

# ОБРАЗЦОВАЯ ПОНДЕРОМОТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ СВЧ В 8-МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

*В. П. Середний, В. С. Жилков, В. Д. Кукуш*

Х а р ь к о в

Из устройств для измерения мощности на высоких и сверхвысоких частотах, нашедших применение при создании образцовой аппаратуры, наиболее полно изучены тепловые ваттметры, к которым относятся калориметрические, болометрические, термисторные и термоэлектрические измерители. Наряду с тепловыми ваттметрами в качестве образцовых приборов широко используются пондеромоторные измерители [1, 4]. Точность их несколько меньше точности калориметрических измерителей, однако далеко не все резервы уменьшения погрешности измерений в этих приборах исчерпаны. Сличение ваттметров, основанных на разных физических принципах, существенно увеличит достоверность получаемых результатов благодаря независимости методов измерения.

В литературе описаны пондеромоторные ваттметры высокой точности, предназначенные для поверки и градуировки измерителей мощности в 3-сантиметровом диапазоне волн. Например, в работе [1] приведены характеристики стационарного пондеромоторного ваттметра, позволяющего измерять мощность на частоте 10 Гц с погрешностью  $\leq \pm 0,7\%$ .

Ниже описывается пондеромоторная установка, предназначенная для измерения мощности в миллиметровом диапазоне волн. Основные ее характеристики следующие: пределы измеряемой мощности 0,1—1 *вт*, рабочая частота 39,45 Гц, канал волноводный  $7,2 \times 3,4$  мм, погрешность измерения мощности при КСВН нагрузки  $\leq 1,05$  не превышает  $\pm 1,2\%$ . Общий вид установки показан на рис. 1. Функциональная схема ее приведена на рис. 2, а.

Основными источниками погрешности аттестации пондеромоторного ваттметра являются погрешности определения электрического  $K_e$  и механического  $K_m$  калибровочных коэффициентов.

Электрический калибровочный коэффициент пондеромоторного ваттметра определяем по формуле [2, 3]

$$K_e = \frac{1}{2c} \sqrt{1 - \left(\frac{c}{2af}\right)^2} \left(\frac{dx_1 + dx_2}{d\theta}\right), \quad (1)$$

где  $c$  — скорость света в свободном пространстве;

$a$  — размер широкой стенки волновода;

$f$  — частота СВЧ-колебаний;

$\frac{dx_1 + dx_2}{d\theta}$  — градиент, определяемый экспериментально.

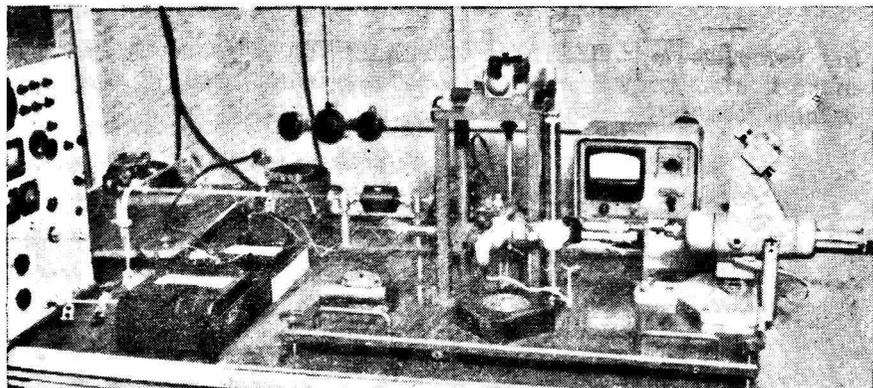


Рис. 1. Общий вид пондеромоторной установки.

Для определения электрического калибровочного коэффициента с требуемой точностью установка должна иметь высокую разрешающую способность к малым изменениям сдвига фазы отраженной волны и обеспечивать точное измерение величин  $dx_1 + dx_2$ ,  $d\theta$ ,  $f$ ,  $a$ .

