

імітансних сенсорів в напругу // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2001. – №420. – С. 104–109. 5. Походило Є.В. Перетворювачі параметрів імітансних сенсорів в напругу // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2001.- №420. – С. 104–109.

УДК 536.3+006.015.8+628.1

П.Г. Столярчук, Ю.В. Яцук, М.С. Міхалєва, В.М. Дружок
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

ПРОБЛЕМИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ

© Столярчук П.Г., Яцук Ю.В., Міхалєва М.С., Дружок В.М., 2007

Проаналізовано проблеми побудови систем екологічного моніторингу температурних полів. Запропоновано використовувати напівпровідникові сенсори температури з уніфікацією характеристик перетворення для систем екологічного моніторингу. Описано також структурну схему, математичні моделі функції перетворення і алгоритм автокалібрування, сумісні з інтерфейсом IEEE P1451.

The problems of construction Temperature Field Ecological Monitoring Systems are analyzed. The usage of temperature sensors with checking at the exploitation place and the construction of one of the parts of the ecological monitoring system based on the employing of intelligent thermometers compatible with IEEE P1451 interface are proposed. The swtructural scheme, conversion function mathematical models and autocalibration algorithm are described.

1. Вступ

Теплове забруднення є одним з видів забруднень природних вод, спричинене скиданням промисловими підприємствами, електростанціями підігрітої води.

У водоймах з підвищеною температурою зменшується вміст кисню, збільшується токсичність забруднювальних речовин, порушується біологічна рівновага, змінюється видовий склад організмів, наприклад, водоростей. З підвищенням температури у забрудненій воді бурхливо розмножуються хвороботворні мікроорганізми і віруси [1].

З метою попередження екологічно незворотних процесів необхідно аналізувати динаміку якості водних об'єктів. Екологічно значущі параметри, один з яких – температура – створюють необхідність у автоматизованій експертно-аналітичній системі постійного контролю стічних вод.

У вимогах до якості води водойм, використовуваних для купання, спорту і відпочинку, зазначено, що влітку температура води в результаті скиду стічних вод не повинна підвищуватися більше ніж на 3°C порівняно із середньомісячною температурою найтеплішого місяця року за останні 10 років. У водоймах рибогосподарського призначення допускається підвищення температури води в результаті скиду стічних вод не більше, ніж на 5°C порівняно з природною температурою. У [2] допустиме значення температури скиду води підприємств у комунальні системи каналізації не повинне перевищувати 40°C.

Тому розробка сигналізаторів температури природних та стічних вод для автоматизованої системи екологічного моніторингу є актуальною задачею. Це дасть змогу вдосконалити охорону довкілля і раціонально використовувати природні ресурси; забезпечити теоретичні, метрологічні засади для розроблення екологічної складової нормативних актів ЄС при створенні єдиної регіональної екологічної мережі Центрально-Східної Європи, до якої входить і територія України.

2. Постановка задачі досліджень

Сьогодні суттєві, а в деяких випадках й катастрофічні впливи людської діяльності на природне середовище призводять до необхідності впровадження систем екологічного моніторингу.

Однією з найважливіших стає проблема гальмування глобального потепління. Очевидно, що цю проблему можна вирішити впровадженням локальних систем температурного екологічного моніторингу, опрацювання результатів вимірювань яких використовуватимуть для вироблення регуляторних дій до теплових забруднювачів довкілля. Особливостями таких локальних систем температурного моніторингу є їх багатоканальність, велика просторова розпорошеність, широкий діапазон зміни умов довкілля, необхідність автономного живлення, можливість передавання інформації на значні відстані, малі малогабаритні показники та вартість, доцільність періодичних метрологічних перевірок на місці експлуатації. Природно, що в сучасних умовах високорозвинених мікроелектронних та інформаційних технологій не може бути альтернативи цифровому опрацюванню і передаванню вимірювальних сигналів. Для побудови локальних вимірювально-обчислювальних мереж останнім часом запропоновано стандарт IEEE P1451 інтелектуальних інтерфейсів для перетворювачів [3–6]. Перевагами мереж, побудованих за цим інтерфейсом, є сторінки електронних даних перетворювача (СЕДП), однотипність подання фізичних одиниць, загальний підхід до процесу калібрування, можливість під'єднання як сенсорів, так і різноманітних виконавчих елементів, програмний обмін інформацією між головною обчислювальною машиною мережі та інтелектуальним перетворювачем, підтримка багатофункціональних перетворювачів [3–6]. Сьогодні є також можливість безпроводного передавання цифрової інформації у цих інтерфейсах [6], що може значно спростити апаратну реалізацію локальної мережі температурного моніторингу. До одного модуля інтелектуального інтерфейсу (МІ) може бути під'єднано до 255 інтелектуальних сенсорів (ІС). Тому основною проблемою побудови таких МІ є реалізація ІС із задовільним комплексом технічних характеристик.

