

КРУТИЛЬНЫЙ ВАТТМЕТР СВЧ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТЕНКИ ВОЛНОВОДА

И. Ф. Демьянков, В. С. Жилков

Харьков

Возможность использования пондеромоторного действия электромагнитного поля на стенки линии передачи для измерения мощности СВЧ показана в ряде работ [1, 2, 3]. Там же описаны макеты устройств с пьезоэлектрическими и конденсаторными датчиками давления электромагнитного поля. К недостаткам таких датчиков отнесем низкую чувствительность и невозможность проведения абсолютной калибровки, что в значительной степени препятствует их практическому применению в измерительной технике.

В данной статье приводятся результаты исследований прибора с датчиком давления типа крутильные весы. Показана возможность его абсолютной калибровки методом Каллена [4] и расчетным способом. Дано краткое описание конструкции ваттметра и приведены результаты его испытания.

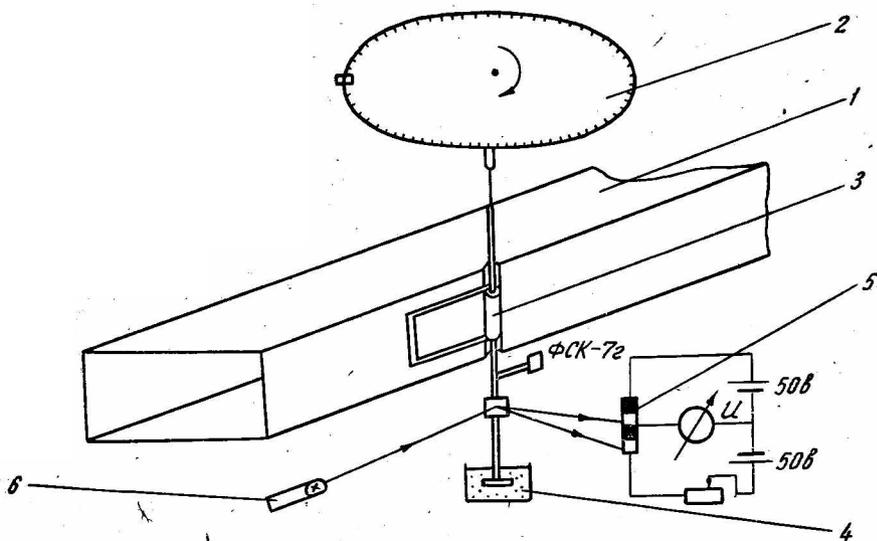


Рис. 1 Схема пондеромоторного измерителя больших уровней мощности СВЧ.

Чувствительный элемент датчика давления в виде плоской пластины жестко закреплен на диэлектрическом стержне, подвешенном на тонкой кварцевой или вольфрамовой нити. В таком виде система имеет одну степень свободы — вращение вокруг оси. Под действием сил электромагнитного поля подвижная система поворачивается на угол θ , величина которого может быть легко измерена. Совершенно очевидно, что при такой конструкции датчика для проведения его абсолютной калибровки применим метод Каллена.

Схема прибора приведена на рис. 1. Основными узлами прибора являются: 1 — волноводный блок; 2 — крутильная головка; 3 — подвесная система; 4 — арретирно-демпферное устройство; 5 — система индикации; 6 — осветитель.

Теория пондеромоторных ваттметров крутильного типа и методика их абсолютной калибровки достаточно полно описаны в периодической отечественной [5, 6, 7] и зарубежной [4] литературе.

В процессе экспериментальных исследований определен участок, на котором зависимость электрического калибровочного коэффициента от угла поворота пластины подвеса $K_e = f(\theta)$ линейна. Диапазон линейности составляет $0^\circ - 2^\circ 30'$ (рис. 2). Подбором соответствующих параметров нити подвеса была обеспечена работа датчика на линейном участке характеристики.

