

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ РАССОГЛАСОВАНИЯ ДВУХПЛАСТИНЧАТОГО ПОНДЕРОМОТОРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

В. С. Жилков, В. Д. Кукуш

Харьков

Погрешность рассогласования пондеромоторных ваттметров рассматривалась в работах [1, 2], при этом подвижные элементы полагались согласованными с линией передачи.

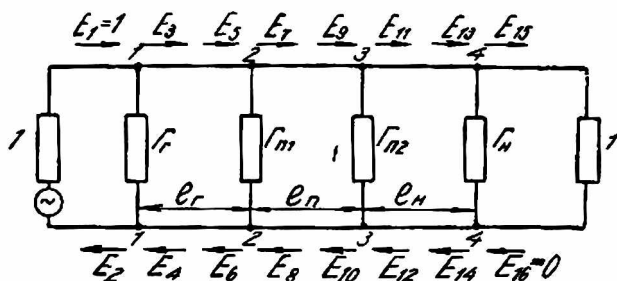


Рис. 1.

В некоторых случаях, в частности, при работе на больших мощностях, где наиболее полно проявляются преимущества пондеромоторных ваттметров, применение согласующих элементов нежелательно, поскольку они уменьшают электрическую прочность волновода.

В связи с этим возникла задача расчета погрешности рассогласования двухпластинчатого пондеромоторного ваттметра при несогласованных пластинах.

Рассмотрим эквивалентную схему передачи энергии СВЧ от генератора через двухпластинчатый пондеромоторный ваттметр к нагрузке (рис. 1). При рассмотрении полагаем, что реактивная проводимость пластин имеет емкостной характер; размеры пластин значительно меньше длины волны; потери в пластинах и в волноводе отсутствуют.

В соответствии с рис. 1

$E_1, E_2, E_3, \dots, E_{15}$ — амплитуды напряженности электрического поля падающих и отраженных волн;

$\bar{\Gamma}_r$ — коэффициент отражения генератора;

$\bar{\Gamma}_{n1}$ — коэффициент отражения первой пластины;

$\bar{\Gamma}_{n2}$ — коэффициент отражения второй пластины;

$\bar{\Gamma}_n$ — коэффициент отражения нагрузки;

l_r — соответственно расстояния между генератором и пер-

l_{n1} — вой пластиной, первой и второй пластинами, второй

l_n — пластиной и нагрузкой.

Для сечений линии 1—1, 2—2, 3—3, 4—4 могут быть записаны следующие уравнения:

$$E_2 = \bar{\Gamma}_r + E_4 \bar{\tau}_r; \quad (1)$$

$$E_3 = \bar{\Gamma}_r + E_4 \bar{\Gamma}_r; \quad (2)$$

$$E_4 = E_6 e^{-j\beta l_r}; \quad (3)$$

$$E_6 = E_3 e^{-j\beta l_r}; \quad (4)$$

$$E_6 = E_5 \bar{\Gamma}_{n1} + E_8 \bar{\tau}_{n1}; \quad (5)$$

$$E_7 = E_5 \bar{\tau}_{n1} + E_8 \bar{\Gamma}_{n1}; \quad (6)$$

$$E_8 = E_{10} e^{-j\beta l_n}; \quad (7)$$

$$E_9 = E_7 e^{-j\beta l_n}; \quad (8)$$

$$E_{10} = E_9 \bar{\Gamma}_{n2} + E_{12} \bar{\tau}_{n2}; \quad (9)$$

$$E_{11} = E_9 \bar{\tau}_{n2} + E_{12} \bar{\Gamma}_{n2}; \quad (10)$$

$$E_{12} = E_{14} e^{-j\beta l_n}; \quad (11)$$

$$E_{13} = E_{11} e^{-j\beta l_n}; \quad (12)$$

$$E_{14} = E_{13} \bar{\Gamma}_n; \quad (13)$$

$$E_{15} = E_{13} \bar{\tau}_n. \quad (14)$$

где $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_b}$ — фазовая постоянная;

λ_b — длина волны в волноводе;

$$\bar{\tau}_{n1} = 1 + \bar{\Gamma}_{n1}$$

$\bar{\tau}_{n2} = 1 + \bar{\Gamma}_{n2}$ — коэффициенты передачи.

$$\bar{\tau}_n = 1 + \bar{\Gamma}_n$$

Измеренное значение мощности можно выразить следующим образом:

$$P_{изм} = aT_{изм} = a(k_1 |E_{n1}|^2 + k_2 |E_{n2}|^2), \quad (15)$$

где k_1, k_2 — коэффициенты пропорциональности между вращающим моментом $T_{изм}$ и квадратом напряженности электрического поля соответственно для первой и второй пластин;

$|E_{n1}|, |E_{n2}|$ — модули напряженности электрического поля в месте расположения подвижных элементов.

Показания прибора, соответствующие проходящей мощности

$$P_{ист} = aT_{ист} = ak_3 |E_n|^2, \quad (16)$$

где k_3 — коэффициент пропорциональности между вращающим моментом $T_{ист}$, действующим на систему из двух пластин, и квадратом напряженности электрического поля в нагрузке;

$|E_n|$ — модуль напряженности электрического поля в нагрузке.

Погрешность рассогласования может быть определена как

$$\Delta_r = \frac{P_{изм} - P_{ист}}{P_{ист}} = \left[\frac{k_1 |E_{n1}|^2 + k_2 |E_{n2}|^2}{k_3 |E_n|^2} - 1 \right] 100\%. \quad (17)$$

В соответствии с эквивалентной схемой записываем

$$E_{n1} = E_7 + E_8; \quad (18a)$$

$$E_{n2} = E_{11} + E_{12}; \quad (18b)$$

$$E_n = E_{15} \quad (18в)$$

Тогда, решив совместно уравнения (11), (12), (13), (14) и (18б), найдем $|E_{п2}|^2$

$$|E_{п2}|^2 = \frac{|E_{15}|^2}{1 - |\Gamma_n|^2} |1 + \bar{\Gamma}_n e^{-j2\beta l_n}|^2 = \frac{|E_{15}|^2}{1 - |\Gamma_n|^2} B. \quad (19)$$

Аналогичным образом решая уравнения (7), (8), (9), (10) и (18а), определим

$$|E_{п1}|^2 = \frac{|E_{15}|^2}{1 - |\Gamma_n|^2} \left\{ \frac{1}{\tau_{п2}} (1 - \bar{\Gamma}_n \bar{\Gamma}_{п2} e^{-j2\beta l_n}) + e^{-j2\beta l_n} \left[\frac{\bar{\Gamma}_{п2}}{\tau_{п2}} (1 - \bar{\Gamma}_n \bar{\Gamma}_{п2} e^{-j2\beta l_n}) + \bar{\Gamma}_n \tau_{п2} e^{-j2\beta l_n} \right] \right\}^2 = \frac{|E_{15}|^2}{1 - |\Gamma_n|^2} A. \quad (20)$$

При $\Gamma_n = 0$ из формул (17), (19), (20) следует, что

$$k_3 = k_1 \left| \frac{1}{\tau_{п2}} (1 + \bar{\Gamma}_{п2} e^{-j2\beta l_n}) \right|^2 + k_2 = k_1 C + k_2. \quad (21)$$

Подстановка уравнений (19), (20) и (21) в (17) дает

$$\Delta_r = \left(\frac{1}{1 - |\Gamma_n|^2} \frac{kA + B}{kC + 1} - 1 \right) 100\%, \quad (22)$$

где

$$k = \frac{k_1}{k_2}.$$

Можно показать, что используемые ранее соотношения для погрешности рассогласования пондеромоторных ваттметров представляют собой частные случаи выражения (22). Действительно, при $k = 1$, $\Gamma_{п2} = 0$ и $l_n = \frac{\lambda_B}{4}$ получаем известную формулу для погрешности рассогласования двухпластинчатого измерителя с согласованными элементами:

$$\Delta_r = \frac{(r_n - 1)^2}{2r_n} 100\%.$$

При $k_2 = 0$ (либо $k_1 = 0$), $l_n = 0$ выражение для погрешности рассогласования однопластинчатого ваттметра

$$\Delta_{r \max} = (r_n - 1) 100\%,$$

где r_n — к. с. в. н. нагрузки.

В соответствии с выражением (22) на ЭЦВМ «Урал-2» был выполнен расчет величины Δ_r для различных сочетаний между k , $\frac{\lambda_B}{l_n}$, $\Gamma_{п2}$, Γ_n . Анализируя результаты расчета, можно сделать следующие выводы.

1. Погрешность рассогласования двухпластинчатого ваттметра не зависит от степени согласования генератора и первой пластины с волноводом. Ее величина определяется коэффициентами отражения второй пластины и нагрузки, а также k и $\frac{\lambda_B}{l_n}$. При $l_n = \frac{\lambda_B}{4}$ и $k = 1$, но несогласованных пластинах, величина Δ_r зависит от фазы коэффициента отражения нагрузки. Ее максимальное значение всегда превышает величину погрешности прибора с согласованными элементами.

2. Оптимальное расстояние между пластинами (соответствующее минимальной погрешности) зависит от коэффициента отражения второй пла-

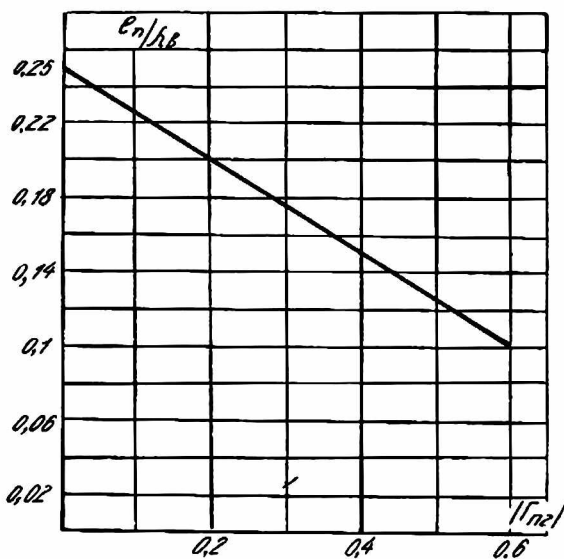


Рис. 2.

измерителей проходящей мощности с двумя квадратичными датчиками (квадратичные детекторы, терморпары и т. д.), расстояние между которыми

$$\sim \frac{\lambda}{4}.$$

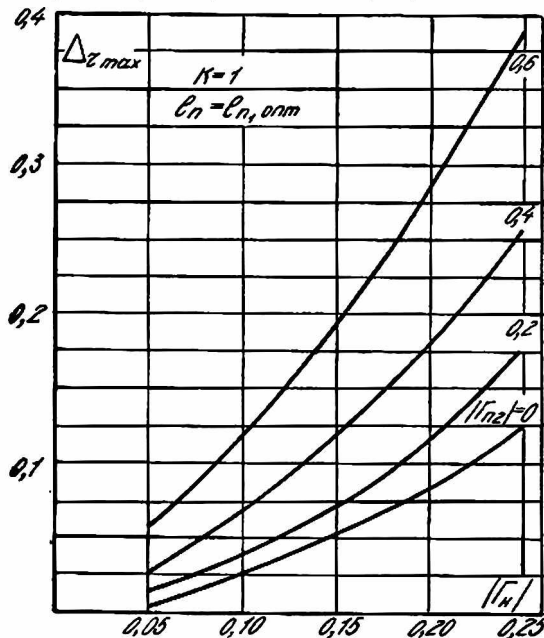


Рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. L. Cullen, B. Rogal and Okamura. A Wide-Band Double-Vane Torque-Operated Wattmeter for 3cm Microwaves. Trans. JRE, 1958, MTT-6, p. 133.
2. Р. А. Валитов, В. Д. Кукуш, В. Г. Орлов. Пондеромоторный измеритель мощности. «Измерительная техника», 1962, № 7.

стины. График зависимости $\frac{I_n}{\lambda_B} = f(|\Gamma_{n2}|)$, по которому может быть определено оптимальное расстояние между пластинами, показан на рис. 2.

3. График зависимости максимальной погрешности рассогласования от коэффициентов отражения нагрузки и пластины, ближайшей к ней, при оптимальном расстоянии между пластинами показан на рис. 3. При $|\Gamma_{n2}| \leq 0,1$ величина погрешности незначительно отличается от случая полного согласования второй пластины.

4. Результаты данной работы могут быть использованы при оценке величины погрешности рассогласования