



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НРиИ ТУСУР
к.т.н. доцент
А.Г. Лоцилов
2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

Диссертация «Временные и частотные характеристики структур с модальным резервированием до и после отказов их элементов» выполнена в ТУСУРе на кафедре телевидения и управления (ТУ).

Соискатель Медведев Артём Викторович обучается в очной аспирантуре ТУСУРа.

В 2017 г. окончил бакалавриат ТУСУРа по профилю «Аудиовизуальная техника».

В 2019 г. окончил магистратуру ТУСУРа по профилю «Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2023 г. ТУСУРом.

Научный руководитель – Газизов Тальгат Рашитович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ТУ ТУСУРа.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Медведева Артёма Викторовича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи совершенствования защиты радиоэлектронной аппаратуры с холодным резервированием от сверхширокополосного импульса за счет модальной фильтрации в проводниках резервируемых и резервных цепей.

Личное участие автора в получении результатов

Автору принадлежит ключевая роль в получении основных результатов работы. Личный вклад автора в публикациях, выполненных в соавторстве: [24, 39] – выполнение обзора; [1–12, 14, 16–19, 21, 23, 25–48] – квазистатическое моделирование; [2, 8, 25, 30, 31] – электродинамическое моделирование; [2, 7, 8] – лабораторный эксперимент; [7, 8, 10, 11, 25, 33, 34, 38, 41–48] и [4–6, 9, 13, 15–18, 20, 22, 28, 30–32, 35–37, 39] – анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов; [2] – разработка макетов и их изготовление.

Степень достоверности результатов

Достоверность результатов основана на корректном применении теории многопроводных линий передачи, согласованности результатов моделирования и эксперимента, использовании современных методик измерения сертифицированными приборами.

Научная новизна диссертации

1. Предложены три новых способа компоновки и трассировки печатных плат с однократным модальным резервированием для ослабления сверхширокополосной помехи, отличающихся наличием двух сигнальных слоев для упрощения трассировки проводников при большом количестве элементов.

2. Предложен способ двукратного модального резервирования цепей на двуслойной печатной плате с дополнительным диэлектриком между проводниками, отличающийся тем, что три проводника с одинаковой шириной расположены на одинаковых расстояниях друг от друга, а в качестве резервируемого проводника выбран средний.

3. Разработан и экспериментально подтвержден оптимальный порядок переключения цепей с трёхкратным модальным резервированием, отличающийся последовательной заменой резервируемого проводника, после отказа элементов на его концах, резервным проводником с минимальным уровнем максимального напряжения импульсов разложения.

4. Выполнено исследование частотных характеристик структур с одно- и трехкратным модальным резервированием, отличающееся учетом отказов их элементов.

Практическая значимость

1. Разработаны прототипы с трассировкой проводников с боковой и лицевой связями на специальных измерительных печатных платах для исследования на излучаемые эмиссии и восприимчивость к излучениям.

2. Внедрены результаты квазистатического моделирования распространения сверхкороткого импульса в цепях блока цифровой обработки сигнала и в цепях источника питания системы автономной навигации космического аппарата в АО «ИСС», г. Железногорск (акт внедрения).

3. Получены 8 патентов на изобретения (способы).

4. Разработан прототип структуры с трехкратным модальным резервированием с исполнением опорных проводников в виде боковых полигонов для экспериментальных исследований порядка переключения после отказов её элементов.

Ценность научных работ соискателя

Научные работы соискателя имеют высокую ценность. Она подтверждается многочисленными публикациями их результатов в рецензируемых журналах и материалах конференций, а также их широким использованием.

1. ПНИ «Теоретические и экспериментальные исследования по синтезу оптимальной сети высоковольтного электропитания для космических аппаратов» в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», проект RFMEFI57417X0172, 2017–2020 гг.

2. НИР «Модальное резервирование электрических цепей критичных радиоэлектронных средств и систем», грант РНФ 19-19-00424, 2019–2021 гг., 2022–2023 гг.

3. НИР «Многокритериальная оптимизация порядка переключения после отказов при многократном модальном резервировании цепей», грант РНФ 20-19-00446, 2020–2022 гг., 2023–2024 гг.

4. НИР «Комплекс фундаментальных исследований по электромагнитной совместимости» в рамках конкурса научных проектов, выполняемых коллективами исследовательских центров и (или) научных лабораторий образовательных организаций высшего образования. Научно-исследовательская лаборатория фундаментальных исследований по электромагнитной совместимости (НИЛ ФИЭМС), проект FEWM-2020-0041, 2020–2021 гг.

5. НИР «Теоретические основы создания перспективных систем автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры, работающей в экстремальных условиях», проект FEWM-2022-0001, 2022–2023 гг.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Медведева Артёма Викторовича по своему содержанию соответствует специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в области исследования «Разработка и исследование методов обеспечения электромагнитной совместимости радиотехнических систем и устройств, включая системы связи и телевидения, методов обеспечения их стойкости к электромагнитному и ионизирующему излучению, методов разрушения и защиты информации в этих системах» паспорта специальности.

