УДК. 621.396.671

П. Євтух, Л. Чорна

ПРО АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Широке впровадження комп'ютерів відкриває нові можливості підвищення точності вимірювальних приладів. Розглядається метод підвищення точності в первинних вимірювальних перетворювачах за допомогою обчислювальних засобів шляхом корекції мультиплікативних спотворень їх характеристик. Обгрунтовується варіант алгоритму корекції вимірювальних характеристик, який передбачає ітераційну процедуру зниження похибки вимірювання теоретично до нуля.

Умовні позначення:

K_n – коефіцієнт перетворення;

x – вхідний параметр;

y – вихідний сигнал.

Характеристики первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) в процесі експлуатації можуть змінюватись, і в зв'язку з цим виникає необхідність їх корекції. Процедуру корекції доцільно виконувати автоматично, за допомогою обчислювальних засобів [1]. Ефективність корекції залежить від вдалого вибору алгоритму корекції. Проте, питання вибору цього алгоритму не є однозначним.

В даній статті розглядається вибір алгоритму для випадку більш поширених мультиплікативних спотворень характеристик властивих для масштабних ПВП.

Нехай заданий ПВП має номінальний коефіцієнт перетворення K_n, а його характеристика описується виразом

$$y = K_n \cdot x \,, \tag{1}$$

де x – вхідний параметр, y – вихідний сигнал.

Мультиплікативний характер спотворень проявляється у зміні коефіцієнта перетворення ПВП від величини K_n до величини $K_n(1+\alpha)$, де α – величина, на яку відрізняється фактичний коефіцієнт перетворення від номінального. У випадку мультиплікативних спотворень кожне виміряне значення сигналу на виході ПВП описується виразом:

$$\hat{y} = K_n(1+\alpha) \cdot x \,, \tag{2}$$

де $\hat{y}$ – фактичне значення вихідного сигналу ПВП. При цьому відносна похибка δ ПВП визначається із співвідношення:

$$\delta = \frac{y - \hat{y}}{y} = \frac{K_n x - K_n(1+\alpha)x}{K_n x} = -\alpha \,. \tag{3}$$

Суть автоматичної корекції полягає в тому, що кожне виміряне значення сигналу на виході ПВП коректується за допомогою поправок, значення яких визначаються із умови:

$$y_i - \Pi_i = \hat{y}_i ,$$

яка, в даному випадку, з урахуванням виразів (1) і (2), дає для визначення цих поправок наступні співвідношення:

$$\Pi_i = -K_n \alpha x_i . \qquad (4)$$

Процедура автоматичної корекції характеристик ПВП полягає у введенні поправок, визначених згідно виразу (4), до кожного виміряного значення сигналу на виході ПВП. Проте, в даному випадку задача корекції не завжди вирішується в процесі експлуатації ПВП, не завжди можливо поставити такий вимірювальний експеримент, який відповідав би вимогам повірки ПВП і давав можливість визначити поправки традиційним шляхом. Однак, і в цих випадках, є можливість визначити поправки, якщо скористатися наступним підходом.

У співвідношенні (4) значення $K_n x_i$ відповідає значенню вихідного сигналу y_i, фактичне значення якого хоча і невідоме, але відоме близьке до нього виміряне значення $\hat{y}_i$. Використаємо його для визначення наближеної поправки за допомогою виразу (4), а цю поправку, в свою чергу - як перший крок в ітераційній процедурі корекції значення вимірюваної величини. Покажемо, що використовуючи значення $\hat{y}_i$ для визначення наближених значень поправок і організовуючи корекцію значень вимірюваної величини ітераційним шляхом по визначеному алгоритму, отримаємо можливість звести похибку вимірюваної величини теоретично до нуля.

Використовуючи співвідношення (4), отримуємо:

$$\Pi_i = -K_n \alpha x_i = -\alpha y_i \approx -\alpha \hat{y}_i . \qquad (5)$$

Скоректоване за допомогою отриманої поправки значення вимірюваної величини після першого кроку ітераційної процедури описується співвідношенням:

$$y_i = \hat{y}_i + \Pi_i = K_n(1+\alpha)x_i = \alpha K_n x_i(1-\alpha^2). \qquad (6)$$

Одного кроку корекції значення вимірюваної величини може бути недостатньо, але застосування обчислювальних засобів дозволяє досить просто організувати подальшу ітераційну процедуру корекції. Однак, при цьому можливі два варіанти алгоритму реалізації ітераційної процедури. Один з них – це використання першого виміряного значення $\hat{y}_1$ і подальша корекція його за допомогою поправок в кожному наступному ітераційному кроці, а другий - корекція за допомогою поправок кожного ітерованого значення. Розглянемо властивості кожного з цих варіантів алгоритму компенсації.

