

Леухин С.А.^{1,2}, Щербаков А.Е.^{1,2}, Черкашин А.В.²
¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ»

²ОАО «Завод Магнетон»

Многослойные композиционные поглотители электромагнитных волн с распределенной неоднородностью

В работе рассмотрены однослойные и многослойные радиопоглощающие структуры. Представлены частотные зависимости коэффициента отражения, а также изучено влияние перфорации и внедрения магнитных и диэлектрических включений.

Ключевые слова: Радиопоглощающие материалы, градиентные поглотители, перфорированные поглотители, листовые поглотители, поглотители электромагнитных волн.

Одной из главных задач при создании листовых радиопоглощающих материалов (РПМ) является расширение рабочего диапазона частот. Создание сверхширокополосных РПМ обусловлено развитием СВЧ-радиоэлектроники, которая требует минимизации помех и хорошей электромагнитной совместимости устройств. Кроме того, листовые РПМ решают задачи военного характера, связанные с обнаружением объектов и защитой информации, а также обеспечивают защиту биологических объектов.

Одной из главных проблем при создании сверхширокополосных РПМ является согласование его волнового сопротивления Z с сопротивлением свободного пространства $Z_0 = 120\pi$. Соответственно при согласовании сопротивлений, т. е. при $Z = Z_0$, возможно получение нулевого отражения, но при этом следует учесть, что $Z(\omega) = (\mu(\omega)/\epsilon(\omega))^{1/2}$, т. е. является функцией, зависящей от дисперсионных кривых диэлектрической и магнитной проницаемости материала, а значит добиться необходимого согласования возможно не во всем диапазоне частот. Для решения данной проблемы применяют либо однослойные РПМ, с соответственно подобранными диэлектрическими и магнитными проницаемостями, или многослойные РПМ, которые в свою очередь делятся на градиентные и ступенчатые [1].

По принципу действия выделяют следующие типы РПМ [2]:

- интерференционные, использующие принцип взаимного гашения электромагнитных волн путем наложения в противофазе падающей и отраженной волны;
- рассеивающие, в которых уменьшение отраженной энергии в одном направлении обязано ее рассеянию в других направлениях под различными углами;
- поглощающие, использующие - преобразование электромагнитной волны в другие виды энергии, как правило, в тепловую, за счет диэлектрических (ϵ'') и магнитных (μ'') потерь материала;
- комбинированные.

В настоящий момент чаще всего применяются комбинированные поглотители, сочетающих в себе сразу же несколько принципов действия, что способствует увеличению поглощающей способности и увеличению рабочего диапазона частот.

В качестве функционального поглощающего наполнителей в данной работе применялись: карбонильное железо (КЖ) марки Р-20, керамика МСТ-10, пермаллой 45Н. В качестве связующего компонента применялся хлорированный полиэтилен (ХПЭ). Основным наполнителем является КЖ, поглощающие свойства которого хорошо изучены в работах [3,4]. МСТ-10 и пермаллой 45Н используются в качестве неоднородностей, так как имеют кардинальные отличия от КЖ как по диэлектрическим (МСТ-10), так и по магнитным (пермаллой 45Н) свойствам. Выбор ХПЭ связан с удобством получения листовых материалов методом каландрования.

За основу взята конструкция градиентного поглотителя, представленная на рис. 1. Содержание КЖ в каждом слое указано в массовых процентах при этом каждый слой имеет толщину 1 мм. Градиентная структура поглотителя была выбрана на основании того, что в ступенчатых многослойных структурах происходит дополнительное отражение на границе раздела слоев, что положительно сказывается на функциональных характеристиках РПМ [1].

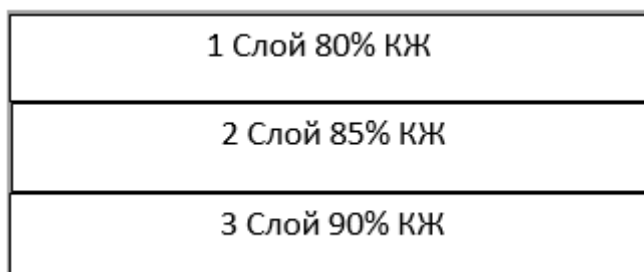


Рис.1. Структура многослойного поглотителя.

