

Надійшла 14.5.2010 р.

УДК 618.3

С.М. ЗАХАРЧЕНКО, О.В. БОЙКО

Вінницький національний технічний університет

ЦИКЛІЧНИЙ АЦП ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ

Розглянуто функціонування циклічних АЦП на основі алгоритму Мак-Чарльза. Запропоновано модифікований алгоритм для можливості використання вагової надлишковості, а також новий метод калібрування циклічних АЦП.

Functioning of cyclic ADC based on McCharles algorithm is considered. The modified algorithm is offered, for possibility of the using of weight redundancy, and also new method of cyclic ADC calibration is offered.

Ключові слова: циклічний АЦП, алгоритмічний АЦП, вагова надлишковість, калібрування АЦП.

Вступ

Аналого-цифрові перетворювачі широко використовуються в різноманітних пристроях та системах, зокрема в системах збору та обробки інформації, системах зв'язку, різноманітних системах керування технологічним процесом. АЦП послідовного наближення (АЦП ПН) належать до такого класу перетворювачів, які з одного боку мають високу точність, а з іншого – досить високу швидкодію, що зосереджує інтерес фахівців до цих пристроїв.

Питання покращення метрологічних характеристик АЦП ПН, і особливо точності, не втрачають актуальності. Частково проблема підвищення точності може бути вирішена за рахунок покращення технології (використання лазерного припасування елементів). Однак цей підхід, крім суттєвого збільшення вартості виробництва, додатково призводить до погіршення температурних параметрів, зменшує надійність пристроїв. Інший шлях покращення точнісних характеристик АЦП ПН – застосування методів самокалібрування. Проте при використанні двійкової системи числення калібрування здійснюється в цифро-аналоговій формі, що передбачає застосування додаткових коригуючих ЦАП і зменшує швидкодію перетворювача.

Для уникнення зазначених недоліків використовують надлишкові позиційні системи числення, що дозволяє виконати калібрування виключно в цифровій формі і таким чином уникнути головних недоліків цифро-аналогового калібрування. Також використання інформаційної надлишковості у вигляді надлишкової позиційної системи числення дає змогу не тільки спростити процедуру калібрування та зменшити вимоги до точності розрядів, а й суттєво підвищити швидкодію перетворювачів.

Мета

Метою дослідження є розробка методу самокалібрування циклічних АЦП із використанням вагової надлишковості.

Задачі дослідження

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розглянути алгоритм роботи циклічних АЦП;
- дослідити процес утворення і накопичення похибок циклічного АЦП;
- розробити та дослідити новий метод калібрування;

Алгоритм функціонування і похибки циклічних АЦП

Одним із видів АЦП із накопиченням заряду є алгоритмічний (циклічний) АЦП, які вирізняються простою структурою, низькою потужністю споживання і малими фізичними розмірами на кристалі. Крім того, дані АЦП є розрядно-незалежними, тобто збільшення розрядної сітки перетворювача не веде за собою збільшення або ускладнення апаратного забезпечення. Блок-схема алгоритмічного АЦП представлена на рис. 1

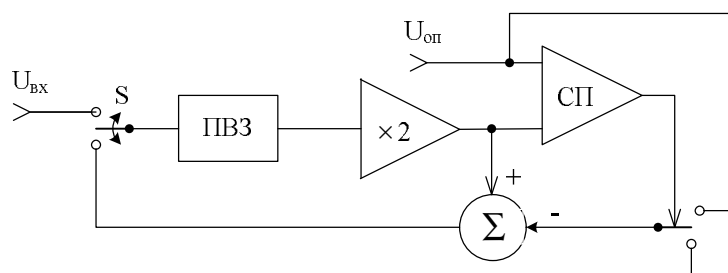


Рис. 1. Циклічний АЦП

В основі роботи даного виду перетворювачів лежить алгоритм МакЧарльза, який дозволяє будувати АЦП, результуючий код якого отримується послідовно розряд за розрядом. Під час першого циклу перетворення вхідний сигнал U_{BX} проходить через ПВЗ, множиться на 2 і порівнюється з опорною напругою $U_{оп}$. Якщо $2 \cdot U_{BX} < 0$, то старший біт встановлюється в "1", а $U_{оп}$ додається до подвоєної вхідної напруги і вона передається на наступний цикл для визначення чергового біта. У тому випадку, коли $2 \cdot U_{BX} \geq 0$, то старший біт встановлюється в "- 1", $U_{оп}$ віднімається від подвоєної вхідної напруги і отримане значення передається на наступний цикл. Аналогічним чином визначаються й інші розряди вихідного коду. Алгоритм функціонування циклічних АЦП представлено на рис. 2.

