.А. Сафронова, А.М. Артюшкина, А.В. Демаков // Сборник избранных статей по материалам международной

- научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 2018. – Ч. 2. – С. 235–237.
11. Демаков А.В. Обзор методов измерения эффективности экранирования композитных материалов при помощи ТЕМ-камер / А.В. Демаков // Тезисы докладов научно-технической конференции молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства». – Томск, Россия, 12–13 апреля, 2018. – С. 86–89.
 12. Демаков А.В. Обзор экранирующих материалов / А.В. Демаков, М.А. Зуева // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск, Россия, 28 – 30 ноября, 2018. – С. 315–318.
 13. Демаков А.В. Analysis of the complexity of the algorithm for calculating the electromagnetic field distribution in a reverberation chamber // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 2019. – Ч. 4. – С. 82-85.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016662520. TALGAT 2016. Авторы: Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т., Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Газизов Русл.Р., Салов В.К., Лежнин Е.В., Орлов П.Е., Суровцев Р.С., Комнатнов М.Е., Ахунов Р.Р., Газизов Руст.Р., Газизов А.Т., Веселовский А.В., Квасников А.А., Носов А.В., Белоусов А.О., Буичкин Е.Н., Лесков А.Н., Демаков А.В., Лемешко К.А., Собко А.А., Осинцев А.В., Калимулин И.Ф. Заявка №20166619296. Дата поступления 01 сентября 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14 ноября 2016 г.
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018611481. TALGAT 2017. Авторы: Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т., Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Газизов Русл.Р., Бусыгина А.В., Лежнин Е.В., Орлов П.Е., Суровцев Р.С., Комнатнов М.Е., Ахунов Р.Р., Газизов Руст.Р., Газизов А.Т., Хажibeков Р.Р., Квасников А.А., Носов А.В., Белоусов А.О., Тернов С.А., Сагиева И.Е., Демаков А.В., Осинцев А.В., Собко А.А. Заявка №2017663209. Дата поступления 13 декабря 2017 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 02.02.2018 г.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017610414. Quasi-static modeling of GTEM-cells. Авторы: Демаков А.В., Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. Заявка №2016619498. Дата поступления 08 сентября 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.01.2017 г.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660554. Аналитическая модель реверберационной камеры для оценки напряженности электромагнитного поля в рабочей зоне. Авторы: Демаков А.В., Квасников А.А., Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. Заявка № 2018617321. Дата поступления 13 июля 2018 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 24.08.2018 г.