Выполнение этих условий значительно усложняется при аттестации прибора для миллиметрового диапазона. Большие затухания в элементах волноводного тракта, а также значительные погрешности, возникающие при измерении деталей малых размеров, обуславливают высокие требования к точности изготовления и чистоте поверхности волноводных элементов. Учитывая эти требования, был разработан комбинированный волноводный блок установки, включающий S-образный волноводный изгиб, двойной волноводный тройник и фазовращатель. Такая конструкция позволяет уменьшить количество фланцевых соединений, обеспечивает необходимую ( $\sim 50$  дБ) развязку между плечами E и H двойного моста, имеет высокую чувствительность к изменениям фазы.

Для удобства установки подвесной системы блок в приборе выполнен разъемным, состоящим из двух частей.

В работе [1] указывается, что основным источником погрешности электрической калибровки пондеромоторного ваттметра является погрешность измерения градиента  $\frac{dx_1 + dx_2}{d\theta}$  ввиду малости величины  $dx_1 + dx_2$ .

Для двухпластинчатого пондеромоторного ваттметра 8-миллиметрового диапазона при подвижных пластинах ( $2 \times 1,5$ ) мм величина  $dx_1 + dx_2$  составляет  $\sim 0,7$  мм. Увеличение величины  $dx_1 + dx_2$ , а следовательно, и повышение чувствительности ваттметра, возможно при увеличении размеров подвижных элементов. Однако при больших элементах, вследствие их значительного шунтирующего действия, существенно умень-

шается разрешающая способность мостовой схемы. В этой связи были проведены исследования зависимости электрического коэффициента  $K_e$  от размеров и формы подвижных элементов. В результате был предложен Z-образный объемный подвижный элемент для подвесной системы установки (рис. 2, б). Чувствительность ваттметра с такими элементами значительно выше, чем его чувствительность с прямоугольными пластинами.

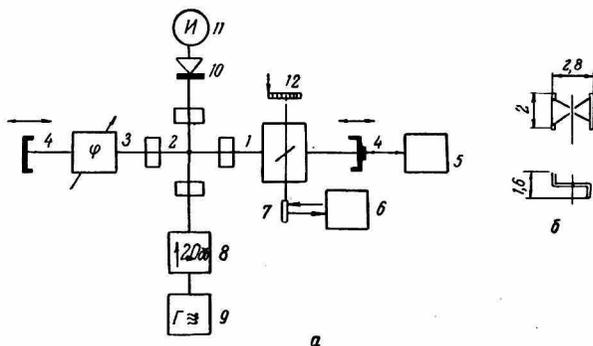


Рис. 2. Функциональная схема пондеромоторной установки (а);

1 — пондеромоторный ваттметр; 2 — двойной волноводный T-мост; 3 — фазовращатель; 4 — короткозамыкающий поршень; 5 — горизонтальный длинномер КИЗ-2; 6 — автоколлиматор АК-30; 7 — зеркальце подвесной системы ваттметра; 8 — вентиль; 9 — генератор ГЗ-30; 10 — детекторная секция; 11 — индикатор; 12 — оптический квадрант КО-10; подвижный элемент подвесной системы ваттметра (б).

Величина  $dx_1 + dx_2$  составляет 1,3 мм при удовлетворительной разрешающей способности мостовой схемы. В установке для измерения  $dx_1$  и  $dx_2$  использован короткозамыкающий поршень, конструкция которого позволила измерять смещения плоскости короткого замыкания в волноводе при помощи горизонтального длинномера КИЗ-2. Погрешность такого устройства  $\pm 0,001$  мм.

Для измерения угловых перемещений подвесной системы была разработана конструкция крутильной головки на базе оптического квадранта КО-10, погрешность измерения которой составляет  $\pm 10''$ .

В процесс измерения угла поворота подвижной системы входит определение исходного положения ее в волноводе. Применяемая ранее система фиксации исходного положения фотокомпенсационного типа характеризовалась существенным недостатком — уходом нуля в процессе измерения.

В данной установке для этих целей используется автоколлиматор АК-30, который вместе с зеркальцем, укрепленным на подвесной системе прибора, образует удобную систему индикации с полным отсутствием дрейфа нуля. Погрешность индикации нулевого положения с помощью такого устройства составляет  $\pm 15''$ .

Частота СВЧ-колебаний измерялась гетеродинным частотомером Ч4-8, относительная погрешность которого составляет  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ .

Измерение размера  $a$  широкой стенки волновода выполнены индикатором, погрешность которого не превышает  $\pm 0,01$  мм. Источником мощности СВЧ при аттестации установки служил генератор ГЗ-30, а индикация баланса моста осуществлялась с помощью микровольтметра Ф116/2.

Механическая калибровка, т. е. определение удельного момента кручения нити подвеса  $K_m$  производилась по методике, описанной в работе [1] путем определения периода  $t$  и декремента затухания  $\varepsilon$  свободных колебаний эталонного по моменту инерции груза  $I$ . Калибровочный коэффициент  $K_m$  в этом случае

$$K_m = \frac{I}{t^2} (4\pi^2 + \varepsilon^2). \quad (2)$$

Для калибровки использовался цилиндрический груз, момент инерции которого определяется по формуле

$$I = \frac{mD^2}{4}.$$

Значения результирующих среднеквадратичных погрешностей  $\sigma_{0i}$  для измеряемых величин, включающих случайные погрешности и систематические, переведенные в разряд случайных, при косвенном определении  $K_e$  и  $K_m$ , приведены в табл. 1 и 2.

Значение погрешности определялось по методике, описанной в работе [5].

Таблица 1

Измеряемая величина	$f$	$a$	$dx_1 + dx_2$	$d\theta^\circ$	$K_e$
$\sigma_{0i}$	0,002	0,16	0,26	0,016	0,3

Таблица 2

Измеряемая величина	$m$	$D$	$t$	$\varepsilon$	$K_m$
$\sigma_{0i}$	0,08	0,22	0,09	0,02	0,24

Калибровочный коэффициент прибора  $K = \frac{K_m}{K_e} = 2,546 \frac{см}{рад}$ . Относительная среднеквадратичная погрешность его определения составляет 38%. Мощность  $P$ , измеряемая пондеромоторным ваттметром, определяется по формуле  $P = K\theta$ , где  $\theta$  — угол поворота подвесной системы ваттметра.

Погрешность измерения мощности установкой состоит из погрешности определения калибровочного коэффициента  $K$ , погрешности измерения  $\theta$ , а также погрешности рассогласования.

При уровне мощности  $P \approx 100$  мвт (на этом уровне обычно проводят сличения образцовых ваттметров на СВЧ) угол поворота подвесной системы  $\theta$  составляет 135,5'. Среднеквадратичная погрешность определения  $\theta$ , в этом случае составляет  $\pm 0,12\%$ .

При КСВ нагрузки  $\leq 1,05$  погрешность рассогласования для двух- и трех- и четырех- и пяти- и шестиполосных пондеромоторных ваттметров пренебрежимо мала. Таким образом, относительная среднеквадратичная погрешность измерения мощности пондеромоторной установкой составляет  $\pm 0,4\%$ , а ее предельное значение  $\sigma \leq \pm 1,2\%$ .

## ВЫВОДЫ

Разработана стационарная пондеромоторная установка, позволяющая производить единицу мощности в 8-миллиметровом диапазоне с погрешностью  $\pm 1,2\%$ . Высокая точность достигнута благодаря примене-

нию нового типа подвижных элементов, высокоточных серийно выпускаемых измерителей линейных и угловых величин, а также усовершенствования конструкции волноводного блока ваттметра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Жилков, В. Д. Кукуш, В. И. Проненко, А. И. Самойлович. Стационарная измерительная пондеромоторная установка для градуировки и поверки ваттметров СВЧ. Сб. «Радиотехника», вып. 11. Изд-во ХГУ, Харьков, 1966.
2. A. L. Cullen. Absolute power measurement of microwave frequencies. «Proc GEE», 1952, 99, pt, IV, p. 133.
3. В. Д. Кукуш, В. Г. Орлов. Повышение точности электрической калибровки пондеромоторных измерителей мощности на СВЧ. «Измерительная техника», 1960, № 2.
4. Р. А. Валитов, Г. Д. Бурдун, В. Д. Фрумкин. Метрологические работы в области радиоэлектроники в СССР. «Измерительная техника», 1970, № 5.
5. Б. Е. Рабинович. Методика суммирования частных погрешностей в области радиотехнических измерений. «Труды институтов Комитета стандартов», вып. 54 (117), 1961.