

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

*И. Ф. Демьянков, В. С. Жилков, В. Д. Кукуш,
В. А. Переяславец*

Харьков

Рассматривается возможность построения многоэлементного датчика давления электромагнитного поля, предназначенного для измерения мощности СВЧ, рассеиваемой в несогласованной нагрузке.

В работе [1] описан пондеромоторный ваттметр СВЧ с датчиком давления типа крутильные весы. Чувствительным элементом датчика являлась плоская пластина, встроенная в узкую стенку прямоугольного волновода.

Давление электромагнитных волн, пропорционально квадрату поперечной составляющей напряженности электрического или магнитного полей, амплитудное распределение которых вдоль линии передачи является функцией коэффициента отражения нагрузки. Поэтому, если ставится задача измерения мощности таким ваттметром с минимальной погрешностью рассогласования, указанную зависимость от коэффициента отражения необходимо исключить или существенно ослабить. Иначе, требуется построение такой измерительной схемы датчика, при которой величина измеряемой мощности определялась бы выражением

$$P_{\text{изм}} = k_{\Gamma} F_{\Gamma} = k_{\text{в}} F_{\text{в}} = P_{\text{пр}} = P^{+} (1 - |\Gamma_{\text{н}}^2|), \quad (1)$$

где F_{Γ} и $F_{\text{в}}$ — силы, с которыми волна давит на датчики, расположенные на горизонтальной или вертикальной стенках волновода [2];

k_{Γ} и $k_{\text{в}}$ — соответствующие коэффициенты пропорциональности;

P^{+} — падающая мощность;

$P_{\text{пр}}$ — мощность, проходящая в нагрузку;

$\Gamma_{\text{н}}$ — коэффициент отражения нагрузки.

При этом истинная величина F_r или F_v должна быть близкой к величине, определяемой выражением

$$F_{\text{ист}} = \frac{P^+ \lambda_0 \lambda_B}{c \lambda_{\text{кр}}^2} \frac{mn}{ab} \frac{1}{\pi} (1 - |\Gamma_n|^2) \quad (2)$$

или

$$F_{\text{ист}} = \frac{P^+ \lambda_0 \lambda_B}{c \lambda_{\text{кр}}^2} \frac{kn}{ab} (1 - |\Gamma_n|^2), \quad (3)$$

где c — скорость света в свободном пространстве;
 λ_0 ; λ_B ; $\lambda_{\text{кр}}$ — длина волны в свободном пространстве, волноводе и критическая;

mn ; kn — размеры датчика по горизонтальной и вертикальной стенках;

ab — внутренние размеры волновода.

С помощью одноэлементного датчика давления с размером $n = \frac{\lambda_B}{2}$ независимо от расположения датчика можно устранить зависимость силы от фазы коэффициента отражения. Тогда для F_r останется зависимость от координаты x и размера m , в то время как для F_v зависимость от x отсутствует. Несколько подробнее рассмотрим датчик, расположенный на горизонтальной стенке.

Следует отметить, что полуволновой датчик создает собственный КСВ, который возрастает при отходе от расчетной частоты. Очевидно, что в лучшем положении будет находиться система из нескольких датчиков, при этом расстояние между ними должно выбираться из условия обеспечения слабой зависимости суммарной силы от фазы коэффициента отражения, а общая площадь — равной площади полуволнового датчика.

Для нахождения оптимального количества и взаимного расположения датчиков, выражение для F_r из [2] было запрограммировано и просчитано на вычислительной машине. В результате выяснено, что при системе из четырех датчиков с размером $n = \frac{\lambda_B}{8}$ и расстоянием между ними, равном $\frac{\lambda_B}{8}$ (рис. 1), суммарная сила не зависит от фазы коэффициента отражения. Уравнение суммарной силы, действующей на четыре датчика, запишется в следующем виде:

$$F_{r2} = AP^+ (1 + |\Gamma_n|^2) \left[\sin \frac{2\pi(x \oplus m)}{a} - \sin \frac{2\pi x}{a} \right], \quad (4)$$

где

$$A = \frac{1}{c} \frac{\lambda_0 \lambda_B}{\lambda_{\text{кр}}^2} \frac{2n}{\pi b}.$$

