

**ПРИСТРІЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ
ШУМОПОДІБНИХ СИГНАЛІВ**

У роботі запропоновано пристрій аналого-цифрового перетворення шумоподібних сигналів. Пристрій побудовано на базі методу статистичного коригування похибок лінійності і характеризується високою роздільною здатністю.

Ключові слова: аналого-цифровий перетворювач, шумоподібні сигнали, похибки лінійності, роздільна здатність.

GENNADIY BORTNIK, MIKOLA VASYLKIIVSKIY

Vinnitsa National Technical University, Ukraine

THE DEVICE OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERSION OF NOISE SIGNALS

The paper presents a device analog-digital conversion noise signals. The device is based on a statistical method of adjusting linearity errors and is characterized by high-resolution.

Key words: analog-to-digital converter, noise signals, linearity errors, resolution.

Вступ

Проблема розробки теорії та проектування аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) з високими точнісними характеристиками є однією з найактуальніших, від вирішення якої безпосередньо залежать експлуатаційно-технічні показники різновидів комп'ютерних систем: інформаційно-вимірювальних і контрольно-діагностичних. Тобто, ефективність практичного використання сучасних комп'ютерних систем у різних галузях визначається рівнем і перспективами розвитку таких АЦП, які є перетворювачами форми інформації та здійснюють з високою точністю перетворення неперервної форми представлення інформації у дискретну форму.

Широке використання АЦП у комп'ютерних системах стримується низькою роздільною здатністю при перетворенні шумоподібних сигналів у широкій смузі частот [1]. Ці проблеми пов'язані як з відсутністю необхідної елементної бази, так і зі складністю процесів аналого-цифрового перетворення випадкових у часі та за реалізаціями сигналів, математичний опис яких у часовому і частотному вимірі є досить складним. Наслідком цього є високі похибки лінійності АЦП, що знижують ефективність функціонування пристроїв аналого-цифрового перетворення шумоподібних сигналів у складі комп'ютерних систем [2]. Отже, існує необхідність у підвищенні роздільної здатності пристроїв аналого-цифрового перетворення широкого класу вхідних сигналів.

Метою роботи є підвищення роздільної здатності пристроїв аналого-цифрового перетворення шляхом коригування похибок лінійності, що виникають при перетворенні шумоподібних сигналів. Для досягнення заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати розробку статистичного методу коригування похибок лінійності АЦП;
- проаналізувати ефективність АЦП з коригуванням похибок лінійності;
- розробити структуру пристрою аналого-цифрового перетворення шумоподібних сигналів.

Статистичний метод коригування похибок лінійності АЦП

Розв'язання задачі підвищення роздільної здатності пристроїв аналого-цифрового перетворення можна здійснювати за рахунок підвищення лінійності АЦП при перетворенні шумоподібних сигналів. Тому доцільно на базі результатів проведеного аналізу нелінійності АЦП, розробити метод покращення лінійності АЦП шляхом її коригування у динамічному режимі. Здійснити таке коригування можна шляхом використання статистичної методології оцінювання характеристик шумоподібних сигналів.

Головний принцип автоматичного коригування похибок АЦП у динамічному режимі з тестовим контролем полягає в ідентифікації параметрів характеристики перетворення (ХП) АЦП, що відображає із заданою точністю поведінку функцій похибки перетворення для широкого класу вхідних сигналів. Для запропонованого методу коригування передбачаються наступні етапи:

- а) визначення ХП АЦП у динамічному режимі для заданого тестового сигналу;
- б) ідентифікація параметрів АЦП;
- в) обчислення коригувальних поправок для заданих перетворюваних сигналів АЦП;
- г) формування коригувальних сигналів АЦП.

Перші два етапи процесу коригування є етапами контролю параметрів АЦП. Третій і четвертий етап відносяться до робочого режиму перетворення сигналів. Для реалізації цих етапів в пристрій аналого-цифрового перетворення вводять додаткові блоки.

