УДК 53.088

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СВЕТОВОЙ И ТЕПЛОВОЙ РАДИАЦИИ

Машкинов Л.Б.

ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук», Черноголовка, e-mail: mashkinov@ism.ac.ru

Рассматривается компенсационный измеритель радиационных световых и тепловых потоков, выполненный на основе дифференциальных термопарных батарей. Показывается, что в предложенном компенсационном режиме реализуется высокое быстродействие и широкий динамический диапазон. Измеряемый и компенсационный тепловые потоки имеют противоположную направленность (нагрев-охлаждение) и взаимно компенсируются, благодаря чему температура датчика остается практически постоянной. Это дает возможность значительно расширить (в сторону увеличения) диапазон измеряемых тепловых потоков. Предложенный для калориметров типа Кальве компенсационный режим измерения тепловых потоков может использоваться и в других приборах, имеющих аналогичный первичный преобразователь.

Ключевые слова: Компенсационный измеритель радиационных потоков

THE COMPENSATION MEASURING INSTRUMENT OF LIGHT AND THERMAL RADIATION

Mashkinov L.B.

Russian Academy of Sciences Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS, Chernogolovka, e-mail: mashkinov@ism.ac.ru

We consider the compensation measuring radiation of light and heat fluxes, made on the basis of differential thermocouple batteries. It is shown that the proposed compensation regime implemented by high speed and wide dynamic range. Measuring and compensating heat flow in opposite directions (heating-cooling) and cancel each other out, so that the sensor temperature remains practically constant. This makes it possible to expand (increase) range of measurable heat flows. Suggestions for compensation Calvet type calorimeter measurement mode heat fluxes can be used in other devices with the same transducer.

Keywords: Compensation measuring instrument of radiation streams

В настоящее время наибольшее распространение получили измерители радиационных световых (тепловых) потоков выполненные на основе фотодиодов. Однако, они имеют следующие основные недостатки: нелинейность амплитудно-частотных характеристик, зависимость чувствительности от окружающей температуры, «старение». Существуют также датчики состоящие из двух групп тонкопленочных термопар, включенных дифференциально [1]. Одна группа размещена на тонкой подложке и покрыта «чернью» для более полного поглощения измеряемого радиационного потока, поступающего через окошко, закрытое сапфировым или германиевым светофильтром. Другая группа термопар включена электрически встречно первой и присоединена к металлическому теплоотводу, практически обеспечивающему постоянство температуры этой группы термопар. В отличие от фотодиодов, такие датчики обладают линейными амплитудно-частотными характеристиками и высокой температурной и временной стабильностью. Аналогичную структуру первичного преобразователя имеют дифференциальные калориметры [2].

Описание прибора

Ранее было предложено [3, 4] устройство автоматической компенсации измеряемого теплового потока подобного калориметра тепловым потоком противоположной полярности, который вырабатывается за счет эффекта Пельтье. Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

На рис. 1 условно изображены: 1 – дифференциальный калориметр, 2 – вибропреобразователь, 3 – усилитель, 4 – генератор импульсов.

Как правило, первичный преобразователь (калориметр) представляется апериодическим звеном первого порядка W(t) [4]. Полоса пропускания усилителя 3 и частота переключений модулятора 2 выбраны такими, что их можно считать безынерционными элементами по сравнению с W(t). В микрокалориметре ДАК-1 [4] постоянная времени равна $T \approx 150$ сек. Частота модулятора (механический вибропреобразователь) равнялась 60 Гц. Испытания калориметра в компенсационном режиме показали уменьшение постоянной времени до ≈ 65 с. С одной стороны, была показана эффективность указанного режима, с другой – сравнительное незначительное увеличение быстродей-

ствия. Нами объяснялось это инерционностью калориметрической ячейки, а также наличием между ячейкой и термопарами электроизоляционных прокладок состоящих из оксидированных тонких алюминиевых пластин, что создавало дополнительное термическое сопротивление. Другим положительным свойством компенсационного режима в калориметре типа Кальве является слабая зависимость чувствительности от температуры термостатирования (в нашем случае, в диапазоне 20÷400 °C). Поэтому не требовалась калибровка калориметра на каждой заданной температуре. Особенно, подобный режим полезен в сканирующей калориметрии, когда, например, измеряется количество теплоты и температура при фазовых переходах исследуемых веществ.

