

МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ПОДІЛЬНИКА НАПРУГИ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ АЦП

Сформульовано набір взаємозв'язаних протиріч, які в комплексі формують проблему забезпечення єдності вимірювань та метрологічної надійності результатів аналого-цифрового перетворення в умовах обмеження трудомісткості метрологічного обслуговування аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Запропоновано шлях вирішення цієї проблеми, що базується на незалежному визначенні компонентів похибки перетворення. Доказано, що вимірювальний перетворювач на базі багаторезисторного подільника напруги, при усередненні спадів напруги на всіх резисторах цього подільника, є ідеальним вимірювальним перетворювачем, що дозволяє будувати ефективні системи перевірки АЦП. Показано, що при корекції результатів перетворення нескоригована похибка пропорційна величині діапазону між точками визначення нелінійності. Це дозволило сформулювати методологію побудови багаторезисторних подільників напруги для перевірки АЦП згідно вимог нормативних документів.

Ключові слова: перевірка, метрологічна перевірка, подільник напруги, аналого-цифровий перетворювач.

There is formulated the set of contradictions, which together generates the problem of traceability of analog to digital conversion results and metrology reliability in the condition of limitation of metrology service of analog to digital converters. It is proposed to solve this problem by independent identification of all components of conversion's error. There is proved that measurement converter, which is based on multi-resistors voltage divider with averaging voltages of all resistors is ideal measurement converter. It provides designing effective ADC metrology testing systems. Also there is proved that uncompensated conversion error is proportional to the distance between nonlinearity testing points. It allows developing the methodology of design the multi-resistors voltage divider, which provides metrology testing of ADC according the requirements of active standards.

Keywords: calibration, metrological test, voltage divider, analog-to-digital converter.

Вступ

Розвиток технологій мікроелектроніки привів до широкого використання методів цифрового опрацювання даних в інформаційно-вимірювальних системах [1]. Необхідними компонентами таких систем є аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які переважно виготовляються у вигляді інтегральної схеми або компонента системи на кристалі. Постійне збільшення кількості інформаційно-вимірювальних систем різного функціонального призначення, що знаходяться в експлуатації, їх інтеграція з комп'ютерними та комунікаційними мережами призводить до того, що збільшується і кількість АЦП, які підлягають державному метрологічному контролю [2]. Однією з ключових вимог державного метрологічного контролю є єдність результатів вимірювань, яка забезпечується організаційно-технічними засобами, зокрема, періодичними перевітками. Але широкомасштабне тиражування АЦП, що вимагають перевірки, зважаючи на її високу трудомісткість, а також обмежені ресурси уповноважених метрологічних лабораторій, вступає в протиріччя з вимогою забезпечення єдності результатів вимірювань і сприяє зменшенню метрологічної надійності результатів аналого-цифрового перетворення. Це протиріччя гостро ставить питання відповідного метрологічного забезпечення АЦП на всіх етапах життєвого циклу. Слід відзначити, що це протиріччя існувало завжди, однак відносно невелика кількість АЦП в експлуатації, а також їхня концентрація на великих підприємствах полегшували його вирішення. На сьогодні це протиріччя значно загострилося через лавиноподібне збільшення кількості АЦП, що вимагають перевірки, їхнє розосередження та обмеженість ресурсів відповідних метрологічних лабораторій. Це призводить до того, що цілі групи АЦП (наприклад, АЦП, що входять в склад інформаційно-вимірювальних систем безпеки автомобілів) взагалі випадають з поля зору метрологічного нагляду, що веде до ймовірного порушення єдності вимірювань. Крім трудомісткості перевірки для органів метрологічного нагляду, існує трудомісткість перевірки для користувачів інформаційно-вимірювальних систем. Адже традиційна періодична перевірка вимагає: зупинки системи, демонтажу АЦП, транспортування до/від лабораторії, власне перевірки, монтажу та запуску системи. Це спонукає користувачів ухилятися від перевірки, що, крім загрози втрати єдності вимірювань, підвищує небезпеку техногенних катастроф. Ще одне протиріччя виникає між неперервним характером багатьох технологічних процесів та необхідністю вилучення АЦП із складу системи на час перевірки. Зупинка неперервного технологічного процесу веде до втрат, тому інтервал між перевітками стараються максимізувати, що формує чергове протиріччя, адже збільшення цього інтервалу веде до зменшення метрологічної надійності результату перетворення. Крім того, також виникає протиріччя між складністю та функціональністю систем і метрологічною кваліфікацією їх розробників та обслуговуючого персоналу, які часто не можуть адекватно оцінити загрозу при невідповідності метрологічних параметрів АЦП вимогам.

