



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НРиИ ТУСУР,

к.т.н., доцент

А.Г. Лоцилов

«23» 03 2020

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Анализ и оптимизация многопроводных структур с модальным разложением для обработки импульсных сигналов» выполнена в ТУСУРе на кафедре телевидения и управления (ТУ).

Соискатель Белоусов Антон Олегович обучается в очной аспирантуре ТУСУРа.

В 2015 г. окончил бакалавриат ТУСУРа по профилю «Цифровое телерадиовещание».

В 2017 г. окончил магистратуру ТУСУРа по программе «Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2018 г. ТУСУРом.

Научный руководитель – доктор технических наук Газизов Тальгат Рашитович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой ТУ ТУСУРа.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Белоусова Антона Олеговича является научно-квалифицированной работой, в которой содержится решение важных и актуальных задач: формулировка критериев оптимизации и целевых функций на их основе для улучшения характеристик многопроводных защитных устройств; совершенствование защитных устройств на основе многопроводных линий; использование последовательной оптимизации эвристическим поиском и генетическим алгоритмом для сокращения времени вычисления и получения более высоких характеристик защитных устройств.

Актуальность темы

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) важно для радиоэлектронной аппаратуры, особенно для критичной. В последние десятилетия становится крайне актуальной защита от преднамеренных силовых электромагнитных воздействий (ПДЭМВ). Особое внимание уделяют мощным импульсам наносекундного и субнаносекундного

диапазонов – сверхкоротким импульсам, поскольку из-за широкого спектра и малой длительности они способны проникать в различную радиоэлектронную аппаратуру, а существующие сетевые фильтры не защищают от них. Известен ряд промышленных устройств для защиты от сверхкоротких импульсов, но они имеют большие габариты и высокую стоимость, тогда как традиционные приборы помехозащиты обладают рядом недостатков, такими как малая мощность, недостаточное быстродействие, паразитные параметры. Решением данной проблемы является разработка и совершенствование новых устройств защиты, не обладающих указанными недостатками.

Личное участие автора в получении результатов

Автору принадлежит ключевая роль в получении основных результатов работы. Личный вклад автора в публикациях, выполненных в соавторстве: [1, 2, 5–7, 13–15, 17, 20, 22–25, 30, 32, 33, 37, 38, 41, 43, 48, 49, 56] – программная реализация кода, моделирование и/или оптимизация, использование сформулированных целевых функций при оптимизации, подтверждение достоверности результатов, анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов; [4, 8–11, 26–29, 34–36, 39–40, 42, 44, 50–55] – постановка задачи, программная реализация, анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов; [3, 12, 16, 18–19, 21, 31] – проведение обзора, систематизация данных и полученных результатов, описание особенностей исследуемых структур, анализ и обобщение полученных результатов; [45, 47] – программная реализация и её тестирование. Часть результатов по моделированию и оптимизации зеркально-симметричных модальных фильтров получена совместно с Черниковой Е.Б., а их экспериментальное исследование – с Жечевым Е.С. Отдельные экспериментальные исследования выполнены совместно с Заболоцким А.М. Анализ, обобщение и интерпретация полученных результатов выполнены совместно с Газизовым Т.Р.

Степень достоверности результатов работы

Достоверность подтверждена сравнением результатов моделирования с результатами других авторов, других программных продуктов и натурального эксперимента. Она основана на корректном использовании теории линий передачи, согласованности результатов квазистатического анализа, электродинамического анализа и измерений. Реализуемость предложенных устройств на практике подтверждена моделированием и экспериментально.

Научная новизна диссертации

1. Предложена защита радиотехнических устройств от сверхкоротких импульсов на основе использования многопроводных модальных фильтров: микрополосковых; зеркально-симметричных; с круговой симметрией.

2. Доказана возможность максимизации длительности полностью разлагаемого на последовательность импульсов в многопроводных полосковых модальных фильтрах сверхкороткого импульса, достигающаяся за счет максимизации разности задержек между первым и последним импульсами разложения и выравнивания – между соседними.

