

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе НГТУ  
доктор технических наук,  
профессор

Алексей Геннадьевич Вострецов



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Новосибирский государственный технический университет»

Диссертация «Широкополосные СВЧ аттенюаторы на основе фильтровых структур с диссипативными потерями» выполнена на кафедре Общей физики.

В период подготовки диссертации соискатель Столяренко Алексей Андреевич обучался в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре Общей физики, нормативный период обучения с 01.09.2015 г. по 31.08.2019 г.

В 2015 году Столяренко А.А. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», присуждена квалификация «Магистр».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 444 выдана в 2019 году Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный руководитель – Рубанович Михаил Григорьевич, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Общей физики, должность профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение (выписка из протокола заседания кафедры Общей физики):



## **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

Цель работы - исследование, разработка и практическая реализация многоэлементных сверхширокополосных СВЧ аттенюаторов и нагрузок высокого уровня мощности, выполненных на основе сосредоточенных и распределенных фильтровых структур с диссипативными потерями различной величины.

Работа Столяренко А.А. является актуальной и соответствует задачам государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013 - 2025 годы» утвержденной постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 329, а именно в части создания конкурентоспособной радиоэлектронной продукции и снижения зависимости от поставок зарубежного оборудования.

## **2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

В диссертации А.А. Столяренко представлены результаты работы выполненной им лично, которые включают:

Разработка широкополосных СВЧ аттенюаторов на пленочных микрополосковых резисторах, которые встроены в фильтровые структуры с диссипативными потерями. Исследование широкополосных свойств аттенюаторов, выполненных на основе фильтров с диссипативными потерями в виде фильтра нижних частот, квазиполиномиального фильтра и фильтра гармоник. Обоснование для построения аттенюатора в виде линии передачи с большими потерями в резистивном микрополоске и в диэлектрической подложке. Компьютерное моделирование рассчитанных устройств, включая задачи оптимизации в САПР, анализ и обработку полученных результатов, написание статей. Конструктивную проработку и монтаж экспериментальных изделий, выполнение измерений с использованием различной измерительной техники.

## **3. Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием строгого математического аппарата, а именно: теории функций комплексного переменного, аппарата матричного исчисления, теории рядов, численных методов электродинамического моделирования, симплексного и градиентного метода оптимизации. Также достоверность результатов подтверждается большим объемом компьютерного моделирования, результаты которого хорошо соотносятся с экспериментальными данными и не противоречат данным других авторов.



Результаты измерений характеристик экспериментальных образцов получены с помощью высокоточной измерительной аппаратуры, а именно скалярного анализатора цепей Микран Р2М-04А, тепловизора Fluke Ti300. Все оборудование имеет сертификаты калибровки в соответствии с регламентом государственной системы метрологического обеспечения.

#### **4. Новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований**

Предложенный подход для построения аттенюаторов, на основе встраивания в П-образную согласованную структуру на пленочных резисторах в фильтр нижних частот позволил при использовании согласующих и корректирующих элементов обеспечить в широкой полосе частот достаточно высокое качество согласования и равномерную форму амплитудно-частотной характеристики.

Разработанные широкополосные СВЧ аттенюаторы в виде неискажающей линии с однородными потерями в резистивном микрополоске и полупроводниковой подложке позволяют обеспечить уровень вносимого ослабления 1 - 20 дБ в полосе частот 0 - 10 ГГц.

Предложенные новые схемотехнические решения СВЧ аттенюаторов большой мощности на основе фильтров гармоник с диссипативными потерями обеспечивают работу в полосе частот 0-5 ГГц на уровнях мощности до 200 Вт, а при каскадном соединении до 1-2 кВт. Это значительно превышает диапазон рабочих частот известных решений на такой уровень входной мощности.

Практическая значимость работы заключается в решении ряда новых задач в области построения и создания опытных образцов диссипативных СВЧ устройств нового поколения, необходимых для контроля и измерения параметров выходных сигналов мощных радиопередатчиков для радиотехнических и телекоммуникационных систем различного назначения, в том числе спутниковых информационных систем. Результаты практического характера, полученные в диссертационной работе, внедрены в ООО «НПП Триада – ТВ» (Новосибирск), ООО «Альфа Инструментс» (Новосибирск), ООО «ИТЦ» «Контур» (Новосибирск), НГТУ (Новосибирск).

#### **5. Ценность научных работ соискателя**

В ходе проведенного исследования Столяренко А.А. показал преимущества применения метода, основанного на использовании фильтровых структур с диссипативными потерями для создания мощных широкополосных СВЧ аттенюаторов. По сравнению с известным дендридным и многоканальным методами построения диссипативных СВЧ



устройств предложенные фильтровый подход позволяет получить полосу рабочих частот до 5 ГГц.

В диссертации представлен ряд мощных СВЧ аттенюаторов с уровнем входной мощности до 200 Вт в диапазоне рабочих частот от 0 до 3-5 ГГц. Предложены и исследованы многокаскадные фильтровые структуры с потерями и проведено компьютерное моделирование мощных СВЧ аттенюаторов с уровнем входной мощности до 2000 Вт в диапазоне рабочих частот от 0 до 3-5 ГГц

Полученные результаты были опубликованы в рецензируемых отечественных журналах (Вопросы радиоэлектроники, Доклады ТУСУР). Получено 3 свидетельства о регистрации топологии ИМС и 2 патента на изобретение.

#### **6. Научная специальность, которой соответствует диссертация**

Согласно паспорту номенклатуры специальностей научных работников, раскрываются признаки соответствия:

Диссертационная работа Столяренко Алексея Андреевича «Мощные СВЧ аттенюаторы на основе фильтровых структур с диссипативными потерями» соответствует паспорту научной специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии:

- формуле паспорта специальности, так как в диссертации рассматриваются вопросы «разработки новых СВЧ устройств, а именно СВЧ аттенюаторов большой мощности. Метрологического обеспечения. Поиска новых научных и технических решений при создании таких устройств, а также поиска новых методов проектирования и новых технологических процессов»;

- областям исследования паспорта специальности, в частности:

- 1) пункту «3. Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных устройств СВЧ, в том числе управляющих, фазизирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами»;
- 2) пункту «7. Разработка методов проектирования и оптимизации антенных систем и СВЧ устройств широкого применения»;
- 3) пункту «9. Разработка методов проектирования и оптимизации антенных систем и СВЧ устройств широкого применения».

#### **7. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 28 научных работах. Из них работ, опубликованных согласно перечню,



российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК) - 3, а так же работ в научных изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science - 7; патентов РФ - 2; свидетельств о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы – 3.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены:

В работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях (из перечня ВАК):

1. Плёночные сверхвысокочастотные аттенюаторы на основе фильтровых структур с диссипативными потерями / Митьков А. С., Столяренко А.А., Рубанович М.Г./Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 4. С.84-89 УДК 621.375.54

2. Моделирование 50/75 Ом трансформатора с потерями в полосе 1,3 ГГц, на мощность 50Вт/ А.А. Столяренко, М.Г. Рубанович, К.Я. Аубакиров, В.А. Хрусталеv // Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая. — 2015. — № 5. — С. 132–138.

3. Использование метода конечных элементов для расчёта парциального распределения ёмкости микрополосковой линии / П. Г. Богомоллов, Д. В. Вагин, М. Г. Рубанович, В. А. Хрусталеv, А. А. Столяренко ; науч. рук. М. Г. Рубанович // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. - 2014. - № 3 (33). - С. 75–81.

**В полученных патентах на изобретения, свидетельствах о регистрации топологии интегральной микросхемы:**

1. Свидетельство о регистрации топологии интегральной микросхемы № 2015630078, «Широкополосный трансформатор сопротивлений 50-75 Ом.»

2. Свидетельство о регистрации топологии интегральной микросхемы № 2017630054, «Широкополосный аттенюатор с входным сопротивлением 50 Ом и затуханием 1,2 дБ в полосе частот 5 ГГц.»

3. Свидетельство о регистрации топологии интегральной микросхемы № 2017630073, «Широкополосный аттенюатор с входным сопротивлением 50 Ом и затуханием 1,8 дБ в полосе частот 5 ГГц.»

4. Патент «СВЧ аттенюатор» № 2641625, класс Н01Р1/22 Аубакиров К.Я., Богомоллов П. Г, Востряков Ю. В, Разинкин В. П, Рубанович М. Г, Столяренко А. А, Хрусталеv В. А, 18.01.18 Бюллетень №2



5. Патент «Микрополосковая нагрузка» № 2667348, класс H01P 1/24  
Митьков А. С, Разинкин В. П, Савенков Г. Г, Столяренко А. А, 18.09.18  
Бюллетень №26

Научные результаты диссертации отражены также в следующих научных изданиях:

1. Stolyarenko A. Broadband microwave attenuator of the higher lever power / M.G. Rubanovich, V.P. Razinkin, V. A. Khrustalev, G.G. Nikolaev, A.A. Stolyarenko, K.J. Aubakirov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2014) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014) : тр. 12 междунар. конф., Новосибирск, 2–4 окт. 2014 г. : в 7 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. – Т. 1. – С. 390-392.

2. Stolyarenko F. Broadband microwave attenuators of the high level power / M.G. Rubanovich, V.P. Razinkin, V.A. Khrustalev, G.G. Nikolayev, A.A. Stolyarenko, K.J. Aubakirov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2014) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014) : тр. 12 междунар. конф., Новосибирск, 2–4 окт. 2014 г. : в 7 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. – Т. 4. – С. 209-211.

3. A. A. Stolyarenko Elliptic filters with qarter-wave coupling / V. P. Razinkin, A. D. Mektiev, K. J. Aubakirov, A. G. Vihorev, A. A. Stolyarenko // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2014) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014) : тр. 12 междунар. конф., Новосибирск, 2–4 окт. 2014 г. : в 7 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. – Т. 4. – С. 206-208.

4. A. A. Stolyarenko Analysis of the transverse distribution of the microstrip line capacitance / M. G. Rubanovich, A. A. Stolyarenko, V. A. Khrustalev, D. V. Vagin, A. S. Mitkov, K. Y. Aubakirov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016) : тр. 13 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 1, ч. 1. – С. 52–55. – 100 экз. – ISBN 978-1-4799-6019-4, 978-1-5090-2992-5(т. 1)

5. A. A. Stolyarenko Calculation of capacitance for planar capacitors / M. G. Rubanovich, A. A. Stolyarenko, V. A. Khrustalev, D. V. Vagin, A. S. Mitkov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016) : тр. 13 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 1, ч. 1. – С. 48-51.

6. A. A. Stolyarenko Matched band-pass UHF filter / Y. V. Vostryakov, M. G. Rubanovich, A. A. Stolyarenko, V. A. Khrustalev, D. V. Vagin, A. S.



Mitkov, A. S. Polovnikov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016) : тр. 13 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 1, ч. 1. – С. 101-103.

7. A. A. Stolyarenko Simulation of 50 to 75  $\Omega$  impedance transformer with losses in the frequency band up to 3.5 GHz for a 50 W input power / A. A. Stolyarenko, M. G. Rubanovich, V. P. Razinkin, V. A. Khrustalyov, K. Y. Aubakirov // 16 International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM) : [proc.], Altai, Erlagol, 29 June – 3 July 2015. – IEEE, 2015. – P. 183-185. DOI: 10.1109/EDM.2015.7184522.

8. A. A. Stolyarenko The microwave attenuator / M. G. Rubanovich, V. P. Razinkin, V. A. Khrustalev, A. A. Stolyarenko, P. G. Bogomolov, Y. V. Vostryakov // The 18 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2017 : proc., Altai, Erlagol, 29 June – 3 July 2017. – Novosibirsk : NSTU, 2017. – P. 134-137.

9. M. Rubanovich Film attenuators new generation / M. Rubanovich, V. Khrustalev, K. Aubakirov, V. Razinkin, A. Stolyarenko, P. Bogomolov // American Journal of Scientific and Educational Research. - 2014. - № 1 (4). - P. 634-647

**Результаты диссертационных исследований докладывались на научных конференциях, форумах:**

1. Столяренко А.А. Параметрический синтез согласующих и компенсирующих цепей с учетом диссипативных потерь / Столяренко А.А. // Современные проблемы телекоммуникаций: материалы Рос. науч. – техн. конф., Новосибирск, 25-26 апр. 2019 г. – Новосибирск : Изд-во СибГУТИ, 2019. – С. 621-626.

2. Столяренко А.А. Широкополосный СВЧ аттенюатор 10 дБ большой мощности / А.А. Столяренко // Современные проблемы телекоммуникаций : материалы Рос. науч. – техн. конф., Новосибирск, 25-26 апр. 2019 г. – Новосибирск : Изд-во СибГУТИ, 2019. – С. 627-630.

