

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Афонаина Алексея Олеговича «Полосковые диплексеры для навигационных систем ГЛОНАСС/GPS и исследования коэффициентов связи согласующих цепей с входными резонаторами фильтров каналов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Диссертационная работа Афонаина А.О. посвящена вопросам разработки и исследования полосковых диплексеров для систем ГЛОНАСС/GPS. **Актуальность** выбранной темы обусловлена стремительным развитием средств систем связи, в частности, радионавигации, и необходимостью улучшения характеристик входящих в них частотно-избирательных устройств. Микрополосковые и полосковые диплексеры обладают рядом преимуществ, которые требуются для разработки современной радиоаппаратуры, а именно: миниатюрность, избирательность, надежность и технологичность в производстве. Используемые в настоящее время подходы к согласованию двух каналов с общим портом в диплексерах имеют свои недостатки. Часто цепи согласования занимают до половины площади всего устройства, некоторые способы согласования слишком сложны в настройке.

Таким образом, актуальной задачей является разработка простых способов согласования каналов, позволяющих проектировать миниатюрные диплексеры на подложках с высокой диэлектрической проницаемостью.

В диссертационной работе автор предлагает ряд оригинальных решений по согласованию входных портов диплексеров, показывает закономерности поведения коэффициентов связи согласующих цепей с входными резонаторами фильтров каналов и применяет предложенные методики при разработке топологий диплексеров. В ходе работы соискатель корректно применяет программу для электромагнитного моделирования

СВЧ-устройств (*CST Microwave Studio*), а также методы экспериментальных исследований этих устройств с использованием современной измерительной техники СВЧ диапазона. Научные положения, выводы и рекомендации, сделанные в работе на основе результатов электромагнитного моделирования и проведенных экспериментов, являются логически **обоснованными** и **достоверными**.

Результаты проведенных автором диссертации исследований достаточно полно опубликованы в 12 научных работах, из них: в журналах из перечня ВАК – 2, индексируемые базами *WoS*, *Scopus* – 1.

Содержание диссертации изложено грамотным научно-техническим языком. Материал достаточно хорошо проиллюстрирован. Автор продемонстрировал хорошее знание предмета и методов исследования.

В диссертации соискателем указаны следующие новые научные результаты:

1. Впервые рассчитаны и исследованы частотно-зависимые коэффициенты связи согласующей цепи в виде нерезонансного отрезка микрополосковой линии с входными резонаторами каналов в микрополосковом диплексере. Исследования показали, что величина взаимодействия между согласующей цепью и входными резонаторами каналов достаточно велика для создания миниатюрных диплексеров на подложках с высокой относительной диэлектрической проницаемостью. Также показано, что использование модифицированного энергетического подхода для расчета коэффициентов связи двух проводников различных конфигураций, резонансные частоты которых не совпадают, оправдано.

2. Разработана новая конфигурация согласующей цепи в виде нерегулярного Π -образного короткозамкнутого полоскового проводника для согласования каналов с общим портом в микрополосковом диплексере на основе четвертьволновых резонаторов. Согласующая цепь электромагнитно связана с входными резонаторами каналов. Такая конфигурация

согласующей цепи свела к минимуму взаимное влияние каналов друг на друга и позволила уменьшить размеры устройства. Рассчитаны и исследованы частотно-зависимые коэффициенты связи П-образной согласующей цепи с входными резонаторами каналов.

3. Предложена конфигурация согласующей цепи в виде короткозамкнутого отрезка полосковой линии для согласования каналов с общим портом в полосковом диплексере на подвешенной подложке на основе двухпроводниковых резонаторов. Согласующая цепь электромагнитно связана с входными резонаторами каналов. Конфигурация отличается от известной тем, что один конец полоскового проводника замкнут на землю, что обеспечило требуемый уровень связи с фильтрами каналов. Исследовано влияние ширины согласующего проводника на величину связи с входными резонаторами каналов.

В первой главе диссертационной работы приведен обзор существующих конструкций полосковых и микрополосковых диплексеров, а также обзор существующих подходов к согласованию каналов с общим портом в диплексерах, построенных на полосно-пропускающих фильтрах. Задачей главы является классификация различных подходов к согласованию каналов с общим портом. Приводятся достоинства и недостатки каждого из способов согласования, описаны возможные пути преодоления этих недостатков.

