

двох стрибкоподібних синусоїдних функцій, які зсунуті одна відносно одної на половину тривалості імпульсу дискретизації, а вибір розрядності цифроаналогових перетворювачів виконувати за умов забезпечення максимального співвідношення сигнал/шум.

УДК 621.317.727

ВПЛИВ КАЛІБРУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ПЕРВИННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

© Біщаник Н.Ю., Вітер О.Ю., Вітер Ю.С., 2000

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація і сертифікація”,
кафедра “Електронно-обчислювальні машини”

Запропоновано методикку визначення точки шкали первинного вимірювального перетворювача, калібрування в якій забезпечує мінімальне значення похибки нелінійності. Отримано вирази для оцінки згаданої похибки.

The methodic of determination of scale point of sensor is suggested. The minimum value of nonlinear error is provided by means of calibrating in this point. The terms for estimation of this error are obtained.

Для більшості первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) функція перетворення має нелінійний характер і переважно задається у вигляді степеневого ряду

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \dots = a_0 + a_1X + F(X) \quad (1)$$

де X та Y – вхідна та вихідна величини, a_0 – початкове зміщення, a_1 – масштабний коефіцієнт, $F(X)$ – нелінійна складова функції перетворення.

Під час регулювання вимірювального пристрою, у склад якого входить ПВП, переважно, виконується встановлення нуля (для компенсації початкового зміщення a_0) та калібрування в певній точці шкали.

Метою даної роботи є визначення точки шкали ПВП, калібрування в якій забезпечує мінімальне значення похибки нелінійності, а також оцінка згаданої похибки.

При подальшому розгляді, обмежившись врахуванням впливу перших трьох членів ряду (1), вважатимемо, що початкове зміщення a_0 скомпенсоване, $a_1 \gg a_2$, а діапазони зміни вхідного та вихідного сигналів, внаслідок застосування нами відносної шкали, знаходяться в межах

$$X = 0 \dots X_{\max} = 0 \dots 1, \quad (2)$$

$$Y = 0 \dots Y_{\max} = 0 \dots 1. \quad (3)$$

Ввімкнувши масштабуючий перетворювач з коефіцієнтом передачі $(1/a_1)$ послідовно з виходом ПВП, отримаємо

$$Y_1 = \frac{Y - a_0}{a_1} = X + \frac{a_2}{a_1} X^2 = X \left(1 + \frac{a_2}{a_1} X \right). \quad (4)$$

Похибка нелінійності з урахуванням того, що $Y_{\max} = 1$, а $Y_{\text{ід}} = X$, дорівнює

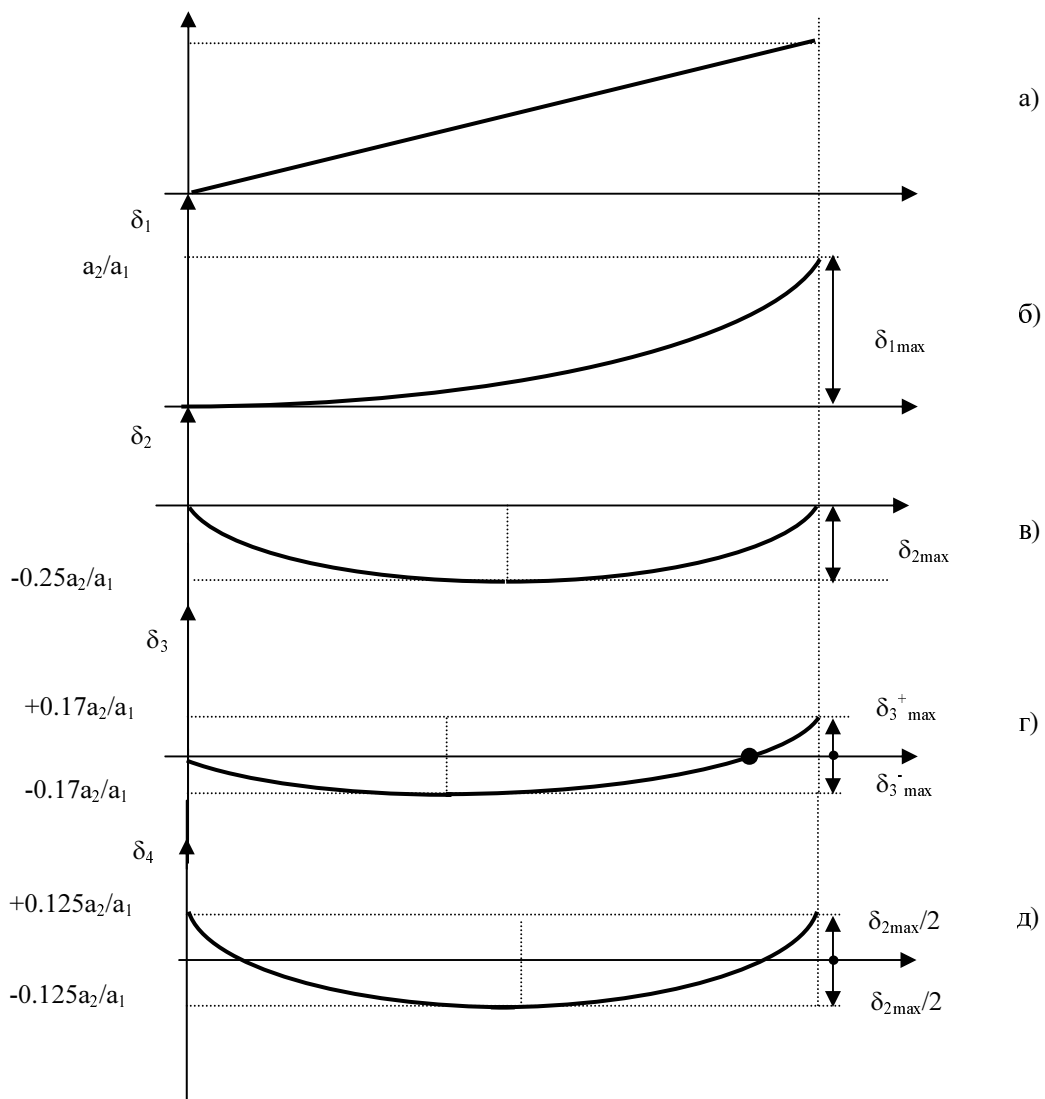
$$\delta_1 = \frac{Y_1 - Y_{\text{ід}}}{Y_{\max}} = \frac{a_2}{a_1} X^2. \quad (5)$$