Полнота изложенных материалов в печатных работах, опубликованных автором

По материалам диссертации опубликовано 48 работ (9 без соавторов). Из них: статьи в журналах из перечня ВАК – 4; статьи в журналах из Q1 и Q2 WoS и SCOPU – 4; статьи в других журналах, индексируемых в WoS, SCOPUS – 7; доклады в трудах конференций,

индексируемых в WoS, SCOPUS – 8; доклады в трудах других конференций – 17; Патенты на изобретение – 8.

Диссертация «Временные и частотные характеристики структур с модальным резервированием до и после отказов их элементов» Медведева Артёма Викторовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Заключение принято на заседании кафедры ТУ.

Присутствовало на заседании 23 чел. Результаты голосования: «за» – 23 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 3 от 30 сентября 2023 г.

Председатель,

д.т.н., профессор кафедры ТУ



С.П. Куксенко

Секретарь,

к.т.н., ассистент кафедры ТУ



И.Е. Сагиева

Список публикаций соискателя Медведева Артема Викторовича

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. **Медведев, А.В.** Алгоритм анализа структур с трехкратным модальным резервированием после отказов / А.В. Медведев, Т.Р. Газизов // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). – 2021. – No. 4. – С. 59–66.
2. **Медведев, А.В.** Моделирование и экспериментальное исследование четырехпроводной полосковой структуры с трехкратным модальным резервированием при отказах её элементов // Доклады ТУСУР. – 2023. – No. 1. – С. 48–55.
3. **Медведев, А.В.** Моделирование, оценка и выбор оптимального порядка переключения цепей с трехкратным модальным резервированием после отказов вдоль проводников // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – No. 2. – С 175–203.
4. Морозов, С.Р. Квазистатический анализ и оптимизация многослойной печатной платы с модальным резервированием и двусторонней трассировкой / С.Р. Морозов, **Медведев А.В.** // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – No. 3. – С 91–106.

Статьи в журналах, входящих в Q1/Q2 Scopus

5. From symmetry to asymmetry: the use of additional pulses to improve protection against ultrashort pulses based on modal filtration / A.O. Belousov, E.B. Chernikova, M.A. Samoylichenko, **A.V. Medvedev**, A.V. Nosov, T.R. Gazizov and A.M. Zabolotsky // Symmetry. – 2020. – Vol. 12(7), no. 1117. – P. 1–38.
6. Switching order after failures in symmetric protective electrical circuits with triple modal reservation / A.O. Belousov, **A.V. Medvedev**, E.B. Chernikova, T.R. Gazizov and A.M. Zabolotsky // Symmetry. – 2021. – Vol. 13(6), no. 1074. – P. 1–22.
7. **Medvedev, A.V.** Experimental study of a structure with single modal reservation before and after failure / **A.V. Medvedev**, Y.S. Zhechev, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2022. – Vol. 64, no. 4. – P. 1171–1181.
8. **Medvedev, A.V.** Experimental study of a structure with triple modal reservation before and after failures / **A.V. Medvedev**, Y.S. Zhechev, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2023. – Vol. 65, no. 1. – P. 360–363.

Публикации в журналах, индексируемых WoS и Scopus

9. Methods for increasing noise immunity of radio electronic systems with redundancy / P.E. Orlov, **A.V. Medvedev**, V.R. Sharafutdinov, T.R. Gazizov, A.V. Ubaichin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – 1015(5) – P. 052022.
10. **Medvedev, A.V.** Evaluating modal reservation efficiency before and after failure / **A.V. Medvedev**, T.R. Gazizov, Y.S. Zhechev // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1488, no 1. – P. 012015.

11. **Medvedev, A.V.** Analysis of frequency characteristics of a structure with single modal reservation before and after failure / **A.V. Medvedev**, Y.S. Zhechev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 862, no 2. – P. 022037.

12. **Medvedev, A.V.** Studying the switching order for a three-wire structure with modal reservation after failures / **A.V. Medvedev** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 919(2020). – P. 052022.

13. Zhechev, Y.S. Using N -norms for analysing a device with a single modal reservation / Y.S. Zhechev, A.V. Zhecheva, **A.V. Medvedev**, T.R. Gazizov // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1611, no 1. – P. 012065.

14. **Medvedev, A.V.** Parametric optimization of double-sided printed circuit board with triple modal reservation accounting failures / **A.V. Medvedev**, T.R. Gazizov // ELECTRICA. – 2023. – Vol. 23, no. 2 – P. 338–344.

15. Zhechev, Y.S. Signal integrity analysis of the structure with single modal reservation before and after failures / Y.S. Zhechev, **A.V. Medvedev**, T.R. Gazizov // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. – 2023. – Vol. 12, no. 1. – P. 69–73.

