

Д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ, к. т. н. И. А. БУЧКОВСКИЙ,
Д. Д. ВЕЛИЧУК, к. т. н. И. С. РОМАНЮК

Украина, г. Черновцы, ЧНУ им. Ю. Федьковича, ИТЭ НАНУ, ОАО «КВАРЦ»
E-mail: ashcheulovaa@rambler.ru

Дата поступления в редакцию
12.11 2009 г.

Оппонент д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ
(ДонНУ, г. Донецк)

ВИХРЕТОКОВЫЙ АНИЗОТРОПНЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЛУЧИСТОГО ПОТОКА

Представлена оригинальная конструкция первичного преобразователя лучистого потока, который может служить основой для создания приемника неселективного излучения с повышенной чувствительностью.

В настоящее время актуальной остается проблема контроля лучистых потоков, решаемая различными устройствами [1], в том числе и термоэлектрическими приемниками [2]. Величина выходного сигнала в последнем случае определяется, в основном, методами постоянного тока. Повышение величины чувствительности (например, мощности эквивалентного шума — МЭШ) достигается модуляцией лучистых потоков, значительно усложняющей соответствующее аппаратное обеспечение и ведущей к уменьшению ее эксплуатационной надежности [3].

Результаты исследований метода вихретокового контроля [4–6] позволили предложить ряд оригинальных устройств [7–9], в том числе и оригинальные термоэлектрические приемники неселективного излучения [10, 11], выходной электрический сигнал синусоидальной формы которых однозначно связан с плотностью контролируемых лучистых потоков. В качестве основного метрологического параметра в этом случае выступает электрическая добротность Q измерительного колебательного контура с термоэлектрическим преобразователем.

Целью настоящей работы является исследование возможности применения первичных вихретоковых анизотропных термоэлектрических преобразователей для регистрации неселективных лучистых потоков.

На рис. 1 представлена схематическая конструкция одного из типовых вариантов такого преобразователя. Он состоит из термоэлектрической батареи 2, верхняя торцевая грань которой содержит неселективный поглощающий слой 1. Нижняя грань этой батареи через диэлектрический слой 3 высокой теплопроводности находится в тепловом контакте с теплоотводом 4 из диамагнитного материала с высокими значениями электропроводности и теплопроводности. Боковые грани теплоотвода 4 находятся в тепловом контакте с внутренней торцевой поверхностью ферродиэлектрического кольцевого манитопровода 5, содержащего индуктивности L_1 7 с электровыводами 8. Нижняя грань теплоотвода 4 находится в тепло-

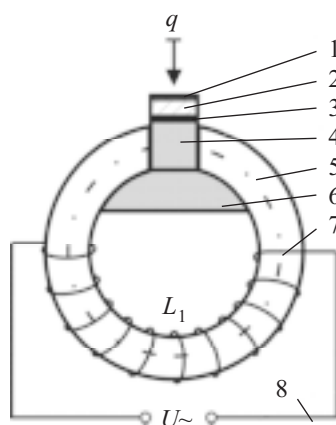


Рис. 1. Схема вихревого термоэлектрического преобразователя

вом контакте с термостатом 6 из диэлектрического материала. В качестве термоэлектрической батареи 2 применялись модули на основе тонкопленочных термопар ($n\text{-Bi}_2\text{Te}_3$ и $p\text{-CdSb}$) либо анизотропных оптикотермоэлементов [12] из монокристаллов Bi.

Предложенное устройство работает следующим образом. Лучистый поток q , поглощенный слоем 1, вызывает появление разности температур между рабочими гранями батареи 2. Это ведет к генерации термо-эдс, возникновению вихревых термоэлектрических токов и пропорциональному изменению электрической добротности измерительного колебательного контура, через который протекает заданный электрический ток I .

Вольт-ваттная чувствительность S такого преобразователя, например, на основе поперечных анизотропных оптико-термоэлементов внешнего оптического поглощения [12] представляется следующим выражением:

$$S = \frac{2m_1\xi_0\omega Llb}{acn\chi T} \frac{(Q_1 - Q_3)(Q_2 - Q_3)}{(Q_1 - Q_2)Q_2Q_3}. \quad (1)$$

В случае выбора рабочей частоты ω_0 измерительного колебательного контура преобразователя в спектральном диапазоне, отвечающему области теплового шума Найквиста ($\omega_1 < \omega_0 < \omega_2$) [2, 3], выражение для МЭШ имеет вид

$$\text{МЭШ} = m_2 k T \Delta f, \quad (2)$$

а его тепловая постоянная времени

$$\tau = m_3 b^2 / a_0. \quad (3)$$

В представленные формулы входят следующие величины:

- Q_1, Q_2, Q_3 — электрическая добротность измерительного колебательного контура при отсутствии термоэлектрической батареи 2, с необлученной и облученной батареей 2, соответственно;
- ξ_0 — коэффициент оптического поглощения слоя 1;
- a, b, c, n — соответственно длина, высота и ширина анизотропных оптикотермоэлементов, из которых состоит термоэлектрическая батарея 2, и их количество;
- a_0 — температуропроводимость материала анизотропного оптикотермоэлемента;
- T — абсолютная температура;
- k — постоянная Больцмана;
- Δf — полоса пропускания;
- m_1, m_2, m_3 — коэффициенты пропорциональности, определяемые экспериментальным путем.