U_i – аналогова напруга на i -му циклі;
 B_i – це значення розряду отримане на попередньому циклі;
 N – розрядність перетворювача, число циклів алгоритму.

Для того щоб алгоритм схилювався необхідно виконання умови $U_{ref} \geq U_i$, $i=1, 2, \dots, N-1$.

Квантована величина U_i входить у вираз:

$$\left| 2^N U_i + U_{on} \sum_{i=0}^{N-1} 2^{N-i} B_i \right| \leq U_{on} \quad (1)$$

Розділивши обидві частини на 2^N , отримаємо:

$$\left| U_i + U_{on} \sum_{i=0}^{N-1} 2^{-i} B_i \right| \leq U_{on} / 2^N \quad (2)$$

Дану умову можна також записати у наступному вигляді:

$$U_i + d = -U_{on} \sum_{i=0}^{N-1} 2^{-i} B_i, \text{ де } -U_{on} / 2^N \leq d \leq U_{on} / 2^N \quad (3)$$

Якщо послідовність коефіцієнтів B_i розбити на дві послідовності коефіцієнтів B_i^+ та B_i^- у відповідності з правилом:

$$B_i^+ = \begin{cases} 0, \text{ при } B_i = -1 \\ 1, \text{ при } B_i = 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$B_i^- = \begin{cases} 0, \text{ при } B_i = 1 \\ 1, \text{ при } B_i = -1 \end{cases}$$

то рівняння (3) можна записати у вигляді:

$$U_i + d = -U_{on} \sum_{i=0}^{N-1} 2^{-i} (B_i^+ - B_i^-). \quad (5)$$

Таким чином, результат перетворення формується у вигляді двох двійкових послідовностей, члени однієї із яких віднімаються від відповідних членів іншої:

$$U_i / U_{on} + d / U_{on} = \sum_{i=0}^{N-1} 2^{-i} (B_i^- + B_i^+) \quad (6)$$

Похибка квантування в даному випадку дорівнює $U_{on} / 2^N$

Співвідношення $U_{i+1} = 2 \cdot U_i + B_i \cdot U_{on}$ представляє ідеальний процес перетворення, тому на практиці реалізують неідеальний алгоритм, який можна описати наступним рівнянням:

$$U_{i+1} = (2 + \Delta_1) \cdot U_i + (1 + \Delta_2) \cdot B_i \cdot U_{on}, \quad (7)$$

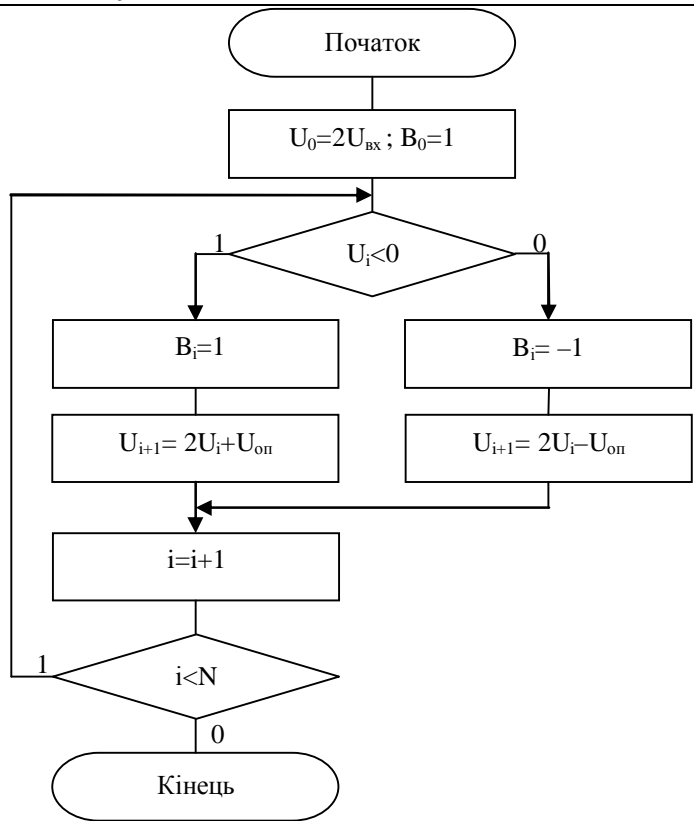


Рис. 2. Алгоритм функціонування циклічних АЦП

де Δ_1 – похибка, яка впливає на лінійність перетворювача,

Δ_2 – похибка, яка впливає на коефіцієнт нахилу характеристики перетворення.

