О ПОГРЕШНОСТИ ДВУХПЛАСТИНЧАТОГО ПОНДЕРОМОТОРНОГО ВАТТМЕТРА, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ВЫСШИМИ ТИПАМИ ВОЛН

В. С. Жилков, А. И. Сиротников

Харьков

В последнее время выполнен ряд работ, связанных с созданием пондеромоторных измерителей мощности СВЧ. Приборы этого типа особенно эффективны на больших уровнях и благодаря абсолютной калибровке могут найти широкое применение в качестве образцовых при достаточно строгом метрологическом обосновании. Указанная процедура прежде всего включает в себя анализ погрешностей аттестации измерителя, которая обычно выполняется при возбуждении в линии чисто гармонического сигнала основного типа волны.

При эксплуатации ваттметра в реальных условиях возможна ситуация, когда по тракту будет распространяться многомодовый сигнал. Наличие высших типов колебаний приводит к появлению дополнительной погрешности измерения, исследование которой удобно произвести во взаимосвязи с погрешностью рассогласования. Интерес представляет двухпластинчатая схема, так как этот случай является наиболее общим и из него довольно просто можно получить выражение для расчета погрешности однопластинчатого ваттметра.

Нетрудно показать, что для расположенных в волноводе двух тел в точках (x_{0_1}, y_{0_1}, z_1) и (x_{0_2}, y_{0_2}, z_2) момент силы i-го мода равен

$$T_i(x_{0_1}, y_{0_1}, z_1) = T_i(x_{0_1}, y_{0_1})\,[1 + |\Gamma_i|^2 + 2|\Gamma_i|\cos\psi_i],$$

$$T_i(x_{0_2},\ y_{0_2},\ z_2) = T_i(x_{0_2},\ y_{0_2})\,[1 + |\Gamma_i|^2 + 2|\Gamma_i|\cos(\psi_i + 2\beta_i l)],$$

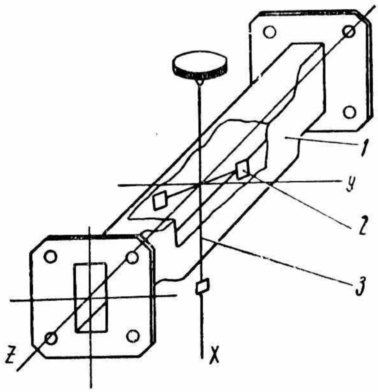
где

$$l = z_1 - z_2;$$

$|\Gamma_i|$ — модуль коэффициента отражения i-го мода;

ψ_i — фаза коэффициента отражения i-го мода в плоскости z_1.

Для практических конструкций двухпластинчатых пондеромоторных ваттметров имеем (рисунок)



$$x_{0_1} = x_0 = 0;\ y_{0_1} = -y_{0_2}.$$

Для рассчитанных моментов

$$T_i(0,\ y_{0_1}) = T_i(0,\ -y_{0_1}) \equiv$$
$$\equiv T_i = p_i \Pi_i,$$

поэтому суммарный момент жестко соединенных пластин

$$T_i^{\Sigma} = T_i(z_1) + T_i(z_2) = p_i \Pi_i 2C_i,$$

где Π_i — мощность i-го мода, падающая на рассеивающее тело;

$$2C_i \equiv 2\{1 + |\Gamma_i|^2 + |\Gamma_i|[\cos\psi_i + \cos(\psi_i + 2\beta_i l)]\}$$

— коэффициент, показывающий, во сколько раз суммарный момент двух одинаковых тел (с учетом рассогласования нагрузки) больше момента одного тела при согласованной нагрузке.

Так как

$$\beta_i \equiv \frac{2\pi}{\lambda_{g_i}},$$

то при

$$l = \frac{\lambda_{g_i}}{4}$$

C_i и T_i^{Σ} не зависят от фазы коэффициента отражения i-го мода.

Выбирая

$$l = \frac{\lambda_{g_1}}{4},$$

имеем

$$C_i = 1 + |\Gamma_i|^2 + |\Gamma_i|\left[\cos\psi_i + \cos\left(\psi_i + \pi\frac{\lambda_{g_1}}{\lambda_{g_i}}\right)\right].$$

Далее будем рассматривать только такой ваттметр.

