

Отзыв официального оппонента Дмитренко Анатолия Григорьевича на диссертацию Заболоцкого Александра Михайловича «Модели, алгоритмы, методики, технологии и устройства для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, и 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Диссертация Заболоцкого А.М. посвящена разработке моделей, алгоритмов, методик, технологий и устройств для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов (КА).

Диссертация содержит введение, 5 глав, заключение, список литературы из 344 наименований и приложение с копиями актов внедрения, патентов на изобретения, патентов на полезную модель и свидетельств о государственной регистрации разработанных программ для ЭВМ.

Во введении соискателем приведена общая характеристика работы.

Первый раздел диссертации посвящен обзору современного состояния проблемы обеспечения ЭМС бортовой РЭА космических аппаратов и технологий помехозащиты РЭА. Описаны методы и средства моделирования печатных узлов РЭА. Выполнена постановка задач исследования и сформулированы цель и задачи работы.

Во втором разделе приведены разработанные алгоритмы и программы для вычисления отклика в многопроводных линиях передачи и выполнен их сравнительный анализ. Приведены результаты тестирования программ путем сравнения получаемых результатов с опубликованными данными, а также с результатами, полученными с помощью других программ. Приведены методики для получения моделей пассивных компонентов, определения значений относительной диэлектрической проницаемости материалов печатных плат и анализа ЭМС печатных узлов РЭА.

В третьем разделе представлены модальные технологии для обеспечения ЭМС РЭА. Описан принцип модальной фильтрации, приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований модальной фильтрации в печатных платах и кабелях. Предложена технология уменьшения взаимовлияний в печатных проводниках за счет оптимального выбора параметров проводников и диэлектриков. Показана возможность модального восстановления сигнала в микрополосковых линиях и в кабелях.

В четвертом разделе приведены устройства для помехозащиты бортовой РЭА КА, реализующие принцип модальной фильтрации. Подробно рассмотрены модальный фильтр с боковой связью, модальный фильтр с лицевой связью, а также модальный фильтр на основе гибкого печатного кабеля. Рассмотрены преимущества и недостатки различных способов размещения модальных фильтров в бортовой РЭА КА.

В пятом разделе описаны технические решения по обеспечению ЭМС РЭА.

В заключении изложены основные результаты работы.

Актуальность темы диссертации. В настоящее время при разработке РЭА выполняется проверка требований ЭМС, что особенно критично для военных, атомных и космических систем. В современных публикациях отмечается, что уровни электромагнитных помех непрерывно возрастают, а уровни восприимчивости электронных компонентов снижаются. Поэтому при разработке бортовой РЭА актуально обеспечение ЭМС. Для выполнения требований по ЭМС необходимы современные программно-математические средства для моделирования РЭА, новые методы и технологические решения для обеспечения ЭМС РЭА, а также подходы к созданию новых устройств помехозащиты. Таким образом, тема диссертационной работы является современной и актуальной.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. К новым результатам диссертационной работы относятся следующие:

1. Программно-математические средства для вычисления отклика схемы из отрезков многопроводных линий передачи с RLC-элементами на стыках, учитывающие паразитные параметры пассивных электронных компонентов и частотную зависимость относительной диэлектрической проницаемости материалов.

2. Методика синтеза широкополосных моделей пассивных двухполюсных компонентов из RLC-элементов.

3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по выбору оптимальных параметров проводников и диэлектриков для уменьшения взаимовлияний в печатных проводниках.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по уменьшению амплитуды нежелательного сигнала за счет его разложения в многопроводных линиях с неоднородным диэлектрическим заполнением;

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований явления разложения сигнала и последующего его восстановления в многоотрезочных структурах многопроводных линий с неоднородным диэлектрическим заполнением.

6. Модальные технологии для обеспечения ЭМС РЭА.