Отже, масовий випуск і використання АЦП привів до загострення наявних і появи нових протиріч, усунення яких вимагає вирішення ряду науково-технічних задач. Ці задачі взаємно пов'язані, їх окреме вирішення не дозволить значно покращити ситуацію. Таким чином, розглянуті протиріччя формують проблему забезпечення єдності вимірювань та метрологічної надійності результатів аналого-цифрового перетворення в умовах обмеження затрат на метрологічне обслуговування АЦП. Її вирішення має цілий ряд аспектів: наукові, технічні, економічні, організаційні. Очевидно, що первинними є наукові аспекти, вирішенню яких для одного з класів АЦП, а саме АЦП з неперервною функцією систематичної похибки, і присвячена дана робота. Необхідно відзначити, що саме такі АЦП є найточнішими на сьогоднішній день.

Аналіз методів забезпечення єдності результатів аналого-цифрового перетворення

Під час експлуатації АЦП єдність їх результатів перетворення забезпечується шляхом проведення періодичних повірок, процедура яких строго регламентована діючими нормативними документами [2, 3]. Згідно цих документів визначені класи засобів вимірювальної техніки, що повинні проходити повірку в уповноважених метрологічних лабораторіях. Метою повірки є встановлення придатності засобів вимірювальної техніки до застосування шляхом визначення їх дійсних метрологічних характеристик і порівняння з допустимими межами. Вимоги до повірки власне АЦП регламентуються у [4...8], де всі АЦП поділяються на наступні види:

1. АЦП з неперервною функцією систематичної похибки, зокрема, інтегруючі;
2. АЦП з функцією систематичної похибки, що може мати розриви, зокрема, порозрядного зрівноваження.

Для АЦП першого виду кількість точок повірки повинна бути не меншою п'яти. Згідно [4, 6], напруги точок повірки цих АЦП вибираються за формулами $X_1 = (0,1...0,15)X_D$, $X_2 = (0,2...0,3)X_D$, $X_3 = (0,4...0,6)X_D$, $X_4 = (0,7...0,8)X_D$, $X_5 = (0,9...1,0)X_D$, де X_D – діапазон перетворення АЦП. Згідно [5] напруги точок повірки АЦП $X_2...X_5$ вибираються аналогічно до [4, 6], змінено тільки значення точки $X_1 = (0,0...0,1)X_D$. Отже основні вимоги щодо повірки АЦП з неперервною функцією систематичної похибки є усталеними протягом більш, ніж тридцяти років.

Всього передбачено два методи повірки:

1. Порівняння, при якому вхідна величина одночасно подається на АЦП, що повіряють, і на взірцевий засіб вимірювання, похибка якого є суттєво меншою. Похибку АЦП знаходять як різницю результатів перетворення АЦП, що повіряють, і результатів вимірювання взірцевим засобом.

2. Калібрування, при якому на вхід АЦП, що повіряють, подають взірцеві сигнали (значення яких відомо з похибкою, яка є суттєво меншою) і порівнюють результати перетворення із значеннями вхідного сигналу.

Перший метод передбачає паралельне включення до АЦП, що повіряють, значно точнішого АЦП, що повинен бути повірений як взірцевий засіб вимірювання, тобто також вимагає повірки.

Другий метод вимагає менше обладнання, простіше автоматизується. Зазвичай його реалізують з допомогою калібраторів електричних величин [9] або кодокерованих мір [10]. Такі прилади складніші за АЦП і повинні бути повірені як взірцеві засоби вимірювання, тобто також вимагають метрологічного обслуговування.

