



УКРАЇНА

(19) UA (11) 52595 (13) U
(51) МПК (2009)
G01K 7/02МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ТЕРМОМЕТР З АВТОКОРЕКЦІЄЮ ЧУТЛИВОСТІ

1

(21) u201005729

(22) 12.05.2010

(24) 25.08.2010

(46) 25.08.2010, Бюл. № 16, 2010 р.

(72) ОСТАПЕНКО НАТАЛІЯ ВАЛЕНТИНІВНА, КО-
ЛОСНІЧЕНКО МАРИНА ВІКТОРІВНА, СКРИПНИК
ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, ЦЕСЕЛЬСЬКА ТЕТЯНА
ВАЛЕНТИНІВНА(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ(57) Термоелектричний термометр з автокорекці-
єю чутливості, що містить термопару, вільні кінці
якої через клемну колодку з'єднані з двома парами
подовжувальних термоелектродів, до кожної з
яких підключені клеми двох термостатів з різними
температурами термостатування, і автоматичний

2

перемикач, який **відрізняється** тим, що введені диференціальний підсилювач, аналого-цифровий перетворювач, мікропроцесорний контролер, цифровий індикатор і додатковий автоматичний перемикач, входи якого з'єднані з клемами обох термостатів однієї полярності, входи автоматичного перемикача з'єднані з клемами термостатів іншої полярності, виходи автоматичних перемикачів з'єднані з різнополярними входами диференціального підсилювача, вихід якого через аналого-цифровий перетворювач підключений до цифрового входу мікропроцесорного контролера, до цифрового виходу якого підключений цифровий індикатор, а до логічних виходів мікропроцесорного контролера під'єднані керуючі входи обох автоматичних перемикачів.

Корисна модель відноситься до термометрії, а саме до термоелектричних термометрів з автокорекцією чутливості і може бути використана для виміру температури в агресивному середовищі або екстремальних умовах.

При тривалій роботі у зазначених умовах в робочому кінці термопари і в самих термоелектродах відбуваються необоротні зміни, які викликають відносно швидкий дрейф градуовальної характеристики і, отже, великі похибки у вимірі температури. Оскільки дрейф градуовальної характеристики має випадковий характер, його важко оцінити і компенсувати. Основним джерелом похибки є неконтрольовані зміни чутливості (коефіцієнта термоЕРС), виявити які можна лише після демонтажу термопари з об'єкту контролю і перевірки в лабораторних умовах. При тривалій і безперервній роботі термопари, коли відсутня можливість перевірки або недопустимий демонтаж, збереження точності термоелектричного термометра можливе лише при використанні в його схемі пристроїв самоналаштування або корекції похибки [Термоелектричні термометри та їх метрологічне забезпечення: Навч. посібник / М.П. Березненко, Ю.О. Скрипник, Г.І. Хімичова та ін. - К.: ІСДО, 1994. - С. 173 - 180]. Проте реалізація зазначеного підходу можлива лише при використанні спеціальних термопар з вбудованими електронагрівачами або калібраторами. У разі їх відсутності автоматична

корекція чутливості термоелектричного термометра неможлива.

Відомий термоелектричний термометр з автокорекцією чутливості [Автор, свід. СРСР №1229597, МПК G01K7/02, 1986], що містить 2 термопари із поєднаними робочими кінцями, ключ, зашунтований резистором у вхідному ланцюзі, вибіркоковий підсилювач, демодулятор, інтегратор, резистор з електричним регулюванням, мультівібратор і одновібратор. Вихідна напруга цього термометра пропорційна вимірюваній температурі і не залежить від чутливості термопари. Проте у функцію перетворення термопари входить коефіцієнт Пельтьє робочого кінця термопари, який сам залежить від чутливості термопари (коефіцієнта термоЕРС) і деградує разом з нею. Тому похибка термометра навіть за наявності схеми автокорекції чутливості істотно не зменшується.

