

# МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ВАГ РОЗРЯДІВ АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ В РЕЖИМІ ОСНОВНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Вінницький Національний Технічний Університет

## Анотація

В статті запропоновано метод оперативного виявлення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення в режимі основного перетворення. Метод базується на використанні вагової надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення.

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

## Abstract

The method of rapid detection of deviations scales bits for successive approximation ADC in main conversion mode is described. The method is based on the use of weight redundancy in the form of redundant positional counting systems.

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

АЦП послідовного наближення широко використовуються в різноманітних застосуваннях аналого-цифрового перетворення. Це обумовлено компромісом між високою роздільною здатністю (16-18 двійкових розрядів) та високою частотою дискретизації (до 1 мільйонна вибірок за секунду). Однак, якщо розрядність перетворювача перебільшує 12 двійкових розрядів вплив зовнішніх чинників неодмінно призводить до появи відхилень ваг розрядів, при чому найбільше відхилення спостерігається в старших розрядах [1]. Одним із найпоширених методів подолання згаданої проблеми є застосування процедури калібрування АЦП[2]. Процедура калібрування виконується після включення пристрою та періодично в процесі роботи, причому АЦП може функціонувати або в режимі основного перетворення, або калібрування. Використання вагової надлишковості при побудові АЦП послідовного наближення дозволило виконувати процедуру калібрування виключно у цифровій формі без фізичного або електричного впливу на ваги розрядів [3]. Застосування методів самокалібрування передбачає вирішення таких задач, як фіксація моменту часу, коли необхідно провести чергове калібрування та організації фонового калібрування (без переривання процесу основного перетворення). Одним із рішень, що дозволяє в комплексі вирішити обидві задачі є застосування так званої спліт архітектури при побудові АЦП [4]. Однак в даному випадку передбачається використання двох однакових АЦП, що як мінімум вдвічі збільшує апаратні витрати. В роботі [5] проаналізовано характеристику перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю та доведено можливість фіксувати відхилення ваг розрядів в процесі основного перетворення. В роботі [6] запропоновано застосування методу оперативного контролю ваг розрядів для виявлення відхилень кількох старших розрядів, але виникає задача розробки уніфікованого методу для виявлення відхилень довільної кількості старших розрядів.

## Алгоритм оцінювання відхилень ваг розрядів в АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю.

1. Визначити, починаючи з зони якого рівня для заданої системи числення мають з'явитись невикористані комбінації. Якщо ця зона наявна, перейти до пункту 2, якщо зона відсутня – розрахувати відхилення ваги відповідного розряду  $\delta_{n-k}^{0 \rightarrow 1}$ , при якому невикористана комбінація переходить у використану:  $\alpha^{n-k} (1 + \delta_{n-k}^{0 \rightarrow 1}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} \alpha^i$ , Перейти до пункту 3

2. Визначити зону найнижчого рівня (n-k), де з'явилась хоча б одна «невикористана» комбінація. У випадку появи однієї невикористаної комбінації середнє значення відхилення (n-k)-го розряду

визначатиметься за формулою  $\delta_{n-k} = \frac{\delta_{n-k}^{1 \rightarrow 2} + \delta_{n-k}^{0 \rightarrow 1}}{2}$ , де  $\delta_{n-k}^{0 \rightarrow 1}$  та  $\delta_{n-k}^{1 \rightarrow 2}$  - відхилення (n-k)-го

розряду, при досягненні якого відбувається перехід з 0 «невикористаних» комбінацій до 1, та з 1 «невикористаної» комбінацій до 2 відповідно і які можуть бути отримані з виразів:

$$\alpha^{n-k} (1 + \delta_{n-k}^{0 \rightarrow 1}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} \alpha^i, \text{ та } \alpha^{n-k} (1 + \delta_{n-k}^{1 \rightarrow 2}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} \alpha^i - 1. \text{ У випадку появи } x \text{ невикористаних}$$

комбінацій формули набувають вигляду:  $\delta_{n-k} = \frac{\delta_{n-k}^{x \rightarrow (x+1)} + \delta_{n-k}^{(x-1) \rightarrow x}}{2}$ , де  $\delta_{n-k}^{x \rightarrow (x+1)}$  та  $\delta_{n-k}^{(x-1) \rightarrow x}$

