

УДК 621.317.725

Ю. М. Туз, О. М. Кривченкова

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Вступ

Актуальність проведеного дослідження була обумовлена тим, що на даний час в Україні не існує високоточних прецизійних вимірювачів напруги змінного струму в широкому діапазоні частот. Для створення такого приладу було досліджено можливі та існуючі у світі конструктивні і технологічні рішення, і в результаті в якості головного вузла вимірювання було обрано термоелектричний перетворювач, що є як задовільним по точності та широкополосності вимірювання, так і по ціні. Тому від характеристик обраного термоперетворювача буде залежати точність вимірювання напруги змінного струму.

В загальному випадку залежність напруги, поданої на вхід термоелектричного перетворювача та вихідного сигналу, описується залежністю, близькою до квадратичної, тобто:

$$E = kU^n, \quad n \approx 2.$$

Тому постало питання лінійзації вимірюваного сигналу, що дозволило би спростити процедуру його визначення, зменшити час на вимірювання та зберегти високу точність вимірювання.

Основною метою дослідження була розробка схеми та алгоритму лінійного перетворення змінної напруги на основі термоелектричних перетворювачів, яка б задовольнила всі вище згадані умови.

1. Загальна схема та принцип роботи лінійного перетворювача зі зворотним зв'язком

На рис. 1 представлена загальна схема лінійного перетворювача зі зворотним зв'язком, принцип роботи якої описано нижче.

На рис. 1 позначено:

ПП – прямий перетворювач,

П – підсилювач,

ЗП – зворотний перетворювач.

Наведена схема працює наступним чином. Вхідний сигнал x_1 поступає на вхід прямого перетворювача ПП, що має функцію перетворення:

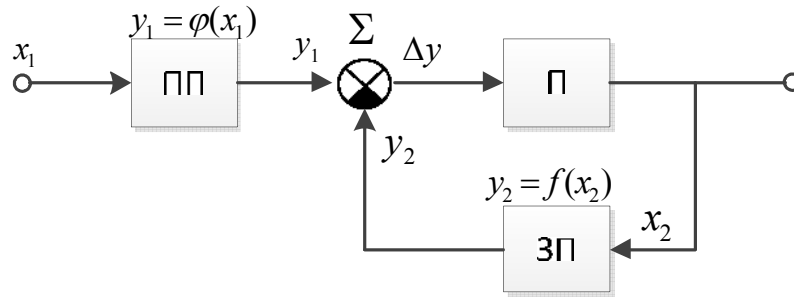


Рис. 1. Схема лінійного перетворювача зі зворотним зв'язком

$$y_1 = \phi(x_1), \quad (1)$$

де y_1 – вихідний сигнал перетворювача.

За допомогою суматора Σ створюється різниця вихідного сигналу прямого перетворювача та вихідного сигналу зі зворотного перетворювача y_2 , різниця сигналу $\Delta y = y_1 - y_2$ проходить через блок підсилення П. Сигнал x_2 , створений на його виході:

$$x_2 = \Delta y \cdot k_n, \quad (2)$$

k_n – коефіцієнт підсилення блоку підсилення П.

Сигнал x_2 поступає на вхід зворотного перетворювача ЗП, що має функцію перетворення:

$$y_2 = f(x_2). \quad (3)$$

Таким чином:

$$\phi(x_1) = f(x_2) \left[1 + \frac{x_2}{k_n f(x_2)} \right]. \quad (4)$$

Якщо $\frac{x_2}{k_n f(x_2)} \ll 1$, то $\phi(x_1) \cong f(x_2)$, тоді $x_1 = x_2$, якщо функції $\phi(x)$ та $f(x)$ ідентичні та монотонні, тобто має місце лінійне перетворення.

Похибка нелінійності виникає при неідентичності функцій $\phi(x)$ та $f(x)$, а також при невиконанні вище зазначеної умови: $\frac{x_2}{k_n f(x_2)} \ll 1$.

Якщо в компенсаційній системі, незалежно від способу зрівноваження вхідної величини x_0^* і вихідної величини зворотної ланки, зворотна ланка має деяку функцію перетворення $x = f(y)$, то функція перетворення всієї системи є зворотною функцією функції перетворення зворотної ланки від вхідної величини [1], а саме:

$$y^* = f^{-1}(x_0^*). \quad (5)$$

Прикладом застосування цієї властивості є інтегруючий перетворювач, в якому зворотний перетворювач є диференціатором, логарифмічний перетворювач, в якому зворотній перетворювач має показову функцію, корневидобувач, якщо зворотний перетворювач є ступеневою функцією та ін.

