

Д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ, д. ф.-м. н. И. В. ГУЦУЛ

Украина, Черновицкий национальный университет
им. Ю. Федьковича
E-mail: ilitvinchuk@mail.ru

Дата поступления в редакцию
07.05 2002 г.

Оппонент д. т. н. А. А. ДРУЖИНИН
(НУ "Львовская политехника", г. Львов)

АНИЗОТРОПНЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОМПАРАТОР

Термопреобразователь на основе анизотропных термоэлементов обеспечивает непрерывное одновременное компарирование действующих значений тока, напряжения и мощности высокой частоты.

Главное достоинство термоэлектрических измерительных приборов [1, 2] — высокая точность измерений действующих значений тока, напряжения и мощности в широком частотном диапазоне и независимость показаний от формы контролируемой величины. Эти устройства также получили распространение в вычислительной технике, электронике, автоматике и в других областях науки и техники [3, 4]. Однако конструкции серийно выпускаемых приборов, как вакуумных, так и воздушных, в течение длительного периода не претерпевали существенного изменения. Возможности и параметры этих устройств, основной частью которых являются обычные металлические термопары Зеебека, практически не проявили никаких тенденций прогресса.

В представляемой статье рассматриваются возможности этого направления в случае приборов на основе использования поперечной термоЭДС [5—7], которая реализуется в анизотропных термоэлементах

(АТ). Градиентный характер работы таких АТ обусловил появление нового принципа компарирования электрических токов и привел к созданию оригинальных устройств [8]. Использование трех одинаковых электрически включенных последовательно-встречно АТ (средний из которых расположен между нагревателями, а два других — по обе стороны между нагревателями и радиаторами) обусловили возможность одновременного непрерывного компарирования электрических величин с высокой точностью.

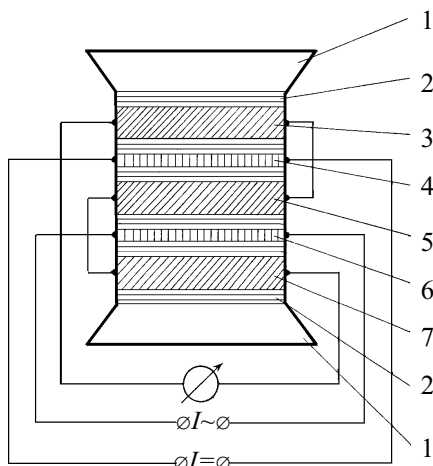
Схематически конструкция устройства приведена на рисунке. Компаратор состоит из нагревателя постоянного тока 4 и нагревателя переменного тока 6, расположенных по обе стороны АТ — прямоугольной пластины 5 из термоэлектрически анизотропного кристалла. Ориентация монокристаллической пластины выбрана из условия получения максимальной термоЭДС [7]. Между пластиной и нагревателями располагаются тонкие электроизолирующие прокладки 2 большей теплопроводности. С внешней стороны, также через аналогичные электроизолирующие прокладки, располагаются АТ 3 и 7, которые своими вторыми рабочими гранями (опять же через прокладки) находятся в тепловом контакте с теплоотводящими радиаторами 1.

При прохождении электрического тока через нагреватели градиент температуры, возникающий между рабочими гранями АТ, приводит к возникновению поперечной термоЭДС на торцевых гранях. Знак термоЭДС (ϵ) зависит от взаимной ориентации градиента температуры и кристаллографических осей пластины, а ее величина — от геометрических размеров и разности температур [4, с. 88]:

$$\epsilon = 0,5ab^{-1}(\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp})(T_0 - T_1), \quad (1)$$

где $\alpha_{\parallel}, \alpha_{\perp}$ — коэффициенты термоЭДС вдоль выбранных кристаллографических направлений;
 T_0, T_1 — температуры нижней и верхней рабочих граней;
 a, b — длина и высота пластины, соответственно.

Протекание через соответствующие нагреватели токов одинаковых действующих значений приводит к установлению в компараторе стационарного режима, при котором разность температур на среднем АТ равна нулю, а на крайних АТ — одинакова. Вследствие противоположно направленных градиентов тем-



Анизотропный термоэлектрический компаратор:

1 — теплоотводящие радиаторы; 2 — электроизолирующие прокладки; 3, 5, 7 — анизотропные термоэлементы; 4 — нагреватель постоянного тока; 6 — нагреватель переменного тока

Тип компаратора	Номинальный ток, А	Сопротивление, Ом		Частотная погрешность, %		Погрешность компарирования, %
		Нагреватель	Датчик	2 МГц	10 МГц	
АТК-0,1	0,1	31	360	0,9	1,7	$< 10^{-3}$
АТК-0,5	0,5	1,26	300	0,9	1,7	$< 10^{-3}$
АТК-1,0	1,0	0,28	226	0,9	1,7	$< 10^{-3}$
АТК-5,0	5,0	0,05	137	0,9	1,7	$< 10^{-3}$
АТК-10	10,0	0,021	96	1,0	2,0	$< 10^{-3}$

пературы в крайних АТ возникают равные и противоположно направленные термоЭДС, которые взаимно компенсируются. Таким образом, при одинаковых действующих значениях токов, протекающих через оба нагревателя, ЭДС на выходе равна нулю.

