

УДК 621.396.672

И. Т. КРАВЧЕНКО, М. А. ВИЛЬКОЦКИЙ, В. А. ДЕШКО

ПРОХОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СКВОЗЬ МНОГОСЛОЙНУЮ МЕТАЛЛО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ

В работе [1] патентуется конструкция многослойного обтекателя антенн для сверхзвуковых самолетов, обладающая повышенной прочностью. Обтекатель состоит из двух частей. Первая часть представляет собой две металлические пластины с круглыми отверстиями, заключенные в диэлектрик. Вторая часть, состоящая полностью из диэлектрика, заключена между этими двумя слоистыми элементами. Представляет практический интерес рассмотреть прохождение электромагнитных волн сквозь

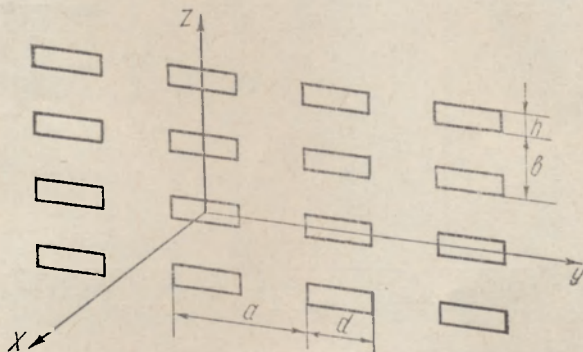


Рис. 1.

аналогичную структуру, в которой металлические пластины с круглыми отверстиями заменены металлическими пластинами, перфорированными прямоугольными отверстиями (рис. 1). Такие пластины, как показано в работах [2—4], при значительной их толщине и большом значении отношения площади металла к общей площади щелей обладают хорошим коэффициентом прохождения.

Применение известных методов для решения указанной задачи нуждается в проверке, поскольку экспериментальные исследования показали, что при падении плоской волны на перфорированный лист распределение поля вблизи листа значительно отличается от равномерного.

Для выяснения возможности применения известных методов определим общий коэффициент прохождения сквозь такой многослойный лист методом, изложенным в работе [5]. Размеры листа, параметры его составных частей, коэффициенты отражения и прохождения границ раздела показаны на рис. 2. Заменяем нашу стенку четырехполюсником, состоящим из каскадного соединения шести четырехполюсников, эквивалентных соответственно границе раздела сред 0—1, металлическому перфорированному листу, границе раздела сред 1—2, границе раздела сред 2—1, металлическому перфорированному листу и границе раздела сред 1—0. Обозначая прямую и обратную волны на входных и выходных

клеммах через E_i , E_r и E_t , E_k соответственно, для нашего четырехполюсника можно записать следующее матричное выражение:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E_i \\ E_r \end{bmatrix} &= \frac{1}{t_{01} t_{10} t_{12} t_{21} t^2} \begin{bmatrix} e^{j\varphi_1}; r_{01} e^{-j\varphi_1} \\ r_{01} e^{j\varphi_1}; e^{-j\varphi_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1; & -r^* \\ r; & t^* - r^2 \end{bmatrix} \times \\ &\times \begin{bmatrix} e^{j\varphi_1}; & -r_{21} e^{j\varphi_1} \\ -r_{21} e^{-j\varphi_1}; & e^{-j\varphi_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}; & r_{21} e^{-j(\varphi_1 - \varphi_2)} \\ r_{21} e^{-j(\varphi_1 - \varphi_2)}; & e^{-j(\varphi_1 + \varphi_2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1; & -r^* \\ r; & t^* - r^2 \end{bmatrix} \times \\ &\times \begin{bmatrix} e^{j\varphi_1}; & -r_{01} e^{j\varphi_1} \\ -r_{01} e^{-j\varphi_1}; & e^{-j\varphi_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_t \\ E_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{P}; & N \\ K; & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{t+} \\ E_k \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $r_{n, n+1} = \frac{\sqrt{\epsilon_n - \sin^2 \theta} - \sqrt{\epsilon_{n+1} - \sin^2 \theta}}{\sqrt{\epsilon_n - \sin^2 \theta} + \sqrt{\epsilon_{n+1} - \sin^2 \theta}}$

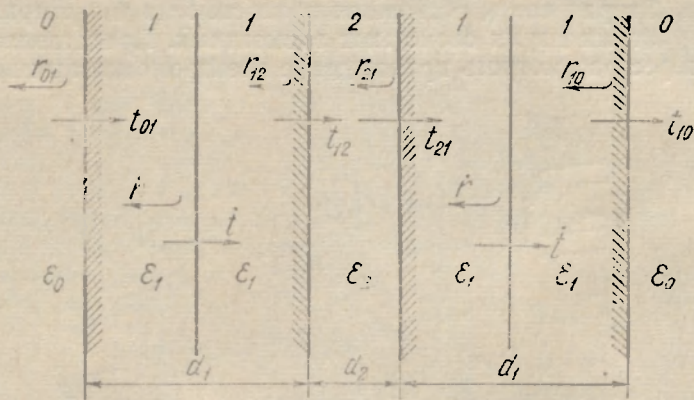


Рис. 2

или

$$r_{n, n+1} = \frac{\epsilon_n \sqrt{\epsilon_{n+1} - \sin^2 \theta} - \epsilon_{n+1} \sqrt{\epsilon_n - \sin^2 \theta}}{\epsilon_n \sqrt{\epsilon_{n+1} - \sin^2 \theta} + \epsilon_{n+1} \sqrt{\epsilon_n - \sin^2 \theta}} \quad \text{соответственно для случаев}$$

