

УДК 004.67 : 621.317

П.Ю. Безкорвайний¹, А.М. Клименко¹, Н.Ю. Любченко¹, Е.К. Мирко²¹ Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків² Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків**ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ**

Наведений опис моделі мікропроцесорного вимірювача температури та проведене її дослідження для різних умов функціонування і характеристик температурних датчиків в мікропроцесорних вимірювальних системах. Розроблені пропозиції по застосуванню методів вимірювання температури з коригуванням похибки для мікропроцесорних вимірювачів. Приведені результати роботи програмної реалізації системи автоматизації процесу обробки даних з багатьох температурних датчиків з корекцією помилки вимірювання, що дозволяє централізовано та на місці відслідковувати і аналізувати температурні вимірювання.

Ключові слова: система автоматизації, температурні вимірювання, мікропроцесорний вимірювач.

Вступ

Постановка проблеми. Створення високотехнологічного пристрою аналізу вимірюваної температури висуває підвищені вимоги до рівня надійності його функціонування. Сучасне виробництво має у своєму складі в ряді випадків десятки-сотні пристроїв, що потребують контролю за температурою [1, 2]. При традиційних системах управління з децентралізованим контролем для обслуговування такої кількості установок потрібен великий штат оперативного персоналу. За існуючими правилами оператор повинен здійснювати регулярний контроль роботи та реєструвати в журналі спостережень дані про температуру і проходження технологічних процесів.

Здійснювати такий масштабний контроль сучасних технологічних процесів силами оперативного персоналу, особливо в нічний час, не тільки досить трудомістка операція, але і найбільш слабка по надійності операція циклу, оскільки результат контролю повністю залежить від сумлінності, об'єктивності та фізичного стану операторів. Істотно зростає ймовірність операторських помилок, таких як неправильна реалізація вірних намірів і правильного виконання дій на основі невірних передумов. У разі виникнення нештатної ситуації оператор може з організаційних причин затратити чимало часу на пошук проблеми функціонування та виду несправності, що, як правило, призводить до зниження якості підсумкової продукції.

Для забезпечення високої надійності функціонування програмної системи управління процесами аналізу пропонується концепція мережевої дворівневої організації, що складається з центральної комп'ютерної системи і мікропроцесорних блоків локального управління, які розміщуються близько установки. Для визначення шляхів реалізації запропонованої концепції необхідно створити модель системи та провести її дослідження.

Аналіз публікацій. Проведений аналіз літератури [2 – 6] показав, що існує багато варіантів вимірювання температури однак вони не розглядають процес вимірювання з урахуванням роботи великої кількості сучасних пристроїв, на які впливають різні дестабілізуючі фактори. Основним завданням для точного вимірювання є безпосередній контакт із вимірювальною поверхнею та зменшення дестабілізуючих факторів на систему. Для автоматизації роботи система повинна бути обладнана необхідною кількістю датчиків і приладами автоматизації.

Таким чином, актуальності набуває питання, пов'язане з дослідженням можливих шляхів побудови системи вимірювання температури та її аналіз.

Мета статті. Дана стаття присвячена дослідженню моделі та розробці пропозицій щодо побудови мікропроцесорної системи вимірювання температури.

Основна частина

Розробка моделі мікропроцесорного вимірювача температури (МВТ) була проведена в середовищі моделювання MATLAB та наведена на рис. 1, де БФВС – блок формування вхідного сигналу; БФВТ – блок формування вимірюваної температури; ТП – температурний перетворювач; ОП – операційний підсилювач; БФШС – блок формування шумового сигналу; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; АЛП – арифметико-логічний пристрій; МП – мікропроцесор; БІ 1, 2, 3, 4 – блоки індикації.