3. Введены целевые функции, компоненты которых зависят от амплитуды выходных импульсов, их разностей задержек, временных интервалов между ними, согласования с трактом, массы и объема, и доказана перспективность совместного использования этих компонент при многокритериальной оптимизации структур с модальным разложением.

Практическая значимость

1. Разработаны и внедрены результаты: моделирования шины печатной платы радиоприемного устройства системы автономной навигации космического аппарата, выявления уровня перекрестных наводок и оценки коэффициента передачи в межсоединениях печатной платы, позволившие выявить критичные места трассировки; создания методологии для синтеза оптимальной сети высоковольтного электропитания перспективных космических аппаратов (2 акта внедрения в АО «ИСС», г. Железногорск); моделирования, экспериментальных исследований и оптимизации многопроводных микрополосковых модальных фильтров для защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов, позволившие улучшить подготовку магистрантов двух университетов (2 акта внедрения: НИ ТГУ и ТУСУР, г. Томск).

2. Создана система практических рекомендаций по моделированию, оптимизации и использованию многопроводных модальных фильтров, позволяющая улучшить их характеристики.

3. Представлены предложения по дальнейшему совершенствованию: оптимизации за счет последовательного использования эвристического поиска и генетического алгоритма с уменьшенными вычислительными затратами; генерации высоковольтных импульсов за счет использования многопроводных структур с модальным разложением при формировании цуга колебаний без использования дорогостоящих компонентов.

4. Определена степень влияния потерь в проводниках и диэлектриках многопроводных модальных фильтров при использовании реальных оцифрованных сигналов с разными длительностями.

5. Определены пределы изменения характеристик многопроводных модальных фильтров после нанесения влагозащитного покрытия.

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. ОКР «Разработка принципов построения и элементов системы автономной навигации с применением отечественной специализированной элементной базы на основе наногетероструктурной технологии для космических аппаратов всех типов орбит», тема «САН», договор № 96/12 от 16.11.2012 в рамках реализации Постановления 218 Правительства РФ.

2. ОКР «Разработка цифрового управляющего и силовых модулей энергопреобразующего комплекса для высоковольтных систем электропитания космических аппаратов», тема «Модули ЭПК-100», договор № 18/15 от 29.07.2015 г. в рамках реализации Постановления 218 Правительства РФ.

3. НИР «Комплексные исследования по разработке алгоритмов, математического обеспечения и средств проектирования для создания новых элементов защиты и контроля вычислительных систем на основе модальных явлений», грант РФФИ 14-29-09254, 2014–2016 гг.

4. НИР «Комплексное обоснование возможностей создания модальной технологии помехозащиты критичной радиоэлектронной аппаратуры и совершенствования существующих и разработки новых помехозащитных устройств на её основе», грант РФФИ 14-19-01232, 2014–2016 гг.

5. НИР «Разработка новых программных и аппаратных средств для моделирования и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры» в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности, проект 8.1802.2014/К, 2014–2016 гг.

6. НИР «Выявление новых подходов к совершенствованию моделирования и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры» в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности, проект 8.9562.2017, 2017–2019 гг.

7. 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.

8. НИР «Модальное резервирование электрических цепей критичных радиоэлектронных средств и систем», грант РФФИ 19-19-00424, 2019–2021 гг.

9. НИР «Структурно-параметрический синтез оптимальных полосковых структур для защиты технических средств от сверхкоротких импульсов», грант Президента Российской Федерации МД-2652.2019.9, 2019–2020 гг.

10. Учебный процесс НИ ТГУ: целевая подготовка магистрантов физико-технического факультета по программе «Проектирование и конструирование промышленных космических систем» для предприятия «Газпром космические системы» в весеннем семестре 2017/2018 уч. г.

11. Учебный процесс магистрантов радиотехнического факультета ТУСУР.