З формули (5) випливає, що похибки зворотної ланки $f(y)$ входять зі зворотним знаком до похибки системи.

Властивість перетворювачів, що діють за (5), можна використати для лінійного перетворення вимірюваної величини, якщо вхідний перетворювач, включений, як показано на рис. 1, матиме таку саму функціональну залежність, як і зворотний перетворювач: $f(x) = \phi(x)$.

$$x_2 = f^{-1}(y_1) = f^{-1}[\phi(x_1)] = x_1. \quad (6)$$

Якщо функція вхідного перетворювача $\phi(x)$ та функція зворотного перетворювача $f(x)$ не збігаються, то з'являється похибка лінійного перетворення, яка визначається відмінністю функцій $\phi(x)$ та $f(x)$.

Похибка може бути зменшена, якщо зробити в структурній схемі взаємозаміщення функцій ϕ та f . При цьому використовується та властивість структурної схеми рис. 1, що похибка вхідного перетворювача і зворотного перетворювача мають різні знаки в загальному рівнянні похибок лінійного перетворювача внаслідок складання або перемноження рівнянь, які мають місце при заміні місць включення вхідного прямого і зворотного перетворювачів. Можна запропонувати декілька прикладів алгоритмів роботи таких лінійних перетворювачів.

2. Лінійний перетворювач змінної напруги з середнім арифметичним значенням квадратів вихідних напруг

Пояснимо вище сказане на прикладі лінійних перетворювачів середньоквадратичних значень (СКЗ) напруги на термоелектричних перетворювачах.

На рис. 2 представлена схема лінійного перетворювача СКЗ напруги на термоелектричних перетворювачах, що включає:

П1, П2 – перемикачі,

Т1, Т2 – термоперетворювачі: 2 пари термопар та нагрівачей,

П– підсилювач,

U_{вх} – подана вхідна напруга змінного струму,

U_{вих} – вихідна напруга постійного струму.

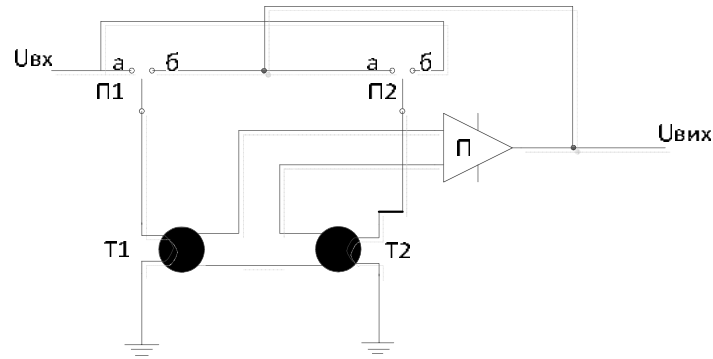


Рис. 2. Лінійний перетворювач СКЗ напруги на термоелектричних перетворювачах

Схема працює наступним чином. Сигнал напруги змінного струму $U_{вх}$ подається на вхід термоперетворювача Т1 (наприклад ТВБ, ДТПТ), коли перемикачі П1 та П2 знаходяться в положенні «а». Створене на термоперетворювачі Т1 значення електрорушійної сили (ЕРС), E_{1a} , передається на один із входів диференційного підсилювача П (наприклад, Analog Devices AD8551). На вхід другого термоперетворювача Т2 (наприклад ТВБ, ДТПТ) подається значення напруги, створене на виході підсилювача П. Створене на виході другого термоперетворювача Т2 значення ЕРС E_{2a} подається на другий вхід підсилювача П. Різниця сигналів на входах підсилювача складає:

$$\Delta E_a = E_{1a} - E_{2a}, \quad (7)$$

Різниця $\Delta E_a \rightarrow 0$ за умови великого коефіцієнта підсилення підсилювача П. Знімається значення отриманої вихідної напруги постійного струму, що складає:

$$U_{вх} = U_{вих_a} \cdot \sqrt{k_{1a}/k_{2a}}, \quad (8)$$

де k_{1a}, k_{2a} – коефіцієнти перетворення перетворювачів ефективних значень Т1 та Т2, відповідно.

Перемикач переводять в положення «б». Роль вхідного термоперетворювача в такті «б» виконує термоперетворювач Т2, а зворотного – перетворювач Т1. Далі відбувається перетворення вхідного сигналу, аналогічне до такту «а». Різниця сигналів на входах підсилювача в такті «б» складає:

$$\Delta E_b = E_{2b} - E_{1b}. \quad (9)$$

Аналогічно, різниця $\Delta E_b \rightarrow 0$ за умови великого коефіцієнта підсилення підсилювача П. Знімається значення отриманої вихідної напруги постійного струму, що складає:

$$U_{ex} = U_{вих\delta} \cdot \sqrt{k_{2\delta} / k_{1\delta}}, \quad (10)$$

де $k_{1\delta}, k_{2\delta}$ – коефіцієнти перетворення перетворювачів ефективних значень T1 та T2, відповідно.

