

УТВЕРЖДАЮ
Начальник ВМПИ ВУНЦ ВМФ
«Военно-морская академия»
член-корреспондент РАН
доктор технических наук
профессор

Е. Якушенко

« 2 » сентября 2016 г.

ОТЗЫВ

Военного института (военно-морского политехнического) учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия» на автореферат диссертации Заболоцкого Александра Михайловича на тему: «Модели, алгоритмы, технологии и устройства для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения; 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Широкое использование современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в самых различных сферах деятельности человечества, в том числе в управлении сложными комплексами и системами в транспортной, энергетической, военной, космической и иных отраслях, обуславливает критическую важность надежного и правильного функционирования РЭА. Одним из факторов, существенно снижающих надежность функционирования РЭА является уязвимость РЭА к воздействию электромагнитных помех, тем более что уровень помех постоянно возрастает по мере все большего насыщения систем этой аппаратурой, расширения диапазона используемых радиочастот, повышения плотности ее размещения в системах. При этом уровни восприимчивости компонентов РЭА к помехам снижаются из-за микроминиатюризации, снижения напряжения питания интегральных схем. Всё чаще выявляются ситуации, когда из-за этой зависимости удовлетворительное функционирование систем просто невозможно, что для критичных систем совершенно недопустимо, поскольку связано с риском больших материальных потерь, человеческих жертв и даже катастроф. Поэтому актуальной научно-технической проблемой при

проектировании РЭА является обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭА.

Одной из отраслей, где проблема обеспечения ЭМС является весьма актуальной, является космическая. Несмотря на постоянное внимание к обеспечению ЭМС РЭА, ряд важных вопросов остается нерешенным и требует новых подходов. Их решение необходимо и для обеспечения импортозамещения и технологической независимости России в современной обстановке. Поэтому тема диссертации Заболоцкого Александра Михайловича, посвященной разработке моделей, алгоритмов, методик, технологии и устройств для обеспечения ЭМС бортовой РЭА КА путем использования новых концептуальных принципов, выявления новых закономерностей в многопроводных линиях передачи ПП и кабелей бортовой РЭА, является актуальной.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие задачи:

1. Анализируется современное состояние проблемы обеспечения ЭМС бортовой РЭА КА, технологий помехозащиты РЭА, а также методов и средств моделирования печатных узлов.

2. Разрабатываются новые модели, алгоритмы, программы для моделирования ЭМС печатных узлов, учитывающие паразитные параметры пассивных электронных компонентов и частотную зависимость относительной диэлектрической проницаемости материалов ПП.

3. Разрабатываются методики анализа ЭМС печатных узлов бортовой РЭА.

4. Вырабатываются общие подходы к созданию новых устройств и новые технологии для обеспечения ЭМС РЭА.

5. Разрабатываются конструкции устройств для обеспечения помехозащиты РЭА.

6. Проводятся экспериментальные исследования с целью подтверждения теоретических выводов и демонстрации практической применимости разработанных устройств для помехозащиты РЭА.

В работе использованы следующие методы исследования: компьютерное моделирование, различные виды анализа (схемотехнический, квазистатический, электродинамический), численные методы, методы анализа и синтеза линейных электрических цепей, эксперимент.

Основные результаты диссертации, как можно судить по материалам автореферата, состоят в следующем:

1. Разработаны модели, алгоритмы и программы для вычисления отклика схемы из отрезков многопроводных линий передачи с RLC-

элементами на стыках, отличающиеся учетом паразитных параметров пассивных компонентов и частотной зависимости диэлектрической проницаемости материалов печатной платы, применимые для квазистатического анализа электромагнитной совместимости печатных узлов бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата.

2. Предложена и обоснована технология уменьшения взаимовлияний в печатных проводниках за счет выбора параметров проводников и диэлектриков, позволяющая минимизировать модальные искажения полезного сигнала и перекрестные наводки путем нанесения на поверхность печатной платы дополнительного диэлектрического слоя, а также минимизировать искажения импульсного сигнала из-за перекрестных наводок и потерь в линиях задержки.

3. Разработана технология модальной фильтрации, позволяющая усовершенствовать защиту от нежелательных сигналов за счет их модального разложения в многопроводных линиях с неоднородным диэлектрическим заполнением.

