
УДК 702.61.18.001.006

А.М. Науменко, В.М. Сизоненко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ОСНОВНИХ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Аналізуються похибки вимірювачів температури на сучасному етапі розвитку автоматизованих систем управління. Розглядаються похибки за рахунок особистого споживання теплової енергії термоперетворювачів, похибки від теплообміну між об'єктом дослідження та навколишнім середовищем.

Ключові слова: *термопередача, термоперетворювачі, чутливий елемент.*

Вступ

Постановка задачі. Одним з основних каналів автоматизованих систем управління є канал вимірювання температури. Існуючі первинні перетворювачі для вимірювання температури, що застосовуються в сучасних АСУ, повинні відповідати потрібній точності та стабільності вимірювань. Тому є актуальним питання оцінки та урахування похибок вимірювання температури первинним перетворювачами.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1 – 6] розглядаються метрологічні характеристики різних видів термоперетворювачів, але в цій літературі не визначаються питання, що пов'язані з оцінкою похибок вимірювачів температури в умовах безпосереднього контакту їх з зовнішнім середовищем.

Метою статті є дослідження метрологічних характеристик та похибок вимірювачів температури контактним методом.

Основний матеріал

Сучасні автоматизовані засоби вимірювання характеризуються двома напрямками розвитку:

- автоматизовані вимірювальні прилади і міри;
- автоматизовані комплекси для калібровки засобів вимірювання і автоматизованої повірки інформаційно-вимірювальних систем, що призначені для збору вимірювальної інформації, її передачі та обробки.

Існують два рівні автоматизації. Перший напрямок характеризується втіленням в ряді вимірювальних засобів схем, конструктивних рішень, прийомів, які допомагають автоматизувати вимірю-

вальний процес, автоматичну стабілізацію і регулювання параметрів сигналів, спеціальних схем.

Другий напрямок – інтенсивний розвиток цифрової техніки.

Розвиток цих напрямків допомагає:

- зменшити число ручних настройок, кількість індикаторів контролю та керування;
- ввести автоматизований вибір меж вимірювання, автоматичну калібровку, встановлення “0”;
- застосування спеціальних засобів, які виконують математичні операції над вимірними величинами;
- засоби вимірювання працюють сумісно з ЕОМ в складі інформаційно-вимірювальних систем.

Аналіз причин появ похибки вимірювань їх виявлення та зменшення є одним з основних етапів процесу вимірювань.

Всі відповідні засоби вимірювальної техніки вимірюють температуру чутливого елемента термометра, яка в загальному випадку не дорівнює температурі об’єкту.

Крім того, при даних методах вимірювання суттєве значення має похибка, яка обумовлена взаємодією об’єкту вимірювання та засобом вимірювальної техніки, особливо якщо останній використовується тільки для періодичних вимірювань та є штатним приладом даного об’єкту.

Існують ще такі похибки як: похибка за рахунок особистого споживання теплової енергії термометром; похибка від паразитного теплообміну між об’єктом дослідження та навколишнім середовищем через термометр; динамічна похибка.

Похибка, пов’язана з теплопередачею від об’єкту до термометра.

Для усунення цієї похибки необхідно виготовити термометр найбільш придатний конструктивно. При виготовленні необхідно приділяти увагу конструкції, яка буде забезпечувати найбільший контакт з об’єктом.

Похибка за рахунок особистого споживання теплової енергії термометром.

Для усунення похибки особистого споживання теплової енергії термометром, необхідно його вносити в досліджену середу завчасно, а по можливості забезпечити постійне знаходження його там. Ця похибка особливо проявляється при вимірюванні температур різних об’єктів. Її значення пропорційне відношенню теплоємностей термометра та об’єкту дослідження та різності їх початкових температур.

Похибка від теплообміну між об’єктом дослідження та навколишнім середовищем через термометр.

Похибка від паразитного теплообміну між об’єктом дослідження та навколишнім середовищем через термометр залежить від конструкції та властивостей термометра, способом його монтажу та від характеристик об’єкту дослідження.

Ця похибка досягає великих значень. Усунення цієї похибки здійснюються наступними методами:

- додаткова теплоізоляція в таких місцях, де термометр виходить на поверхню;
- теплочутлива частина повинна розташовуватися як можна близько до його кінця;
- зменшення коефіцієнту відображення шляхом сріблення або золочення поверхні чутливого елемента.

Суттєвою похибкою контактних методів є динамічна похибка. До маси чутливого елемента необхідно підвести деяку кількість тепла.

Розглянемо чутливий елемент термометра як однорідну масу m з високим коефіцієнтом теплопровідності λ та площиною поверхні H , яка контактує лише з навколишнім середовищем, то диференціальне рівняння для температури цього елемента Q_F як функції вимірюваної температури та часу t має вигляд:

$$Q(t) = Q_F(t) + T \frac{dQ_F(t)}{dt}, \quad (1)$$

де $T = (1/\alpha)C$ – постійна часу чутливого елемента; α – коефіцієнт тепловіддачі; C – питома теплоємність.

При нерівномірній зміні температури Q температура чутливого елемента Q_F змінюється за експонентним законом. Єдиним параметром, що визначає характер кривої, є постійна часу T . Для багатьох термометрів ця похибка нормується і для отримання точних результатів вимірювань необхідно виконувати умови вимірювання температури відповідним засобом. Ці похибки є загальними для всіх контактних методів. Необхідно також вказати на те, що існують похибки, властиві лише одному з контактних методів. Нас більше цікавить термоелектричний метод і тому сконцентруємо увагу на ньому. Похибка термоелектричних перетворювачів складається з похибок:

- похибки градування термоелектричного перетворювача;
- похибки термоелектричної неоднорідності перетворювача;
- похибки відхилення градувальної характеристики стандартних робочих термометрів від стандартної статистичної номінальної характеристики;
- похибки, обумовленою зміною температури вільних кінців термоелектричних перетворювачів;
- похибки виникнення термоелектродів у зв’язку з часовою нестабільністю.

