

УДК 621.317

С.І. КОНДРАШОВ, Т.В. ЧУНІХІНА

Національний технічний університет "ХПІ", Україна

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Розглянуто функціональні реляційно-різницеві та функціональні реперні реляційно-різницеві моделі операторів корекції вхідних значень електричних вимірювальних перетворювачів. Задача аналізу точності функціональних операторів вирішувалася із застосуванням методики обробки нелінійних опосередкованих вимірювань. Запропоновано метод оцінювання точності результатів тестової корекції для конкретних систем тестового контролю електричних вимірювальних перетворювачів та синтезу тесто-калібрувальних систем контролю вимірювальних перетворювачів з урахуванням критерія точності. Для розглянутих способів тестового контролю були розраховані так звані константи моделі, які визначають точність контролю при одноразовому вимірюванні.

Ключові слова: тестовий контроль, вимірювальний перетворювач, точність, функціональний оператор корекції.

Вступ

В останні роки вимоги до вимірювань у більшості царин науки і техніки потерпають докорінних змін, головним чином, у напрямку радикального підвищення точності результатів вимірювань при одночасному погіршенні умов експлуатації засобів вимірювань (ЗВ). Задача ускладнюється тим, що сучасні вимірювальні процеси виконуються ЗВ з нелінійними функціями перетворення (ФП) у динамічних режимах [1].

Основний внесок у результуючу похибку вимірювання фізичних величин вимірювальними каналами автоматизованих інформаційних систем контролю і керування (АІСКК) вносять первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) [2]. Похибка первинних перетворювачів, яка обумовлена зміною їх функцій перетворення у часі, має прогресувальний характер. Особливості монтажу первинних перетворювачів, а також необхідність довготривалої безперервної роботи на об'єкті у складі АІСКК роблять використання бездемонтажних методів тестового контролю перетворювачів єдиною можливим рішенням проблеми підвищення точності електричних ПВП.

При аналізі існуючих систем тестового контролю електричних вимірювальних перетворювачів (ВП) було встановлено, що розрахунок оцінки дійсного значення вимірюваної величини завжди здійснюється через безрозмірні оператори корекції – реляційно-різницеві моделі (РМ) операторів корекції вхідних значень ВП [1]. При цьому різниця першого порядку розраховувалась як різниця між значеннями вихідного сигналу перетворювача до та після тестових впливів. Різницевий метод дозволяє виключити

адитивну систематичну похибку. Використання реляційної моделі як відношення різниць першого порядку дозволяє виключити мультиплікативну систематичну похибку. У роботі [3] введено поняття реперних реляційно-різницевих моделей (РРМ). Так, авторами було запропоновано новий реперний реляційно-різницевий спосіб бездемонтажного контролю метрологічних характеристик термоелектричних перетворювачів (ТЕП) [4], який поєднав в собі особливості методів калібраторів [5] та тестових структурно-алгоритмічних методів [6].

Використання існуючих РМ та РРМ операторів корекції вхідних значень електричних ВП на практиці є досить складним. Доцільним є побудова на основі існуючих РМ та РРМ функціональних операторів корекції, які б були функціями тільки від тестових РМ. Під тестовою РМ розуміється відношення двох різниць першого порядку.

Функціональним оператором C_{Ψ} називається функціонал від простих тестових РМ

$$\Psi: C_{\Psi} = F(\Psi_1, \Psi_2 \dots \Psi_n),$$

де C_{Ψ} – функціональний оператор, Ψ_i – i -ті тестові РМ.

Функціональний оператор має нелінійну форму зв'язків моделей Ψ_i , тому виникає задача вибору таких параметрів систем тестового контролю, коли виконується умова незначущості похибки нелінійності оператора C_{Ψ} .

1. Постановка проблеми

У статті розглядається метод розрахунку похибки нелінійності функціональних операторів корекції.

В табл. 1 представлені оператори корекції, відомі із практики тестового контролю ВП.