Пропозиції включення в склад програмного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи підсистеми, що забезпечує метрологічне супроводження [11, 12, 13] не вирішують проблеми пов'язаної з відсутністю в складі системи відповідних взірцевих засобів. Пропозиції включення в склад системи відповідних взірцевих засобів, що забезпечують автоматичну повірку [14, 15], зважаючи на складність таких засобів та невирішеність питання їх власного метрологічного обслуговування, можуть вирішити лише проблему повірки АЦП в складі системи. Тому впровадження таких методів лише частково вирішує деякі з вказаних протиріч і в той самий час вимагає значно точніших взірцевих засобів для повірки вже самих вбудованих взірцевих засобів.

Пропонується включити в склад АЦП підсистему його повірки (самоповірки), що забезпечить бездемонтажну періодичну повірку АЦП в процесі його експлуатації та буде мати спрощене власне метрологічне обслуговування. Метою даної статті є розробка та дослідження принципів реалізації такої підсистеми самоповірки прецизійних АЦП та оцінка похибки повірки. Очевидно, що ці принципи не повинні суперечити вимогам чинних нормативних документів до повірки АЦП.

Похибка вимірювального перетворювача на базі багаторезисторного подільника напруги

Нехай подільник напруги, що складається з N резисторів R_1, \dots, R_N , підключено до джерела напруги калібрування АЦП U_{REF} (див. рис. 1). В такому випадку, згідно II закону Кірхгофа, можна записати

$$U_{REF} = \sum_{i=1}^N U_{Ri}, \quad (1)$$

де $U_{Ri}, i = \overline{1, N}$ – спади напруги на відповідних резисторах подільника.

Математичне сподівання спадів напруги на всіх резисторах – \bar{U} визначається як

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_{Ri}. \quad (2)$$

Підставивши (1) в (2), отримаємо

$$\bar{U} = U_{REF} / N. \quad (3)$$

Це означає, що математичне сподівання спадів напруги на всіх резисторах подільника \bar{U} не залежить від спадів напруги на окремих резисторах подільника, тобто, з врахуванням закону Ома, опори окремих резисторів подільника не впливають на \bar{U} . Через те, що N – натуральне число, відносна похибка

$\delta_{\bar{U}}$ значення \bar{U} буде

$$\delta_{\bar{U}} = \delta_{REF}, \quad (4)$$

де δ_{REF} – похибка джерела напруги живлення подільника, в нашому випадку напруги калібрування АЦП.

Таким чином, багаторезисторний подільник напруги є ідеальним, з метрологічної точки зору, вимірювальним перетворювачем – похибка, яку він додає до тракту проходження сигналу, рівна нулю, а його схема не вимагає використання прецизійних компонентів. Крім того, якщо значення опору резисторів подільника не впливають на математичне сподівання спадів напруги на всіх його резисторах, то і сам подільник не вимагає метрологічного обслуговування. Саме цю властивість багаторезисторного подільника напруги пропонується використати для визначення інтегральної нелінійності АЦП, що, разом з операціями встановлення нуля та калібрування, може бути основою для побудови підсистеми самоперевірки АЦП. Адже вимоги [4 – 6] фактично зводяться до вказаних операцій.

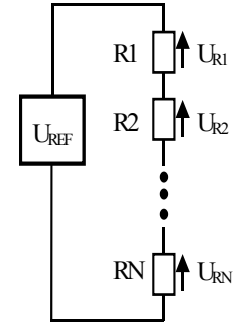


Рис. 1. Схема подільника напруги

Визначення інтегральної нелінійності АЦП

В результаті аналого-цифрового перетворення вхідної напруги U отримуємо код результату перетворення C

$$C = C_0 + \frac{C_{REF} - C_0}{U_{REF}} U + f(U), \quad (5)$$

де C_0 – результат аналого-цифрового перетворення для каналу встановлення нуля; C_{REF} – результат аналого-цифрового перетворення для каналу калібрування (коли на вхід АЦП подається напруга калібрування U_{REF}); $f(U)$ – нелінійна складова функції перетворення АЦП.

