

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**«Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)**

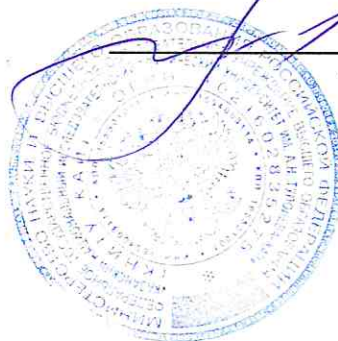
ул. К.Маркса, д. 10, Казань, 420111
Тел.: (843) 238-41-10 Факс: (843) 236-60-32
E-mail: kai@kai.ru <http://www.kai.ru>
ОКПО 02069616, ОГРН 1021602835275,
ИНН/КПП 1654003114/165501001

На № _____ № _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной
инновационной деятельности
Казанского национального
исследовательского технического
университета им. А. Н. Туполева-КАИ,
доктор технических наук, профессор

С.А. Михайлов
«6» декабря 2019г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ) на диссертационную работу **Шарафутдинова Виталия Расимовича** «Способы резервирования элементов радиотехнических устройств на основе модальной фильтрации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Актуальность работы

Обеспечение заданной надежности функционирования является важной задачей проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Ряд общих методов повышения надежности, в том числе резервирование, широко применяется для повышения надежности основных и критически важных узлов РЭА. Существенное увеличение сложности, стоимости, габаритов и массы РЭА при таком способе повышения надежности ограничивает его применение. Также с ростом сложности РЭА обостряется проблема обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), что особенно важно для критичной РЭА, например бортовой. Так, с развитием технологий растет плотность компоновки и монтажа печатных плат (ПП) бортовой РЭА, наблюдается рост верхней частоты спектра используемых сигналов. Поэтому требуется уделять более пристальное внимание ЭМС бортовой РЭА и ее

надежности. Пренебрежение этим может привести к выходу из строя РЭА и повлечь большие финансовые потери, подорвать репутацию разработчика-изготовителя. Возможны и преднамеренные силовые электромагнитные воздействия, в частности, мощные импульсы, вплоть до субнаносекундного диапазона – сверхкороткие импульсы (СКИ). В силу широкого спектра и малой длительности они способны проникать в РЭА, а существующие сетевые фильтры не могут гарантированно защитить от них. Существуют промышленные устройства с эффективной защитой от СКИ, но существенные габариты и стоимость значительно сокращают область их применения. Более распространенные устройства защиты от помех обладают рядом недостатков. Основные из них – ограниченный ресурс, малая мощность, недостаточное быстродействие и различные паразитные параметры.

Известен и активно исследуется принцип защиты, использующий модальное разложение сигнала в отрезках связанных линий и называемый модальной фильтрацией. Используя модальную фильтрацию и избыточность холодного резервирования, можно осуществить модальное резервирование (МР), под которым понимается использование резервируемых цепей совместно с резервирующими их цепями холодного резервирования для осуществления модальной фильтрации. Его реализация в РЭА почти не исследована, но это актуально для резервируемой РЭА.

Соответствие темы диссертации научной специальности

В диссертации предложены способы резервирования, позволяющие повысить надежность и помехозащищенность РЭА. Её тема соответствует паспорту специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» по п.9 «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиотехнических устройств».

Общая характеристика работы

В состав диссертации входят введение, 3 главы, заключение, список литературы из 93 наименований и приложение (копии подтверждающих документов: акты внедрения и патенты), всего 153 стр.

Во введении приведены общая характеристика работы: актуальность, цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе выполнен обзор задач повышения надежности и обеспечения ЭМС РЭА. Из обзора следует, что задачи повышения надежности и обеспечения ЭМС РЭА актуальны. Рассмотрены резервирование, способы повышения помехоустойчивости и модальная

фильтрация. В известных обзорах и исследованиях не рассматривалась возможность использования модального разложения сигнала в отрезках связанных линий при резервировании электрических соединений, но оно может быть применимо для этого. Таким образом, разработка устройств с применением МР является перспективным направлением. Представлены цель и задачи работы.

Во второй главе представлены способы однократного и трехкратного МР. Таким образом, системно представлены недавно предложенные способы МР, рассмотрены их особенности, достоинства и недостатки, а также сделана попытка показать эволюцию способов МР с помощью линий их развития. Это открывает возможность системного и эффективного развития представленных способов для одновременного, в едином техническом решении, повышения надежности и обеспечения ЭМС критичной РЭА. Важно, что это достигается, не вводя дополнительных затратных аппаратных средств, а лишь за счет электромагнитной связи резервируемых межсоединений в неоднородном диэлектрическом заполнении, приводящей к явлению модального разложения нежелательного сигнала в цепях с МР. Примечательно, что при МР могут улучшаться показатели всех четырех аспектов ЭМС: кондуктивных эмиссий, излучаемых эмиссий, восприимчивости к кондуктивным эмиссиям, восприимчивости к излучаемым эмиссиям. Наилучшие показатели для особо важных из этих аспектов могут достигаться выбором весовых коэффициентов при многокритериальной оптимизации структур и параметров, обеспечивающих МР.

