

УДК 536.531

Т.М. Олесків,
В.О. Яцук, д-р техн. наук

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ВИМІРЮВАЧІВ РІЗНИЦІ ТЕМПЕРАТУР

Проаналізовано похибки вимірювань різниці температур з чотирипровідною схемою підключення з використанням платинових термоперетворювачів опору. Запропоновано структуру вимірювача різниці температур для сенсорів з чотирипровідною лінією зв'язку з можливістю проведення процедури автоматичного калібрування. Розглянуто функцію перетворення прецизійного вимірювача різниці температур.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, різниця температур, термоперетворювач, калібрування.

T.M. Oleskiv,
V.A. Yatsuk, ScD.

METROLOGY ASSURANCE OF TEMPERATURE DIFFERENCE PRECISION DEVICES

Temperature difference measurement errors with four-circuit connection of platinum thermal resistance transformers analyzed. Temperature difference measuring structure for four-circuit connection sensors and the automatic procedure calibration ability is proposed. Transfer function of precision measuring difference temperature is provided also.

Keywords: metrology assurance, temperature difference, thermal transformer, calibration.

Т.М. Олесків,
В.А. Яцук, д-р техн. наук

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР

Проанализированы погрешности измерений разности температур с четырехпроводной схемой подключения с использованием платиновых термопреобразователей сопротивления. Предложена структура измерителя разности температур для сенсоров с четырехпроводной линией связи с возможностью проведения процедуры автоматической калибровки. Рассмотрена функция преобразования прецизионного измерителя разности температур.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, разность температур, термопреобразователь, калибровка.

На сьогоднішній день в багатьох галузях промисловості під час управління технологічними процесами, зокрема під час випробувань сонячних колекторів, контроль роботи обладнання, його перевірка тощо здійснюється саме завдяки вимірюванню різниці температур. Наприклад, до випробувань сонячних колекторів вимоги до точності вимірювання різниці температур ставляться дуже високі. Тож слід вибирати такі методи і засоби метрологічного забезпечення температурних каналів, для яких похибка вимірювання різниці температур була б якомога меншою, а собівартість – якнайнижчою. Таким чином, для підвищення продуктивності метрологічної перевірки випробувань сонячних колекторів потрібно вдосконалювати метрологічне забезпечення температурних каналів.

При визначенні різниці температур рідинного теплоносія похибка визначення розбіжності між температурами на вході та на виході колектора (ΔT) має не перевищувати $\pm 0,1$ К для абсолютних значень різниці температур рідинного теплоносія порядку (1...2) К. При цьому для мінімізації похибок потрібно уникати перепаду температур меншого за 2 К [1, 2].

Проведений аналіз показав, що з урахуванням поставлених вимог для вимірювання різниці температур найкраще використовувати платинові термоперетворювачі опору. Очевидно, що термоелектричні перетворювачі поступаються терморезистивним у точності, а напівпровідникові термоперетворювачі недоцільно використовувати через велику похибку, зумовлену тим, що номінальні статичні характеристики сенсорів не уніфіковані [3].

© Олесків Т.М., Яцук В.О., 2012

Згідно із стандартом DIN-IEC 751 для платиного термоперетворювача при зміні температури в діапазоні від 0 до 850 °С залежність опору від температури описується відомою залежністю Календара:

$$R_{pt} = R_{pt}(0)(1 + a\theta - b\theta^2), \quad (1)$$

де $a=3,90802 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $b=0,58020 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$, $R_{pt}(0)$ – опір терморезистора при 0 °С, а межі допустимих значень похибки термоперетворювачів опору класу А [4]

$$\Delta\theta = \pm(0,15^\circ\text{C} + 0,002|\theta|). \quad (2)$$

Очевидно, що при 0 °С похибка термоперетворювача опору навіть класу А перевищуватиме межі, задані стандартами для випробувань сонячних колекторів [1, 2].

Оскільки похибки сенсорів перевищують межі допустимих значень, то слід вибирати такі методи побудови вимірювачів різниці температур, щоб забезпечити потрібні значення похибки.

