

УДК 536.532

САННИКОВ В.Ю., КІВА І.Л.
Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ТЕРМОМЕТР З САМОКОРЕКЦІЄЮ

Мета. Створення термоелектричних термометрів з самокорекцією, показники яких завдяки самокорекції не залежать від зміни чутливості термопар в процесі довготривалої експлуатації.

Методика. Використані методи теорії термоелектричних перетворень, тепломасообміну та основ термодинаміки.

Результати. Запропоновано метод та апаратну реалізацію термоелектричного термометру, що дозволяє реалізувати вимірювальну схему на основі стандартної двоелектродної термопары і дає можливість виключення впливу постійного струму охолодження – нагріву на вимірювану термоЕРС робочого кінця термопары.

Наукова новизна. Досліджена можливість використання термоелектричного ефекту Пельт'є для створення тестових впливів на робочих електродах термопары, що дозволяє усунути вплив зміни чутливості термопары під час її експлуатації.

Практична значимість. Впровадження термометру з самокорекцією по чутливості дозволить звести до мінімуму необхідність демонтажу термоелектричних датчиків температури для їх періодичної повірки і калібрування.

Ключові слова: термоелектричне перетворення, термопара, електрорушійна сила, ефект Пельт'є, аналого-цифровий перетворювач, мікропроцесор.

Вступ. Однією з основних проблем вимірювання температури термопарами є зміна її чутливості на протязі часу експлуатації або під дією зовнішніх негативних впливів. Існуючі методи компенсації змін чутливості термопары вимагають її демонтажу або формування додаткових тестових впливів для отримання надлишкової інформації про стан робочих кінців термопары. В роботах [1,2] пропонується використання додаткової компенсаційної термопары. Під час роботи формується додаткова корегуюча напруга, яка компенсує зміну чутливості робочої термопары. Проте, нестабільність параметрів самої компенсаційної термопары та неідентичність характеристик двох термопар не дозволяє повністю виключити похибки від зміни чутливості робочої термопары.

Використання триелектродних термопар [3] з наступним нагрівом і охолодженням робочого кінця термопары теплою Пельт'є [4] та обробкою результатів вимірювання дозволяє виключити вплив струму додаткового нагрівання робочого кінця термопары на значення термоЕРС, яке пропорційно вимірюваній температурі. Проте, забезпечити ідентичність термоелектричних параметрів (коефіцієнтів термоЕРС, коефіцієнтів Пельт'є та ін.) основної термопары і додаткової термопары, створеної третім електродом, важко, особливо із-за відсутності стандартних трьохелектродних термопар. Тому здійснити

самокорекцію показників термоелектричного термометра з високою точністю практично неможливо.

Постановка завдання. Створення методу та його апаратної реалізації за допомогою стандартної двоелектродної термопари, що забезпечить компенсацію змін чутливості термопари під час її експлуатації та значно подовжить термін її використання.

Результати дослідження. Поставлена задача вирішується тим, що до двоелектродної термопари, робочий кінець якої розміщений в зоні вимірюваної температури, приєднані два подовжуючих термоелектроди, дві мідні колодки, два електронних ключі і дві мідні пластини зі струмовим і потенціальними затискачами. Почергова робота електронних ключів, що управляються мікропроцесором, дозволяє здійснювати вимірювання термоЕРС термопари як на початку вимірюваного циклу, так і в наступні цикли при додатковому охолодженні і нагріванні робочого кінця теплою Пельть'є, що створюється постійним струмом, який протікає безпосередньо по електродах термопари [5].

На рис. 1 представлено електричну схему термоелектричного термометра з самокорекцією, яка працює наступним чином.

З початку роботи термометра електронний ключ 20 замкнутий, а електронний ключ 21 розімкнутий. ТермоЕРС термопари з робочим кінцем 1, яка створюється на вільних кінцях подовжувальних термоелектродів 10 і 11, визначається різницею температур T_x робочого кінця 1 і температури T_0 термостату 14:

$$E_1 = S(T_x - T_0), \quad (1)$$

де S – чутливість (коефіцієнт Заєбека) термопари.

ТермоЕРС (1) підсилюється нормуючим підсилювачем 15, перетворюється в цифровий код N_1 аналого-цифровим перетворювачем 16 і вводиться в пам'ять мікропроцесорного контролера 18:

$$N_1 = \frac{SK}{q}(T_x - T_0), \quad (2)$$

де K - коефіцієнт підсилення нормуючого підсилювача;

q – одиниця молодшого розряду аналого-цифрового перетворювача.