Її максимальне значення

$$\delta_{1\max} = \left| \frac{a_2}{a_1} \right| \quad (6)$$

відображає внесок складової $a_2 X^2$ у вихідний сигнал Y . Графік залежності δ_1 від X наведено на рис. 1.б. Для зменшення впливу δ_1 виконаємо калібрування ПВП в кінці шкали (при $X = 1$). Для цього передбачимо ввімкнення послідовно з виходом ПВП ще одного масштабуючого перетворювача з коефіцієнтом передачі

$$1 / (1 + a_2/a_1). \quad (7)$$



Графіки залежностей похибок нелінійності первинного вимірювального перетворювача.

Тоді функція перетворення ПВП (4) набуває вигляду

$$Y_2 = \frac{X \left(1 + \frac{a_2}{a_1} X \right)}{\left(1 + \frac{a_2}{a_1} \right)} = \frac{X}{1 + \frac{a_2}{a_1}} + \frac{a_2}{a_1} \frac{X^2}{1 + \frac{a_2}{a_1}}. \quad (8)$$

Зауважимо, що у (8) при $X = X_{\max} = 1, Y = Y_{2\max} = 1$. Розклавши кожен з доданків у виразі (8) в ряд Тейлора та враховуючи, що $a_1 \gg a_2$, обмежимося двома членами розкладу в ряд. Тоді

$$Y_2 = X \left(1 - \frac{a_2}{a_1} \right) + X^2 \frac{a_2}{a_1} \left(1 - \frac{a_2}{a_1} \right) = X + \frac{a_2}{a_1} (X^2 - X) - \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 X^2, \quad (9)$$

$$Y_2 \approx X + \frac{a_2}{a_1} (X^2 - X). \quad (10)$$

Похибка нелінійності після калібрування в кінці шкали (при $X=Y=1$) становить:

$$\delta_2 = \frac{Y_2 - Y_{\text{ид}}}{Y_{\max}} = \frac{a_2}{a_1} (X^2 - X). \quad (11)$$

Залежність δ_2 від X , наведена на рис 1.в, має екстремум, пошук якого здійснимо, розв'язавши рівняння:

$$\frac{\partial \delta_2}{\partial X} = 0 = (2X - 1), \quad (12)$$

звідки $X=0.5$. Максимальне значення похибки нелінійності, отримане підстановкою $X=0.5$ в (11),

$$\delta_{2\max} = |\delta_2(0.5)| = |-0.25 a_2/a_1| = 0.25 a_2/a_1, \quad (13)$$

що в чотири рази менше за $\delta_{1\max}$.

Для подальшого зменшення похибки нелінійності пропонується пошук точки шкали $X = Y = b$, калібрування в якій забезпечує мінімальне значення згаданої похибки. Для цього коефіцієнт передачі другого масштабуючого перетворювача (7) замінимо на

$$1 / \left(1 + \frac{a_2}{a_1} b \right). \quad (14)$$

Тоді, за аналогією з (8), функція перетворення ПВП набуває вигляду

$$Y_3 = \frac{X \left(1 + \frac{a_2}{a_1} X \right)}{1 + \frac{a_2}{a_1} b}. \quad (15)$$

Відзначимо, що в результаті проведеного калібрування, при $X = b$ з (15) отримуємо $Y_3 = b$. Далі виконаємо над виразом (15) всі перетворення, проведені в (9), (10). Тоді

$$Y_3 \approx X + \frac{a_2}{a_1} (X^2 - bX). \quad (16)$$

Похибка нелінійності після калібрування в точці $X = Y = b$ дорівнює

$$\delta_3 = \frac{Y_3 - Y_{\text{ід}}}{Y_{\text{max}}} = \frac{a_2}{a_1} (X^2 - bX). \quad (17)$$

