

**ВОЛНОВОДНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПОГЛОЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ  
МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА**

Как правило, измерители СВЧ-мощности состоят из приемного преобразователя и индикаторного устройства, причем не являясь самостоятельным, каждый из блоков автономен. Диапазон частот и уровень измеряемой мощности, которые в основном определяют область применения измерителя мощности, обусловлены приемным преобразователем.

Известны различные способы измерения мощности СВЧ [1;2], но для измерения средних и больших уровней мощности наибольшее распространение получил калориметрический способ измерения, что нашло отражение в конструкциях серийных СВЧ-ваттметров. Основные достоинства метода — высокая точность измерения и стабильность параметров в условиях эксплуатации. Недостатки — значительные масса и габаритные размеры, большое время установления показания (до 60 с). Однако в области миллиметрового диапазона часто из-за малых размеров сечений волноводного тракта данные недостатки отсутствуют либо их значение становится несущественным. При этом масса калориметрического преобразователя может быть снижена до 300 — 400 г. Развитие науки и техники выдвинуло задачу разработки контрольно-измерительной аппаратуры для миллиметрового диапазона частот (в том числе и его коротковолновой части), в состав которой входят измерители мощности. Конструкция волноводного измерителя мощности (калориметрического преобразователя) представлена на рисунке.

Данный измеритель мощности предназначен для измерения средних значений мощности непрерывных и импульсно-модулированных колебаний в динамическом диапазоне от 10 мВт до 10 В в широком диапазоне частот миллиметровых длин волн 25,6 — 178,4 ГГц.

Конструкция калориметрического преобразователя построена по классической схеме и состоит из двух волноводных секций с объемным СВЧ-поглотителем *б*, низкочастотного нагревателя *б* и термодатчика [3].

Волноводные секции имеют размеры сечения  $7,2 \times 3,4$  мм. Применение сменных пирамидальных переходов 1 для размеров сечения  $5,2 \times 2,6$ ;  $3,1 \times 1,8$ ;  $2,4 \times 1,2$ ;  $1,6 \times 0,8$  мм расширяет частотный диапазон измерителя мощности и охватывает практически весь миллиметровый диапазон длин волн. Объемный СВЧ-поглотитель изготовлен в форме клина, равномерно сужающегося в трех плоскостях. Материал, из которого изготовлен клин, имеет высокие электродинамические показатели и обладает хорошей теплопроводностью (таким материалом может служить монокристаллический кремний). Измеренное значение КСВН в рабочем диапазоне частот составляет не более 1,3.

В волноводной секции опорного канала вместо аналогичного клина (традиционное решение тепловой симметрии, описанное в литературе) расположен балансир 8, имеющий простейшую форму параллелепипеда для плотной посадки в волновод, изготовленный из латуни. В качестве материала балансира может быть выбран любой другой доступный металл.

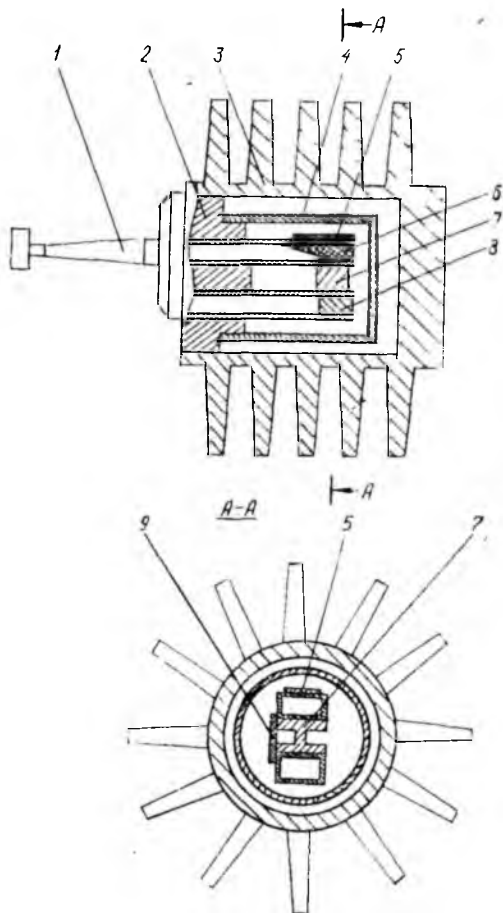
При этом необходимо, чтобы постоянные времени в каждой секции были равны между собой, т. е. должно выполняться соотношение

$$\frac{c_1 m_1}{\lambda_1} = \frac{c_2 m_2}{\lambda_2},$$

где  $c_1, c_2$  — теплоемкости волноводных секций;  $m_1, m_2$  — массы секций;  $\lambda_1, \lambda_2$  — теплопроводности секций.

