

УЧЕТ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ РЕЗОНАТОРЕ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ПОНДЕРОМОТОРНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ СВЧ. Ч. II

В первой части данной статьи [1] доказана теорема действия для электромагнитного резонатора с конечной проводимостью стенок, из которой следует равенство нулю изменения суммарной энергии при адиабатической деформации резонато-

ра (частота предполагается const), если потери энергии восполняются от внешнего источника, весьма слабо связанного с резонатором. Применим доказанную теорему для вычисления силы, действующей на подвижный элемент условного пондеромоторного ваттметра [2], который в общем случае может быть представлен в виде проходного резонатора с входной и выходной линиями.

Пусть выходной волновод прибора нагружен на короткозамкнутую секцию переменной длины, при этом имеется возможность измерять перемещение x_3 плоскости короткого замыкания, виртуальные перемещения подвижного элемента x_2 и сдвиг минимума x_1 во входном плече прибора. Тогда по аналогии с [3], учитывая потери в стенках линии передачи и считая, что подвижный элемент изготовлен из идеально проводящего металла, нетрудно получить формулы (1), (2)

$$F_2^{(1)} = \left(- \frac{dx_3^{(1)}}{dx_2} \right) \int \frac{1}{4} \mu_0 |H_{30}^{(1)}|^2 dS; \quad (2)$$

$$F_2^{(2)} = \left(- \frac{dx_3^{(2)}}{dx_2} \right) \int \frac{1}{4} \mu_0 |H_{30}^{(2)}|^2 dS, \quad (3)$$

где F_2^1 — сила, действующая на подвижный элемент, при расположении плоскости короткого замыкания в точке x_{30} ;

F_2^2 — сила, действующая на подвижный элемент при расположении плоскости короткого замыкания в точке $x_{30}^{(2)} = x_{30}^{(1)} + 1/4\lambda_{b3}$;

$\frac{dx_3^{(1)}}{dx_2}, \frac{dx_3^{(2)}}{dx_2}$ — градиенты, соответствующие постоянству частоты резонатора;

S — плоскость поверхности короткозамыкателя;

H_{30} — поперечная, составляющая магнитного поля на поршне;

λ_{b3} — длина волны в выходном плече.

Если $H_{30}^{(2)}$ выбрана при условии, что

$$H_{30}^{(2)} e^{\frac{-\alpha \lambda_{b3}}{4}} \cong -jH_{30}^{(1)}, \quad (3)$$

то нетрудно путем суперпозиции сил $F_2^{(1)}$ и $F_2^{(2)}$, соответствующих напряженности магнитного поля $H_3^{(1)}$ и $H_3^{(2)}$, определить величину силы, действующую на подвижный элемент в режиме бегущей волны. Для линии с потерями погонное затухание $\alpha \neq 0$, соответственно

$$F_2 = \frac{P_{30}}{2c} \lambda_0 / \lambda_{b3} \left[- \frac{dx_3^{(1)}}{dx_2} - \frac{dx_3^{(2)}}{dx_2} \right] = P_3 e^{2\alpha l} K_e, \quad (4)$$

где $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ — скорость света;

$P_3 = P_{30} e^{-2\alpha l}$ — мощность на выходе прибора, если последний нагружен на согласованную нагрузку;

l — длина участка волновода между подвижным волноводом и выходным фланцем прибора;

K_e — электрический калибровочный коэффициент прибора.

Фактически выражение (4) представляет собой соотношение между силой, действующей на подвижный элемент, и мощностью бегущей волны в линии с потерями. Полученное с учетом затухания в стенках волновода и резонатора, оно отличается от аналогичного выражения для идеальной системы множителем $e^{2\alpha l}$.

Член $e^{2\alpha l}$ определяет потери в выходном плече прибора, которые могут быть учтены в процессе измерения мощности. Пренебрежение затуханием в этом плече приводит к погрешности измерения

$$\Delta\alpha = (e^{2\alpha l} - 1) 100\%, \quad (5)$$

имеющей место, если считать P_{30} измеренным значением мощности, $P_3 = P_{30} e^{-2\alpha l}$ истинным.

При $\alpha \approx 0,1$ дБ/м и $l \approx 0,1$ м величина Δ_2 не превышает 0,1%.

Итак, а) методика абсолютной калибровки пондеромоторных ваттметров с потерями не отличается от методики для ваттметров без потерь; б) хотя электрический калибровочный коэффициент и зависит от проводимости стенок линии, тем не менее при суммарном затухании $\alpha l = \text{const}$ — K_e по величине также постоянна, и если эти условия сохранены от калибровки до измерения мощности, погрешности, обусловленной затуханием в металлических стенках, не будет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилков В. С., Хижняк Н. А. Учет потерь в электромагнитном резонаторе при обосновании пондеромоторного метода измерения мощности СВЧ, ч. I. — Сб. «Радиотехника». Вып. 21. Харьков, 1973, с. 207—215.
2. Callen A. L. A. General Method for the Absolute Measurement of Microwave Power. Proc. JEE, 1952, 99, pt. IX. 100 p.
3. Жилков В. С. Исследование и разработка образцовых пондеромоторных измерителей мощности. Автореф. канд. дисс., Харьков, 1969. 20 с.