



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НИИ ТУСУР,

к.т.н., доцент

А.Г. Лошилов

2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Зеркально-симметричные модальные фильтры и меандровые линии» выполнена в ТУСУРе на кафедре телевидения и управления (ТУ).

Соискатель Черникова Евгения Борисовна обучается в очной аспирантуре ТУСУРа.

В 2017 г. окончила бакалавриат ТУСУРа по профилю «Цифровое телерадиовещание».

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

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2021 г. ТУСУРом.

Научный руководитель – Заболоцкий Александр Михайлович, д.т.н., доцент, профессор кафедры ТУ ТУСУРа.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Черниковой Евгении Борисовны является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи совершенствования защиты радиоэлектронных средств от сверхкоротких импульсов с помощью зеркально-симметричных модальных фильтров и меандровых линий, имеющей значения для развития технических наук.

Личное участие автора в получении результатов

Автору принадлежит ключевая роль в получении основных результатов работы. Личный вклад автора в публикациях, выполненных в соавторстве: [1, 13] – оптимизация четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра, квазистатическое моделирование, анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов; [3, 4, 7–9, 16, 18–23, 25–26, 29, 39, 42, 43] – постановка задачи, программная реализация, моделирование и/или оптимизация, анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов; [5] – постановка задачи, программная реализация, моделирование зеркально-

симметричных меандровых линий, анализ и обобщение полученных результатов; [6, 12, 30, 36] – квазистатическое моделирование, анализ полученных результатов; [14] – квазистатическое и электродинамическое моделирование, формулировка аналитического выражения, оптимизация; [15] – постановка задачи, моделирование, формулировка методики выявления дополнительных импульсов во временном отклике структур с модальным разложением, анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов; [10, 17, 32] – анализ погонных параметров, моделирование, обобщение и интерпретация полученных результатов; [24] – вычисление матриц погонных задержек мод, формулировка аналитических выражений, подтверждение достоверности результатов, анализ; [25] – формулировка целевых функций для оптимизации, квазистатическое моделирование двухпроводных модальных фильтров; [31, 41] – анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов; [44–49] – программная реализация и тестирование. Обработка и интерпретация моделирования выполнены совместно с А.О. Белоусовым. Разработка макетов четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра и зеркально-симметричной меандровой линии и их измерений выполнены совместно с Е.С. Жечевым.

Степень достоверности результатов работы

Достоверность основывается на корректном использовании теории линий передачи и численных методов, согласованности результатов моделирования квазистатическим и электродинамическим подходами, экспериментальных исследований и данных, полученных другими авторами. Реализуемость предложенных устройств на практике подтверждена моделированием и экспериментально.

Научная новизна диссертации

1. Выполнено исследование зеркально-симметричных модальных фильтров, отличающееся многокритериальной оптимизацией, оценкой влияния влагозащитного покрытия и корпуса, использованием дополнительной симметрии и модального резервирования, а также аналитических условий выравнивания разностей соседних погонных задержек мод.

2. Предложены зеркально-симметричные структуры, отличающиеся использованием перемычек на концах вместо резисторов.

3. Разработана методика выявления дополнительных импульсов во временном отклике структур с модальным разложением на воздействие сверхкороткого импульса

Практическая значимость

1. Разработаны макеты зеркально-симметричных модальных фильтров и меандровых линий для экспериментальных исследований модального разложения сверхкороткого импульса.

2. Внедрены результаты исследования зеркально-симметричного модального фильтра в качестве варианта устройства помехозащиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры в АО «ИСС», г. Железногорск. (Акт внедрения).

3. Внедрены результаты вывода аналитических условий выравнивания разностей погонных задержек мод в зеркально-симметричном модальном фильтре и моделирования зеркально-симметричных модальных фильтров в учебный процесс радиотехнического факультета ТУСУР, г. Томск. (Акт внедрения).

4. Получены параметры поперечного сечения 4-х структур зеркально-симметричного модального фильтра, позволяющие минимизировать амплитуду выходного напряжения и получить попарно выравненные напряжения выходных импульсов.

5. Представлены предложения по модификации зеркально-симметричного модального фильтра за счет соединения проводников на концах линии перемычкой.

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.

Использование результатов исследований:

1. Получение 2 патентов на изобретение и 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

2. 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ переданы АО «ИСС» по отчуждению исключительного права № 2181/20-ЕП-140 от 19.11.2020.

3. 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 г.

4. НИР «Выявление новых подходов к совершенствованию обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры и

моделирования систем активного зрения роботов», проект №8.9562.2017, 2017–2019 г.

