

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Столяренко Алексея Андреевича «Широкополосные СВЧ
аттенюаторы на основе фильтровых структур с диссипативными
потерями», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ
устройства и их технологии»

В настоящее время при производстве и технологическом обслуживании радиопередающих устройств систем связи, радиовещания, телевидения и радиотехнических систем необходимо специализированное оборудование, используемое в аппаратно-измерительных комплексах и стендах. Базовыми устройствами при проведении измерений параметров выходного сигнала радиопередающих устройств являются направленные ответвители, аттенюаторы и оконечные согласованные нагрузки высокого уровня мощности. Необходимо отметить, что направленные ответвители способны работать с мощными входными сигналами, однако их частотный диапазон значительно уже, чем у аттенюаторов и нагрузок. Многие отечественные («НПО имени М.В. Фрунзе», «Микран», «Кварц», «Радиал») и зарубежные компании (Bird, Barry Industries, EMC Technology, RF Labs, IMS Resistors) выпускают широкополосные аттенюаторы и нагрузки для диапазона частот 0-10 ГГц на основе коаксиальной и микрополосковой пленочной технологии. Данные аттенюаторы и нагрузки выполнены в виде многоэлементной, многокаскадной или многоканальной структуры. На сегодняшний день допустимая мощность входного СВЧ сигнала в данных устройствах на частоте 10 ГГц обычно не превышает 5-10 Вт. Этого уровня уже недостаточно для современных систем СВЧ диапазона. Для увеличения уровня входной мощности и расширения полосы рабочих частот требуются нестандартные подходы для разработки новых конструктивных и схемотехнических решений в рамках пленочной микрополосковой технологии. Поэтому тема диссертационной работы Столяренко А.А., посвященная исследованию широкополосных СВЧ аттенюаторов на основе фильтровых структур с диссипативными потерями, несомненно, является актуальной в научном плане и полезной в практическом отношении.

В диссертационной работе Столяренко А.А. предложен и разработан оригинальный метод специального введения диссипативных потерь в фильтровые структуры в виде микрополосковых пленочных резисторов. Это позволило использовать паразитные реактивные параметры пленочных резисторов вместо реактивных элементов фильтров. Кроме того, встраивание микрополосковых линий передачи с большими потерями в полосовые фильтры и ступенчатые фильтры гармоник позволило в этом распределенном элементном базисе получить полосу рабочих частот 0-40 ГГц. Общим положительным эффектом предлагаемого метода построения СВЧ

аттенюаторов на основе фильтров с потерями является отсутствие внешних согласующих цепей.

Во вводной части диссертационной работы автор убедительно обосновывает актуальность темы выполненного исследования. Сформулированы цели и задачи диссертационной работы, новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе автором проведен достаточно подробный аналитический обзор литературы по широкополосным СВЧ аттенюаторам высокого уровня мощности, выполненным на основе многоэлементного, дендритного, многокаскадного и многоканального методов построения. Сделан вывод о перспективности использования диссипативных элементов микрополоскового типа в виде сосредоточенных и распределенных пленочных резисторов. Далее автором приведены основные технические характеристики отечественных и зарубежных аналогов. Сделан важный вывод о необходимости поиска новых эффективных подходов по расширению полосы рабочих частот. Кратко описан предлагаемый подход, основанный на использовании фильтров с потерями, а также микрополосковых линий с потерями в качестве аттенюаторов распределенного и полураспределенного типа. Показаны перспективы по расширению полосы рабочих частот аттенюаторов фильтрового типа.

Во втором разделе автором разработан метод построения СВЧ аттенюаторов на основе фильтра нижних частот с потерями. Предложено и обоснованно использовать в качестве диссипативных элементов линии передачи с резистивным микрополоском. Волновое сопротивление в области высоких частот для такой линии с потерями только в резистивном микрополоске и при отсутствии потерь в диэлектрике рекомендовано выбирать равным 50 Ом. Показано, что введение согласующих и корректирующих индуктивных элементов позволяет получить полосу рабочих частот от 2 до 20 ГГц с хорошим качеством согласования и малой неравномерностью АЧХ. Для улучшения согласования в области низких частот и получения равномерной формы АЧХ автор диссертации предложил в качестве диэлектрической подложки использовать слабо легированный полупроводник. Полученные в диссертации соотношения для расчета поверхностного сопротивления резистивного микрополоска и погонной проводимости подложки для заданного значения коэффициента передачи по мощности апробированы и подтверждены результатами численного электродинамического моделирования в компьютерной САПР. В заключение второй главы приведены результаты исследования предложенных вариантов построения амплитудно-частотных корректоров сантиметрового диапазона.

Третий раздел диссертации посвящен исследованию и разработке широкополосных СВЧ аттенюаторов, выполненных на основе структуры квазиполиномиального полосового LC – фильтра с потерями и внешними

индуктивными связями. Для получения больших значений вносимого ослабления автор предложил ввести в фильтр указанного типа диссипативное звено в виде согласованной Т-структуры на пленочных резисторах. Это позволило расширить полосу рабочих частот и обеспечить выполнение режима согласования согласование на нулевой частоте для квазиполиномиальной структуры в микрополосковом исполнении. Показано, что при использовании неоднородных микрополосковых линий с потерями трапецеидальной формы после проведения оптимизации обеспечивается существенное расширение полосы рабочих частот.

