

УДК 618.3

С.М. ЗАХАРЧЕНКО, А.В. РОСОЩУК, М.Г. ЗАХАРЧЕНКО  
Вінницький національний технічний університет**МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ВІДХИЛЕНЬ ВАГ РОЗРЯДІВ АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ ТА ЙОГО СТРУКТУРНА РЕАЛІЗАЦІЯ**

*Розглянуто характеристику перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю. Запропоновано метод оперативного контролю відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення та його структурну реалізацію.*

*Ключові слова: характеристика перетворення АЦП, АЦП послідовного наближення, відхилення ваг розрядів АЦП.*

S.M. ZAKHARCHENKO, A.V. ROSOSHCHUK, M.G. ZAKHARCHENKO  
Vinnitsya National Technical University**METHOD OF OPERATIONAL CONTROL OF DEVIATION OF WEIGHT DIGITS OF SUCCESSIVE APPROXIMATION ADC AND ITS STRUCTURAL REALIZATION**

*Abstract - Characteristics of transformation of SAR ADC is considered. This work presents a method of operational control of deviation of weight digits of SAR ADC through the use of weight extension that allows to determine the fact of weight digits deviation based on the analysis of source code combinations transformer primary mode conversion. That, in turn, enables faster transfer mode ADC calibration while minimizing incorrect operation.*

*The structural realization of this method is offered too. The structural realization of the method involves the creation of separate units for fixation appearance of unused combinations and disappearance of used combinations.*

*Keywords: Characteristics of transformation of ADC, Successive approximation ADC, deviation of weight digits.*

**Вступ**

Для побудови багаторозрядних перетворювачів форми інформації (ПФІ) у теперішній час використовується елементна база, первинні похибки якої перевищують, а іноді значно перевищують (на один-два порядки) підсумкові похибки перетворення. Фактично така елементна база є низькоточною, порівняно із кінцевою точністю перетворювача, що відповідає кількості розрядів. Наслідком цього є те, що похибки таких АЦП і ЦАП, зокрема, диференційної та інтегральної нелінійності більші похибки квантування в два-чотири рази.

Для зменшення первинних похибок елементної бази використовується спеціальна процедура лазерного припасування, використання якої може забезпечити метрологічні характеристики лише на момент виготовлення, оскільки точність перетворювача змінюється, наприклад, при упакуванні мікросхеми в корпус, у процесі експлуатації при зміні умов навколишнього середовища, зокрема, температури, вологості, тиску, в процесі старіння [1, 2]. Тому виробниками аналого-цифрової техніки використовується інший підхід, що полягає в осередненні похибок елементів. Так, наприклад, для АЦП із вагами розрядів, що задаються джерелами струму, старші розряди складається з кількох окремих джерел, вага кожного з яких рівна молодшому кванту.

Поруч з такими технологічними і схемо-технічними підходами використовуються спеціальні процедури самокалібрування ваг розрядів. Такий підхід передбачає використання позиційних систем числення із ваговою надлишковістю і його відмітною особливістю є можливість побудови високоточних метрологічно стабільних АЦП порозрядного врівноваження. Самокалібрування полягає у визначенні абсолютних відхилень ваг розрядів АЦП (ЦАП) від дійсних значень і визначення коригувальних поправок до характеристики вхід-вихід [3].

**Мета**

Метою дослідження є структурна реалізація методу, що дозволить оперативно фіксувати факт відхилень ваг розрядів

**Задачі дослідження**

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розглянути характеристику перетворення АЦП послідовного наближення;
- розглянути метод визначення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення;
- реалізувати метод, що дозволить оперативно фіксувати факт відхилень ваг розрядів

