

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Омский государственный
технический университет»



ОТЗЫВ

Ведущей организации ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» на диссертационную работу Столяренко Алексея Андреевича «Широкополосные СВЧ аттенюаторы на основе фильтровых структур с диссипативными потерями»

Актуальность темы.

Совершенствование и развитие современных систем радиолокации, эфирного и спутникового телевидения, радиосвязи, беспроводных инфокоммуникационных технологий и спутниковой навигации обуславливает острую необходимость разработки контрольно-измерительного базового оборудования, используемого разработчиками, производителями и операторами таких систем. В связи с интенсивным освоением СВЧ и КВЧ диапазонов, активным внедрением новых видов цифровой модуляции и использованием сигналов с высокой спектральной эффективностью повышаются требования к техническим характеристикам выходного сигнала радиопередающих средств, параметры которых необходимо систематически контролировать с помощью соответствующего вспомогательного оборудования и радиоизмерительных приборов. Для контроля параметров выходного сигнала радиопередающих устройств различного назначения в виду ограничения максимальной мощности входного сигнала для многих радиоизмерительных приборов на уровне не более +20..+35 дБм требуется применять мощные хорошо согласованные аттенюаторы с малой неравномерностью АЧХ и линейной ФЧХ. Мощные широкополосные СВЧ аттенюаторы и нагрузки также широко используются в качестве эквивалента антенны. На сегодняшний день большинство современных высокоэнергетических радиопередающих СВЧ систем, эксплуатируемых как в наземных комплексах, так и в летательных и космических аппаратах различного назначения, работает в СВЧ и КВЧ диапазонах. Именно в этих диапазонах необходимы аттенюаторы и оконечные согласованные нагрузки, способные рассеивать в рабочем режиме мощность до нескольких киловатт. В связи с этим, тема диссертационной работы Столяренко А.А., посвященная разработке новых и усовершенствованию имеющихся методов построения и расчета

широкополосных поглощающих СВЧ устройств большой мощности, несомненно, является актуальной.

Содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка использованной литературы. Объем работы составляет 155 страниц машинописного текста, включая 102 рисунка и список литературы из 115 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, представлено современное состояние методов построения и синтеза мощных широкополосных СВЧ аттенюаторов. Определены цели и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, приведены защищаемые положения.

В первой главе дан обзор литературных источников по вопросам разработки мощных СВЧ аттенюаторов на различной технологической основе. Проведен подробный анализ современного состояния аттенюаторов и нагрузок, выполненных по перспективным пленочным микрополосковым технологиям. Рассмотрены и проанализированы методологические, конструктивные и схемотехнические решения для широкополосных аттенюаторов и нагрузок на уровень мощности от десятков Вт до нескольких кВт. Обоснована актуальность диссертационного исследования.

Во второй главе предложен и исследован принцип построения мощных широкополосных СВЧ аттенюаторов, реализованных в виде встраивания в фильтры нижних частот сосредоточенных и распределенных диссипативных элементов, в том числе в виде резистивного микрополоска на подложке из легированного полупроводника. Предложены новые схемотехнические решения для широкополосных СВЧ амплитудно-частотных корректоров.

В третьей главе за основу построения мощных широкополосных СВЧ аттенюаторов предложено использовать структуры в виде квазиполиномиальных фильтров с внешними индуктивными связями и диссипативными потерями. Целесообразность применения данной структуры обусловлена использованием в этих фильтрах только параллельно включенных емкостей, которые замещаются паразитными емкостями пленочных резисторов.

В четвертой главе предложен и обоснован подход к построению аттенюаторов, в основе которого лежит использование фильтров гармоник с большим уровнем диссипативных потерь. Выполнен анализ разработанных эквивалентных схем аттенюаторов в сосредоточенном элементном базисе, используемых для описания работы фильтра гармоник в области низких

частот. В соответствии с предложенным подходом разработаны сверхширокополосные аттенюаторы для работы в диапазоне частот до 6 ГГц. Проведено исследование частотных свойств многокаскадного аттенюатора, обеспечивающего максимальный допустимый уровень входной мощности до 1-2 кВт в диапазоне частот до 3-5 ГГц.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований разработанных СВЧ аттенюаторов. Проведена оценка соответствия теоретическим расчетам, результатам компьютерного моделирования и экспериментального измерения. Исследованы температурные характеристики аттенюаторов и пленочных резисторов, выполненных на подложке из керамики BeO.

В заключении перечислены основные теоретические и практические результаты диссертационной работы.

Степень обоснованности и достоверность научных положений и результатов работы.

Обоснованность и достоверность материалов диссертации подтверждается грамотным использованием математического аппарата, и большим объемом компьютерного моделирования в САПР. Результаты измерений с помощью измерителя параметров цепей P2M-04 фирмы «Микран» в достаточной степени соответствуют теоретическими расчетам и результатам компьютерного моделирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана трехэтапная методика синтеза широкополосных многоэлементных СВЧ аттенюаторов на основе микрополосковых резисторов, встроенных в фильтр нижних частот. Показано, что введение корректирующих и согласующих индуктивных элементов в фильтровых структурах с диссипативными потерями позволяет обеспечить независимую настройку режима согласования и формы АЧХ.

2. Разработан метод построения широкополосных СВЧ аттенюаторов и амплитудно-частотных корректоров на основе неискажающих линий с потерями в резистивном микрополоске и слаболегированной полупроводниковой подложке. Определены параметры резистивных микрополосков и полупроводниковых подложек для различных значений вносимого ослабления. Показано, что неискажающая линия с потерями СВЧ диапазона должна быть согласована по входу и выходу.