Доклады в трудах конференций, индексируемых WoS и Scopus

16. Quasistatic simulation of ultrashort pulse propagation in the spacecraft autonomous navigation system circuit with modal reservation / P.E. Orlov, **A.V. Medvedev**, V.R. Sharafutdinov, I.F. Kalimulin // International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON) – Novosibirsk, Russia, 18–22 September 2017. – P. 244–249.

17. Orlov, P.E. Quasistatic simulation of ultrashort pulse propagation in the spacecraft autonomous navigation system power circuit with modal reservation / P.E. Orlov, **A.V. Medvedev**, V.R. Sharafutdinov // 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices – Erlagol, Russia, 29 June–03 July 2018. – P. 244–249.

18. Sharafutdinov, V.R. Using modal reservation for ultrashort pulse attenuation after failure / V.R. Sharafutdinov, **A.V. Medvedev** // Proc. of IEEE 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Novosibirsk, Russia, 21–27 October 2019. – P. 1–4.

19. **Medvedev, A.V.** Studying the propagation of an ultrashort pulse in a cable attached to a PCB system with modal reservation // 2021 IEEE 22nd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) – Souzga, Russia, 30 June–04 July 2021 – P. 1–4.

20. Gazizov, R.R. Using portraits of N-norms for large-scale investigation of circuits with modal reservation / R.R. Gazizov, **A.V. Medvedev**, T.R. Gazizov // 2021 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics) – Omsk, Russian, 09–11 November 2021 – P. 1–6.

21. **Medvedev, A.V.** Studying the circuit switching order after failures for a shielded structure with triple modal reservation / **A.V. Medvedev**, T.R. Gazizov // 2021 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2021 – Yekaterinburg, 13–14 May 2021 – P. 427–430.

22. Kosteletskii, V.P. Method for experimental study of circuits with triple modal reservation in time and frequency domains / V.P. Kosteletskii, **A.V. Medvedev**, Y.S. Zhechev // 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – Magnitogorsk, Russian, 23–25 September 2022. – P. 80–85.

23. **Medvedev, A.V.** Interconnect routing on two signal layers of a modal reservation PCB: a case study // 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – Magnitogorsk, Russian, 23–25 September 2022. – P. 1–6.

Доклады в трудах отечественных конференций

24. **Медведев, А.В.** Методы повышения помехоустойчивости и надежности энергосистемы космического аппарата: обзор // Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018» – Томск, Россия, 16–18 мая 2018. – С. 130–133.

25. **Медведев, А.В.** Исследование меандровой линии на печатной плате с модальным резервированием / **А.В. Медведев**, А.О. Губин // Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019» – Томск, Россия, 15–17 Мая 2019. – С. 21–24.

26. **Медведев, А.В.** Ослабление сверхкороткого импульса после отказа при модальном резервировании // XV международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» – Томск, Россия, 20–22 ноября 2019. – С. 38–41.

27. **Медведев, А.В.** Ослабление сверхкороткого импульса после отказа при трехкратном модальном резервировании // 25-я Всероссийская научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС- 2019» – Томск, Россия, 19 ноября 2019. – С. 162–167.

28. Ромашов, И.П. Исследование порядка переключения цепей после отказов типовой структуры с трехкратным модальным резервированием / И.П. Ромашов, **А.В. Медведев** // 26-я Всероссийская научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС-2020» – Томск, Россия, 24 ноября 2020. – С. 117–122.

29. **Медведев, А.В.** Анализ задержек импульсов разложения в системе кабель–плата с модальным резервированием // Перспективы развития фундаментальных наук. сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, Россия, 21–24 апреля 2020. – С. 78–80.

30. Гребенюк, А.В. Проектирование и изготовление тестовых печатных плат с модальным резервированием/ А.В.Гребенюк, **А.В. Медведев** // Сборник избранных статей международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2022». – Томск, Россия, 18–20 мая 2022. – Ч. 1. – С. 221–224.

31. Лакоза, А.М. Разработка печатной платы с трехкратным модальным резервированием с исполнением опорного проводника в виде боковых полигонов / А.М.Лакоза, **А.В. Медведев** // Сборник избранных статей международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2022». – Томск, Россия, 18–20 мая 2022. – Ч. 1. – С. 224–227.

32. Газизов, Р.Р., **Медведев А.В.**, Газизов Т.Р. Использование портретов N-норм для массового исследования цепей с модальным резервированием / Р.Р.Газизов, А.В. Медведев, Т.Р. Газизов // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск, Россия, 09-11 ноября 2021. – Т. 9, по. 3. – С. 104–109.