Таблиця 1

Оператори корекції вхідних значень ВП

Оцінки значень вимірюваних величин	Оператор корекції – ψ_i
$\hat{x} = \frac{y_2 - y_0}{y_1 - y_0} \cdot \frac{\theta}{k}$	$\psi = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{10}}$
$\hat{T}_X = \frac{(E_X^{III} - E_X^{II})}{(E_O^{III} - E_O^{II})} \times \frac{(E_O^{III} + E_O^{II} - 2E_X^I)^2}{(E_X^{III} + E_X^{II} - 2E_X^I)^2} \cdot T_{\dot{O}}$	$\frac{\Delta y_2^{II} + \Delta y_3^{II}}{\Delta y_2^I + \Delta y_3^I} \cdot \frac{(\Delta y_2^{II} - \Delta y_3^{II})^2}{(\Delta y_2^I - \Delta y_3^I)^2}$
$\hat{R}_x = R_{E\dot{O}1} \frac{\Delta^{(1)}N_{43}}{\Delta^{(1)}N_{21} - \Delta^{(1)}N_{43}} + R_{E\dot{O}2} \frac{\Delta N_{21} + \Delta N_{43}}{\Delta N_{21} - \Delta N_{43}}$	$\frac{\Delta y_{21} + \Delta y_{43}}{\Delta y_{21} - \Delta y_{43}}$
$\hat{T}_x = \frac{(N_2 - N_4)(N_1^I + N_0)^2}{(N_2^I - N_4^I)(N_1 + N_0)^2} \cdot T_k$	$\frac{\Delta y_1 \cdot (\Delta y_3)^2}{\Delta y_2 \cdot (\Delta y_4)^2}$
$\hat{x} = \frac{y_2 - y_0}{(y_3 - y_1) - (y_2 - y_0)} \cdot \theta$	$\frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{31} - \Delta y_{20}}$
$x_p = \frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0} \cdot \frac{N_1^I - N_1}{N_2^I - N_2} \cdot x_i$	$\frac{\Delta y_1 \cdot \Delta y_3}{\Delta y_2 \cdot \Delta y_4}$

Перша розрахункова формула дозволяє визначити оцінку дійсного значення вимірюваної величини у разі реалізації найпростішого алгоритму тестового контролю [7]. Друга формула використовується для розрахунку дійсного значення вимірюваної температури при здійсненні контролю ТЕП [4], третя – контроль терморезисторів [7], четверта та п'ята – контроль термоелектричних перетворювачів [6], остання формула дозволяє розраховувати оцінку дійсного значення вимірюваної величини при контролі вимірювальних перетворювачів з нелінійними ФП методом відсічних [1].

Задача аналізу точності функціональних операторів вирішувалася із застосуванням методики [8]. Квадратичним членом розкладання функції, що досліджується, у ряд Тейлора, як правило, знехтують. У разі використання систем тестового контролю перевірка виконання умови знехтування квадратичним членом є необхідною процедурою

$$R \leq 0,8\sigma \left(\hat{x}_0 \right), \quad (1)$$

де $R = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \frac{\partial^2 F}{\partial x_j \partial x_1} \Delta \left(\hat{x}_j \right) \Delta \left(\hat{x}_1 \right)$ – залишковий член

ряду Тейлора.; $\sigma \left(\hat{x}_0 \right) = \sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)^2 \sigma^{(2)} \left(x_j \right)}$ – середньоквадратичне відхилення (СКВ) середнього значення; $\Delta \left(\hat{x}_i \right)$ – випадкова похибка оцінки різниці першого порядку.

2. Аналіз точності функціональних операторів корекції

Метод оцінювання точності функціональних операторів розглянемо на прикладі оператора [4].