Тогда (1) можно переписать как

$$P_{\text{изм}} = k_r A P^+ (1 + |\Gamma_n|^2) \left[\sin \frac{2\pi(x+m)}{a} - \sin \frac{2\pi x}{a} \right]. \quad (5)$$

При $|\Gamma_n| = 0$ отраженная волна отсутствует и $P_{\text{изм}} = P_{\text{пр}} = P^+$. Исходя из этого можно определить коэффициент k_r . Тогда из (5) при

$$\varphi(x) = \left[\sin \frac{2\pi(x+m)}{a} - \sin \frac{2\pi x}{a} \right] = 1,$$

что достигается соответствующим выбором x и m ,

$$P_{\text{изм}} = k_r A P^+, \quad (6)$$

т. е.

$$k_r = \frac{1}{A}.$$

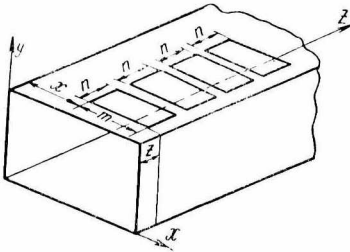


Рис. 1.

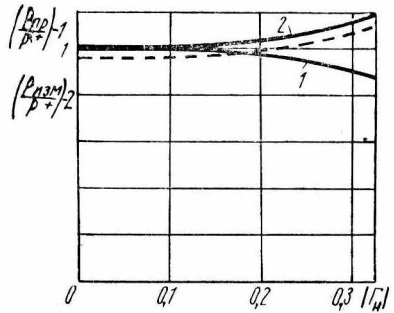


Рис. 2.

При несогласованной нагрузке $P_{\text{изм}} \neq P_{\text{пр}}$. Относительная разность $\delta = \frac{P_{\text{изм}} - P_{\text{пр}}}{P_{\text{пр}}}$, выраженная в процентах, в этом случае характеризует погрешность измерения датчиком давления проходящей мощности. На рис. 2 показана зависимость изменения $P_{\text{изм}}$ и $P_{\text{пр}}$ от $|\Gamma_n|$ в предположении, что P^+ является постоянной. При $|\Gamma_n| = 0,2$ $\delta = 8,3\%$. Эту величину можно значительно уменьшить, если принять во внимание, что реальные нагрузки СВЧ трактов на большие уровни мощности имеют $|\Gamma_n| = 0,1$. Тогда подбором размера датчика m в его положении x добиваемся равенства $P_{\text{изм}}$ и $P_{\text{пр}}$ при данном $|\Gamma_n|$. Тогда δ становится меньше допустимой величины в заданном диапазоне по $|\Gamma_n|$. Этот диапазон можно сузить в зависимости от требуемой погрешности измерений.

В частности, (рис. 2, пунктирная линия) для волновода сечением $23 \times 10 \text{ мм}^2$ при $\lambda_{\text{в}} = 4 \text{ см}$, $x = 0$ и $m = 0,276 \text{ см}$, $\delta = -1,1\%$ при $|\Gamma_n| = 0$; $\delta = +3,2\%$ при $|\Gamma_n| = 0,2$.

Проведенные исследования говорят о целесообразности построения многоэлементных датчиков давления для ваттметров

СВЧ, работающих на эффекте давления электромагнитных волн на стенки волновода. Конструктивно такой датчик может быть выполнен на основе механотронного преобразователя давления [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Ф. Демьянков, В. С. Жилков. Крутильный ваттметр СВЧ на основе использования механического действия электромагнитного поля на стенки волновода. Сб. «Радиотехника», вып. 17. Изд-во ХГУ, Харьков, 1971.
2. В. Г. Орлов, В. Д. Кукуш. О пондеромоторных силах, действующих на стенки прямоугольного волновода при несогласованной нагрузке. Сб. «Радиотехника», вып. 2. Изд-во ХГУ, 1966.
3. И. Ф. Демьянков, В. С. Жилков, Г. С. Берлин. Датчик давления электромагнитной волны на стенки линии передачи. Сб. «Радиотехника» вып. 18. Изд-во ХГУ, Харьков, 1971.