Відомий термоелектричний термометр з автокорекцією чутливості [Термоелектричні прилади контролю / В.П. Гондюл, Д.Б. Головка, Ю.О. Скрипник, та ін. Навч. посібник -К.: «Либідь», 1994. - С. 175-184] з робочою і компенсаційною термопарами, що містить керовані ключі, диференціальні підсилювачі, синхродетектори, фільтри нижніх частот, джерело опорної напруги, масштабуючий блок, суматор і блок управління. Автокорекція чутливості термопари здійснюється порівнянням приросту термоЕРС робочої термопари від додатко-

(13) U
(11) 52595
(19) UA

вого нагріву її робочого кінця теплою Пельтьє від струму, що протікає, з опорною постійною напругою і відповідною зміною напруги від компенсуючої термопар. Залежність приросту термоЕРС від зміни чутливості робочої термопарі і теплопровідності середовища контролю, яке не залишається постійним в процесі експлуатації термометра, не дозволяє повністю виключити вплив непостійності чутливості термометра на точність термоелектричного термометра.

Відомий також термоелектричний термометр з автокорекцією чутливості [Високоточні вимірювання багатфункціональними термосенсорами / Д.Б. Головкин, В.О. Дубровний, Ю.О. Скрипник, та ін. Навч. посібник - К.: «Либідь», 2000.- С. 185-187], що містить термопару, вільні кінці якої через клемну колодку з'єднанні з двома парами подовжувальних термоелектродів, до кожної з яких підключені клеми двох термостатів з різними температурами термостатування, і автоматичний перемикач. Схема термоелектричного термометра включає також широкополосний підсилювач, підсилювач низької частоти, фазочутливий випрямляч, джерело опорної напруги, інтегратор, керування ключі, мультівібратор і другу термопару, поєднану робочим кінцем з робочим кінцем першої термопар.

Постійна напруга на виході вимірювальної схеми термометра пропорційна вимірюваній температурі і не залежить від нестабільності чутливості обох термопар. Але це справедливо лише за умови, що обидві термопарі ідентичні і мають однакову чутливість. Насправді процеси старіння і деградації випадкові і відбуваються незалежно в кожній з термопар. Тому зміни чутливості термопар між собою не мають кореляції, що не дозволяє повністю виключити вплив непостійності чутливості на покази термоелектричного термометра, а отже, забезпечити високу точність вимірювання температури.

В основу корисної моделі покладено задачу створити такий термоелектричний термометр з автокорекцією чутливості, в якому введенням нових елементів і зв'язків, забезпечилося б підвищення точності виміру температури при тривалій роботі в екстремальних умовах.

Поставлена задача досягається тим, що в термоелектричний термометр з автокорекцією чутливості, що містить термопару, вільні кінці якої через клемну колодку з'єднанні з двома парами подовжувальних термоелектродів, до кожної з яких підключені клеми двох термостатів з різними температурами термостатування, і автоматичний перемикач, згідно корисної моделі, введені диференціальний підсилювач, аналого-цифровий перетворювач, мікропроцесорний контролер, цифровий індикатор і додатковий автоматичний перемикач, входи якого з'єднанні з клемами обох термостатів однієї полярності, входи автоматичного перемикача з'єднанні з клемами обох термостатів іншої полярності, виходи автоматичних перемикачів з'єднанні з різнополярними входами диференціального підсилювача, вихід якого через аналого-цифровий перетворювач підключений до цифрового входу мікропроцесорного контролера, до цифрового виходу якого підключений цифровий індикатор, а до

логічних виходів мікропроцесорного контролера під'єднанні керуючі входи автоматичних перемикачів.

Введення у схему термоелектричного термометра з автокорекцією чутливості диференціального підсилювача, аналого-цифрового перетворювача, мікропроцесорного контролера, цифрового індикатора і додаткового автоматичного перемикача, та з'єднання їх між собою і з раніше використовуваними елементами вказаним чином, дозволяють здійснити два незалежні виміри термоЕРС термопар при різних значеннях температури її вільних кінців. Останнє здійснюється програмним підключенням диференціального підсилювача до різнополярних клем двох термостатів з різними температурами термостатування, які поєднані з вільними кінцями термопар двома парами подовжувальних термоелектродів. Подальше по чергове перетворення посиленої напруги в цифрові коди за допомогою аналого-цифрового перетворювача, запам'ятовування в оперативній пам'яті мікропроцесорного контролера двох кодів, які відповідають різним температурам термостатування вільних кінців, забезпечує обчислення в мікропроцесорі контролера значення температури робочого кінця термопар незалежно від поточного значення чутливості термопар, що забезпечує високу точність виміру температури при тривалій експлуатації термопар в несприятливих умовах.

На кресленні приведена електрична функціональна схема заявленого термоелектричного термометра з автокорекцією чутливості.

Термоелектричний термометр містить термопару 1, вільні кінці якої через клемну колодку 2 з'єднанні з двома парами 3 і 4 подовжувальних термоелектродів. Пара 3 термоелектродів з'єднана з клемами термостата 5, пара 4-з клемами термостата 6. Входи автоматичного перемикача 7 з'єднанні з клемами обох термостатів позитивної полярності, а входи додаткового автоматичного перемикача 8 з'єднанні з клемами обох термостатів 5 і 6 негативної полярності. Виходи автоматичних перемикачів 7 і 8 підключені до різнополярних входів диференціального підсилювача 9, до виходу якого через аналого-цифровий перетворювач 10 підключений цифровим входом мікропроцесорний контролер 11. До цифрового виходу мікропроцесорного контролера 11 підключений цифровий індикатор 12, а його логічні виходи з'єднанні з керуючими входами автоматичних перемикачів 7 і 8.

Термоелектричний термометр з автокорекцією чутливості працює таким чином.

Робочий кінець термопар 1 розташований в зоні вимірюваної температури T_x . Вільні кінці термопар через клемну колодку 2 з'єднанні за допомогою подовжувальних термоелектродів 3 і 4 з термостатами 5 і 6, що мають різні температури термостатування T_1 і T_2 . При вказаному початковому положенні автоматичних перемикачів 7 і 8, яке задається програмою роботи мікропроцесорного контролера 11, на входи диференціального підсилювача 9 подається термоелектрорушійна сила (термоЕРС), що розвивається термопарою 1 відносно температури термостата 5. Вважаючи характеристики термопар з благородних мета-

лів лінійною, термоЕРС визначають різницю температур

$$E_i = S(T_x - T_1), \quad (1)$$

де S - чутливість (коефіцієнт термоЕРС) термопар 1;

T_1 - температура термостата 5.

Постійна напруга (1) у вигляді термоЕРС визначає різницю температур підсилюється диференціальним підсилювачем 9 і перетворюється в цифровий код аналого-цифровим перетворювачем 10. Значення цифрового коду

$$N_1 = \frac{K}{q} S(T_x - T_1), \quad (2)$$

де K - коефіцієнт підсилення диференціального підсилювача 9;

q - одиниця молодшого розряду аналого-цифрового перетворювача.

Цифровий код (2) вводиться в оперативну пам'ять мікропроцесорного контролера 11, де і запам'ятовується.

Далі за командою мікропроцесорного контролера 11 автоматичні перемикачі 7 і 8 переводяться в протилежне положення. У результаті цього на входи диференціального підсилювача 9 починає діяти термоЕРС визначають різницю температур

$$E_2 = S(T_x - T_2), \quad (3)$$

де T_2 - температура термостата 6.

Постійна напруга (3) також підсилюється диференціальним підсилювачем 9 і після підсилення перетворюється аналого-цифровим перетворювачем 10 в друге значення цифрового коду

$$N_2 = \frac{K}{q} S(T_x - T_2), \quad (4)$$

Цифровий код (4) також вводиться в оперативну пам'ять мікропроцесорного контролера 11 і запам'ятовується.

