

УДК

Разработка и измерение перестраиваемых аттенюаторов 8 мм диапазона с применением электродинамических ножей различной гетерогенной структуры

С.О. Малеваник, В.В. Кузнецов, Д.И. Татаринев, А.С. Сергеева, А.А. Цитович, А.Н. Клементьев

Филиал РТУ МИРЭА в г. Фрязино

Аннотация: в данной работе выполнено экспериментальное исследование перестраиваемых аттенюаторов миллиметрового диапазона частот с электродинамическими ножами, выполненными материалами, обладающими слоистой и порошковой гетерогенной структурами.

Ключевые слова: перестраиваемый аттенюатор, волновод, корундовая керамика, тантал, гетерогенная структура

1. Введение

Перестраиваемые аттенюаторы миллиметрового диапазона находят применение во многих задачах, решаемых как при производстве, так и при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в радиоэлектронной отрасли. Волноводные аттенюаторы в трактах радиоизмерительных стендов, которые выполняют функцию регулирования мощности, направляемой на измерительные устройства ввиду того, что может проводиться измерение различных устройств, с разными выходными мощностями и рабочими частотами, коэффициент ослабления аттенюатора должен быть достаточно большим, а нелинейность частотной характеристики не должна превышать единиц децибел. В связи с активной разработкой и применением радиоэлектронных средств миллиметрового диапазона частот, принято решение разрабатывать перестраиваемый аттенюатор в 8 мм диапазоне частот. В качестве конструктивного исполнения выбран прямоугольный волновод сечения 7.2x3,4 мм.

2. Моделирование аттенюатора

Первым этапом работы выполнено моделирование поглощающих вставок из различных материалов в системе автоматизированного проектирования. В качестве конструктивного исполнения аттенюатора, выбрана классическая схема с трапецидальным ножом, перемещаемым в вертикальной плоскости в середине широкой стенки прямоугольного волновода сечением 7.2x3.4 мм. В САПР построена модель волновода с прорезью вдоль середины широкой стенки и модель поглощающей вставки, представленные на рисунке 1. Моделирование перестройки аттенюатора выполнялось путем перемещения поглощающей вставки в E-плоскости волновода путем изменения по координате Z 3-D модели.

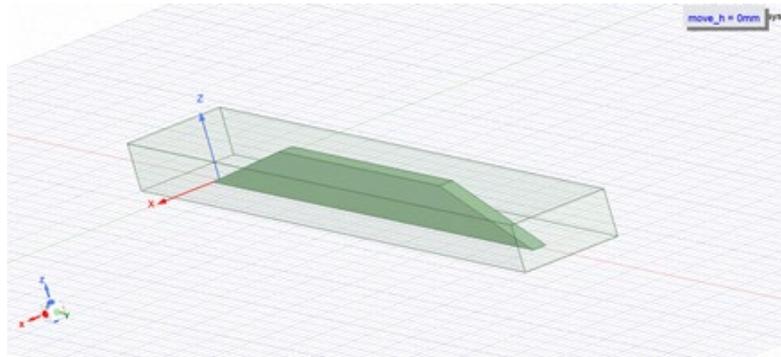


Рисунок 1. Модель аттенюатора

Для моделирования электродинамического ножа, был выбран реально существующий материал, с сайта производителя были загружены характеристики материала и импортированы в программную среду. Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

