

С. М. Захарченко, М.Г. Захарченко, Р.С. Гуменюк

## МЕТОД ІНІЦІАЛІЗАЦІЇ ЗОН НЕВИКОРИСТАНИХ КОМБІНАЦІЙ В АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ

Вінницький Національний Технічний Університет

### *Анотація*

*В статті запропоновано метод ініціалізації зон невикористаних комбінацій в АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю. Ці дані є основою для визначення факту відхилення ваг розрядів.*

**Ключові слова:** АЦП послідовного наближення, вагова надлишковість, надлишкові позиційні системи числення.

### **Abstract**

*The article proposes a method for initialization of the unused combinations zone in successive approximation ADC with weight redundancy. These data are the basis for determining the deviation of the bits weights.*

**Keywords:** successive approximation ADC, weight redundancy, redundant positional counting systems.

АЦП послідовного наближення широко застосовуються в сучасних контролерах, вимірювальних системах, системах автоматичного керування тощо. Перевагою цього типу перетворювачів є відносно проста структурна реалізація, порівняно з паралельними АЦП та відносно висока швидкодія порівняно з послідовними перетворювачами. Особливістю застосування АЦП високої роздільної здатності є необхідність постійного контролю стану старших розрядів, оскільки під впливом зовнішніх чинників, таких як температурні зміни, зміни вологості тощо їх параметри можуть змінитись [1], що призведе до некоректної роботи як перетворювача, так і системи в цілому. Саме з цією метою такі пристрої потребують періодичного калібрування [2]. На сьогоднішній день найбільш поширеним є так зване самокалібрування АЦП. В класичних двійкових АЦП самокалібрування являє собою цифроаналоговий процес, в результаті якого активуються певні розряди додаткового калібрувального ЦАП, що дозволяє компенсувати відхилення ваг розрядів основного ЦАП. Застосування вагової надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення дозволяє перевести процес самокалібрування виключно у цифрову форму[3].

Незалежно від способу самокалібрування виникає проблема визначення моменту часу, коли необхідно проводити цей процес. Оскільки відхилення ваг розрядів здебільше обумовлені зміною умов навколишнього середовища, зокрема температури, застосування температурних давачів дозволяє визначити необхідний момент. Крім того є сенс періодично, наприклад раз на годину, проводити калібрування незалежно від змін стану навколишнього середовища. Це дозволить фіксувати зміни ваг розрядів, обумовлені іншими чинниками, що не контролюються тим чи іншим давачем. Однак зазначені підходи мають такі недоліки: по-перше, необхідність застосування додаткових компонентів, зокрема давачів; по-друге, відсутність гарантії що самокалібрування проведено вчасно.

Особливість використання вагової надлишковості дозволяє організувати оперативний контроль стану розрядів перетворювача шляхом простого спостереження та аналізу вихідного коду, що з'являється на виході надлишкового АЦП. В роботі [4] показано, що за наявності вагової надлишковості в характеристиці перетворення АЦП будуть відсутні певні кодові комбінації. В роботі [4] показано, що ці комбінації утворюють так звані групи невикористаних комбінацій, що розташовані у фіксованих місцях ХП. В роботі [5] показано, що наявність відхилень ваг розрядів призводить до змінення переліку кількості невикористаних комбінацій у відповідних зонах, як в бік зменшення, так і в бік збільшення.

Таким чином актуальною задачею є фіксація моменту переходу комбінації з категорії «невикористаних» в категорію «використаних» і навпаки. Крім того актуальною є задача ініціалізації характеристики перетворення АЦП перед початком роботи. Під ініціалізацією ХП будемо розуміти визначення переліку «невикористаних» комбінацій. Залежно від особливості вхідного сигналу можна

проводити як активну, так і пасивну ініціалізацію. Активна ініціалізація передбачає перед початком основної роботи подання на вхід допоміжного сигналу пілкоподібної форми, який забезпечує проходження всього діапазону вхідних сигналів. Насправді достатньо пройти тільки половину діапазону до вихідного коду 100...00, оскільки, як показано в [4] ХП є симетричною. Пасивна ініціалізація можлива в тому випадку, коли відомо, що сигнал, який буде перетворюватись, накриває відповідні зони невикористаних комбінацій. Слід звернути увагу, що головною вимогою пасивної ініціалізації є перетин діапазону вхідного сигналу з зонами невикористаних комбінацій. Розташування цих зон є заздалегідь відомим [4]. Так для визначення переліку невикористаних комбінацій зони (n-1)-го рівня вхідний сигнал має бути з діапазону, що відповідає виразу:

$$Q_{n-1} - Q_0 < A(K^{n-1}) \leq Q_{n-1},$$

де  $Q_i = \alpha^i (1 + \delta_i)$ , – значення ваги i-го розряду, де  $\alpha$  – основа системи числення,  $\delta_i$  – значення відхилення i-го розряду;

Відповідно для визначення переліку невикористаних комбінацій зони (n-2)-го рівня необхідно подати вхідний сигнал з діапазону, що відповідає виразу:

$$Q_{n-2} - Q_0 < A(K^{n-2}) \leq Q_{n-2}.$$

Аналогічно для визначення переліку невикористаних комбінацій зони довільного (n-k)-го рівня необхідно подати вхідний сигнал з діапазону, що відповідає виразу:

$$Q_{n-k} - Q_0 < A(K^{n-k}) \leq Q_{n-k}.$$

Таким чином якщо відомо, що вхідний сигнал перетинає відповідні діапазони, то етап ініціалізації буде полягати в тому, що перетворювач працює в режимі основного перетворення паралельно фіксуючи так звані прикордонні комбінації [6]. Після ініціалізації зони відповідного рівня вона вже може використовуватись для оцінки відхилень ваг розрядів або для керування процесом самокалібрування. Доки не завершилась ініціалізація всіх зон можливості виявлення відхилень ваг розрядів є обмеженими. Як показано в роботі [5] для контролю стану (n-k)-го розряду можуть бути використані зони з номерами від (n-k) до (n-1), при чому на стан зони (n-k) не впливають відхилення ваг розрядів з номерами більшими за (n-k). Саме тому для контролю відхилень (n-k)-го розряду доцільно використовувати перелік невикористаних комбінацій саме в зоні (n-k)-го рівня.