Найпростішим способом підбору пар термоперетворювачів опору можна добитися, щоб значення граничної похибки вимірювання різниці температур не виходило за встановлені межі. Потрібно лише підбирати в пари термоперетворювачі з однаковими температурними характеристиками, бо розкид їх параметрів може стати причиною великих похибок вимірювання різниці температур [3].

Суттєво вплинути на точність вимірювання різниці температур може приєднання термоперетворювачів у вимірювальне коло. В технологічних процесах для підключення терморезисторів до вимірювальних приладів застосовують дво-, три- та чотирипровідні схеми [5]. При використанні двопровідної схеми підключення на результат вимірювання різниці температур безпосередньо впливає різниця опорів з'єднувальних ліній. Щоб позбутися цього впливу, використовують термоперетворювачі з трьома і чотирма виводами [5].

Оскільки використання трипровідної лінії зв'язку призводить до необхідності підгонки різниці опорів струмових з'єднувальних дротів до нульового значення або врахування значення цієї різниці у структурі приладу [6], вирішено для побудови прецизійного вимірювача різниці температур використати термоперетворювачі з чотирма вивода-

ми. При використанні чотиридротової лінії зв'язку, пара струмових дротів якої увімкнена послідовно з високим вихідним опором генератора вимірювального струму, а пара потенціальних дротів – з високим вхідним опором омметра, забезпечується інваріантність результату вимірювання опору до значення опорів з'єднувальної лінії [6].

Враховуючи вищесказане, доцільно вимірювач різниці температур реалізувати на основі структури цифрового омметра з автоматичною корекцією похибок [6]. Для забезпечення можливості вимірювання різниці температур в розробленій структурі є два канали вимірювання опору (див. рисунок).

Для автоматичного коригування адитивної складової похибки вимірювача різниці температур використовується метод модуляції вимірювальних струмів, який реалізовується шляхом зміни опорної напруги для генератора струму з допомогою перемикача m . Для забезпечення інваріантності результатів перетворення до значень вимірювального струму, як бачимо, використано одне джерело опорної напруги E_0 для АЦП і для генератора струму, побудованого на основі перетворювача напруга-струм DA1.

При застосуванні такого вимірювача різниці температур для сенсорів з чотиридротовою лінією зв'язку різниця опорів терморезисторів визначається як різниця кодів перетворення спаду напруги. Термоперетворювачі приєднуються по чергово за допомогою комутаторів КМТ 1, КМТ 2. Вимірювання відбуваються в два цикли перетворення. Спади напруг на обох термоперетворювачах опору перетворюються в їх різницю та підсилюються. Результат вимірювання отримується як різниця кодів двох результатів перетворення, при різних значеннях вимірювальних струмів. Провівши підрахунок результатів перетворення, отримаємо

$$\begin{cases} N_{X1} = N_{X11} - N_{X12} = \frac{k_{ADC}}{k_{I\bar{A}}} \cdot \frac{k_m(m_1 - m_2)}{1 + \Delta_{I\bar{A}}/E_0 k_{I\bar{A}}} \cdot \frac{R_{X1}}{R_M}; \\ N_{X2} = N_{X21} - N_{X22} = \frac{k_{ADC}}{k_{I\bar{A}}} \cdot \frac{k_m(m_1 - m_2)}{1 + \Delta_{I\bar{A}}/E_0 k_{I\bar{A}}} \cdot \frac{R_{X2}}{R_M}. \end{cases} \quad (3)$$

Математична модель функції перетворення вимірювача різниці температур з сенсорами з чотиридротовими лініями зв'язку матиме такий вигляд:

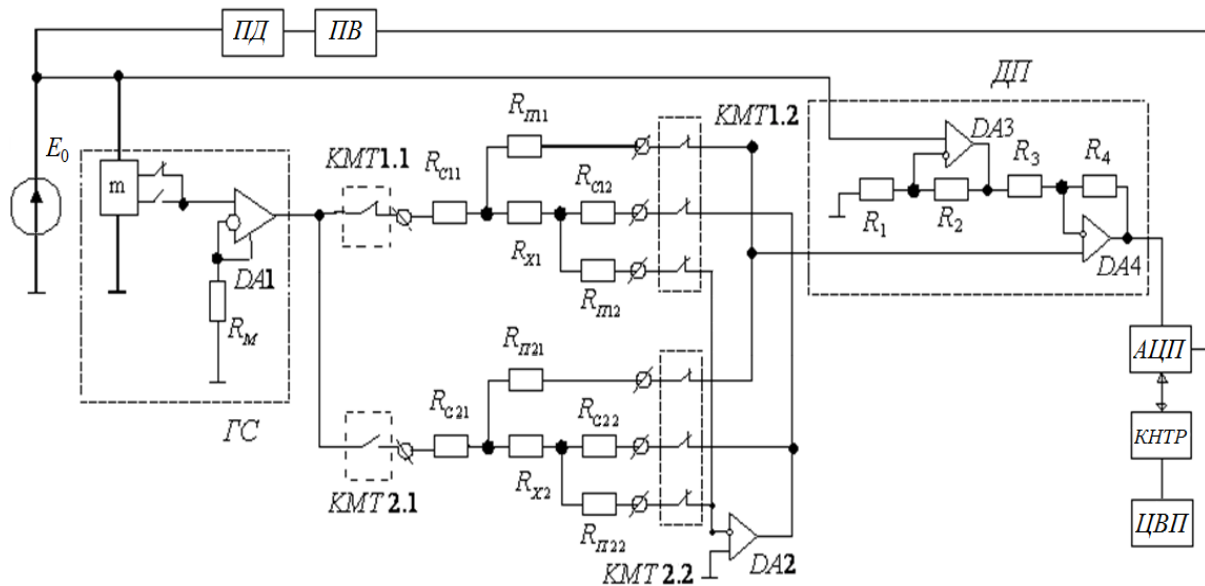


Рис. 1. Структура вимірювача різниці температур для сенсорів з чотиридротовою лінією зв'язку та автоматичною процедурою калібрування:

ПД – подільник напруги; ПВ – повторювач напруги; ГС – генератор струму; ДП – диференційний підсилювач; КНТР – контролер; ЦВП – цифровий відліковий пристрій

$$\Delta N_x = N_{x1} - N_{x2} = \frac{k_{ADC} k_m (m_1 - m_2)}{k_{IA} (1 + \Delta_{IA} / E_0 k_{IA})} \cdot \frac{R_{x1} - R_{x2}}{R_M} \quad (4)$$

Зміни значень масштабувальних коефіцієнтів тракту перетворення можуть призводити до суттєвих похибок із зміною умов довкілля та часу. Щоб цього уникнути, пропонується така процедура калібрування каналів вимірювання опорів термоперетворювачів. Почергово замість одного з термоперетворювачів опорів приєднується калібрувальний резистор. До іншого каналу приєднується нульовий опір, тобто другий канал закорочується. Якщо до калібрування функція перетворення вимірювача різниці температур мала вигляд (4), то після процедури калібрування каналів вимірювання опорів отримуємо таке співвідношення:

$$\frac{k_{ADC} k_m (m_1 - m_2)}{k_{IA} (1 + \Delta_{IA} / E_0 k_{IA})} \cdot \frac{1}{R_M} = \frac{\Delta N_K}{R_K} \quad (5)$$

Тепер результат вимірювання різниці температур

$$\Delta N_{x\hat{E}} = \frac{\Delta N_K}{R_K} [R_{x1} - R_{x2}] \quad (6)$$

Як бачимо, після калібрування каналів вимірювання опорів похибка вимірювача різ-

ниці температур визначатиметься лише похибкою калібрувального резистора

$$R_{\hat{E}} = R_{\hat{E}i} (1 + \delta_{R_{\hat{E}}}) \quad (7)$$

Точність результату вимірювання буде залежати також від того, наскільки вдало підібрана пара термоперетворювачів.