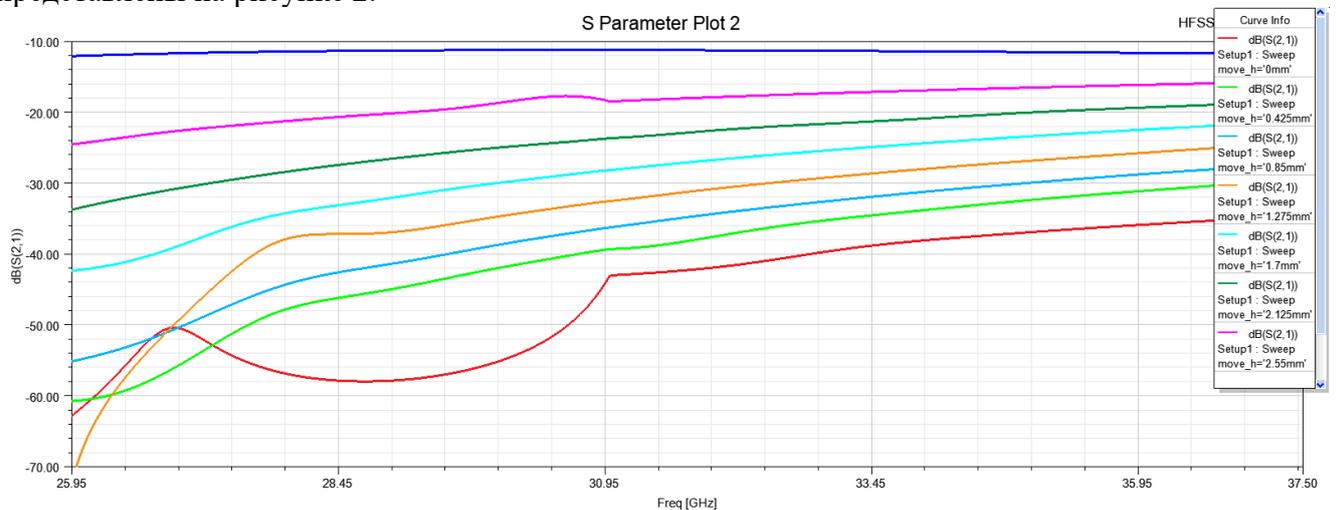


Рисунок 2. Результаты моделирования

Как видно из графиков, представленных на рисунке 2, с данным материалом не удастся достичь требуемой линейности частотной характеристики.

В связи с этим было принято решение самостоятельно изготавливать электродинамический нож для аттенюатора миллиметрового диапазона частот.

3. Изготовление и измерение различных электродинамических ножей

Как известно, при взаимодействии СВЧ излучения с металлическим телом, объем, в котором наблюдается эффективное поглощение не превышает величины скин-слоя. Соответственно существенно повысить эффективный объем поглощающего тела, можно путем создания гетерогенного материала типа металл – диэлектрик. При этом существует 2 основных варианта создания таких структур: слоистых и порошковых. Эти 2 варианта были изготовлены и измерены.

Слоистая гетерогенная структура создана путем разбиения слоев металла на более тонкие, изолированные друг от друга диэлектриком слои, при этом толщина металла не должна превышать толщины скин-слоя. В качестве диэлектрика выбрана корундовая керамика ВК94-1 толщиной 1 мм, а в качестве металла – тантал, который нанесен на отполированные поверхности керамического ножа путем напыления. Порошковая гетерогенная структура создана путем замеса эпоксидной смолы с карбонильным железом Р-30 в соотношении 60% железа и 40% смолы соответственно.

Также разработана конструкция корпуса аттенюатора и система позиционирования электродинамического ножа в волноводе. Конструкция аттенюатора представляет собой сборку из двух половин, с фрезерованным волноводным каналом, что упрощает изготовление и сборку. Система позиционирования состоит из 2 алюминиевых пластин, нижняя пластина может двигаться на четырёх вертикальных направляющих, для возврата в исходное положение, она упирается на 4 пружины. Верхняя пластина жестко закреплена на направляющих, к ней в свою очередь прикреплен микрометрическая головка, которая выполняет функцию регулировки положения электродинамического ножа. Результат представлен рисунке 3.

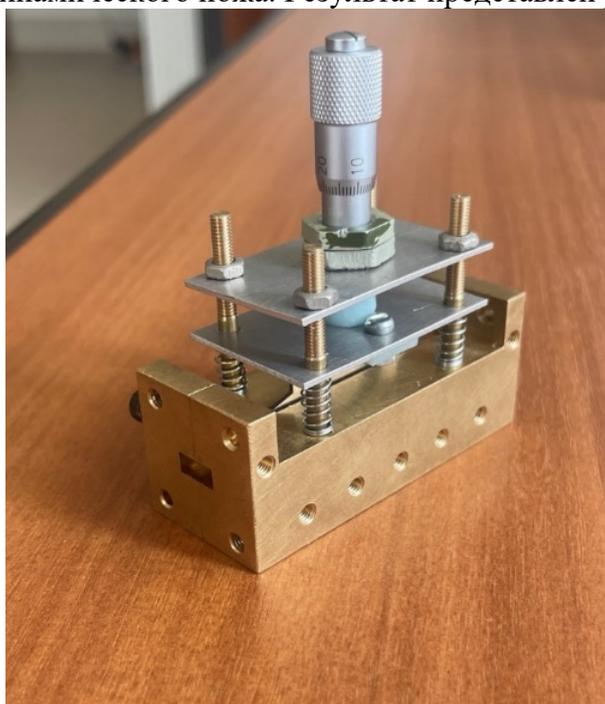


Рисунок 3. Конструкция аттенюатора

С помощью ВАЦ Keysight PNA-L, измерены характеристики аттенюатора с ножом из слоистой гетерогенной структуры. График коэффициента ослабления представлен на рисунке 4.

