**УДК 681.518**

***С.І. КОНДРАШОВ,*** д-р техн. наук, професор НТУ «ХПІ»
***М.І. ОПРИШКІНА,*** старший викладач НТУ «ХПІ»

# ОЦІНКА ПОХИБКИ НЕЛІНІЙНОСТІ ПРИ ТЕСТОВОМУ КОНТРОЛІ

Проведен анализ нелинейности реляционно-разностного оператора тестовой коррекции входного сигнала измерительного преобразователя, который имеет дробно-рациональную функцию преобразования и определены виды тестовых влияний, которые позволяют осуществить коррекцию входного сигнала и исключить адитивную составляющую погрешности нелинейности при тестовом контроле.

The analysis nonlinear forms relationship relational-different correction operator input signal of the measuring converter is organized, which has is crushed-rational float and is determined constants, that allow to choose the parameters of the test system checking and define the necessities an amount additional measurements.

Оцінка точності проведених вимірювань, тобто якості інформаційної продукції має велике значення. Сучасні автоматизовані технологічні процеси вимагають усе більш високої точності вимірювання, а автоматизація технологічних процесів або наукового експерименту неефективна без точного знання дійсних значень фізичних величин. Забезпечення високої точності вимірювання і її оцінка – це складна проблема.

Традиційні методи метрологічного забезпечення вимірювальних компонентів та вимірювальних каналів не можуть бути застосовані з неможливості зупинки безперервного технологічного процесу і демонтажу первинних вимірювальних перетворювачів.

Для діагностики характеристик точності необхідно одержати інформацію про поточні значення похибок давачів і вимірювальних перетворювачів (ВП). Для цього розробляються спеціальні тестові алгоритми побудови давачів і модульних блоків без переривання впливів технологічного середовища на давач [1–3]

У результаті обробки тестових сигналів одержують поточні значення похибок, за допомогою яких прогнозується ймовірність виходу каналу з класу точності, і комп’ютерна система приймає рішення про введення поправок у результати вимірювання параметрів технологічних процесів або автоматичне підстроювання характеристик давачів і перетворювальних блоків до відновлення їхніх характеристик точності.

Незважаючи на достатньо великий об'єм досліджень у галузі систем тестового контролю [2–7], на цей час залишається відкритою проблема вибору засобів контролю, які б забезпечили необхідну точність систем з різною структурою і алгоритмом роботи.

Метою статті є аналіз похибок нелінійності систем тестового контролю, що мають у своєму складі здавачі з дробово-раціональними функціями перетворення (ДРФП) з урахуванням систематичної складової похибки реляційно-різницевої моделі (РРМ).

У роботі [5] було доведено, що використання різнополярних тестів однакової величини дозволяє отримати РРМ, що виключає як адитивну, так і мультиплікативну складові похибок вимірювання.

Оцінку вхідного сигналу x знаходять з

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

При цьому виникає узагальнена математична модель оператора корекції $\psi^*$. Його значення визначається видом нелінійності функції перетворення ВП. Запишемо номінальну функцію перетворення (НФП) у загальному вигляді

$$f_H = a_{0H} + \frac{a_{1H}}{x_H} + \frac{a_{2H}}{x_H^2} + \frac{a_{3H}}{x_H^3} + \ldots + \frac{a_{nH}}{x_H^n} = \sum_{i=0}^{n} a_{iH} x_H^{-i}.$$

При використанні адитивних тестів $\theta_1 = -\theta_2 = \pm\theta$, тобто $\beta = \theta_1 / \theta_2 = -1$, НФП матиме вигляд:

$$\begin{cases} f_H(x+\theta_1) = a_0 + \dfrac{a_1}{x+\theta_1} + \dfrac{a_2}{(x+\theta_1)^2} + \ldots + \dfrac{a_т}{(x+\theta_1)^n} = \sum\limits_{i=0}^{n} a_i (x+\theta_1)^{-i}; \\ f_H(x-\theta_2) = a_0 + \dfrac{a_1}{x-\theta_2} + \dfrac{a_2}{(x-\theta_2)^2} + \ldots + \dfrac{a_т}{(x-\theta_2)^n} = \sum\limits_{i=0}^{n} a_i (x-\theta_2)^{-i}. \end{cases}$$

$$f_H(x+\theta_1) - f_H(x-\theta_2) = a_1 \left( \frac{1}{x+\theta_1} - \frac{1}{x-\theta_2} \right) +$$

$$+a_2 \left( \frac{1}{(x+\theta_1)^2} - \frac{1}{(x-\theta_2)^2} \right) + \ldots + a_n \left( \frac{1}{(x+\theta_1)^n} - \frac{1}{(x-\theta_2)^n} \right).$$

$$\Delta f_H = f_H(x+\theta_1) - f_H(x-\theta_2) = a_1 \left[ \frac{(x-\theta_2)-(x+\theta_1)}{(x+\theta_1)(x-\theta_2)} \right] +$$

$$+a_2 \left[ \frac{(x-\theta_2)^2 - (x+\theta_1)^2}{(x+\theta_1)^2 (x-\theta_2)^2} \right] + \ldots + a_n \left[ \frac{(x-\theta_2)^n - (x+\theta_1)^n}{(x+\theta_1)^n (x-\theta_2)^n} \right].$$

$$\Delta f_H = \sum_{i=1}^{n} a_n \left[ \frac{(x-\theta_2)^n - (x+\theta_1)^n}{(x+\theta_1)^n (x-\theta_2)^n} \right]. \quad (1)$$

З (1) видно, що різницева модель оператора корекції дозволяє виключити вплив коефіцієнту $a_0$, тобто виключено адитивну похибку $a_0 \pm \Delta a_0$.