При аналого-цифровому перетворенні спадів напруги на резисторах подільника R_1, \dots, R_N , представленого на рис. 1, отримаємо

$$C_{Ri} = C_0 + \frac{C_{REF} - C_0}{U_{REF}} U_{Ri} + f(U_{Ri}), \quad i = \overline{1, N}, \quad (6)$$

де C_{Ri} – результат аналого-цифрового перетворення, що відповідає напрузі U_{Ri} .

При аналого-цифровому перетворенні напруги живлення подільника (для цього доцільно використати напругу калібрування U_{REF}) отримаємо

$$C_{REF} = C_0 + \frac{C_{REF} - C_0}{U_{REF}} U_{REF} + f(U_{REF}), \quad (7)$$

де C_{REF} – результат аналого-цифрового перетворення, що відповідає напрузі калібрування U_{REF} ; $f(U_{REF})$ – нелінійна складова функції перетворення АЦП, яка для напруги калібрування приймається рівною нулю, тобто $f(U_{REF}) = 0$.

Враховуючи (6), (7) та (2), залежність (3) можна записати як

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_{Ri} - C_0 - f(U_{Ri})}{C_{REF} - C_0} U_{REF} = \frac{1}{N} \frac{C_{REF} - C_0 - f(U_{REF})}{C_{REF} - C_0} U_{REF}. \quad (8)$$

Спростивши (8) та враховуючи, що $f(U_{REF}) = 0$, отримаємо

$$\sum_{i=1}^N (C_{Ri} - C_0 - f(U_{Ri})) = C_{REF} - C_0. \quad (9)$$

Математичне сподівання значень функції нелінійності в точках перевірки $\overline{f(U_{Ri})}$ можна обчислити як

$$\overline{f(U_{Ri})} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(U_{Ri}). \quad (10)$$

Якщо (10) підставити в (9) і знайти звідти $\overline{f(U_{Ri})}$, то отримаємо

$$\overline{f(U_{Ri})} = \frac{1}{N} \left(C_{REF} - C_0 - f(U_{REF}) - \sum_{i=1}^N (C_{Ri} - C_0) \right) = \frac{1}{N} \left(C_{REF} - C_0 - \sum_{i=1}^N (C_{Ri} - C_0) \right). \quad (11)$$

Математичне сподівання $\overline{f(U_{Ri})}$ є визначеним значенням інтегральної нелінійності АЦП, що повіряють, в точці повірки $\overline{U} = U_{REF} / N$.

Аналіз інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП

Для будь яких значень опорів резисторів R_i подільника напруги, що складається з N резисторів існує середнє арифметичне значення опору \overline{R} , яке розраховується як

$$\overline{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i.$$

Опір кожного резистора R_i подільника можна представити як

$$R_i = \overline{R} + \Delta_i, \quad (12)$$

де Δ_i – індивідуальне відхилення опору резистора R_i від \overline{R} .

В такому випадку суму індивідуальних відхилень опорів можна розрахувати як

$$\sum_{i=1}^N \Delta_i = \sum_{i=1}^N (R_i - \overline{R}) = \sum_{i=1}^N R_i - N\overline{R} = N\overline{R} - N\overline{R} \equiv 0. \quad (13)$$

Тобто сума відхилень опорів резисторів R_i від середнього значення \overline{R} завжди рівна нулю.

Виходячи з того, що, в загальному випадку, $\overline{f(U_{Ri})} \neq f(\overline{U_{Ri}})$, виникає інструментальна похибка Δ_I , зумовлена нелінійністю функції перетворення АЦП, що повіряють, яка рівна

$$\Delta_I = \overline{f(U_{Ri})} - f(\overline{U_{Ri}}), \quad (14)$$

де U_{Ri} – випадкова величина з законом розподілу, аналогічним до закону розподілу індивідуальних відхилень δ_i .