Погрешность при измерении падающей мощности основного мода

Падающая мощность Π_i и момент T_i связаны линейным соотношением, поэтому определяем погрешность через соответствующие моменты

$$\xi = \frac{\sum_{i=1} (T_i^{\Sigma})_{\Gamma \neq 0} - (T_i^{\Sigma})_{\Gamma = 0}}{(T_1^{\Sigma})_{\Gamma=0}} = \xi_1 + \sum_{i=2} \xi_i,$$

где

$$\xi_1 = \frac{(T_1^{\Sigma})_{\Gamma \neq 0} - (T_1^{\Sigma})_{\Gamma=0}}{(T_1^{\Sigma})_{\Gamma=0}}$$

— погрешность при измерении падающей мощности за счет рассогласования по основному моду, а погрешность измерения падающей мощности за счет высших типов волн и их же рассогласования

$$\sum_{i=2} \xi_i = \sum_{i=2} \frac{(T_i^{\Sigma})_{\Gamma \neq 0}}{(T_1)_{\Gamma=0}} = \sum_{i=2} \frac{p_i \Pi_i 2 C_i}{p_1 \Pi_1 2 (C_1)_{\Gamma=0}} = \sum_{i=2} A_i B_i C_i.$$

A_i и B_i имеют тот же смысл, что и в работе*.

Погрешность при измерении проходящей мощности основного мода

Пусть Π — показания ваттметра при суммарном воздействии моментов всех типов колебаний

$$\sum_{i=1} (T_i^{\Sigma})_{\Gamma \neq 0}.$$

Система линейная, поэтому

$$\Pi = L \sum_{i=1} (T_i^{\Sigma})_{\Gamma \neq 0},$$

где L — постоянный коэффициент, определяемый конструкцией. Погрешность показаний прибора при измерении проходящей мощности

$$\xi = \frac{\Pi - \Pi_1^{\text{пр}}}{\Pi_1^{\text{пр}}} = \xi_1 + \sum_{i=2} \xi_i.$$

Здесь

$$\xi_1 = \frac{L (T_1^{\Sigma})_{\Gamma \neq 0} - \Pi_1^{\text{пр}}}{\Pi_1^{\text{пр}}}$$

* В. С. Жилков, А. И. Сиротников, Н. А. Хижняк. О погрешности однопластинчатого пондеромоторного ваттметра, обусловленной высшими типами волн. Сб. «Радиотехника», вып. 21. Изд-во ХГУ, Харьков, 1972.

— погрешность в определении проходящей мощности, связанная с рассогласованием нагрузки по основному моду. Из условия

$$(\xi_1)_{\Gamma=0} = 0,$$

учитывая, что

$$\Pi_1^{\text{пр}} = \Pi_1 (1 - |\Gamma_1|^2),$$

легко получить

$$L = \frac{1}{2p_1}$$

и, следовательно,

$$\xi_1 = \frac{2|\Gamma_1|^2}{1 - |\Gamma_1|^2}.$$

Погрешность в определении проходящей мощности, связанная с высшими типами волн и их рассогласованием:

$$\sum_{i=2} \xi_i = \frac{1}{1 - |\Gamma_1|^2} \sum_{i=2} A_i B_i C_i.$$

Для определения B_i в случае двухпластинчатого ваттметра необходимо рассчитать величину $T_i(x_0, y_0)$ при $x_0 = 0$. Расчет производился методом интегродифференциальных уравнений аналогично (см. сноску, стр. 102). Взаимное влияние пластин не учитывалось. Нулевые по (ik) приближения моментов сил, обусловленные пондеромоторным действием модов $H_{10}^{\square}$, $H_{20}^{\square}$, $H_{30}^{\square}$, $H_{01}^{\square}$, $H_{11}^{\square}$, $E_{11}^{\square}$ на эллипсоид вращения, имеют следующий вид:

$$T_{\text{э}x}^{(0)} = \frac{N}{vdh} \left(\frac{k\Pi}{\beta}\right)_{H_{10}} \sin 2\theta;$$

$$T_{\text{м}x}^{(0)} = -\frac{4M\pi^2}{vd^3h} \left(\frac{\Pi}{k\beta}\right)_{H_{20}} \sin 2\theta;$$

$$T_{\text{э}x}^{(0)} = \frac{N}{vdh} \left(\frac{k\Pi}{\beta}\right)_{H_{30}} \sin 2\theta;$$

$$T_{\text{м}x}^{(0)} = \frac{M}{vdh} \left(\frac{\Pi}{k\beta}\right)_{H_{01}} \left[\beta^2 \cos^2(k_2 y_0) - k_2^2 \sin^2(k_2 y_0)\right]_{H_{01}} \sin 2\theta;$$

$$T_{\text{э}x}^{(0)} = \frac{2Nh}{vd(d^2 + h^2)} \left(\frac{k\Pi}{\beta}\right)_{H_{11}} \sin^2(k_2 y_0) \sin 2\theta;$$

$$T_{\text{э}x}^{(0)} = \frac{2N\pi^2 h}{vd^3(d^2 + h^2)} \left(\frac{\Pi}{k\beta}\right)_{E_{11}} \left[\left(\frac{\beta k_2}{k_1^2}\right)^2 \sin^2(k_2 y_0) - \right.$$

$$\left. - \left(1 + \frac{d^2}{h^2}\right)^2 \cos^2(k_2 y_0)\right]_{E_{11}} \sin 2\theta.$$