

С.І. КОНДРАШОВ, д-р. техн. наук,
М.І. ОПРИШКІНА, НТУ “ХПІ”

ЛІНЕАРИЗАЦІЯ ОПЕРАТОРА КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА МЕТОДОМ ГІПЕРБОЛ

Розглянуто функціональний аналіз операторів корекції вхідного сигналу вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональною функцією перетворення.

In article is organized functional analysis of the operator to correction input signal measuring converters for crushed-rational nonlinear float.

Сьогодні йде активний науковий пошук методів, способів та організаційних рішень щодо вдосконалення та розвитку автоматизованих інформаційних систем керування (АІСК). Актуальна науково-прикладна проблема прецизійного вимірювання та відновлення характеристик вимірювальних перетворювачів (ВП) безпосередньо на об'єктах без демонтажу в процесі корегуючих чи тестових впливів розглядалась у праці [1] в межах запропонованої концепції метрологічного спостерігача АІСК. Всі існуючі методи визначення та корекції систематичних та дрейфових похибок ВП використовують реляційно-різницевої моделі (PPM) операторів корекції різної структури, але до цього часу клас математичних моделей нелінійних функцій перетворення (НФП) ВП був обмежений класом раціональних поліноміальних функцій [2]. Важливо поширити тестові методи контролю і розглянути можливість розробки PPM для широкого класу ВП з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення (ДРФ). Основи теорії структурно-алгоритмічних методів підвищення точності ВП закладено у працях [3, 4]. Це методи корекції НФП шляхом відновлення її реальних параметрів по всьому діапазону вихідних сигналів ВП. У роботах [2, 5] розглядається задача корекції значення вхідного сигналу ВП у робочій точці шкали шляхом використання “ковзаючих” тестових впливів. У роботі [6] було отримано у загальному вигляді тестовий алгоритм підвищення точності вимірювань на основі математичної моделі НФП у вигляді нелінійної ДРФ перетворення. Було розглянуто приклад побудови триканального електромагнітного ВП з ДРФ перетворення першого степеня, але узагальнені дослідження PPM операторів корекції не розглядалися.

Нормативні документи у галузі метрології передбачають завдання для будь-якого типу засобу вимірювання математичної приписаної моделі у виді номінальної функції перетворення f_H :

$$f_H = f(a_{0H}, a_{1H}, \dots) = a_0 + \frac{a_{1H}}{x_H} + \frac{a_{2H}}{x_H^2} + \dots = \sum_{i=0}^n \frac{a_{iH}}{x_H^i} = \sum_{i=0}^n a_{iH} x_H^{-i},$$

де a_{0H} , a_{1H} – параметри номінальної моделі.

Реальна функція перетворення нам не відома, але можна вважати відомою її реальну модель f_P , якщо заданий вид моделі і відомі її параметри:

$$f_P = f(a_{0P}, a_{1P}, \dots) = a_0 + \frac{a_{1P}}{x_P} + \frac{a_{2P}}{x_P^2} + \dots = \sum_{i=0}^n \frac{a_{iP}}{x_P^i} = \sum_{i=0}^n a_{iP} x_P^{-i}.$$

У [1] введено поняття оператора корекції. Реляційно-різницевою моделлю оператора корекції PPM вхідного сигналу ВП називають безрозмірний коефіцієнт ψ_R , значення якого обчислюються через різничеві величини першого, другого, або і вищих порядків у ході вимірювального експерименту, який визначає співвідношення значення оцінки вхідного сигналу x і міри x_M

$$\frac{x}{x_M} = \psi_R = \psi_R(\Delta^{(1)}y_i, \Delta^{(2)}y_j, \dots, \Delta^{(n)}y_k). \quad (1)$$

Згідно з існуючою класифікацією методів корекції похибок оператор ψ_R дозволяє визначити значення вхідної величини через значення її міри.

У роботі [5] було досліджено нелінійні PPM оператори корекції для ВП з нелінійною ДРФ перетворення при різних тестових впливах.