Далі відбувається визначення значення постійної напруги.

Одним із способів визначення результуючої вихідної напруги є наступний спосіб:

$$U_{вих}^2 = \frac{U_{вихa}^2 + U_{вих\delta}^2}{2}. \quad (11)$$

В даному випадку неідентичність термоперетворювачів визначається через похибку від неідентичності γ_2 , тобто:

$$k_2 = k_1 \cdot (1 + \gamma_2). \quad (12)$$

Тоді загальна похибка ξ визначення величини $U_{вих}$ складає:

$$\xi = \gamma_2^2 (1 - \gamma_2 + \gamma_2^2). \quad (13)$$

Підвищення точності досягається тим, що в даному випадку результуюча похибка перетворення визначається квадратом величини другого порядку малості.

3. Лінійний перетворювач з середнім геометричним значенням вихідних величин

В цьому способі вихідну напругу визначають шляхом перемноження лівих та правих частин рівнянь (8) та (10):

$$U_{ex}^2 = U_{вихa} \sqrt{k_{2a} / k_{1a}} \cdot U_{вих\delta} \sqrt{k_{1\delta} / k_{2\delta}}. \quad (14)$$

Якщо коефіцієнти перетворення термоперетворювачів k_1 та k_2 не змінюються в тактах «а» і «б», тобто $k_{1a} = k_{1\delta}$ та $k_{2a} = k_{2\delta}$, то середнє геометричне значення напруг дорівнює вхідній вимірювальній напрузі:

$$U_{ex} = \sqrt{U_{вихa} \cdot U_{вих\delta}}. \quad (15)$$

Коефіцієнти перетворення термоперетворювачів не впливають на результат вимірювання.

Якщо коефіцієнти перетворення термоперетворювачів k_1 та k_2 в тактах «а» і «б» відрізняються, то виникає залишкова похибка γ_1 та γ_2 , тобто:

$$k_{1\delta} = k_{1a} (1 + \gamma_1), \quad (16)$$

$$k_{2\bar{b}} = k_{2a}(1 + \gamma_2). \quad (17)$$

Тоді значення квадрату вимірної напруги:

$$U_{ex}^2 = U_{вих_a} \cdot U_{вих_b} \sqrt{(1 + \gamma_1)/(1 + \gamma_2)}. \quad (18)$$

Загальна похибка ξ визначення величини U_{ex} складає:

$$\xi = \gamma_1 - \gamma_2 + \gamma_2^2 - \gamma_2^3 + \gamma_2^4 + \dots + (-1)^n \cdot \gamma_2^n - \gamma_1\gamma_2 + \gamma_1\gamma_2^2 - \gamma_1\gamma_2^3 + \gamma_1\gamma_2^4 + \dots + \gamma_1 \cdot (-1)^n \gamma_2^n, \quad (19)$$

де $n \in [5; +\infty)$.

$$\text{Якщо } \gamma_1 \ll 1, \gamma_2 \ll 1 \text{ то } \xi = \gamma_1 - \gamma_2. \quad (20)$$

В даному випадку підвищення точності досягається тим, що результуюча похибка визначається похибкою тільки прямого і зворотного перетворювачів на короткому інтервалі часу. За даними досліджень [2] γ_1 та γ_2 лежать в межах $(1 \div 10) \cdot 10^{-6}$ за 5 хвилин, і це є фактором досягнення високої точності, і дає підставу в формулі похибки знехтувати членами порядку 2 і вищих.

Висновки

В результаті проведеного дослідження було запропоновано схему лінійного перетворювача змінної напруги, а також два способи знаходження вихідних значень, один з яких дозволяє зменшити похибку перетворення за рахунок того, що загальна похибка перетворення визначається квадратом величин другого порядку малості, а другий спосіб перетворення дозволяє зменшити загальну похибку за рахунок того, що вона визначається різницею приросту похибок на короткому інтервалі часу.

Список використаної літератури

1. Туз Ю. М., Структурные методы повышения точности измерительных устройств. – Издательское объединение «Вища школа». – 1976. – 256 с.
2. Туз Ю. М., Добролюбова М. В. Методики визначення короткочасової нестабільності вихідного сигналу прецизійних джерел напруги. Системи обробки інформації. – 2011. – №1 (91). – 143 с.