3. Аналіз можливостей побудови інтелектуальних сенсорів

Система екологічного температурного контролю повинна бути багатоканальною, працювати в широкому діапазоні зміни температури довкілля $-40 +50^{\circ}\text{C}$, мати малі масові та габаритні розміри і вартість, можливість батарейного живлення та передавання інформації на значні відстані.

Термоелектричні перетворювачі (ТП) характеризуються низькою точністю, чутливістю в діапазоні середніх температур та потребують автоматичної компенсації впливу зміни температури вільних кінців. Зважаючи на той факт, що здебільшого значення вимірювальної температури відрізнятиметься від температури лише на декілька Кельвінів, то сигнали ТП та пристрою компенсації зміни температури вільних кінців ТП будуть співмірними, що підвищує вимоги до точності обох перетворювальних блоків за зростання апаратних затрат для точного перетворення сигналів низького рівня.

Необхідність вимірювання значень температури, що відрізняються лише на декілька градусів від температури довкілля, вимагає під час використання резистивних температурних сенсорів (ТС) забезпечення інваріантності до впливу опорів з'єднувальних ліній-чотирипровідних ТС, що значно ускладнюватиме побудову ІС. Сучасні напівпровідникові сенсори температури (НСТ) мають комплекс найкращих технічних характеристик для застосування в системах екологічного моніторингу – малі масогабаритні показники і вартість, високу швидкодію, можливість двопровідного під'єднання з одночасним живленням сенсорів та передаванням цифрового коду результатів вимірювань [7–11]. Однак, під час вимірювання значень температури з можливим максимальним градієнтом $(3...5) \text{ K}$ може виникати похибка відтворення теплових полів, значення якої сягатиме десятків процента $\pm(0,5...1)/(3...5)=\pm(10...33)\%$. Для зменшення цієї похибки доцільно використовувати індивідуальне градування температурних каналів із застосуванням переносних калібраторів температури, опрацюванням результатів перетворень та запам'ятовуванням коригувальних коефіцієнтів. На заводі широкому застосуванню цього способу підвищення точності вимірювань є значна трудомісткість у практичній реалізації.

Однією із найважливіших проблем побудови вторинних приладів ВП для екологічного моніторингу є необхідність забезпечення заданої точності в широкому діапазоні зміни температури довкілля $-40 +60^{\circ}\text{C}$. Дійсно, якщо основна похибка $\pm 0,1$ вимірювання температури 20°C не перевищує $\pm 0,1\%$, додаткова температурна похибка ВП $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$, та при граничних змінах температури довкілля 40°C сумарна похибка вимірювання ВП може сягати $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Для зменшення значення цієї похибки застосування прецизійної та стабільної елементної бази призводить до суттєвого зростання

собівартості ВП. Тому в роботі запропоновано використовувати тестові методи автокалібрування у двох точках діапазону вимірювання.

4. Інтелектуальні сенсори температури з автоматичним коригуванням похибок

Під час реалізації ІС для екологічного моніторингу важливими проблемами є уніфікація характеристик перетворення напівпровідникових перетворювачів, інваріантність до опорів ліній зв'язку та комутаційних елементів, забезпечення заданої точності в широкому діапазоні зміни температури довкілля $(-40...+60)^{\circ}\text{C}$. З метою уніфікації запропоновано використовувати метод модуляції вимірювальних струмів [12, 13].

