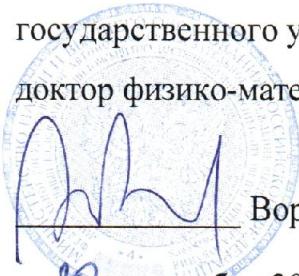


УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной и инновационной деятельности
Национального исследовательского Томского
государственного университета,

доктор физико-математических наук, профессор



Ворожцов Александр Борисович

«20» декабря 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Угрюмова Андрея Витальевича «Полосковые резонаторы на подвешенной подложке и частотно-селективные устройства на их основе» по специальности 01.04.03 – Радиофизика на соискание ученой степени кандидата технических наук

В настоящее время идет активное развитие микроволновых технологий, использующихся в системах беспроводной связи и обмена информации, радиолокации и геолокации, радионавигации и телеметрии, робототехнике и бытовой электронике, мониторинга и дистанционного контроля свойств окружающей среды, биомедицинских и других научных исследований. Важнейшими компонентами радиоэлектронной аппаратуры, которая применяется для этих целей, являются частотно-селективные устройства – фильтры. Несмотря на большую историю создания фильтрующих устройств, и в настоящее время не снижается потребность в надежных и недорогих высокочастотных фильтрах небольших размеров с требуемыми качественными показателями.

В значительной мере таким требованиям удовлетворяют фильтры на основе полосковых резонаторов на подвешенной подложке. Использование таких резонаторов позволяет реализовать компактные фильтры даже в метровом диапазоне длин волн, с широкой (в несколько октав) высокочастотной полосой заграждения и высоким уровнем подавления в ней, а также малыми вносимыми потерями в полосе пропускания. Однако систематических исследований влияния конструктивных параметров резонаторов на подвешенной подложке на их основные свойства (собственная

добротность и спектр собственных частот) не проводилось. Именно решению этой актуальной задачи посвящается данной диссертационное исследование.

Основное содержание рассматриваемой работы

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня основных сокращений и обозначений, списка использованных источников, включающего 118 наименований, и 5 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 125 страниц, включая 55 рисунков, 1 таблицу.

Во введении сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, приведены научные положения, выносимые на защиту, отмечается научная и практическая значимость работы, даётся общая характеристика работы.

Первая глава посвящена обзору конструкций полосковых резонаторов, фильтров и диплексеров на подвешенной подложке. Приводятся существующие на данный момент достигаемые характеристики и присущие таким фильтрам достоинства и недостатки. Глава подкреплена выводами.

Во второй главе автором проведено исследование собственных свойств регулярных двухпроводниковых полосковых резонаторов на подвешенной подложке в зависимости от его конструктивных параметров. В программной среде CST Studio Suite исследовалось поведение отношения частот двух первых мод, собственной добротности первой моды резонатора и коэффициента связи к резонаторов в зависимости от таких параметров, как ширина полосковых проводников, образующих резонатор, толщина подложки, высота крышек корпуса над подложкой и величина относительного перекрытия полосковых проводников резонатора. Приведены графики зависимостей и сделаны выводы.

В третьей главе рассматривается метод расширения высокочастотной полосы заграждения в конструкциях фильтров на основе регулярных двухпроводниковых полосковых резонаторов на подвешенной подложке. Рассчитывался и синтезировался ряд четырехзвенных фильтров гармоник. На основании исследований предложен метод расширения высокочастотной полосы заграждения полосно-пропускающего фильтра. Работоспособность метода подтверждается двумя изготовленными макетами фильтров гармоник с высокочастотными полосами заграждения.

Четвертая глава посвящена описанию конструкции сверхширокополосного полосно-пропускающего фильтра на основе регулярных двухпроводниковых полосковых резонаторов на подвешенной подложке с использованием

дополнительной гальванической связи между резонаторами. Использование дополнительной гальванической связи позволяет разрабатывать сверхширокополосный полосно-пропускающий фильтр с увеличенной электрической прочностью. Разработана конструкция такого фильтра с дополнительной гальванической связью между резонаторами.

Пятая глава посвящена исследованиям поведения собственных свойств и коэффициентов связи свёрнутых двухпроводниковых полосковых резонаторов на подвешенной подложке в зависимости от их конструктивных параметров. Описан изготовленный макет высокоселективного миниатюрного полосно-пропускающего фильтра на основе таких резонаторов. Полученные по результатам электромагнитного моделирования амплитудно-частотные характеристики сравниваются с измеренными характеристиками макета устройства.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, сделаны выводы.

В приложениях А–Г приведены топологии, амплитудно-частотные характеристики и фотографии изготовленных макетов полосковых фильтров и диплексеров.

В приложении Д приведены копии патентов, соавтором которых является Угрюмов А. В.

Научная новизна результатов, полученных в диссертационном исследовании, заключается в следующем:

1. Выявлены закономерности в поведении собственной добротности и спектра собственных частот регулярного двухпроводникового резонатора на подвешенной подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r < 11$.

2. Разработан метод расширения высокочастотной полосы заграждения для полосно-пропускающих фильтров на основе регулярных двухпроводниковых резонаторов на подвешенной подложке.

3. Разработана конструкция сверхширокополосного полосно-пропускающего фильтра с дополнительной гальванической связью между резонаторами, имеющего протяженную высокочастотную полосу заграждения.

4. Разработана методика приведения добротности резонатора к его собственной частоте, впервые позволившая сравнить добротности разнотипных резонаторов, имеющих различные собственные частоты.

5. Впервые исследованы собственные свойства свёрнутых двухпроводниковых резонаторов на подвешенной подложке.

Практическая значимость полученных результатов.