**Аналіз характеристики перетворення АЦП послідовного наближення**

Основною статичною характеристикою АЦП є характеристика перетворення (ХП) – залежність між значенням аналогового сигналу на вході і множиною можливих значень вихідного коду. Розрізняють номінальну (ідеальну) ХП та дійсну (реальну) ХП. Номінальну ХП чотирьох розрядного АЦП показано на рис.1а. В даному випадку вона утворюється 16-тю точками. В загальному випадку кількість точок ХП визначається розрядністю перетворювача  $n$  і становить  $2^n$ . Для ідентифікації точок ХП будемо використовувати поняття номеру кодової комбінації, який визначається виразом:

$$s = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i, \text{ де } a_i \in \{0,1\}. \quad (1)$$

При використанні двійкової системи числення точки номінальної ХП розташовані на прямій лінії, що дозволяє однозначно визначити відповідність між вхідним аналоговим сигналом і вихідним кодом. При використанні вагової надлишковості (ВН) (основа системи числення  $\alpha < 2$ ) характер ХП змінюється, зокрема з'являються так звані зони багатозначного представлення.

Принцип функціонування АЦП послідовного наближення передбачає послідовне визначення розрядів вихідного коду, починаючи з найстаршого. Тобто при застосуванні ВН за наявності кількох варіантів вихідного коду для певного значення вхідного сигналу буде вибрано комбінацію з більшим номером і ХП набуває вигляду, як показано на рис. 1б.

Таким чином при застосуванні ВН у вихідному коді будуть відсутні певні комбінації, в подальшому будемо називати їх «невикористаними», а всі інші – «використаними».

«Невикористані» комбінації утворюють групи, які називають зонами «невикористаних» комбінацій [4]. Центральна зона називається зоною (n-1)-го рівня. Зона (n-2)-го рівня складається з двох підзон, розташованих симетрично відносно зони (n-1)-го рівня і т.д.

За відсутності відхилень ваг розрядів перелік «невикористаних» комбінацій є чітко визначеним. Поява відхилень ваг розрядів призводить до змінення переліку «невикористаних» комбінацій. Якщо внести додатне відхилення, наприклад, до старшого розряду, то зона (n-1)-го рівня звужується (кількість «невикористаних» комбінацій зменшується). Якщо ж вносити, наприклад, від'ємне відхилення до старшого розряду, то зона (n-1)-го рівня розширюється (кількість «невикористаних» комбінацій збільшується). В той же час відхилення ваги старшого розряду ніяк не впливає на зони молодших рівнів. Неважко також показати, що кількість «невикористаних» комбінацій в кожній із підзон однієї зони буде однаковою, тому з метою визначення відхилення в k-му розряді достатньо проаналізувати склад однієї підзони зони k-го рівня.

Таким чином метод оперативного контролю лінійності АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю передбачає аналіз змін в зонах «невикористаних» комбінацій в процесі основного перетворення, що свідчить про появу відхилень в окремих розрядах перетворювача. Обов'язковою умовою контролю відхилень k-го розряду є наявність зони k-го рівня, наприклад для (n-1)-го розряду – (n-1)-ї зони і т.д.[5].

