

Електронні системи

УДК 621.317.39

Т.-В.І. Бардила, канд. техн. наук, В.О. Науменко

Метод корекції статичних і динамічних похибок термометрів опорів

Рассматривается математическая модель и эквивалентная электрическая схема тепловых процессов в термометрах сопротивлений, полная система статических и динамических параметров датчиков температуры, методика их идентификации и способы коррекции статических и динамических ошибок измерительной системы.

The mathematical model and the equivalent electric scheme of thermal processes in thermometers of resistances, a complete system of temperature sensor static and dynamic parameters, a method of their identification and static and dynamic errors correction technique of the measuring system are presented.

Вступ

Як відомо, первинні датчики (сенсори) є основними пристроями, що дають інформацію про досліджувані явища, процеси, об'єкти і від їх характеристик залежить глибина пізнання досліджуваної суті. Але датчик має статичні та динамічні похибки і тому вимірювальна система повинна передбачити їх корекцію. Якщо статичні похибки залежать від точності елементів вимірювальної системи, то динамічні – залежать і від елементів, і від природи досліджуваного процесу. Теоретично, обидва типи похибок можуть бути скоректовані і зменшені вимірювальною системою.

Датчик **Dat** в загальному є прохідним чотирьохполюсником (ПЧП), як показано на рис.1а. На нього подають вхідні величини x_1 , e_1 – одна з них x_1 є предметом вимірювання, інша e_1 є величиною, функціонально зв'язаною з енергетикою вхідного потоку. Вихідними величинами є y_2 , e_2 – одна з них y_2 є величиною, функціонально зв'язаною з вимірюваною величиною x_1 і ця залежність $y_2(x_1, t)$ є характеристикою вимірювання. Друга величина e_2 є характеристикою енергетичного потоку на виході датчика.

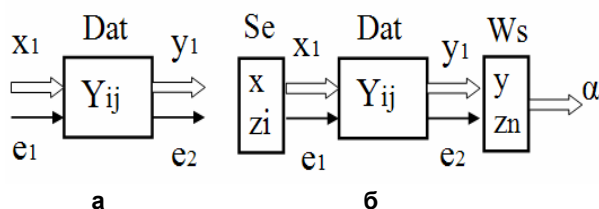


Рис.1. Датчик і вимірювальна система

Датчик, як пасивний ПЧП, може бути описаним в операторній формі математичною моделлю з параметрами Y_{ij}

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ e_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_2 \\ x_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Відмітимо, що датчик як пасивний ПЧП, має три - незалежні параметри Y_{ij} і вони можуть бути визначені відповідним експериментом.

За природою, реальні фізичні процеси є залежними в часі t , тому взаємозв'язок між величинами описується диференціальними рівняннями, окрема датчики температури, тиску, швидкості – звичайними рівняннями деякого порядку n :

$$\begin{aligned} \frac{d^n y_2}{dt^n} + K + a_1 \cdot \frac{dy_2}{dt} + a_0 \cdot y_2 = \\ = b_n \cdot \frac{d^n x_1}{dt^n} + K + b_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} + b_0 \cdot x_1 \end{aligned} \quad (2)$$

В (2) коефіцієнти a_i , b_i можна вважати власними динамічними параметрами датчика. Коли відомі ці коефіцієнти, то можемо за дією x_1 на датчик визначити його покази y_2 , або навпаки за його вихідною величиною y_2 визначити дію x_1 на нього. Тобто здійснювати корекцію його показів.

Довільний датчик працює в середовищі S_e з певними вихідним параметром Y_i і деякою системою W_s з вхідним параметром Z_n , (рис.1б). Тому залежність показів α вимірювальної системи від дії x на неї буде описуватися математичною моделлю датчика (2), але з скоректованими коефіцієнтами, враховуючи власні параметри датчика a_i , b_i , параметри середовища Z_i і вимірювальної системи Z_n . Ця система буде описуватися аналогічним рівнянням (2), як залежність $y(x, t)$.