Проведений аналіз показав, що для метрологічного забезпечення прецизійних вимірювачів різниці температур доцільно використовувати платинові термоперетворювачі опорів з можливістю чотиридротового приєднання сенсора, що дає можливість позбутися впливу залишкових параметрів з'єднувальних ліній. Сам вимірювач різниці температур найкраще реалізувати на основі двоканального вимірювача опорів. Адитивна складова похибки коригується методом зміни значення вимірювального струму. Для забезпечення інваріантності результатів перетворення до значень вимірювального струму для АЦП і для генератора струму використано одне джерело опорної напруги. Одночасно для усунення похибок, пов'язаних зі зміною масштабувальних коефіцієнтів тракту перетворення, для точного вимірювання різниці опорів термоперетворювачів було запропоновано процедуру автоматичного калібрування тракту перетво-

рення із використанням прецизійного калібрувального резистора.

Список використаної літератури

1. ДСТУ ISO 9806-1:2005. Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 1. Теплові характеристики та перепад тиску закритих сонячних колекторів для нагрівання рідини (ISO 9806-1:1994, IDT). – К.: Держспоживстандарт України. – 2008. – С. 8.

2. ДСТУ ISO 9806-3:2005. Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 3. Теплові характеристики (лише відчутне теплопередавання) та перепад тиску незакритих сонячних колекторів для нагрівання рідини (ISO 9806-3:1995, IDT). – К.: Держспоживстандарт України. – 2008. – С. 6.

3. Кожух В. Я. Автоматическое измерение разности температур / В. Я. Кожух. – М.: Энергия, 1969. – 88 с.

4. Meijer G. C. M. Smart Sensor Systems / G.C.M. Meijer – Delft: SensArt, 2008. – 385 p.

5. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин / Є. С. Поліщук // Підручник. – Львів: Видавництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 360 с.

6. Яцук В. О. Методи підвищення точності вимірювань / В. О. Яцук, П. С. Малахівський // Підручник – Львів: Видавництво “Бескид Біт”, 2008. – 368 с.

3. Kozhuh V. Y. Avutomaticheskoe measurement of temperature difference. – Moscow: Energy, 1969. – 88 p. [in Russian].

4. Meijer G.C.M. Smart Sensor Systems. – Delft: SensArt, 2008. – 385 p. [in English].

5. Polishchuk E. S. Methods and means of measuring non-electrical quantities / E. S. Polishchuk // Manual. – Lviv: Publishing House of the State University “Lviv Polytechnic”, 2000. – 360 p. [in Ukrainian].

6. Yatsuk V.A., Malachivskyy P.S. Methods to improve the accuracy of measurements / V.A. Yatsuk, P. S. Malachivskyy / Tutorial. – Lviv: Publishing House “Beskid Beat”, 2008. – 368 p. [in Ukrainian].



Олеськів
Тарас Михайлович,
аспірант каф. Метрології,
стандартизації та сертифікації
НУ «ЛП»,
т. (096) 38-99-256,
e-mail: taras_oleskiv@ukr.net



Яцук
Василь Олександрович,
д.т.н., проф. каф. Метрології,
стандартизації та сертифікації
НУ «ЛП»,
т. (032) 25-82-394,
e-mail:
vyatsuk@polynet.lviv.ua

Отримано 16.05.2012

References

1. DSTU ISO 9806-1:2005. Solar collectors. Test methods. Part 1. Thermal properties and pressure drop of glazed solar collectors for heating liquids (ISO 9806-1:1994, IDT). – Kyiv: Ukraine State Committee. – 2008. – P. 8 [in Ukrainian].

2. DSTU ISO 9806-3:2005. Solar collectors. Test methods. Part 3. Thermal properties (only noticeable heat transfer) and pressure drop of unglazed solar collectors for heating liquids (ISO 9806-3:1995, IDT). – Kyiv: Ukraine State Committee. – 2008. – P. 68 [in Ukrainian].