3. Разработаны широкополосные СВЧ аттенюаторы на основе и квазиполиномиального фильтра и ступенчатого фильтра гармоник с введенными в них диссипативными потерями в виде микрополосковых пленочных резисторов различной длины и формы.

4. Проведено экспериментальное исследование частотных свойств ряда разработанных СВЧ аттенюаторов, выполненных на основе фильтра гармоник с диссипативными потерями.

5. Предложены новые схемотехнические решения и разработаны экспериментальные образцы отдельных звеньев многокаскадных СВЧ аттенуаторов большой мощности на основе фильтровых структур с диссипативными потерями, обеспечивающие работу в полосе частот 0-4 ГГц на уровнях мощности до 1 кВт.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Предложен и исследован перспективный метод построения микрополосковых пленочных СВЧ аттенуаторов большой мощности, выполненных на основе фильтров нижних частот, полосовых квазиполиномиальных и фильтров гармоник с большими диссипативными потерями, обеспечивающий существенное расширения полосы рабочих частот за счет того, что реактивные параметры пленочных резисторов замещают соответствующие реактивности фильтров.

2. Апробированы многоэтапные эффективные методики синтеза СВЧ аттенуаторов на основе фильтровых структур с диссипативными потерями, которые исходно базируются на формировании эквивалентной схемы на сосредоточенных элементах. На последующих этапах осуществляется переход к распределенной структуре с последующим численным электродинамическим моделированием. Такой подход позволяет успешно осуществить настройку и оптимизацию параметров сложных многоэлементных и многокаскадных аттенуаторов со сверхширокой полосой рабочих частот.

3. Применение подложки из легированного полупроводника, на которую нанесен резистивный микрополосок, обеспечивает высокое качество согласования и малую неравномерность АЧХ распределенных аттенуаторов на уровень мощности 50 Вт в области частот 0-10 ГГц.

4. Получено экспериментальное подтверждение, что СВЧ аттенуаторы, выполненные на основе квазиполиномиальных фильтров с потерями, обеспечивают максимально допустимый уровень входной мощности 200 Вт в полосе рабочих частот 0 – 5 ГГц с неравномерностью АЧХ не более 1 дБ.

5. На основе структуры микрополоскового ступенчатого фильтра гармоник с введенными потерями в виде последовательно и параллельно включенных пленочных резистивных вставок в диссертации разработаны фиксированные аттенуаторы для следующих значений вносимого ослабления: 0,45; 0,65; 1,0; 1,2; 1,8; 3,0 и 10 дБ. Этот набор аттенуаторов позволяет реализовать многокаскадный широкополосный аттенуатор с уровнем входной мощности до 2 кВт с полосой рабочих частот до 5 ГГц.

Положения, выносимые на защиту.

На защиту вынесено 4 положения, которые корректно сформулированы и в полном объеме отражают научную новизну, практическую значимость и имеют обоснованную доказательную базу.

Личное участие и полнота опубликования результаты работы.

Научные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Имеется три работы, опубликованные без соавторов. Все полученные в диссертационной работе результаты опубликованы в периодических научных изданиях, представлены на международных и российских научных конференциях (всего 28 научных работ, среди которых 3 статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК), получено 2 патента РФ на изобретение, 3 свидетельства о регистрации топологии.

Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертации. В нем излагаются основные научные результаты, полученные автором, описаны предложенные подходы, процедуры синтеза и разработка широкополосных мощных СВЧ аттенюаторов, выполненных на основе фильтровых структур с диссипативными потерями. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. Во второй главе автор приводит схемы аттенюаторов в виде ФНЧ, реализованных на сосредоточенных элементах и на отрезках линий передачи с потерями и волновым сопротивлением 50 Ом. Однако данные модели не привязаны к конкретной технологии, по которой они могут быть реализованы.
2. Представленные в четвертой главе характеристики разработанных аттенюаторов на основе фильтров гармоник с диссипативными потерями с ослаблением 0,45; 1,0; 1,2; 1,8; и 3,0 дБ позиционируются для работы в диапазоне до 5 ГГц. Однако экспериментально подтверждены результаты только до 4 ГГц.
3. В пятой главе отсутствует физическое обоснование справедливости измерения температурного поля на резистивной пленке многоэлементных нагрузок большой мощности, которое было проведено при использовании входного сигнала частотой 50 Гц.
4. В диссертации не представлено сопоставления полученных технических характеристик разработанных и экспериментально исследованных широкополосных аттенюаторов с техническими характеристиками зарубежных аналогов.
5. В материалах третьей и четвертой главы не оговариваются ограничения на максимально достижимую верхнюю граничную частоту СВЧ

аттенюаторов, выполненных на основе микрополосковых фильтров с потерями.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы Столяренко А.А.


Заключение.

Рассмотренная диссертационная работа является самостоятельной и законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение комплекса задач по созданию и разработке широкополосных СВЧ аттенюаторов, выполненных на основе фильтровых структур с диссипативными потерями. В целом, диссертационная работа отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, ред. от 28.08.2017, №1024), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Столяренко Алексей Андреевич, заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».


Диссертация и отзыв обсуждены на научном семинаре кафедры «Средства связи и информационная безопасность» Омского государственного технического университета.

Протокол научного семинара № 2 от 07 ноября 2019 г.

Доктор технических наук,
Профессор Майстренко Василий
Андреевич, заведующий кафедрой
«Средства связи и информационная безопасность»
Омского государственного технического
университета


_____ Майстренко В.А.

Секретарь семинара,
к.т.н., доцент ФИО


_____ Пляскин М.Ю.

Подписи заверяю:

Ученый секретарь ОмГТУ


_____ Немцова А.Ф.

644050, Российская Федерация,

г. Омск, пр-т Мира, д. 11

E-mail: info@omgtu.ru

Телефон: (3812)65-34-07