На рис. 2 представлены данные частотной зависимости коэффициента отражения (К.о.) для многослойного РПМ и для однослойных соответствующей толщины. Все образцы 1-3 имеют одинаковую толщину 3 мм. но при этом многослойный поглотитель имеет К. о. меньше практически во всем диапазоне измерения, кроме нескольких точек (3.9, 27, 35.3 ГГц), что говорит об улучшении его поглощающей способности.

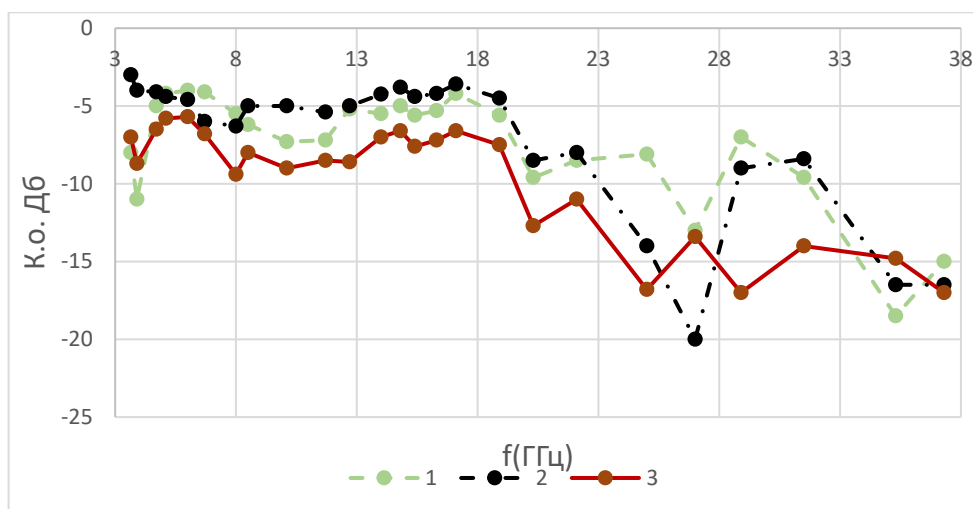


Рис. 2. Частотная зависимость К. о.: 1 – 85% КЖ, толщина 3 мм; 2 – 90% КЖ, толщина 3 мм; 3 – многослойный поглотитель толщина 3мм.

Для введения неоднородностей был выбран второй слой, т. к. верхний отвечает за согласование, а нижний за непосредственно поглощение. Неоднородности представляет собой круглые отверстия, впоследствии заполняемые диэлектрическими и магнитными включениями диаметром 3 мм. Вариации исследуемых неоднородностей представлены на рис. 3.

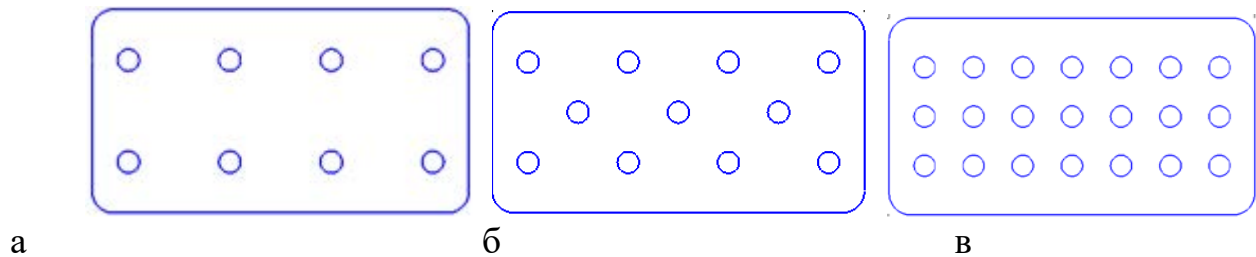


Рис. 3. Распределения неоднородностей в образце.

Были получены данные по перфорированным образцам без заполнения неоднородностей (см. рис. 4). Подобны поглотители рассмотрены в работе [5]. Данная неоднородность должна задействовать интерференционные механизмы поглощения. При этом наблюдается резкое снижение К. о. на частоте 6 ГГц, что скорее всего обусловлено геометрией неоднородности нежели ее количеством. При этом влияние количества неоднородностей проявляется в диапазоне от 20 до 38 ГГц. В нем образец с меньшим числом перфорация имеют меньший К. о., чем не перфорированный, а увеличение числа перфораций приводит к ухудшения поглощающей способности.