Графік її залежності від X (рис.1,г). має екстремум, пошук якого здійснимо, розв'язавши рівняння

$$\frac{\partial \delta_3}{\partial X} = 0 = (2X - b) \frac{a_2}{a_1}, \quad (18)$$

звідки

$$X = b/2. \quad (19)$$

Значення похибки нелінійності при $X = b$ - $\delta_{3\text{max}}^-$ отримаємо підстановкою (19) в (17):

$$\delta_{3\text{max}}^- = |\delta_3(b)| = \left| \frac{a_2}{a_1} \left(\frac{b^2}{4} - \frac{b^2}{2} \right) \right| = \left| -\frac{a_2 b^2}{4a_1} \right|. \quad (20)$$

Похибку нелінійності в кінці шкали отримаємо, підставивши в (17) $X=1$

$$\delta_{3\text{max}}^+ = \delta_3(1) = \left| \frac{a_2}{a_1} (1 - b) \right|. \quad (21)$$

Аналіз показує, що оптимальним калібрування буде тоді, коли

$$\delta_{3\text{max}}^+ = \delta_{3\text{max}}^- = \delta_{3\text{max}}. \quad (22)$$

Підстановка (20) та (21) в (22) дає

$$\left| \frac{a_2}{a_1} (1 - b) \right| = \left| -\frac{a_2 b^2}{4a_1} \right|, \quad (23)$$

звідки

$$b = -2 + \sqrt{8} = 0.83. \quad (24)$$

Підставивши (24) у (21) та враховуючи (22), отримаємо

$$\delta_{3\text{max}} = \delta_{3\text{max}}^+ = \frac{a_2}{a_1} (1 - 0.83) = 0.17 \frac{a_2}{a_1}. \quad (25)$$

Порівняння (13) з (25) показує, що калібрування ПВП при $X = 0.83$ зменшує похибку нелінійності в 1,5 рази, порівняно з калібруванням при $X=1$.

Якщо за умовами експлуатації ПВП допускається певна похибка на початку шкали, то ввівши, після калібрування при $X=1$, початкове зміщення на величину $+\delta_{2\text{max}}/2$, як показано на рис.1.д, можна зменшити похибку нелінійності до рівня

$$\delta_{4\text{max}} = \delta_{2\text{max}}/2 = \left| 0.125(a_2/a_1) \right|. \quad (26)$$

Для прикладу оцінимо вплив калібрування на похибку нелінійності нікелевого термометра опору, для якого опір в діапазоні температур $T = 0 \dots 200$ °C [1] дорівнює:

$$R = R_0(1 + 5.43 \cdot 10^{-3} T + 7.85 \cdot 10^{-6} T^2). \quad (27)$$

Перехід від абсолютної шкали (27) до відносної, з урахуванням встановлення нуля, для нікелевого термометра опору дає

$$Y = X + 0.12X^2. \quad (28)$$

Визначені з (6), (13), (25), (29) похибки нелінійності нікелевого термометра після калібрування його в різних точках шкали становлять:

$$\delta_{1\max} = 12\%, \quad \delta_{2\max} = 3\%, \quad \delta_{3\max} = 2\%, \quad \delta_{4\max} = 1.5\%.$$

Запропонована методика може бути застосована для $F(X)$, поданої в (1) будь-якими залежностями. Зокрема, якщо $F(X) = a_3 X^3$, то похибка нелінійності, визначена з (6),

$$\delta_{13\max} = \left| \frac{a_3}{a_1} \right|. \quad (29)$$

Виконавши над (29) перетворення, аналогічні до (7)...(25), отримаємо для калібрування при $X=1$

$$\delta_{23\max} = \left| 0.3 \frac{a_3}{a_1} \right|. \quad (30)$$

Оптимальне калібрування, виконане при $X=0.75$, дає результат

$$\delta_{33\max} = \left| 0.25 \frac{a_3}{a_1} \right|. \quad (31)$$

в 1.2 раза кращий, ніж при калібруванні в кінці шкали. Якщо похибка нелінійності ПВП після встановлення нуля та калібрування перевищує допустиму, можна застосовувати один з відомих методів лінеаризації.

1. Температурные измерения. Справочник / Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремينا А.К. и др.; Отв. ред. Геращенко О.А.; АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения. - К., 1989.

УДК 621.398

РІЗНИЦЕВО-АДАПТИВНА СИСТЕМА З ФІКСОВАНОЮ КІЛЬКІСТЮ ПРИРОСТІВ ТА ПОКАДРОВОЮ СТРУКТУРОЮ СИГНАЛУ

© Івахів О.В., Шигера І.Ю., 2000

Державний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Інформаційно-вимірювальна техніка”,

Описано різницево-адаптивну систему. Отримано вирази для оцінки необхідної швидкості передавання інформації.

The difference adaptive system is investigated in this paper. The data rate estimation expression for is found.