Таким образом, определяя соответствующие значения электрической добротности измерительного колебательного контура до и после облучения, можно найти значение плотности лучистой энергии q_0 , поглощенной слоем 1. При этом следует отметить, что вольт-ваттная чувствительность рассматриваемого приемника определяется не только геометрическими размерами анизотропных оптико-термоэлементов и параметрами используемого материала, но и величинами тока I , его круговой частоты ω_0 и индуктивности L измерительного колебательного контура. Подбирая соответствующие величины I , ω_0 и L , можно получить необходимое значение S , а также других параметров предложенного устройства. Повышение вольт-ваттной чувствительности S обусловлено тем, что к тепловым потерям Джоуля, определяемым замкнутыми токами Фуко, добавляются дополнительные теплотери Пельтье, пропорциональные величине замкнутого термоэлектрического тока [13].

При одновременном использовании двух включенных в дифференциальную схему контуров (рис. 2) введение дополнительной катушки индуктивности L_2 таким образом, чтобы индуктивности L_1 и L'_1 были соединены электрически последовательно-согласно, а индуктивности L_2 и L'_2 — последовательно-встречно, позволит повысить вольт-ваттную чувствитель-

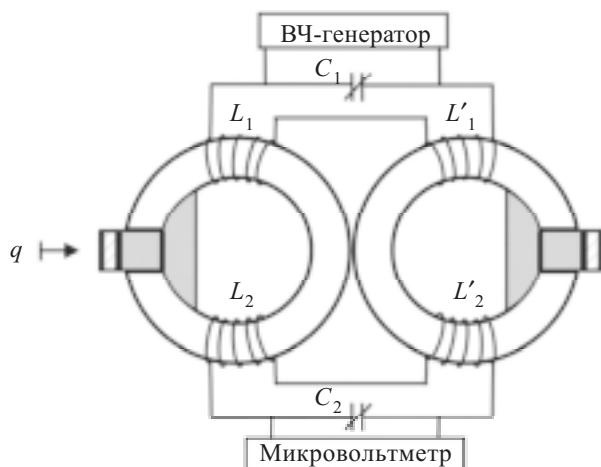


Рис. 2. Схема включения вихревых термоэлектрических преобразователей в дифференциальную схему

ность такого устройства за счет эффекта трансформации при снижении его температурной зависимости.

Отсутствие электрических контактов термоэлектрической батареи 2 существенно снижает собственные шумы рассматриваемого устройства. Электрическая добротность определяется в высокочастотном диапазоне длин волн при малой полосе частот пропускания измерительного усилителя или вольтметра, поэтому величина МЭШ преобразователя значительно уменьшается по сравнению с методами постоянного тока, а использование высокочастотных методов регистрации выходного сигнала уменьшает его нулевой дрейф.

Апробация макетного образца предложенного преобразователя на основе модуля из монокристаллов Bi с площадью рабочей грани $0,1\text{--}1\text{ см}^2$ при величине несущей частоты $f=1,2\text{ МГц}$ и полосе пропускания $\Delta f=10^2\text{ Гц}$ показали, что значение чувствительности улучшилось почти на порядок ($\text{МЭШ}_{\text{пост}}=3,2\cdot 10^{-9}\text{ Вт}$, $\text{МЭШ}_{\text{пер}}=3,6\cdot 10^{-10}\text{ Вт}$).

Таким образом, на основе предложенной конструкции первичного преобразователя лучистого потока возможно создание вихретокового анизотропного термоэлектрического приемника неселективного излучения, выходной электрический сигнал которого регистрируется методами переменного тока.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Шоль Ж., Марфан И., Мюкш М. Приемники инфракрасного излучения. — М.: Мир, 1969.
2. Круз П., Макглоулин Л., Макквисктан Р. Основы инфракрасной техники. — М.: Воениздат МО СССР, 1964.
3. Ван дер Зил А. Шум. Источники, описание, измерение. — М.: Сов. радио, 1973.
4. Ашеулов А. А., Бучковский И. А., Романюк И. С., Величук Д. Д. Автогенераторные датчики // Матер. НПК «Сенсор-2008». — Одесса, Украина. — 2008. — С. 12—13.
5. Ашеулов А. А., Бучковский И. А., Романюк И. С., Величук Д. Д. Прибор на основе автогенераторных датчиков бесконтактного контроля электропроводности термоэлектрических материалов // Термоэлектричество. — 2008. — № 4. — С. 78—84.
6. Ашеулов А. А., Романюк И. С., Величук Д. Д. Частотная зависимость электропроводности Bi-Te-Se-Sb в случае применения вихретоковых датчиков // Материалы НПК «Сенсор-2009». — Одесса, Украина. — 2009. — С. 53—55.
7. Ашеулов А. А. Бесконтактный метод определения эффективности термоэлектрических материалов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2009. — № 2. — С. 43—45.
8. Пат. 41743 України. Дача для безконтактного визначення електропровідності термоелектричних матеріалів / Ашеулов А. А., Бучковский И. А., Величук Д. Д. — 10.06.09.
9. Пат. 41769 України. Пристрій для безконтактного визначення добротності термоелектричних матеріалів / Ашеулов А. А., Бучковский И. А., Величук Д. Д. — 10.06.09.
10. Ашеулов А. А. Вихретоковий термоелектричний прийомник // Материалы НПК «Сенсор-2009». — Одесса, Украина. — 2009. — С. 21—22.
11. Пат. 39836 України. Термоелектричний прийомник промислових потоків / Ашеулов А. А. — 10.03.09.
12. Ашеулов А. А., Гуцул И. В. Исследование анизотропных оптикотермоэлементов в случае различных тепловых и оптических режимов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2005. — № 4. — С. 10—19.
13. Самойлович А. Г. Термоэлектрические и термомангнитные методы превращения энергии. — Черновцы: Рута, 2006.