Структурна схема триканального вимірювача температури містить три температурні сенсори TS1, TS2, TS3, з'єднані комутатором струму (CC) до виходу генератора струму (CG), спади напруги на цих сенсорах подаються через потенційний комутатор на вхід диференційного підсилювача (DA), другий вихід якого з'єднаний з виводом джерела E_0 (RU) частини опорної напруги aE_0 . На рис. 1 подано структурну схему пристрою вимірювання температури з напівпровідниковими СТ.

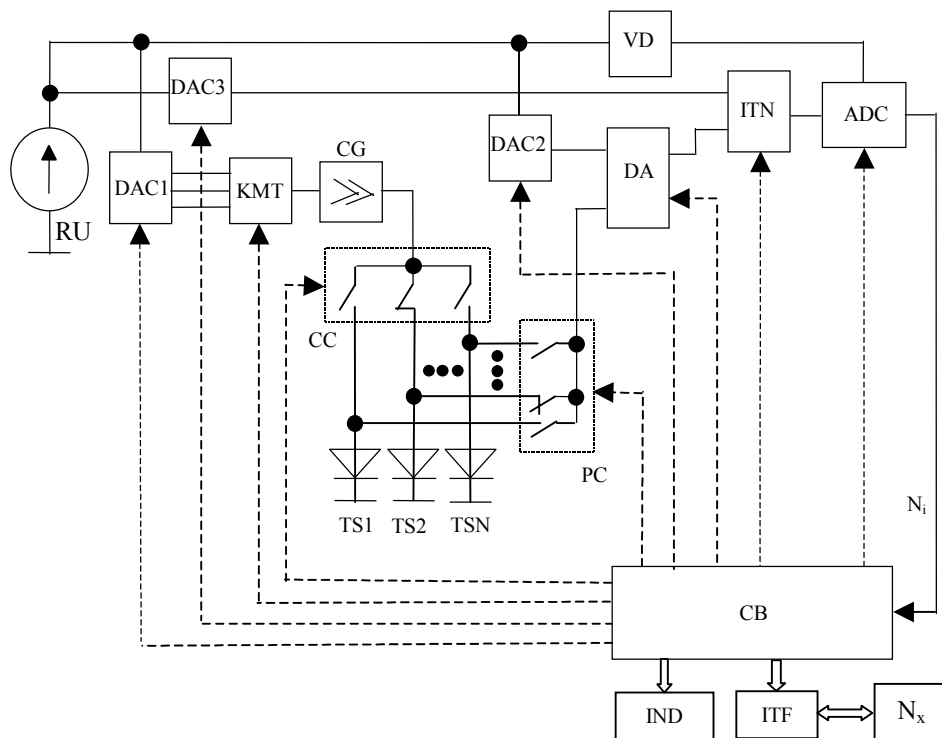


Рис. 1. Структурна схема пристрою для вимірювання температури з напівпровідниковими сенсорами

Завдяки потенціально-струмовій комутації забезпечується інваріантність до впливу опорів лінії зв'язку. Модуляція вимірювального струму трьох значень дає можливість уніфікації термометричних характеристик TS1, TS2, ... TSN та інваріантність до опорів двопровідної з'єднувальної лінії [12,13].

Код результату перетворення N_x можна подати виразом [13]:

$$\begin{aligned}
 N_x &= k_{ADC} k_{DA} \left[\varphi_t \ln(I_1^2 / I_2 I_3) - k_1 E_o + U_B \right] / E_o = \\
 &= k_{ADC} k_{DA} \left[\left(\frac{\varphi_T}{E_0} \ln \frac{I_1^2}{I_2 I_3} - k_1 \right) + R_{E_0} \left(I_1 - \frac{I_2 + I_3}{2} \right) \right], \quad (1)
 \end{aligned}$$

де k_{ADC} , k_{DA} , $k_1 = m_1 / k_{DA}$, m_1 – коефіцієнти перетворення АЦП ADC, диференціального підсилювача DA та ЦАП DAC3 відповідно; E_0 – значення опорної напруги джерела RU; $\varphi = kT_x / g$ – температурний потенціал; T_x – вимірювана температура за шкалою абсолютних температур; k , g – стала Больцмана та заряд електрона; R_B – опір бази та виводів електродів сенсорів температури СТ;

$I_1 = n_1 G E_0$, $I_2 = n_2 G E_0$, $I_3 = n_3 G E_0$ – значення вимірювальних струмів у трьох послідовних часових проміжках перетворення; n_1 , n_2 , n_3 – коефіцієнти перетворення ЦАП DAC1; G – коефіцієнт перетворення генератора струму CG.