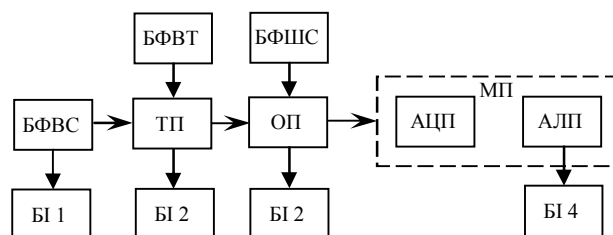


Рис. 1. Модель мікропроцесорного вимірювача температури

БФВС в наведеній моделі формує три види досліджуваних сигналів зміни температури за часом – $X_{\text{вх}1} = \text{const}$, $X_{\text{вх}2} = kx$, $X_{\text{вх}3} = \sin x$, які видаються для графічної індикації на БІ 1. В сигнал після температурного перетворювача (ТП) адитивно подається шумова складова randn , яка має розподіл за нормальним законом із визначеними параметрами розподілу, що змінюються під час дослідження:

$$X_{\text{ТП1}} = \text{const} + \text{randn}; \quad X_{\text{ТП2}} = kx + \text{randn}; \\ X_{\text{ТП3}} = \sin x + \text{randn}.$$

На виході операційного підсилювача маємо сигнал вигляду

$$X_{\text{ТП1}} = k_{\text{ш}}(\text{const} + \text{randn}) + x_0, \quad X_{\text{ТП2}} = k_{\text{ш}}(kx + \text{randn}) + x_0, \\ X_{\text{ТП3}} = k_{\text{ш}}(\sin x + \text{randn}) + x_0.$$

Аналіз причин появ похибки вимірювань їх виявлення та зменшення є одним з основних етапів процесу вимірювань. В нашому випадку основну частину займають контактні методи вимірювання температури та пов'язані з цим похибки, то розглянемо їх більш детально. Основним є те, що всі контактні методи основані на перетворенні в сигнал вимірювальної інформації будь-якої термічної властивості термоперетворювача, а не об'єкта дослідження. Тому, всі відповідні засоби вимірювальної техніки вимірюють температуру чутливого елемента термоперетворювача, яка в загальному випадку не дорівнює температурі об'єкту.

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

Методичні похибки терморезистивного методу обумовлені нагрівом термоперетворювача струмом, який проходить через нього та впливом опору ліній, а термоелектричного – похибки від нестабільності температури вільних кінців термопари, впливу постійних магнітних полів та інших факторів.

Загальними для всіх контактних методів є похибки, обумовлені недостатнім тепловим контактом між перетворювачем та об'єктом дослідження. При проведенні вимірювань з використанням мікроконтролера пропонується відмовитися від звичайного способу калібрування вимірювального приладу за допомогою вимірювального підсилювача і компенсаційного потенціометра, а перекласти завдання калібрування/корекції на мікроконтролер.

Окрім перелічених похибок існують ще й такі як: похибка за рахунок особистого споживання теплової енергії термоперетворювачем; похибка від паразитного теплообміну між об'єктом дослідження та навколишнім середовищем через термоперетворювач; динамічна похибка.

Найважливішими завданнями є підвищення точності як найбільш важливого показника якості вимірювань. Воно досягається зменшенням усіх складо-

вих похибки МВТ, причинами яких є внутрішні впливні величини та зовнішні впливні величини, до яких належать умови експлуатації МВТ і неінформативні параметри вхідних (вимірювальних) сигналів.

Відомо багато методів підвищення точності МВТ, які розділяють на дві групи:

- методи, що забезпечують усунення або зведення до мінімуму причин виникнення окремих складових похибки МВТ (консервативні методи);
- методи, які направлені на зниження рівня похибок МВТ (методи корекції похибок).

Консервативні методи запобігають появі тих чи інших похибок МВТ або не припускають перевищення ними допустимих значень. Вони відрізняються простотою реалізації, бо не потребують чуттєвого структурного ускладнення МВТ. До консервативних методів належать конструктивно-технологічні та захисно-запобіжні методи. Відомо також багато методів корекції похибок МВТ, але найбільш поширеними є структурні, статистичні й алгоритмічні методи. Структурні методи підвищення точності МВТ ґрунтуються на використанні принципу інваріантності (нечутливості), згідно з якими МВТ виконуються так, щоб зменшити їх чутливість до певної впливної величини, або їх сукупності, що призводить до тих чи інших похибок МВТ. Досить перспективними є алгоритмічні методи підвищення точності МВТ. Вони ґрунтуються на використанні таких алгоритмів обробки декількох результатів вимірювань, які дозволяють зменшити похибку вимірювань.