33. **Медведев, А.В.** Анализ защитных характеристик структуры двухслойной печатной платы из различных материалов с трехкратным модальным резервированием / **А.В. Медведев**, С.Р. Морозов // 28-я Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС-2022» – Томск, Россия, 16 ноября 2022. – С. 126–134.

34. **Медведев, А.В.** Оптимизация структур печатной платы с двухслойным диэлектриком на основе модального резервирования / **А.В. Медведев**, С.Р. Морозов // XXX Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция «Микроэлектроника и информатика-2023» – Москва, Россия, 20–21 апреля 2023. – С. 192.

35. Морозов, С.Р. Анализ характеристик структуры печатной платы с проводниками на внутреннем слое с модальным резервированием / С.Р. Морозов, **А.В. Медведев** // XX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» – Томск, Россия, 25–28 апреля 2022. – С. 91–93.

36. Морозов, С.Р. Параметрическая и структурная оптимизация генетическим алгоритмом печатной платы с двухслойным диэлектриком / С.Р. Морозов, **А.В. Медведев** // XX Всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов – Томск, Россия, 2–5 мая 2023. – С. 28–30.

37. Морозов, С.Р. Характеристики структуры с проводниками на внешнем слое печатной платы с модальным резервированием / С.Р. Морозов, **А.В. Медведев** // Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР 2023» – Томск, Россия, 17–19 мая 2023. – С. 49–51.

Тезисы в трудах отечественных конференций

38. **Медведев, А.В.** Влияние щели в плоскости земли на волновое сопротивление многослойной печатной платы с модальным резервированием / **А.В. Медведев**, П.Е. Орлов // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций – Севастополь, Россия, 22–26 октября, 2018. – No. 1. – С. 198.

39. Орлов, П.Е. Компоновка и трассировка электрических соединений в вопросах обеспечения ЭМС РЭА: обзор / П.Е. Орлов, **А.В. Медведев**, В.Р. Шарафутдинов // Научно-техническая конференция молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства». – Томск, Россия, 12–3 апреля, 2018. – С. 46–48.

40. **Медведев, А.В.** Исследование распространения сверхкороткого импульса в системе кабель–плата с модальным резервированием // IEEE XXII Международная конференция молодых специалистов в области электронных приборов и материалов (EDM 2021). – Новосибирск, Россия, 30 июня–04 июля, 2021. – С. 172–176.

Патенты

41. Патент РФ на изобретение №2752232. **Медведев А.В.**, Газизов Т.Р. Способ трассировки печатных проводников с дополнительным диэлектриком для цепей с двухкратным резервированием. Заявка №2019140181. Приоритет изобретения 09.12.2019. Опубликовано: 23.07.2021 Бюл. №16.

42. Патент РФ на изобретение №2738955. Шарафутдинов В.Р., Газизов Т.Р., **Медведев А.В.** Способ трехкратного резервирования межсоединений. Заявка №2019138502. Приоритет изобретения 09.12.2019. Опубликовано: 21.12.2020 Бюл. №36.

43. Патент РФ на изобретение №2752233. **Медведев А.В.**, Alhaj Hasan A., Кузнецова-Таджибаева О.М., Газизов Т.Р. Способ трассировки печатных проводников на двухслойной печатной плате для цепей с резервированием. Заявка №2020122274. Приоритет изобретения 06.07.20. Опубликовано: 23.07.2021 Бюл. №21.

44. Патент РФ на изобретение №2754077. **Медведев А.В.**, Alhaj Hasan A., Кузнецова-Таджибаева О.М., Газизов Т.Р. Способ трассировки печатных проводников цепей с резервированием на противоположных сторонах печатной платы. Заявка №2020122269. Приоритет изобретения 06.07.2020. Опубликовано: 26.08.2021 Бюл. №24.

45. Патент РФ на изобретение №2754078. **Медведев А.В.**, Кузнецова-Таджибаева О.М., Газизов Т.Р. Способ компоновки многослойных печатных плат для цепей с резервированием. Заявка №2020122293. Приоритет изобретения 06.07.20. Опубликовано: 26.08.2021 Бюл. №24.

46. Патент РФ на изобретение №2767190. **Медведев А.В.**, Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Способ переключения цепей с трёхкратным резервированием после отказов. Заявка №2021116338. Приоритет изобретения 07.06.2021. Опубликовано: 16.03.2022 Бюл. №8.

47. Патент РФ на изобретение №2770516. **Медведев А.В.**, Газизов Т.Р. Способ переключения цепей с двукратным резервированием после отказов. Заявка №2021115974. Приоритет изобретения 03.06.2021. Опубликовано: 18.04.2022 Бюл. №11.

48. Патент РФ на изобретение №2779536. **Медведев А.В.**, Газизов Т.Р. Способ трассировки печатных проводников цепей питания с резервированием. Заявка №2021115972. Приоритет изобретения 03.06.21. Опубликовано: 08.09.2022 Бюл. №25.