В случае неравенства токов через нагреватели разности температур на гранях АТ отличаются, и при этом возникают различные по величине поперечные термоЭДС. Причем термоЭДС, генерируемая термоэлементом, прилегающим к нагревателю, через который протекает больший ток, будет выше. Кроме того, к этой термоЭДС добавляется дополнительная термоЭДС, генерируемая средним АТ.

Такая конструкция позволяет проводить одновременное непрерывное компарирование электрических токов, напряжений и мощностей с помощью 0-индикатора, включенного в цепь АТ. В этом случае чувствительность S_k устройства и относительная погрешность $\Delta J/J$ представляются следующим образом:

$$S_k = 2(\alpha_{||} - \alpha_{\perp})W_k(\chi c)^{-1}; \quad (2)$$

$$\Delta J/J = 0,5 \Delta V \chi c [\alpha_{||} - \alpha_{\perp}] W_k^{-1}, \quad (3)$$

где W_k — мощность, выделяемая нагревателем;
 χ — теплопроводность материала пластины;
 c — ее ширина;
 ΔV — напряжение на выходе компаратора.

Исследование предложенного принципа компарирования проводилось на ряде конструкций компаратора, рассчитанных на различные номинальные токи. Для обеспечения хорошего теплового контакта конструктивно выбиралась ленточная форма нагревателя из стандартного сплава "золото—палладий—платина", характеризуемого повышенной стабильностью своих параметров во времени. АТ изготавливались из направленно закристаллизованного эвтектического сплава CdSb—CoSb, характеризуемого малой температурной зависимостью вольт-ваттной чувствительности в интервале 230—370 К [9, 10]. Кристаллогра-

фические оси пластин при этом ориентировались под оптимальным углом ($\varphi_0 = 45^\circ$).

Для повышения точности компарирования проводилась прецизионная коррекция коэффициента поперечной термоЭДС материала анизотропного термоэлемента с помощью метода, указанного в [11]. Размеры АТ, нагревателей и радиаторов определялись из соответствующих расчетов. При этом длина АТ не превышала 10 мм, длина нагревателя — не более 14 мм. Электроизолирующие прокладки изготавливались из керамики ВК 94 толщиной 0,05 мм.

Характеристики исследованных конструкций приведены в **таблице**. Результаты измерений соответствуют температуре 294 К. Постоянная времени находилась в пределах 2—5 с.

В заключение необходимо отметить, что при соответствующем схемотехническом решении предложенное устройство компарирования позволяет осуществить автоматизацию процесса измерений действующих значений высокочастотного тока, напряжения и мощности с высокой точностью.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Пономарев Н. Н. Теория, расчет и конструирование электроизмерительных приборов.— Л.: Наука, 1943.
2. Червякова В. И. Термоэлектрические приборы.— М.: ГЭИ, 1963.
3. Попов В. А. Электротепловые преобразователи в вычислительной технике.— Киев: Наукова думка, 1971.
4. Анатыхук Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства.— Киев: Наукова думка, 1979.
5. Tomson W. On thermoelectric currents in linear conductors crystallintidiens // Math. Phys. Pap.— 1882.— N 1.— P. 266—273.
6. Снарский А. А., Пальти А. М., Ащеулов А. А. Анизотропные термоэлементы. Обзор // ФТП.— 1997.— Т. 31, № 11.— С. 1281—1298.
7. Ashcheulov A. A., Gutsul I. V. Anisotropic optical thermoelectric elements // Journal of Thermoelectricity.— 1997.— N 3.— P. 81—89.
8. А. с. 473106 СССР. Тепловой компаратор термокомпарирования переменных и постоянных токов и напряжений // А. А. Ащеулов, А. Б. Беликов, Э. В. Осипов и др.— Заявл. 30.11 1972.
9. Ащеулов А. А., Воронка Н. К., Куликовская С. М., Маренкин С. Ф. Оптимизация параметров материалов из антимонида кадмия для АТ // Изв. АН СССР. Неорг. материалы.— 1989.— Т. 25, № 10.— С. 1614—1617.
10. Ashcheulov A. A., Voronka N. K., Rarenko I. M. Optimized materials based on cadmium antimonide and their application // Journal of Thermoelectricity.— 1995.— N 3.— P. 73—88.
11. Ashcheulov A. A., Bezulik V. A. On the possibility of control over thermopower anisotropy valle of cadmium antimonide based materials // Ibid.— 1999.— N 3.— P. 31—33.