Структура циклічного АЦП розрядно-незалежна, але її точність значно залежить від точності виконання кожним блоком своїх функцій, тому що похибки накопичуються і циркулюють від циклу до циклу. Отже залишки напруги зсуву на операційних підсилювачах і конденсаторах, шум і інжекція заряду через МОН-ключі, а також точність коефіцієнта множення є дуже критичними факторами. Кожен блок, що входить до даного перетворювача вносить свою похибку у вихідний код:

$$\begin{cases} \Delta_{\Sigma ПВЗ} = \Delta_{0ПВЗ} + \Delta_{ЛИН ПВЗ} \\ \Delta_{\Sigma СП} = \Delta_{0СП} \\ \Delta_{\Sigma СМ} = \Delta_{0СМ} \\ \Delta_{\Sigma МН} = \Delta_{0МН} + \Delta_{ЛИН МН} \end{cases} \quad (8)$$

Сумарна похибка АЦП визначається за співвідношенням:

$$\Delta_{\Sigma КАН} = \Delta_{\Sigma ПВЗ} + \Delta_{\Sigma СП} + \Delta_{\Sigma СМ} + \Delta_{\Sigma МН} \quad (9)$$

Похибки зсуву нуля впливають на лінійність перетворювача і являються коригованими, а похибки інтегральної нелінійності є мультиплікативними і є частково коригованими. Для підвищення точності необхідно зменшити вплив даних похибок, і для цього застосовується вагова надлишковість і самокалібрування.

Метод цифрового самокалібрування циклічного АЦП із ваговою надлишковістю

Побудова самокаліброваних АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення надає ряд переваг. По-перше, можливе калібрування ваг розрядів зі значними відхиленнями, що істотно знижує вимоги до ряду аналогових вузлів перетворювачів. Цей же чинник дозволяє під час використання процедури самокалібрування забезпечити високі метрологічні характеристики перетворювачів у широкому діапазоні температур і протягом тривалого часу.

Реалізації функціонування циклічних АЦП із ваговою надлишковістю базується на використанні наступного співвідношення:

$$U_{i+1} = (a + \Delta_1) \cdot U_i + (1 + \Delta_2) \cdot B_i \cdot U_{on}, \quad (10)$$

Квантована величина U_i визначається із виразу:

$$U_i + d = -U_{on} \sum_{i=0}^{N-1} (a + \Delta_1)^{-i} \cdot (a + \Delta_2) B_i, \text{ де } -\frac{U_{on}}{(a + \Delta_1)^N} \leq d \leq \frac{U_{on}}{(a + \Delta_1)^N} \quad (11)$$

Для перевірки роботи циклічних АЦП із застосуванням вагової надлишковості розроблено моделюючу програму, результати якої представлено на рис. 3:

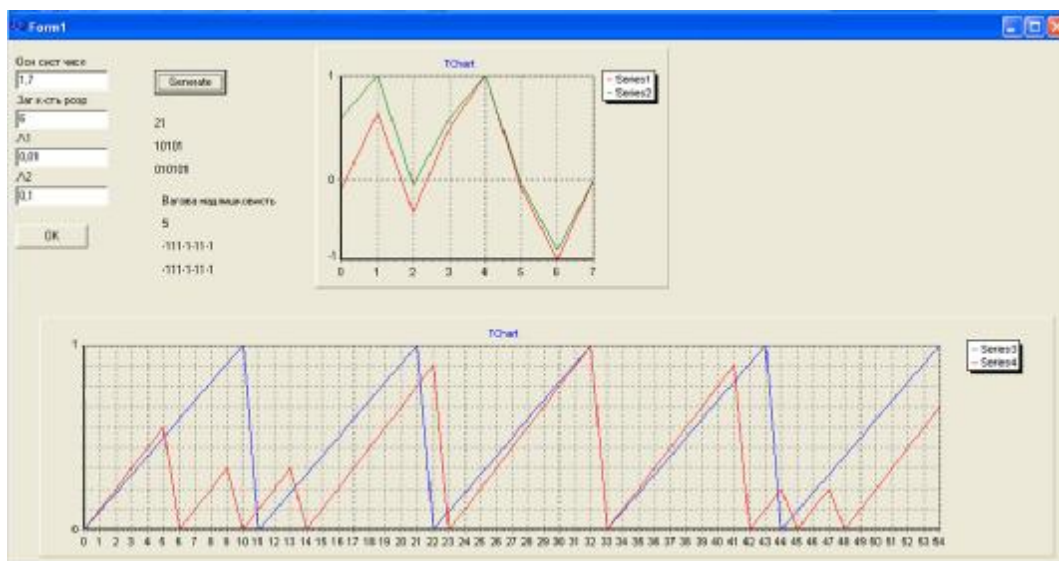


Рис. 3. Результат роботи моделюючої програми

Основна ідея запропонованого цифрового самокалібрування полягає в тому, що ми калібруємо не розряд, а похибку. У базову структуру циклічного АЦП введено додаткові блоки – генератор калібрувальних сигналів (ГКС) і додатковий малорозрядний калібрувальний АЦП (рис. 4).

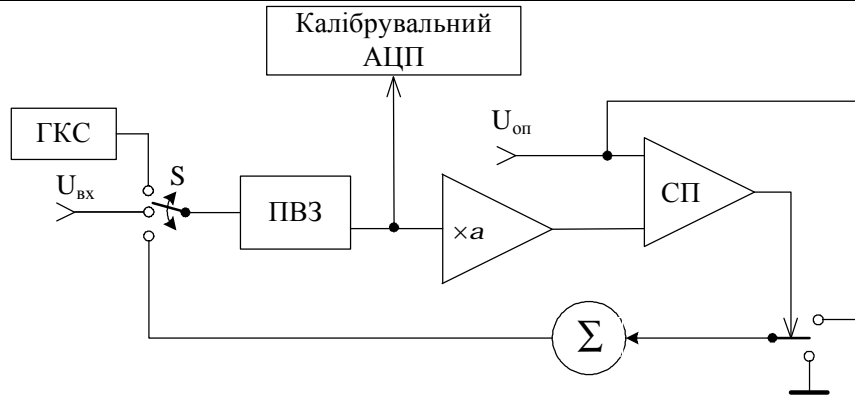


Рис. 4. Блок схема самокалібруючого циклічного АЦП

ГКС генерує певний сигнал, який буде оброблятися за допомогою і звичайного алгоритмічного АЦП, і калібрувального АЦП, після декількох циклів результати цих перетворювачів порівнюються і вносяться відповідні поправки. Якщо кількість ітерацій рівна 2, ми отримаємо наступні співвідношення:

$$\begin{cases} U_{i+1} = a' \cdot U_i + \Delta_2 \\ U_{i+2} = a' \cdot U_{i+1} + \Delta_2 \end{cases} \quad (12)$$

Віднявши дані співвідношення автоматично можна усунути адитивну похибку лінійності:

$$U_{i+2} - U_{i+1} = a' \cdot U_{i+1} - U_i, \quad (13)$$

А реальне значення основи системи числення можна визначити за допомогою співвідношення:

$$a' = \frac{U_{i+2} - U_{i+1}}{U_{i+1} - U_i}, \quad (14)$$

де $a' = a + \Delta_1$.

Проте при попередньому визначенні на адитивну похибку Δ_2 впливає похибка зсуву нуля калібруючого АЦП, тому її краще визначати як складову похибки масштабування, і визначати із наступного співвідношення:

$$K = \frac{\sum_{i=0}^N B_i \cdot a^i}{U_{on}}. \quad (15)$$

Підвищити точність визначення a можна двома шляхами:

1. збільшити розрядність АЦП (тобто кількість циклів);
2. збільшити кількість сигналів від ГКС.

Для зменшення розрядності калібрувального АЦП і з метою зменшення похибки квантування пропонується здійснювати процедуру багаторазового калібрування, а результат усереднити за співвідношенням:

$$Q_k = \frac{\sum_{l=1}^r Q_k^l}{r}. \quad (16)$$

ГКС представляє собою схему, яка генерує серію калібрувальних сигналів, що змінюються із незначним кроком (рис. 5)