Узагальнена структура процесу коригування вихідного коду АЦП містить послідовно ввімкнені АЦП і таблицю скоригованих значень (ТСЗ). Для даного методу вихідний код АЦП, що підлягає

коригуванню є адресою скоригованого значення АЦП. Тобто, виконується заміщення коду $y(i)$ скоригованим кодом $y_c(i)$: $y(i) \rightarrow y_c(i)$. Якщо АЦП характеризується похибкою $\Delta y(i)$, то в ТСЗ записується значення $y_c(i)$. Таким чином, коригування відбувається шляхом зіставлення вихідної вибірки АЦП $y(i)$ з відповідною адресою таблиці $A(i)$. Даний принцип коригування має лише одну послідовну ввімкнену ланку оброблення вихідного сигналу АЦП, що дає можливість покращувати технічні характеристики швидкодієвих АЦП. Тому коригування із заміщенням при реалізації ТСЗ на базі ПЗП створює умови для збереження високої швидкодії АЦП.

Визначення похибок лінійності АЦП при перетворенні шумоподібних сигналів можна здійснювати шляхом оцінювання спотворень функції розподілу тестового сигналу (ТС). Для статистичного методу необхідно обчислити густину ймовірності миттєвих значень ТС $\omega(U)$. На базі відомої густини ймовірності миттєвих значень ТС $U(t)$ можна знайти ймовірність появи i -того коду:

$$p(i) = \int_{U_i}^{U_{i+1}} \omega(U) dU. \quad (1)$$

Ймовірність $p(i)$ може слугувати мірилом диференціальної нелінійності АЦП, оскільки $\omega(U)$ в інтервалі $[U_i, U_{i+1}]$ практично не змінюється. Вираз (1) можна представити у вигляді

$$p(i) = \omega(U_i + \varepsilon)(U_{i+1} - U_i); \quad U_i \leq \varepsilon < U_{i+1}. \quad (2)$$

З урахуванням (2) диференціальна нелінійність для кроку квантування h дорівнює

$$\Delta_{dn}(i) = h - (U_{i+1} - U_i) = h - \frac{p(i)}{\omega(U_i + \varepsilon)}. \quad (3)$$

Ймовірність появи вихідного коду $i < j$

$$p(i < j) = \sum_{i=0}^{j-1} p(i) = \sum_{i=0}^{j-1} \int_{U_i}^{U_{i+1}} \omega(U) dU = \int_0^{U_j} \omega(U) dU \quad (4)$$

може слугувати мірилом похибки лінійності АЦП. Звідси

$$\Delta_n(j) = \frac{1}{\omega(U_j + \varepsilon)} [p_0(i < j) - p_0(i < j)]. \quad (5)$$

За відомою густиною ймовірності миттєвих значень ТС розраховується дискретний розподіл ймовірностей $p(i)$ для номінальної ХП АЦП. Потім визначають обсяг вибірки M та виконують експериментальне дослідження АЦП. Накопичений масив вихідних даних АЦП у вигляді M_j ; $\{i = 0, N - 1\}$ використовується при обчисленнях таким чином. Спочатку визначається оцінка $\tilde{p}(i)$, а потім знаходиться оцінка динамічної похибки лінійності за формулою

$$\tilde{\Delta}_n[j] = \frac{h}{p(j)} \sum_{i=0}^{j-1} [p(i) - \tilde{p}(i)]. \quad (6)$$

Для випадкового ТС, що має рівномірну густину розподілу доля відліків M_j у загальному обсязі відліків M є мірилом диференціальної нелінійності Δ_{dn} . Після накопичення M_j і M оцінка

диференціальної нелінійності знаходиться за формулою: $\tilde{\Delta}_{dn}(j) = h - U_m \frac{M_j}{M}$.