Для того, щоб отримати значення коефіцієнту $\psi = \Delta y_{20} / \Delta y_{10}$, запишемо:

$$\begin{cases} \Delta y_{10H} = f_H\left(x+\theta_1\right) - f_H\left(x\right) = \sum_{i=1}^{n} a_i \left[\left(x+\theta_1\right)^{-i} - x^{-i}\right], \\ \Delta y_{20H} = f_H\left(x-\theta_2\right) - f_H\left(x\right) = \sum_{i=1}^{n} a_i \left[\left(x-\theta_2\right)^{-i} - x^{-i}\right]. \end{cases} \tag{2}$$

У (2) $\Delta y_{10H}$ та $\Delta y_{20H}$ записані як номінальні функції. Реальні значення $\Delta y_{10H}$ та $\Delta y_{20H}$ мають мультиплікативні похибки: $a_{iP} = a_{iH} + \Delta a_i \Rightarrow \Delta a_i = a_{iP} - a_{iH}$, де $\Delta a_i$ – мультиплікативна складова похибки.

Знайдемо значення $\psi$

$$\psi = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{10}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i \left[\frac{1}{\left(x-\theta_2\right)^i} - \frac{1}{x^i}\right]}{\sum_{i=1}^{n} a_i \left[\frac{1}{\left(x+\theta_1\right)^i} - \frac{1}{x^i}\right]} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i \left[\frac{x^i - \left(x-\theta_2\right)^i}{x^i\left(x-\theta_2\right)^i}\right]}{\sum_{i=1}^{n} a_i \left[\frac{x^i - \left(x+\theta_1\right)^i}{x^i\left(x+\theta_1\right)^i}\right]}. \tag{3}$$

Щоб оцінити похибку нелінійності коефіцієнту корекції $\psi$, лінеаризуємо отриману функцію. Для цього перепишемо (3) у вигляді

$$\psi = \frac{1+\frac{x}{\theta_1}}{1-\frac{x}{\theta_2}} \cdot \frac{1+\left(-\frac{1}{\theta_2}\right)\sum_{i=2}^{n} \frac{a_i}{a_1} \frac{x^i - \left(x-\theta_2\right)^i}{x^{i-1}\left(x-\theta_2\right)^{i-1}}}{1+\frac{1}{\theta_1}\sum_{i=2}^{n} \frac{a_i}{a_1} \frac{x^i - \left(x+\theta_1\right)^i}{x^{i-1}\left(x+\theta_1\right)^{i-1}}}.$$

$$\psi = \frac{1+\frac{x}{\theta_1}}{1-\frac{x}{\theta_2}} \cdot \frac{1+\delta_{H1}}{1+\delta_{H2}} = \frac{1+\frac{x}{\theta_1}}{1-\frac{x}{\theta_2}}\left(1+\delta_H\right), \tag{4}$$

оскільки $\delta_H = \delta_{H1} - \delta_{H2}$.

Якщо $\theta_1 = -\theta_2 = \pm\theta$, то $\psi = 1 + \delta_H$. Отже, при використанні лише адитивних тестів однакової величини, але різних за знаком, коефіцієнт корекції повністю визначатиметься похибкою нелінійності, тобто залишковим членом ряду (4).

При лінійному (квадратичному) наближенні похибок $\delta_{H1}$ та $\delta_{H2}$, отримаємо:

$$\psi = 1 + \delta_H = 1 + \delta_{H1} - \delta_{H2} =$$

$$= 1 + \left[ -\frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{2x - \theta_2}{x(x - \theta_2)} \right] - \left[ -\frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{\theta_1 + 2x}{x(x + \theta_1)} \right] = 1 + \frac{a_2}{x \cdot a_1} \left[ \frac{2 - \frac{\theta_2}{x}}{\frac{\theta_2}{x} - 1} + \frac{2 + \frac{\theta_1}{x}}{\frac{\theta_1}{x} + 1} \right].$$

Позначимо відносні значення тестів $\theta_1 / x = Z_1$ та $\theta_2 / x = Z_2$.

$$\psi = 1 + \frac{1}{x} \cdot \frac{a_2}{a_1} \left[ \frac{2 - Z_2}{Z_2 - 1} + \frac{2 + Z_1}{Z_1 + 1} \right] = 1 + \frac{1}{x} \cdot \frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{(Z_2 - 1)(Z_1 + 1)} = 1 + \delta_H.$$

Отже

$$\delta_H = \frac{1}{x} \cdot \frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{(Z_2 - 1)(Z_1 + 1)}. \qquad (5)$$

З (5) видно, що при $Z_1 = -Z_2$ похибка нелінійності у лінійному (квадратичному) наближенні коефіцієнту $\psi$ дорівнює нулю.

**Висновки:** реляційно-різницеві моделі операторів для ВП з нелінійними гіперболічними ФП дозволяють корегувати результати вимірювання вхідного сигналу лише за умови формування адитивних тестових впливів. «Лінеаризація» дробово-раціональної НФП узагальненою гіперболою дозволяє вирішити задачу корекції при наявності похибки «не лінійності» ДРФ. Остання залежить від значень параметрів $a_i$ ДРФ і співвідношення тестового впливу і сигналу $-\gamma = \theta / x$. Отримані результати дозволяють розробити інженерний метод розрахунку параметрів системи тестового контролю.

**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 "ХПИ". Сб. науч. трудов. Тематическое издание: Автоматика и приборостроение. – Харьков.: НТУ "ХПИ". –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. **7.** *С.І.Кондрашов, М.І. Опришкіна Ю.О. Скрипник* Лінеаризація оператора корекції похибок вимірювального перетворювача методом гіпербол // Наук. праці VI МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка" у 2-х томах. Т.2. – Харків: ХДНДІМ, 2008. – С. 297-300.

*Поступила до редакції 15.03.2011*