Похибка градування термоелектричного перетворення визначається похибкою робочого еталону, наприклад, термостату, зразкового термометру, який контролює температуру в термостаті, потенціометру, який застосовується при калібруванні.

Крім того, сюди слід віднести похибку інтерполяції результатів визначення статистичної номінальної характеристики, значення нестабільності номінальної характеристики, значення нестабільності номінальної статичної характеристики в період

між калібруваннями термоелектричного перетворення. В даному випадку абсолютну похибку градування можна визначити за формулою:

$$\Delta_{\text{гр}} = \sqrt{\Delta_{\text{т}}^2 + \Delta_{\text{тр}}^2 + \Delta_{\text{п}}^2 + \Delta_{\text{і}}^2 + \Delta_{\text{н}}^2}, \quad (2)$$

де $\Delta_{\text{т}}$ – похибка термостата, в якому здійснюється калібрування термоперетворювача; $\Delta_{\text{тр}}$ – похибка робочого еталону термоперетворювача, який застосовується для визначення температури в термостаті; $\Delta_{\text{п}}$ – похибка потенціометру, який реєструє покази термоперетворювача; $\Delta_{\text{і}}$ – похибка інтерполяції градувальної кривої; $\Delta_{\text{н}}$ – нестабільність градувальної кривої в період між калібруваннями.

Термоелектрична неоднорідність перетворювача обумовлена непостійністю хімічного складу термоелектродів за довжиною. Дана похибка може складати від десятих часток до декількох одиниць Кельвіна та більше. Все це обумовлює найбільший вплив на показання низькотемпературних електричних перетворювачів, так як при цих температурах чутливість зменшається, а частка паразитної термо-ЕРС зростає. Для зменшення цієї похибки електроди термоперетворювачів перевіряють методом різноманітного поглиблення за методикою, яка описана в ГОСТ 14894-89. Похибка, обумовлена зміною температури вільних кінців термоелектричного перетворювача є суттєвою. Температура вільних кінців термоелектричного перетворювача повинна дорівнювати 0°C, а в ідеалі вона постійна. Тому виникає необхідність вводити поправку на температуру вільних кінців термоперетворювача. Існують спеціальні пристрої, які забезпечують автоматичне введення поправки.

Розглянемо одне з таких схемних рішень. Схеми являє собою рівноплечий міст, тригер, еталонні опори R_1, R_2, R_3, R_4 . При температурі 0°C міст зрівноважений, напруга на контактах a і дорівнює 0, термо-ЕРС відповідає значенню за номінальною статичною характеристикою $E(t, t_0)$. При змінюванні температури вільних кінців перетворювача опір R_1 також змінює своє значення. Це призводить до порушення рівноваги мосту і на затисках a ; виникає напруга $U_{\text{ав}}$, яка компенсує зміну термо-ЕРС, яке викликано зміною температури вільних кінців.

В теперішній час існують і інші установки, які відрізняються значеннями температури, при якій схема мосту знаходиться в рівновазі (0°C – 20°C) та температурними характеристиками компенсуючої напруги.

Похибка відхилення термо-ЕРС від стандартної номінальної характеристики може складати значення в декілька градусів Кельвіна. Тому, в випадку підвищення вимог до точності вимірювань проводять індивідуальне градування з похибкою 0,2 – 0,5 К. Сумарна похибка вимірювання температури за допомогою термоелектричних термометрів складається з похибки термоперетворювача, методичної похибки і похибки робочого еталону.

Висновки

1. Сучасний аналіз показує, що більшість засобів вимірювання температури, які використовуються у виробництві, не відповідають вимогам надійності, не достатньо універсальні, що в значній мірі обмежує можливості та ефективність вимірювального контролю параметрів систем і агрегатів.

2. За важливістю вимірювальної інформації, яка отримується за допомогою засобів вимірювання температури, ці прилади відносять до найбільш відповідальних, оскільки за їх допомогою контролюють відповідність температури в агрегатах та системах, а також при проведенні вимірювань.

3. Невідповідність температури вимогам приводить до значних похибок. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки приладів вимірювання температури з високою точністю вимірювань.

Список літератури

1. Бромберг Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
2. Виглеб Г. Датчики: устройство и применение / Г. Виглеб. – М.: Мир, 1989. – 196 с.
3. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления / В.Ф. Козаченко. – М.: ЭКОМ, 1997.
4. Корнеев В.В. Современные микропроцессоры / В.В. Корнеев. – М.: НОЛИДЖ, 2000. – 320 с.
5. Кохц Д. Измерение, управление и регулирование с помощью PIC-микроконтроллеров / Д. Кохц. – К.: МК-Пресс, 2006. – 304 с.
6. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

Надійшла до редколегії 9.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

А.М. Науменко, В.М. Сизоненко

Анализируются погрешности измерителей температуры на современном этапе развития автоматизированных систем управления. Рассматриваются погрешности за счет личного потребления тепловой энергии термопреобразователями, погрешности от теплообмена между объектом исследования и окружающей средой.

Ключевые слова: термопередача, термопреобразователи, чувствительный элемент.

**ESTIMATE OF BASIC ERRORS
OF MEASUREMENTS TRANSFORMERS OF TEMPERATURE**

A.M. Naumenko, V.M. Sizonenko

The errors of measuring devices of temperature are analysed on the modern stage of development of automated control the system. Errors are examined due to the personal consumption of thermal energy by thermoelement, errors from a heat exchange between the object of research and environment.

Keywords: thermalmedia, thermoelement, sensible element.