Остаточним висновком є те, що маючи параметри датчика (a_i , b_i), параметри середовища (Y_i) і вимірювальної системи (Z_n) - можливе коректування статичних і динамічних похибок вимірювання. При зміні середовища і умов вимірювання параметри датчика (a_i , b_i) і вимірювальної системи (Z_n) лишаються незмінними, змінюються лише параметри середовища (Z_i).

Термометри опору

Одним з поширених датчиків для вимірювання температури є термометр опору. Він має елемент **EI**, опір якого залежить від його температури. Елемент розміщений в корпусі **Ko**, а між корпусом і елементом є деякий проміжний матеріал **Pr**. Пропускаючи струм i_e через елемент, на ньому отримуємо напругу U_e , яка залежить від температури. Остання передається від корпусу через проміжний матеріал. Для спрощення, будемо вважати що напруга U_e датчика є вихідною величиною вимірювальної системи, рис.2.

Фізична суть процесу тепло-електричних перетворень добре описується еквівалентною схемою термометра, обведеною пунктиром на рис.3. Статичні теплові параметри: провідність **Gsk** між зовнішньою і внутрішньою поверхнями корпусу, провідністю **Gko** корпусу, провідністю **Gkl** між корпусом і елементом, провідністю **Gel** елемента. При відсутності статичної похибки (**Gko = 0**, **Gel = 0**), напруга на елементі відповідає температурі **Tko** на корпусі термометра. При змінах температури на корпусі **Tko**, проходять динамічні теплові процеси в термометрі, що викликаються теплоємностями корпусу **Cko** і елемента **Cel**.

Теплоелектричні перетворення в термометрі задовільно описуються математичною моделлю 2- го порядку.

$$\frac{d^2 U_e}{dt^2} + a_1 \cdot \frac{dU_e}{dt} + a_0 \cdot U_e = b_0 \cdot T_{ko} \quad (3)$$

Особливістю моделі термометрів опору (3), в порівнянні з моделями інших датчиків (2), є відсутність у правій частині рівняння похідних. Тобто в усталеному режимі відсутні зміни всіх величин. Це значно спрощує ідентифікацію параметрів еквівалентної схеми і коефіцієнтів (3) за експериментальним дослідженням датчиків. Важливо підкреслити, що для повного визначення параметрів термометра як ПЧП, необхідно робити аналіз залежностей величин з обох сторін термометра: температури **Tko** і теплототоку **Iko** корпусу, напруги **Ue** і теплототоку **Iel** елемента. Цей потік враховує струм через елемент, що подається від вимірювальної системи на елемент.

Відмітимо, що термометр опору можливо аналізувати як за його еквівалентною схемою рис. 3, так і за його математичною моделлю (3). Оскільки маємо однозначний зв'язок між величинами:

$$\begin{aligned} a_1 &= \rho_{11} + \rho_{22}, \\ a_0 &= -\rho_{11} \cdot \rho_{22} + \rho_{12} \cdot \rho_{21}, \\ b_0 &= \rho_{21} \cdot \rho_{10}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\rho_{11} = -(G_{se} + G_{sk} + G_{ko} + G_{ke}) / C_{ko},$$

$$\rho_{12} = G_{ke} / C_{ko}$$

$$\rho_{21} = G_{ke} / C_{el},$$

$$\rho_{22} = -(G_{ke} + G_{sk}) / C_{el},$$

$$\rho_{10} = (G_{ss} + G_{sk}) / C_{ko}$$

Суть корекції полягає в аналізі зворотної задачі, за відомими напругами на елементі у відтворенні зміни температури на вході датчика:

$$T_s = \left(\frac{d^2 U_e}{dt^2} - a_1 \cdot \frac{dU_e}{dt} - a_0 \cdot U_e \right) / b_0 \quad (5)$$

Ідентифікація параметрів термометра

Для повного визначення параметрів термометра як теплоелектричного ПЧП оперують чотирма вимірюваннями: температура і теплотік середовища, напруга на елементі і теплотік від вимірювальної системи, що підвищує температуру елемента. Практично, в термометрах струми, від вимірювальної системи є малими і цими величинами нехтують. Але в деяких випадках за рахунок великих імпульсних струмів через елемент, вдається підвищити чутливість і точність датчиків. Величину теплототоку від середовища практично важко виміряти, тому для експерименту залишаються доступними лише вимірювання взаємозв'язків між величинами: температура, що подається на термометр, напруга на елементі і струм через елемент.

