

ОСОБЕННОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ

При исследовании вопросов экранирования объектов от электромагнитного излучения эффективность экранирования экранов различных конструкций в большинстве известных работ определяется для случая гармонических электромагнитных волн с постоянной во времени амплитудой.

Между тем на практике электромагнитные волны, подлежащие экранировке, представляют собой сигналы с амплитудной, частотной, фазовой и другими видами модуляций.

В этой связи представляет практический интерес изучение экранирования полей реальных электромагнитных сигналов.

Взаимодействие амплитудно-модулированных электромагнитных полей с веществом изучалось ранее [1—4]. Отмечалось, что при распространении сигнала в проводящей среде, когда токи проводимости в среде намного больше токов смещения, наблюдаются эффекты уменьшения несущей частоты импульса, появления частотной модуляции, изменения амплитуды и длительности импульса в процессе распространения [3]. При этом в большинстве работ рассматривались отражение и распространение радиосигнала при наличии бесконечно протяженной среды.

Рассмотрим прохождение электромагнитных сигналов через плоский однородный экран с удельной проводимостью σ и относительной диэлектрической проницаемостью ϵ .

Пусть на электромагнитный экран толщиной h падает модулированная по амплитуде периодическими прямоугольными импульсами плоская электромагнитная волна. Здесь амплитуда импульса равна 1; τ_n — длительность импульса; T — период следования импульсов; ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость слоя; σ — его проводимость.

В соответствии с работой [4] падающее электромагнитное излучение можно представить в виде суммы плоских гармонических колебаний

$$E_n = \sum_{k=-N}^{+N} A_k \cos(\omega_0 + k\omega_n)t; \quad (1)$$

где

$$A_k = \frac{1}{\pi k} \sin\left(\frac{\tau_n}{T} k\pi\right), \quad k \neq 0; \quad A_0 = \frac{\tau_n}{T}; \quad \omega_n = \frac{2\pi}{T};$$

ω_n — частота следования импульсов (круговая); ω_0 — частота несущей, (круговая); $N \rightarrow \infty$.

Выражение (1) можно записать в виде

$$E_n = \operatorname{Re} \sum_{k=-N}^{+N} A_k e^{j(\omega_0 + k\omega_n)t}. \quad (2)$$

При прохождении через слой каждая гармоническая составляющая поля испытывает определенное затухание.

Если обозначить через Π , φ коэффициенты прохождения гармонического сигнала с частотой $\omega = \omega_0 + k\omega_n$ и его фазу, то поле прошедшего через слой сигнала

$$E_{\text{пр}} = \operatorname{Re} \sum_{k=-N}^{+N} |\Pi| A_k e^{j[(\omega_0 + k\omega_n)t + \varphi]},$$

или

$$E_{\text{пр}} = \operatorname{Re} e^{j\omega_0 t} \sum_{k=-N}^{+N} |\Pi| A_k e^{j(k\omega_n t + \varphi)}. \quad (3)$$

Если обозначить

$$E_0 = \sum_{k=-N}^{+N} |\Pi| A_k e^{j(k\omega_n t + \varphi)} \quad (4)$$

и записать как $E_0 = |E_0| e^{j\psi}$,

где

$$\psi = \arccos \frac{\operatorname{Re} E_0}{E_0},$$

то поле сигнала, прошедшего через слой, примет вид $E_{\text{пр}} = \operatorname{Re} |E_0| \times \times e^{j(\omega_0 t + \psi)}$, или $E_{\text{пр}} = |E_0| \cos(\omega_0 t + \psi)$ (5).

Коэффициент прохождения находим по формуле [5]

$$\Pi = \frac{\Pi_{n1} \Pi_{10} \exp(j\varphi_2)}{1 + R_{01} R_{10} \exp(j2\beta)}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} \Pi_{01} &= 2z_1 / (z_1 + z_0 \cos \theta); \quad \Pi_{10} = 2z_0 \cos \theta / (z_0 \cos \theta + z_1); \quad \varphi_2 = k_0 h \varepsilon^* \times \\ &\times \sqrt{\varepsilon^* - \sin^2 \theta}; \quad R_{01} = (z_1 - z_0 \cos \theta) / (z_1 + z_0 \cos \theta); \quad R_{10} = (z_0 \cos \theta - z_1) / \\ &/ (z_0 \cos \theta + z_1); \quad \beta = k_0 h \sqrt{\varepsilon^* - \sin^2 \theta}; \quad z_1 = z_0 \cos \theta_1 / \sqrt{\varepsilon^*}; \quad \cos \theta_1 = \\ &= \sqrt{1 - \sin^2 \theta / \varepsilon}; \end{aligned}$$