5. НИР «Разработка методологии создания помехозащитных устройств на основе модальной технологии» по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект № МД-365.2018.8, 2018–2019 г.

6. НИР «Модальное резервирование электрических цепей критичных радиоэлектронных средств и систем», грант РНФ 19-19-00424, 2019–2021 г.

7. 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, 2020–2023 г.

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

9. Учебный процесс студентов радиотехнического факультета ТУСУР.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Черниковой Евгении Борисовны по своему содержанию соответствует специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в области исследования «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиотехнических устройств» по п. 9 паспорта специальности.

Полнота изложенных материалов в печатных работах, опубликованных автором


Основные результаты исследований отражены в 49 публикациях (10 без соавторов): 3 статьи в журнале из перечня ВАК, 8 публикаций в журналах, индексируемых в WoS/Scopus, 8 публикаций в трудах конференций, индексируемых WoS/Scopus, 19 публикаций в трудах отечественных конференций и 3 публикации в тезисах отечественных конференций, а также 2 патента и 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация «Зеркально-симметричные модальные фильтры и меандровые линии» Черниковой Евгении Борисовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».


Заключение принято на заседании кафедры ТУ.

Присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования:
«за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 6 от
«22» мая 2021.

Председатель,
д.т.н., заведующий кафедры ТУ


_____ Т.Р. Газизов

Секретарь,
к.т.н., ассистент кафедры ТУ


_____ А.В. Демаков

Список публикаций соискателя Черниковой Евгении Борисовны

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Жечев, Е.С. Экспериментальные исследования зеркально-симметричного модального фильтра во временной и частотной областях / Е.С. Жечев, Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов, Т.Р. Газизов // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – №2. – С. 162–179.
2. Черникова, Е.Б. Зеркально-симметричная меандровая линия, защищающая от сверхкоротких импульсов // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 2. – С. 280–293.
3. Черникова, Е.Б. Модальное разложение сверхкороткого импульса в 8-проводных зеркально-симметричных структурах / Е.Б. Черникова, Т.Р. Газизов // Журнал радиоэлектроники. – 2020. – № 9. – С. 1–17.

Статья в журнале, входящем в Q1 Scopus

4. Chernikova, E.B. Using reflection symmetry to improve the protection of radio-electronic equipment from ultrashort pulses / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky // Symmetry. – Vol. 11(7), No. 883. – 2019. – P. 1–25.
5. Belousov, A.O. 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. – Vol. 12(7), No. 1117. – 2020. – P. 1–38.

Публикации в журналах, индексируемых WoS и Scopus

6. Belousov, A.O. Quasi-static and electrodynamic simulation of reflection symmetric modal filter time response on ultra-short pulse excitation / A.O. Belousov, E.B. Chernikova, R.R. Khazhibekov, A.M. Zabolotsky // Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – Vol. 1015. – No. 032015. – P. 1–5.
7. Chernikova, E.B. Ultrashort pulse decomposition in reflection symmetric meander line of four cascaded half-turns / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 597. – No. 012067. – P. 1–6.
8. Chernikova, E.B. Ultrashort pulse decomposition in reflection symmetric meander lines of three cascaded half-turns / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Journal of physics: conference series. – 2019. – Vol. 1353. – No. 012022. – P. 1–6.
9. Chernikova, E.B. Ultrashort pulse decomposition in reflection symmetric meander lines of two cascaded half-turns / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Journal of physics: conference series. – 2020. – Vol. 1499. – No. 012029. – P. 1–5.
10. Chernikova, E.B. Evaluating the influence of the magnetic permeability of the microstrip modal filter substrate on its frequency characteristics / E.B. Chernikova, A.A. Kvasnikov, A.M. Zabolotsky, S.P. Kuksenko // Journal of physics: conference series. – 2020. – Vol. 1611. – No. 012032. – P. 1–4.

11. Chernikova, E.B. Studying the structures of modal filter with circular reflection symmetry / E.B. Chernikova // Journal of physics: conference series. – 2021. – Vol. 1862. – No. 012027. – P. 1–5.

Доклады в трудах конференций, индексируемых WoS и Scopus

12. Chernikova, E.B. Comparative analysis of microstrip and reflection symmetric four-conductor modal filters / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, A.O. Zabolotsky // Proc. of international siberian conference on control and communications (SIBCON–2019), Tomsk, Russia, April 18–20, 2019. – P. 1–4.

13. Chernikova, E.B. Research of the new structure of reflection symmetric modal filter / Y.S. Zhechev, E.B. Chernikova, A.O. Belousov // 20th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM. – Erlagol, Altai, June 29 – July 3, 2019. – P. 108–112.

14. Chernikova, E.B. Analysis of frequency characteristics of a reflection symmetric modal filter / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Proc. of IEEE 2019 International multi-conference on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON). – Russia, Tomsk, Oct. 23–24, 2019. – P. 0212–0216.

15. Chernikova, E.B. Method for detecting additional pulses in the time response of structures with modal decomposition / E.B. Chernikova, A.O. Belousov // Proc. of IEEE 2019 International multi-conference on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON). – Russia, Tomsk, Oct. 23–24, 2019. – P. 0245–0249.

16. Chernikova, E.B. Reflection symmetric meander line protecting against ultrashort pulses / E.B. Chernikova, A.O. Belousov // Proc. of 21 International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2020). – Erlagol, Altai, June 29–July 3, 2020. – P. 165–168.

17. Chernikova, E.B. Using composite insulating materials to improve modal filter performance / E.B. Chernikova, A.A. Ivanov // Proc. of 21 International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2020). – Erlagol, Altai, June 29–July 3, 2020. – P. 187–190.

18. Chernikova, E.B. Multivariate analysis of multiconductor transmission lines for triple modal reservation / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, A.M. Zabolotsky // Proc. of 22 International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2021). – Erlagol, Altai, June 29–July 3, 2021. – P. 1–5.

19. Chernikova, E.B. Quasi-static analysis of shielded multiconductor transmission lines for triple modal reservation / E.B. Chernikova, A.O. Belousov // Proc. of 2021 IEEE Ural symposium on biomedical engineering, radioelectronics and information technology – Russia, May 13–14, 2021. – P. 1–5.

Доклады в трудах отечественных конференций

20. Черникова, Е.Б. Оптимизация параметров зеркально-симметричного модального фильтра по двум критериям / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2017», г. Томск, 10–12 мая 2017. – С. 95–97.

21. Черникова, Е.Б. Параметрическая оптимизация зеркально-симметричных полосковых модальных фильтров по двум критериям / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов, А.М. Заболоцкий // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники», г. Красноярск, Россия, 4–5 мая 2017. – С. 3–6.

22. Белоусов, А.О. Трехкритериальная оптимизация как ресурс для совершенствования зеркально-симметричного модального фильтра / А.О. Белоусов, Е.Б. Черникова, А.М. Заболоцкий // Материалы 23-й международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-23-2017)», г. Томск, 24 ноября 2017. – С. 150–154.

23. Черникова, Е.Б. Моделирование и разработка макета зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов, А.М. Заболоцкий // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – г. Томск, 29 ноября–1 декабря, 2017. – С. 5–7.

24. Черникова, Е.Б. Аналитические выражения для вычисления погонных задержек мод зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Сборник избранных статей по материалам международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – г. Томск, 16–18 мая 2018. – С. 240–243.

25. Куулар, Ш.В. Моделирование модального фильтра для защиты входных цепей пикосекундного локатора / Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков, Е.Б. Черникова // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – г. Томск, 28–30 ноября, 2018. – С. 318–321.

26. Черникова, Е.Б. Особенности модальных фильтров на основе зеркально-симметричных структур / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск, 28–30 ноября, 2018. – С. 269–272.

27. Черникова, Е.Б. Анализ влияния влагозащитного покрытия на характеристики зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова // Сборник избранных статей по материалам международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – Томск, Россия, 22–24 мая, 2019. – Ч. 2. – С. 232–236.

28. Черникова, Е.Б. Исследование возможности защиты от сверхкороткого импульса с использованием зеркально-симметричной меандровой линии // Материалы XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – г. Томск, 23–26 апреля 2019 г. – С. 119–121.

29. Черникова, Е.Б. Анализ разложения сверхкороткого импульса в зеркально-симметричной меандровой линии из двух последовательно соединенных полувитков / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Материалы VIII

Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиофизики». – г. Томск, 1–4 октября 2019 г. – С 159–162.

30. Черникова, Е.Б. Асимметрия матриц погонных параметров многопроводных линий передачи / А.О. Белоусов, Е.Б. Черникова, С.П. Куксенко // 25-я Всероссийск. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС-2019». –Томск, Россия, 19 ноября, 2019. – С. 138–142.

31. Кенжегулова, З.М. Аналитические выражения для вычисления временного отклика двух последовательно соединенных отрезков связанных линий при согласовании по выходу / З.М. Кенжегулова, Е.Б. Черникова, А.М. Заболоцкий // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Информационные технологии и когнитивная электросвязь». – г. Екатеринбург, 23 апреля 2020 г. – С. 29–33.

32. Черникова, Е.Б. Оценка влияния магнитной проницаемости подложки на частотные характеристики микрополоскового модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.А. Квасников // Материалы XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – г. Томск, 21–24 апреля 2020 г. – Т. 7. – С. 129–131.

33. Chernikova, E.B. Modal decomposition of an ultrashort pulse in the reflection symmetric meander line with conductors connected at one end // Сборник избранных статей международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2020». – Томск, Россия, 13–30 мая, 2020. – Ч. 2. – С. 317–320.

34. Черникова, Е.Б. Зеркально-симметричная меандровая линия из двух отдельных витков с перемычкой на разных концах линии // Материалы XVI международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск, 18–20 ноября, 2020. – С. – 332–335.

35. Chernikova, E.B. Modal decomposition of an ultrashort pulse in structures with circular reflection symmetry // Материалы XVI международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск, 18–20 ноября, 2020. – С. – 225–227.

36. Иванцов, И.А. Оптимизация параметров 8-проводного зеркально-симметричного модального фильтра квадратной конфигурации / И.А. Иванцов, Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Материалы XVI международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск, 18–20 ноября, 2020. – С. – 262–265.

37. Chernikova, E.B. Quasistatic simulation of reflection symmetric meander line with three conductors connected at one end // Сборник избранных статей международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2021». – Томск, Россия, 19–21 мая, 2021. – С. 1–4.

38. Черникова, Е.Б. Аналитическое условие выравнивания разностей задержек мод зеркально-симметричного модального фильтра // Сборник

избранных статей международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2021». – Томск, Россия, 19–21 мая, 2021. – С. 1–4.

Тезисы в трудах отечественных конференций

39. Черникова, Е.Б. Согласование зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Тезисы докладов научно-технической конференции молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и устройства». – Томск, Россия, 12–13 апреля, 2018. – С. 95–97.

40. Черникова, Е.Б. Анализ влияния экранирующего корпуса на характеристики зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова // Материалы XLV международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения – 2019». – Москва, 16–19 апреля, 2019. – С. 529–530.

41. Черникова, Е.Б. Защита цепей электропитания космического аппарата от электростатического разряда с помощью модального фильтра / Е.Б. Черникова, Р.Р. Хажобеков, А.М. Заболоцкий // Материалы 18-й международной конференции «Авиация и космонавтика–2019». – Москва, Россия, 18–22 ноября, 2019. – С. 114–115.

Патенты

42. Патент на изобретение №2726743 РФ. Зеркально-симметричная меандровая линия, защищающая от сверхкоротких импульсов. – Белоусов А.О., Газизов Т.Р., Черникова Е. – Заявка № 2019140186; заявлен 09.12.2019; опубликован 15.07.2020. Бюл. №20.

43. Патент РФ на изобретение №2732607 РФ. Способ однократного модального резервирования межсоединений. – Белоусов А.О., Газизов Т.Р., Черникова Е. – Заявка №2019140187; заявлен 09.12.2019; опубликован 25.09.2020. Бюл. №27.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

44. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019618763. Анализ четырехпроводного зеркально-симметричного модального фильтра. Авторы: Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Заявка №2019617559. Дата поступления 24.06.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.07.2019 г.

45. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019618764. Анализ четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра. Авторы: Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Жечев Е.С. Заявка №2019617564. Дата поступления 24.06.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.07.2019 г.

46. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019618824. Анализ двухпроводного зеркально-симметричного модального фильтра. Авторы: Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Жечев Е.С. Заявка №2019617591. Дата поступления 24.06.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 05.07.2019 г.

47. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019618825. Анализ зеркально-симметричной меандровой линии из четырех последовательно соединенных полувитков. Авторы: Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Газизов Т.Р. Заявка № 2019617592. Дата поступления 24.06.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 05.07.2019 г.

48. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019619026. Оптимизация четырехпроводного зеркально-симметричного модального фильтра. Авторы: Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Заболоцкий АМ. Газизов Т.Р. Заявка №2019617572. Дата поступления 24.06.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.07.2019 г.

49. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019619027. Анализ зеркально-симметричной меандровой линии из двух последовательно соединенных полувитков. Авторы: Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Газизов Т.Р. Заявка №2019617569. Дата поступления 24.06.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.07.2019 г.