Експеримент по визначенню параметрів еквівалентної схеми термометра (**Gsk, Gko, Gke, Gl, Cko, Cel**) або параметрів математичної моделі (**a1, a0, b0**) і середовища (**Gse**) проводився в статичному і динамічному режимах змін температури в установці (рис.4).

В посудині P_0 розміщена певна речовина (вода, масло і т.п.) з температурою T_s , що замірюється досліджуванним термометром **TerD**. Для вимірювання швидких змін температури, поряд з термометром **TerD** встановлений малоінерційний без корпусу термометр **TerM**, у виді тонкого дроту (0.06 мм) з інерцією меншою 0.1 сек. Елементи термометрів через струмозадаючі резистори R_0 , під'єднані до постійної напруги **E**, а напруга з елементів, через аналогово – цифровий перетворювач (АЦП) подається в мікропроцесор (МК). За програмами ідентифікації параметрів визначають параметри термометра і середовища. Всі дані експериментального дослідження виводяться на індикатор Інд, а також виводяться у виді файлів, які використовуються у вимірювальному пристрої для корекції показів термометра.

Математичне моделювання проводилося в програмному середовищі MATLAB 7 і Turbo Pascal 7.0.

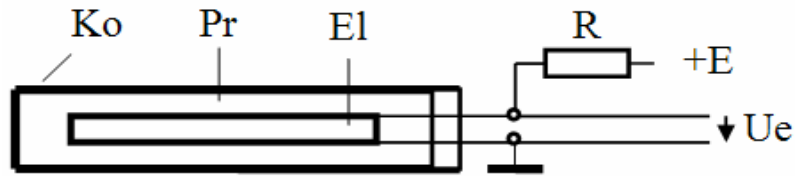


Рис.2. Термометр опоры

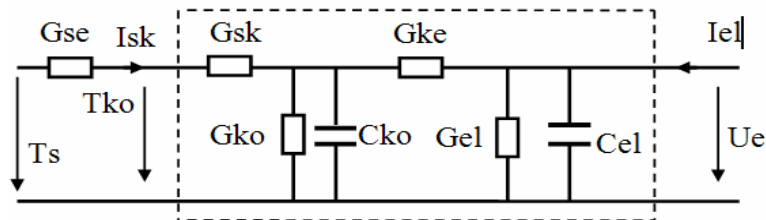


Рис. 3. Еквівалентна схема термометра опоры

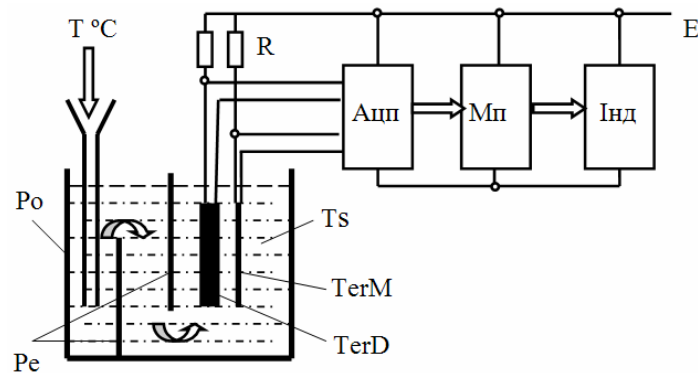


Рис.4. Установка для проведення експерименту

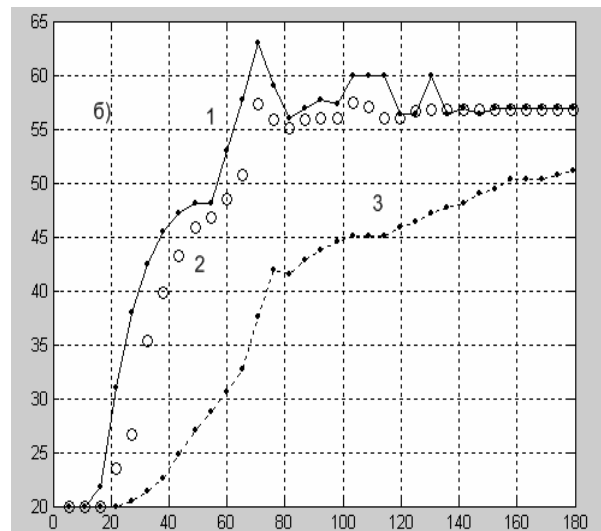
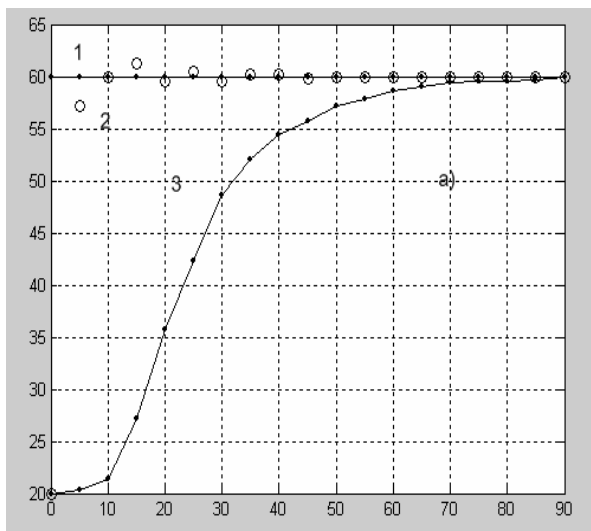


Рис.5. Результати дослідження термометра В4ТЗ на стрибок температури від 20 до 60°C (а) і деяку зміну температури (б)

Експеримент передбачає як стрибкоподібні зміни температури, швидко вставляючи термометр в середовище, так і повільну зміну температури, шляхом доливу до посудини потоку досліджуваного середовища $T^{\circ}\text{C}$ з нижчою чи вищою температурою від температури T_s в посуді.