У випадку застосування першого варіанту алгоритму отримаємо наступний ряд скоректованих значень для кожної із n ітерацій:

1) $y_1 = \hat{y}_1$;
2) $y_2 = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1 = \hat{y}_1(1-\alpha)$;
3) $y_3 = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1(1-\alpha) = \hat{y}_1(1-\alpha+\alpha^2)$;
4) $y_4 = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1(1-\alpha+\alpha^2) = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1 = \hat{y}_1(1-\alpha+\alpha^2-\alpha^3)$;

.....

n) $y_n = \hat{y}_1\left[1-\alpha+\alpha^2-\ldots+(-1)^n\alpha^{n-1}\right]$.

Похибку n-го значення вимірюваної величини для цього варіанту алгоритму відповідно до співвідношення (3) можна подати у вигляді:

$$\delta_I = 1 - \frac{y_n}{y} = 1 - \frac{\hat{y}_1\left[1-\alpha+\alpha^2-\ldots+(-1)^n\alpha^{n-1}\right]}{y}. \qquad (7)$$

Відомо, що

$$\lim_{n\to\infty}\left[1-\alpha+\alpha^2-\ldots+(-1)^n\alpha^{n-1}\right] = \frac{1}{1+\alpha}.$$

Виконавши відповідну підстановку у співвідношення (7), отримаємо, що граничне значення похибки вимірюваної величини при $n \to \infty$ дорівнює:

$$\delta_I = 1 - \frac{K_n x(1+\alpha)}{K_n x}\cdot\frac{1}{1+\alpha} = 0.$$

У випадку застосування другого варіанту алгоритму для організації ітераційної процедури значення вимірюваної величини після кожної із n ітерацій приймають вигляд:

1) $y_1 = \hat{y}_1$;
2) $y_2 = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1 = \hat{y}_1(1-\alpha)$;
3) $y_3 = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1(1-\alpha) = \hat{y}_1(1-\alpha+\alpha^2)$;
4) $y_4 = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1(1-\alpha+\alpha^2) = \hat{y}_1 - \alpha\hat{y}_1 = \hat{y}_1(1-\alpha+\alpha^2-\alpha^3)$;

.....

n) $y_n = \hat{y}_1\left[1-\alpha+\alpha^2-\ldots+(-1)^n\alpha^{n-1}\right]$.

Співвідношення для похибки n-го значення вимірюваної величини у випадку застосування другого варіанту алгоритму матиме вигляд:

$$\delta_{II} = 1 - \frac{y_n}{y} = 1 - \frac{\hat{y}_1(1-\alpha)^{n-1}}{y}.$$

Використавши формулу (2), отримаємо для δ_{II}:

$$\delta_{\text{II}} = 1 - \frac{K_n x(1+\alpha)(1-\alpha)^2}{K_n x} = 1-(1-\alpha)^n(1+\alpha).$$

Вираз $(1-\alpha)^n$ представимо як біноміальний ряд:

$$(1-\alpha)^n = 1-\left[n\alpha - \frac{n(n-1)}{1\cdot 2}\alpha^{n-1} + \ldots - (-1)^n\alpha^n\right].$$

Права частина цього виразу при $n \to \infty$ приймає вигляд:

$$1 - \lim_{\substack{n\to\infty \\ \alpha\cdot 1}}\left[n\alpha - \frac{n(n-1)}{1\cdot 2}\alpha^{n-1} + \ldots - (-1)^n\alpha^n\right] = 1 ,$$

а похибка δ_{II} при $n \to \infty$ описується виразом:

$$\delta_{\text{II}} = 1-(1+\alpha) = -\alpha ,$$

тобто прямує до значення кінцевої величини α.

Таким чином, другий варіант алгоритму виявляється непридатним, похибка вимірюваної величини при його застосуванні не зменшується, незважаючи на багатократну корекцію за допомогою поправок. Вводити поправки у скоректоване після кожного кроку ітерації значення вимірюваної величини не має сенсу.

Алгоритм автоматичної корекції характеристик ПВП слід будувати шляхом організації такої ітераційної процедури, при якій перше виміряне значення коректується за допомогою поправок у кожному кроці ітерації.

Даний підхід до вибору алгоритму апробований і повністю виправдав себе при вирішенні задачі корекції характеристик вимірювальних трансформаторів струму [2].

Summary. In this paper a method of primary transducers accuracy increase is presented. The method is based on primary transducers multiplicate errors correction. The computer technique for implementation of the method may be used. The main attention is focused on design of measure characteristics' correction algorithm. The iterative procedure of measure errors increase theoreticly zero is predicted in the algorithm.

Література

1. М. Краус, Э. Вошни. Измерительные информационные системы. -М.: Мир, 1975. –310 с.
2. П.С. Євтух, В.О. Літков Про алгоритм корекції похибок вимірювальних трансформаторів струму. // Енергетика і електрифікація.-1995.- № 5. - С. 38-40.