Данное решение позволяет подбором массы балансира оптимизировать переходный процесс и получить время установления показаний 10 — 15 с.

В качестве термодатчика использован модуль термоэлектрический 9 из серийного изделия МЗ-55. При этом обеспечивается коэффициент



преобразования 1 — 2 мВ/Вт. Нагреватель 5 необходим для калибровки измерителя мощности и проверки его параметров на постоянном (низкочастотном) токе. Нагреватель расположен таким образом, что воздействие равных по значению мощностей от нагревателя и поглотителя вызывает различное значение термо-ЭДС термоэлектрического модуля. Возникающая при этом неэквивалентность частично компенсируется потерями СВЧ-мощности в подводящем тракте. Разрешающая способность измерения мощности на нижнем пределе составляет 0,1 мВт и при использовании высокочувствительного индикаторного устройства может быть снижена до 0,01 мВт при стабильности «нуля» не более 0,02 мВт/мин. Допускается кратковременная (до 5 мин) перегрузка мощностью до 15 Вт. Тепловая система является пассивной, основу которой составляет игольчатый радиатор 3. Погрешность измерения составляет от 6 — 10 % (в диапазоне частот 25,6—78,3 ГГц) до 10 — 15 % (в диапазоне частот 78,3—178,6 ГГц).

Основные факторы, определяющие погрешность измерения, следующие: точность средств поверки и градуировки; частотный ход коэффициента калибровки; неопределенность потерь при многократных перестыковках соединительного фланца; нелинейность динамической характеристики измерителя мощности; неопределенность вследствие рассогласования; изменение характеристик прибора в процессе эксплуатации за межповерочный интервал.

Согласно государственной поверочной схеме ГОСТ 8.535—85 основная погрешность измерения (без учета погрешности за счет рассогласования) при поверке измерителя мощности определяется соотношением  $\delta_{осн} = \delta_{свч} + \delta_{нел}(2)$ , где  $\delta_{осн}$  — основная погрешность измерения мощности;  $\delta_{свч}$  — погрешность измерения СВЧ-мощности во всем частотном диапазоне на нижнем пределе измерения;  $\delta_{нел}$  — погрешность, обусловленная нелинейностью динамической характеристики.

Погрешность  $\delta_{свч}$  определяется путем непосредственного сравнения показаний измерителя мощности и образцового средства измерения. В качестве последних применяют ваттметры проходящей и поглощаемой мощности с основной погрешностью 2 — 2,5 % (в зависимости от частотного диапазона). Значение  $\delta_{свч}$  с учетом основной погрешности средств поверки и градуировки лежит в пределах 5 — 12 %.

Погрешность  $\delta_{нел}$  определяется на постоянном токе методом косвенных измерений. Значение  $\delta_{нел}$  в предлагаемой конструкции измерителя мощности достигает 4 % и при настройке снижается до 1 %.

Таким образом, значение основной погрешности измерителя мощности не превысит 6 — 14 %. Погрешность за счет рассогласования определяется известными методами [2]. Изменение характеристик прибора за межповерочный интервал вносит дополнительную погрешность, которая может быть соизмерима с основной погрешностью измерения. При межповерочном интервале в один год эта погрешность для данной конструкции измерителя мощности составила не более 2 %. Представленная конструкция калориметрического преобразователя положена в основу разрабатываемых ваттметров поглощаемой мощности МЗ-78 и МЗ-80. В составе с индикаторным устрой-

ством ваттметры имеют следующие основные характеристики. Данные характеристики обеспечиваются в интервале рабочих температур  $-10 \pm +50^{\circ}\text{C}$ . Ваттметры МЗ-38 и МЗ-80 являются первыми отечественными измерителями мощности среднего уровня в коротковолновой части миллиметрового диапазона.

Основные данные	МЗ-73	МЗ-80
Диапазон частот, ГГц	118,1—178,4	78,3—118,1
Диапазон измерения мощности, Вт	0,01—10,0	0,01—1,0
Основная погрешность измерения, %	15	15
КСВН	1,3	1,3

Список литературы: 1. Валитов Р. А., Сретенский В. Н. Радиотехнические измерения. М., 1970. 712 с. 2. Билько М. И., Томашевский А. К. Измерение мощности на СВЧ. М., 1986. 168 с. 3. Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах. Методы и техника / Валитов Р.А., Дюбко С. Ф., Макаренко Б. И. и др. М., 1984. 296 с.

Поступила в редколлегию 20.04.87