

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

© Паньків Р.С., 2004

**Розглянуто особливості проектування аналого-цифрового перетворювача, в якому використовується диференціальний метод вимірювань. Наведено алгоритм автокорекції похибок, що викликані нестабільністю зміщенням нуля, і коефіцієнта пропорційності аналого-цифрового перетворення.**

**Are considered a features of design of analog-digital converter, in which is realized a differential method of measurement. Are given an algorithm of self-correction of errors, which are caused by zero offset, and change of constant of proportionality of analog-digit conversion.**

**Вступ.** Завдяки досягненням технології виготовлення інтегральних мікросхем сфера застосування мікропроцесорних пристроїв та цифрових технологій значно розширилась. Ефективне використання інформаційно-вимірювальної техніки вимагає постійного вдосконалення засобів аналого-цифрового перетворення. Одним з аспектів вказаної проблеми є необхідність розширення діапазону вхідних сигналів при збереженні високої точності трансформації аналогових сигналів у цифровий код. Наприклад, для електронних лічильників електроенергії додатково нормується точність визначення потужності при малих значеннях вхідного струму [1]. Підвищення точності пов'язане з вирішенням низки проблем, найвагомішими з яких є підвищення лінійності, зменшення динамічних похибок, збільшення роздільної здатності і стабільності при різних впливах (наприклад, при зміні температури зовнішнього середовища). Додатково бажано забезпечити невисоку собі вартість виготовлення обчислювального пристрою.

**Огляд відомих методів зменшення похибки аналого-цифрового перетворення.** Збільшити роздільну здатність аналого-цифрового перетворювача (АЦП) можна, використовуючи різні принципи корекції чутливості, наприклад, визначенням різниці за входом [2]. Згідно з цим методом вхідний сигнал спочатку оцінюється грубо, а потім у наступному такті виконується точне визначення різниці між попередньою оцінкою і вхідним сигналом. Основні недоліки цього двотактового алгоритму – значний час аналого-цифрового перетворення і, зумовлені цим, динамічні похибки. Використання аналогових запам'ятовувальних пристроїв (АЗП) для зменшення динамічних похибок, викликаних зміною вхідного сигналу за час аналого-цифрового перетворення, неефективне, оскільки АЗП вносить додаткові динамічні і статичні похибки [3].

Застосування АЦП із змінною роздільною здатністю (з програмованим діапазоном вхідного сигналу) також не завжди можливе, оскільки абсолютна похибка отриманих цифрових кодів миттєвих значень сигналу, що контролюється, залежить від вхідного динамічного діапазону пристрою, а також внаслідок невисокої їх швидкодії [4].

**Особливості проектування диференціального АЦП.** У теорії вимірювань відомі різноманітні методи вимірювань порівнянням з мірою [5]. Диференціальний метод вимірювань (вимірювання із змінною мірою) полягає в тому, що на вимірювальний прилад діє  $\Delta U$  – різниця вимірювальної  $U_B$  та зразкової величини  $U_3$ :

$$\Delta U = U_B - U_3 \ll U_B. \quad (1)$$

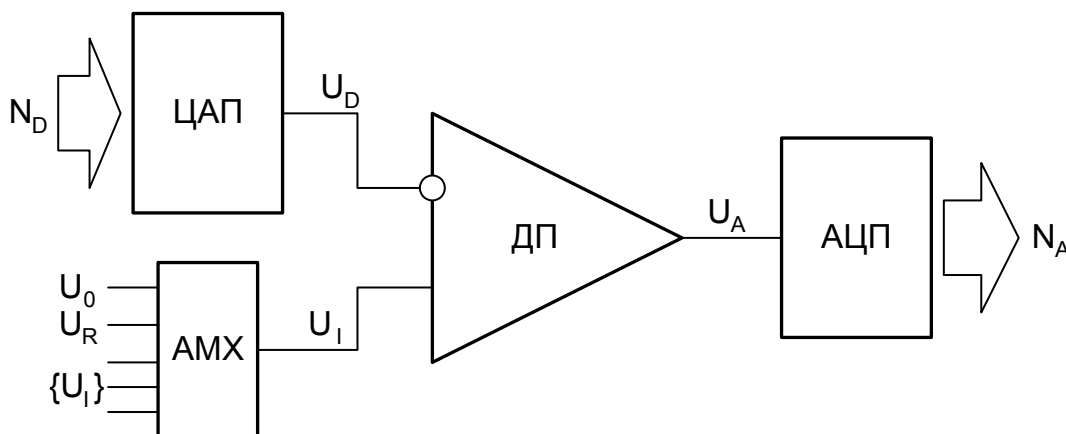
Результат вимірювань (цифровий код  $N$ ) визначається як

$$N = k(U_3 + \Delta U), \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності аналого-цифрового перетворення.

Широке використання цього методу вимірювань обмежувалось додатковими обчислювальними витратами, що потрібні для визначення величини змінної міри.

За рахунок використання мікропроцесорних засобів сучасні інформаційно-вимірювальні пристрої характеризуються значним зростанням рівня вбудованого інтелекту. При цьому програмована потужність використовується не тільки для виконання допоміжних технологічних операцій та обробки отриманих числових кодів, а вноситься безпосередньо у вимірювальне коло для формування результату вимірювання [6]. Така трансформація структури вимірювальних засобів дає змогу значно підвищити експлуатаційні характеристики інформаційно-вимірювальної техніки та ефективно використати потенційні можливості відомих методів вимірювань. Відповідна структурна схема АЦП, що використовує диференціальний метод вимірювань, наведена на рисунку.



Структурна схема диференціального АЦП

Диференціальний АЦП містить аналоговий мультиплексор АМХ та аналого-цифровий перетворювач АЦП в інтегральному виконанні, а також додатково має цифро-аналоговий перетворювач ЦАП і диференційний підсилювач ДП. Біжучий сигнал з множини вхідних сигналів  $\{U_I\}$  через мультиплексор АМХ надходить на неінвертуючий вхід підсилювача ДП, на інвертуючий вхід якого подається напруга зміщення  $U_D$ , яка формується на виході ЦАП згідно з кодом  $N_D$ . На виході диференційного підсилювача ДП встановиться напруга  $U_A$ , що визначається різницею його вхідних напруг  $U_I$  та  $U_D$  і яка надходить на вхід АЦП:

$$U_A = U_I - U_D. \quad (3)$$

Для загального керування роботою диференціального АЦП, зокрема для визначення кодів  $N_D$  змінної напруги  $U_D$ , доцільно використати мікроконтролер. Провідні виробники мікроелектронних пристроїв, зокрема фірми Intel, Atmel, Analog Devices, Philips та інші, пропонують широкий набір недорогих швидкодіючих 8-розрядних пристроїв, які мають достатню обчислювальну потужність та розвинуті засоби обміну даними [7].

**Виконання автокорекції систематичних похибок.** З метою збільшення стабільності функціонування АЦП при різних дестабілізуючих факторах, крім покращання характеристик комплектуючих елементів ефективним засобом, є автоматична корекція адитивної і мультиплікативної похибок перетворення. Для цього перед початком аналого-цифрового перетворення миттєвих значень вхідних сигналів потрібно додатково визначати поточні значення зміщення нуля та коефіцієнта пропорційності перетворення, з врахуванням яких на основі кодів, що надалі отримані на виході АЦП, обчислюються точні значення кожного вхідного сигналу.

Розглянемо детальніше алгоритм автокорекції адитивної та мультиплікативної систематичних похибок диференціального АЦП. Відповідність між вхідною напругою  $U_A$  і вихідним кодом  $N_A$  аналого-цифрового перетворювача АЦП становить:

$$N_A = k_A \cdot U_A + \Delta N, \quad (4)$$

де  $k_A$  – коефіцієнт пропорційності аналого-цифрового перетворення, який також містить коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача ДП;  $\Delta N$  – код, що відповідає напрузі зміщення нуля АЦП та ДП.

Аналогічна відповідність між вхідним кодом  $N_D$  і вихідною напругою  $U_D$  цифро-аналогового перетворювача ЦАП має вигляд:

$$U_D = \frac{N_D}{k_D} + \Delta U, \quad (5)$$

де  $k_D$  – коефіцієнт пропорційності цифро-аналогового перетворення;  $\Delta U$  – напруга зміщення нуля ЦАП.

Із співвідношення (3) і з врахуванням (4) та (5) для результату аналого-цифрового перетворення отримаємо:

$$U_I = U_D + U_A = \frac{N_D}{k_D} + \frac{N_A}{k_A} + \Delta U - \frac{\Delta N}{k_A}. \quad (6)$$

Для визначення невідомих значень коефіцієнтів  $k_A$ ,  $k_D$ ,  $\Delta N$  та  $\Delta U$  необхідно виконати тестуючі перетворення відомих стабільних напруг  $U_0$  (напруга нуля) та  $U_R$  (опорна напруга). З виразу (4), з врахуванням (3), можна записати:

$$N_A = k_A \cdot U_I - \frac{k_A}{k_D} N_D + \Delta N - k_A \cdot \Delta U. \quad (7)$$