Для использования подобного компенсационного режима с малоинерционными датчиками радиационного теплового (светового) потока необходим более высокочастотный модулятор (полоса пропускания усилителя обычно не является ограничивающим фактором). В настоящее время используются схемы ключевых устройств на полевых транзисторах, работающие без заметных искажений на частотах в единицы-десятки килогерц.

На рис. 2 приведена схема компенсационного измерителя радиационных потоков, которая испытывалась в работе с датчиками [1]. Импульсы излучения в видимой и в инфракрасной области генерировались подачей токового импульса на светодиоды АЛ307Б или АЛ107А.

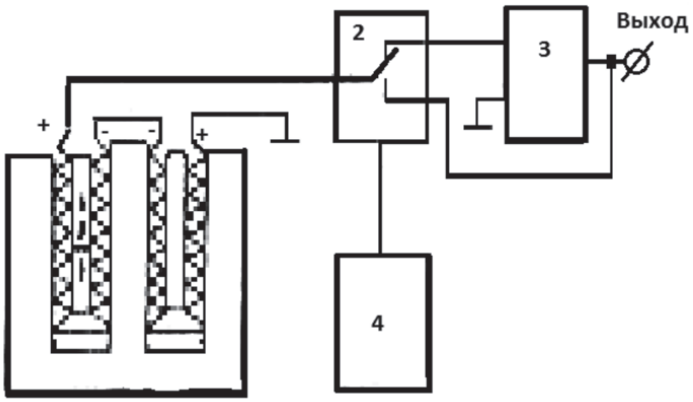

Рис. 1. Блок-схема компенсационного калориметра типа Кальве

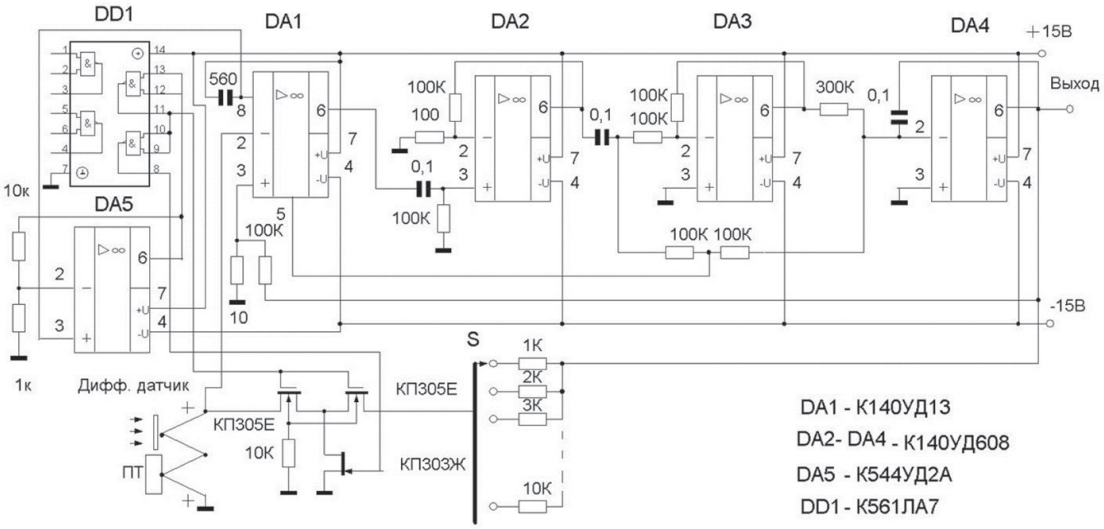

Рис. 2. Принципиальная схема измерителя световой и тепловой радиации

Схема разработана на основе М-ДМ усилителя [5], но отличается от последнего наличием импульсной токовой обратной связью в элемент Пельтье. Таким образом, прибор совмещает измерительную и компенсационную функции.

