

Изобретение относится к радиоизмерительной технике сверхвысоких и крайневых частот и предназначено для эксплуатации в передающих трактах больших уровней мощности радиолокационных станций, связанных передатчиков, ускорителей, испытательных стендов.

Известно устройство для измерения мощности сверхвысоких частот, в основу работы которого положен эффект поглощения электромагнитных волн в боковых стенках волновода [Мартыненко Л.Г., Волков В.М., Кукуш В.Д., Зеленский А.М. Измеритель проходящей мощности на основе поглощающей стенки// Приборы и техника эксперимента, - 1974. - №1. - С. 145-146]. В этом устройстве в стенку прямоугольного волновода установлена поглощающая пластина, снабженная термопреобразователем, соединенным с индикатором.

В известном устройстве коэффициент преобразования сильно зависит от частоты из-за расположения одного термопреобразователя в узкой стенке. По этой же причине переменная составляющая погрешности рассогласования при изменении падающей или проходящей мощности достигает больших значений в полосе рабочих частот.

Наиболее близким к заявляемому ваттметру падающей мощности по совокупности признаков является устройство для измерения проходящей мощности СВЧ [Авт.св. СССР №462140, кл. G 01 R 21/06. 1975], содержащее отрезок прямоугольного волновода, две поглощающие пластины с установленными на них термодатчиками, подключенными к индикатору, расположенные на, середине узкой и на середине широкой стенок волновода в одной плоскости поперечного сечения.

В указанном устройстве коэффициент преобразования сильно зависит от частоты, особенно в коротковолновой области диапазона СВЧ и в диапазоне КВЧ, где размеры термодатчиков сравнимы с длиной волны и с размерами стенок волновода. Сигнал на выходе термодатчика, расположенного на узкой стенке, пропорционален продольной составляющей магнитного поля. Сигнал на выходе термодатчика, расположенного на середине широкой стенки, при поперечном размере термодатчика, сравнимом с размером широкой стенки, пропорционален поперечной составляющей магнитного поля и продольной составляющей магнитного поля. При сложении сигналов с двух термодатчиков результирующий сигнал определяется двойным воздействием продольной составляющей магнитного поля, которая с увеличением частоты уменьшается, и одиночным воздействием поперечной составляющей магнитного поля, которая с увеличением частоты увеличивается. Кроме этого, при прочих равных условиях, потери мощности в узкой стенке и в широкой стенке разные. Вследствие этого сигналы с термодатчиков, установленных на смежных стенках, не компенсируют противоположные частотные зависимости. Например, неравномерность, характеристики коэффициента преобразования в максимальной полосе рабочих частот стандартного прямоугольного волновода $\pm 20\%$ составляет $\pm 6,2\%$, $\pm 8,1\%$, $\pm 11,3\%$ для термодатчиков с поперечными размерами $h = 0,01a$, $h = 0,3a$, $h = 0,5a$, соответственно (a - размер широкой стенки волновода).

По этой же причине переменная составляющая погрешности рассогласования при измерении проходящей или падающей мощности достигает в полосе рабочих частот больших значений. Например, в максимальной полосе рабочих частот прямоугольного волновода $\pm 20\%$ предел указанной погрешности достигает $\pm 8,9\%$ при коэффициенте стоячей волны нагрузки не более 1,2.

Цель изобретения - создание ваттметра падающей мощности на прямоугольном волноводе, в котором новое расположение двух термодатчиков на стенках волновода, определяемое новым математическим выражением, позволяет уменьшить зависимость коэффициента преобразования от частоты, устранить погрешность рассогласования и использовать один широкополосный ваттметр вместо нескольких (двух-трех), предназначенных для эксплуатации в более узких полосах рабочих частот и обеспечивающих одинаковые или худшие характеристики.

Цель достигается тем, что в ваттметре падающей мощности, содержащем отрезок прямоугольного волновода с установленными в плоскостях внутренних поверхностей двух стенок, одна из которых узкая стенка, двумя поглощающими пластинами с размещенными на них термодатчиками, подключенными к блоку индикации, согласно изобретению, одна из поглощающих пластин установлена в торцевую стенку отрезка прямоугольного волновода, подсоединенного к плечу Y-циркулятора, неразвязанному со входным плечом, а размеры термодатчиков и размеры, определяющие положение термодатчиков на стенках, находятся из выражения

$$\frac{h_b}{h_y} = \frac{(h_x / l) (1 - \varphi_x) (1 - D)}{(\Lambda_n / \lambda_{кр})^2 (1 - \varphi_n) D - (\Lambda_b / \lambda_{кр})^2 (1 - \varphi_b)},$$

где h_b - ширина термодатчика, размещенного на узкой стенке;

h_y - размер по узкой стенке термодатчика, размещенного на торцевой стенке;

h_x - размер того же термодатчика по широкой стенке;

l - длина термодатчика, размещенного на узкой стенке, определяемая из выражения

$$D = \frac{D' (1 - \varphi_n) - (\Lambda_{ср} / \Lambda_n)^2 (1 - \varphi_{ср}) + (\Lambda_b / \Lambda_n)^2 (1 - D') (1 - \varphi_b)}{(1 - \varphi_n) - (\Lambda_{ср} / \Lambda_n)^2 (1 - \varphi_{ср})},$$

D , D' - функции, введенные для краткости записи;

$$D = \sqrt{\frac{\Lambda_n}{\Lambda_b}} \frac{\Lambda_b}{\Lambda_n}; \quad D' = \sqrt{\frac{\Lambda_n}{\Lambda_{ср}}} \frac{\Lambda_{ср}}{\Lambda_n};$$

λ_n , λ_b - длина волны на нижней и на верхней частоте полосы рабочих частот, соответственно;

Λ_n , Λ_b - длина волны в волноводе на нижней и на верхней частоте полосы рабочих частот, соответственно;

λ_{cp} - длина волны на средней частоте полосы рабочих частот;

Λ_{cp} - длина волны в волноводе на средней частоте;

φ_n - функция, зависящая от нормированных продольных размеров, определяемых на нижней частоте;

$$\varphi_n = \frac{\sin 2\pi l / \Lambda_n}{2\pi l / \Lambda_n} \cos 2\pi \left(2 \frac{Z}{\Lambda_n} + \frac{l}{\Lambda_n} \right);$$

Z - расстояние от торцевой стенки до края термодатчика, размещенного на узкой стенке;

φ_{cp} - функция, зависящая от нормированных продольных размеров, определяемых на средней частоте;

$$\varphi_{cp} = \frac{\sin 2\pi l / \Lambda_{cp}}{2\pi l / \Lambda_{cp}} \cos 2\pi \left(2 \frac{Z}{\Lambda_{cp}} + \frac{l}{\Lambda_{cp}} \right);$$

φ_b - Функция, зависящая от нормированных продольных размеров, определяемых на верхней частоте;

$$\varphi_b = \frac{\sin 2\pi l / \Lambda_b}{2\pi l / \Lambda_b} \cos 2\pi \left(2 \frac{Z}{\Lambda_b} + \frac{l}{\Lambda_b} \right);$$

φ_x - функция, характеризующая положение термодатчика, расположенного на торцевой стенке;

$$\varphi_x = \frac{\sin \pi h_x / a}{\pi h_x / a} \cos \pi \left(2 \frac{x}{a} + \frac{h_x}{a} \right);$$

a - размер широкой стенки отрезка прямоугольного волновода;

x - расстояние от узкой стенки до края термодатчика, расположенного на торцевой стенке;

$\lambda_{кр}=2a$ - критическая длина волны.

Представленные соотношения позволяют выбором геометрических размеров термодатчиков и размеров, определяющих их положение на стенках, обеспечить равенство на граничных частотах и на средней частоте полосы рабочих частот мощности потерь на площади, занимаемой двумя термодатчиками на обеих стенках, и реализовать минимальную зависимость коэффициента преобразования от частоты в полосе рабочих частот вплоть до 40%.

На фиг. 1 приведен ваттметр падающей мощности; на фиг. 2 - отрезок прямоугольного волновода с поглощающими пластинами и термодатчиками (указаны основные геометрические размеры); на фиг. 3,4 - графики зависимости мощности потерь P, нормированной на значение падающей мощности $P_{пад}$, с указанием относительной полосы частот $\Delta f/f_{cp} = (f-f_{cp})/f_{cp}$ в процентах. Здесь и далее f_{cp} - центральная (средняя) частота максимальной полосы рабочих частот стандартного прямоугольного волновода $\pm 20\%$; P_m - потери мощности на площади, занимаемой термодатчиком, расположенным на торцевой стенке; P_y - потери мощности на площади, занимаемой термодатчиком, расположенным на узкой стенке, $P_{my} = P_m + P_y$. Кривые построены для волновода сечением $10 \times 23 \text{ мм}^2$ с поглощающими стенками из константана ($\sigma = 0,2083 \cdot 10^7 \text{ См/м}$) и с

размерами $x/a = 0,4$, $h_x/a = 0,2$, $h_y/b = 1$, $h_b/h_y = 0,32$, $0,65$. $l/\Lambda_{cp} = 0,4278$ (Λ_{cp} - длина волны в волноводе на частоте f_{cp}). Зависимости $P_{my}/P_{пад}$ на фиг. 3, 4 идентичны, но на фиг. 4 график построен в увеличенном масштабе с указанием минимального и максимального значений, среднего значения и отклонения от среднего в максимальной полосе рабочих частот.

Ваттметр падающей мощности содержит отрезок прямоугольного волновода 1, установленную в плоскости внутренней поверхности торцевой стенки поглощающую пластину 2 с размещенным на ее внешней поверхности на расстоянии x от узкой стенки термодатчиком 3, имеющим размеры $h_y \times h_x$, установленную в плоскости внутренней поверхности узкой стенки отрезка прямоугольного волновода поглощающую пластину 4 с размещенным на ее внешней поверхности на расстоянии Z от торцевой стенки термодатчиком 5, имеющим размеры $h_b \times l$, блок индикации 6, к которому подключены выходы обоих термодатчиков, а также Y-циркулятор 7, в плечо которого, неразвязанное со входным плечом 8, подсоединен отрезок 1 прямоугольного волновода. Плечо 9 Y-циркулятора 7 является выходным.

Термодатчик представляет собой термопару или батарею пленочных дифференциальных термопар, например, на основе соединения сурьмы и висмута. В блоке индикации предусмотрены схемы начальной регулировки, суммирования и усиления сигналов термодатчиков, а также индикаторный прибор. Поглощающие пластины 2, 4 выполнены толщиной в несколько скин-слоев, то есть достаточно тонкими для измерения температуры нагрева на внешних поверхностях и достаточно толстыми для предотвращения излучения электромагнитной энергии, а материалом могут служить никель, константан, нихром и др.

Ваттметр падающей мощности работает следующим образом. При подаче мощности в передающий тракт со входного плеча 8 Y-циркулятора 7 мощность поступает в неразвязанное со входным плечом плечо, то есть в отрезок прямоугольного волновода 1. Отразившись от торцевой стенки, мощность поступает в выходное плечо 9 Y-циркулятора 7, подключенное к нагрузке. Отраженная от нагрузки мощность, в соответствии с принципом действия Y-циркулятора, проходит в сторону генератора (в обратном направлении) из плеча 9 в плечо 8, минуя плечо с отрезком прямоугольного волновода 1. Падающая мощность частично рассеивается в стенках, нагревая поглощающие пластины 2,4. Термодатчики 3,5 преобразуют тепловую энергию в электрическую. Сигналы от термодатчиков 3,5 подаются на вход блока индикации 6, где суммируются, обрабатываются и индицируются. Суммарный сигнал от двух термодатчиков пропорционален падающей мощности. Сигнал от термодатчика 5 пропорционален поперечной составляющей магнитного поля и увеличивается с ростом частоты, так как потери мощности в торцевой стенке определяются только поперечной составляющей (фиг.3, кривая P_m). Сигнал от термодатчика 3 пропорционален продольной составляющей магнитного поля и уменьшается с ростом частоты (кривая P_y). Зависимость от частоты суммарного результата $P_{my} = P_m + P_y$, как видно из фиг.3, значительно меньше аналогичных зависимостей P_m и P_y . Выбором геометрических размеров термодатчиков и их положения обеспечивается равенство значений P_{my} на граничных частотах и на средней частоте полосы рабочих частот. В результате реализуется

минимальное отклонение значений $P_{\text{пу}}$ от среднего значения в полосе рабочих частот. Зависимость $P_{\text{пу}}$ от частоты идентична по характеру зависимости коэффициента преобразования от частоты, поскольку распределение температуры на внешней поверхности поглощающей пластины идентично распределению поглощенной мощности на участках, удаленных от мест сочленения поглощающих пластин с массивными стенками [Волков В.М., Мартыненко Л.Г., Кукуш В.Д. Исследование теплового режима поглощающей стенки в прямоугольном рассогласованном волноводе с волной H_{10} // Радиотехника/ Респ. междувед. науч.-техн.сб. - Харьков: Изд-воХГУ. - 1974. - Вып. 28. -С. 120-127].

Например, для кривых на фиг. 3,4 отклонение $P_{\text{пу}}$ от среднего значения 6,448, полученного с учетом минимального значения 6,342 и максимального значения 6,554, составляет $\pm 1,64\%$ в максимальной полосе рабочих частот прямоугольного волновода $\pm 20\%$. Для устройства прототипа с шириной термодатчиков $h = 0,3a$ отклонение коэффициента преобразования в той же полосе рабочих частот составляет $\pm 8,1\%$, то есть в 5 раз больше.

С уменьшением полосы рабочих частот отклонение коэффициента преобразования от среднего значения существенно уменьшается и, например, уже в полосе $\pm 15\%$ составляет менее одного процента (см. табл. 1), а в постоянной полосе рабочих частот не изменяется при вариации геометрических размеров, вычисляемых из приведенного соотношения (см. табл.2). Данные табл. 3 обосновывают выбор длины термодатчика по приведенному выражению.

Т а б л и ц а 1

Отклонение коэффициента преобразования от среднего значения в различных полосах рабочих частот при $h_y/b = 1$, $h_x/a = 0,2$, $x/a = 0,4$, $1/\Lambda_{\text{ср}} = 0,4278$

Полоса рабочих частот, %	h_b/h_y	Отклонение коэффициента преобразования, %
± 25	0,384	$\pm 3,93$
± 20	0,321	$\pm 1,64$
± 15	0,288	$\pm 0,63$
± 10	0,269	$\pm 0,19$
± 5	0,260	$\pm 0,04$

Т а б л и ц а 2

Значения параметров, обеспечивающих отклонение коэффициента преобразования от среднего значения в полосе рабочих частот $\pm 20\%$, равное $\pm 1,643\%$ *)

h_x/a	x/a	h_b/h_y	h_x/a	x/a	h_b/h_y
0,2	$x=(a-h_x)/2$	0,321	0,2	0	0,040
0,3		0,462	0,2	0,1	0,118
0,5		0,678	0,2	0,2	0,214
1,0		0,828	0,2	0,3	0,291

*) $1/\Lambda_{\text{ср}} = 0,4278$

Таблица 3

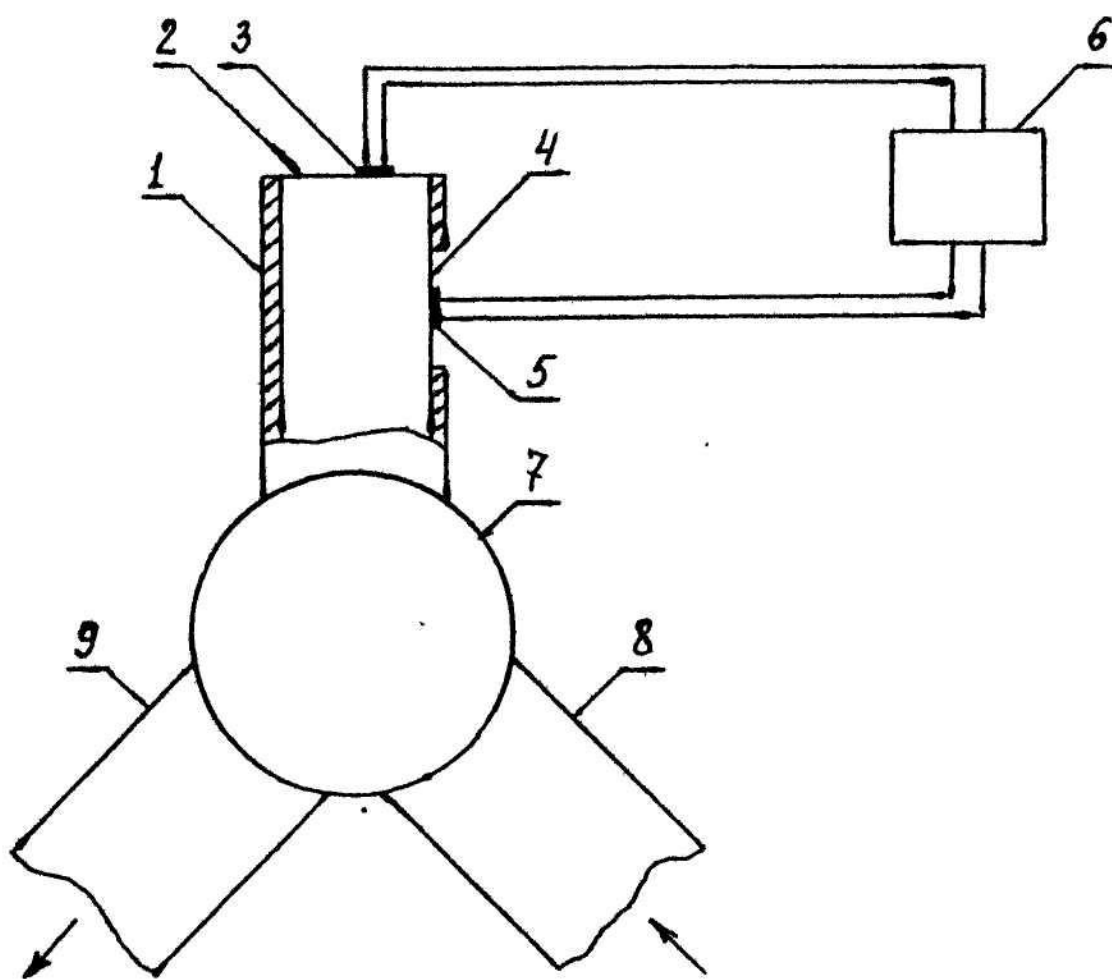
Отклонение коэффициента преобразования от среднего значения в полосе частот $\pm 20\%$
при разной длине термодатчика I

$l/\Lambda_{\text{ср}}$	h_b/h_y	Отклонение, %	Наименьшее значение
0,5	0,237	$\pm 2,74$	
0,478	0,253	$\pm 2,18$	
0,465	0,266	$\pm 1,93$	
0,457	0,275	$\pm 1,82$	
0,438	0,306	$\pm 1,72$	

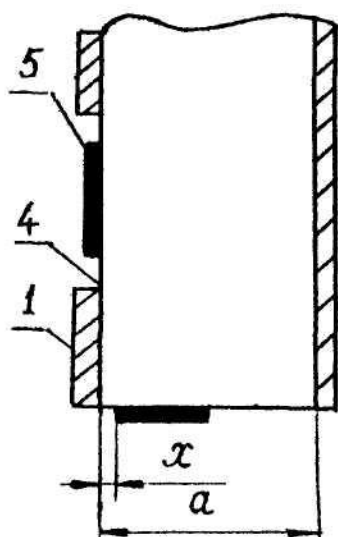
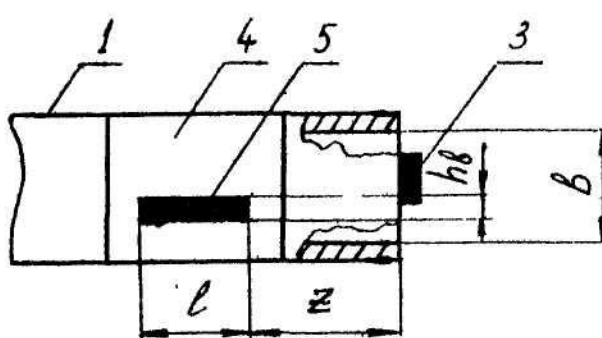
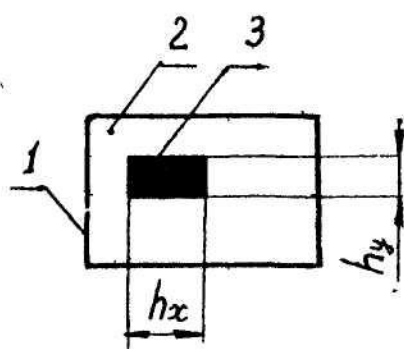
Продолжение табл. 3

$l/\Lambda_{\text{ср}}$	h_b/h_y	Отклонение, %	Наименьшее значение
0,4278 ^{*)}	0,32065	$\pm 1,64$	$\pm 1,64\%$
0,4144	0,364	$\pm 1,76$	
0,399	0,392	$\pm 1,87$	

^{*)} Значение рассчитано по приведенному выражению.



Фиг. 1.



$\Phi_{uz. 2}$

