

УДК 621.315.5; 621.318.1

ПОГЛОТИТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОРОШКООБРАЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Е.А. КРИШТОПОВА, М.Ш. МАХМУД, Л.М. ЛЫНЬКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 1 февраля 2012

Приведены примеры поглотителей электромагнитного излучения, сформированных на основе порошкообразных природных материалов, воды, Ni-Zn феррита и хлорида кальция. Изучено влияние соотношения компонентов в полученных поглотителях на характеристики ослабления и отражения электромагнитного излучения на основе анализа экспериментально полученных частотных зависимостей коэффициентов передачи и отражения в диапазоне частот 8... 12 ГГц. Авторы дают рекомендации по формированию поглотителей ЭМИ для различных применений, включая создание экранированных помещений для обработки защищаемой информации и испытания радиоэлектронного оборудования.

Ключевые слова: поглотитель ЭМИ, шунгит, гипсовый алебастр, хлорид кальция, Ni-Zn феррит.

Введение

Известно, что смеси порошкообразных наполнителей могут эффективно быть использованы для формирования композитов, обладающих рядом полезных свойств несвойственных компонентам композитов по отдельности [1–4]. Использование порошкообразных компонентов предпочтительнее волокнистых и слоистых ввиду изотропности свойств полученных композитов, а также легкости получения технологических смесей и материалов. Наиболее широко для формирования поглотителей электромагнитного излучения (ЭМИ) используются металлические, ферритовые и углеродсодержащие порошки. Интересным видится создание поглотителей ЭМИ на основе порошкообразного углеродсодержащего минерала шунгита, гипсового алебаstra и воды, а также введение в состав поглотителей хлорида кальция, Ni-Zn феррита.

Важной задачей, на решение которой была направлена данная работа, является определение соотношения различных компонентов для получения максимально эффективных поглотителей ЭМИ.

Методика проведения эксперимента

Для изготовления образца из шунгита был использован минерал из Зажогинского месторождения (Карелия, Россия). Структурно он представляет собой равномерное распределение высокодисперсных кристаллических частиц диоксида кремния (в форме α -кварца) размером в среднем около 1 мкм в аморфной углеродной матрице. Между углеродом и силикатами в шунгите имеется развитый (около 20 м²/г) и плотный контакт [5].

Хлорид кальция (CaCl₂) или кальциевая соль соляной кислоты, которая использовалась в поглотителях ЭМИ, представляет собой бесцветные кристаллы, высоко гигроскопичные, легко растворимые в воде. Вещество имеет невысокую цену. Использование его в составе поглотителей способствует защите от коррозии поверхностей, с которыми контактирует и усиливает схватывание цемента [6].

Гипсовый алебастр ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – зернистая разновидность минерала гипс. Обожженный гипс – вязущий материал. Гипс мягок, твердость составляет 1,5... 2. Плотность гипса равна 2,2... 2,4 г/см³. Водная смесь, затвердевая, весьма пластична. Однако затвердевший гипс непрочен, поэтому требуется армирование. Гипс высоко гигроскопичен [6].

Были изготовлены образцы поглотителей ЭМИ в виде плиток толщиной от 3 до 5 мм из затвердевшей водной смеси порошкообразных компонентов – шунгита, гипсового алебастра, а также добавки ферритового порошка или хлорида кальция. Ферритовый магнитный порошок (Ni-Zn феррит) вводился в состав поглотителей для усиления их магнитных свойств, а хлорид кальция (CaCl_2) для удержания от испарения в составе поглотителя воды. Объемное соотношение порошкообразных компонентов в образцах поглотителя приведено в таблице.

Содержание порошкообразных компонентов и воды в образцах поглотителей ЭМИ

№ образца	Толщина образца, мм	Шунгит, объем. %	Гипсовый алебастр, объем. %	Хлорид кальция, объем. %	Ni-Zn феррит, объем. %	Вода, объем. %
1	4	30	30	-	-	40
2	3	25	25	40	-	10
3	5	60	20	-	-	20
4	5	40	50	-	-	10
5	5	30	15	15	30	10

Для образцов экспериментально получены значения коэффициентов передачи (S_{21}) и отражения (S_{11}) в диапазоне частот 8... 12 ГГц. Измерения были выполнены в диапазоне частот на панорамном измерителе КСВН и ослабления, работающих по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отражающей волн. Схемы измерения коэффициентов передачи и стоячей волны по напряжению [1] включали генератор качающейся частоты ГКЧ-61; волноводные тракты сечением 23,0×10,0 мм; индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67 со следующими характеристиками: диапазон измерения ослабления 0...35 дБ; погрешность измерения ослабления $\pm(0,5+0,05A) \cdot 100\%$; диапазон измерения КСВН 1,06...∞; погрешность измерения КСВН:

- в диапазоне значений 1,2...2,0: $\pm(5\text{КСВН}+2) \cdot 100\%$;

- в диапазоне значений 2,0...5,0: $\pm(5\text{КСВН} + 2) \frac{\text{КСВН}}{100 - [\pm(5\text{КСВН} + 2)] \frac{\text{КСВН}}{\text{КСВН} + 1}} 100\%$.

Оценка отражения падающего электромагнитного излучения на образец проводилась по значениям коэффициента отражения в децибелах, пересчитанного из КСВН по формуле: $S_{11} = -20 \lg \left[\frac{\text{КСВН} - 1}{\text{КСВН} + 1} \right]$.

Исследования проводились в панорамном режиме измерения КСВН и коэффициента передачи. Калибровка приборов осуществлялась во всем рабочем диапазоне частот по стандартной методике [1] после установки диапазона качания частоты и уровня падающей мощности. При проведении измерений образец зажимался между фланцами волноводов, такой способ при малой толщине образца (не более 5 мм) принимался эквивалентным использованию измерительной ячейки.

Полученные результаты и обсуждение

Экспериментально полученные графики зависимостей коэффициентов передачи S_{21} и отражения S_{11} от частоты в диапазоне 8... 12 ГГц приведены на рис. 1–3. Проанализировав данные, приведенные на них, можно сделать следующие выводы.

Наиболее эффективно ослабляют ЭМИ образцы №2 и №5, для которых значение коэффициента передачи составляет –30,2...–34,2 дБ и –26,9...–28,2 дБ соответственно. В обоих случаях более высокая эффективность ослабления ЭМИ по сравнению с остальными поглотителями обусловлена наличием в составе образцов №2 и №5 хлорида кальция, который высоко гигроскопичен и поэтому связывает воду в составе поглотителей, не давая ей испаряться. Наличие воды в составе образца №2 обуславливает достаточно высокое значение ослабления ЭМИ за

счет поглощающих свойств воды [7]. Увеличение значения ослабления во втором случае объясняется включением в состав поглотителя ферритового порошка, который также усиливает ослабление энергии электромагнитного поля.

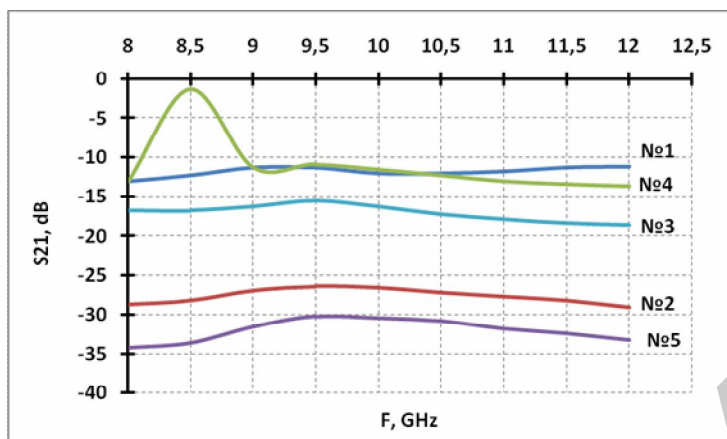


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента передачи образцов поглотителей ЭМИ в диапазоне частот 8... 12 ГГц

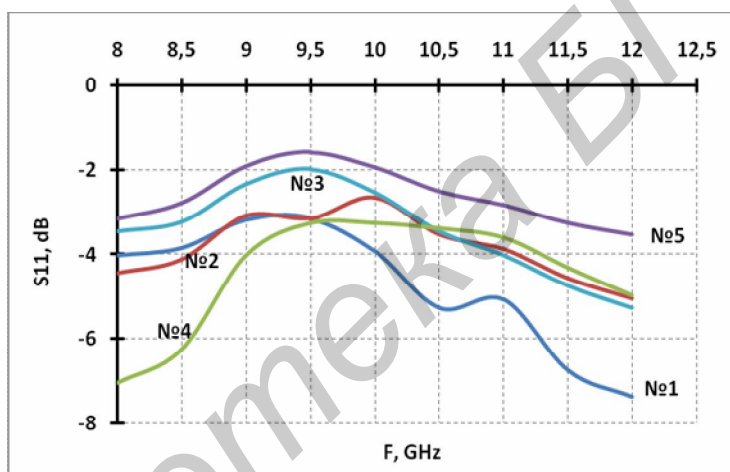


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента отражения образцов поглотителей ЭМИ в диапазоне частот 8... 12 ГГц