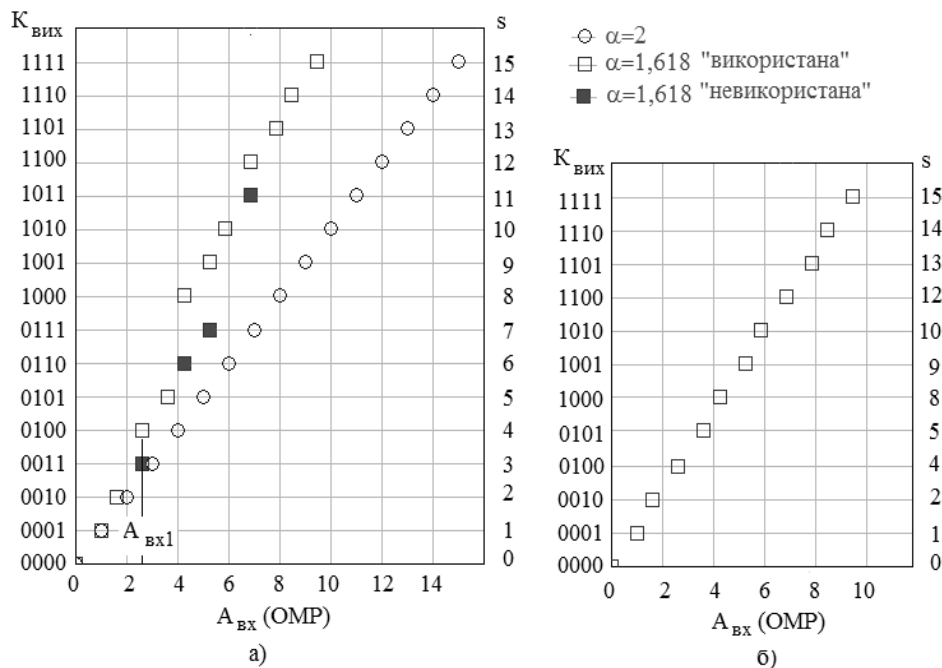


Рис. 1. ХП 4-розрядного АЦП порозрядного наближення: а) для  $\alpha=1,618$  та  $\alpha=2$ ; б) для  $\alpha=1,618$  без «невикористаних» комбінацій

Оскільки відхилення ваг розрядів призводять до переходу комбінацій з однієї категорії в іншу (невикористані у використані і навпаки), то для визначення факту відхилення необхідно забезпечити:

- 1) фіксацію факту появи невикористаних комбінацій;
- 2) фіксацію факту зникнення використаних комбінацій.

Розглянемо роботу методу на прикладі 6-розрядного АЦП із основою системи числення  $\alpha=1,8$ . На рис. 2 наведено його характеристику перетворення.

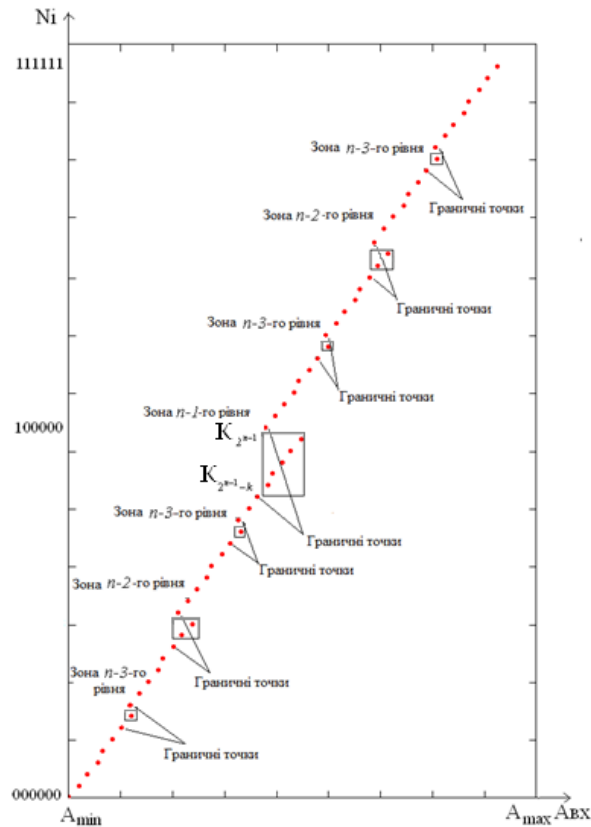


Рис. 2. Характеристика перетворення 6-ти розрядного АЦП із основою системи числення  $\alpha=1,8$

Для зони (n-1)-го рівня комбінація 100001 буде використаною, 100000 – верхньою пороговою використаною комбінацією, 011111 – верхньою пороговою невикористаною комбінацією, комбінації 011100-011110 – невикористаними, 011011 – нижньою пороговою невикористаною комбінацією, 011010 – нижньою пороговою використаною комбінацією. Аналогічно визначають невикористані та порогові комбінації для зони (n-2)-го та (n-3)-го рівня.