Для кращого перемішування рідини в посудині встановлені перегородки Pe .

За проведеними у різних режимах дослідженнями ідентифікують параметри термометрів і середовища. Маючи ці параметри можна за показами інерційного термометра, на вихідному

пристрої (індикаторі), отримати величину реальної температури середовища з малою похибкою.

Досліджувалися різні промислові і лабораторні термометри з корпусом і без корпусу при вимірюванні температур рідин, металів і газів. Вдавалося значно зменшувати статичні і динамічні похибки. На рис.5а показані результати дослідження 100 – омного термометра **В4Т3**, при зануренні термометра у воду при стрибку температури 40°C, а на рис.5б - деякій хаотичній зміні температури води. Криві 1, 3 – покази безінерційного і інерційного термометрів. Криві 2 (позначені кружечками) - результати корекції показів інерційного термометра.

Висновки

Вимірювальний температуру пристрій з корекцією похибок, складається з датчика, аналогоцифрового перетворювача, мікропроцесора (МП) і індикатора. У програмі МП закладають індивідуальні параметри датчика (параметри еквівалентної схеми, або коефіцієнти диференці-

ального рівняння). Перед вимірюванням в новому середовищі виконується кількаразове занурення термометра в середовище і ручкою пристрою добиваються на індикаторі найкращого відтворення стрибка температури на датчику. Цією ручкою задається у програмі МП величина параметру середовища, що залежить від природи і стану середовища. Ці параметри можна задавати в програму МП на основі раніше зміряних даних і складених у вигляді таблиць. Надалі вимірювання температури в даному середовищі буде проводитися з скомпенсованими похибками, з більшою точністю вимірювання.

Література

1. *Г. Виглеб*, Датчики. Устройство и применение, Москва, «Мир», 1989. – 93 с.
2. *Фишер–Криппс А.С.* Интерфейсы измерительных систем. Справочное руководство:–М.: Издательский Дом «Технологии», 2006.– 336 с.