ПЯТИСЛОЙНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭКРАНЫ С КОМПЕНСИРУЮЩИМИ ТОКАМИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В. Т. Ерофеенко

Белорусский государственный университет,
НИИ прикладных проблем математики и информатики,
Минск, Беларусь
тел.:+(37517)313 03 50; e-mail: erofeenko@bsu.by

В работе рассмотрен пятислойный активный экран, в двух проводящих внутренних слоях которого наводятся сторонние поверхностные электрические токи двойного слоя [1]. Разработан алгоритм, позволяющий рассчитывать поверхностные токи на внутренних слоях экрана, компенсирующие плоское электромагнитное поле ПЭМИ при падении на экран. В результате на фиксированной частоте прошедшее через экран поле обращается в ноль.

Ключевые слова: информационный сигнал, ослабление излучения, экран, электромагнитное поле.

В технических информационных системах передача информации базируется на электромагнитных процессах. Такие процессы в элементах техники приводят к побочным электромагнитным излучениям (ПЭМИ) высокой частоты, которые рассеиваются в окружающее пространство. Возникающие при передаче информации излучения могут регистрироваться и использоваться для несанкционированного доступа к информации. Один из способов нейтрализации ПЭМИ – создание защитных активных экранов, ослабляющих электромагнитные волны в заданных направлениях. Это позволяет с помощью активных поверхностных сторонних токов управлять защитными свойствами экранов в информационных системах.

В пространстве R^3 разместим плоский пятислойный экран $D(0<z<\Delta)$ толщины $\Delta=\sum_{m=1}^{5}\Delta_m$, состоящий из пяти материальных слоев Ω_m $(z_{m-1}<z<z_m)$, $z_0=0, z_5=\Delta$, $m=\overline{1,5}$. Экран D ограничен плоскостями $\Gamma_1(z=0)$, $\Gamma_2(z=\Delta)$, а внутренний слой D_3 – плоскостями $\gamma_1(z=z_2)$, $\gamma_2(z=z_3)$. Обозначим плоскости раздела сред: $S_1(z=z_2)$, $S_2(z=z_4)$. Материалы слоев Ω_m характеризуются диэлектрической и магнитной проницаемостями ε_m, μ_m. Слои Ω_2, Ω_4 проводящие – $\varepsilon_2=\varepsilon_2'+i\frac{\sigma_2}{\omega}$, $\varepsilon_4=\varepsilon_4'+i\frac{\sigma_4}{\omega}$, где σ_2, σ_4 – удельные электрические проводимости, а остальные слои – диэлектрики. Экран D расположен между двумя полупространствами $D_1(z<0)$ и $D_2(z>\Delta)$, характеризуемыми параметрами вакуума ε_0, μ_0.

Электромагнитные поля $\vec{E}_m^c$, $\vec{H}_m^c$ в слоях Ω_m подчиняются уравнениям Максвелла

$$\operatorname{rot}\vec{E}_m^c=i\omega\,\mu_m\vec{H}_m^c,\ \operatorname{rot}\vec{H}_m^c=-i\omega\,\varepsilon_m\vec{E}_m^c, \quad (1)$$

в областях D_1 и D_2

$$\operatorname{rot}\vec{E}_j=i\omega\,\mu_0\vec{H}_j,\ \operatorname{rot}\vec{H}_j=-i\omega\,\varepsilon_0\vec{E}_j, \ ($$

На плоскости γ_2 индуцируются сторонние поверхнос ные токи с комплексной поверхностной плотность $\vec{j}=j_x\vec{e}_x+j_y\vec{e}_y$, колеблющиеся с круговой частотой ω, а плоскости γ_1 – токи $-\vec{j}$. При этом на плоскост выполняются граничные условия:

$$\begin{aligned}
&\left(\vec{E}_{3\tau}^c-\vec{E}_{2\tau}^c\right)\big|_{z=z_2}=0,\\
&\left(\vec{H}_{3\tau}^c-\vec{H}_{2\tau}^c\right)\big|_{z=z_2}=-[\vec{j},\vec{n}],\\
&\left(\mu_3\vec{H}_3^c-\mu_2\vec{H}_2^c,\vec{n}\right)\big|_{z=z_2}=0,\\
&\left(\varepsilon_3\vec{E}_3^c-\varepsilon_2\vec{E}_2^c,\vec{n}\right)\big|_{z=z_2}=-\sigma; \qquad (3)\\
&\left(\vec{E}_{4\tau}^c-\vec{E}_{3\tau}^c\right)\big|_{z=z_3}=0,\\
&\left(\vec{H}_{4\tau}^c-\vec{H}_{3\tau}^c\right)\big|_{z=z_3}=[\vec{j},\vec{n}],\\
&\left(\mu_4\vec{H}_4^c-\mu_3\vec{H}_3^c,\vec{n}\right)\big|_{z=z_3}=0,\\
&\left(\varepsilon_4\vec{E}_4^c-\varepsilon_3\vec{E}_3^c,\vec{n}\right)\big|_{z=z_3}=\sigma,
\end{aligned}$$

где $\vec{n}=\vec{e}_z$ – нормаль к слою.

На плоскостях Γ_j, S_j $(j=1,2)$ выполнены условия н прерывности тангенциальных составляющих полей.

Из области D_1 на экран D воздействует плоское пе вичное поле $\vec{E}_0$, $\vec{H}_0$, распространяющееся в направлен вектора $\vec{p}_-$,

$$\vec{p}_\mp=(p_1,p_2,\pm p_3),\ \ p_1=\cos\varphi_0\sin\theta_0,$$

$$p_2=\sin\varphi_0\sin\theta_0,\ \ p_3=\cos\theta_0\ [2,\ с.12]:$$

$$\vec{E}_0=E_0\vec{V}_1(\vec{r},\omega),\ \ \vec{H}_0=E_0\vec{V}_2(\vec{r},\omega),(4)$$

где

$$\vec{V}_1=x_0\vec{W}_0^{(-1)}+y_0\vec{W}_0^{(-2)},$$

$$\vec{V}_2=\frac{1}{ic\mu_0}\left(x_0\vec{W}_0^{(-2)}+y_0\vec{W}_0^{(-1)}\right),$$

$$\vec{W}_0^{(\mp1)}=\frac{i}{\lambda_0}\left(p_2\vec{e}_x-p_1\vec{e}_y\right)exp\left(i\frac{\omega}{c}(\vec{p}_\mp,\vec{r})\right),$$

$$\vec{W}_0^{(\mp2)}=\frac{1}{\lambda_0}\left(\mp p_3(p_1\vec{e}_x+p_2\vec{e}_y)+\lambda_0^2\vec{e}_z\right)\times$$

$$\times \exp\left(i\frac{\omega}{c}(\vec{p}_{\mp},\vec{r})\right),$$

$\vec{r}=(x,y,z)$; x_0, y_0 – заданные амплитуды TE- и TH-полей, E_0 – величина с физической размерностью напряженности электрического поля, $\lambda_0=\sin\theta_0$, c – скорость света.

Суммарное поле в области D_1 $\vec{E}_1=\vec{E}_0+\vec{E}_1'$, $\vec{H}_1=\vec{H}_0+\vec{H}_1'$, где $\vec{E}_1'$, $\vec{H}_1'$, – отраженное поле:

$$\vec{E}_1'=E_0\left(x_1\overline{W}_0^{(+1)}+y_1\overline{W}_0^{(+2)}\right),$$

$$\vec{H}_1'=\frac{E_0}{ic\mu_0}\left(x_1\overline{W}_0^{(+2)}+y_1\overline{W}_0^{(+1)}\right),$$

x_1, y_1 – амплитуды, подлежащие определению.

Поле, прошедшее через экран D в область D_2, представим в виде

$$\vec{E}_2=E_0\left(x_2\overline{W}_0^{(-1)}+y_2\overline{W}_0^{(-2)}\right),$$

$$\vec{H}_2=\frac{E_0}{ic\mu_0}\left(x_2\overline{W}_0^{(-2)}+y_2\overline{W}_0^{(-1)}\right).$$

Поля в слоях Ω_m имеют вид

$$\vec{E}_m=a_m\overline{W}_m^{(-1)}+b_m\overline{W}_m^{(-2)}+$$
$$+c_m\overline{W}_m^{(+1)}+d_m\overline{W}_m^{(+2)},$$

$$\vec{H}_m=\frac{k_m}{i\omega\mu_m}(a_m\overline{W}_m^{(-2)}+b_m\overline{W}_m^{(-1)}+$$
$$+c_m\overline{W}_m^{(+2)}+d_m\overline{W}_m^{(+1)}),$$

где базисные поля $\overline{W}_m^{(\mp1)}$, $\overline{W}_m^{(\mp2)}$ определяются выражениями [2, с.9 , (3.16)] при $k=k_m$, $\alpha_1=\frac{\omega}{c}p_1, \alpha_2=\frac{\omega}{c}p_2$.

Разрешая краевую задачу (1)–(3) с использованием граничных условий [1] на слое Ω_3 с поверхностными токами,

$$\left[\vec{n},\ \vec{E}_4^c\big|_{z=z_3}-\vec{E}_2^c\big|_{z=z_2}\right]=$$
$$=Z_3\left(\vec{H}_{4\tau}^c\big|_{z=z_3}+\vec{H}_{2\tau}^c\big|_{z=z_2}\right)+\vec{J},$$
$$\left[\vec{n},\ \vec{H}_4^c\big|_{z=z_3}-\vec{H}_2^c\big|_{z=z_2}\right]=$$
$$=G_3\left(\vec{E}_{4\tau}^c\big|_{z=z_3}+\vec{E}_{2\tau}^c\big|_{z=z_2}\right),$$

определим x_1, y_1, x_2, y_2. Из условий $x_2=0$, $y_2=0$, получим компенсирующий ток в виде

$$\vec{J}=E_0\vec{a}(x_0,y_0,\omega)\exp(i\alpha_1x+i\alpha_2y),\ (5)$$

который обращает в ноль поле $\vec{E}_2, \vec{H}_2$, прошедшее в область D_2.

Для однослойного экрана в работе [3] компенсирующие токи вычислены аналитически.

Для информационного сигнала

$$s(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}S(\omega)\,e^{-i\omega t}d\omega,\ (6)$$

где $S(\omega)$ – спектральная плотность сигнала.

В случае распространения сигнала (6) в направлении вектора $\vec{p}_-$ с помощью электромагнитного поля (4) в качестве амплитуды E_0 выберем спектральную плотность $S(\omega)$:

$$E_0=\frac{1}{2\pi}\,S(\omega)e^{-i\omega t}d\omega.$$

Интегрируя (4), получим электромагнитное поле

$$\vec{E}(t)=\frac{1}{2\pi}Re\int_{-\infty}^{\infty}S(\omega)\vec{V}_1(\vec{r},\omega)e^{-i\omega t}d\omega,$$

$$\vec{H}(t)=\frac{1}{2\pi}Re\int_{-\infty}^{\infty}S(\omega)\vec{V}_2(\vec{r},\omega)e^{-i\omega t}d\omega,$$

переносящее сигнал (6).

Интегрируя сигнал (5), определим поверхностный ток

$$\vec{J}(t)=\frac{1}{2\pi}Re\int_{-\infty}^{\infty}S(\omega)\vec{a}\left((x_0,y_0,\omega)\right)\times$$
$$\times\exp\left(i\frac{\omega}{c}(p_1x+p_2y-ct)\right)d\omega,$$

компенсирующий сигнал $s(t)$.

Важным для теории информации является случай, когда сигнал имеет финитный спектр [4]: $S(\omega)=0$ при $\omega<a$ и $\omega>b$, тогда ток при $x_0\neq0$, $y_0=0$ компенсирует TE-сигнал, а при $x_0=0$, $y_0\neq0$ компенсирует TH-сигнал.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ерофеенко, В.Т. Моделирование граничных условий на экранах с поверхностными токами и зарядами двойного слоя / В.Т. Ерофеенко, Ю.В. Пулко //Известия НАН Беларуси. Сер. физ. – мат. н. – 2008. – №3. –С.48–54.

[2] Ерофеенко, В.Т. Математические модели в электродинамике / В.Т. Ерофеенко, И.С. ская. – Ч.2 – Мн. – 2008.

[3] Ерофеенко, В.Т. Расчет защитных электромагнитных экранов с поверхностными токами / В.Т. Ерофеенко, Ю.В. Пулко // Комплексная защита информации: Материалы XIV международной конференции, Могилев, 19–22 мая 2009. – Минск, 2009. – С.90–91.

[4] Басараб, М.А. Аппроксимация финитными функциями и теорема Уиттекера-Котельникова в цифровой обработке сигналов /М.А. Басара, Е.Г. Зелкин, В.Ф. Кравченко, В.П. Яковлев // Успехи современной радиоэлектроники. – 2003. – № 9.–С.3–36.