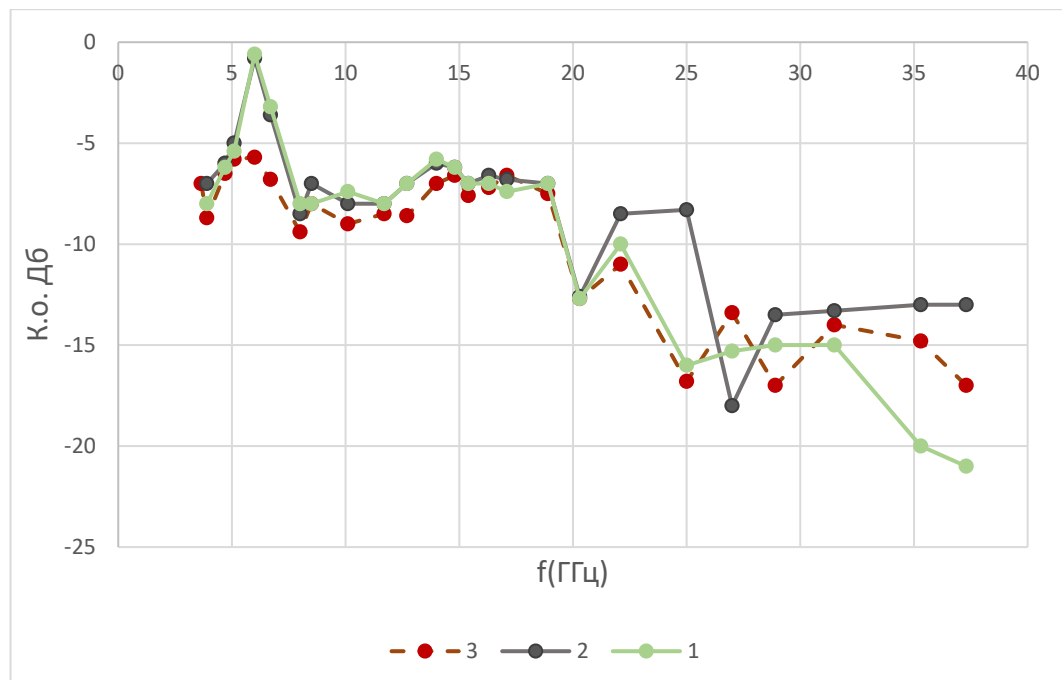


Рис. 4. Частотная зависимость К. о.:

- 1 – многослойный поглотитель с перфорацией по Рис.3а;
- 2 – многослойный поглотитель с перфорацией по Рис.3б;
- 3 – многослойный поглотитель без перфорации.

На рис. 5 представлены исследуемые комбинации заполнения неоднородностей. Подобные структуры описаны в работе [6].

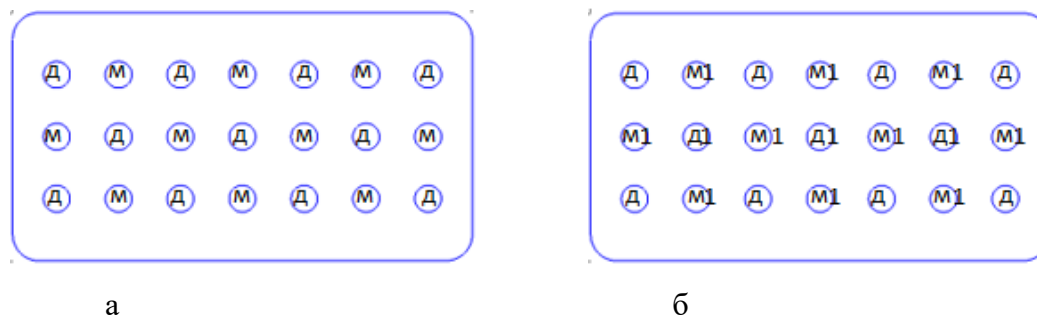


Рис. 5. Комбинации заполнения неоднородностей, где: Д - МСТ-10; М – пермаллой; 1 – стержневые проволочные включения.

Из рис. 6 видно, что данные комбинации неоднородных включения оказывают наибольшее влияние в диапазоне частот от 20 до 38 ГГц. Характер зависимостей напоминает перфорированный образец 1 рис. 4, но при этом максимальное поглощение у образца с внедренной неоднородностью больше. Внедрение проволочных включений способствует формированию более четкого пика поглощения на частотах от 5 до 10 ГГц.