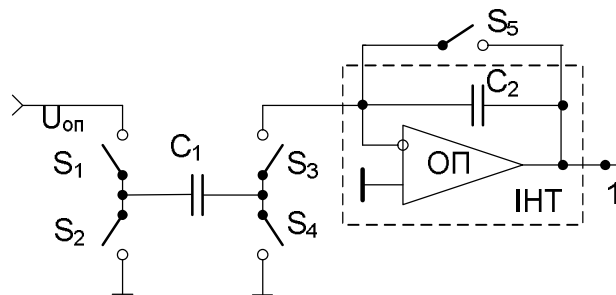


Рис. 5. Апаратна реалізація ГКС

Тоді сформований допоміжний сигнал можна представити так:

$$U_{on_j} = U_{on} \cdot \frac{C_1 + C_k}{\sum_{i=0}^{n-1} C_i} + j \cdot U_{on} \cdot \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{C_0}{\sum_{i=0}^{n-1} C_i}, \quad (14)$$

де $j \in [0, 1, \dots, \frac{C_2}{C_1}]$. Відношення C_1/C_2 задає крок зміни допоміжного сигналу, послідовно формуючи необхідну напругу.

Висновки

У роботі розглянуто структуру і функціонування циклічного АЦП. Запропоновано спосіб цифрового самокалібрування для АЦП даного класу із використанням вагової надлишковості для зменшення похибки перетворення, який дозволяє повністю усунути адитивну складову і зменшити вплив мультиплікативної

Література

1. Захарченко С.М. Самокалібровані АЦП з накопиченням заряду на основі надлишкових позиційних систем числення: [монографія] / Захарченко С.М., Азаров О.Д., Харьков О.М. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 235 с.
2. Мулявка Я. Схеми на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами; [пер. с польск.] / Мулявка Я. – М.: МИ., 1992. – 416 с.
3. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства: [учебник для вузов] / Шляндин В.М. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
4. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / [А.И. Кондалев, В.А. Багацкий, В.А. Романов, В.А. Фабричев] // Наукова думка, 1987. – 280 с.
5. Алипов Н.В. Алгоритмы функционирования параллельно-последовательных преобразователей формы информации, корректирующих динамические ошибки / Алипов Н.В // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Харьков: Вища школа, 1985. – С. 57-64.
6. Азаров А.Д. Разработка теории аналого-цифрового преобразования на основе избыточных позиционных систем счисления: автореф. дис. ... д-ра техн.наук: 05.11.16 / Азаров А.Д. – Винниця: Винницький політехнічний інститут, 1994. – 44 с.
7. Захарченко С.М. Исследование и разработка самокалибрующихся АЦП с накопителем заряда на основе избыточных позиционных систем счисления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.08 / Захарченко С.М. / Винниц. гос. техн. ун-т. – Винниця, 1997. – 16 с.
8. Стахов А.П. Аналого-цифровые преобразователи на основе избыточных систем счисления / Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И // Помехоустойчивые коды. – М.: Знание, 1989. – С. 40-48.

Надійшла 20.5.2010 р.

УДК 517.958

Л.Є. ДЕДІВ, М.О. ХВОСТИВСЬКИЙ, Г.М. ОСУХІВСЬКА
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОПРАЦЮВАННЯ ДОБОВОГО ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ СИНФАЗНИМ МЕТОДОМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ СИСТЕМ ГОЛТЕРІВСЬКОГО МОНІТОРИНГУ

Опрацьовано добовий електрокардіосигнал як кусково-періодичну корельовану випадкову послідовність синфазним методом. На основі отриманих результатів комп'ютерного опрацювання в середовищі Matlab 7.0 встановлено, що отримані оцінки спектральних компонент є інформативно-інваріантними ознаками добового електрокардіосигналу, котрі відповідають функціональному стану серця людини (норма або патологія) і дають змогу своєчасно виявити "скриті" патологічні зміни у функціонуванні серця людини.

It is worked out day's electrocardiosignal as the cobbed-periodic correlated casual sequence by a sinphase method. On the basis of the got results of the computer working in the environment of Matlab 7.0 set, that the got estimations of spectral components are the informing-invariant signs of day's electrocardiosignal, which answer the functional state of heart of man (norm or pathology) and enable in good time to educe the "hidden" pathological changes in functioning of heart of man.

Ключові слова: електрокардіосигнал, синфазний метод, голтерівський моніторинг.

Вступ

На важливість діагностики серцево-судинної системи за електрокардіосигналом впродовж довготривалого інтервалу часу, вказували дослідники медичного спрямування, такі як Макаров Л.М [1], Недоступ О.В., Дабровські А [2], Dickinson P., Scott O. та ін., зокрема встановлено, що аналіз