Для підвищення адекватності коригування лінійності АЦП при перетворенні шумоподібних сигналів необхідно як тестовий використовувати багатотональний сигнал, що має збагачений основними складовими спектр і тому функція розподілу такого процесу може відрізнитися від гауссового закону. Багатотональний сигнал можна представити як суму деякого числа m взаємно незалежних складових U_1, U_2, \dots, U_l . Для випадку багатотонального сигналу, коли всі складові мають однакові розподіли та відповідно однакові характеристичні функції, маємо

$$\theta_l(V) = [\theta_1(V)]^l. \quad (7)$$

Для багатотонального сигналу, що містить l гармонічних коливань з однаковими амплітудами та випадковими взаємозалежними фазами, характеристична функція відповідно до (7) знаходиться як

$$\theta_l(V) = \left[J_0 \left(\frac{V}{\sqrt{l}} \right) \right]^l, \quad (8)$$

де $J_0(V)$ – функція Бесселя першого роду нульового порядку.

Для знаходження густини ймовірності багатотонального сигналу необхідно відповідно до виразу (8) обчислити інтеграл

$$\omega_l(U) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \left[J_0 \left(\frac{V}{\sqrt{l}} \right) \right]^l \cdot \cos(VU) \cdot dV. \quad (9)$$

Цей сигнал є найбільш оптимальним типом тестового сигналу АЦП, який, з одного боку, дає змогу забезпечити режими функціонування АЦП, що адекватні реальним, а з іншого – просто реалізується при використанні широкої номенклатури стандартних генераторів сигналів з нормованими метрологічними характеристиками.

Аналіз ефективності пристроїв аналого-цифрового перетворення з коригуванням похибок

Ефективне число розрядів є узагальненим динамічним параметром АЦП. Це число завжди менше номінального числа розрядів АЦП і є параметром, що визначає якість функціонування перетворювача аналог-код в заданому динамічному режимі. Ефективне число розрядів безпосередньо пов'язане з відношенням сигнал/шум і дорівнює

$$n_{ef} = \frac{S/N}{6,02} + n \cdot \log_2 \frac{h}{\sqrt{6,02} \cdot U_m}. \quad (10)$$

Різниця між ефективним числом розрядів ідеального АЦП та ефективним числом розрядів оптимально скоригованого АЦП дорівнює

$$\Delta n_{ef} = n_{efid} - n_{efc} = 0,5 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{3\sigma_B^2}{h^2} \right). \quad (11)$$

Отримані параметри наочніше характеризують динамічні властивості та точність АЦП при перетворенні шумоподібних сигналів. На рис. 1 наведено криві залежності $\Delta S/N$ і Δn_{ef} від співвідношення $\frac{\sigma_B^2}{h^2}$, що характеризує динамічну похибку АЦП.

Аналіз графіку дозволяє зробити висновок, що отримання максимальної ефективності коригування АЦП при перетворенні шумоподібних сигналів на базі статистичного методу можливе у діапазоні великих значень дисперсії диференціальної нелінійності базового АЦП (1...10 ОМР).

Структура пристрою аналого-цифрового перетворення шумоподібних сигналів

Структурна схема пристрою аналого-цифрового перетворення на базі методу статистичного коригування похибок лінійності наведена на рис. 2.

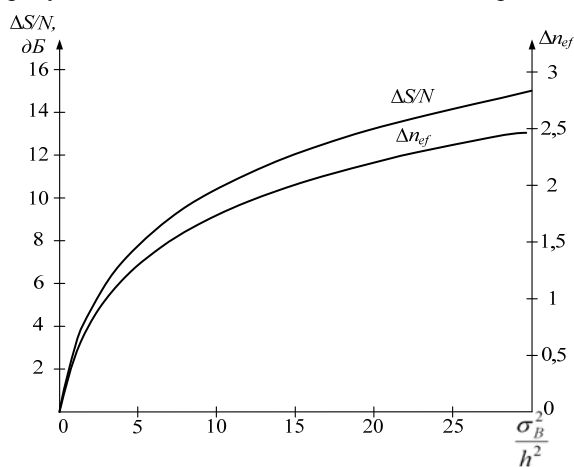


Рис. 1. Залежність втрати відношення сигнал/шум і ефективної розрядності від динамічної похибки АЦП

Дана структура містить: вхідну шину U_{in} , вихідну цифрову шину $y_c(i)$, вихідну аналогову шину U_{out} , шину інтерфейсу Centronics, підсилювач напруги (ПН), аналоговий комутатор (АК), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), базовий АЦП, ПЗП скоригованих значень (ПЗП СЗ), ПЗП значень тестового сигналу (ПЗП ЗТС), ГТІ, БК, ЕЗ, двійковий лічильник адреси (ДЛА), подільник частоти (ПЧ), контролер введення-виведення даних (КВВД).