перпендикулярно и параллельно поляризованных волн;

θ — угол падения волны на плоский лист;

$\varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{d_1}{2} \sqrt{\epsilon_2 - \sin^2 \theta}$ — фазовый набег на половине толщины крайних слоев;

$\varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} d_2 \sqrt{\epsilon_2 - \sin^2 \theta}$ — фазовый набег на толщине среднего слоя;

λ — длина волны в свободном пространстве;

P — общий коэффициент прохождения сквозь описываемую структуру;

$$t_{01} = 1 + r_{01}, \quad t_{10} = 1 - r_{01}; \quad t_{12} = 1 + r_{12}; \quad t_{21} = 1 - r_{12}; \quad t = 1 + r.$$

Преобразовав выражение (1), получим

$$|P|^2 = \frac{(1 - r_{01}^2)^2 (1 - r_{12}^2)^2 (1 - r^2)^2}{X^2 + Y^2 - 2XY \cos 2(n - m)}, \quad (2)$$

где $X = 1 + r^2(r_{01} - r_{12})^2 + r_{01}r_{12} + 2r(r_{01} - r_{12}) \cos(2\varphi_1 - \varphi) + 2r_{01}r_{12} \cos 4\varphi_1 +$
 $+ 2r(r_{01} - r_{12})r_{01}r_{12} \cos(2\varphi_1 + \varphi);$

$$Y = r_{12}^2 + r^2 (r_{01} r_{12} - 1)^2 + r_{01}^2 + 2r_{12}r (r_{01} r_{12} - 1) \cos(2\varphi_1 - \varphi) +$$

$$+ 2r_{12}r_{01} \cos 4\varphi_1 + 2r_{01}r (r_{01} r_{12} - 1) \cos(2\varphi_1 + \varphi);$$

$$n = \arctg \left[\frac{(1 - r_{01} r_{12}) \sin 2\varphi_1 + r(r_{01} - r_{12}) \sin \varphi}{(1 + r_{01} r_{12}) \cos 2\varphi_1 + r(r_{01} - r_{12}) \cos \varphi} \right] + \frac{\varphi_2}{2};$$

$$m = \arctg \left[\frac{(r_{12} - r_{01}) \sin 2\varphi_1 + r(r_{01} r_{12} - 1) \sin \varphi}{(r_{12} + r_{01}) \cos 2\varphi_1 + r(r_{01} r_{12} - 1) \cos \varphi} \right] - \frac{\varphi_2}{2};$$

$$r = G / \sqrt{4 + G^2}, \quad \varphi = \pi + \arctg \frac{2}{G};$$

G — реактивная проводимость схемы, эквивалентной перфорированному металлическому листу.

Для проверки полученных формул были произведены расчет и эксперимент со следующей стенкой. Металлические перфорированные

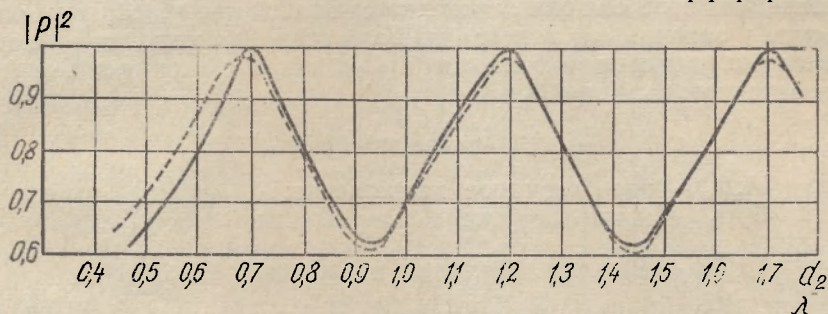


Рис. 3

листы размерами $\frac{a}{b} = 2$; $\frac{a}{d} = 2$; $\frac{b}{h} = 3$; $\frac{a}{\lambda} = \frac{2}{3}$ заключены в

оргстекло с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 = 2,5$; $\frac{d_1}{\lambda} = 0,33$. Значения величины G были взяты из работы [2]. В качестве диэлектрика второй части стенки брался пенопласт. Зависимость коэффициента прохождения через описываемую структуру от величины $\frac{d_2}{\lambda}$ показана на рис. 3 (пунктир — экспериментальные данные, жирная кривая — теоретические). Видно, что коэффициент прохождения сквозь такую структуру может быть с удовлетворительной точностью рассчитан, если пренебречь неоднородностями поля вблизи металлических перфорированных листов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Radome renforce pour engins supersoniques [CSF-Cie general de Telegraphie Sans Fil]. Франц. патент, кл. HOI g, № 1498553, заявл. 24/VIII 1966, опубл. 11/IX 1967.
2. Oh L, Lunden C. D., Chion C. Fenestreated metal radome. Microwave I, arg., v. 7, № 4, 62, 1964.
3. Панченко Б. А. «Радиотехника и электроника», XII, 4, 719, 1967.
4. Панченко Б. А. «Изв. вузов СССР» — Радиофизика, XI, 12, 1884, 1968.
5. Каплун В. А. «Радиотехника и электроника», IX, 7, 1311, 1964.

Поступила в редакцию
14/II 1970 г.

БГУ им. В. И. Ленина,
кафедра радиофизики и электроники