3. Столяренко А.А. Амплитудно-частотные корректоры на микрополосковых линиях с потерями / А.А. Столяренко, В.П. Разинкин, В.А. Хрусталеv // Современные проблемы телекоммуникаций : материалы Рос. науч. – техн. конф., Новосибирск, 25-26 апр. 2019 г. – Новосибирск : Изд-во СибГУТИ, 2019. – С. 631-635.

4. Столяренко А.А. Мощный СВЧ аттенюатор на основе ФНЧ с однородными потерями / А.А. Столяренко, М.Г. Рубанович, В.П. Разинкин



//«Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11) : труды международной науч. – техн. практ. конф., Караганда, 14-15 июня 2019 г. – Караганда.: Изд-во КарГТУ, 2019. – С. 242-244.

5. Столяренко А.А. Широкополосные многокаскадные СВЧ аттенюаторы / Богомолов П.Г, Разинкин В.М., Савенков Г.Г., А.А. Столяренко // старт в будущее - 2017: труды четвертой науч. -техн. конф. молодых ученых и специалистов (Санкт-Петербург, 19 апр. 2017 г.) / АО «Концерн ВКО Алмаз-Антей», АО «КБСМ» – Санкт-Петербург УДК 621.372.852.3

6. Столяренко А.А. Аттенюатор на основе фильтра гармоник с диссипативными потерями /Столяренко А.А.//Современные проблемы телекоммуникаций : материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 21–22 апр. 2016 г. – Новосибирск : Изд-во Сиб ГУТИ, 2016. – С. 798-800.

7. Столяренко А.А. Мощные СВЧ аттенюаторы для радиопередающей и телевизионной аппаратуры = Power microwave attenuators for radio-transmitting and video equipment / А. А. Столяренко, М. Г. Рубанович, В. А. Хрусталева, А. С. Митьков, Д. Ю. Волков // Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем : материалы 6 Общерос. науч.-техн. конф., Омск, 19–20 апр. 2016 г – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. – С. 337–344.

8. Широкополосные пленочные аттенюаторы = Broadband film attenuators / К. Я. Аубакиров, А. В. Макеев, А. А. Столяренко, М. Г. Рубанович, В. А. Хрусталева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2016 : 12 междунар. науч. конгр. и выставка. Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность : междунар. науч. конф., Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г. : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 38–41.

9. Столяренко А.А. Определение распределения емкости в поперечном сечении полоскового волновода с воздушным заполнением / Рубанович М. Г., Столяренко А. А., Хрусталева В. А.//Современные проблемы телекоммуникаций : материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 22–25 апр. 2014 г. – Новосибирск : Изд-во Сиб ГУТИ, 2015. – С. 754-756.

10. Столяренко А.А. Моделирование 50/75 Ом трансформатора с потерями в полосе 1ГГц, на мощность 50 Вт/ А.А. Столяренко, К.Я. Аубакиров, В.А. Хрусталева //Наука. Технологии. Инновации. - 2014. – ч.11. - С. 46 – 48.

11. Столяренко А.А. Определение распределения ёмкости на микрополосковой линии методом конечных элементов / К.Я. Аубакиров, Д. В. Вагин, М. Г. Рубанович, А.А. Столяренко // Материалы XI международной



конференции \"Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2012\", Новосибирск. 2012. – Т.2. – С.114-116.

Личный вклад соискателя в опубликованных в соавторстве работах составляет в среднем 70% и состоит: в постановке задач и проведении исследований, расчётов и обобщении полученных результатов, разработке методик расчета и оптимизации, а также самостоятельном изготовлении и настройке опытных образцов.

## 10. Общее заключение

Диссертация соответствует требованиям, установленным в пп. 9 - 14 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям и является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация «Широкополосные СВЧ аттенюаторы на основе фильтровых структур с диссипативными потерями» Столяренко Алексея Андреевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры Общей физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Присутствовало на заседании 19 человек, в том числе 6 докторов наук, 7 кандидатов наук.

Результаты голосования: «за» - 19 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол заседания кафедры Общей физики № 4 от 14 июня 2019 г.

Председатель расширенного заседания кафедры Общей физики:

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Общей физики

 Сергей Анатольевич Стрельцов

Секретарь расширенного заседания кафедры Общей физики:

Стерший преподаватель кафедры Общей физики



*Handwritten signature*

Наталья Витальевна

Чичерина

Подписи С.А. Стрельцова и Н.В.Чичериной заверяю.

Начальник отдела кадров ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный  
технический университет»



О. К. Пустовалова