Доведено, що знайти оцінку дійсного значення вхідного сигналу x можна при застосуванні лише адитивних тестових впливів:

$$x = \theta_1 \frac{(1-\psi)}{(1-\psi\beta)}, \quad \psi = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{10}}, \quad \beta = \frac{\theta_1}{\theta_2}.$$

У разі, коли адитивні тестові впливи різні за знаком, але мають однакове значення $\theta = \theta_1 = -\theta_2$, $\beta = -1$ маємо:

$$x = \theta \frac{\Delta y_{20} - \Delta y_{10}}{\Delta y_{20} + \Delta y_{10}} = \theta \frac{\psi - 1}{\psi + 1} = \theta \cdot \psi^*, \quad (2)$$

де $\psi = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{10}}$ – тестовий реляційно-різницевий оператор корекції, який визначається експериментально; ψ^* – узагальнена математична модель

оператора корекції.

Перепишемо (2) для тестової номінальної ($\delta_a, \delta_m = 0$) та реальної ($\delta_a, \delta_m \neq 0$) PPM:

$$x_H = \theta \frac{\Delta y_{20H} - \Delta y_{10H}}{\Delta y_{20H} + \Delta y_{10H}} = \theta \cdot \psi_H^* \quad (3)$$

$$x_P = \theta \frac{\Delta y_{20P} - \Delta y_{10P}}{\Delta y_{20P} + \Delta y_{10P}} = \theta \cdot \psi_P^* \quad (4)$$

Тоді, враховуючи (3) і (4), запишемо вираз для реляційної моделі оператора корекції ψ_R :

$$\psi_R = \frac{x_P}{x_H} = \frac{\theta \cdot \psi_P^*}{\theta \cdot \psi_H^*} = \frac{\psi_P^*}{\psi_H^*},$$

Щоб визначити структуру оператора корекції ψ для нелінійних дробово-раціональних функцій перетворення та провести його функціональний аналіз, запишемо реальну і номінальну функції перетворення вимірювального перетворювача з ДРФ:

$$\begin{cases} y_P = a_{0P} + \frac{a_{1P}}{x_P}, \\ y_H = a_{0H} + \frac{a_{1H}}{x_H}. \end{cases}$$

Звідси знайдемо значення вхідного сигналу ВП з ДРФ:

$$\begin{cases} x_H = f_H^{-1}(y_H) = \frac{a_{1H}}{y_H - a_{0H}}, \\ x_P = f_P^{-1}(y_P) = \frac{a_{1P}}{y_P - a_{0P}}. \end{cases}$$

Оператор ψ є відношенням реального і номінального значень вхідних сигналів, отже враховуючи, що $a_{0P} = a_{0H} + \Delta a_0$, можна записати:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{x_P}{x_H} = \frac{a_{1P}}{y_P - a_{0P}} \cdot \frac{y_H - a_{0H}}{a_{1H}} = \frac{a_{1P}}{a_{1H}} \cdot \frac{y_H - a_{0H}}{y_H - a_{0H} - \Delta a_0} = \\ &= \frac{a_{1P}}{a_{1H}} \cdot \frac{y_H - a_{0H}}{(y_H - a_{0H}) \left(1 - \frac{\Delta a_0}{y_H - a_{0H}}\right)} = \\ &= \frac{a_{1H} + \Delta a_1}{a_{1H}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta a_0}{a_{1H}}} = \left(1 + \frac{\Delta a_1}{a_{1H}}\right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta a_0 \cdot x_H}{a_{1H}}} = (1 + \delta_m) \frac{a_{1H}}{a_{1H} - \Delta a_0 \cdot x_H}, \end{aligned} \quad (5)$$

З (5) видно, що при використанні оператора ψ має виконуватися умова:

$$\frac{\Delta a_0}{a_{1H}} \ll 1 \Rightarrow \Delta a_0 \ll \frac{a_{1H}}{x}$$

де $\frac{a_{1H}}{x}$ – максимальне значення шкали ВП.