Розглянемо реальний випадок з практики вимірювань коли вимірювач температури видає характеристику, представлену на рис. 2.

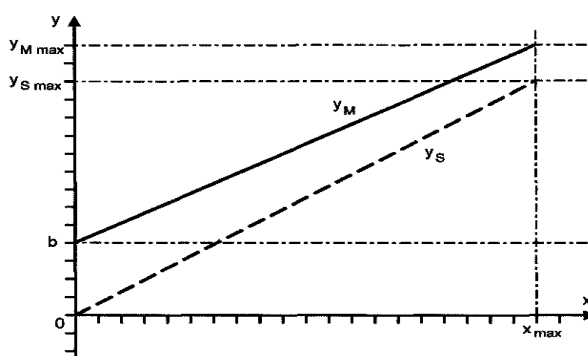


Рис. 2. Нормальна y_s і фактична y_m характеристика вимірювального приладу

На діаграмі показана фактична характеристична крива y_m (суцільна лінія) і нормальна характеристика y_s (пунктирна лінія) вимірювального приладу. При цьому кривій y_m можуть, наприклад, відповідати значення на виході цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) залежно від вхідної напруги x .

Як видно з рис. 2, фактичні значення y_m зміщені відносно кривої y_s на величину b . Окрім того, спостерігається незначне посилення (нахил прямої y_m незначний).

У звичайних випадках подібні погрішності усуваються за допомогою вимірювального підсилювача і підстроечного резистора. Якщо ж в описаній вимірювальній системі присутній мікроконтролер, то корекція помилки реалізується на програмному рівні. Відповідно, відпадає необхідність у використанні підсилюючої схеми і підстроечного резистора. Значення поправки прораховуються в процесі калібрування, після чого вони можуть бути записані, наприклад, в пам'ять EEPROM мікроконтролера [7, 8]. З їх допомогою при подальших вимірюваннях всі значення, що заміряються (спотворені), можуть бути відкоректовані в режимі реального часу.

На рис. 3 зображена лінійна характеристика вимірювального приладу з двома контрольними точками МР1 і МР2, в яких слід виконати калібрування за допомогою мікроконтролера.

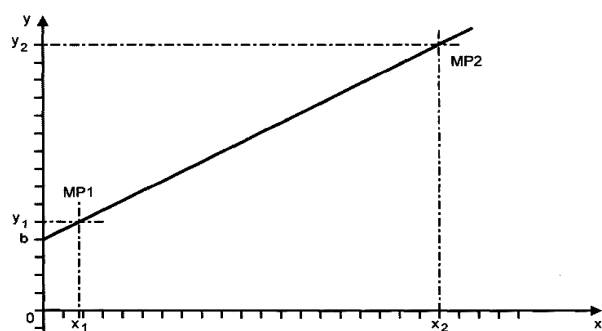


Рис. 3. Характеристика вимірювального приладу, що калібрується за допомогою мікроконтролера

Якщо характеристика має лінійний характер, то усі величини, що заміряються, знаходяться на одній прямій і описуються рівнянням

$$y = a \cdot x + b. \quad (1)$$

Невідомі коефіцієнти a і b легко визначити, знаючи точки виміру МР1 і МР2. Підставивши їх координати в (1), отримаємо:

$$a = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1), \quad b = y_1 - a \cdot x_1. \quad (2)$$

Шуканою є початкова величина x , якій відповідає значення y на виході ЦАП. Шляхом перестановки (2) отримуємо

$$x = (y - b) / a, \quad x = (y - b) / a. \quad (3)$$

Перш ніж визначити шукану початкову величину x , необхідно раніше відняти з y збережене в пам'яті EEPROM значення зсуву b . Отримана різниця потім ділиться на нахил прямої a , і в результаті отримуємо шукану величину. Оскільки мікроконтролери виконують операції множення, як правило, швидше, ніж операції ділення, ділення замінюється множенням на зворотну величину $1/a$.