Для фіксації факту появи невикористаних комбінацій поставимо після АЦП блок оперативного контролю відхилень (БОКВ), який буде це робити (рис. 3).

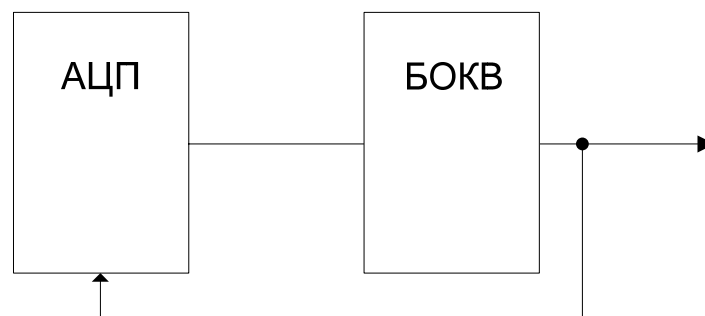


Рис. 3. Включення блоку оперативного контролю відхилень

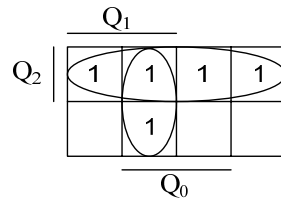
Оскільки підходи щодо визначення факту появи невикористаних та зникнення використаних комбінацій суттєво відрізняються, пропонується реалізувати БОКВ у вигляді двох блоків. Блок, що фіксуватиме появу невикористаних комбінацій назвемо БОКВ+. Факт зникнення використаної комбінації фіксуватиме БОКВ-.

Логічна схема БОКВ+ буде складатися з окремих логічних елементів для кожної зони невикористаних комбінацій.

Побудуємо логічні елементи, що будуть відповідати за кожну зону. За допомогою діаграм Вейча мінімізуємо перемикаючі функції для цих логічних елементів на основі всіх невикористаних комбінацій в зоні.

Для контролю невикористаних комбінацій в (n-1)-ій зоні мінімізуємо всі невикористані комбінації в. Використовується кон'юнкція для того, щоб отримувати на виході значення «1» лише тоді, коли всі комбінації є невикористаними.

Q <sub>5</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>
0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	0
0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1



$$F_{n-1}^+ = \overline{Q_5} \cdot Q_4 \cdot Q_3 \cdot (Q_2 + Q_1 \cdot Q_0)$$

Комбінаційну схему, яка реалізує перемикаючу функцію  $F_{n-1}^+$  наведено на рис. 4.