Якщо у процесі експлуатації змінюватимуться параметри a_0 , то графіки будуть відповідно підніматися чи опускатися паралельно номінальній ФП (залежно від знаку зміни). А якщо змінюватиметься параметр a_1 , то ФП змінить кут нахилу.

Наведені графіки ілюструють можливість визначення метрологічних властивостей функції ψ_R . Як видно, вона залежить від адитивної і мультиплікативної похибок. Рис. 2 показує, що можливі чотири варіанти моделі (5). Таким чином, наведені графіки дозволяють визначити метрологічні властивості реляційної моделі PPM.

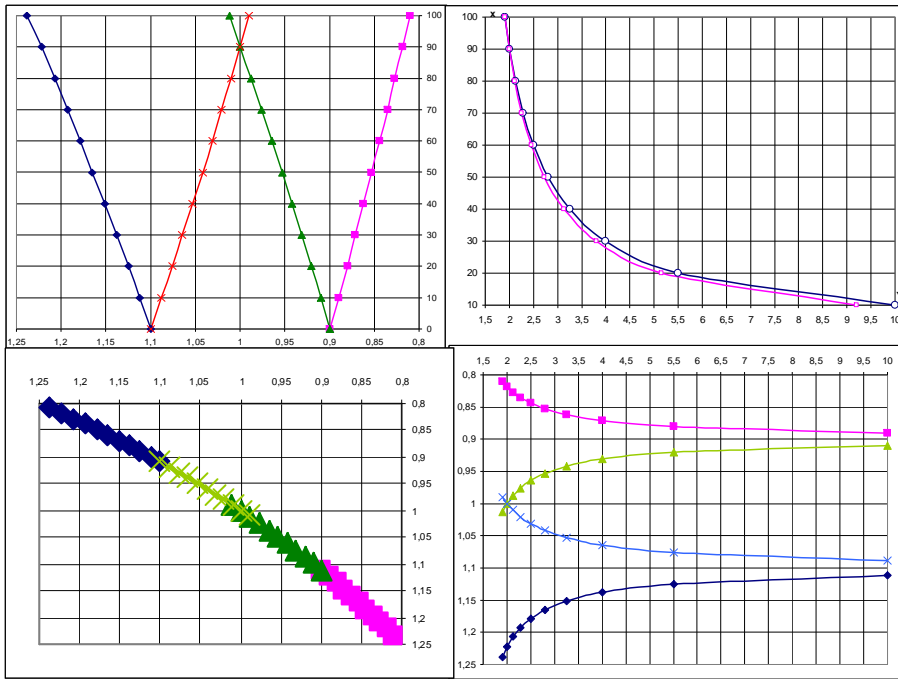


Рис. 2

Список літератури: 1. Кондрашов С.І. Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах: Монографія. – Харків.: НТУ “ХПІ”, 2004. – 224 с. **2.** Кондрашов С.І., Володарський Є.Т., Опришкіна М.І. Розрахунок похибок нелінійності реляційно-різницевих операторів корекції похибок вимірювальних перетворювачів // Український метрологічний журнал. –2004. –Вип. 1. – 2004. – С. 52-57. **3.** Туз Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств. –К.: Вища школа. Головное изд-во, 1976. –256 с. **4.** Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. –М.: Энергия, 1978, -176 с. **5.** Кондрашов С.І., Опришкіна М.І. Реляційно-різницеві моделі операторів корекції вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональними функціями перетворення // Вестник НТУ “ХПІ”. Сб. науч. трудов. Тематическое издание: Автоматика и приборостроение. – Харьков.: НТУ “ХПІ”. – 2005.–Вып. 7. –С. 77-80. **6.** Лиманова Н.И. Тестовый метод повышения точности измерений датчиков с нелинейными дробно-рациональными функциями преобразования. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2000. – № 10. – С. 28-31.

Поступила в редакцию 18.04.2007