Kolpak B. Automation of monitoring of metering systems of energy carriers // Abstracts of the International Conference "Actual problem of measuring Problems" ("Measurement-98"). - Section 3. - 7-10 September 1998. K., 1998. P. 214-215. 8. Колпак Б. Д. Нові підходи до метрологічного забезпечення обліку та витрати газу // Методи та прилади контролю якості. 1999. № 3. С. 54-59.

УДК 534.782:621.3

АВТОМАТИЧНА КОМПЕНСАЦІЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗРАХУНКОВИХ ПОПРАВОК ПРИ ВИМІРЮВАННЯХ КОМПЛЕКСНИХ ВХІДНИХ ВЕЛИЧИН

© Євтух П.С., 2000
Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

Розглядаються особливості застосування алгоритму автоматичної компенсації систематичних похибок за допомогою розрахункових поправок для випадку вимірювання комплексних вхідних величин.

The peculiarites of usage the algorythm of automatic compensation of the systematic errors by means of calculating correction for the case of complex input data measuring is shown in the paper.

У метрологічній практиці систематичну похибку компенсують, застосовуючи поправки, які визначають експериментально на вимірювальному стенді за допомогою зразкової апаратури. Однак іноді, наприклад, під час пусконалагоджувальних робіт, в колах із застосуванням високовольтних вимірювальних трансформаторів струму та напруги за місцем їх експлуатації, експериментальну поправку визначити неможливо через відсутність необхідних технічних засобів. Проте у цих випадках у технічних паспортах часто наводяться відомості про значення похибок номінального коефіцієнта перетворення, отримані на установках високої точності заводу-виготовлювача. У попередній роботі[*] для таких випадків поданий спосіб заміни експериментальної поправки близькою до неї розрахунковою, застосування якої дає змогу істотно зменшити значення систематичної похибки за рахунок збіжності ітераційної процедури компенсації, побудованої відповідно до спеціально розробленого алгоритму. Однак при вимірюваннях комплексних вхідних величин можливість використання розрахункових поправок та алгоритму їх застосування вимагає додаткового обґрунтування.

[*] Євтух П.С., Літаков А.О. Про алгоритм корекції похибок вимірювальних трансформаторів струму // Енергетика і електрифікація. 1995. № 5. С.38-40.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

У даній статті розкриваються особливості застосування розрахункової поправки для комплексних вхідних величин.

Нехай вимірювальна величина описується виразом

$$\dot{x} = x_0 e^{j\varphi_0} = x_0 \cos\varphi_0 + jx_0 \sin\varphi_0, \tag{1}$$

де x_0 – амплітуда вимірюваної величини, φ – її фаза.

Вимірювана величина подається на вхід первинного вимірювального перетворювача (ПВП) з номінальним коефіцієнтом перетворення K_H. Сигнал на виході ПВП описується виразом

$$\dot{y} = K_H x_0 e^{j\varphi_0} = K_H \dot{x}. \tag{2}$$

Насправді не існує ПВП з точно номінальним коефіцієнтом перетворення K_H. ПВП вносить похибку в передачу амплітуди і фази комплексної вимірюваної величини, що можна описати співвідношенням:

$$K = K_H (1+\delta_м) e^{-j\xi}, \tag{3}$$

де $\delta_м$ – відносна мультиплікативна похибка передачі амплітуди, ξ – абсолютна похибка передачі фази.

У даному випадку передбачається справедливість співвідношення $(\delta_м \xi) << 1$.

Виміряне значення сигналу $\hat{y}$ на виході ПВП, враховуючи формулу (3), можна подати так:

$$\hat{y} = K_H x_0 (1+\delta_м) e^{-j(\varphi_0 - \xi)} = K_H \dot{x} (1+\delta_м) e^{-j\xi}. \tag{4}$$

Враховуючи, що $|j\xi| << 1$, можна замінити експоненту у виразі (4) наближенням першого порядку $e^{-j\xi} = 1 - j\xi$. Вираз (4) з урахуванням цього наближення набирає вигляду:

$$\hat{y} = \dot{x} K_H (1+\delta_м)(1-j\xi) = \dot{x} K_H (1+\delta_м - j\xi). \tag{5}$$

При отриманні формули (5) знехтувано складовою $j\delta_м\xi$ як малою величиною вищого порядку.