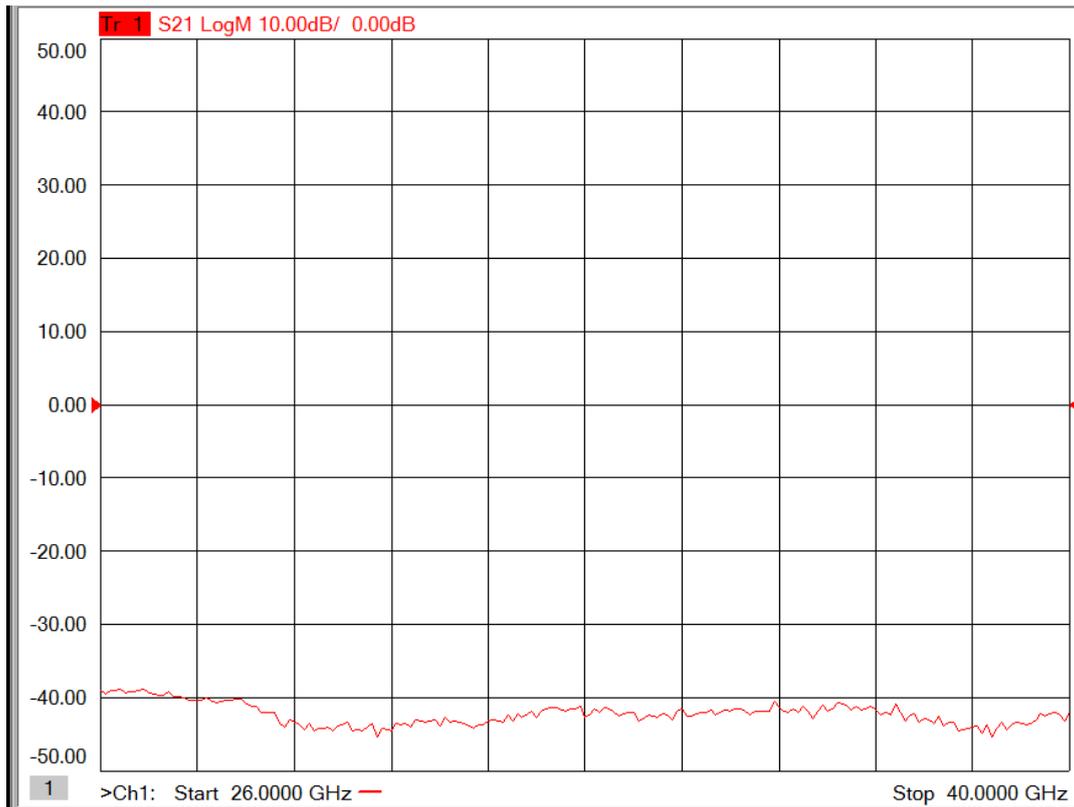


Рисунок 4. График S21 слоистой гетерогенной структуры

Как видно из графика удалось добиться линейности частотной характеристики равной 4 дБ и коэффициента ослабления порядка 40 дБ в наихудшей точке.

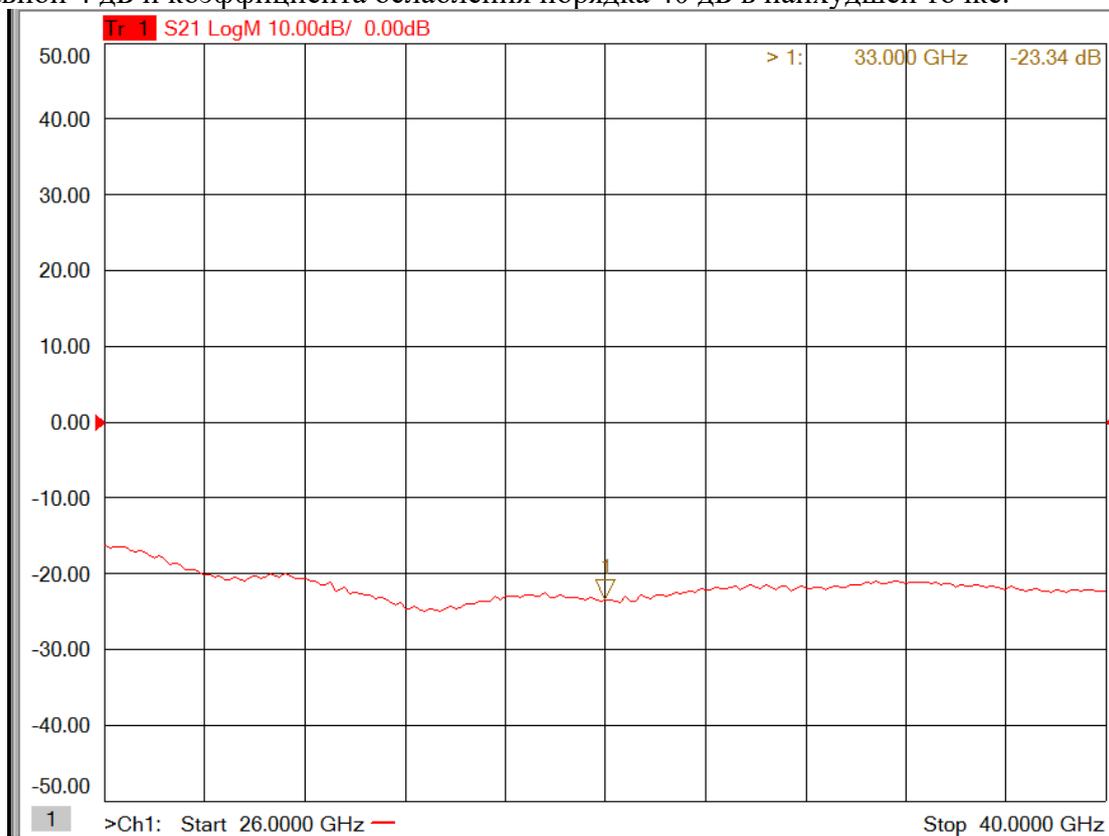


Рисунок 5. График S21 порошковой гетерогенной структуры

Как видно из графика, представленного на рисунке 5, электродинамический нож из порошковой гетерогенной структуры обладает худшим коэффициентом ослабления и схожей линейностью частотной характеристики в сравнении со слоистой гетерогенной структурой, измеренной ранее. Предполагаемая причина данного ухудшения характеристики может быть связано с неравномерным распределением частиц или конгломератов металла в объеме эпоксидной смолы, ввиду чего уменьшается полезный объем поглощения СВЧ-излучения.

4. Вывод

В ходе работы промоделированы изготовлены и измерены электродинамические ножи для аттенуаторов из различных материалов с применением двух способов создания гетерогенной структуры. Экспериментально исследованы два типа гетерогенной структуры, а именно слоистая и порошковая. Слоистая структура из корундовой керамики ВК94-1, покрытой танталом, путем напыления показала себя лучше порошковой структуры, полученной путем смешивания эпоксидной смолы с карбонильным железом марки Р-30.

Полученные характеристики аттенуатора с электродинамическим ножом слоистой гетерогенной структурой:

- Коэффициент ослабления – 40 дБ
- Неравномерность частотной характеристики – 4 дБ
- Диапазон частот – 26÷40 ГГц

Характеристики аттенуатора с порошковой гетерогенной структурой:

- Коэффициент ослабления – 17 дБ
- Неравномерность частотной характеристики – 6 дБ
- Диапазон частот – 26÷40 ГГц

Список литературы

1. Ковнеристый Ю. К. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения / Ю.К. Ковнеристый – Москва: издательство Наука, 1982. - 162 с.
2. Андронов Е.В., Глазов Г.Н. Теоретический аппарат измерений на СВЧ: Т. 1 Методы измерений на СВЧ/ Е.В. Андронов - Томск: 2010.-804с.
3. Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE / А.А. Курушин – Москва: издательство СОЛОН-Пресс, 2018. - 428 с.