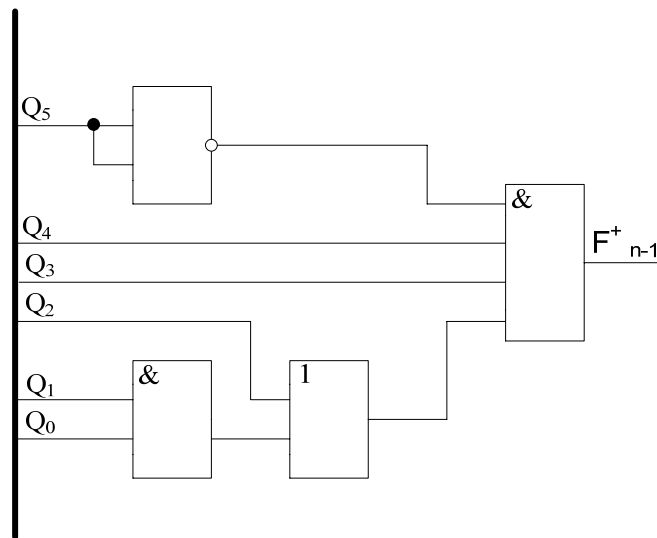


Рис. 4. Комбінаційна схема, що реалізує перемикаючу функцію  $F_{n-1}^+$

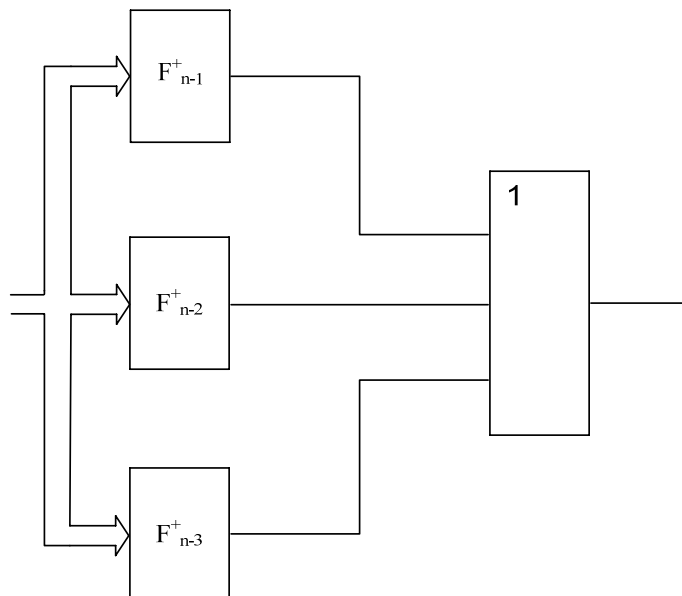


Рис. 5. Схема фіксації факту появи невикористаних комбінацій (БОКВ+)

Аналогічно будуються комбінаційні схеми для зони (n-2)-го та (n-3)-го рівня.

Виходи логічних елементів, що будуть реалізувати функції  $F_{n-1}^+$ ,  $F_{n-2}^+$ ,  $F_{n-3}^+$ , підключаються до логічного елемента «АБО». Таким чином, якщо на виході хоча б одного з елементів, що відповідають за (n-1)-у, (n-2)-у та (n-3)-ю зони, з'явиться «1», то на виході елемента «АБО» буде «1» і це означатиме наявність невикористаних комбінацій та відповідно вмикатиме АЦП в режим самокалібрування. Схема фіксації факту появи невикористаних комбінацій (БОКВ+) наведена на рис.5.

На рисунку 6 наведено алгоритм ініціалізації самокалібрування АЦП при появі забороненої комбінації.

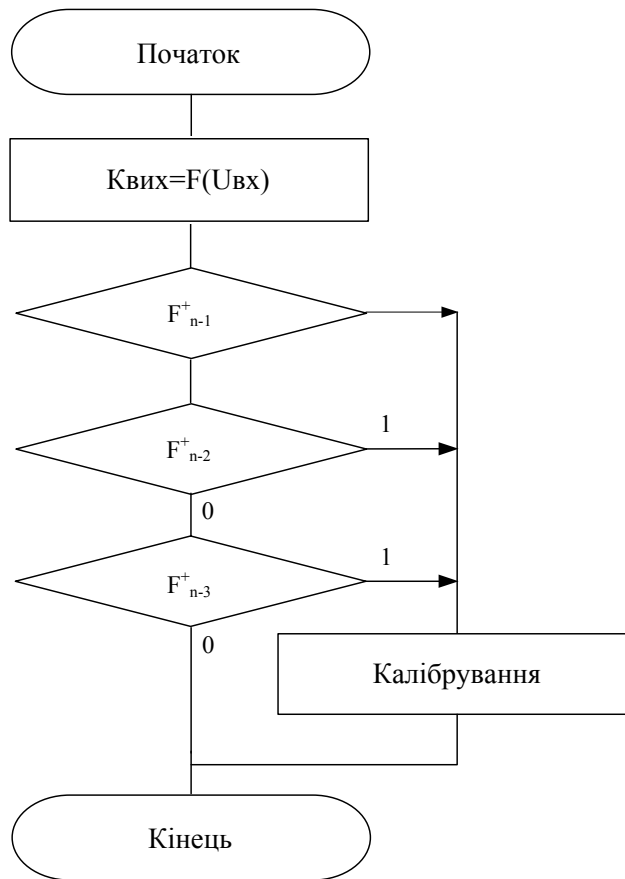


Рис. 6. Алгоритм ініціалізації самокалібрування АЦП при появі забороненої комбінації

Для фіксації факту зникнення використаних комбінацій є сенс контролювати граничні точки (порогові комбінації), причому для  $\alpha \geq 1,618$  нижні граничні точки (нижню порогову використану комбінацію).

Припускаємо, що за час контролю вхідний сигнал пройшов увесь діапазон.

Для кожної нижньої порогової використаної комбінації буде задіяний свій логічний елемент, що буде застосовувати кон'юнкцію для того, щоб отримувати на виході значення «0» лише тоді, коли зникатиме використана комбінація.

Для зони (n-1)-го рівня він буде реалізувати таку функцію:  $F_{n-1}^- = \overline{Q_5} \cdot Q_4 \cdot Q_3 \cdot \overline{Q_2} \cdot Q_1 \cdot \overline{Q_0}$  для нижньої порогової дозволеної комбінації 011010; (n-2)-го рівня:  $F_{n-2}^- = \overline{Q_5} \cdot \overline{Q_4} \cdot Q_3 \cdot Q_2 \cdot \overline{Q_1} \cdot Q_0$  для 011001 в першій підзоні та  $F_{2n-2}^- = Q_5 \cdot \overline{Q_4} \cdot Q_3 \cdot Q_2 \cdot \overline{Q_1} \cdot Q_0$  для 101101 в другій підзоні; (n-3)-го рівня:  $F_{n-3}^- = \overline{Q_5} \cdot \overline{Q_4} \cdot \overline{Q_3} \cdot Q_2 \cdot Q_1 \cdot \overline{Q_0}$  для 000110 в першій підзоні,  $F_{2n-3}^- = \overline{Q_5} \cdot Q_4 \cdot \overline{Q_3} \cdot Q_2 \cdot Q_1 \cdot \overline{Q_0}$  для 010110 в другій підзоні,  $F_{3n-3}^- = Q_5 \cdot \overline{Q_4} \cdot \overline{Q_3} \cdot Q_2 \cdot Q_1 \cdot \overline{Q_0}$  для 100110 в третій підзоні та  $F_{4n-3}^- = Q_5 \cdot Q_4 \cdot \overline{Q_3} \cdot Q_2 \cdot Q_1 \cdot \overline{Q_0}$  для 110110 в четвертій підзоні.

Загальна схема наведена на рис. 7, а алгоритм ініціалізації самокалібрування АЦП при зникненні дозволеної комбінації – на рисунку 8.

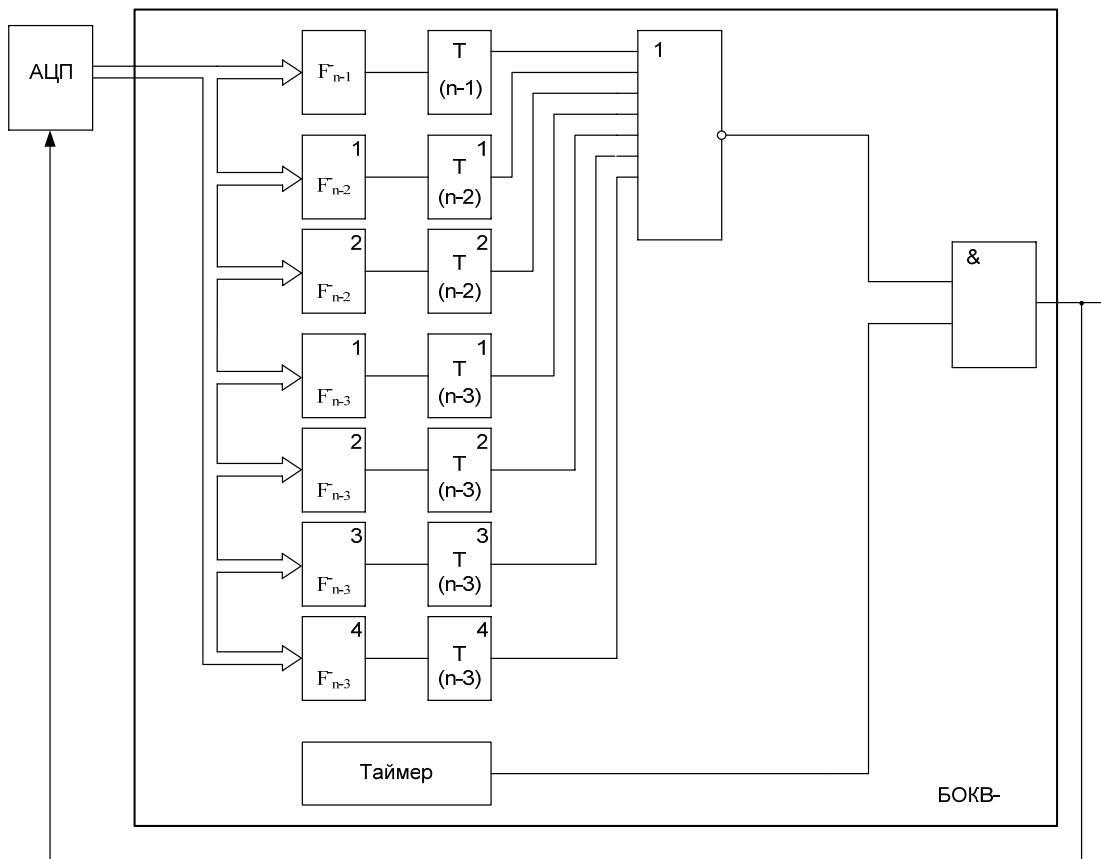


Рис. 7. Включення схеми фіксації зникнення використаної комбінації (БОКВ-)

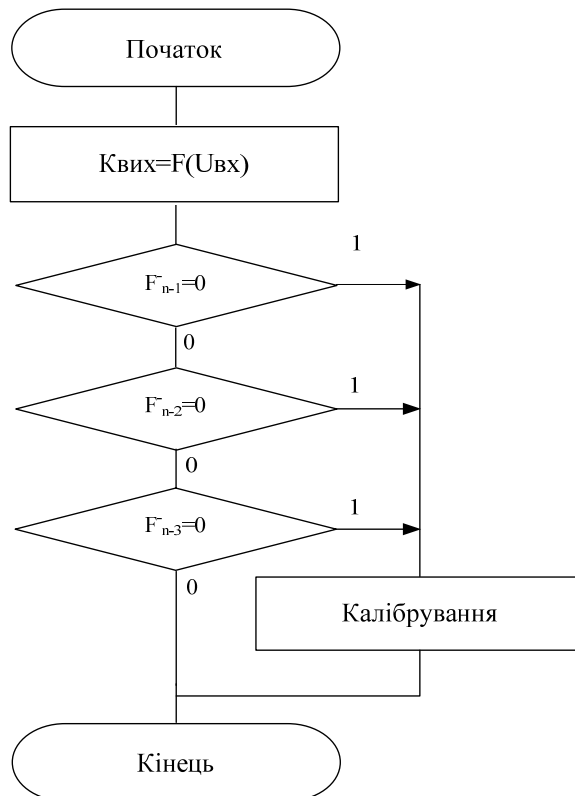


Рис. 8ю Алгоритм ініціалізації самокалібрування АЦП при зникненні дозволеної комбінації

Таймер формує «1» через певні інтервали часу, протягом якого вхідний сигнал проходить весь діапазон. В даному випадку як елементи пам'яті використовуються елементарні автомати (тригери), що в початковий момент часу знаходяться в нульовому стані. Коли з комбінаційної схеми, що відповідає одній із зон невикористаних комбінацій, надходить «1» чи «0», то відповідне значення записується в тригер. Виходи тригерів підключено до логічного елемента «АБО-НІ», вихід якого підключено до логічного елемента «І».