Пристрій аналого-цифрового перетворення функціонує у двох режимах. У режимі калібрування формується псевдовипадковий ТС за допомогою внутрішнього цифро-аналогового генератора. Генерація сигналу з точно заданою частотою базується на формуванні адреси відліків сигналу. Блок ПЗП зберігає шаблони цифрових сигналів заданої форми. ЦАП відповідної розрядності та швидкодії перетворює цифровий сигнал в аналоговий, який підсилюється буферним підсилювачем ПН.

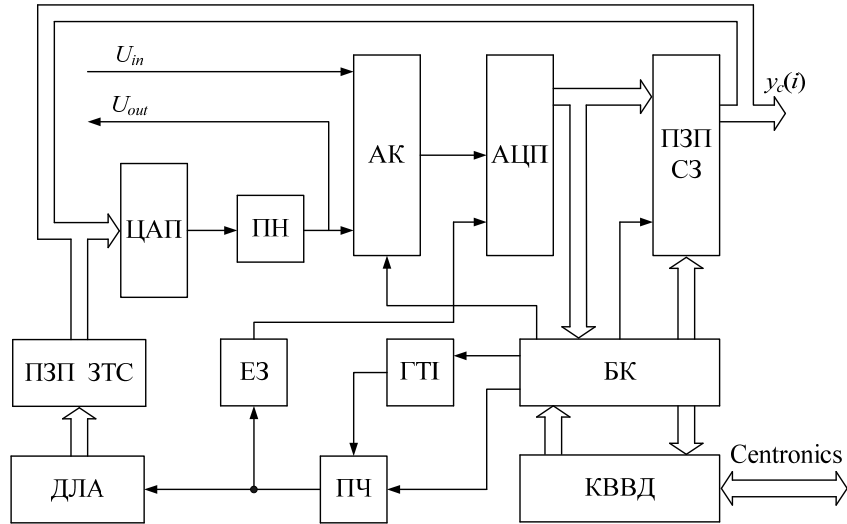


Рис. 2. Структура пристрою аналого-цифрового перетворення зі статистичним коригуванням

У робочому режимі коригування результатів аналого-цифрового перетворення відбувається шляхом заміщення вихідних кодів АЦП, які є адресами комірок скоригованих значень. Тобто, в ПЗП СЗ зберігається результат $y_c(i) = y(i) + \Delta y(i)$. Залежно від режиму роботи через АК за сигналом керування з БК подається чи ТС з вхідної шини чи вхідний сигнал U_{in} з виходу ПН.

Висновки

Запропоновано новий метод коригування похибок лінійності АЦП при перетворенні шумоподібних сигналів, який на відміну від існуючих базується на оцінюванні спотворень функції розподілу вхідного тестового сигналу при калібруванні, що дає можливість повніше оцінити динамічні властивості контрольованого АЦП, а це створює умови для підвищення роздільної здатності АЦП у режимі коригування. Розроблено структуру пристрою аналого-цифрового перетворення зі статистичним коригуванням похибок лінійності, в якій застосовуються табличне формування скоригованих значень.

Література

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование: пер. с англ. / Уолт Кестер. – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с. – ISBN 978-5-94836-146-8.
2. Динамические параметры аналого-цифровых преобразователей и методы их измерений / Руднев П.И., Хаджи Б.А., Чернышев В.Ю., Шилов С.Н. // Радиотехника и электроника. – 1993. – №10. – С. 1868–1876. – ISSN 0033-8494.
3. Бортник Г.Г. Методи та засоби обробки височастотних сигналів: монографія / Бортник Г.Г., Кичак В.М. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998. – 132 с. – ISBN 966-7199-23-1.

Надійшла до редакції
11.5.2013 р.