Пропонується також використовувати статистичні методи корекції похибки МВТ призначені для зменшення випадкової складової похибки вимірювань, коли відомі статистичні характеристики похибки (оцінка інтервалу кореляції похибки, оцінка вза-

ємної кореляційної функції похибки тощо). Такі методи ґрунтуються на часовому осередненні результатів вимірювань, тобто на їх цифровому інтегруванні та використовуються при умові, що інтервал кореляції похибки є значно меншим від допустимого значення часу вимірювання або перетворення. Часове осереднення здійснюється на основі багатовимірних вимірювань фізичної величини X постійного розміру одним МВТ за незмінних умов і з наступним обчисленням результату вимірювань, яким є середнє арифметичне значення \bar{Y} окремих результатів вимірювань Y_i , виконаних послідовно в часі.

Результати дослідження мікропроцесорного вимірювача температури наведені рис. 4 – 6.

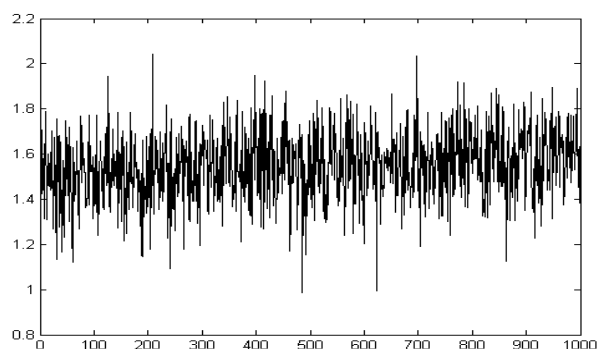


Рис. 4. Температура на виході термодатчика з урахуванням випадкової похибки (температура термодатчика постійна)

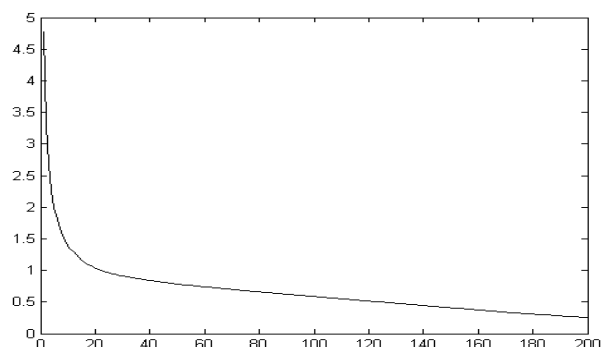


Рис. 5. Середньоквадратична похибка вимірювань з урахуванням осереднення у мікропроцесорі (температура термодатчика постійна)

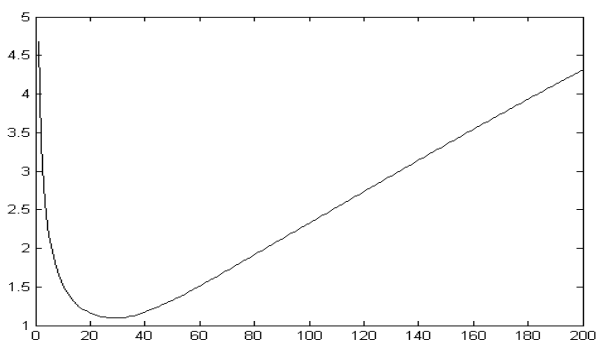


Рис. 6. Середньоквадратична похибка вимірювань з урахуванням осереднення у мікропроцесорі (температура термодатчика лінійно зростає)

Автоматизація процесу обробки передбачає реалізацію в системі певних засобів і функцій. Слід виділити функціональні особливості, показані на рис. 7, які повинні мати система: можливість контролю і резервування даних; забезпечувати швидку обробку отриманих даних; відправляти звіт на сервер з візуальною реалізацією проекту.

