

**КОРРЕКЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С КОНУСНЫМИ ПРИЕМНЫМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ**

Во многих средствах измерений мощности и энергии лазерного излучения первичные измерительные преобразователи построены на основе конусных приемных элементов [1]. Они обеспечивают высокие метрологические характеристики, обладают широким динамическим и спектральным диапазонами, но инерционны и имеют заметную неравномерность зонной характеристики (ЗХ), что приводит к дополнительной погрешности измерений. Термочувствительными элементами являются батареи термопар или болометры. Для улучшения ЗХ преобразователей батареи термопар устанавливают по нескольким образующим конуса [2], а болометры распределяют по всей его поверхности, интегрируя приращение температуры. Это — их важное преимущество.

Одной из причин неравномерности ЗХ является то, что теплоемкость на единицу длины конуса (погонная теплоемкость) уменьшается в направлении от основания к его вершине. Для выравнивания ЗХ изготавливают конус, в котором толщина стенки увеличивается к вершине так, что погонная теплоемкость остается постоянной [2]. Однако изготовление такого конуса сложно, а увеличение его массы ведет к повышению инерционности преобразователя.

Рассмотрим возможность коррекции характеристик измерительных преобразователей путем изменения конструкции приемного элемента.

Известно, что быстродействие преобразователя и распределение его чувствительности по входной апертуре (зонная характеристика) определяются условиями теплообмена приемного элемента с окружающей средой и другими элементами конструкции. Поэтому для изменения указанных характеристик необходимо обеспечить возможность изменения этих условий. Это можно осуществить установкой конуса основанием на теплоотвод через вспомогательный элемент — буферную вставку, термическое сопротивление которой можно изменять в требуемых границах на стадии изготовления приемного элемента. Очевидно, что такая вставка должна быть изготовлена из материала, имеющего более низкую теплопроводность, чем материал конуса. В наших экспериментах для конуса использовалась медь, для вставки — константан, нержавеющая сталь, сплав медь-никель. В случае установки конуса непосредственно на теплоотвод (без вставки) быстродействие преобразователя существенно повысилось по сравнению с изолированным приемным элементом, но значительно ухудшилась его зонная характеристика. При включении вставки эти характеристики принимают промежуточные значения (таблица), что свидетельствует о возможности их коррекции в желаемом направлении. Однако наилучшие результаты достигнуты при использовании дис-

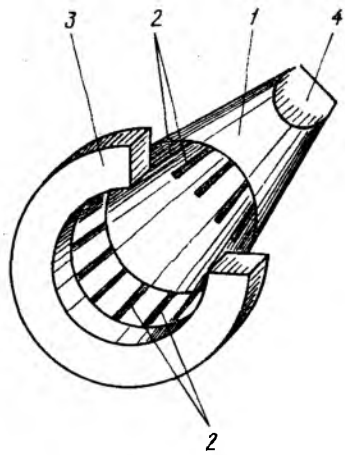
Особенности конусного приемного элемента	Параметры преобразователя		
	Постоянная времени, с	Чувствительность, мВ/Вт	Максимальная неравномерность зонной характеристики, %

Изолирован от теплоотвода
Смонтирован основанием на теплоотводе
Установлен на теплоотводе через вставку из нержавеющей стали
Связан с теплоотводом через стальные перемычки
Конус усеченной формы, связан с теплоотводом через стальные перемычки

42	270	12
6	5	60
17	175	20
20	210	20
14	195	6

клетчатой вставки, составленной из отдельных перемычек. Выбирая их материал, диаметр, длину и шаг установки можно в широких пределах изменять быстродействие преобразователя, сохраняя приемлемыми другие характеристики.

Одной из причин неравномерности ЗХ, как отмечалось, является непостоянство погонной теплоемкости конуса вдоль его оси, а именно: теплоемкость минимальна у вершины конуса. Для коррекции ЗХ этот участок (примерно 1/3 его высоты) необходимо удалить, а чтобы сохранить полость преобразователя, образовавшийся усеченный конус 1 сплюснуть у верхнего основания 4 (рисунк). Связав такой конус с теплоотводом 3 через перемычки 2 также можно добиться желаемого сочетания быстродействия, чувствительности и равномерности ЗХ преобразователя. В разработанном нами экспериментальном образце преобразователя, апертура которого 14 мм, длина приемного элемента (части, воспринимающей излучение) 20 мм, длина перемычек — 5 мм, их диаметр 0,4 мм, материал перемычек сталь, количество перемычек 12 шт., значения этих параметров составили 14 с, 195 мВ/Вт, ± 6 %. Преобразователь помещался в пассивный термостат. В качестве термочувствительного элемента использовался болометр из никелевого микропровода диаметром 50 мкм, распределенный по всей поверхности приемного элемента. Сопротивление болометра 800 Ом, напряжение питания моста 3 В.



Зонная характеристика такого преобразователя существенно улучшилась по сравнению с преобразователями других конструкций (таблица). Она снималась в двух направлениях: вдоль образовавше-

гося ребра (у вершины конуса) и в перпендикулярном направлении В эксперименте использовался гелий-неоновый лазер ОКГ-12. Его лучок фокусировался до диаметра 1 мм. При уменьшении длины конуса сокращается путь передачи теплоты, что также способствует некоторому повышению быстродействия и уменьшению времени заладывания. Последнее очень важно для повышения устойчивости ваттметров, построенных по замкнутой структурной схеме (автобалансных) [3].