В четвертом разделе приведены результаты исследования частотных свойств широкополосных аттенуаторов большой мощности, выполненных на основе ступенчатого фильтра гармоник. В области низких частот для фильтра гармоник с потерями составлена эквивалентная схема на сосредоточенных элементах, позволяющая определить первоначальный облик широкополосного аттенуатора в микрополосковом исполнении для произвольных значений вносимого ослабления от 0,1 дБ до 10 дБ. Далее представлены результаты оптимизации однокаскадных и многокаскадных аттенуаторов с возрастающей величиной вносимого ослабления, что обеспечило равномерное распределение СВЧ мощности по всем согласованным каскадам аттенуатора. Обоснованный выбор первоначального приближения позволил автору успешно провести оптимизацию и получить теоретическую полосу рабочих частот 0-5 ГГц при уровне входной СВЧ мощности до 200 Вт. Это является одним из лучших результатов на сегодняшний день. При использовании пятикаскадной структуры уровень входной мощности достигает уже 1 кВт, при этом полоса рабочих частот практически сохраняется прежней.

В пятом разделе представлены результаты экспериментального исследования частотных свойств мощного СВЧ аттенуатора 1,2 дБ, выполненного в виде фильтра гармоник с потерями. При использовании внешнего радиатора с принудительным воздушным обдувом допустимая входная мощность составляет 200 Вт. Экспериментальное значение полосы рабочих частот лежит в пределах 0-4 ГГц. В пятой главе также приведены интересные результаты экспериментального измерения температурного поля трехэлементной широкополосной нагрузки на уровень входной мощности 600 Вт. Этот результат подтверждает перспективность применения микрополосковой пленочной технологии для построения сверхширокополосных диссипативных СВЧ устройств.

Научная новизна полученных автором результатов заключается в следующем. Предложен, разработан и исследован оригинальный подход для построения широкополосных СВЧ аттенуаторов на основе встраивания микрополосковых пленочных сосредоточенных и распределенных резистивных элементов в фильтры нижних частот и полосовые фильтры. Это позволило отказаться от применения внешних согласующих цепей, поскольку диссипативные элементы и реактивные элементы фильтра

представляют единую структуру. Новизной обладает также метод построения СВЧ аттенуаторов на основе линий передачи со сбалансированными потерями в резистивном микрополоске и полупроводниковой подложке. Предложенные технические решения позволили существенно улучшить широкополосные свойства СВЧ аттенуаторов большой мощности.

Практическая значимость работы состоит в разработке конструкций и топологий многоканальных нагрузок на уровень входной СВЧ мощности 100 Вт в полосе рабочих частот 0-10 ГГц. Практическая значимость и полезность полученных результатов подтверждаются их внедрением на предприятии ООО «НПП Триада-ТВ», ООО «Альфа Инструментс», ИТЦ «Контур», а также в учебном процессе на кафедре общей физики ФГОБУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Достоверность результатов обусловлена корректным использованием математического аппарата, теории линейных СВЧ цепей, теории фильтров и компьютерным моделированием в апробированных САПР, а также результатами экспериментальных исследований с использованием поверенных измерительных приборов отечественного и зарубежного производства.

Апробация результатов. По материалам диссертации опубликовано 3 статьи в журналах, включенных в перечень ведущих научных журналов, рекомендованных ВАК, и 16 докладов и статей на Российских и международных научно-технических конференциях. Три статьи индексируются в системе Web of Science.

Замечания по рецензируемой работе.

1. В первой главе не описаны достоинства и недостатки многоканального метода построения широкополосных СВЧ аттенуаторов большой мощности.

2. Во второй главе диссертации не приведены технологические ограничения на реализацию больших вносимых ослаблений для распределенных аттенуаторов в виде микрополосковой линии с потерями.

3. В третьей главе автором диссертации недостаточно подробно описан выбор структуры квазиполиномиального фильтра с потерями и не проведено сравнения результатов второй и третьей главы.

4. В материалах пятой главы экспериментальная полоса рабочих частот аттенуатора 1,2 дБ оказалась меньше, чем в теоретическом расчете.

5. Для экспериментально исследованной трехэлементной нагрузки на уровень мощности 600 Вт не указана полоса рабочих частот.

Указанные замечания не снижают положительную оценку диссертации, ее научной новизны, значимости и достоверности результатов.

Общее заключение по диссертации

Диссертация Столяренко Алексея Андреевича выполнена в полном объеме на высоком научно-техническом уровне и является законченным

научно-исследовательским трудом. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. В диссертации содержится решение комплекса новых задач для важных отраслей экономики страны.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Считаю, что, в целом, диссертационная работа соответствует критериям для кандидатских диссертаций, установленным п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г., №842), а соискатель Столяренко Алексей Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
ФГУП «Сибирский научно-исследовательский
Институт метрологии»
Пальчун Юрий Анатольевич

Пальчун Ю.А.

630004, г. Новосибирск, проспект Димитрова, 4
ФГУП «СНИИМ»
(383) 210-08-34
palchun@sniim.ru

Подпись Пальчуна Юрия Анатольевича заверяю.

Начальник отдела кадров

Дата 25.11.2019



Г.А. Шевчик