Вторая глава посвящена микрополосковому диплексеру на полуволновых резонаторах, согласование в котором выполнено с помощью нерезонансного отрезка МПЛ. Приведена конструкция диплексера с двухзвенными фильтрами в каналах. Рассчитываются частотно-зависимые коэффициенты связи согласующей цепи с входными резонаторами каналов диплексера. Приведены результаты исследования влияния конструктивных параметров согласующего проводника на величину его взаимодействия с входными резонаторами каналов. Приводится описание методики для оценивания величины связи согласующей цепи с каналами диплексера по относительной ширине полосы пропускания. Приведена топология диплексера, разработанного для применения в СРНС ГЛОНАСС/GPS.

Третья глава содержит описание микрополоскового диплексера на четвертьволновых резонаторах, согласование в котором выполнено с помощью нерегулярного **П**-образного короткозамкнутого проводника. Приведена конструкция диплексера с двухзвенными фильтрами в каналах. Рассчитываются частотно-зависимые коэффициенты связи согласующей цепи с входными резонаторами каналов. Приведены результаты исследования влияния конструктивных параметров согласующего проводника на величину его взаимодействия с входными резонаторами каналов. Приведена топология диплексера, разработанного для применения в СРНС ГЛОНАСС/GPS.

Четвертая глава посвящена полосковому диплексеру на подвешенной подложке и двухпроводниковых резонаторах, согласование в котором выполнено с помощью нерезонансного короткозамкнутого отрезка полосковой линии. Приведена конструкция диплексера с двухзвенными фильтрами в каналах. Приведены результаты исследования влияния ширины согласующего проводника на его взаимодействие с каналами диплексера. Приведена топология диплексера, разработанного для применения в спутниковых радионавигационных системах (СРНС) ГЛОНАСС/GPS.

Можно констатировать, что результаты, полученные Афониним А. О. в диссертации, развивают теорию и практику разработки частотно-селективных СВЧ-устройств.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертационной работе автор проводит все расчёты и исследования только для диплексеров на подложках с относительно высокой диэлектрической проницаемостью. К сожалению, в работе почти никак не рассмотрены вопросы разработки диплексеров на материале с более низкой диэлектрической проницаемостью (от 3 до 12). Данное обстоятельство ограничивает возможности применения изложенных методов разработки топологий для использования в многослойных структурах на основе органических диэлектриков (многослойные печатные платы).

2. На рисунках 3.11, А.2, Б.3 (стр.82, 124, 127, соответственно), показано сравнение частотных характеристик электромагнитной модели

диплексеров и экспериментальных макетов. Автором отмечается сдвиг АЧХ вверх по частоте, и утверждается, что сдвиг произошёл из-за меньшей реальной диэлектрической проницаемости использованного материала. Однако на рисунке В.2 (стр. 129) подобного частотного сдвига не наблюдается, хотя диплексер изготовлен на подложке из аналогичного материала. К сожалению, автор не приводит никаких данных, либо исследований подтверждающих утверждение об отличии реальной диэлектрической проницаемости от декларируемой производителем.

3. Автор достаточно подробно описывает планарные геометрические размеры подложек и элементов топологий, но при этом не говорит о объёмном окружении топологии, влиянии стенок, а тем более крышек СВЧ модулей на характеристики диплексеров.

4. На странице 94 автором утверждается, что зазор между проводниками в 0,2 мм является предельным для практической реализации в полосковой технологии. Стоило бы отметить, что данные технологические ограничения присущи только конкретной технологии изготовления, применяемой в данной работе.

Заключение по диссертации

Указанные выше замечания не являются критическими и не снижают ценности диссертационной работы Афонина А.О., которая по актуальности темы, научной новизне исследований и содержащимся в работе результатам в целом заслуживает положительной оценки. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Считаю, что диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор, Афонин Алексей Олегович, достоин присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Официальный оппонент

кандидат технических наук, начальник отдела СВЧ схемотехники, ДИИС
Акционерного общества «Научно-производственная фирма «Микран»
«18» декабря 2020 г.



Дроботун Николай Борисович

634041, Томская обл., г. Томск, пр. Кирова, д. 51д

Тел. +79609757344, E-mail: nikolay.drobotun@micran.ru

Подпись Дроботуна Николая Борисовича заверяю

Начальник отдела кадров АО «НПФ «Микран»

«21» декабря 2020 г.



Ковалёва Анна Олеговна