Для датчиков такого типа абсолютную калибровку также можно произвести расчетным способом по известным соотношениям [8]. Например, для волновода сечением $90 \times 45 \text{ мм}^2$, на частотах $f = (2,45 \pm 0,01) \text{ Гц}$ от-

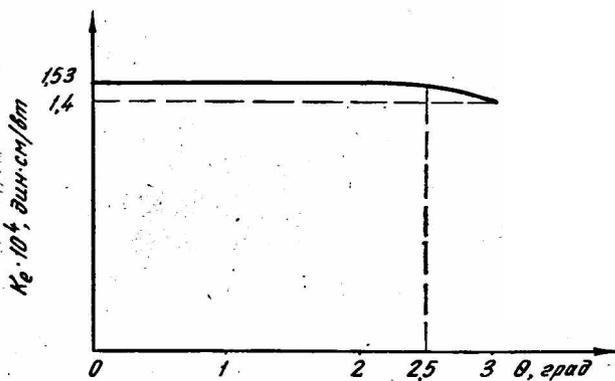


Рис. 2. График зависимости $K_e = f(\theta)$.

клонение пластины подвеса на угол, равный 2° (вольфрамовая нить диаметром $0,02 \text{ мм}$, длиной 5 мм , $K_e = 1,53 \cdot 10^{-4} \text{ дин. см/вт}$) соответствует мощности, проходящей по волноводу, равной 986 вт . Силу, с которой электромагнитная волна действует на пластину размерами $30 \times 15 \text{ мм}^2$, определяем по формуле

$$F_v = \frac{4P}{c} \frac{\lambda_0 \lambda_B kn}{\lambda_{кр}^2 ab} \left[1 + |\rho|^2 - |\rho| \frac{\lambda_B}{n} \cdot \varphi(z) \right], \quad (1)$$

где P — мощность, проходящая по волноводу;
 c — скорость света в свободном пространстве;
 $\lambda_0, \lambda_B, \lambda_{кр}$ — длина волны в свободном пространстве, в волноводу и критическая длина волны;
 a, b — внутренние размеры волновода;
 k, n — размеры пластины;
 ρ — коэффициент отражения нагрузки;
 z — расстояние от минимума электрического поля до рассматриваемой точки по оси OZ ;

$$\varphi(z) = \sin [2\beta(z + n)] - \sin 2\beta z, \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda_B}.$$

Эта сила создает крутящий момент

$$M_{кр} = Fl, \quad (2)$$

где l — длина плеча (рис. 3).

Значение угла θ' , на который поворачивается подвесная система, находим следующим образом:

$$\theta' = \frac{M_{кр}}{K_M}, \quad (3)$$

где K_M — механический калибровочный коэффициент.

Тогда при $K_M = 4,31 \text{ дин} \cdot \text{см/рад}$, $|\rho| = 0,091$ и $z = 20 \text{ мм}$ величина $\theta' = 2^\circ 1'$.

Таким образом, расхождение между углом поворота пластины, определенным экспериментально (θ) и теоретически (θ'), лежит в пределах погрешности измерений, что подтверждает возможность проведения калибровки данного прибора расчетным способом с достаточной для практики точностью.

КСВН прибора при θ пластины, равно нулю, составляет 1,15. Его значение может быть уменьшено за счет более тщательной подгонки размеров пластины подвеса под размеры окна в волноводе.

Конструкция прибора не сложна в изготовлении. Волноводный блок 1 представляет собой отрезок волновода, в узкой стенке которого вырезано окно для помещения в нем подвижной пластины. Зазор между пластиной и волноводом составляет $\sim (0,1 \div 0,2) \text{ мм}$.

Крутильная головка 2, подвесная система 3, арретирно-демпферное устройство 4 и система

индикации 5 по конструкции и выполнению подобны узлам пондеромоторных ваттметров крутильного типа [5].

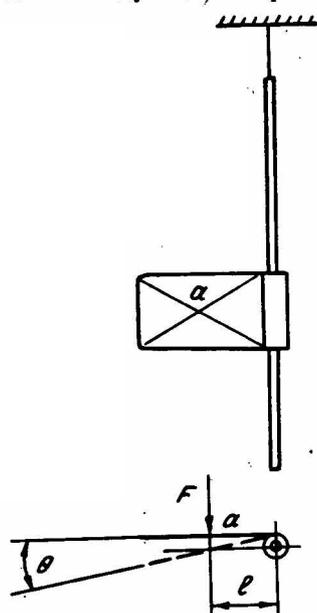


Рис. 3. Схема действия силы на подвесную систему: a — точка приложения равнодействующей силы F ; l — плечо.