У пам'ять мікропроцесорного контролера 11 заздалегідь вводяться коди температур термостатів 5 і 6

$$N_3 = \frac{T_1}{q}, \quad (5)$$

$$N_4 = \frac{T_2}{q}. \quad (6)$$

Після запам'ятовування кодів N_1 і N_2 в пам'яті мікропроцесорного контролера 11 в його процесорі з врахуванням кодів (5) і (6) здійснюється обчислення результативного цифрового коду за алгоритмом

$$N_5 = \frac{N_1 N_4 - N_2 N_3}{N_1 - N_2}. \quad (7)$$

Підставляючи у вираження (7) значення кодів (2), (4), (5) і (6), отримуємо

$$N_5 = \frac{T_x}{q}. \quad (8)$$

З виразу (8) виходить, що вимірювана температура

$$T_x = q N_5. \quad (9)$$

Таким чином, за обчисленням значення результативного коду N_5 можна однозначно визначити вимірювану температуру T_x . При цьому при зміні чутливості S термопар 1 змінюються значення кодів (2) і (4). Але результат вимірювання (9) не

залежить від поточного значення чутливості термопар, тобто здійснюється автоматична корекція результату виміру за його чутливості. У відомих термоелектричних термометрах будь-які зміни чутливості приводять до змін показів термометра, а отже, і до похибок виміру.

Результат виміру (9) в градусах Кельвіна або в градусах Цельсія виводиться на цифровий індикатор 12. Після цього цикл виміру, що складається з проміжних вимірів термоЕРС термопар при двох значеннях температури вільних кінців і подальшої обчислювальної обробки, повторюється.

Експериментально засвідчено, що головною причиною термоелектричної нестабільності термопар це фізико-хімічна взаємодія термоелектронних матеріалів з навколишнім середовищем, унаслідок чого їх поверхня окислюється і зменшується концентрація летувальних елементів та домішок. На зміну чутливості термопар під час експлуатації найбільше впливає фізико-хімічний стан металу в поверхневих шарах гарячої зони термоелектродів, де його хімічна і фізична неоднорідність дається взнаки більшою мірою. У поверхневих шарах термоелектродів з хромелю, алюмелю й копелю елементи вигорять за температури 500 °C і більше. Особливо інтенсивно цей процес спостерігається у термоелектродах промислових термопар за температури 1000 °C. Зміна хімічного складу поверхневих шарів термоелектродів спричинює в процесі експлуатації термопар великий часовий дрейф її градувальної характеристики, швидкість якого залежить від температури й агресивності середовища. Похибка вимірювання, що виникає при цьому має прогресивний характер. Максимальне її значення після 10000 годин експлуатації в нормальних умовах для термопар градування ХК за 600 °C становить 25 °C, а для термопар градування ХА за 700 °C становить 27 °C. Прогресувальна похибка термопар градувань ПП та ПР 30/6 за температури 1300 °C і 1600 °C після 500 годин експлуатації збільшується відповідно до 12 °C і 16 °C. Завдяки статичним дослідженням щодо вивчення стабільності градувальних характеристик термопар у процесі тривалої експлуатації у діапазоні температур від 300 до 1100 °C з'ясовано, що часовий дрейф градувальної характеристики має випадкову і систематичну складові. Більш стабільні характеристики мають термопары з дорогоцінних металів (платини, золота і їх сплавів).

Запропонована автокорекція чутливості дозволяє у ряді випадків відмовитися від використання термопар з платини та інших дорогоцінних металів та замінити їх серійними градувань ХА, ХК, 1111 для роботи в агресивному середовищі з високою точністю. Так, згідно нормативних документів (ДСТУ 2837-94) термін експлуатації термопар ХА і ХК з незахищеними електродами діаметром 1мм складає тільки 200 годин у діапазоні температур 750-1100 °C. З автокорекцією чутливості цей термін збільшується в 3...5 разів, а похибка не перевищує $\pm 1...1,5$ °C. Таким чином, точність термоелектричних термометрів, на відміну від точності традиційних термоелектричних термометрів, не залежить від переважаючої прогресувальної похибки, яка становить 30-35 °C у вказаних умовах.