Якщо на виході логічного елемента «І» буде «1», то це означатиме зникнення використаної комбінації та відповідно вмикатиме АЦП в режим самокалібрування.

Якщо будемо аналізувати лише (n-1)-у та (n-2)-у зони, то значення таймеру буде меншим, проте точність погіршиться. Якщо ж аналізуємо весь діапазон, то значення таймера буде більшим, тобто пізніше буде відомо про необхідність калібрування, але точність буде більшою.

### Висновки

У роботі запропоновано метод оперативного контролю відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення за рахунок використання вагової надлишковості, який дозволяє визначати факт відхилення ваг розрядів базуючись на аналізі вихідних кодових комбінацій перетворювача в режимі основного перетворення. Що, в свою чергу, дає змогу значно швидше переводити АЦП в режим калібрування мінімізуючи час некоректної роботи.

Запропоновано структурну реалізацію методу, яка передбачає створення окремих блоків для фіксації факту появи невикористаних комбінацій та фіксація факту зникнення використаних комбінацій.

### Література

1. Гельман М. М. Системные аналого-цифровые преобразователи и процессоры сигналов / Гельман М. М. – М: Мир, 1999. – 559 с.
2. Уолт Кестер. Выбор АЦП подходящей архитектуры / Уолт Кестер – Электронные компоненты, Украина, 2007.– № 5/6. – С. 9 – 16.
3. Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення. Монографія / Азаров О.Д. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.
4. Захарченко С.М. Метод визначення основи системи числення надлишкового АЦП за аналізом кодувальної характеристики / Захарченко С.М., Бойко О.В., Росощук А.В. – Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». Збірник наукових праць. – ДНТУ: Донецьк, 2012. – № 15. – С. 35-39.
5. Захарченко С.М. Метод оперативного контролю лінійності АЦП послідовного наближення / Захарченко С.М., Захарченко М.Г., Росощук А.В. – Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: «Теплоенергетика. Інженерія довілля. Автоматизація» – Львів, 2014. – №790. – ст.77-84.

### References

1. Gelman M. M. Sistemnyie analogo-tsifrovyye preobrazovateli i protsessoryi signalov / Gelman M. M. – M: Mir, 1999. – 559 s.
2. Uolt Kester. Vyibor ATsP podhodyashey arhitektury / Uolt Kester – Elektronnyie komponentyi, Ukraina, 2007.– # 5/6. – S. 9 – 16.
3. Azarov O.D. Osnovi teoriiy analogo-tsifrovogo peretvorenniya na osnovi nadlishkovih pozitsiynih sistem chislennya. Monografiya / Azarov O.D. – Vinnitsya: UNIVERSUM-Vinnitsya, 2004. – 260 s.
4. Zakharchenko S.M. Metod viznachennya osnovi sistemi chislennya nadlishkovogo ATsP za analizom koduvalnoy harakteristiki / Zakharchenko S.M., Boyko O.V., Rososhchuk A.V. – Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tehniknogo universitetu. Seriya: «Informatika, kIbernetika ta obchislyuvalna tehnika». Zbirnik naukovih prats. – DNTU: Donetsk, 2012. – # 15. – S. 35-39.
5. Zakharchenko S.M. Metod operativnogo kontrolyu liniynosti ATsP poslidovnogo nablizhennya / Zakharchenko S.M., Zakharchenko M.G., Rososhchuk A.V. – Visnik Natsionalnogo universitetu «Lvivska politehnika»: «Teploenergetika. Inzheneriya dovkilliya. Avtomatizatsiya» – Lviv, 2014. – #790. – st.77-84.

Рецензія/Peer review : 01.09.2014 р.

Надрукована/Printed :1.10.2014 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. М.А. Філінюк