Максимальне значення цієї інструментальної похибки буде досягатися у випадку, коли функція нелінійності $f(U_{Ri})$ має локальний екстремум в околі точки $\overline{U_{Ri}}$, і цей екстремум попадає в діапазон зміни спадів напруги U_{Ri} . Власне така ситуація в збільшеному вигляді і представлена на рис. 2. Значення інструментальної похибки, взявши за основу точку U_{RMIN} , можна оцінити як

$$|\Delta_I| \leq |\Delta_{IMAX}| = \left| f(\overline{U_{Ri}}) - \frac{1}{2} (f(U_{RMIN}) + f(U_{RMAX})) \right|, \quad (15)$$

де Δ_{IMAX} – максимальне допустиме значення інструментальної похибки, зумовленої нелінійністю АЦП, яка досягається для максимального відхилення спадів напруги на резисторах подільника від середнього значення, тобто для: U_{RMIN} – напруга на резисторі з мінімальним опором, U_{RMAX} – напруга на резисторі з максимальним опором.

Значення $f(\overline{U_{Ri}})$ можна оцінити як

$$f(\overline{U_{Ri}}) \leq f(U_{RMIN}) + f'(U_{RMIN}) \cdot (\overline{U} - U_{RMIN}), \quad (16)$$

де $f'(U_{RMIN})$ – похідна функції нелінійності АЦП в точці U_{RMIN} .

Аналогічно можна записати

$$f(U_{RMAX}) \leq f(U_{RMIN}) + f'(\overline{U}) \cdot (U_{RMAX} - U_{RMIN}), \quad (17)$$

де $f'(\overline{U})$ – похідна функції нелінійності АЦП в точці \overline{U} .

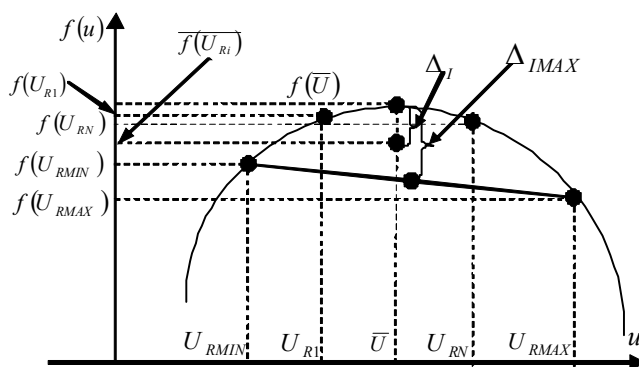


Рис. 2. Виникнення інструментальної похибки при визначенні інтегральної нелінійності АЦП

Крім того, з рис. 2 видно, що

$$|\bar{U} - U_{RMIN}| \leq |U_{RMAX} - \bar{U}| \leq \frac{|\Delta_{MAX}|}{R} \cdot \frac{U_{REF}}{N}, \quad (18)$$

де Δ_{MAX} – допустиме відхилення опору резисторів від номінального.

Враховуючи (16), (17) та (18), а також те, що за основу взята точка U_{RMIN} , вираз (15) можна записати

$$|\Delta_I(\bar{U})| \leq \frac{\Delta_{MAX}}{R} \cdot \frac{U_{REF}}{N} \cdot |f'(U_{RMIN}) - f'(\bar{U})|. \quad (19)$$

Слід відзначити, що вираз $\frac{\Delta_{MAX}}{R} \cdot \frac{U_{REF}}{N}$, який входить в (19), представляє собою максимальне абсолютне відхилення спаду напруги на окремих резисторах подільника. Це відхилення визначається максимальним відносним відхиленням опору резисторів подільника від їх середнього значення.

Якщо резистори подільника R_1, \dots, R_N мають однакові номінальні значення опору з допустимим відхиленням δ_R , то $\frac{\Delta_{MAX}}{R} \leq \delta_R$. Таким чином, (19) можна записати як

$$|\Delta_I(\bar{U})| \leq \delta_R \cdot \frac{U_{REF}}{N} \cdot |f'(U_{RMIN}) - f'(\bar{U})|. \quad (20)$$

Оцінка інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП

Вираз (20) може служити основою для оцінки інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП. Однак вираз (20) містить різницю похідних функції нелінійності. Сама функція нелінійності АЦП, зазвичай, нормується тільки максимально допустимим значенням, що не дозволяє зробити висновок про характер як самої функції нелінійності, так про характер похідної. Тому оцінка інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП з допомогою багаторезистивного подільника вимагає дослідження характеру функції нелінійності, притаманної конкретному виду АЦП. Оцінку меж інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП можна зробити виходячи з наступних припущень:

1. Досліджуваний АЦП за параметрами аналогічний АЦП типу AD7714 [16], який має:
 - діапазон перетворення 2,5 В;
 - розрядність – 24 двійкові розряди;
 - максимальне допустиме значення нелінійності 0,0015 %, що відповідає нелінійності 250 квантів.
2. Функція нелінійності АЦП носить квадратичний характер [17].
3. Оцінку інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП ведемо для точок повірки 1,25 В і 0,625 В, що відповідає половині та четверті діапазону перетворення АЦП.
4. Максимальне відносне відхиленням опору резисторів подільника від номінального значення не більше 1 %.

Функцію нелінійності такого АЦП $f(u)$ від вхідної напруги u можна описати залежністю $f(u) = 400u - 160u^2$, а її похідну – залежністю $f'(u) = 400 - 320u$. Підставивши відповідні значення u (20) отримаємо оцінку значення інструментальної похибки в квантах: $|\Delta_I(50\%)| \leq 0,05$, і $|\Delta_I(25\%)| \leq 0,0125$, тобто. Таким чином, запропонований підхід до визначення інтегральної нелінійності АЦП забезпечує інструментальну похибку, що задовольняє вимоги АЦП найвищої точності.

Використання результатів визначення інтегральної нелінійності АЦП для її корекції та повірки АЦП

Результати визначення інтегральної нелінійності АЦП можуть бути базою як для корекції його похибок, так і методів самоповірки. Слід відзначити, що невиключена похибка визначення нелінійності АЦП відповідає похибці самоповірки та пов'язана з її метрологічною надійністю – якщо на деякому відрізку діапазону похибка визначення нелінійності АЦП зростає, то можна припустити, що зростає і невизначеність результату самоповірки на цьому відрізку. Тому розміщення точок повірки АЦП має значення. Похибку від невиключеної нелінійності $g(x)$ можна визначити як

$$g(x) = f(x) - h(x), \quad (21)$$

де $f(x)$ – дійсна нелінійність функції перетворення АЦП; $h(x)$ – функція нелінійності АЦП, апроксимована за значеннями $f(x)$, отриманими в деякій множині з n точок визначення нелінійності X_i^{TBH} , $i = \overline{1, n}$, кожна з яких отримана при повірці з використанням багаторезистивного подільника.

Згідно (4) $f(X_i^{TBH}) \rightarrow h(X_i^{TBH})$, $i = \overline{1, n}$, отже $g(X_i^{TBH}) \rightarrow 0$, $i = \overline{1, n}$. Тоді, для відрізка між точками визначення нелінійності $[X_i^{TBH}, X_{i+1}^{TBH}]$, $i = \overline{1, n-1}$ можна оцінити як

$$\begin{cases} |g(x)| \geq g(X_i^{TBH}) \\ |g(x)| \geq g(X_{i+1}^{TBH}) \end{cases} x \in (X_i^{TBH}, X_{i+1}^{TBH}), i = \overline{1, n-1}, \quad (22)$$

тобто, функція $g(x)$ має локальний екстремум $g_{MAX}(x)$ на кожному з відрізків між точками визначення нелінійності АЦП. Його максимальне значення можна оцінити

$$g_{MAX}(x) \leq g'_{MAX}(x) \cdot (X_{i+1}^{TBH} - X_i^{TBH}), i = \overline{1, n-1}, \quad (22)$$

де $g'_{MAX}(x)$ – максимальне значення похідної від функції $g(x)$ у діапазоні $[X_i^{TBH}, X_{i+1}^{TBH}]$, $i = \overline{1, n-1}$.

Крім того, згідно з апроксимаційною теоремою Веерштраса, збільшення кількості точок визначення нелінійності веде до підвищення точності апроксимації на кожному відрізку, що веде також до зменшення $g'_{MAX}(x)$, яка в граничному випадку рівна нулю. Тому збільшення кількості точок визначення нелінійності веде не тільки до зменшення довжин відрізків апроксимації, а і до зменшення $g'_{MAX}(x)$ для кожного відрізка, тобто, згідно (22), до зменшення невиключеної нелінійності $g(x)$.