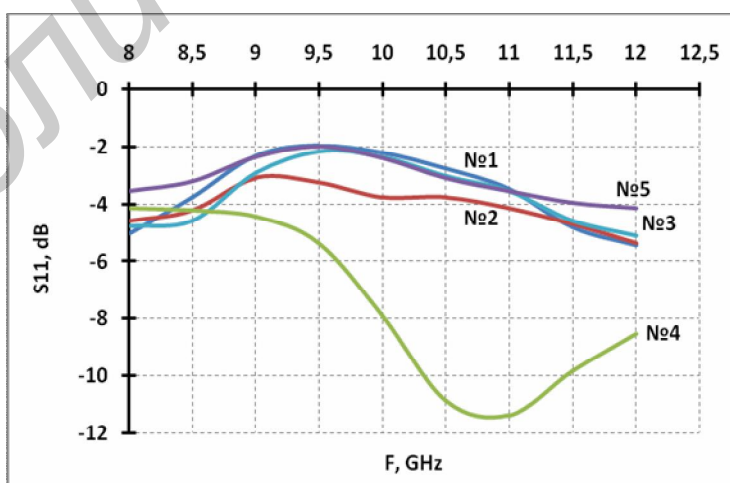


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента отражения образцов поглотителей ЭМИ в диапазоне частот 8... 12 ГГц при добавлении к ним металлического отражателя

В поглотителе, при формировании которого не использовался хлорид кальция и было незначительно увеличено содержание шунгита и алебаstra на 5 объем.% каждого (образец №1)

значение коэффициента передачи составило $-11,3 \dots -3$ дБ, что значительно ниже, чем в образцах, содержащих хлорид кальция. При повышении содержания шунгита по сравнению с образцом №1 с 30 до 40 объем.% (образец №4), величина коэффициента передачи незначительно уменьшается до $-11,3 \dots -13,6$ дБ. При дальнейшем увеличении содержания шунгита в образцах до 60 объем.% и незначительном уменьшении алебаstra до 20 объем.%, значение коэффициента передачи снижается до $-15,5 \dots -18,6$ дБ в рассматриваемом диапазоне частот (образец №3). Очевидно, что увеличение объемного содержания шунгита в составе поглотителей приводит к росту величины ослабления ЭМИ за счет увеличения в составе поглотителя углеродсодержащего компонента. Однако более эффективным является введение в состав поглотителя хлорида кальция, удерживающего воду в его объеме, и Ni-Zn феррита, обеспечивающие его магнитные свойства.

Оптимальным с точки зрения отражения ЭМИ является образец №5, для которого значение коэффициента отражения в диапазоне частот 8... 12 ГГц составляет $-1,8 \dots -3,8$ дБ, однако значение коэффициента отражения для данного образца неравномерно в диапазоне частот 8... 12 ГГц. Размещение за образцом металлического отражателя (алюминиевой фольги толщиной 9 мкм) приводит к незначительному снижению значения коэффициента отражения до $-2 \dots -4$ дБ. Введение в состав поглотителя Ni-Zn феррита, помимо высокого значения ослабления, обеспечивает низкое значение коэффициента отражения вследствие поглощения электромагнитной энергии частицами феррита и диэлектрических потерь в объемах связанной и конденсированной в поглотителе воды, рассеяния на частицах кварца и углерода в составе шунгита.

Относительно низкое значение коэффициента отражения получено для образца №3: оно находится в интервале $-3,4 \dots -8,8$ дБ, и его частотная зависимость также является неравномерной в диапазоне частот 8... 12 ГГц. Это обусловлено более высоким по сравнению с другими образцами содержанием шунгита, представляющего собой неграфитизируемую глобулярную углеродную матрицу с включениями кварца, обеспечивающего рассеяние части электромагнитной энергии на частицах кварца, ее переотражение углеродной матрицей, а также поглощение в объемах воды. При установке за образцом №3 алюминиевой фольги значение коэффициента отражения незначительно увеличивается до $-3,5 \dots -7,5$ дБ.