Полнота изложенных материалов в печатных работах, опубликованных автором

Основные результаты исследований отражены в 56 публикациях (5 без соавторов): 4 статьи в журналах из перечня ВАК; 2 статьи в журналах, входящих в Q1 WoS или Scopus; 7 статей в журналах, индексируемых в WoS и Scopus; 16 докладов в трудах конференций, индексируемых в WoS и Scopus; 15 докладов в трудах других конференций; 12 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Специальность, которой соответствует диссертация


Диссертационная работа Белоусова Антона Олеговича 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.

Диссертация «Анализ и оптимизация многопроводных структур с модальным разложением для обработки импульсных сигналов» Белоусова Антона Олеговича 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 № 4 от «12» 03 2020 г.

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


А.М. Заболоцкий

Секретарь,
к.т.н., доцент кафедры ТУ


С.П. Куксенко

Список научных трудов

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Белоусов А.О. Многопроводная микрополосковая линия как модальный фильтр для защиты от сверхкоротких импульсов / А.О. Белоусов, Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий // Докл. Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. – 2015. – № 3 (37). – С. 124–128.
2. Белоусов А.О. Экспериментальное подтверждение модальной фильтрации в многопроводной микрополосковой линии / А.О. Белоусов, А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов // Докл. Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. – 2016. – № 3 (19). – С. 51–54.
3. Газизов Р.Р. Локализация максимумов напряжения в шине печатной платы системы автономной навигации космического аппарата / Р.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, А.О. Белоусов, Т.Т. Газизов // Труды МАИ. – Вып. 89: [URL: https://www.mai.ru/upload/iblock/9db/gazizov_zabolotskiy_belousov_gazizov_rus.pdf] (дата обращения: 29.08.2017).
4. 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.

Статьи в журналах, входящих в Q1 WoS или Scopus

5. Belousov A.O. Systematic approach to optimization for protection against intentional ultrashort pulses based on multiconductor modal filters / A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Complexity [URL: <http://downloads.hindawi.com/journals/complexity/2018/5676504.pdf>]. – Vol. 2018. – 2018. – P. 1–15, DOI: 10.1155/2018/5676504.
6. 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 [URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/11/7/883/pdf>]. – Vol. 11(7), No. 883. – 2019. – P. 1–25, DOI: 10.3390/sym11070883.

Статьи в журналах, индексируемых в WoS и Scopus

7. Belousov A.O. Optimization of multiconductor modal filters using various criteria with different weighting coefficients / A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Journal of physics: conference series [URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1015/2/022003/pdf>]. – 2018. – Vol. 1015, No. 2. – P. 1–6, DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022003.
8. 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: conference series [URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742->

6596/1015/3/032015/pdf]. – 2018. – Vol. 1015, No. 3. – P. 1–5, DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032015.

9. 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 [URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/597/1/012067/pdf>]. – 2019. – Vol. 597, No. 1. – P. 1–6, DOI: 10.1088/1757-899X/597/1/012067.

10. 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 // IOP Conf. Ser.: Mat. Science and Eng. – 2020. – Vol. 774, No. 1. – P. 1–5.

11. 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 [URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1353/1/012024/pdf>]. – 2019. – Vol. 1353, No. 1. – P. 1–6, DOI: 10.1088/1742-6596/1353/1/012024.

12. Nosov A.V. Simulating hybrid protection against ultrashort pulse based on its modal decomposition / A.V. Nosov, A.O. Belousov, R.S. Surovtsev and T.R. Gazizov // Journal of physics: conference series [URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1353/1/012022/pdf>]. – 2019. – Vol. 1353, No. 1. – P. 1–6, DOI: 10.1088/1742-6596/1353/1/012022.

13. Belousov A.O. The use of multiconductor strip structures for splitting an ultrashort pulse in its generation systems / A.O. Belousov, I.V. Romanchenko and T.R. Gazizov // Journal of physics: conference series [URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1399/2/022049/pdf>]. – 2019. – Vol. 1399, No. 2. – P. 1–7, DOI: 10.1088/1742-6596/1399/2/022049.

