

09;12

## Использование микропровода с естественным ферромагнитным резонансом для радиопоглощающих материалов

© С.А. Баранов

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,  
Тирасполь

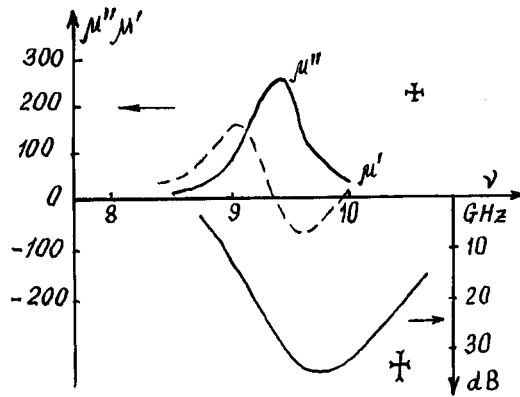
Поступило в Редакцию 2 февраля 1998 г.

На основе композита с применением отрезков микропровода получены тонкие радиопоглощающие экраны с затуханием 30 dB на частотах 8–10 GHz.

Существование естественного ферромагнитного резонанса (ЕФМР) в аморфных микропроводах в диапазоне частот  $\sim 1-10$  GHz [1–7] приводит к возможности создания широкополосных радиопоглощающих материалов. Рассмотрим радиопоглощающие свойства плоских тонких (толщиной не более 2 mm) образцов, сделанных из резины (марки КЛТГС), которые были заполнены отрезками из микропровода (диполями). Мы исследовали радиопоглощающие свойства в диапазоне 8–10 GHz. Отметим, что лучшие результаты получены для диполей длиной 1–3 mm и диаметром жилы  $2r_{\text{ж}} \sim 1-3$   $\mu\text{m}$ .

Кривая частотной зависимости затухания повторяет кривую магнитной проницаемости ЕФМР, но полуширина ее больше (см. рисунок). Измерения коэффициента затухания проводились согласно методике [8], а оценка магнитных проницаемостей вычислялась по методике, близкой к [6]. Максимальные затухания превышали 30 dB (лист резины без диполей обладает очень малым (не более 2 dB) затуханием).

Использовались сплавы системы FeBSiMnC, которые имеют ЕФМР в диапазоне 8–10 GHz с полушириной  $\sim 1-1.5$  GHz и магнитной проницаемостью  $\mu_{\text{эф}} \sim 10^2$ . В небольшом пределе измерения длины диполя (1–3 mm) наблюдались резонансы поглощения в исследуемом композите, связанные с тем, что длина диполя  $l$  становится соизмерима



Дисперсия магнитной проницаемости аморфного микропровода (ось ординат — слева) и зависимость коэффициента затухания на основе данного аморфного микропровода от частоты поля (ось ординат — справа). Относительная погрешность измерения частоты не более 10%, магнитной проницаемости — не более 20%. Разброс в измерениях коэффициента затухания  $\pm 5$  dB.

с  $\lambda_{\text{эф}}/2$ , а  $\lambda_{\text{эф}}$  — эффективная длина волны поглощаемого поля в композите (геометрический резонанс).

Недостатком аморфных материалов на основе металлических сплавов по отношению к ферритам является их высокая электропроводность. Это не позволяет существенно повысить концентрацию диполей в композите. Исследуемые образцы содержали на  $10^2$  g резины не более 5–8 г микропровода, что позволяет говорить лишь о дипольном характере поглощения.

Экспериментально также установлен эффект сильной индуктивной связи между диполями [4], который можно оценить, введя индуктивный импеданс [9]:

$$Y \sim \mu\mu_0 l \ln \left[ \frac{2l}{r_{\text{ж}}} \right] \quad (1)$$

и отношение его к активному сопротивлению  $R$ :

$$Y/R \sim r_{\text{ж}}^2 / \delta^2, \quad (2)$$

$\delta$  — глубина скин-слоя.

Уменьшение  $r_{ж}$  по сравнению с  $\delta$  может привести к увеличению коэффициента поглощения, так как создаст возможность повысить концентрацию диполей. Отметим, что ширину кривой композита можно увеличить, используя дисперсию магнитной проницаемости, что может расширить геометрический резонанс.

В заключение сделаем следующие выводы. На основе микропровода получены композиты в виде плоских радиопоглощающих экранов толщиной не более 2 мм, эффективно работающие в диапазоне 8–11 GHz, что представляет практический интерес. При применении более тонкого микропровода можно улучшить характеристики экранов, увеличив плотность поглощающих диполей, не увеличивая эффективной проводимости образца. Однако получение микропровода с жилой тоньше 1  $\mu\text{m}$  сопряжено с технологическими трудностями.

## Список литературы

- [1] Баранов С.А., Бержанский В.И., Зотов С.К., Кокос В.Л., Ларин В.С., Торкунов А.В. // ФММ. 1989. Т. 67. В. 1. С. 73–78.
- [2] Баранов С.А., Зотов С.К., Ларин В.С., Торкунов А.В. // ФММ. 1991. № 12. С. 172–173.
- [3] Баранов С.А., Зотов С.К., Ларин В.С., Торкунов А.В. // Материалы конф. молодых ученых физ. фак. Львовского университета. Львов, 1991. С. 5–7. Деп. № 763–УК91 от 30.04.91.
- [4] Баранов С.А. Вестник Приднестровского университета. 1994. Т. 1 (2). С. 126–130.
- [5] Газян Л.Г., Суслов Л.М. // Радиотехника. 1988. № 7. С. 92–93.
- [6] Пономаренко В.И., Бержанский В.Ж., Дзедолик И.В., Кокос В.Л., Васильев Ю.М., Торкунов А.В. // Изв. высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 1989. Т. 32. № 3. С. 38–40.
- [7] Бержанский В.Н., Газян И.Г., Кокос В.Л., Владимиров Д.Н. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 12. С. 14–17.
- [8] Поглотители электромагнитных волн для экранирования камер. ГОСТ Р500 11–1992 г. С. 1–15.
- [9] Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 92–99.