

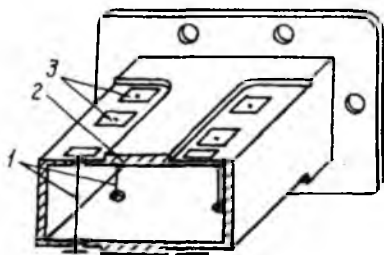
УДК 621.382

А. В. МЫЛЬНИКОВ, канд. техн. наук

РАСШИРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ БОЛОМЕТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ СВЧ-ВАТТМЕТРОВ

Среди многих типов преобразователей СВЧ-мощности болометрические преобразователи обладают наибольшей стабильностью. Согласно данным зарубежной печати болометрические измерители мощности достаточно стабильны в течение 10 лет, а рекомендуемый межповерочный интервал для них составляет 2—3 года [1]. Волноводные многоэлементные болометрические преобразователи, созданные во Всесоюзном научно-исследовательском институте физико-технических и радио-измерений имеют стабильность по калибровочному коэффициенту не хуже 0,3 % в год [2]. На основе этих преобразователей созданы ваттметры для измерения среднего значения мощности и импульсные ваттметры [3].

Первые попытки использовать болометрические преобразователи для измерения импульсной мощности методом интегрирования —



дифференцирования, были предприняты еще в 60-х годах. Однако разработанные для коаксиального тракта импульсные ваттметры не нашли широкого применения из-за недостаточной устойчивости болометрических преобразователей к перегрузкам. Болометры сгорали не только от перегрузочной СВЧ-мощности, но и от подключения преобразователя к тракту при включении и выключении приборов. Сами болометры представляли собой платиновую нить толщиной около 1 мкм или тонкую пленку, напыленную на подложке [4].

На несколько порядков более высокую устойчивость к перегрузкам имеют волноводные многоэлементные болометрические преобразователи, в которых болометры выполнены из вольфрамовой проволоки диаметром 6 мкм [5]. Схематически конструкция такого преобразователя представлена на рисунке. Максимально допустимая импульсная мощность для этих преобразователей ограничивается энергией сгорания болометра и может быть определена расчетным путем [6]. Например, для 16-элементного болометрического преобразователя на сечение волновода 72×34 мм максимально допустимая импульсная мощность составляет 3 кВт при длительности импульса 10 мкс.

Очевидно, что если увеличивать диаметр болометра, то его устойчивость к перегрузкам возрастает, однако зависимость перегрузочной импульсной мощности от диаметра болометра не является прямо пропорциональной. Как известно [5], энергия импульса СВЧ, вызывающая сгорание болометра W_k , прямо пропорциональна его теплоемкости C , калибровочному коэффициенту преобразователя K_k и числу болометров N .

Увеличение диаметра проволоки, из которой сделан болометр, от d до D приводит к возрастанию его теплоемкости в $(D/d)^2$ раз. Кроме того, одновременно уменьшается активное сопротивление болометра. Уменьшение сопротивления по постоянному току пропорционально увеличению сечения болометра, т. е. в $(D/d)^2$ раз, на СВЧ активное сопротивление уменьшается в зависимости от соотношения диаметра к глубине скин-слоя δ . При $D \ll \delta$ активное сопротивление уменьшается в $(D/d)^2$ раз, при $d \gg \delta$ — в D/d раз. Примерно во столько же раз увеличивается и калибровочный коэффициент болометрического преобразователя. Следовательно, энергия импульса СВЧ, вызывающая сгорание болометров, возрастает, по крайней мере, в $(D/d)^3$ раз. В этом случае калибровочный коэффициент преобразователя увеличивается только в D/d раз.

Применение болометров большого диаметра не только увеличивает импульсную прочность преобразователя, но увеличивает и механическую прочность болометров, улучшает технологичность изготовления. Постоянная времени болометров увеличивается при этом в D/d раз, что дает возможность расширить диапазон измеряемых длительностей импульсов в сторону больших значений.

Повышение уровня измеряемой мощности обычно достигается применением делителей мощности, например, в виде направленных ответвителей. При этом уровень измеряемого среднего значения мощности, уровень измеряемой импульсной мощности и импульсная прочность ваттметра увеличиваются в одинаковое число раз, равное

коэффициенту деления примененного делителя. Увеличение диаметра болометра позволяет изменить уровень измеряемого среднего значения мощности и уровень импульсной мощности в D/d и $(D/d)^3$ раз. Последнее обстоятельство имеет важное значение, если импульсный ваттметр калибруется по среднему значению мощности, как в случае [3]. Откалибровав такой ваттметр в режиме непрерывной генерации при сравнительно низком уровне мощности, например, с помощью возимого эталона [2], можно при одинаковой точности измерить импульсную мощность более высокого уровня (в $(D/d)^2$ раз), чем в случае применения более тонких болометров и направленного ответвителя.

Для сравнения реальных технических характеристик были изготовлены преобразователи, в которых вместо болометров диаметром 6 мкм были впаины болометры из того же материала диаметром 30 мкм. При этом максимальное измеряемое среднее значение мощности увеличилось в 10 раз, максимальная измеряемая импульсная мощность, а также импульсная прочность преобразователя — в 300 раз. Постоянная времени преобразователя составила 10 мс. Согласование с волноводным трактом осталось в пределах прежних допусков. Конструкция преобразователя выдерживала импульсную мощность более 10^5 Вт без электрического пробоя.

Диаметр болометра можно увеличить еще в несколько раз. Соответственно изменятся и характеристики ваттметра, однако при этом имеется, по крайней мере, два ограничения. Во-первых, сопротивление болометра уменьшается до значений менее 1 Ома, что создает определенные трудности при разработке систем индикации. Во-вторых, становятся соизмеримыми потери СВЧ-мощности в болометрах и стенках преобразователя, в результате чего нагрев стенок волновода существенно влияет на показания ваттметра в режиме измерения средней мощности. Происходит дрейф показаний ваттметра с постоянной времени, равной тепловой постоянной всего отрезка волновода. Частично этот дрейф можно скомпенсировать с помощью термокомпенсационных болометров. Так при диаметре болометров 30 мкм удалось снизить дрейф до значения, существенно меньшего основной погрешности ваттметра. Однако при дальнейшем увеличении отношения потерь в стенках волновода к потерям в болометрах потребуются дополнительные меры по учету влияния нагрева стенок.

Следовательно, динамический диапазон болометрических импульсных ваттметров целесообразно расширять путем увеличения диаметра болометров. Максимальная импульсная мощность и импульсная прочность возрастет, по крайней мере, в 300 раз при повышении калибровочного коэффициента всего в 10 раз.

Список литературы: 1. Хоур К. А. Деятельность поверочных служб Национального бюро стандартов США // Тр. Ин-та. инж. по электротехнике и радиоэлектронике. 1986. 74. № 1. С. 37 — 41. 2. Перепелкин В. А., Пантелеев Т. Р., Чуйко В. Г. Рабочий возимый эталон единицы мощности СВЧ в волноводных трактах // Измер. техника. 1985. № 4. С. 47 — 52. 3. Мыльников А. В. Прецизионный ваттметр импульсной мощности СВЧ // Измер. техника. 1984. № 8. С. 64 — 66. 4. Измерение мощности на СВЧ / Билько М. И., Томашевский А. К., Шаров П. П., Баймуратов Е. А. М., 1976. 168. с. 5. Технические характеристики

и применение многоэлементных волноводных болометрических преобразователей / Григорова В. Р., Дуров А. М., Механиков А. И. и др. // Исследования в области радиотехнических измерений: Тр. Всесоюз. НИИ физ.-техн. и радиоизмерений. 1979. Вып. 40(70). С. 4 — 11. 6. Мыльников А. В., Чуйко В. Г., Недопекин В. С. Исследование основных импульсных характеристик волноводных болометрических преобразователей проходящей мощности // Методы и средства радиотехнических измерений: Тр. Всесоюз. НИИ физ.-техн. и радиоизмерений. 1976. Вып. 27(57). С. 6 — 12.

Поступила в редколлегию 20.04.87