У всьому температурному робочому діапазоні у прецизійних ІС необхідно дотримуватися таких умов

$$\frac{R_B}{E_0} \left(I_1 - \frac{I_2 + I_3}{2} \right) = 0,5 R_B G (2n_1 - n_2 - n_3) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{kT_{xo}}{g} \ln \frac{n_1^2}{n_2 n_3} - \frac{m_1}{k_{DA}} E_0 = 0, \quad (3)$$

де $T_{xo} = 273,15 K$.

Виконання умови (2) забезпечує інваріантність результатів вимірювань до зміни опорів бази та виводів бази, а умови (3) – відлік показів у шкалі Цельсія. Аналіз співвідношень (2) і (3) показує, що зміна коефіцієнтів перетворення ЦАП DAC1 n_1 , n_2 , n_3 , DAC3 m_1 , диференціального підсилювача k_{DA} та значення опорної напруги E_0 призводитиме до суттєвого зростання адитивної складової похибки (АСП) в широкому робочому діапазоні зміни температури довкілля. Однак, у випадку використання помножувальних ЦАП на базі резистивних матриць R-2R температурні зміни коефіцієнтів перетворення є невеликими, наприклад, для ЦАП типу KP572ПА2 це становить лише $\pm 2 \cdot 10^{-6} \% / ^\circ C$ і при зміні температури на $60^\circ C$ відповідно їх коефіцієнт перетворення зміниться лише на $\pm 1 \cdot 10^{-4} \%$ [14]. Отже, використання помножувальних ЦАП в ІС для задання значень струмів CG дає можливість практичного забезпечення інваріантності їх результатів перетворення до опорів бази, виводів бази та з'єднувальних ліній у всьому робочому діапазоні їх застосування (виконання співвідношення (2)).

Для зменшення додаткових температурних похибок ВП розроблений алгоритм калібрування, що полягає в адитивно-мультиплікативному коригуванні результатів вимірювання.

Аналіз співвідношення (3) показує, що зміна АЦП ІС визначатиметься змінами коефіцієнтів перетворення m_1 DAC3, диференціального підсилювача k_{DA} та значення опорної напруги. При цьому прийнято до уваги той факт, що за умови використання помножувальних ЦАП DAC1, виконується співвідношення (2), а, отже, перший член виразу (3) практично не змінюватиметься в робочому діапазоні зміни умов довкілля.

Адитивне калібрування здійснюється при розімкнених ключах потенціально-струмових комутаторів СС, РС. У трьох циклах перетворення з виходу DAC2 формуються три значення напруги $U_{10} = \mu_{10} E_0$, $U_{20} = \mu_{20} E_0$, $U_{30} = \mu_{30} E_0$, де μ_{10} , μ_{20} , μ_{30} – коефіцієнти перетворення DAC2. При цьому код результату вимірювання дорівнюватиме

$$N_o = k_{ADC} \frac{(2U_{10} - U_{20} - U_{30})k_{DA} - 2k_1 E_o}{2E_o} = 0,5 k_{ADC} [k_{DA} (2\mu_{10} - \mu_{20} - \mu_{30}) - 2k_{10}]. \quad (4)$$

Оскільки із зміною температури можуть суттєво змінюватись лише коефіцієнти k_{ADC} та k_{DA} , то блок керування так змінює код k_{10} керування DAC3, щоб виконувалась умова $k_{DA} (2\mu_{10} - \mu_{20} - \mu_{30}) - k_{10} = 0$. Таким чином коригується адитивна температурна похибка ВП.