z_0 — волновое сопротивление свободного пространства, $\varepsilon^* = \varepsilon + j60\sigma\lambda$; $k_0 = 2\pi/\lambda$; λ — длина волны; θ — угол падения волны на экран. Если частота несущей $\omega_0 \rightarrow 0$, то полученные уравнения будут описывать прямоугольный периодический видеоимпульс.

Анализ полученных уравнений проведен численным методом для экранирующего слоя с различными электрофизическими параметрами ε и σ . Длительность радиоимпульса τ_u и период следования T оценивались в единицах периода несущих колебаний T_0 при частоте несущих колебаний $f_0 = 10$ ГГц. С помощью ЭВМ рассчитывались амплитуда и фаза электрической напряженности поля прошедшей волны.

Численный анализ показал, что при вычислении амплитуды импульса с точностью до двух десятичных знаков бесконечный в строгом смысле ряд (4) может быть ограничен значением $N = 500$. Результаты расчета временной зависимости амплитуды поля излучения различной скважности, прошедшего через экраны различной толщины и одинако-

ВЫМИ электрофизическими характеристиками ($\epsilon = 2,5$, $\sigma = 0,15$ 1/(Ом · м), представлены на рис. 1. Здесь a соответствует толщине экрана $h = 0,25$ м, b $h = 0,45$ м. Из рис. 1 видно, что при прохождении через экран огибающая радиоимпульса заметно искажается. Вершина импульса из плоской преобразуется в осциллирующую, и амплитуда осцилляций увеличивается по мере увеличения затухания

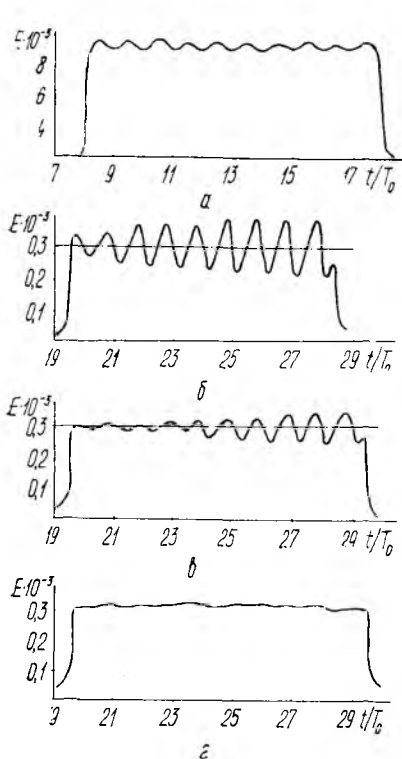


Рис. 1

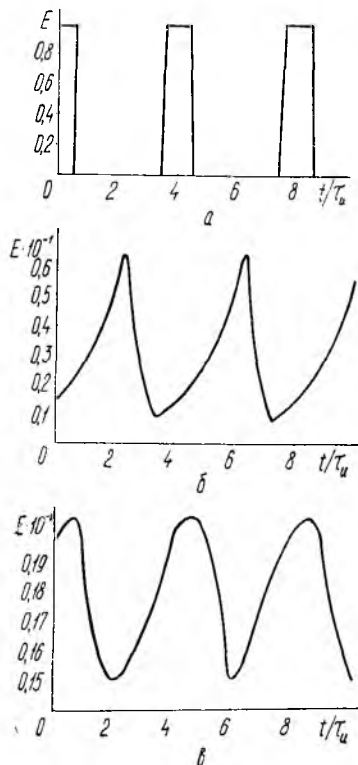


Рис. 2

волны (с ростом толщины экрана). При этом частота осцилляций соответствует несущей частоте. Амплитуду импульса прошедшей волны (5) можно приближенно описать уравнением $|E_0| = A_0 + A(t) \cos(\omega_0 t + \alpha)$. Это означает, что в спектре прошедшего излучения наряду с основной появляются и высшие гармоники, из которых наиболее существенная вторая гармоника. При этом чем больше степень ослабления радиоимпульса, тем выше значение амплитуды второй гармоники. У прошедшего сигнала также наблюдается модуляция фазы ψ , которая качественно совпадает с модуляцией амплитуды. На рис. 1 для сравнения штрих-пунктиром показаны амплитуды непрерывного гармонического излучения, прошедшего экраны тех же толщин. Видно, что пиковое значение амплитуды прошедшего радиоимпульса выше амплитуды непрерывного излучения. Это означает, что степень экранирова-

ния радиоимпульсов и непрерывных гармонических излучений одной и той же частоты различна. При этом несоответствие тем существеннее, чем выше экранное затухание. Численный анализ также показал, что степень амплитудной модуляции главным образом определяется соотношением между периодом следования и длительностью импульсов (рис. 1, б, в, г).

Здесь б соответствует длительности импульса $\tau_u = 10T_0$ и периоду следования импульсов $T = 40$, в — $\tau_u = 10T_0$ и $T = 20T_0$, г — $\tau_u = 10T_0$ и $T = 11T_0$. Амплитуда модуляции вершины импульса $A(t) \rightarrow 0$ при $\tau_u \rightarrow T$. Таким образом, при уменьшении скважности радиоимпульсов степень их экранирования приближается к случаю гармонических колебаний.

Рассмотрим вопросы прохождения периодического прямоугольного видеоимпульса через экранирующий слой с такими же электрофизическими параметрами. Период следования радиоимпульса будем характеризовать значением T , его длительность τ_u и пространственные размеры видеоимпульса λ_u , $\lambda = c\tau_u$, где c — скорость света. Время будем отсчитывать в единицах длительности импульса τ_u . Для видеоимпульса единичной амплитуды пространственным размером $\lambda_u = 0,3$ м и периодом следования $T = 4\tau_u$ амплитудно-временные характеристики при прохождении его через экранирующий слой с теми же электрофизическими параметрами ($\epsilon = 2,5$, $\sigma = 0,151/(\text{Ом} \cdot \text{м})$) представлены на рис. 2. Здесь а соответствует толщине слоя $h = 0$, б — $h = 0,25$ м, в — $h = 0,45$ м.

Из рис. 2 видно: ослабление экраном видеоимпульса той же длительности и периода следования, что и для радиоимпульса (рис. 1), существенно меньше, чем последнего.

В отличие от радиоимпульса для видеоимпульса с ростом экранного затухания наблюдаются более значительные его расширение и искажение фронтов импульса. Аналогичные выводы имеют место и при других значениях ϵ , σ экрана.

Полученные результаты можно объяснить тем, что при сильном затухании главной причиной деформации импульса является изменение его спектра мощности, а фазовые искажения, определяющие деформацию импульса в отсутствие затухания, при этом несущественны.

Список литературы: 1. Анютин А. П., Орлов Ю. И. Пространственно-временная геометрическая теория дифракции частотно-модулированных радиосигналов в однородной диспергирующей среде // Радиотехника и электрон.— 1977.— 22, № 10.— С. 2083—2090. 2. Алексеев Ю. К., Пирогов Ю. А. Коэффициенты отражения и прохождения гауссовой волны, падающей на плоскостойкую структуру // Журн. техн. физики.— 1983.— 53, № 4.— С. 616—619. 3. Терина Г. И. Искажение импульсного сигнала в проводящей среде // Изв. вузов. Радиоэлектроника.— 1975.— 18, № 8.— С. 97—100. 4. Шулманис А. А. Отражение радиоимпульсов от случайного неоднородного плазменного слоя // Тр. Риж. политех. ин-та. Радиоэлектроника и связь. Исследование устройств, преобразующих электрические сигналы.— 1983.— С. 82—88. 5. Демьянов В. В. К теории прохождения электромагнитных волн через диэлектрические слои // Радиотехника и электрон.— 1976.— 21, № 4.— С. 850—853.

Поступила в редколлегию 16.01.87