Ключевое устройство КП305Е управляется генератором импульсов DD1 таким образом, что в один из полупериодов меандра на усилитель подается измеряемый сигнал с датчика, в другой полупериод на датчик с выхода усилителя подается ток i (за счет последовательно включенного резистора), который вырабатывает в спаях термопар тепловой поток эффекта Пельтье. Поскольку измерительная и компенсационная термобатареи включены между собой встречно, измеряемый световой (тепловой) поток P можно записать в виде уравнения:

$$P = \gamma(\pi i + i^2R) - \gamma(-\pi i + i^2R) = \pi i, \qquad (1)$$

где γ – скважность управляющих импульсов (в нашем случае $\gamma = ½$), π – коэффициент Пельтье, R-сопротивления ветвей дифференциальной термобатареи, которые можно считать практически одинаковыми.

В результате, согласно выражению (1) выделяющиеся на сопротивлениях R ветвей термобатарей тепловые потоки взаимно вычитаются и выражение упрощается: $P = \pi i$ [3], т.е. измеряемый радиационный поток линейно связан с выходным током i (и с напряжением) усилителя. Внешний вид прибора приведен на рис. 3.

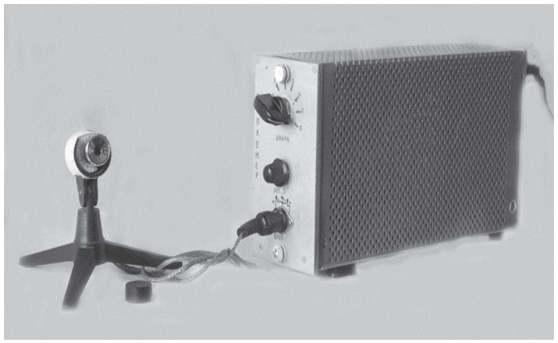

Рис. 3. Внешний вид прибора

Заключение

Измеряемый и компенсационный тепловые потоки имеют противоположную направленность (нагрев-охлаждение) и взаимно компенсируются, благодаря чему температура датчика остается практически постоянной. Это дает возможность значительно расширить (в сторону увеличения) диапазон измеряемых тепловых потоков в нашем случае ~ в 10 раз. Датчики радиационного светового (теплового) потока РТН-30СМ и РТН-30Г [1] имеют постоянную времени ~ 150 мс. В компенсационном режиме помимо расширения диапазона измеряемых потоков, постоянная времени уменьшается в $K\beta$ раз, где K – коэффициент усиления усилителя, β – коэффициент обратной связи. Так, при максимальной величине тока обратной связи 10 мА, $K\beta \approx 10$ и постоянные времени РТН-30С и РТН-30Г снижаются до ~ 15 мс. Включенный в ту же систему компенсации полостной приемник ПП-1 [1], являющийся моделью абсолютно черного тела, показал постоянную времени ~ 6 с при исходной – 60 с. Предложенный для калориметров типа Кальве компенсационный режим измерения тепловых потоков [3] может использоваться и в других приборах, имеющих аналогичный первичный преобразователь.

Список литературы

1. Термоэлементы РТН-30СМ, РТН-30Г Паспорт ТН14.000ПС. Предприятие-изготовитель – ВНИИОФИ, 1981. Полостной приемник ПП-1 Паспорт ТН14.000ПС. Предприятие-изготовитель – ВНИИОФИ, 1981.

2. Кальве Э., Прат А. Микрокалориметрия / Изд. Иностр. Литерат, Москва – 1963. – С. 21–48.

3. Машкинов Л.Б., Колесов Ю.Р., Гальперин Л.Н. Калориметр. // Авт. свид. СССР № 1247687. – Бюл. – № 28. – 1984.

4. Гальперин Л.Н., Машкинов Л.Б. Структурные схемы и особенности дифференциальных автоматических калориметров (ДАК) с термобатареей, совмещающей измерительные и компенсационные функции // XI Всесоюзная конференция по калориметрии и химической термодинамике – Новосибирск, 1986, Тезисы докл., часть 2 – С. 183–184.

5. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Энергоатомиздат 2 изд., Ленинград, 1988 – С. 44–50.