Для образцов №1 значение коэффициента отражения составляет $-2,7 \dots -5,6$ дБ и неравномерно в диапазоне частот 8... 12 ГГц. Добавление алюминиевой фольги к образцу приводит к снижению величины коэффициента отражения до $-3,7 \dots -9$ дБ за счет ослабления отраженного от металлического отражателя ЭМИ в объеме образца из-за переотражений на частицах и поглощения в объемах воды. При снижении объемного содержания шунгита и алебаstra при одновременном увеличении содержания воды, удерживаемой хлоридом кальция, в образце №2 значение коэффициента отражения выше, чем у рассмотренных выше поглотителей и составляет $-2,5 \dots -5,6$ дБ и $-3,7 \dots -5,7$ дБ без и с металлическим отражателем. Это обусловлено большим количеством содержащейся в поглотителе воды и поэтому переизлучением ЭМИ водой [8].

В образце №4 содержится воды значительно меньше, чем в образце №1 (10 против 40 объем.%), причем увеличено на 10 объем.% содержание шунгита и на 20 объем.% содержание алебаstra. Таким образом, образец №4 характеризуется меньшим по сравнению с остальными значением ослабления ЭМИ ($11,3 \dots 13,6$ дБ) и более высоким значением коэффициента отражения, равным в рассматриваемом диапазоне $-2,6 \dots -5,4$ дБ и при добавлении металлического отражателя $-1,7 \dots -4,3$ дБ.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие рекомендации для формирования поглотителей ЭМИ из смесей порошкообразных материалов и воды:

- 1) введение в состав поглотителя Ni-Zn феррита позволяет значительно увеличить значение ослабления ЭМИ при одновременном снижении коэффициента отражения;
- 2) увеличение в составе поглотителя ЭМИ углеродсодержащего компонента шунгита приводит к росту ослабления энергии первичного излучения, падающего на образец. Однако рост ослабления происходит за счет увеличения переотражений первичной энергии между час-

тицами проводящего вещества (углерода), диэлектрических потерь в кварцевых вкраплениях и в алебастре, а также за счет наличия объемов капиллярной и связанной воды;

3) наличие воды в порах поглотителя позволяет повысить значение ослабления ЭМИ. Введение в состав поглотителя хлорида кальция, который не дает испаряться воде из пор образца, позволяет значительно повысить значение ослабления ЭМИ, но за счет переотражений энергии электромагнитного поля от объемов воды в поглотителе одновременно увеличивает значение ослабления ЭМИ.

Сформированные на основе вышеизложенных рекомендаций поглотители ЭМИ могут эффективно быть использованы для различных применений, включая создание экранированных помещений для обработки защищаемой информации и испытания радиоэлектронного оборудования.

ELECTROMAGNETIC ABSORBERS BASED ON BLENDS OF POWDERED FILLERS

E.A. KRYSHTOPOVA, M.SH. MAHMOOD, L.M. LYNKOV

Abstract

The examples of electromagnetic absorbers produced from powdered natural materials, water, Ni-Zn ferrite and calcium chloride are given. The effect of the ratio of components in the absorbers on the resulting electromagnetic attenuation and reflection characteristics are studied through the analysis of experimentally obtained frequency dependence of the transmission and reflection in the frequency range of 8 ... 12 GHz. The authors give the recommendations on the formation of electromagnetic absorbers for various applications including the creation of the shielded room to handle the protected information and testing of electronic equipment.

Список литературы

1. *Богущи В.А., Борботько Т.В., А.В. Гусинский и др.* Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. Минск., 2003.
2. *Криштопова Е.А., Лыньков Л.М., Борботько Т.В.* // Докл. БГУИР. 2007. № 6. С. 3–7.
3. *Chung D.D.* // Journal of Materials Engineering and Performance. 2000. № 9(3). P. 350–354.
4. *Козловский В.В., Софиенко И.И.* // Вісник ДУІКТ. 2009. 7(3). С. 233–246.
5. *Соловьева А.Б., Рожкова Н.Н., Глаголев Н.Н. и др.* // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Тез. докл. междунар. симп., 2–7 июня 1998 г. Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, Институт геологии. 2000. С. 131–133.
6. *Шретер В., Лаутеншлегер К.Х., Бибрак Х. и др.* Химия. Москва., 1989.
7. *Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Гусинский А.В. и др.* // Докл. БГУИР. 2003, Т.1, №2. С. 139–141.
8. *Анциферов В.Н., Безудный Ф.Ф., Белянчиков Л.Н. и др.* Новые материалы. М., 2002.