Функціональний оператор отримуємо так

$$C_{\psi_1} = \frac{\Delta y_2^{II} \left(1 + \frac{\Delta y_3^{II}}{\Delta y_2^{II}} \right) \left(\Delta y_2^I \right)^2 \left(1 - \frac{\Delta y_3^I}{\Delta y_2^I} \right)^2}{\Delta y_2^I \left(1 + \frac{\Delta y_3^I}{\Delta y_2^I} \right) \left(\Delta y_2^{II} \right)^2 \left(1 - \frac{\Delta y_3^{II}}{\Delta y_2^{II}} \right)^2} = \frac{(1 + \psi_1)(1 - \psi_2)^2}{(1 + \psi_2)(1 - \psi_1)^2},$$

де $\psi_1 = \frac{\Delta y_3^{II}}{\Delta y_2^{II}}$, $\psi_2 = \frac{\Delta y_3^I}{\Delta y_2^I}$, $\psi_3 = \frac{\Delta y_2^I}{\Delta y_2^{II}}$ – тестові РМ;

$\Delta y_2^I, \Delta y_3^I$ – різниці першого порядку, отримані у разі дії тестів у колі номінальної точці;

$\Delta y_2^{II}, \Delta y_3^{II}$ – різниці першого порядку, отримані у разі дії тестів у колі робочої точці.

Для інших операторів корекції табл. 1 отримуємо такі функціональні оператори:

$$\tilde{N}_{\psi_2} = \frac{1 + \psi}{1 - \psi}; \quad \tilde{N}_{\psi_3} = \psi_1 \cdot (\psi_2)^2;$$

$$\tilde{N}_{\psi_4} = \frac{\psi_1 \cdot \psi_2}{\psi_2 - \psi_1 - \psi_1 \cdot \psi_2}, \quad \tilde{N}_{\psi_5} = \psi_1 \cdot \psi_2.$$

Максимальне значення ψ_1 з урахуванням того, що граничне значення випадкової похибки різниці першого порядку дорівнює кроку квантування АЦП $\pm q$, становить

$$\psi_{1\max} = \frac{\Delta y_3^{II} + q}{\Delta y_2^{II} - q} = \frac{\Delta y_3^{II} (1 + D_q^{-1})}{\Delta y_2^{II} (1 - D_q^{-1})} = \psi_1 \frac{1 + D_q^{-1}}{1 - D_q^{-1}},$$

де q – крок квантування АЦП; $D_q = \frac{\Delta^{(1)}y}{q}$ – динамічний діапазон значень тесту по відношенню до кроку квантування.

Гранична максимальна абсолютна похибка ψ_1

$$\Delta \psi_1 = \psi_{1\max} - \psi_1 = \psi_1 \cdot \left(\frac{1 + D_q^{-1}}{1 - D_q^{-1}} - 1 \right) = \psi_1 \cdot \frac{2D_q^{-1}}{1 - D_q^{-1}}.$$

Оскільки $D_q = \frac{\Delta^{(1)}y}{q} \approx 10$, то $1 - D_q^{-1} \approx 1$, тобто

$$\Delta\psi_1 \approx \psi_1 \cdot 2D_q^{-1}.$$

Представимо випадкову похибку, обумовлену похибкою квантування АЦП, через розрядність АЦП

$$q = \Delta\hat{\epsilon} = \frac{y_{\max}}{N} = \frac{y_{\max}}{2^n - 1} \approx \frac{y_{\max}}{2^n},$$

де y_{\max} – максимальне значення діапазону вимірювань АЦП; n – число розрядів АЦП.

У разі обчислення різниць першого порядку збільшується випадкова похибка

$$M\left[\Delta\left(\Delta^{(1)}y_i\right)\right] = 0; D\left[\Delta y_i\right] = \frac{q^2}{12};$$

$$D\left[\Delta\left(\Delta^{(1)}y_i\right)\right] = \frac{q^2}{6}.$$

СКВ різниць першого порядку буде

$$\sigma\left(\Delta y_2^I\right) = \sigma\left(\Delta y_2^{II}\right) = \sigma\left(\Delta y_3^I\right) = \sigma\left(\Delta y_3^{II}\right) = \frac{q}{\sqrt{6k}}, \quad (2)$$

де k – число вимірювань.