В рамках диссертационной работы разработаны и изготовлены:

- два макета СВЧ фильтров на основе регулярных двухпроводниковых резонаторов на подвешенной подложке с высокочастотными полосами заграждения более, чем в два раза протяжённее, чем в аналогичных фильтрах с резонаторами одинаковой ширины;
- макет сверхширокополосного полосно-пропускающего фильтра на основе регулярных двухпроводниковых резонаторов на подвешенной подложке с использованием дополнительной гальванической связи между резонаторами, с относительной шириной полосы пропускания на 27 % большей, чем у аналогичного фильтра без дополнительной гальванической связи между резонаторами;
- макет миниатюрного высокоселективного полосно-пропускающего фильтра на свёрнутых двухпроводниковых резонаторах на подвешенной подложке с уменьшенной площадью подложки на 50 %, по сравнению с аналогичным полосно-пропускающим фильтром на основе регулярных двухпроводниковых резонаторов на подвешенной подложке;
- макеты миниатюрных диплексеров и высокоселективных полосно-пропускающих фильтров для работы в нижней части UHF диапазона и на стыке VHF/UHF диапазонов.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием апробированных методов расчета и верифицированного программного обеспечения для электромагнитного моделирования, хорошим согласием характеристик моделей и измеренных экспериментальных макетов устройств, соответствием ряда полученных результатов ранее известным данным, а также использованием современной высокоточной измерительной аппаратуры.

Публикации.

По материалам диссертационной работы опубликовано 13 работ, в том числе 2 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

и 2 статьи в зарубежном научном журнале, индексируемых БД Web of Science; 1 статья в зарубежном научном журнале, входящем в Scopus; получено 2 патента на изобретение Российской Федерации.

К достоинствам диссертационной работы следует отнести:

1. Сочетание обширного математического моделирования микрополосковых систем с их экспериментальным исследованием.

2. Показано, что в регулярном двухпроводниковом резонаторе на подвешенной подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r < 11$ можно добиться увеличения собственной добротности и отношения частоты второй моды колебаний к частоте первой моды колебаний, как увеличивая ширину полосковых проводников и высоту экрана, так и уменьшая толщину подложки. Применение подложек с большим значением диэлектрической проницаемости позволяет увеличить отношение частоты второй моды колебаний к частоте первой моды колебаний.

3. Показано, что существует оптимальное соотношение между шириной полосковых проводников резонаторов в фильтре гармоник, которое позволяет значительно расширить высокочастотную полосу заграждения.

4. Разработаны и изготовлены конструкции СВЧ-фильтров, сверхширокополосного полосно-пропускающего фильтра на двухпроводниковых полосковых резонаторах на подвешенной подложке с использованием дополнительной гальванической связи, миниатюрного высокоселективного полосно-пропускающего фильтра, а также миниатюрные диплексеры и высокоселективные полосно-пропускающие фильтры для работы в нижней части UHF диапазона и на стыке VHF/UHF диапазонов.

5. Наличие двух действующих патентов на изобретение.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты диссертационного исследования могут найти применение при разработке и изготовлении радиоэлектронной аппаратуры широкого применения на предприятиях Росэлектроники.

Замечания.

1. Два первых защищаемых положения носят качественную оценку, из которой трудно оценить фактически полученные достижения. В этих положениях использованы неопределенные выражения: «...с разной шириной...»,

«...значительно...», «...позволяет проектировать...», «...протяженными высокочастотными полосами...».

2. Не очень понятна необходимость введения понятия «приведенная добротность резонатора», поскольку на любой частоте добротность означает отношение запасенной энергии резонатора к потерянной за период колебаний.

Есть также замечания по оформлению работы:

1. Надписи к рисункам 1.12. 1.13. и 3.6 размещены на следующей странице.
2. Последняя ссылка в тексте диссертации имеет порядковый номер 112, а в Списке используемых источников имеется 118 позиций.

3. Ссылок на приложения в тексте не обнаружено, что по требованию ГОСТ Р 7.0.11-2011 является обязательным.

4. В приложениях есть ссылки на литературные источники из Списка используемых источников основного текста, который находится перед приложениями. Вероятно, не учтено, что приложения являются самостоятельными документами.

5. В приложении Б имеется ссылка на публикацию автора в журнале «Известия высших учебных заведений. Физика», вероятно в Т.55, №10/3, 2015 года, которая почему-то не отражена в списке публикаций по теме работы, приведенном в автореферате.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, выполненной на высоком научном и техническом уровне и представляющей законченное научное исследование. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Заключение:

Диссертация Угрюмова Андрея Витальевича является самостоятельным и законченным исследованием на актуальную тему. Научные результаты и выводы, полученные диссидентом, являются новыми и имеют значительную научную и практическую ценность. Материалы работы расширяют представления о свойствах двухпроводниковых резонаторов на подвешенной подложке и разработке миниатюрных конструкций частотно-селективных устройств на их основе. Работа соответствует требованиям пунктов 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01 октября 2018 г.).

Учитывая вышеизложенное, считаем, что Угрюмов А. В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Отзыв на диссертацию Угрюмова Андрея Витальевича обсужден и одобрен на семинаре кафедры радиоэлектроники радиофизического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета 01 декабря 2020 года, протокол № 181.

Советник при ректорате,
заведующий кафедрой радиоэлектроники
Национального исследовательского
Томского государственного университета,
доктор технических наук (01.04.03 – Радиофизика),
профессор

Григорий Ефимович Дунаевский,
тел.: +79138278380, e-mail: proecs@mail.tsu.ru

20.12.2020

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36;

Телефон: (3822) 52-98-52, E-mail: rector@tsu.ru; сайт: <http://www.tsu.ru>.