Зміщення нуля аналого-цифрового перетворення визначається, якщо на вхід даних ЦАП подати код нуля ( $N_D = 0$ ), а на неінвертуючий вхід підсилювача ДП – нульову напругу ( $U_I = U_0$ ). На основі останнього виразу (7) отримаємо:

$$N_1 = \Delta N - k_A \cdot \Delta U. \quad (8)$$

У наступному перетворенні на неінвертуючий вхід диференційного підсилювача ДП подається опорна напруга ( $U_I = U_R$ ), а на вході ЦАП зберігається нульовий код. Аналогічно, на основі співвідношення (7) запишемо:

$$N_2 = k_A \cdot U_R + \Delta N - k_A \cdot \Delta U. \quad (9)$$

З останнього виразу можна визначити коефіцієнт пропорційності АЦП  $k_A$ :

$$k_A = \frac{N_2 - N_1}{U_R}. \quad (10)$$

Для визначення коефіцієнта передачі ЦАП  $k_D$  на неінвертуючий вхід диференційного підсилювача ДП подається нульова напруга  $U_I = U_0$ , а на вході ЦАП – тестуючий код  $N_R$ . При виборі кода  $N_R$  необхідно враховувати, що напруга, яка формується на виході ЦАП і, відповідно, на виході ДП повинна бути менша, ніж максимальна вхідна напруга АЦП. В такому випадку вихідний код  $N_3$  АЦП буде дорівнювати:

$$N_3 = -\frac{k_A}{k_D} N_R + \Delta N - k_A \cdot \Delta U. \quad (11)$$

З останнього виразу можна визначити коефіцієнт пропорційності ЦАП  $k_D$ :

$$k_D = k_A \frac{N_R}{N_1 - N_3}. \quad (12)$$

На основі співвідношення (6) і з врахуванням (8), (10) та (12) для поточного результату аналого-цифрового перетворення отримаємо вираз:

$$U_I = \frac{U_R}{N_2 - N_1} \left( N_D \frac{N_1 - N_3}{N_R} + N_A - N_1 \right). \quad (13)$$

Значення кодів  $N_1$ ,  $N_2$  та  $N_3$  визначаються перед початком аналого-цифрового перетворення поточного сигналу з множини вхідних сигналів  $\{U_i\}$  і для зменшення впливу випадкових похибок можуть усереднюватись.

Враховуючи, що, в основному, АЦП використовуються для контролю періодичних сигналів, то попередню оцінку вхідного сигналу можна виконувати один раз на початку періоду його повторення, а необхідне зміщення для перетворення наступної різниці визначати програмним шляхом на основі аналізу старших розрядів попередньої різниці. Якщо ж визначати початок періоду в момент часу, коли миттєве значення вхідного сигналу наперед відоме (наприклад, приблизно дорівнює нулю), то можна відмовитись від його попереднього оцінювання. У кожному випадку, аналого-цифрове перетворення миттєвих значень сигналів, що контролюються, можна виконувати за один такт (без врахування додаткових тестуючих перетворень).

**Висновки.** Розглянуті в статті особливості виконання диференціального аналого-цифрового перетворення дозволяють розробити високоточний і швидкодіючий АЦП на основі сучасних малорозрядних інтегральних мікросхем. Приведений алгоритм поточного визначення зміщення нуля і коефіцієнта передачі аналого-цифрового перетворення дозволяє автоматично корегувати адитивну та мультиплікативну систематичні похибки АЦП і підвищує стабільність функціонування інформаційно-вимірювального пристрою при дестабілізуючих впливах.

1. ГОСТ 26035-83 Счётчики электрической энергии переменного тока электронные.  
2. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – К., 1973. 3. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи / Под ред. Г.Д. Бахтиарова. – М., 1980. 4. Доронина О.М., Лавров Г.М., Паньків Р.С., Хомич С.В. Аналого-цифровий перетворювач з програмованим діапазоном вхідного сигналу // Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 1998. – № 350. – С. 115–117. 5. Обозовський С.С. Інформаційно-вимірювальна техніка // Методологічні питання теорії вимірювань. – К.: ІСДО, 1993. 6. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. 7. Бродин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. – М.: Издательство ЭКОМ, 2002.

УДК 681.322

Р.Б. Попович

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних обчислювальних машин

## ПРО ОТРИМАННЯ ВЕЛИКИХ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ

© Попович Р.Б., 2004

**Розглядається шлях генерації випадкових великих простих чисел.**

**A way of generation of random big prime numbers is considered.**

**Вступ.** Багато криптосистем використовують параметр, який є простим числом [1]. У цьому разі просте число тримається в таємниці від зловмисника. Щоб позбавити зловмисника шансів зламати криптосистему, це просте число треба вибирати випадково і воно має бути великим.

Вибір простих чисел гарантується в широкому асортименті оцінкою Чебишова та низкою пізніших результатів про розподіл простих чисел [2]. Метою цієї роботи є спрощення процедури отримання великих простих чисел, що призведе до зменшення часу, необхідного для виконання цієї процедури.

**Огляд методів генерування випадкових простих чисел.** Утворення випадкового простого числа заданого розміру (із заданою кількістю десяткових розрядів  $k$ ) рекомендують виконувати так