Методологія побудови багаторезисторних подільників напруги для повірки АЦП

Як видно із викладеного, багаторезисторний подільник напруги забезпечує визначення інтегральної нелінійності АЦП з високою точністю без використання прецизійних елементів. На його основі запропоновано “базовий” метод визначення інтегральної нелінійності АЦП. Його суть полягає у збільшенні кількості точок визначення нелінійності шляхом перетворення m спадів напруги на k послідовно з'єднаних резисторах багаторезисторного подільника напруги, що складається з $N = m \times k$ резисторів. N вибирають так, щоби мати деяку множину натуральних чисел $\{m_1, \dots, m_t\}$ – дільників N , тоді існує множина натуральних чисел $\{k_1, \dots, k_t\}$, що задовольняють умову $N = m_i \times k_i$; $i = \overline{1, t}$. Це дозволяє одним подільником отримати t точок визначення інтегральної нелінійності АЦП

$$\bar{U}_i = \frac{U_{REF}}{N} m_i; i = \overline{1, t}. \quad (23)$$

Отже, вибираючи відповідну кількість резисторів подільника можна збільшити кількість точок визначення інтегральної нелінійності АЦП. Недоліком “базового” методу є те, що всі значення точок визначення інтегральної нелінійності АЦП будуть розміщені нерівномірно – в нижній половині діапазону перетворення АЦП. Таким чином “базовий” метод не забезпечує виконання викладених вище вимог нормативних документів [4..8] до повірки АЦП, а саме щодо розміщення точок повірки по діапазону перетворення АЦП. Для усунення цього недоліку пропонується наступна методологія:

1. виділення ділянок діапазону перетворення АЦП з малою похибкою самоповірки та їх використання для прецизійного вимірювання напруги на деяких резисторах та їх комбінаціях з наступним розрахунком значень напруги на інших комбінаціях, що попадають в ділянки діапазону з великою похибкою;

2. використання “базового” методу на двох діапазонах АЦП, вибраних так, щоби деякі точки верхнього діапазону були розміщені у верхній половині нижнього;

3. багатократне використання “базового” методу на різних діапазонах таким чином, щоби на потрібному забезпечити розподіл точок визначення нелінійності згідно діючих вимог, до повірки АЦП;

4. напруга джерела калібрування може істотно відрізнятись від діапазону АЦП, а для його калібрування використовується одна з точок визначення нелінійності “базовим” методом;

5. порядок ввімкнення резисторів подільника можна змінювати в процесі повірки.

Використання запропонованих підходів та їх комбінацій дозволило синтезувати шість нових методів формування точок визначення інтегральної нелінійності АЦП [19..23], що, разом з процедурами встановлення нуля та калібрування, забезпечують повірку АЦП з неперервною функцією систематичної складової похибки перетворення згідно діючих стандартів.

Висновки

Похибка вихідного сигналу вимірювального перетворювача на базі багаторезисторного подільника напруги при усередненні спадів напруги на всіх його резисторах рівна нулю і не залежить від значень опорів самих резисторів, тобто такий подільник є ідеальним вимірювальним перетворювачем, а його схема не вимагає прецизійних компонентів. Ця властивість робить такий вимірювальний перетворювач перспективним для побудови підсистеми повірки прецизійних АЦП, оскільки з його допомогою можна формувати довільну кількість точок повірки з використанням однозначної міри напруги, а похибка цих точок рівна похибці міри напруги. Це забезпечує визначення інтегральної нелінійності АЦП в точках

повірки, що разом з результатами встановлення нуля та калібрування, повністю характеризує похибку перетворення АЦП під час повірки.

Запропонована методологія побудови багаторезисторних подільників напруги для повірки АЦП дає можливість на основі “базового” методу визначення нелінійності АЦП забезпечити більш рівномірне розміщення точок визначення нелінійності АЦП (точок повірки) відповідно до вимог діючих нормативних документів, що дозволяє зменшити похибку самоповірки.