4. Разработана технология модального разложения и восстановления, позволяющая выявить скрытые возможности проникновения нежелательных сигналов в многоотрезочных структурах многопроводных линий.

Научная новизна полученных результатов.

1. Разработанные модели, алгоритмы и программы для вычисления отклика схемы из отрезков многопроводных линий передачи с RLC-элементами на стыках учитывают паразитные параметры пассивных электронных компонентов и частотную зависимость относительной диэлектрической проницаемости материалов печатной платы.

2. Сформулированы условия прохождения импульсного сигнала через виток линии задержки без искажений его формы, минимизации модальных искажений; разложения и восстановления импульсного сигнала в многопроводных межсоединениях с неоднородным диэлектрическим заполнением.

3. Для ПП и кабелей бортовой РЭА КА выполнено теоретическое обоснование возможностей уменьшения взаимного влияния проводников и их защиты от сверхкоротких импульсов разделением этих импульсов на импульсы меньшей амплитуды при учете разности задержек мод структуры; разложения и последующего восстановления сигналов.

Практическая значимость результатов.

1. Разработаны рекомендации по улучшению ЭМС пяти унифицированных электронных модулей (УЭМ) энергопреобразующего комплекса; УЭМ блока аппаратуры радионавигации; печатных плат макета радиотракта системы

автономной навигации; печатного узла системы автономной навигации. Возможность практической реализации устройств подтверждена их изготовлением в АО «НПЦ «Полюс» и «ИСС».

3. Предложена защита от импульсов помех малой длительности посредством их последовательного разложения в отрезках многопроводных межсоединений на большее число импульсов меньшей амплитуды.

4. Печатные и кабельные модальные фильтры позволяют реализовать эффективную защиту от нежелательных импульсов:

- модальный фильтр из отрезка плоского кабеля длиной 15 м уменьшает в 17 раз амплитуду импульса длительностью 200 пс;

- модальные фильтры с боковой связью на подложке из стеклотекстолита с полосой пропускания 100 МГц, имеющие длины 1,3–2,5 м, уменьшают в 8–10 раз амплитуду импульса длительностью 240–280 пс;

- модальные фильтры с лицевой связью на подложке из стеклотекстолита, имеющие длины 0,2–0,65 м, уменьшают в 5–6 раз амплитуду импульса длительностью 0,8–1 нс.

Достоверность результатов исследования.

1. Достоверность моделей, алгоритмов и программ подтверждена сравнением результатов моделирования с ранее полученными результатами других авторов и натурным экспериментом, проведенным на сертифицированном оборудовании.

2. Достоверность предложенных технологий для обеспечения ЭМС основана на известных методах теории цепей, в частности на модальном анализе. Работоспособность созданных устройств подтверждена натурными экспериментами и их эксплуатацией.

По автореферату диссертации следует высказать некоторые замечания.

1. Из автореферата неясно, как учитывалась в диссертации специфика РЭА КА, особые требования, предъявляемые к РЭА при старте КА и длительному функционированию РЭА КА в космосе без возможности ремонта и замены, где на РЭА воздействует космическое излучение.

2. В соответствии со стандартами испытания бортовой РЭА КА рекомендуется проводить в широком диапазоне частот вплоть до 40 и даже 100 ГГц. В то же время исследование РЭА в работе проводилось в рамках теории цепей с сосредоточенными RLC-элементами, которую можно использовать только на достаточно низких частотах. Неясно, учитывалось ли в работе взаимное влияние СВЧ полей, возбуждаемых различной РЭА.

3. Из автореферата неясно, не изменятся ли характеристики работы РЭА по основному назначению при использовании предлагаемых методов повышения ЭМС, в том числе защиты от нежелательных сигналов (модальной фильтрации, нанесении диэлектрических слоев на поверхность и т.п.).

Отмеченные недостатки не снижают достоверность и научную значимость результатов диссертации Заболоцкого Александра Михайловича. Как можно судить по автореферату, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в повышение электромагнитной совместимости отечественной радиоэлектронной аппаратуры. Диссертация полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Заболоцкий Александр Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения; 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Профессор кафедры физических полей
и защиты кораблей доктор технических наук
профессор



В. Светличный

Отзыв обсужден и одобрен на заседании
кафедры физических полей и защиты кораблей
(протокол № 2 от «22» сентября 2016 г.)

Начальник кафедры физических полей и
защиты кораблей
кандидат технических наук



В. Перцев