Доклады в трудах конференций, индексируемых WoS и Scopus

14. Belousov A.O. Maximization of duration of ultrashort pulse that is completely decomposed in multiconductor modal filters / A.O. Belousov, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky // Proceedings of International Siberian conference on control and communications (SIBCON–2016). – Russia, Moscow, May 12–14, 2016. – P. 1–4, DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491784.

15. Belousov A.O. Optimization of parameters of multiconductor modal filters for protection against ultrashort pulses / A.O. Belousov, A.M. Zabolotsky, T.T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – Russia, Altai, June 30–July 4, 2016. – P. 67–70, DOI: 10.1109/EDM.2016.7538694.

16. Gazizov R.R. Influence of ultrashort pulse duration on localization of crosstalk peak values in PCB of spacecraft autonomous navigation system / R.R. Gazizov, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Proceedings of International Siberian conference on control and communications (SIBCON–2017). – Astana, Kazakhstan, June 29–30, 2017. – P. 1–6, DOI: 10.1109/SIBCON.2017.7998517.

17. Belousov A.O. Optimization of three-conductor microstrip line modal filter by heuristic search and genetic algorithms / A.O. Belousov, T.T. Gazizov, T.R. Gazizov // Proceedings of International Siberian conference on control and communications (SIBCON-2017). – Astana, Kazakhstan, June 29–30, 2017. – P. 1–4, DOI: 10.1109/SIBCON.2017.7998522.

18. Orlov P.E. Method of lay-out of a multilayer PCB for circuits with triple reservation / P.E. Orlov, E.N. Buichkin, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Proceedings of International Siberian conference on control and communications (SIBCON-2017). – Astana, Kazakhstan, June 29–30, 2017. – P. 1–4, DOI: 10.1109/SIBCON.2017.7998528.

19. Gazizov R.R. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system / R.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.T. Gazizov, A.O. Belousov // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – Russia, Altai, June 29–July 3, 2017. – P. 69–74, DOI: 10.1109/EDM.2017.7981710.

20. Belousov A.O. Experimental confirmation of the modal filtration in four- and five-conductor microstrip lines / A.O. Belousov, A.M. Zabolotsky, T.T. Gazizov // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – Russia, Altai, June 29–July 3, 2017. – P. 46–49, DOI: 10.1109/EDM.2017.7981705.

21. Gazizov R.R. Optimization of ultrashort pulse duration with usage of genetic algorithms by criteria of peak voltage maximization in PCB bus / R.R. Gazizov, T.T. Gazizov, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering (SSDSE). – Russia, Novosibirsk, April 12–13, 2017. – P. 69–73, DOI: 10.1109/SSDSE.2017.8071967.

22. Belousov A.O. Multicriteria optimization of multiconductor modal filters by genetic algorithms / A.O. Belousov, T.T. Gazizov, T.R. Gazizov // 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering (SSDSE). – Russia, Novosibirsk, April 12–13, 2017. – P. 65–68, DOI: 10.1109/SSDSE.2017.8071966.

23. Belousov A.O. Multicriteria optimization of four-conductor modal filter by genetic algorithms / A.O. Belousov, T.T. Gazizov, T.R. Gazizov // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Russia, Novosibirsk, Sep. 18–22, 2017. – P. 445–448, DOI: 10.1109/SIBIRCON.2017.8109924.

24. Belousov A.O. Frequency characteristics of multiconductor microstrip modal filters / A.O. Belousov, T.R. Gazizov // XI International IEEE Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines". – Omsk, Russian Federation, Nov. 14–16, 2017. – P. 1–4, DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239434.

25. Belousov A.O. Simulation of the time response in multiconductor microstrip modal filters with separate accounting for losses in conductors and dielectrics / A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Moscow Workshop on Electronic and Networking

Technologies (MWENT–2018). – Moscow, Russia, March 14–16, 2018. – P. 1–5, DOI: 10.1109/MWENT.2018.8337216.