В третьей главе показана реализация МР. Рассмотрены специальные компоненты и способ компоновки неформованных компонентов, которые полезны для эффективного размещения компонентов РЭА на печатной плате с МР. Рассмотрено модальное резервирование в реальной системе автономной навигации космического аппарата. На основании проектирования сделаны выводы о том, что МР способствует рациональному размещению элементов на плате, позволяющему реализовать МР. Даны рекомендации по реализации МР. Выполнено квазистатическое моделирование распространения СКИ, показывающее результативность применения МР в реальных платах. Разработан макет многослойной платы, реализующей принципы МР. Результаты компьютерного моделирования и эксперименты подтвердили возможность практической реализации МР.

В заключении подведены итоги, даны рекомендации и показаны перспективы дальнейших исследований.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Предложены 6 способов однократного резервирования, отличающихся образованием резервируемым и резервным проводниками связанной линии передачи в неоднородном диэлектрическом заполнении.

2. Предложены 2 способа трехкратного резервирования, отличающихся образованием резервируемым и резервными проводниками многопроводных линий передачи в неоднородном диэлектрическом заполнении и зеркальной симметрией поперечного сечения по двум осям.

3. Предложен способ компоновки неформованных компонентов, отличающийся их размещением друг под другом и формовкой выводов резервируемых компонентов в одном направлении относительно плоскости корпуса компонента, а резервных – в обратном.

4. Введены новые термины: однократное и трехкратное МР.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в т.ч. квазистатический анализ, метод моментов, модифицированный узловый метод, оптимизация генетическим алгоритмом, экспериментальные методы измерения характеристик.

2. Представлена эволюция способов МР в виде линий развития.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

1. На 8 способов получены патенты на изобретение.

2. Открыта возможность комплексного и эффективного развития МР для повышения надежности и обеспечения ЭМС критичной РЭА.

3. Результаты работы использованы в ходе НИР по двум грантам РФФИ, проекту ФЦП, проектной и базовой частям государственного задания, а также в учебном процессе ТУСУРа.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов работы

Обоснованность во многом подтверждается патентами на изобретение. Достоверность результатов подтверждена их сравнением с результатами, полученными измерением и в других программных продуктах. Выводы обоснованы и достоверны.

Апробация результатов работы и публикации

Основные положения и результаты довольно широко докладывались и обсуждались на конференциях разного уровня.

По результатам опубликованы 22 работы (2 работы без соавторов), в т.ч. 2 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, 4 публикации в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science, 6 докладов и 2 тезисов в трудах отечественных конференций, 8 патентов на изобретение.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке узлов бортовой РЭА космических аппаратов на предприятиях, занимающихся проектированием и производством таких изделий, например, АО «НПЦ «Полус», АО «ИСС». Также они могут быть использованы для применения в любом оборудовании различного назначения, требующем повышенной надежности и обеспечения ЭМС.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не рассматривались случаи комбинаций различных граничных условий на концах проводников структуры связанных линий при реализации модального резервирования.

2. Отсутствует исследование реализации модального резервирования для кондуктивной и излучаемой помехозащиты

3. Не рассмотрено рассогласование в связанных межсоединениях при модальном резервировании.

4. Соискатель по теме диссертационного исследования имеет лишь 2 индивидуальные публикации.

Выводы

1. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну и значимость для науки и практики, является законченной научно-квалификационной работой, раскрывающей сформулированную соискателем цель и задачи.

2. Основные результаты, полученные в ходе подготовки диссертационной работы, опубликованы в научных трудах автора.

3. Автореферат диссертации написан и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ и в полной мере отражает содержание диссертационной работы.


Заключение

Указанные замечания не снижают достоинств работы, выполненной на высоком научном уровне. Считаем, что работа удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным положением правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических

наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на заседании кафедры «Системы автоматизированного проектирования» Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева -КАИ(КНИТУ-КАИ), протокол № 3 от «29» ноября 2019 г.

Заведующий кафедрой «Системы
автоматизированного проектирования»
КНИТУ-КАИ, доктор технических наук,
профессор

 С.Ф. Чермошенцев

Чермошенцев Сергей Фёдорович, доктор технических наук (05.13.12, 05.13.05), тел. раб. +7(843) 231-01-81, e-mail: sapr@kai.ru
420111, г. Казань, ул. К.Маркса, д. 10

Подпись заведующего кафедрой Чермошенцева С. Ф. заверяю:

Ученый секретарь КНИТУ-КАИ





Ф. А. Жестовская

Сведения об организации:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Адрес: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

Тел. справочной: +7 (843) 231 01 09, Канцелярия: +7 (843) 238-56-30

Факс: +7 (843) 236-60-32 (Канцелярия)

e-mail: kai@kai.ru