Хотя быстродействие описанных преобразователей и повысилось, в ряде случаев оно все же может оказаться неудовлетворительным, так как, например, при постоянной времени $\tau = 12$ с время установления показаний ваттметра ($t_y \approx 6\tau$) превышает 1 мин. Кроме того, за счет прогрева теплоотвода возможна «тянучка» — длительное повышение температуры приемного элемента и теплоотвода с малой скоростью. Для устранения этого недостатка были разработаны градиентные конусные преобразователи по принципу дисковых [4] или стержневых [1].

Конусный приемный элемент разбит на два участка: рабочий, воспринимающий излучение, и компенсационный, выполняющий функции теплопроводника. Они соединены между собой теплопроводящими перемычками. На каждом из участков установлен болометр. Болометры включены в дифференциальный мост. Неравномерность зонной характеристики таких преобразователей составила также $\pm 6\%$, и постоянная времени 10 с, чувствительность 130 мВ/Вт. Для уменьшения размеров преобразователя компенсационному участку приемного элемента необходимо придать цилиндрическую форму, а для повышения быстродействия (за счет уменьшения градиента температур между участками) он должен быть изготовлен не из меди, а из материала с более низкой теплопроводностью, например из константана.

Дальнейшее повышение быстродействия ваттметров возможно структурными методами: их построением по замкнутой схеме [3] или включением в схему электрических корректирующих звеньев [5]. При использовании градиентного измерительного преобразователя в экспериментальном образце автобалансного ваттметра, работающего в динамическом диапазоне $10^{-3} - 1$ Вт, время установления показаний составило 5 с.

Таким образом, изменение формы и конструкции конусного приемного элемента и задание оптимальных условий передачи тепла с конуса на теплоотвод путем изменения термического сопротивления буферной вставки позволяет получить достаточно высокую равномерность зонной характеристики измерительных преобразователей и повысить быстродействие ваттметров.

Список литературы: 1. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения / Под ред. А. Ф. Котюка. М., 1981. 288 с. 2. Кузьмичев В. М., Зинченко Н. И. Исследование конусного калориметра для измерения энергии импульсных оптических квантовых генераторов // Импульс. фотометрия. 1973. Вып. 3. С. 41—46. 3. Кукуш В. Д., Овчинников И. К., Цар Я. П. Анализ устойчивости статического калориметра СВЧ со значительным временем запаздывания // Тр. VIII конференции «Автоматический контроль и методы электрических измерений». Новосибирск, 1971. Т. 1. С. 225—230. 4. Тесленко А. И.,

Кукуш В. Д., Дидык Л. А. Малогабаритный измеритель мощности излучения лазера // Приборы и техника эксперимента. 1978. № 1. С. 204 — 205. 5. Шукинов В. Е. Корректирующие звенья в устройствах измерения нестационарных температур. М., 1970. 120 с.

Поступила в редколлегию 16.04.87

УДК 621.317

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-ТРАКТОВ

И. К. БОНДАРЕНКО, д-р техн. наук, Ю. Б. ГИМПЕЛЕВИЧ, канд. техн. наук

НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ СВЧ-ДИАПАЗОНА

Номенклатура средств автоматического измерения параметров СВЧ-устройств достаточно широка. Рассмотрим некоторые тенденции развития автоматических средств измерения модулей и фаз коэффициентов отражения и передачи, которые применяются в различных областях науки и техники. С момента появления генераторов качающейся частоты СВЧ-диапазона (60-е гг.) эти средства непрерывно совершенствовались, пройдя путь от простейших анализаторов цепей аналогового типа до автоматических компьютерных систем или автоматических анализаторов цепей (ААЦ).

Проанализировать тенденции развития средств измерения можно, разбив их на группы по некоторым общим признакам. Однако не существует единого всеобъемлющего критерия классификации для столь широкого и непрерывно развивающегося класса приборов. Выделим наиболее важный, на наш взгляд, признак, на основе которого проведем укрупненную классификацию, проследим тенденции развития и область применения. В соответствии с этим признаком все приборы разобьем на три класса: приборы общего назначения; приборы для научных исследований; приборы для встроенного контроля и диагностики.

Приборы общего назначения. Эти приборы широко используются различными предприятиями при организации массового либо серийного выпуска продукции, а также конструкторскими подразделениями для проведения опытных работ. Рабочий диапазон частот этих приборов составляет от мегагерц до десятков гигагерц. Выпуск такой аппаратуры налажен у нас в стране и за рубежом в виде больших серий. В нашей стране выпускаются группы приборов Р2(РК2) (измерители КСВ и ослабления панорамные), Р4(РК4) (измерители комплексных коэффициентов передачи), Р5 (измерители неоднородностей линий передачи). В приборах первых двух групп используется рефлектометрический метод измерения, основанный на выделении падающей, отраженной и прошедшей волн с помощью направленных ответвителей либо мостовых схем. В приборах Р5 используется принцип локации тракта короткими импульсами или перепадом напряжения с последующим приемом отраженных сигналов. Приборы группы Р2 (РК2) по существу являются скалярными анализаторами частотных характеристик, Р4(РК4) — векторными анализаторами частотных