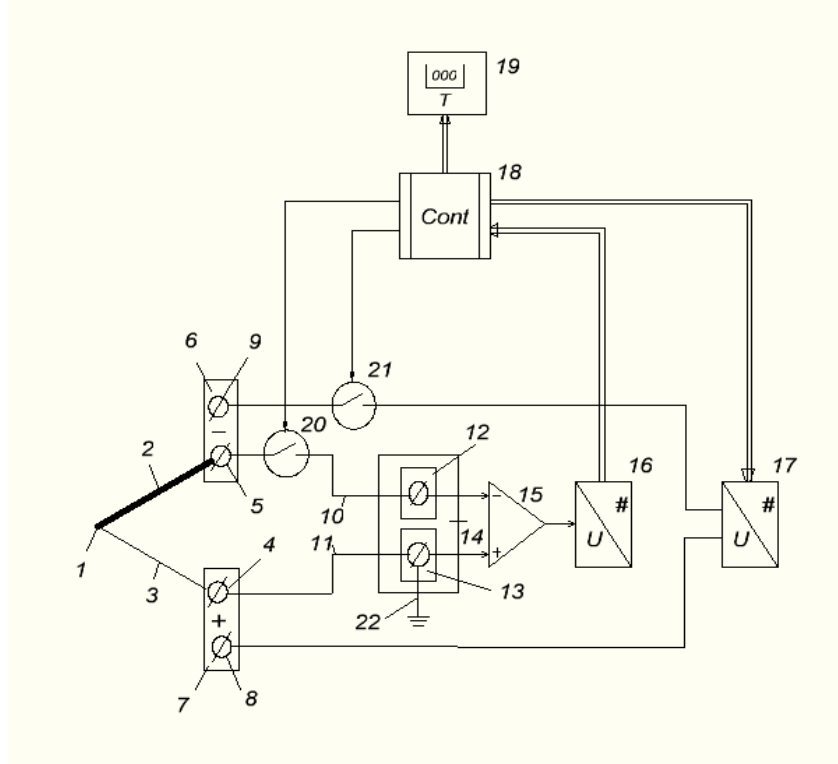


Рис.1. Схема термоелектричного термометра з самокорекцією:

1- двоелектродна термопара, 2,3 - вільні кінці різнополярних електродів, 4,5 - потенціальні затискачі, 6,7 - мідні пластини, 8,9 - струмові затискачі, 10,11 - подовжуючі термоелектроди, 12,13 – другі мідні колодки, 14 - термостат, 15 - нормуючий підсилювач, 16 - аналого-цифровий перетворювач, 17 - цифро-аналоговий перетворювач, 18 - мікропроцесорний контролер, 19 - цифровий індикатор, 20,21 – електронні ключі, 22 - загальна заземлена шина.

Далі розмикається електронний ключ 20, замикається електронний ключ 21 і через робочий кінець 1 термопари починає протікати постійний струм, який формується цифро-аналоговим перетворювачем 17.

Під дією постійного струму робочий кінець 1 термопари починає охолоджуватись за рахунок поглинання теплоти Пельт'є. Проходження струму через різнополярні електроди 2 і 3 термопари викликає їх нагрівання за рахунок виділення теплоти Джоуля. Із-за теплопровідності електродів 2 і 3 частина тепла, що виділяється, поступає в робочий кінець 1 термопари, а інша частина – в мідні пластини 6 і 7, в яких розсіюється. Температура мідних пластин 6 і 7 трішки підвищується як за рахунок теплоти Джоуля, так і теплоти Пельт'є, яка виділяється в мідних пластинах 6 і 7 при охолодженні робочого кінця 1. Проте, термоЕРС, яка створюється на виході подовжувальних термоелектродів 10 і 11 не залежить від температури мідних пластин 6 і 7, а визначається винятково різницею температур робочого кінця 1 термопари і температурою вільних кінців у термостаті 14:

$$E_2 = S(T_x - \frac{pI - \beta I^2 r}{\lambda F} - T_0), \quad (3)$$

де p – коефіцієнт Пельт'є робочого кінця термопари;
 r – електричний опір електродів термопари;

I – сила постійного струму;

β – коефіцієнт, який враховує долю теплоти Джоуля, яка безпосередньо поступає в робочий кінець термопари;

λ – коефіцієнт тепловіддачі робочого кінця в навколишнє середовище і об'єкт контролю;

F – площа поверхні тепловіддачі робочого кінця.

ТермоЕРС (3) також підсилюється нормуючим підсилювачем 15, перетворюється в цифровий код N_2 аналого-цифровим перетворювачем 16 і вводиться в пам'ять мікропроцесорного контролера 18:

$$N_2 = \frac{SK}{q} \left(T_x - \frac{pI - \beta I^2 r}{\lambda F} - T_0 \right). \quad (4)$$

Як видно із виразу (4) в результаті охолодження робочого кінця 1 термопари постійним струмом I код термоЕРС зменшується ($N_2 < N_1$). Зі збільшенням струму збільшується поглинання теплоти Пельт'є в робочому кінці 1, але одночасно збільшується виділення теплоти Джоуля в електродах 2 і 3. В результаті інтенсивність охолодження робочого кінця 1 термопари знижується.

По програмі мікропроцесорного контролера 18 поступово збільшується постійний струм I , який формується цифро-аналоговим перетворювачем 17. Із-за квадратичної залежності теплоти Джоуля від струму і лінійної залежності теплоти Пельт'є від того ж струму при збільшенні струму теплота Джоуля починає перевищувати над теплою Пельт'є. При цьому код термоЕРС (4) починає зростати і досягає свого початкового значення:

$$N_2 = N_1. \quad (5)$$

Для фіксації рівності (5) періодично ключ 21 розмикається, а ключ 20 замикається на короткий час. Але за рахунок теплової інерції робочого кінця 1 термопари результуюча термоЕРС зберігається на час розмикання ключа 21, а вплив падіння напруги на електродах 2 і 3 від струму I виключається. Рівність (5) при перериванні постійного струму I означає, що

$$pI - \beta I^2 r = 0. \quad (6)$$

Із рівності (6) слідує, що коефіцієнт Пельт'є

$$p = \beta I r. \quad (7)$$

У відповідності з першим термоелектричним співвідношенням Томсона [4] коефіцієнт Пельт'є p і коефіцієнт Заєбека (чутливість) S термопари зв'язані виразом

$$p = S T_x, \quad (8)$$

де T_x – термодинамічна температура робочого кінця (по шкалі Кельвіна).

З урахуванням співвідношення (7) вираз (8) приймає вигляд

$$S T_x = \beta I r, \quad (9)$$

звідки чутливість термопари

$$S = \frac{\beta I r}{T_x}. \quad (10)$$

Підставивши значення чутливості (10) у вираз (2), отримуємо код

$$N_1 = \frac{\beta IrK}{qT_x}(T_x - T_0) = \frac{\beta IrK}{q}\left(1 - \frac{T_0}{T_x}\right). \quad (11)$$

Вирішивши рівняння (11) відносно температури T_x , в результаті отримаємо

$$T_x = \frac{\beta IrK}{\beta IrK - qN_1}T_0. \quad (12)$$

При невеликій довжині різнополярних електродів 2 і 3 термопари можна вважати, що за рахунок теплопровідності електродів половина теплоти Джоуля поступає в робочий кінець 1 термопари, а половина теплоти Джоуля - в мідні пластини 6 і 7. Тоді коефіцієнт $\beta = 0,5$, а розрахункова формула (12) набуває вигляду

$$T_x = \frac{IrK}{IrK - 2qN_1}T_0. \quad (13)$$

Падіння напруги на різнополярних електродах 2 і 3 від постійного струму I додатково вимірюють при замкнутих електронних ключах 20 і 21 і попереднім виконанні умови (5) при розімкнутому електронному ключі 21. В цьому випадку до термоЕРС (1) додається падіння напруги на різнополярних електродах 2 і 3 від постійного струму I . Цифровий код на виході аналого-цифрового перетворювача 16 приймає значення

$$N_3 = \frac{K(E_1 + Ir)}{q}. \quad (14)$$

Із виразу (14) випливає, що падіння напруги

$$Ir = \frac{qN_3}{K} - E_1. \quad (15)$$

Підставивши значення (15) в розрахункову формулу (13) для обчислення вимірюваної температури, отримаємо

$$T_x = \frac{N_3 - N_1}{N_3 - 3N_1}T_0. \quad (16)$$

Результат (16) обчислюється в мікропроцесорному контролері 18 і виводиться на цифровий індикатор 19.

Із формули (16) виходить, що вимірювана температура T_x визначається по відомій температурі T_0 вільних кінців подовжувальних термоелектродів з урахуванням коду початкової термоЕРС N_1 термопари і коду цієї термоЕРС з урахуванням падіння напруги на електродах термопари N_3 від постійного струму. Результат вимірювання не залежить від чутливості термопари, а отже і від її змін.

Висновки. Запропонований термоелектричний термометр дозволяє реалізувати вимірювальну схему на основі стандартної двоелектродної термопари і дає можливість виключення впливу постійного струму охолодження – нагріву на вимірювану термоЕРС робочого кінця термопари. Завдяки електронним ключам є періодичний доступ до термоЕРС робочого кінця підігрітої термопари з перериванням постійного струму і відсутність будь-яких калібровок в процесі експлуатації. Достоїнством схеми термометра є також скорочення кількості додаткових вимірювань, що підвищує його швидкодію.

Термометр з самокорекцією по чутливості може бути використаний в системах автоконтролю температури на об'єктах, доступ до яких ускладнений в процесі їх

експлуатації. Це насамперед атомні та хімічні реактори, потужні електроагрегати, високовольтні трансформатори і т.п.