26. Chernikova E.B. Comparative analysis of microstrip and reflection symmetric four-conductor modal filters / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, A.M. Zabolotsky // Proceedings of International Siberian conference on control and communications (SIBCON–2019). – Tomsk, Russia, April 18–20, 2019. – P. 1–4, DOI: 10.1109/SIBCON.2019.8729598.

27. Zhechev Y.S. 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. – Russia, Altai, June 29–July 3, 2019. – P. 1–4. DOI: 10.1109/EDM.2019.8823227.

28. Chernikova E.B. Analysis of frequency characteristics of a reflection symmetric modal filter / E.B. Chernikova, A.O. Belousov, T.R. Gazizov // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SI-BIRCON). – Russia, Tomsk, Oct. 23–24, 2019. – P. 0212–0216.

29. Chernikova E.B. Method for detecting additional pulses in the time response of structures with modal decomposition / E.B. Chernikova, A.O. Belousov // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Russia, Tomsk, Oct. 23–24, 2019. – P. 0245–0249.

Доклады в трудах отечественных конференций

30. Белоусов А.О. Оценка перекрестных наводок в многопроводном межсоединении печатной платы системы автономной навигации / А.О. Белоусов, Р.С. Суровцев, М.Е. Комнатнов // Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2015». – г. Томск, 13–15 мая, 2015. – С. 163–165.

31. Куксенко С.П. Новая постановка дисциплины «Теория ЭМС радиоэлектронных средств и систем» / С.П. Куксенко, А.О. Белоусов, А.В. Носов // Материалы международной научно-методической конференции «Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов». – г. Томск, Россия, 28–29 января, 2016. – С. 134–135.

32. Белоусов А.О. Модальное разложение сверхкороткого импульса в многопроводной линии передачи с круговой симметрией / А.О. Белоусов, А.М. Заболоцкий // Материалы 11-й международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2015. Ч. 2. – С. 14–18.

33. Белоусов А.О. Оптимизация параметров четырех- и пятипроводных модальных фильтров для защиты от сверхкоротких импульсов / А.О. Белоусов, А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники». – Красноярск, Россия, 5–6 мая, 2016. – С. 392–396.

34. 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». – Красноярск, Россия, 4–5 мая, 2017. – С. 3–6.

35. 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.

36. Черникова Е.Б. Моделирование и разработка макета зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов, А.М. Заболоцкий // Материалы 13-й международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления», посвященной 55-летию ТУСУРа. – г. Томск, 29 ноября–1 декабря, 2017. – С. 5–7.

37. 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.

38. Belousov A.O. Waterproof modal filter based on four-conductor microstrip line // The International scientific conference for students, post-graduate students and young scientists «Scientific session TUSUR-2018». – Tomsk, May 16–18, 2018. – P. 234–236.

39. Черникова Е.Б. Аналитические выражения для вычисления погонных задержек мод зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2018». – г. Томск, 16–18 мая, 2018. – С. 240–243.

40. 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». – г. Томск, 28–30 ноября 2018. – С. 269–272.

41. Белоусов А.О. Асимметрия матриц погонных параметров многопроводных линий передачи / А.О. Белоусов, Е.Б. Черникова, С.П. Куксенко // Материалы 25-й международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-25-2019)». – г. Томск, 19 ноября, 2019. – С. 138–142.

Тезисы в трудах отечественных конференций

42. Черникова Е.Б. Согласование зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Тезисы научно-технической конференции молодых специалистов «Электронные и электромеханические системы и

зов Т.Р. Заявка № 2019617559. Дата поступления 24.06.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.07.2019 г.

51. 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.

52. 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.

53. 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.

54. 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.

55. 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.

56. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664930. Многокритериальная оптимизация трехпроводного микрополоскового модального фильтра с разными весовыми коэффициентами. Автор: Белоусов А.О. Заявка № 2019664050. Дата поступления 07.11.2019 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15.11.2019 г.