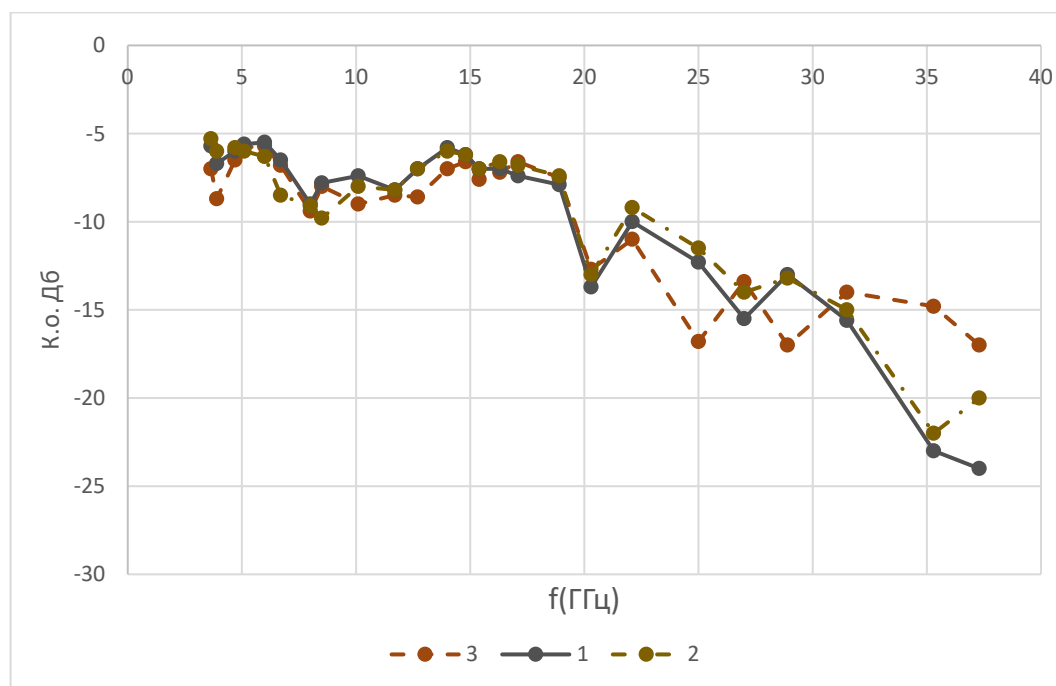


Рис. 6. Частотная зависимость К. о.:

- 1 - многослойный поглотитель с неоднородными включениями рис.5б ;
- 2 - многослойный поглотитель с неоднородными включениями рис.5б;
- 3 – листовой поглотитель без включений.

При выполнении работы было подтверждено преимущество многослойных градиентных поглотителей электромагнитных волн над однослойными. При этом на их основе проверено влияние перфорации и наличия неоднородностей на характеристики поглощения РПМ. На основании полученных выше данных можно заключить о возможности создания листовых широкополосных РПМ с повышенными

характеристиками поглощения за счет использования магнито и электро проницаемых неоднородностей.

Библиографический список

1. Латыпова А. Ф., Калинин Ю. Е. Анализ перспективных радиопоглощающих материалов. Вестник ВГТУ. Воронеж 2012. №6. С. 70–76
2. Казанцева Н. Е., Рывкина Н. Г., Чмутин И. А. Перспективные материалы для поглотителей электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона. Радиотехника и электроника- 2003.- Т. 48. №2. С.196-209.
3. Лопатин А. В., Казанцева Е. Н., Казанцев Ю. Н. Эффективность использования магнитных полимерных композитов в качестве радиопоглощающих материалов. Радиотехника и электроника- 2008.- Т. 53. №5. С.517-526.
4. Лопатин А. В., Казанцева Е. Н., Казанцев Ю. Н. Радиопоглотители на основе магнитных полимерных композитов и частотно-селективных поверхностей. Радиотехника и электроника- 2008.- Т. 53. №9. С.1176-1184
5. Suomin Cui, Daniel S. Weile and John L. Volakis, Novel Planar Electromagnetic Absorber Designs Using Genetic Algorithms. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2006. № 6. P. 1811-1817. 10. Arya Fallahi, Alireza Yah
6. Гарин Б.М., Дьяконова О.А., Казанцев Ю.Н. Физические свойства резистивных нитей и структур на их основе в СВЧ диапазоне. Журнал технической физики. - 1999. Т. 69. Вып. 1.- С. 104-108.