Ознакою ініціалізації зони (n-k)-го рівня є поява на виході надлишкового АЦП коду типу XX...10...00, де «1» знаходиться в (n-k)-му розряді. Для надійності можна вважати ініціалізацію зони завершеною, коли комбінація XX...10...00 зустрічається на виході декілька разів. Знак «X» говорить про довільне значення коду цього розряду. Це пояснюється тим фактом, що в ХП є  $2^{k-1}$  зон невикористаних комбінацій (n-k)-го рівня і кожна з них може бути використана для ініціалізації зони.

Після того як відбулась ініціалізація зони (n-k)-го рівня можна визначити перелік невикористаних комбінацій в цій зоні. Насправді достатньо визначити кількість невикористаних комбінацій, оскільки вони всі розташовані послідовно. Процес знаходження кількості невикористаних комбінацій в зоні (n-k)-го рівня передбачає такі кроки. По-перше необхідно знайти у вихідному коді максимальне значення, що є меншим за XX...10...00. Очевидно, що воно матиме вигляд XX...0Y...Y, де «0» знаходиться в (n-k)-му розряді, а Y можуть набувати значень і «0» і «1». Наступний крок – власне визначення кількості невикористаних комбінацій. Якщо всі Y дорівнюють «1» - це значить що невикористаних комбінацій немає, тобто перед XX...10...00 іде XX...011...1. Якщо тільки останній Y дорівнює «0», то одна невикористана комбінація, для випадку XX...011...101 – дві невикористаних комбінації тощо. Неважко побачити, що в загальному випадку для визначення кількості невикористаних комбінацій достатньо проінвертувати молодші розряди, розташовані після (n-k)-го. В результаті буде отримано двійкове число, що відповідатиме кількості невикористаних розрядів.

Після отримання інформації про кількість невикористаних комбінацій по різним зонам скориставшись виразами, отриманими в [7], можна оцінити відхилення ваг розрядів і прийняти рішення про запуск процедури самокалібрування. В процесі основного перетворення відбувається постійний контроль на предмет переходу комбінації із зони невикористаних в зону використаних і навпаки.

## Висновки

Запропоновано метод ініціалізації зон невикористаних комбінацій, що мають місце в АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю. Застосування цього методу дозволяє формалізувати процес розрахунку кількості невикористаних комбінацій в зонах різних рівнів, на основі чого можна визначити факт відхилення відповідних ваг розрядів, що дозволить вчасно провести необхідну процедуру самокалібрування і забезпечить біль тривалий період коректної роботи перетворювача.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. McCreary J.L. Matching properties, and voltage and temperature dependens of MOS capacitors / J.L. McCreary //IEEE J. Solid-State Circuits.- 1981.-Dec.- Vol.16.- pp. 608-616.
2. Hae-Seung Lee, A Self-calibrating 15-bit CMOS A/D Converter/ Hae-Seung Lee, David A.Hodges, Paul R. Gray. // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1984.-Dec.- Vol.19, №6.- pp. 813-817.
3. Азаров О. Д. Підвищення точності та швидкодії аналого-цифрових перетворювачів методами інформаційної надлишковості / Азаров О.Д., Захарченко С.М., Кравцов М.О. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №2. – С. 78-83.
4. Захарченко С.М. Метод оперативного контролю лінійності АЦП послідовного наближення / Захарченко С. М., Росощук А.В., Захарченко М.Г.. // Вісник національного університету «Львівська політехніка» Серія «Теплоенергетик. Інженерія доквілля. Автоматизація». - 2014.- №792, С.21-28.
5. Захарченко С.М. Метод оперативного виявлення поодиноких відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю / Захарченко С. М., Росощук А.В., Зеленська Є.І., Гуменюк Р.С. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - 2015:Том1, №32. – С. 40–47.
6. Захарченко С.М. Метод калібрування циклічних АЦП із ваговою надлишковістю / С. М. Захарченко, М. Г. Захарченко, О. В. Бойко // Вісник вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 4. – С. 143-149. – ISSN 1997-9266.
7. Захарченко С.М. Метод визначення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення в режимі основного перетворення / С.М. Захарченко, Р.С. Гуменюк, М.Г. Захарченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - 2017:Том1, №38. – С. 53–61.

**Захарченко Сергій Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [zahar@vntu.net](mailto:zahar@vntu.net)

**Захарченко Михайло Григорович** – старший викладач, Вінницький технічний коледж, Вінниця, e-mail: [mzahar@i.ua](mailto:mzahar@i.ua)

**Гуменюк Роман Сергійович** - аспірант кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [romka\\_gumeniuk@mail.ru](mailto:romka_gumeniuk@mail.ru)

**Zaharchenko Sergiy M.** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Computer Techniques Chair, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsya, e-mail: [zahar@vntu.net](mailto:zahar@vntu.net)

**Zaharchenko Mykhailo G.** – Senior teacher, Vinnitsa Technical College, Vinnitsya, e-mail: [mzahar@i.ua](mailto:mzahar@i.ua)

**Humeniuk Roman S.** - PhD Student, Department of Computer Facilities, Vinnitsya National Technical University, Vinnitsya, e-mail: [romka\\_gumeniuk@mail.ru](mailto:romka_gumeniuk@mail.ru)