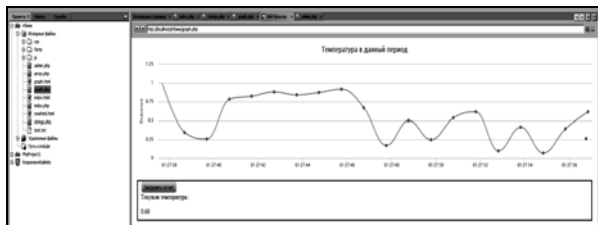


Рис. 7. Емуляція роботи системи на веб сервері

Система розроблена таким чином що вихідні дані з мікроконтролера зберігаються в базу даних для подальшої їх обробці. Після ці дані обробляються в інтерпретаторі написаному на мові JavaScript і виводяться у вигляді графіка який в свою чергу обновлюється кожні 2 секунди розставляє точки на площині і дає повну картину вимірювання температури в реальному часі [9]. Серверна частина для зручності вироблена на базі мови PHP який дає можливість стежити за перепадами з будь-якої точки планети з будь-якого пристрою [10]. Такий інтерфейс можливо розширити під будь-яку задачу і включити в нього додатковий функціонал, такий як графік роботи пристрою, або ж кнопки включення і виключення пристроїв і багато іншого що зумовлено необхідністю. Захист доступу реалізується створенням облікових записів користувачів і прив'язці до IP, якщо не передбачене підключення поза корпоративної мережі. Виконані функції перегляду поточної температури, перегляду по датах і можливості зберегти звіт по конкретних часових проміжках.

Висновки

В статті наведений опис моделі мікропроцесорного вимірювача температури та проведено її до-

слідження для різних умов функціонування і характеристик температурних датчиків. Розроблені пропозиції по застосуванню методів вимірювання температури з коригуванням похибки для мікропроцесорних вимірювачів. Приведені результати програмної реалізації системи автоматизації процесу обробки даних з багатьох температурних датчиків з корекцією помилки вимірювання. Результати дослідження можуть бути застосовані на складних технічних системах, де необхідна обробка даних вимірювань про температуру і проходження технологічних процесів.

Список літератури

1. Датчики температуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.devicesearch.ru/article/datchiki-temperatura>
2. Hashemian H.M. Monitoring and measuring I&C performance in nuclear power plants / H.M. Hashemian. – USA: International Society of Automation, 2014. – 376 с.
3. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
4. Новицкий П.В. Динамика погрешностей средств измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф, В.С. Лабунец. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
5. Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах / Г.Я. Мирский. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.
6. Подорожняк А.О. Динамична нейронна мережева модель первинного перетворювача / А.О. Подорожняк, О.В. Полярус, А.О. Коваль // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". – 2014. – Вип. 35 (1078). – С. 152-160.
7. Кохц Д. Измерение, управление и регулирование с помощью PIC-микроконтроллеров / Д. Кохц. – К.: МК - Пресс, 2006. – 304 с.
8. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR – микроконтроллеров / В. Трамперт – К.: МК - Пресс, 2006. – 208 с.
9. Чаффер Д. Изучаем jQuery 1.3. Эффективная веб-разработка на JavaScript / Д. Чаффер, К. Шведберг. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 448 с.
10. Строганов А.С. Ваш первый сайт с использованием PHP скриптов / А.С. Строганов. – М.: Диалог-МИФИ, 2008. – 288 с.

Надійшла до редколегії 12.12.2015

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

П.Ю. Безкоровайний, А.М. Клименко, Н.Ю. Любченко, Е.К. Мирко

В статье приведено описание модели микропроцессорного измерителя температуры и проведено ее исследование для различных условий функционирования и характеристик температурных датчиков в микропроцессорных измерительных системах. Разработаны предложения по применению методов измерения температуры с корректировкой погрешности для микропроцессорных измерителей. Приведены результаты работы программной реализации системы автоматизации процесса обработки данных от многих температурных датчиков с коррекцией ошибки измерения, позволяющей централизованно и на месте отслеживать и анализировать температурные измерения.

Ключевые слова: система автоматизации, температурные измерения, микропроцессорный измеритель.

RESEARCH MICROPROCESSOR TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM

P. Yu. Bezkorovainyi, A.M. Klimentko, N.Yu. Lubchenko, E.K. Mirko

The article describes a model of microprocessor meter temperature and given her research for a variety of operating conditions and characteristics of temperature sensors in the microprocessor-based measurement systems. Proposals on the application of methods of temperature measurement error correction for microprocessor meters. The results of the work program implementation process automation system data from many temperature sensors with measurement error correction, enabling centralized and on-site to monitor and analyze the temperature measurements.

Keywords: automation system, temperature measurement, microprocessor meter.