

## ОТЗЫВ

официального оппонента Разинкина Владимира Павловича на диссертацию **Сержантова Алексея Михайловича** «Резонансные полосковые структуры и частотно-селективные устройства на их основе с улучшенными характеристиками» по специальности 01.04.03 – Радиофизика на соискание ученой степени доктора технических наук.

**Актуальность темы.** Наблюдаемое в настоящее время интенсивное развитие цифровых систем связи, телекоммуникаций, радиолокации и радионавигации требует непрерывного улучшения электрических и массогабаритных характеристик используемой элементной базы, в частности, фильтрующих устройств. Известно, что по совокупности таких требований как миниатюрность, надежность и технологичность наиболее походящими для применения являются устройства на основе планарных волноведущих структур, в первую очередь, на основе полосковых и микрополосковых линий передачи. Очевидно, что дальнейшее улучшение селективных свойств и уменьшение габаритных размеров современных устройств частотной селекции, невозможно без систематических исследований, направленных на получение новой информации о взаимодействии резонаторов, на основе которых реализуются такие устройства. В связи с этим важной и актуальной является тема диссертационной работы Сержантова А.М., посвященная изучению новых эффектов и особенностей взаимодействия резонансных полосковых структур, а также разработке оригинальных подходов по созданию полосковых устройств сверхвысоких частот (СВЧ) с улучшенными электрическими и массогабаритными характеристиками. Следует отметить, что такие исследования представляют большой интерес с физической точки зрения, поскольку позволяют понять природу особенностей, наблюдаемых на амплитудно-частотных характеристиках устройств, содержащих многомодовые резонаторы. Кроме того, данные исследования имеют большое прикладное значение, так как на основе полученных знаний можно создавать не только устройства частотной селекции с предельно высокими избирательными

свойствами, но и управляемые СВЧ-устройства, выполненные на принципиально новой технологической и элементной базе.

Основная идея диссертационной работы заключается в дальнейшем развитии теории фильтров и практическом применении такого фундаментального параметра колебательных систем, как коэффициент связи, применительно к многомодовым СВЧ резонаторам. На основе данного подхода автору удалось выявить новые свойства четвертьволновых и полуволновых резонаторов, в том числе со ступенчатым изменением волнового сопротивления, и предложить новые структуры частотно-избирательных систем на связанных полосковых линиях. Предложенные структуры позволили существенно улучшить селективные свойства за счет формы амплитудно-частотной характеристики, соответствующей квазиэллиптическим фильтрам с заданными частотами режекции вблизи полосы пропускания. Кроме того, разработанные полосковые фильтры на многомодовых резонаторах дециметрового диапазона обладают более широкой полосой заграждения по сравнению с известными аналогами. Предложенная концепция построения фильтров на связанных многопроводниковых полосковых структурах и проведенные исследования явились основой для создания многоканальных диплексеров, СВЧ фазовращателей и управляемых линий задержки, выполненных на современных материалах с различного вида пленочным покрытием. Адекватное физическое обоснование процессов, происходящих в связанных многомодовых СВЧ системах, позволило автору получить хороший первоначальный облик широкого класса СВЧ устройств различного назначения, а оптимизация с помощью компьютерных САПР обеспечила существенное улучшение избирательных свойств, уменьшение прямых потерь и повышение качества согласования при минимальных массогабаритных показателях. Все это позволяет сделать вывод о том, что разработанные автором СВЧ устройства по своим техническим характеристикам превосходят отечественные и зарубежные аналоги.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Наиболее значимыми научными результатами диссертации следует признать следующие.

1. На основе развития положений теории селективных СВЧ систем, выполненных на многомодовых связанных резонаторах, предложен модифицированный энергетический метод расчета частотно-зависимых коэффициентов связи полосковых резонаторов, основной особенностью которого является использование комплексных функций распределения токов и напряжений по длине полосковых проводников, найденных в квазистатическом приближении.
2. Обнаружен эффект немонотонной зависимости относительной ширины полосы пропускания от расстояния между связанными полосковыми резонаторами в ряде видов полосно-пропускающих фильтров. Обнаруженные особенности взаимодействия резонаторов использованы при разработке СВЧ-устройств различного назначения с хорошей физической реализуемостью структуры полосковых элементов.
3. Предложена новая концепция построения полосковых и микрополосковых резонаторов на основе связанных многопроводниковых структур, позволяющая значительно улучшить электрические и массогабаритные характеристики частотно-селективных устройств.
4. С использованием предложенного модифицированного энергетического подхода исследованы коэффициенты связи многопроводниковых резонансных полосковых структур. Впервые показано, что в структурах, состоящих из электромагнитно-связанных многопроводниковых резонаторов, нули коэффициента передачи определяются взаимной компенсацией индуктивного и емкостного взаимодействий, либо чисто индуктивного взаимодействия полосковых проводников.
5. Предложены новые способы реализации нулей коэффициента передачи полосковых структур, которые позволяют существенно улучшить селективность фильтров за счет формирования полюсов затухания вблизи полосы пропускания на заданных частотах.
6. Предложены новые конструкции полосковых и микрополосковых двухмодовых резонаторов, на основе которых реализованы различные устройства частотной селекции сигналов с характеристиками лучшими, чем у известных аналогов.
7. На основе обнаруженных и исследованных особенностей взаимодействия резонансных полосковых структур предложены новые подходы к построению

различных устройств СВЧ: фазовращателей, устройств защиты от мощного радиоимпульса, линий задержки, датчиков физических величин. Разработаны теоретические модели предложенных устройств, произведен обоснованный выбор методов их расчета и программ для численного анализа.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается хорошим совпадением многочисленных экспериментальных характеристик разработанных устройств с их теоретически рассчитанными характеристиками и непротиворечивостью результатам, известным из научных источников. Обоснованность выводов и научных положений диссертационной работы Сержантова А.М. обусловлена применением стандартных методов электродинамики и теории электрических цепей.

Полученные в диссертационной работе новые научные результаты вносят существенный вклад в развитие области науки и техники, связанной с разработкой теоретических положений и реализацией миниатюрных полосковых СВЧ-устройств, обладающих улучшенными техническими характеристиками.

Общий объем диссертации составляет 316 страниц, включая 148 рисунков, 8 таблиц. Список цитированной литературы состоит из 289 наименований. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По теме диссертации опубликовано 55 работ, в том числе 2 главы в монографиях, 30 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК и 23 патента на изобретения.

**По диссертации имеются замечания:**

1. Не затрагивается вопрос, связанный с диссипативными потерями в материалах подложек, используемых в исследованных конструкциях частотно-селективных устройств, а также нет оценки предельно допустимой мощности для их работы.
2. В тексте диссертации недостаточно внимания уделено методике проведения эксперимента, отсутствует описание и структурная схема установки для измерения частотных характеристик изготовленных образцов полосковых фильтров.
3. Выражения «встречно-направленные» и «сонаправленные», которые употребляются при названии структуры фильтров и резонаторов, являются

не совсем удачным, хотя и используется некоторыми авторами. В этих случаях, как правило, пользуются выражениями «фильтры (резонаторы) встречно-штыревой (гребенчатой) структуры».

4. Исследование частотно-зависимых коэффициентов связи рассмотренных конструкций микрополосковых резонаторов проводились с использованием одномерных квазистатических моделей, но не указано учитывались ли при этом концевые емкости полосковых проводников.

Перечисленные недостатки не затрагивают существа диссертации и общего благоприятного впечатления от нее. На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Сержанта Алексея Михайловича представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему, которая содержит **научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.**

Считаю, что представленная работа «Резонансные полосковые структуры и частотно-селективные устройства на их основе с улучшенными характеристиками» соответствует требованиям п.9 "Положения о порядке присуждения учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Сержантов Алексей Михайлович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

#### **Официальный оппонент:**

доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ радиотехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т. К. Маркса, 20.

Телефон: 8(383) 346-08-34. E-mail: razunkin\_vp@mail.ru

Разинкин Владимир Павлович

Дата: 24. 09. 2015г.



Подпись официального оппонента Разинкина Владимира Павловича заверяю: