

Разработка коаксиального СВЧ аттенюатор до 40 ГГц на основе численного электродинамического моделирования

И.Н. Малышев, И.Г. Белков, Ю.В. Еремеев

АО «НПО «ЭРКОН», г. Нижний Новгород

Аннотация: рассмотрены особенности проектирования коаксиального аттенюатора с фиксированным ослаблением до 40 ГГц на основе численного электродинамического моделирования. Проведены целевые характеристик аттенюатора, основные конструктивные решения, результаты моделирования и макетирования образцов аттенюатора.

Ключевые слова: фиксированный коаксиальный аттенюатор, пленочные резисторы, СВЧ поглотитель.

1. Введение

Фиксированные коаксиальные аттенюаторы и эквиваленты нагрузок (мощные резистивные поглотители) находят широкое применение в различных приложениях. Одна из основных тенденций развития техники СВЧ — постоянное расширение рабочего диапазона частот при сохранении мощностных характеристик.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели рассматриваемых аттенюаторов:

- средняя входная мощность: 5 Вт
- рабочий диапазон частот: 40 ГГц
- тип соединителей: 2,92 мм
- диапазон ослаблений: 3-30 дБ
- допускаемое отклонение ослабления: $\pm 1,5$ дБ
- КСВН: не более 1,5

2. Моделирование СВЧ аттенюатора

Важными особенностями при проектировании СВЧ аттенюаторов являются расчет и оптимизация схем и топологий диссипативных элементов, учет особенностей технологического процесса формирования резистивной пленки, а также проработка конструкции изделий с элементами механической и термомеханической развязок для работы в широком диапазоне рабочих частот.

Исходя из заданного частотного диапазон 40 ГГц, для коаксиального соединителя выбран стандартизованный трак 2,92/1,27 мм. В качестве сравнительного критерия на рисунке 1 приведены характеристики по результатам моделирования указанного тракта.

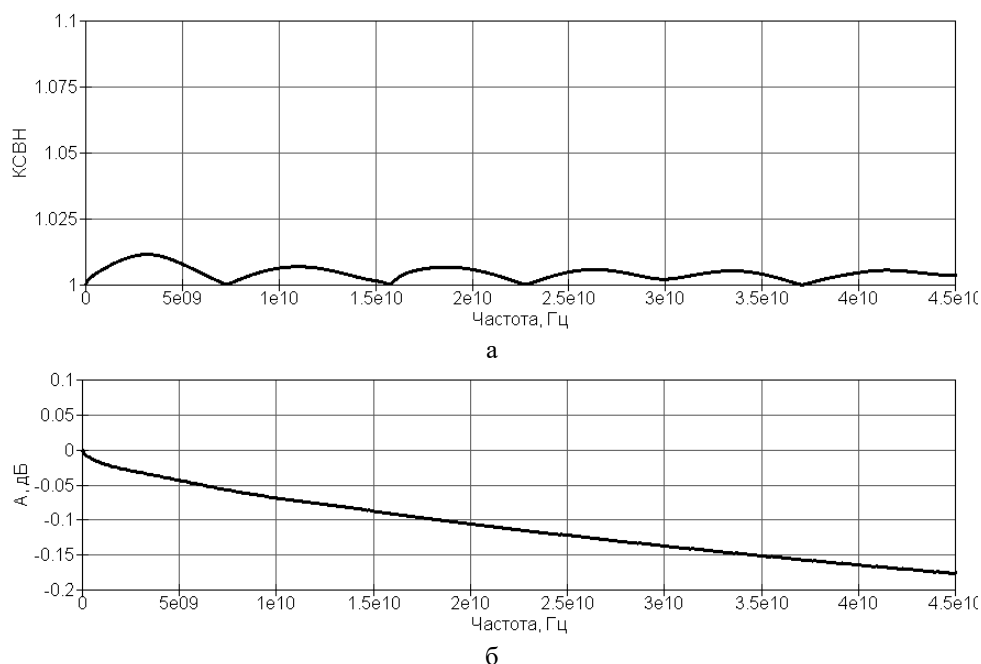


Рисунок 1. Характеристики модели коаксиального тракта 2,92/1,27 мм: а) КСВН и б) коэффициент передачи.

Диссипативный элемент attenuатора выполнен по пленочной технологии на керамической подложке, обеспечивающей электрические и тепловые параметры attenuатора. Для расчета его топологии необходимо определить конструкцию полосковой линии. Исходя из опыта разработки СВЧ attenuаторов наиболее подходящей является конструкция на основе воздушных линий. В ходе моделирования установлено, что для обеспечения заданных частотных характеристик необходимо использовать так называемую высокодобротную симметричную полосковую линию (рисунок 2) [1]. Внутренний проводник такой линии образуется из соединенных между собой на входах и выходах параллельных проводников на двух сторонах диэлектрического основания. Электрическое поле внутри диэлектрика почти отсутствует, и диэлектрик практически не влияет на параметры линии. Это позволяет снизить неравномерность ослабления attenuатора, а также оптимизировать толщину подложки под заданную мощность рассеяния.

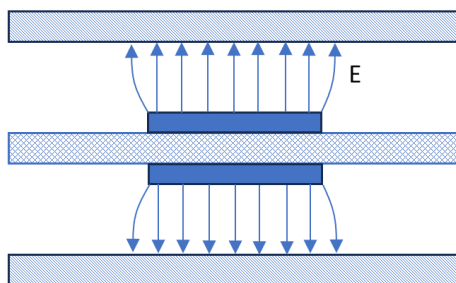


Рисунок 2. Распределение поля в линии.

Тепловая модель использовалась для выбора оптимальной толщины подложки. На рисунке 3 показано семейство графиков распределения температуры в зависимости от толщины подложки в поперечном сечении attenuатора.

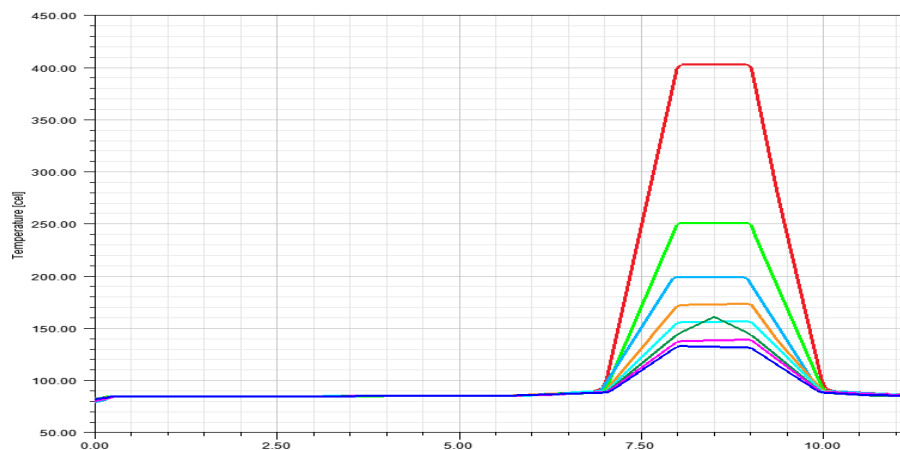
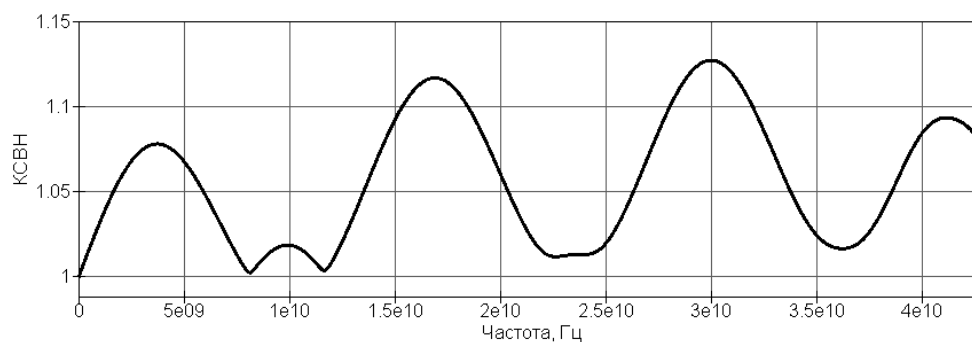


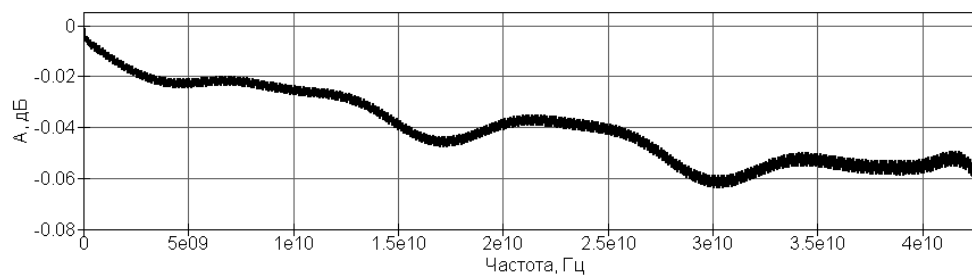
Рисунок 3. Распределение температурного поля в поперечном сечении.

При вариации толщины подложки от 0,1 мм до 0,8 мм максимальный перегрев в области резистивной пленки достигает значений от 400 °С до 140 °С соответственно. Выбрана оптимальная толщина подложки при которой температура перегрева оставляет не более 150 °С.

Топология аттенюатора оптимизирована исходя из ограничений воздушной линии с керамическим диэлектрическим основанием, установленным в коаксиальный тракт. На рисунке 4 показаны частотные характеристики, оптимизированной конструкции полосковой линии.



а



б

Рисунок 4. Характеристики тракта с воздушной линией на диэлектрическом основании:
а) КСВН и б) коэффициент передачи

На рисунке 5 представлены характеристики модели аттенюатора с номинальным ослаблением 30 дБ. Для решения проблем широкополосного согласования в топологию резистивных элементов интегрированы согласующие структуры, а также

дополнительно применены регулировочные винты, обеспечивающие компенсацию технологических разбросов сборочных элементов аттенюатора.

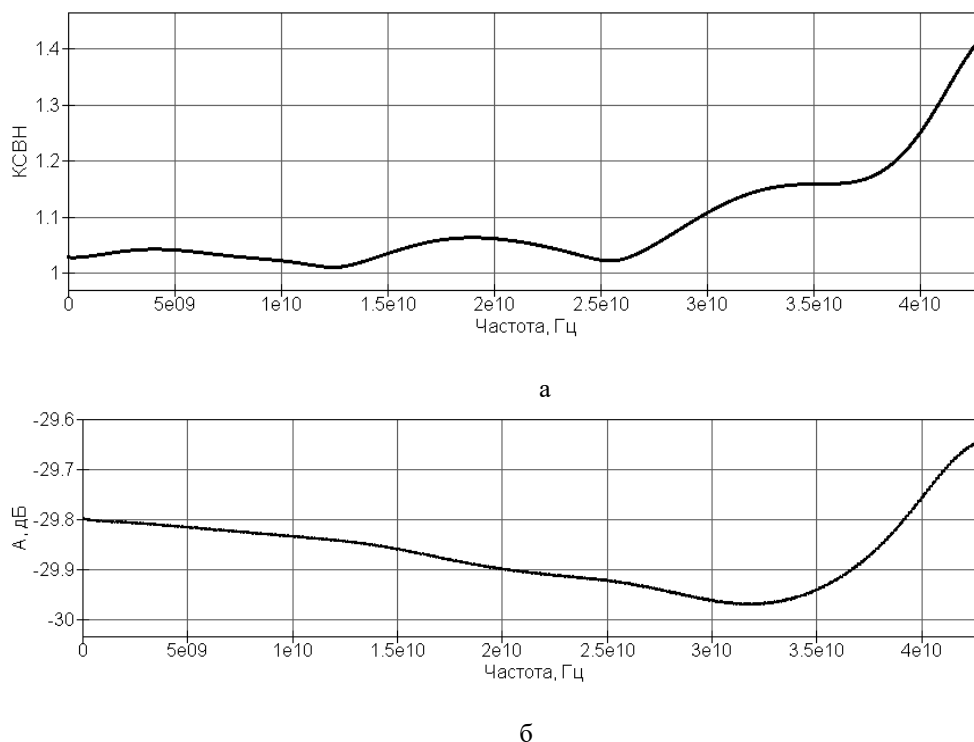


Рисунок 5. Характеристики модели аттенюатора: а) КСВН и б) коэффициент передачи.

Задача обеспечения стабильного электрического и теплового контакта, в условиях допуска на изготовление деталей и термического расширения при работе аттенюатора под нагрузкой, решена с использованием гибких перемычек и пружинных контактов на торцах диэлектрической подложки и в конструкции перехода с коаксиальной линии на полосковую соответственно.

Верификация полученной модели выполнена по изготовленному макету аттенюатора (рисунок 6).

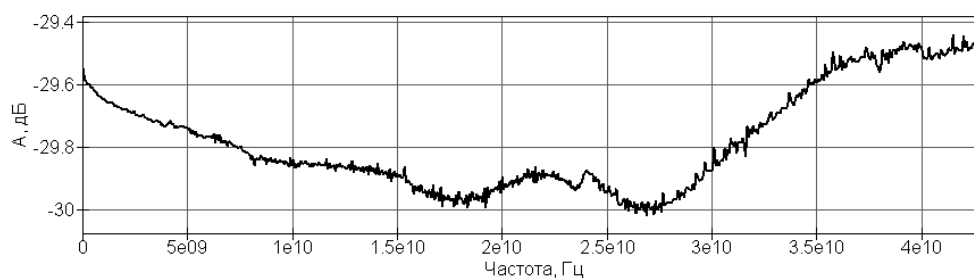


Рисунок 6. Коэффициент передачи макета аттенюатора

Результаты изготовления макетов позволяют провести верификацию и их дальнейшее развертывание для серии аналогичных продуктов с варьированием ослабления под требования заказчика.

Список литературы

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ.- М.: Высш. школа, 1988.