

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОНДЕРОМОТОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ СВЧ

**В. С. Жилков, Ю. В. Шпагин, В. П. Середний,  
В. Г. Близнюк, В. Г. Нарыжный, В. С. Климашевский**

Харьков

Измерение больших уровней мощности СВЧ с помощью пондеромоторных ваттметров ограничено двумя причинами. Во-первых, волноводная секция пондеромоторного ваттметра с металлическими чувствительными элементами, включаемого непосредственно в тракт передачи СВЧ энергии, приводит к снижению электрической прочности, что в особенности заметно при импульсной модуляции. Применение диэлектрических чувствительных элементов повышает электрическую прочность волноводного тракта, но чувствительность ваттметра в этом случае очень зависит от напряженности электрического поля и частоты.

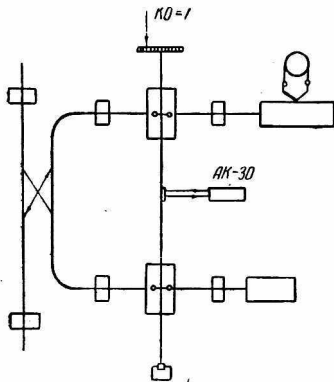


Рис. 1.

Во-вторых, пондеромоторный ваттметр имеет значительную погрешность расогласования, которая увеличивается с расширением рабочей полосы частот. Так как нагрузки для трактов с большими уровнями мощности обладают значительным КСВН,

то становится ясно, что задача создания образцового пондеромоторного измерителя больших уровней мощности, работающего в широкой полосе частот, значительно усложняется.

Ниже описан комбинированный пондеромоторный ваттметр, который имеет ряд преимуществ по сравнению с применяемыми раньше. Схема ваттметра приведена на рис. 1.

Отличительной особенностью устройства является возможность прямого измерения проходящей мощности СВЧ при разделенных измерительных каналах падающей и отраженной мощности. Разделение каналов выполняется направленным ответвителем. В плечи вторичного канала ответвителя включены два пондеромоторных ваттметра с совмещенной системой индикации. Чувствительные элементы обоих ваттметров укреплены на общем стержне и установлены таким образом, что вращающие моменты  $M_1$  и  $M_2$  действуют на подвижную систему в противоположных направлениях. При таком включении величина вращающего момента  $M_1$  пропорциональна падающей мощности  $M_1 = \frac{1}{C} K_e P^+$ ,

величина  $M_2$  — отраженной  $M_2 = \frac{1}{C} K_e P^-$ . Здесь  $C$  — переход-

ное ослабление направленного ответвителя;  $K_e$  — электрический калибровочный коэффициент, одинаковый для чувствительных элементов в каждом из боковых плеч ответвителя;  $P^+$  — падающая,  $P^-$  — отраженная мощности.

Результирующий вращающий момент  $M$ , измеряемый с помощью крутильных весов, равен  $M = M_1 - M_2$  и, следовательно, пропорционален проходящей мощности

$$M = \frac{1}{C} K_e (P^+ - P^-) = \frac{1}{C} K_e P_{пр}. \quad (1)$$

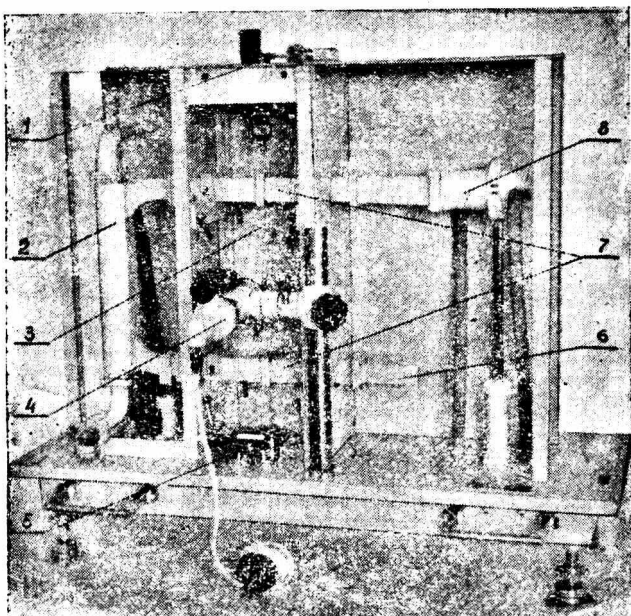


Рис. 2.

Величина вращающего момента, измеряемого с помощью крутильных весов, равна

$$M = K_m \theta, \quad (2)$$

где  $K_m$  — жесткость нити подвеса:

$\theta$  — угол закручивания нити под действием мощности  $P_{пр}$ .

Приравнявая (1) и (2), получаем основное уравнение комбинированного пондеромоторного ваттметра

$$P_{пр} = CK\theta, \quad (3)$$

где  $K = \frac{K_m}{K_e}$  — калибровочный коэффициент прибора.