7. Устройства для помехозащиты бортовой РЭА на основе печатных и кабельных структур.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций. Обоснованность и достоверность основных результатов работы определяются корректным использованием методов исследования, совпадением результатов, полученных на основе разработанных алгоритмов и программ, с результатами, полученными с помощью других программных продуктов, а также с экспериментальными результатами.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что впервые выполнено теоретическое обоснование возможностей защиты от сверхкоротких импульсов делением их на импульсы меньшей амплитуды за счет разности задержек мод структуры. Показана также возможность последующего восстановления сигналов при изменении знака разности задержек мод структуры. Получены 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. Кроме того, получены выражения для вычисления амплитуд импульсов разложения в согласованном отрезке многопроводной линии передачи и коэффициента ослабления многокаскадного модального фильтра.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработан инструмент для вычисления временного и частотного откликов произвольных схем многопроводных линий передачи, что позволяет осуществить моделирование временного и частотного откликов реальных фрагментов многопроводных межсоединений. Предложена защита от импульсов помех малой длительности посредством их последовательного разложения в отрезках многопроводных межсоединений на большее число импульсов меньшей амплитуды. Предложен способ коррекции формы импульсного сигнала с помощью меандровых линий за счет взаимных влияний в проводниках меандровой линии. Разработаны рекомендации по улучшению ЭМС пяти унифицированных электронных модулей энергопреобразующего комплекса КА. Основные идеи и рекомендации диссертации легли в основу разработки большого количества устройств, из которых 10 защищены патентами на изобретение и полезную модель.


Замечания и недостатки. При рассмотрении работы выявлены следующие недостатки.

1. Необоснованным выглядит первое защищаемое положение. В нем утверждается, что «модели, алгоритмы и программы для вычисления отклика схемы из отрезков многопроводных линий передачи с RLC-элементами на стыках.....применимы для квазистатического анализа электромагнитной совместимости печатных узлов бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата». Однако убедительные доказательства этого утверждения в диссертации отсутствуют.
2. Многие теоретические результаты работы получены в квазистатическом приближении, а исследуемый частотный диапазон добирается до 40 ГГц, где погрешность такого приближения может быть существенной. Кажется, что автор забывает об этом. Во всяком случае в диссертации такие оценки не приводятся. Расхождения теоретических и экспериментальных данных объясняется всем, чем угодно, но только не погрешностью квазистатического подхода.
3. В подразделе 2.1.3.2.2. при описании методики синтеза моделей пассивных компонентов не указано, как выбирать значения параметров соответствующих многорезонансных моделей.
4. Из текста подраздела 2.1.4.1 непонятно, кто автор излагаемой методики: автор диссертации или зарубежные авторы.
5. Излагаемая в разделе 2.2.1 «методика предварительного анализа электромагнитной совместимости унифицированных электронных модулей» выглядит как систематизация уже известных результатов.
6. Результаты раздела 5.18 никакого отношения к теме диссертации не имеют.

7. Не свободна от недостатков и оформительская сторона диссертации. Например, листинги из нескольких команд называются рисунками. На некоторых рисунках, например, рис. 2.20, 2.23, 2.26, плохо просматривается координатная сетка. На рис. 4.36 кривые вообще трудно увидеть. В диссертации встречаются неудачно сформулированные и не сразу понятные выражения, например, «подключен генератор э.д.с. с формой сигнала в виде трапеции амплитудой $E_0 = 4\text{В}$, а значения длительности фронта, спада и вершины импульса изменялись от 1 нс до 100 пс» (стр. 113). Встречаются также ошибки в формулах, грамматические и синтаксические ошибки. Обращают также на себя внимание необычайно глубокая нумерация подразделов, в некоторых случаях состоящая из 5 цифр, а также большой (по числу страниц) объем диссертации.

Заключение. Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. В целом диссертационная работа А.М. Заболоцкого является научно-квалификационной работой, в которой разработаны теоретические положения и технические устройства, которые можно квалифицировать как научное достижение в развитии теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры. Диссертация соответствует требованиям Положения ВАК РФ (п. 9 Положения), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а её автор, Заболоцкий Александр Михайлович, заслуживает присуждения искомой степени. Автореферат диссертации полностью отражает ее основные положения и результаты.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор
Национального исследовательского
Томского государственного университета

 А.Г. Дмитренко
03.10.2016

ФГАОУВО Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. (3822) 52-98-52
E-mail: dmitr@fpmk.tsu.ru