З урахуванням (2) дисперсія для ψ_1 , наприклад, набуває вигляду

$$\sigma^2(\psi_1) = \frac{q^2}{6k \cdot \left(\Delta y_2^{II}\right)^2} \left(1 + \psi_1^2\right). \quad (3)$$

Після підстановки значень часткових похідних функцій C_{ψ_1} , розділених на C_{ψ_1} , в формулу (1) отримаємо відносне значення залишкового члену розкладання функції в ряд Тейлора \tilde{R} та відносне значення середньоквадратичного відхилення функціонального оператора $\tilde{\sigma}(C_{\psi})$.

Після підстановки (3) у вираз для $\tilde{\sigma}(C_{\psi})$ отримаємо умову (1) для відносних значень R і σ функції C_{ψ_1} .

З цієї умови знаходимо критичне значення числа розрядів АЦП $n_{\hat{\epsilon}\delta}$, за яким можна знехтувати остаточною членом, позначив: $D_y = \frac{y_{\max}}{y}$ – динамічний діапазон значень вихідного сигналу перетворювача; $D_{\Delta^{(1)}y} = \frac{y}{\Delta^{(1)}y}$ – динамічний діапазон значень тестового впливу.

Граничне значення відносної похибки оцінки \tilde{N}_{ψ} за довірчою ймовірністю $P_{\tilde{A}} = 0,9$ визначається

$$\delta_p(\tilde{N}_{\psi}) = 1,6 \cdot \tilde{\sigma}(C_{\psi}) \quad (4)$$

З формули (4) розраховується необхідне число розрядів АЦП n . Умова вибору розрядів АЦП: $n = n_{\hat{\epsilon}\delta}$. З цієї умови знаходимо константу моделі

C : $k\delta_p(C_{\psi}) = C$. Константа моделі визначає точність тестового контролю при одноразовому вимірюванні ($k=1$). Приймаючи $\psi_1 = \psi_2 = 0,1$ та $\psi_3 = 0,9$, для оператора C_{ψ_1} отримуємо $C_1 = 0,35$.

Для систем тестового контролю $D_y = 5$; $D_{\Delta^{(1)}y} = 40$. Тоді необхідна розрядність АЦП розраховується за формулою

$$n = 11,71 + 0,5 \log_2 k. \quad (5)$$

Отримана формула (5) дозволяє розраховувати необхідну розрядність АЦП з урахуванням (1). Так, для забезпечення точності тестового контролю термоелектричних перетворювачів на рівні 0,1% кількість додаткових вимірювань повинна складати 350 вимірювань, число розрядів АЦП $n = 16$.

В табл. 2 наведені розраховані для досліджуваних операторів корекції константи моделей та формули для визначення необхідної розрядності АЦП.

Таблиця 2

Порівняння параметрів досліджуваних систем тестового контролю ВП

\tilde{N}_{ψ_i}	Константа моделі C	Вираз для n
C_{ψ_1}	0,35	$n = 11,71 + 0,5 \log_2 k$
\tilde{N}_{ψ_2}	0,13	$n = 13,8 + 0,5 \log_2 k$
\tilde{N}_{ψ_3}	0,2	$n = 11,1 + 0,5 \log_2 k$
\tilde{N}_{ψ_4}	0,06	$n = 14,8 + 0,5 \log_2 k$
\tilde{N}_{ψ_5}	0,27	$n = 10,2 + 0,5 \log_2 k$

Висновки

Запропоновано метод оцінювання точності результатів тестової корекції для конкретних систем тестового контролю електричних вимірювальних перетворювачів та синтезу систем контролю з урахуванням критерія точності.

Функціональний оператор корекції характеризується константою моделі, яка, в свою чергу, визначає число додаткових вимірювань при заданій допустимій похибці.

Наведено приклад розрахунку параметрів системи тестового контролю ТЕП.

Література

1. Кондрашов, С.І. Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах :

моногр. [Текст] / С.І. Кондрашов. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2004. – 224 с.

2. Карцев, Б.А. Состояние и тенденции развития датчиков физических величин [Текст] / Б.А. Карцев // Измерительная техника. – 1991. – № 12. – С. 8-11.

3. Чуніхіна, Т.В. Тесто-калібрувальні методи підвищення точності електричних вимірювальних перетворювачів [Текст]: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.11.05; захищена 22.04.2010; затв. 01.07.2010 / Чуніхіна Тетяна Віталіївна. – Харків, 2010. – 203 с.

4. Пат. 45037 А Україна, МПК³ G 01 K 7/02. Спосіб вимірювання температури термопарою та пристрій для його здійснення [Текст] / Діденко К.І., Кондрашов С.І., Чуніхіна Т.В.; заявник та патенто-власник НТУ “Харківський політехнічний інститут”. – № 2001031746; заявл. 15.03.2001; опубл.

15.03.2002, Бюл. № 3. – 9 с.

5. А.с. 1796919 А1 СССР, МКІ³ G 01 K 7/02. Способ определения температуры [Текст]/ Ю.В. Поздняков, В.Н. Учанин, Ю.М. Мирош, В.Р. Фесенко (СССР). – № 4866630/10; заявл. 21.06.90; опубл. 23.02.93, Бюл. № 7. – 5 с.

6. Головки, Д.Б. Структурно – алгоритмічні методи підвищення точності вимірювання температури [Текст] / Д.Б. Головки, Ю.О. Скрипник, Г.І. Хімічева. – К.: ФАДА ЛТД, 1999, – 206 с.

7. Бромберг, Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений [Текст] / Э.М. Бромберг, К.Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

8. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей: МИ 2083 – 90. – [Дата введения 1992-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 10 с.

Надійшла до редакції 22.07.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри авіаційних приладів та вимірювань М.Д. Кошовий, Національний аерокосмічний університет “ХАІ”, Харків.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина

Рассмотрены функциональные реляционно-разностные и функциональные реперные реляционно-разностные модели операторов коррекции входных значений электрических измерительных преобразователей. Задача анализа точности функциональных операторов решалась с помощью методики обработки нелинейных косвенных измерений. Предложен метод оценивания точности результатов тестовой коррекции для конкретных систем тестового контроля электрических измерительных преобразователей и синтеза тестокалибровочных систем контроля измерительных преобразователей с учетом критерия точности. Для рассмотренных способов тестового контроля были рассчитаны так называемые константы модели, характеризующие точность контроля при однократном измерении.

Ключевые слова: тестовый контроль, измерительный преобразователь, точность, функциональный оператор коррекции.

THE CHOICE OF THE PARAMETERS OF THE SYSTEMS OF THE TEST CHECK OF THE MEASURING CONVERTERS

S.I. Kondrashov, T.V. Chunihina

The functional relative-difference and the functional reper relative-difference models of the operators of the correction of the electrical measuring converter's input values were considered. The analysis of the accuracy of the functional operators was done with using the method of the processing of the non-linearity indirect measurements. The method of the estimation of the accuracy of the results of the test correction for the concrete systems of the test check of the electrical measuring converters and the synthesis the test-calibration system of the check of the measuring converters with account the criterion of the accuracy were proposed. The constant of the models, which are defined the accuracy at the one-fold measurement, were calculate.

Key words: test check, measuring converter, accuracy, functional operator of the correction.

Кондрашов Сергій Іванович – д-р техн. наук, проф., завідувач каф. інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна, e-mail: ctv@kpi.kharkov.ua.

Чуніхіна Тетяна Віталіївна – канд. техн. наук, доцент каф. інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна.