

Экранирование пучков электромагнитных волн с осевой симметрией экранами из пермаллоя

В.Т. Ерофеев

НИИ прикладных проблем математики и информатики Белорусского
государственного университета, Минск
E-mail: bsu_erofeenko@tut.by

В настоящее время актуально исследование экранирующих свойств пленок из пермаллоя [1]. Исследуются взаимодействия гауссовых пучков электромагнитных волн с осевой симметрией с однослойными [2] и многослойными [3] плоскими магнитоэлектрическими экранами. Изучены диэлектрические свойства материалов из фуллеренов [4]. Решена краевая задача прохождения плоских электромагнитных волн через экран из пермаллоя [5]. В представленной статье разработана методика решения краевой задачи экранирования пучков волн экранами из пермаллоя. Материал из пермаллоя обладает свойством намагниченности, которое описывается дополнительным дифференциальным уравнением для поля намагниченности. В качестве первичного поля, действующего на экран, выбран пучок электромагнитных волн, распространяющихся ортогонально к экрану.

Для моделирования процессов распространения электромагнитных волн в экране из пермаллоя воспользуемся системой уравнений [1]:

$$\begin{aligned}\operatorname{rot} \vec{E} &= -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{H} + \vec{M}), \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \dot{\vec{E}};\end{aligned}\tag{1}$$

$$\frac{1}{\dot{\gamma}} \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} = \vec{M} \times (\vec{H} + \dot{\Delta} \vec{M} - \dot{g} \vec{M} \times \vec{H}),\tag{2}$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, $\times$ – векторное произведение.

Представляет практический интерес решение уравнений (1), (2) вида

$$\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}e^{-i\omega t}, \quad \vec{M} = \vec{M}_0 + \vec{M}e^{-i\omega t}, \quad \vec{E} = \vec{E}e^{-i\omega t},\tag{3}$$

где $\vec{H}_0 = \dot{H}_0 \vec{e}_z$, $\vec{M}_0 = \dot{M}_0 \vec{e}_z$; $\dot{H}_0, \dot{M}_0 = \text{const}$, $|\vec{H}| \ll \dot{H}_0$, $|\vec{M}| \ll \dot{M}_0$, $\omega = 2\pi f$ – круговая частота поля, $\vec{M}$ – поле намагниченности.

Подставим (3) в (1), (2) и преобразуем нелинейное уравнение (2) в линейное, пренебрегая величинами второго порядка малости: $\vec{M} \times \vec{H} \approx 0$, $\vec{M} \times \vec{M} \approx 0$.

В результате получим уравнения

$$\text{rot } \vec{E} = i\omega\mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \text{rot } \vec{H} = \dot{\sigma} \vec{E}; \quad (4)$$

$$i\frac{\omega}{\dot{\gamma}}\vec{M} = \dot{H}_0\vec{e}_z \times \vec{M} - \dot{M}_0\vec{e}_z \times \vec{H} - \dot{a}\dot{M}_0\vec{e}_z \times \Delta\vec{M} - \\ - \dot{g}\dot{M}_0^2(\vec{e}_z \times \vec{H}) \times \vec{e}_z + \dot{g}\dot{H}_0\dot{M}_0(\vec{e}_z \times \vec{M}) \times \vec{e}_z. \quad (5)$$

В пространстве E^3 с электрической и магнитной постоянными ε_0, μ_0 расположен плоский экран $D(0 < z < \Delta)$ толщины Δ , заполненный пермаллоем. Из полупространства $D_1(z < 0)$ на слой D воздействует первичное электромагнитное поле $\vec{E}_0, \vec{H}_0$ с круговой симметрией вида $\Phi_m = \exp(im\varphi)$, $m = 0, 1, 2, \dots$, и временной зависимостью $\exp(-i\omega t)$.

Краевая задача. Требуется для заданного первичного поля определить поля $\vec{E}'_1, \vec{H}'_1; \vec{E}_2, \vec{H}_2; \vec{E}, \vec{H}, \vec{M}$ соответственно в областях D_1, D_2, D , которые удовлетворяют следующим условиям:

- уравнениям Максвелла (4) и уравнению для поля намагниченности (5);
- граничным условиям сопряжения на плоскости $\Gamma_1(z=0)$

$$(\vec{E}_\tau - \vec{E}_{1\tau})\big|_{z=0} = 0, (\vec{H}_\tau - \vec{H}_{1\tau})\big|_{z=0} = 0, \\ \left(\frac{d\vec{M}}{k_0 dz} + p\vec{M} \right)\bigg|_{z=0} = 0; \quad (6)$$

- граничным условиям сопряжения на плоскости $\Gamma_2(z=\Delta)$

$$(\vec{E}_\tau - \vec{E}_{2\tau})\big|_{z=\Delta} = 0, (\vec{H}_\tau - \vec{H}_{2\tau})\big|_{z=\Delta} = 0, \\ \left(\frac{d\vec{M}}{k_0 dz} - q\vec{M} \right)\bigg|_{z=\Delta} = 0, \quad (7)$$

и условиям излучения на бесконечности.

Краевая задача (4) – (7) решена аналитически.

1. Ринкевич А.Б., Перов Д.В., Васьковский В.О., Лепаловский В.Н. // ЖТФ. 2009. Т.79, вып. 9. С. 96–106.
2. Ерофеев В.Т., Урбанович А.И. // Труды XXIX Междунар. конф. «Радиационная физика твердого тела». Севастополь, 8–13 июля 2019: ФГБНУ «НИИ ПМТ», 2019. С. 352–62.
3. Ерофеев В.Т., Урбанович А.И. // Комплексная защита информации: Материалы XXIV научно-практич. конф. Витебск, 21–23 мая 2019. Витебск: ВГТУ, 2019. С. 290–295.
4. Ерофеев В.Т. // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-тех. н. 2017. № 1. С. 103–114.
5. Ерофеев В.Т. // Информатика. 2019. Т. 16, № 2. С. 40–51.