знаходяться відповідно з виразів:  $\alpha^{n-k} (1 + \delta_{n-k}^{(x-1) \rightarrow x}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} a_i \alpha^i$ , та

$$\alpha^{n-k} (1 + \delta_{n-k}^{x \rightarrow (x+1)}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} b_i \alpha^i, \text{ де } a_i \text{ та } b_i \in [0,1] \text{ і відповідають розрядним коефіцієнтам}$$

кодових комбінації з номерами  $2^{n-k} - x$  та  $2^{n-k} - x - 1$

3. Перехід до наступної зони невикористаних комбінацій (n-k+1)-го рівня. У випадку появи у

невикористаних комбінацій формули набувають вигляду:  $\delta_{n-k+1} = \frac{\delta_{n-k+1}^{y \rightarrow (y+1)} + \delta_{n-k+1}^{(y-1) \rightarrow y}}{2}$ , де

$\delta_{n-k+1}^{y \rightarrow (y+1)}$  та  $\delta_{n-k+1}^{(y-1) \rightarrow y}$  знаходяться відповідно з виразів:

$$\alpha^{n-k+1} (1 + \delta_{n-k+1}^{(y-1) \rightarrow y}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} a_i \alpha^i + a_{n-k} (1 + \delta_{n-k}) \alpha^{n-k}, \text{ та}$$

$$\alpha^{n-k+1} (1 + \delta_{n-k+1}^{y \rightarrow (y+1)}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} b_i \alpha^i + b_{n-k} (1 + \delta_{n-k}) \alpha^{n-k}, \text{ де } a_i \text{ та } b_i \in [0,1] \text{ і відповідають}$$

розрядним коефіцієнтам кодових комбінації з номерами  $2^{n-k+1} - y$  та  $2^{n-k+1} - y - 1$

4. Провести аналогічні розрахунки для всіх зон до (n-1)-ої.

5. Відхилення старшого, (n-1)-го розряду може бути визначено за формулою:

$\delta_{n-1} = \frac{\delta_{n-1}^{z \rightarrow (z+1)} + \delta_{n-1}^{(z-1) \rightarrow z}}{2}$ , де  $\delta_{n-1}^{z \rightarrow (z+1)}$  та  $\delta_{n-1}^{(z-1) \rightarrow z}$  знаходяться відповідно з виразів:

$$\alpha^{n-1} (1 + \delta_{n-1}^{(z-1) \rightarrow z}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} a_i \alpha^i + \sum_{j=n-k}^{n-2} a_j (1 + \delta_j) \alpha^j, \text{ та}$$

$$\alpha^{n-1} (1 + \delta_{n-1}^{z \rightarrow (z+1)}) = \sum_{i=0}^{n-k-1} b_i \alpha^i + \sum_{j=n-k}^{n-2} b_j (1 + \delta_j) \alpha^j, \text{ де } a_i \text{ та } b_i \in [0,1] \text{ і відповідають розрядним}$$

коефіцієнтам кодових комбінації з номерами  $2^{n-1} - z$  та  $2^{n-1} - z - 1$

## Висновки

Запропоновано конкретне застосування теорії невикористаних комбінацій, що виникають в характеристиці перетворення АЦП послідовного наближення для виявлення факту та оцінювання значення відхилень довільної кількості старших розрядів АЦП послідовного наближення, що дозволить в режимі реального часу оцінювати похибку лінійності АЦП та враховувати зміни ваг розрядів без застосування спеціального режиму калібрування.

## 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, N6.- 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. John McNeill “Split ADC” Architecture for Deterministic Digital Background Calibration of a 16-bit 1-MS/s ADC/ John McNeill, Michael C. W. Coln, Brian J. Larivee. //IEEE J. Solid-State Circuits.- 2005. – Dec.- Vol. 40, N12, - pp. 2437-2445.
5. 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 докілья. Автоматизація». - 2014:- №792, С.21-28.
6. 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.

**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)

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

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