

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Иванова Антона Андреевича

«Методы, программы и устройство для оценки эффективности экранирования типовых экранирующих конструкций радиоэлектронных средств»,

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

Актуальность темы диссертации

В процессе проектирования современных радиоэлектронных средств (РЭС) требуется обеспечение устойчивости их чувствительных электрических цепей, узлов и блоков к воздействию излучаемых электромагнитных помех. Для этого в составе РЭС часто применяют экранирующие конструкции. Для создания экранирующих конструкций, способных обеспечить высокий уровень помехозащищенности РЭС и их элементов, требуются значительные финансовые, временные и вычислительные ресурсы, что, в большинстве случаев, значительно увеличивает затраты на проектирование РЭС. Однако эти затраты могут быть снижены за счет применения более современных и эффективных методов моделирования и измерения эффективности экранирования (ЭЭ). Поэтому, тема диссертационной работы Иванова А.А. отличается высокой актуальностью и практической значимостью.

Степень обоснованности научных положений и выводов диссертации

Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждена использованием разных методов моделирования, а также проведенными натурными экспериментами. Первое положение, выносимое на защиту, подтверждается совпадением частотных зависимостей ЭЭ, полученных предложенными аналитическими методами, численными методами конечных элементов и матрицы линий передачи, а также по результатам измерений металлического экрана в безэховой камере. Для подтверждения второго положения результативно использованы численный метод конечных разностей во временной области, а также экспериментальные исследования многослойного экрана из полимерных композитов в коаксиальной камере. Третье положение подтверждается совпадением результатов косвенного измерения ЭЭ с результатами моделирования численными и аналитическими методами.

Достоверность результатов работы

Достоверность результатов работы подтверждена:

- корректным использованием теории линий передачи и теории линейных электрических цепей при разработке аналитических методов вычисления ЭЭ;
- совпадением частотных зависимостей ЭЭ, полученных аналитическими методами, электродинамическим моделированием и при помощи измерений;

– широким обсуждением на международных конференциях и публикациями в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается в следующих результатах:

– предложены усовершенствованные методы для моделирования ЭЭ, отличающиеся учетом заполнения экранирующей конструкции проводящими пластинами и структурами из диэлектрических или радиопоглощающих материалов;

– предложена модификация аналитического метода для расчета ЭЭ, отличающаяся способом вычисления волнового сопротивления его материалов, позволившая применять метод для электромагнитных экранов из полимерных композитов;

– разработано устройство для испытания экранирующих конструкций РЭС на ЭЭ, отличающееся использованием измерительной оснастки на основе отрезков линий передачи, применимостью к экранам цилиндрической формы, а также возможностью трехмерной визуализации результатов измерения.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость результатов определяется следующим:

– изложены теоретические основы предложенных методов моделирования ЭЭ, предназначенных для экранирующих конструкций, заполненных проводящими пластинами, а также структурами из диэлектрических или радиопоглощающих материалов;

– произведена модернизация аналитических методов для вычисления импеданса прямоугольного отверстия и массива круглых отверстий, выполненных в произвольном положении на стенке экранирующей конструкции;

– применительно к анализу ЭЭ многослойных электромагнитных экранов из полимерных композитных материалов результативно использованы предложенный аналитический метод и экспериментальная установка на основе коаксиальной камеры и векторного анализатора цепей;

– изучены частотные зависимости ЭЭ типовых металлических экранирующих конструкций РЭС при расположении в них: проводящих пластин, диэлектриков, радиопоглощающих материалов.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

– разработанные аналитические методы, алгоритмы и программное обеспечение внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «ТУСУР», а также в работу АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнева, что подтверждается двумя актами внедрения;

– предложенный алгоритм для моделирования экранирующих конструкций на основе численного метода матрицы линий передачи внедрен в ООО «НПК «ТЕСАРТ», что подтверждается полученным актом внедрения.

– в рамках выполнения работ по договору с ООО «ТехЭкра» определены частотные зависимости ЭЭ многослойных электромагнитных экранов из полимерных композитов с наполнителями на основе частиц меди и углерода;

– созданы система практических рекомендаций по применению аналитических методов при проектировании электромагнитных экранов и методика оптимизации многоуровневых экранирующих конструкций РЭС;

– создан макет устройства для косвенных измерений ЭЭ металлических экранирующих конструкций, а также определены преимущества и недостатки предложенных вариантов измерительной оснастки устройства.

Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначения, библиографического списка из 227 наименований, а также двух приложений. Общий объем диссертации с приложениями составляет 182 с.

По результатам выполненных в диссертации исследований опубликовано 27 работ (5 без соавторов), в том числе: 4 статьи в изданиях из перечня ВАК; 5 статей в изданиях, индексируемых в WoS и (или) Scopus; 1 статья в престижном научном журнале IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, относящегося к первому квартилю (Q1) Scopus; 10 публикаций в трудах международных конференций; 1 доклад в рамках региональной конференции; 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ; 2 патента на изобретение. Публикации автора в полном объеме отражены в библиографическом списке диссертационной работы.

В первом разделе диссертации представлен обширный обзор существующих методов и устройств, использующихся для определения ЭЭ. Рассмотрены методы и экспериментальные установки для испытания экранов на ЭЭ. Описаны основные численные и аналитические методы для вычисления ЭЭ. Приведено краткое описание программного обеспечения (ПО), использующегося при моделировании электромагнитных экранов.

Второй раздел посвящен разработке и тестированию новых аналитических методов для расчета ЭЭ типовых электромагнитных экранов РЭС. Наиболее значимыми результатами данного раздела являются методы, позволяющие выполнить оценку ЭЭ многослойных композитных экранов, а также экранирующих корпусов с расположенными в них проводящими пластинами, диэлектриками и радиопоглощающими материалами. Примечательно, что достоверность и точность разработанных методов подтверждается несколькими численными методами (конечных элементов, матрицы линий передачи и конечных разностей во временной области), а также результатами измерения ЭЭ экранирующих конструкций в безэховой и коаксиальной камерах.

В третьем разделе приведены результаты разработки вычислительных алгоритмов и ПО для моделирования электромагнитных экранов РЭС. Разработана система практических рекомендаций по применению аналитических методов при анализе ЭЭ. Создан прототип ПО для моделирования ЭЭ на основе аналитических методов, который результативно использован при разработке экранирующих корпусов для АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнёва, что подтверждается полученным актом внедрения. Разработан и программно реализован алгоритм моделирования электромагнитных экранов численным методом матрицы линий передачи. С его помощью выполнено моделирование системы электромагнитных экранов, состоящей из двух

прямоугольных корпусов. По результатам моделирования предложена методика оптимизации электромагнитных экранов произвольной сложности.

Четвертый раздел диссертации описывает результаты разработки устройства для косвенного измерения ЭЭ металлических корпусов РЭС. Создан прототип ПО устройства, предложены четыре варианта оснастки для косвенных измерений ЭЭ, разработана структурная схема и внешний облик устройства. Выполнено сравнение частотных зависимостей ЭЭ, полученных по результатам косвенного измерения (с помощью разработанных оснастки и ПО) и моделирования несколькими численными и аналитическими методами. Особенно примечательно, что в разрабатываемом устройстве не используются датчики поля или антенны, за счет чего оно сможет использоваться для определения ЭЭ малогабаритных электромагнитных экранов, применяемых на уровнях блоков и электронных компонентов РЭС.

В заключении представлены основные результаты работы, сформулирована решенная научная задача, приведены рекомендации по использованию результатов исследования, а также перспективы дальнейшей работы.

В приложениях приведены копии трёх актов, подтверждающих внедрение результатов исследования в производство и учебный процесс, двух патентов, четырёх свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, а также дипломов и грамот, полученных автором.

Автореферат написан и оформлен в соответствии с существующими требованиями ВАК РФ и государственных стандартов, а также в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы.

Замечания по работе

По диссертационной работе и автореферату имеется несколько замечаний:

1. Частотные зависимости эффективности экранирования, представленные в работе, получены только относительно напряженности E электрического поля. На практике также полезна оценка ЭЭ относительно напряженности H магнитного поля.

2. В диссертации и автореферате не приведены сведения об электрофизических параметрах (относительных диэлектрической и магнитной проницаемостях) использованных полипропиленовых композитов с частицами меди и углерода.

3. Почти половина раздела 3 диссертации посвящена реализации численного метода матрицы линий передачи, а также новым научным результатам, полученным с помощью моделирования этим методом. По неясным причинам эти результаты не выносятся на защиту, а фигурируют только в практической значимости работы.

4. Имеются некоторые неточности в описании формул, например, на странице 8 автореферата символ λ ошибочно расшифровывается как «частота воздействующей плоской электромагнитной волны». Из формул (1) и (2), приведенных в тексте автореферата, а также из самой диссертации, очевидно, что λ – это длина волны.

Тем не менее, указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы. Диссертация написана в хорошем стиле, грамотным языком,

оформлена в соответствии с установленными требованиями и обладает научно-практической значимостью.

Заключение

Диссертация А.А. Иванова является завершённой квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Считаю, что диссертация полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Иванов Антон Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, доцент

З.М. Гизатуллин

15.11.2021 г.

Гизатуллин Зиннур Марселевич, д.т.н., доцент,
профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)
420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10
e-mail: gzm_zinnur@mail.ru
раб. тел.: +7(843) 2310081

Подпись З.М. Гизатуллина
заверяю. Начальник управления
делами КНИТУ-КАИ