Реалізація запропонованих методів самоповірки АЦП дозволить забезпечити єдність вимірювання та підвищити метрологічну надійність результатів аналого-цифрового перетворення у інформаційно-вимірювальних системах.

Література

1. Бабак В.П. Обработка сигналов: Підручник / В.П. Бабак, В.С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К.: Либідь, 1996. – 392с.
2. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/113/98-вр>.
3. ДСТУ 2709: 2006 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.
4. ДСТУ 3744-98 – Перетворювачі вимірювальні напруги та струму цифрові. Загальні технічні умови.
5. ГОСТ 14014-91 Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний.
6. ГОСТ 30605-98 Преобразователи измерительные напряжения и тока цифровые. Общие технические условия.
7. МИ 118-78. Методика поверки цифровых вольтметров и аналого-цифровых преобразователей.
8. МИ 1202-86. ГСИ. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие требования к методике поверки.
9. Fluke Corporation 5720A (Multifunction Calibrator). [Електронний ресурс] – Режим доступу [http://www.telogyk.com/display_model.aspx?bm-FLU\(5720A\)](http://www.telogyk.com/display_model.aspx?bm-FLU(5720A)).
10. Яцук В. Інформаційно-енергетичний підхід до оцінювання коефіцієнта якості засобів вимірювальної техніки / В. Яцук // Вимірювальна техніка та метрологія. Випуск 68, 2008. с. 224-228.
11. Кондрашов С.І. Підвищення точності вимірювальних перетворювачів з формуванням у реальних умовах тестових впливів: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.11.05 /НТУ“ХПІ”. – Харків, 2004. – 38 с.
12. Балеv В.М. Методи та засоби контролю похибок вимірювальних каналів автоматизованих систем контролю та керування: Автореф. дис. к-та техн. наук: 05.11.05 /НТУ“ХПІ”. – Харків, 1999. – 23 с.
13. Соболев В.С. Метрологическое сопровождение результатов измерений в интеллектуальных измерительных системах: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.11.16 /СПГЭТУ (ЛЭТИ). – С. – П., 1999. – 36 с.
14. М. Микитин Метрологічна перевірка інтелектуального термометра / Микитин М., Стадник Б. Тези доповідей ІХ міжнародної науково-технічної конференції “Методи і засоби вимірювань фізичних величин” – “Температура– 2012”, Львів, 25– 28 вересня, 2012, ст. 121– 122.
15. Микийчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ, 2009, № 23. [Електронний ресурс] – Режим доступу http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/metody/2009_23/09mmmpz.pdf.
16. AD7714: CMOS, 3V/5V, 500 μ A, 24-BIT Sigma-Delta, Signal Conditioning ADC. [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7714/products/product.html>.
17. Махнанов В.Д. Устройства частотного и время-импульсного преобразования / В.Д. Махнанов, Н.Т. Милохин. – М: Энергия, 1970. – 128 с.
18. Р.В. Кочан Метод метрологічної перевірки (повірки) аналого-цифрових перетворювачів однозначною мірою / Кочан Р.В // Український метрологічний журнал. – Харків, 2011, № 1, ст. 51 – 56.
19. Кочан Р.В. Метод метрологічної перевірки (повірки) аналого-цифрових перетворювачів однозначною мірою / Р.В. Кочан // Збірник праць VII міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія 2010)”, Харків, 12-14 жовтня 2010, т. 2, ст. 303-306.
20. Р.В. Кочан Визначення інтегральної нелінійності аналого-цифрових перетворювачів / Кочан Р.В // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2007, № 2 Т.2, с. 159-162.
21. Кочан Р.В. Спосіб визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів / Р.В. Кочан, О.В. Кочан // Вимірювальна техніка та метрологія. – Львів, № 68, 2008, с. 55-59.
22. Кочан Р.В. Лінеаризація характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів з високою роздільною здатністю / Р.В. Кочан // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Вінниця. 2009. № 2, сс. 7-12.
23. Кочан Р.В., Кочан О.В. Пристрій визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів. Пат. 200703921 Україна, МПК 7H01H51/00. Заявл. 10.04.2007, опубл. 27.02.2012 бюл. № 4.

Надійшла 15.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Дунець Р.Б.