Рассмотренная схема была положена в основу разработанного в Харьковском институте радиоэлектроники комбинированного пондеромоторного ваттметра, который предназначен для измере-

ния среднего значения мощности импульсно-модулированных СВЧ сигналов в сантиметровом диапазоне длин волн. Технические характеристики прибора: пределы среднего значения измеряемой мощности 300—6000 *вт* при мощности в импульсе 100 *квт*, рабочий диапазон частот 8,5—10,2 *Гц*, волноводный канал сечением  $23 \times 10$  *мм*, погрешность измерения проходящей мощности при КСВН нагрузки  $\leq 1,5$  не превышает 3,5%. Общий вид прибора со снятой передней крышкой показан на рис. 2.

С помощью направленного ответвителя 2 часть падающей и отраженной мощности ответвляется во вторичные плечи и подается в измерительные секции 7 пондеромоторного ваттметра. Результирующее пондеромоторное действие вызывает поворот подвесной системы, которая крепится на гонкой упругой нити к крутильной головке 1. Поворачивая крутильную головку в направлении, обратном вращению подвески 3, под действием мощности СВЧ, возвращаем подвеску в начальное положение, и по лимбу крутильной головки отсчитываем угол поворота подвесной системы 6. В качестве измерительной головки применяется оптический квадрат КО-1. Для индикации начального положения служит зеркальце на подвесной системе и автоколлиматор 4 типа АК-30.

К выходам измерительных секций ваттметра подключены согласованные нагрузки 6, 8. В нагрузке 8, на которой рассеивается мощность, ответвленная в прямом направлении, а также в направленном ответвителе предусмотрено охлаждение проточной жидкостью.

Для успокоения движения подвески и фиксации ее в нерабочем положении прибора служит арретирно-демпферное устройство 5.

Все узлы и детали прибора укреплены с помощью стоек на массивной плите. Установка плиты в горизонтальное положение производится с помощью регулировочных винтов и контролируется по двум спиртовым уровням.

Калибровка комбинированного пондеромоторного ваттметра заключается в определении переходного ослабления направленного ответвителя  $C$  и калибровочного коэффициента  $K = \frac{K_m}{K_e}$ .

Переходное затухание и направленность ответвителя измеряется одним из известных способов. Методика определения механического  $K_m$  и электрического  $K_e$  калибровочных коэффициентов пондеромоторного ваттметра описана в работах [1, 2]. Величина  $K_e$  для описанного ваттметра определяется отдельно для обеих измерительных секций и экспериментально подбирается равной по величине.

Погрешность измерения мощности комбинированным пондеромоторным ваттметром состоит из ряда составляющих: погрешности механической и электрической калибровки, погрешности рас-

согласования, обусловленной неидеальным согласованием плеч и конечной направленностью ответвителя, погрешности определения переходного ослабления направленного ответвителя, погрешности измерения угла поворота подвески прибора при измерении мощности СВЧ.

Анализ погрешности механической и электрической калибровки выполнен в работе [1].

Погрешность измерения проходящей мощности комбинированным пондеромоторным ваттметром, обусловленная рассогласованием плеч и конечной направленностью, рассмотрена в работе [3].

В таблице приведены значения измеренных при калибровке прибора величин и приведены предельные значения погрешности измерения этих величин. Для переходного ослабления и направленности приведены значения, соответствующие средней частоте рабочего диапазона. При работе с прибором эти величины определяются по графикам. Величина угла поворота  $\theta$  соответствует нижнему пределу измеряемой мощности СВЧ.

Измеряемая величина	$K_m$	$K_e$	$C$	$N$	$\theta$
Численное значение	$3,74 \cdot 10^{-9}$ нм/рад	$0,63 \cdot 10^{-11}$ нм/вт	18 дБ	35 дБ	3°
Предельная погрешность определения	±0,6%	±1,4%	±0,1 дБ	±0,2 дБ	0,4%

Учитывая эти данные, можно определить предельное значение результирующей погрешности прибора. При значениях модуля коэффициента отражения нагрузки в основном тракте ответвителя  $|\Gamma_n| \leq 0,2$ , и при эффективном значении модуля коэффициента отражения во вторичных плечах направленного ответвителя  $|\Gamma_s| \leq 0,03$  суммарная погрешность прибора их превышает 3,5%.

Из схемы ваттметра следует, что комбинированный прибор характеризуется меньшей погрешностью рассогласования по сравнению с любым другим устройством пондеромоторного типа, высокой электрической прочностью, возможностью воспроизведения единицы мощности в широком диапазоне частот после соответственной аттестации прибора и ответвителя.

#### 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, 1969.

2. A. L. Cullen. A general method for the absolute measurement of microwave power. Proc. 9EE, part IV, v. 99, № 2, p. 112, April 1952.

3. В. С. Жилков, Ю. А. Шпагин, В. П. Середний и др. Исследование широкополосных схем пондеромоторных измерителей мощности СВЧ. Тезисы докладов Украинской респ. научн.-техн. конференции, посвященной 50-летию метрологической службы УССР, сентябрь 1972, стр. 158.