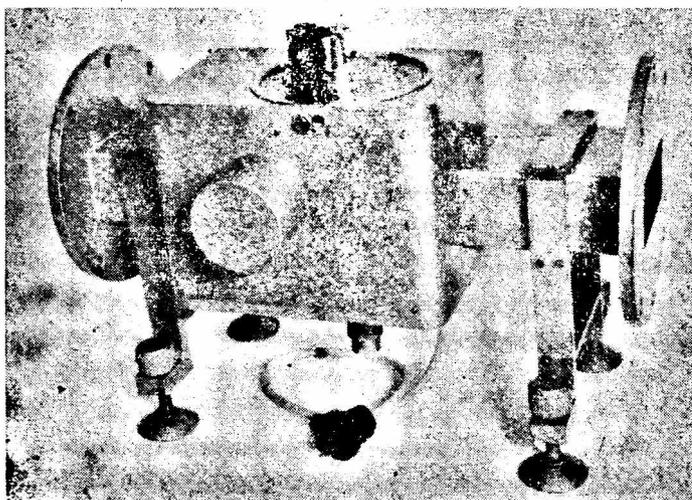


Рис. 4 Общий вид измерителя мощности СВЧ.

Для предотвращения излучения электромагнитной энергии из волновода окно экранируется. Вся система закрыта кожухом и установлена на общем основании. Для придания прибору горизонтального положения имеются установочные винты и уровни.

Общий вид прибора показан на рис. 4.

Результаты сличений описываемого ваттметра с калориметрическим ваттметром типа МЗ-13 приведены в таблице.

$P_{\text{пон}}, \text{ вт}$	164	328	493	657	821	986
$P_{\text{кал}}, \text{ вт}$	220	370	500	650	780	940
$\left[\frac{P_{\text{кал}} - P_{\text{пон}}}{P_{\text{пон}}} \right] \cdot 100\%$	+34	+12	+1,4	-1,06	-5	-4,6

Учитывая, что погрешность измерения калориметрического ваттметра $\pm 7\%$, а пондеромоторного $\pm 4\%$, можно сделать вывод, что результаты сличений не противоречат оценкам погрешности каждого из приборов в отдельности.

Анализ погрешностей пондеромоторных ваттметров достаточно подробно рассмотрен в работе [7]. Там же приведены расчетные формулы для определения составляющих суммарной погрешности.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. E. Norton. Broad-band power-measuring methods at microwave frequencies. Proc. IRE, 37, July, pp. 759—766, 1949.
2. В. Г. Пенякова. Ваттметры нового типа для измерения мощности в волноводе. «Радиотехника», т. 9, № 5, 1954.
3. Е. Г. Билык, Р. А. Валитов. К вопросу об измерении высоких уровней мощности. Ученые записки ХГУ, т. 102. Труды радиофакультета, т. 3, 1959.
4. A. L. Cullen. A general method for the absolute measurement of microwave power. Proc. IEE, 99, part IV, pp. 112—120, 1952.
5. В. Д. Кукуш, В. С. Жилков. Проектирование пондеромоторных измерителей мощности. «Вопросы радиоэлектроники», серия VI, вып. 1. 1960.
6. В. Д. Кукуш, В. Г. Орлов. Повышение точности электрической калибровки пондеромоторных ваттметров на СВЧ. «Измерительная техника», № 2, 1960.
7. Р. А. Валитов, В. Д. Кукуш, В. Г. Орлов. Использование пондеромоторных эффектов электромагнитного поля для измерения мощности на СВЧ. «Вопросы радиоэлектроники», серия VI, 1960.
8. В. Г. Орлов, В. Д. Кукуш. О пондеромоторных силах, действующих на стенки прямоугольного волновода при несогласованной нагрузке. Сб. «Радиотехника», вып. № 2. Изд-во ХГУ, Харьков, 1966.