Вираз (5) свідчить, що фазову складову похибки слід трактувати як уявну компоненту мультиплікативної похибки.

Зазвичай під час вимірювань розділяють окремо активну та реактивну складові комплексної величини. Відповідно до такого розподілу вираз (5) набирає вигляду:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{y}} &= x_0 K_H (\cos\varphi_0 + j\sin\varphi_0)(1+\delta_м - j\xi) = K_H x_0 \cos\varphi_0 (1+\delta_м + \xi \operatorname{tg}\varphi_0) + \\ &jK_H x_0 \sin\varphi_0 (1+\delta_м - \xi \operatorname{ctg}\varphi_0) = \hat{y}_a (1+\delta_м + \xi \operatorname{tg}\varphi_0) + \hat{y}_p (1+\delta_м - \xi \operatorname{ctg}\varphi_0), \end{aligned} \tag{6}$$

де y_a і y_p – відповідно активна та реактивна складові сигналу на виході ПВП. Оскільки розглядається випадок, коли необхідно застосувати розрахункову поправку $П$, то доцільно використати запропонований у згаданій статті алгоритм

$$\hat{y}_n = \hat{y} + П\hat{y}_{n-1} \tag{7}$$

де n – номер ітерації у процедурі компенсації похибки.

Для ефективної роботи алгоритму у разі комплексного сигналу поправка повинна мати вигляд:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$\Pi_a = \hat{y}_a(\delta_м + \xi tg\hat{\varphi}_0), \quad (8)$$

де Π_a – поправка до активної складової сигналу на виході ПВП, а також:

$$\Pi_p = -\hat{y}_p(\delta_м - \xi ctg\hat{\varphi}_0), \quad (9)$$

де Π_p - поправка до реактивної складової сигналу на виході ПВП.

Величина $\hat{\varphi}_0$ у формулах для поправок – це виміряна із похибкою ξ фаза сигналу на виході ПВП.

Ітераційна процедура компенсації похибки активної складової сигналу на виході ПВП має такий вигляд:

$$\hat{y}_{a1} = K_H x_0 \cos\varphi_0 (1 + \delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0) + K_H x_0 (1 + \delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0)(\delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0) =$$

$$= K_H x_0 \cos\varphi_0 (1 + \delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0)^2;$$

$$\hat{y}_{a2} = K_H x_0 \cos\varphi_0 (1 + \delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0)^3;$$

… … … … … … … … … … … …

$$\hat{y}_{an} = K_H x_0 \cos\varphi_0 (1 + \delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0)^{n+1};$$

Похибки δ ,δ_2,…δn після кожної із цих ітерацій визначаються за формулою $\delta = 1 - \hat{y} \quad / \hat{y}$ і описуються виразами:

$$\delta_1 = -(\delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0)^2; \quad \delta_2 = -(\delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0)^3; \quad \dots \quad \delta_n = -(\delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0)^n;$$

Оскільки $(\delta_м + \xi\, tg\hat{\varphi}_0) << 1$, то очевидно, що $\lim\limits_{n\to\infty} \delta_n = 0$, тобто теоретична межа, до якої прямує значення похибки δ_n при нарощуванні кількості ітерацій, дорівнює нулю.

Аналогічний результат можна отримати внаслідок застосування ітераційної процедури компенсації поправки до реактивної складової сигналу на виході ПВП.

Отримані результати свідчать про ефективність застосування розрахункових поправок у вигляді (8) і (9) з метою компенсації похибок одночасно активної та реактивної складових сигналу на виході ПВП.

Особливість застосування розрахункових поправок для компенсації похибок складових комплексного сигналу полягає ще й у тому, що ефективність застосування алгоритму (7) залежить і від величини кута φ_0. Лише при кутах $6^\circ < \varphi_0 < 84^\circ$ значення функцій $tg\varphi_0$ і $ctg\varphi_0$ у формулах (8) і (9) знаходяться в межах від 0,1 до 10, тому алгоритм (7) придатний для компенсації похибок одночасно в активної та реактивної складових вхідного сигналу. При інших значеннях кута φ необхідні додаткові дослідження алгоритму на його ефективність.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua