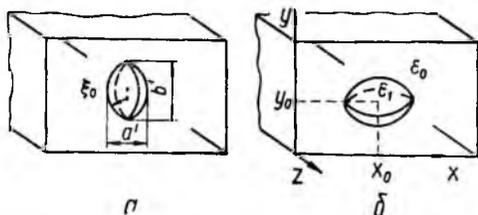


КОЭФФИЦИЕНТЫ СВЯЗИ СФЕРОИДАЛЬНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ ВОЛНОВОДОМ

Для определения коэффициентов связи открытых диэлектрических резонаторов (ОДР) с волноводом следует вычислить излучаемую мощность и мощность потерь в материале ОДР. С этой целью подставим поле собственных колебаний на поверхности сфероидов в одноволновом приближении (пренебрегая влиянием стенок волновода [3]),



a'/b'	k_1^H
0,1	27,4
0,2	22,1
0,4	16,5
0,6	13,7
0,8	11,8
0,95	10,5

Примечание: $a = 35$ мм; $b = 15$ мм; $f_0 = 7$ ГГц; $\epsilon_r = 81$.

а также нормированное поле волны H_{10} в соотношения [1] и, проинтегрировав по угловым переменным (θ , ϕ), рассчитаем амплитуды поля излучения при возбуждении магнитных колебаний сфероидов H_{n0}

$$c_{10}^{n0l\pm} = \pm 4\pi h_0 \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\Gamma_{10} ab}} f(\xi_0^2 \pm 1) S_{1n}(c_0, \chi_{1x}/k_0) \times \\ \times \left[R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d}{d\xi} R_{1n}(c_0, \xi_0) - R_{1n}(c_0, \xi_0) \frac{d}{d\xi} R_{1n}(c_1, \xi_0) \right]; \quad (1)$$

при возбуждении электрических колебаний E_{n0}

$$c_{10}^{n0l\pm} = \frac{(-1)^{\frac{n+1}{2}} 4\pi \epsilon_0}{k_0 \sqrt{2\Gamma_{10} ab \omega \mu_0}} f(\xi_0^2 \pm 1)^{1/2} S_{1n}(c_0, 0) \times \\ \times \left\{ k_0^2 R_{1n}(c_0, \xi_0) \frac{d}{d\xi} [(\xi_0^2 \pm 1)^{1/2} R_{1n}(c_1, \xi_0)] - k_1^2 R_{1n}(c_1, \xi_0) \times \right. \\ \left. \times \frac{d}{d\xi} [(\xi_0^2 \pm 1)^{1/2} R_{1n}(c_0, \xi_0)] \right\} \cos \chi_{1x}(x_0 - a/2), \quad (2)$$

где (ξ, η) — сфероидальные координаты, $c_1 = k_1 f$; $k_1 = \sqrt{\epsilon_r} k_0$; $c_0 = k_0 f$; $k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$; l — полуфокусное расстояние; χ_{1x} , Γ_{10} — поперечное и продольное волновые числа волновода; $S_{1n}(c_1, \eta)$ — угловая сфероидальная функция; $R_{1n}(c_1, \xi)$ — радиальная сфероидальная функция; (x_0, y_0) — поперечные координаты сфероидов в волноводе.

Знак «+» соответствует сплюснутым сфероидам вращения, постоянная c_1 принимает при этом чисто мнимые значения, а знак «—» соответствует вытянутым сфероидам вращения, постоянная c_1 действительна [2]. При возбуждении магнитных видов колебаний ось вращения сфероида направлена вдоль широкой стенки волновода (см. рисунок), при возбуждении электрических видов колебаний ось вращения направлена вдоль узкой стенки. Соотношение (1) домножается

на $(-1)^{\frac{n-1}{2}} \cos \chi_{1x}(x_0 - a/2)$, если n — нечетное число, или на $(-1)^{\frac{n-2}{2}} \sin \chi_{1x}(x_0 - a/2)$, если n — четное число.

Используя характеристические уравнения задачи собственных колебаний диэлектрических сфероидов [3] и вронскианы сфероидальных функций [2], упростим полученные соотношения (1), (2) для магнитных колебаний H_{n0}

$$c_{10}^{n0\pm} = \mp 4\pi h_0 \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\Gamma_{10} ab}} \cdot \frac{1}{c_0^2} S_{1n}(c_0, \chi_{1x}/k_0) \frac{R_{1n}(c_1, \xi_0)}{R_{1n}^{(2)}(c_0, \xi_0)}; \quad (3)$$

для электрических колебаний E_{n0}

$$c_{10}^{n0\pm} = \frac{(-1)^{\frac{n+1}{2}} 4\pi e_0}{\sqrt{2\Gamma_{10} ab \omega \mu_0}} \cdot \frac{c_1^2}{c_0^3} S_{1n}(c_0, 0) \cdot \frac{R_{1n}(c_1, \xi_0)}{R_{1n}^{(2)}(c_0, \xi_0)} \cos \chi_{1x}(x_0 - a/2). \quad (4)$$

Здесь $R_{1n}^{(2)}(c, \xi)$ — радиальная сфероидальная функция второго рода [2].

Мощность тепловых потерь в материале диэлектрических сфероидов найдем в виде

$$P_D = \rho \omega \tau k_1^2 / (2Q_0) \int_{-1}^1 S_{1n}^2(c_1, \eta) d\eta (\xi_0^2 \pm 1) \left\{ \frac{d}{dc_1} R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d}{d\xi} R_{1n}(c_1, \xi_0) - R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d^2}{d\xi dc_1} R_{1n}(c_1, \xi_0) \right\}, \quad (5)$$

где $\tau = \mu_0 |h_0|^2$ для магнитных видов колебаний и $\tau = \varepsilon_1 / |e_0|^2$ — для электрических.

Из определения коэффициентов связи $k_S = P_{\Sigma} / P_D$, где $P_{\Sigma} = |c^{\pm}|^2$ [1], и соотношений (3) ÷ (5) найдем

$$k_S^{H,E} = \frac{16}{k_0 b} f_n^{H,E}(\gamma) / \int_{-1}^1 S_{1n}^2(c_1, \eta) d\eta \zeta_n^{H,E}(c_0, c_1, \xi_0) \times \\ \times \begin{cases} \cos^2 \chi_{1x}(x_0 - a/2), & n = 2S + 1; \\ \sin^2 \chi_{1x}(x_0 - a/2), & n = 2(S + 1) \end{cases} \quad (6)$$

($S = 0, 1, 2, \dots, \gamma = \lambda / \lambda_{кр}^{10}$) для магнитных колебаний

$$f_n^H(\gamma) = \gamma S_{1n}^2(c_1, \gamma) / (1 - \gamma^2)^{1/2};$$

$$\begin{aligned} \xi_n^H(c_0, c_1, \xi_0) = [Q_0 c_0 / c_1] (\xi_0^2 \pm 1) & \left[R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d}{d\xi} R_{1n}(c_0, \xi_0) - \right. \\ & - R_{1n}(c_0, \xi_0) \frac{d}{d\xi} R_{1n}(c_1, \xi_0) \left. \right]^2 \left[\frac{d}{dc_1} R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d}{d\xi} R_{1n}(c_1, \xi_0) - \right. \\ & \left. - R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d^2}{dc_1 d\xi} R_{1n}(c_1, \xi_0) \right]; \end{aligned}$$

для электрических

$$\begin{aligned} f_n^E(\gamma) &= \gamma S_{1n}^2(c_1, 0) / (1 - \gamma^2)^{1/2}; \\ \xi_n^E(c_0, c_1, \xi_0) &= [Q_0 / (c_1^3 c_0)] (\xi_0^2 \pm 1) \left[c_0^2 R_{1n}(c_0, \xi_0) \frac{d}{d\xi} \{(\xi_0^2 \pm 1)^{1/2} R_{1n}(c_1, \xi_0)\} - \right. \\ & - c_1^2 R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d}{d\xi} \{(\xi_0^2 \pm 1)^{1/2} R_{1n}(c_0, \xi_0)\} \left. \right]^2 \left[\frac{d}{dc_1} R_{1n}(c_1, \xi_0) \times \right. \\ & \left. \times \frac{d}{d\xi} R_{1n}(c_1, \xi_0) - R_{1n}(c_1, \xi_0) \frac{d^2}{dc_1 d\xi} R_{1n}(c_1, \xi_0) \right]. \end{aligned}$$

Из соотношения (7) следует, что электрические колебания с четными индексами n не возбуждаются волной H_{10} при любых значениях поперечных координат сфероидов, поскольку в этом случае $S_{1n}(c_1, 0) = 0$. Зависимость коэффициентов связи сплюснутых диэлектрических сфероидов с прямоугольным волноводом при возбуждении в резонаторах магнитных видов колебаний H_{101} представлена в таблице.

Как видно, коэффициенты связи убывают при вытягивании формы резонаторов.

В заключение приведем результаты сравнения коэффициентов связи, вычисленного по формуле (6) и найденного экспериментально. Относительная диэлектрическая проницаемость материала сфероида $\epsilon_{1r} = 81$, собственная добротность $Q_0 = 1800$, геометрические размеры: $a' = 7,1$ мм, $b' = 3,46$ мм, размеры волновода: $a = 58$ мм, $b = 25$ мм. Теоретическое значение коэффициента связи $k_S^H = 11,8$, экспериментальное 13,8.

1. Ильченко М. Е., Трубин А. А. Рассеяние электромагнитных волн на диэлектрическом резонаторе в волноводе // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1981. Т. 24, № 11. С. 91—93. 2. Комаров И. В., Пономарев Л. И., Славянов С. Ю. Сфероидальные и кулоновские сфероидальные функции. М.: Наука, 1976. 319 с. 3. Старков М. А. Осесимметричные колебания сфероидальных открытых диэлектрических резонаторов // Радиотехника и электроника. 1983. Т. 28, № 5. С. 864—870.

Поступила в редколлегию 21.09.84