Мультиплікативне калібрування здійснюється подібно до мультиплікативного з формуванням напруг $U_{1k} = \mu_{1k} E_0$, $U_{2k} = \mu_{2k} E_0$, $U_{3k} = \mu_{3k} E_0$. Код N_{xk} результату вимірювання знаходиться як

$$N_{xk} = 0,5 k_{ADC} [k_{DA} (2\mu_{1k} - \mu_{2k} - \mu_{3k}) - k_{10}]. \quad (5)$$

Знаходять значення n_M мультиплікативного коефіцієнта, на який помножується результат вимірювання температури

$$n_M = \frac{N_{xkH}}{N_{xk}} = \frac{k_{ADCH}}{k_{ADC}} \cdot \frac{k_{DAH} (2\mu_{1k} - \mu_{2k} - \mu_{3k}) - k_{10}}{k_{DA} (2\mu_{1k} - \mu_{2k} - \mu_{3k}) - k_{10}}, \quad (6)$$

де N_{xkH} , k_{ADCH} , k_{DAH} – значення величин, встановлене при нормальній температурі довкілля ($20^\circ C$).

6. Висновки

Запропоновано алгоритм та пристрій для вимірювання температури, що дає можливість підвищення точності і стабільності, забезпечує взаємозамінність напівпровідникових сенсорів за рахунок виключення впливу нестабільних параметрів на результат вимірювання, інваріантність до впливу опорів бази і виводів бази та емітера вимірювального діода, а також опорів двопровідної з'єднувальної лінії зв'язку і залишкових параметрів струмового та потенціального комутаторів вимірювальних каналів.

Запропонований також алгоритм адитивно-мультиплікативного калібрування, який реалізується без додаткових прецизійних та стабільних елементів. Структурна схема багатоканального цифрового термометра може бути реалізована без великих апаратних затрат.

1. Степановских А. Прикладная экология – М.:ЮНИТИ – ДАНА, 2003. – С. 596–624.
2. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації” №403/6691 2001 р.
3. IEEE-P1451 D2.01 Draft Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electrical and Electronics Engineers, August, 1996.
4. I.Bryzek, “Introduction to IEEE-P14512:the Emerging Hardware Independent Communication Standard for Smart Transducers”, Proceedings of Ewrosensors X, Anaheim, April, 1996, Helmers Publishing, pp. 15–21.
5. I.Warrior, “IEEE-P1451 Network Capable Application Processor Information Model”, Proceedings Sensors Expo, Anaheim, April, 1996, Helmers Publishing, pp. 15–21.
6. S.Woods, “IEEE-P1451 Transducer to Microprocessor interface”, Proceedings Sensors Expo. Anaheim, April, 1996, Helmers Publishing, pp. 9–14.
7. Catalog ELFA-2007. Available: www.elfa.com.
8. Catalog Analog Device. Available: www.analog.com.
9. System Extention Data Book // Dallas Semiconductor. –2006. – 2600 p.
10. Sensor Technology Handbook Editor-in-Chief Jon S. Wilson 2005, Elsevier Inc. – 691 p.
11. Microsensors. Principles and Application. Gardner J.W., J.Willey and Jons. – Chichester, England. –1993. – p. 530.
12. Яцук В., Яцук Ю. Метод покращання характеристик температурних сенсорів на основі р-п переходу // Вимірювальна техніка та метрологія. – Вип. 59. – 2000. – С. 90–96.
13. Патент 59763А (UA). Спосіб вимірювання температури та пристрій для його здійснення // Опубл. 15.09.2003. – Бюл. №9. – 5 с.
14. Федорков Л.А., Телец О.И. Микроэлектронные АЦП и ЦАП. – М.: Энергия, 1985. – 252 с.

УДК 656.052:681.51.54

В.М. Дубовой, О.О. Ковалюк

Вінницький національний технічний університет

БАГАТОКРОКОВІ СТРАТЕГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ

© Дубовой В.М., Ковалюк О.О., 2007

Розглянуто задачу прийняття рішень в динамічних системах. Запропоновано математичну модель, яка описує залежність стану лінійної динамічної системи від керівних рішень. Отримано критерій стійкості динамічної системи при реалізації знайденого рішення.

A decision making process in dynamic system has been observed. The mathematical model that combines linear system state and decision has been proposed. The dynamic systems stability criterion has been developed.

Вже протягом тривалого часу значна увага дослідників приділяється **проблемі** прийняття рішень в складних системах, проте в більшості випадків процес знаходження оптимального рішення є досить складним завданням [4, 7]. Це пояснюється наявністю невизначеності в даних, а також складною структурою систем, що досить часто передбачає прийняття різних рішень для окремих підсистем [5, 6]. Наведені фактори в поєднанні з обмеженим часом прийняття рішення