Список використаних джерел

1. Термоелектричні прилади контролю: навч. посіб. / [Гондюл В.Л., Головка Д.Б., Скрипник Ю.О., та ін.] – К.:Либідь, 1994. – 268с.
2. Високоточні вимірювання багатofункціональними термометрами: навч. посіб./ [Головка Д.Б., Дубровний В.О., Скрипник Ю.О. та ін.] – К.: Либідь, 2000. – 396с.
3. Патент на корисну модель 54936 Україна, МПК G01K 13/00, Термоелектричний пристрій для вимірювання температури / Скрипник Ю.О., Скирута М.А., Кущинський О.А., Мислюк Х.Ю.; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – №u201007297 заяв. 11.06.2010; опуб. 25.11.2010 Бюл. пром. влас., – №22/2010р.
4. Сивухин С.Д. Общий курс физики. Т.3. Электричество/ С.Д.Сивухин –М.: Наука, 1977.- 680с.
5. Патент на корисну модель 76262 Україна, МПК G01K 13/00, Термоелектричний термометр з самокорекцією / Скрипник Ю.О., Санніков В.Ю., Мислюк Х.Ю.; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – №u201207905 заяв. 26.06.2012; опуб. 25.12.2012 Бюл. пром. влас., – №24/2012р.

References

1. Gondyl V.L., Golovko D.B., Skripnik Y.A. (1994) Termoelektrichni priladi kontroly [Thermoelectric control devices] Kyiv: Libid [in Ukrainian].
2. Golovko D.B., Dubrovnyi V.A., Skripnik Y.A. (2000) Visokotochni vimiryvannia bagatofunkcionalnimi termometrami [Precision measurements multipurpose thermometers] Kyiv: Libid [in Ukrainian].
3. Patent na korisnu model №54936 МПК G01K 13/00 (2010) Termoelektrichnij pristirij dlia vimiruvaniy temperaturi [Thermoelectric device for temperature measurement] / Skripnik Y.A., Skyruta M.A., Kuschinski O.A., Mysliuk K.Y. Buliten prom. vlasn. №22/2010 [in Ukrainian]
4. Sivuhin S.D. (1977) Obshi kurs fiziki. T3. Elektrichestvo [The general course of physics. V.3. Electricity] Moskva: Nauka [in Ukrainian].
5. Patent na korisnu model №76262 МПК G01K 13/00 (2012) Termoelektrichnij termometr s samokoreciey [Self-correcting thermoelectric thermometer] / Skripnik Y.A., Sannikov V.Y., Mysliuk K.Y. Buliten prom. vlasn. №24/2012 [in Ukrainian]

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Здоренко В.Г.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТЕРМОМЕТР С САМОКОРРЕКЦИЕЙ

САННИКОВ В.Ю., КИВА И.Л.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Создание термоэлектрических термометров с самокоррекцией, показания которых, благодаря самокоррекции не зависят от изменения чувствительности термопары в процессе длительной её эксплуатации.

Методика. Используются методы теорий термоэлектрических преобразований, теплообмена и основ термодинамики.

Результаты. Предложен метод и аппаратная реализация термоэлектрического термометра, который позволяет реализовать измерительную схему на основе стандартной двухэлектродной термопары и исключить влияние постоянного тока охлаждения – нагрева на измеряемую термоЭДС рабочего конца термопары.

Научная новизна. Исследована возможность использования термоэлектрического эффекта Пельтье для создания тестовых воздействий на рабочих электродах термопары, что позволяет исключить влияние изменения чувствительности термопары во время её эксплуатации.

Практическая значимость. Внедрение термометра с самокоррекцией по чувствительности позволит свести к минимуму необходимость демонтажа датчиков температуры для их периодической проверки и калибровки.

Ключевые слова: *термоэлектрическое преобразование, термопара, электродвижущая сила, эффект Пельтье, аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор.*

SELF-CORRECTING THERMOELECTRIC THERMOMETER

SANNIKO V. V., KIVA I.

Kyiv National University of Technology and Design

Purpose. Create thermoelectric thermometers with self-correction, self-correction through indicators which do not depend on the sensitivity of the thermocouple changes during long-term use

Methodology. Methods theories thermoelectric transformations, heat transfer and thermodynamics bases.

Findings. The method and hardware implementation thermoelectric thermometer that allows for the measuring system based on standard thermocouple and provides an opportunity to eliminate the influence of DC cooling - heating measured at the working end thermoelectric thermocouple.

Originality. The possibility of using the thermoelectric effect Peltier to create the test impact on the working electrode thermocouple, which eliminates the effect of changes in the sensitivity of the thermocouple during its operation.

Practical value. Implementation thermometer with self-correction sensitivity will minimize the need to dismantle thermoelectric temperature sensors for their periodical verification and calibration.

Keywords: *thermoelectric conversion, thermocouple electromotive force effect Peltier, analog-to-digital converter, microprocessor.*