

УДК 621.375.024

С. М. ЗАХАРЧЕНКО, О. В. БОЙКО, Г. С. ЗАХАРЧЕНКО

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

АНАЛІЗ СТАТИЧНИХ ПОХИБОК ЦИКЛІЧНОГО АЦП ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ

Анотація. Розглянуто структуру циклічного АЦП, досліджено процес утворення і накопичення статичних похибок функціональними блоками, що входять до складу даного АЦП та приведено математичні співвідношення для їх визначення. Проведено класифікацію статичних похибок, що дозволяє віднести їх до адитивних або мультиплікативних і показано вплив даних складових на передатну характеристику. Доведено, що розриви кодувальної характеристики, спричинені накопиченням похибок і відхиленням основи системи числення, можна уникнути застосувавши вагову надлишковість.

Ключові слова: похибки циклічного АЦП, циклічний АЦП, алгоритмічний АЦП, вагова надлишковість, статичні похибки АЦП.

Аннотация. Рассмотрено структуру циклического АЦП, исследован процесс образования и накопления статических погрешностей функциональными блоками, входящих в состав данного АЦП и приведены математические соотношения для их определения. Проведена классификация статических погрешностей, что позволяет отнести их к аддитивным или мультипликативным, и показано влияние данных составляющих на передаточную характеристику. Доказано, что разрывы кодирующей характеристики, вызванные накоплением погрешностей и отклонением основания системы счисления, можно избежать применив весовую избыточность.

Ключові слова: погрешности циклического АЦП, циклическое АЦП, алгоритмический АЦП, весовая избыточность, статические погрешности АЦП.

Annotation. The structure of cyclic ADC is observed, investigated the formation and accumulation of static errors of cyclic ADC functional blocks and given mathematical relations for their determination. The classification of static errors has been carried out, it's allow include this error to the additive or multiplicative, and shows how data elements in the transfer characteristic. It is proved that breaks coding characteristics caused by the accumulation of errors and deviation calculation system, can be avoided by applying weight redundancy.

Keywords: error cyclic ADC, cyclic ADC, algorithmic ADC, weight redundancy, static error of the ADC.

Вступ

Одним із видів АЦП послідовного наближення є алгоритмічні (циклічні) АЦП, які виділяються середньо швидкодією і роздільною здатністю до 14 біт. Широко використовується даний тип АЦП для побудови конвеєрних АЦП, а також як калібруючий АЦП, тому виробники перетворювачів форм інформації приділяють велику увагу даному сектору ринка АЦП. Циклічні АЦП 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.

Хоча алгоритмічні АЦП мають низку переваг, але їх точність значно залежить від точності виконання кожним блоком, що входить до АЦП, своїх функцій, тому що похибки накопичуються і циркулюють від циклу до циклу. Отже залишкові напруги зсуву на операційних підсилювачах і конденсаторах, шум і інжекція заряду через МОН-ключі, а також точність коефіцієнта множення є дуже критичними факторами.

Мета

Аналіз запропонованих методів структурно-функціональної організації прецизійних ПСН та ПНН на базі ДПС, їх передатних характеристик та похибок лінійності.

Задачі дослідження

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розглянути структуру циклічних АЦП;
- побудувати модель, що описує функціонування циклічного АЦП;
- дослідити процес утворення і накопичення статичних похибок циклічного АЦП.

Структура циклічного АЦП

Блок-схема алгоритмічного АЦП представлена на рис. 1

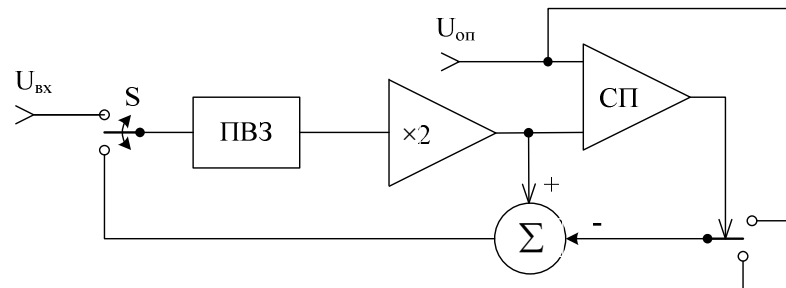


Рисунок 1 – Циклічний АЦП

Робота циклічного АЦП базується на алгоритмі МакЧарльза [1]. Під час першого циклу перетворення вхідний сигнал $U_{вх}$ проходить через пристрій вибірки-зберігання, множиться на 2 і порівнюється з

опорною напругою $U_{оп}$. Якщо $2 \cdot U_{вх} \geq U_{оп}$, то старший біт встановлюється в "1", а $U_{оп}$ віднімається від подвоєної вхідної напруги і отримане значення передається на наступний цикл. У тому випадку, коли $2 \cdot U_{вх} < 0$, то старший біт встановлюється в "0", а значення подвоєної вхідної напруги передається на наступний цикл. Аналогічним чином визначаються й інші розряди вихідного коду. Тобто для n -розрядного АЦП на кожному циклі алгоритму напругу можна представити за допомогою послідовності співвідношень:

$$\begin{aligned}
 1) U_0 &= 2 \cdot U_{вх}; \\
 2) U_1 &= 2 \cdot U_0 - a_0 \cdot U_{он} \Rightarrow 2 \cdot 2U_{вх} - a_0 \cdot U_{он} \Rightarrow 4U_{вх} - a_0 \cdot U_{он}; \\
 3) U_2 &= 2 \cdot U_1 - a_1 \cdot U_{он} \Rightarrow 2 \cdot (2U_0 - a_0 \cdot U_{он}) - a_1 \cdot U_{он} \Rightarrow 8U_{вх} - 2a_0U_{он} - a_1U_{он}; \\
 4) U_3 &= 2 \cdot U_2 - a_2 \cdot U_{он} \Rightarrow 2 \cdot (2U_1 - a_1 \cdot U_{он}) - a_2 \cdot U_{он} \Rightarrow 16U_{вх} - 4a_0U_{он} - 2a_1U_{он} - a_2U_{он}; \\
 5) U_4 &= 2 \cdot U_3 - a_3 \cdot U_{он} \Rightarrow 2 \cdot (2U_2 - a_2 \cdot U_{он}) - a_3 \cdot U_{он} \Rightarrow 32U_{вх} - 8a_0U_{он} - 4a_1U_{он} - 2a_2U_{он} - a_3U_{он}; \\
 &\dots \\
 i) U_{i+1} &= 2 \cdot U_i - a_i \cdot U_{он} \Rightarrow 2 \cdot (2U_{i-1} - a_{i-1} \cdot U_{он}) - a_i \cdot U_{он} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow 2^{i+2} \cdot U_{вх} - 2^i \cdot a_0U_{он} - 2^{i-1} \cdot a_1U_{он} - 2^{i-2} \cdot a_2U_{он} - \dots - a_iU_{он}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

В загальному випадку напругу, що формується за допомогою алгоритму МакЧарльза на i -тому кроці можна представити за допомогою співвідношення:

$$U_{i+1} = 2 \cdot U_i + a_i \cdot U_{он}, \tag{2}$$

де $a_i \in \{0, 1\}$ – двійкове значення i -го розряду вихідного коду.

Проте рівність (1) описує ідеальний процес перетворення двійкового циклічного АЦП. Реальне значення напруги можна представити за допомогою співвідношення: $U_i' = U_i + \Delta U_i$, де U_i – ідеальне значення напруги на i -тому циклі перетворення, ΔU_i – відхилення напруги на i -тому циклі перетворення, тому для n -розрядного АЦП реальне значення напруги на кожному циклі перетворення визначається наступними рівностями:

$$\begin{aligned}
 1) U_0 &= 2 \cdot (U_{вх} + \Delta U_{вх}); \\
 2) U_1 &= 2 \cdot (U_0 + \Delta U_0) - a_0 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow 2 \cdot 2(U_{вх} + \Delta U_{вх}) - a_0 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow 4(U_{вх} + \Delta U_{вх}) - a_0 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}); \\
 3) U_2 &= 2 \cdot (U_1 + \Delta U_1) - a_1 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow 2 \cdot (2(U_0 + \Delta U_0) - a_0 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он})) - a_1 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow 8(U_{вх} + \Delta U_{вх}) - 2a_0(U_{он} + \Delta U_{он}) - a_1(U_{он} + \Delta U_{он}); \\
 4) U_3 &= 2 \cdot (U_2 + \Delta U_2) - a_2 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow 2 \cdot (2(U_1 + \Delta U_1) - a_1 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он})) - a_2 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow 16(U_{вх} + \Delta U_{вх}) - 4a_0(U_{он} + \Delta U_{он}) - 2a_1(U_{он} + \Delta U_{он}) - a_2(U_{он} + \Delta U_{он}); \\
 5) U_4 &= 2 \cdot (U_3 + \Delta U_3) - a_3 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow 2 \cdot (2(U_2 + \Delta U_2) - a_2 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он})) - a_3 \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow 32(U_{вх} + \Delta U_{вх}) - 8a_0(U_{он} + \Delta U_{он}) - 4a_1(U_{он} + \Delta U_{он}) - 2a_2(U_{он} + \Delta U_{он}) - a_3(U_{он} + \Delta U_{он}); \\
 &\dots \\
 i) U_{i+1} &= 2 \cdot (U_i + \Delta U_i) - a_i \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow 2 \cdot (2(U_{i-1} + \Delta U_{i-1}) - a_{i-1} \cdot (U_{он} + \Delta U_{он})) - a_i \cdot (U_{он} + \Delta U_{он}) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow 2^{i+2} \cdot (U_{вх} + \Delta U_{вх}) - 2^i \cdot a_0(U_{он} + \Delta U_{он}) - 2^{i-1} \cdot a_1(U_{он} + \Delta U_{он}) - 2^{i-2} \cdot a_2(U_{он} + \Delta U_{он}) - \dots - a_i(U_{он} + \Delta U_{он}).
 \end{aligned} \tag{3}$$

Кожен блок, що входить до даного перетворювача (пристрій вибірки-зберігання, схема підсилення (множення) сигналу на основу системи числення, схема віднімання і компаратор) вносить свою похибку у вихідний код.

Моделювання роботи циклічного АЦП

Основним принципом функціонування циклічного АЦП є послідовне визначення ваг розрядів шляхом підсилення вхідного сигналу і віднімання від нього опорної напруги. Для моделювання роботи перетворювача використано базові схеми реалізації пристрою вибірки-зберігання, схем підсилення і віднімання. Кожна із схем, що входить до даної моделі, вносить похибку у результуючий сигнал, тому розглянемо дані блоки і визначимо за якими законами вони працюють.

Пристрій вибірки-зберігання (рис. 2):

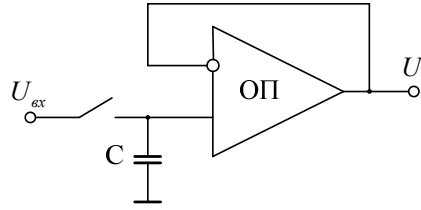


Рисунок 2 – Пристрій вибірки-зберігання

Даний блок слугує для фіксації значення аналогового сигналу в певний момент часу. Закон функціонування ідеального пристрою вибірки-зберігання:

$$U_i = U_{ex} . \quad (4)$$

Схема підсилення (множення) сигналу на коефіцієнт α (основу системи числення) (рис. 3):

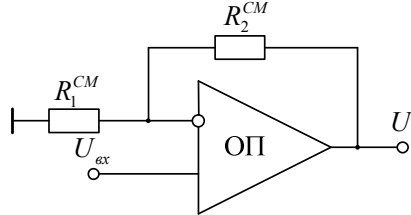


Рисунок 3 – Схема підсилення сигналу на α

$$U_i = U_{ex} \cdot \left(1 + \frac{R_2^{CM}}{R_1^{CM}}\right) . \quad (5)$$

Виходячи із співвідношення (5) систему числення перетворювача можна визначити за формулою:

$$\alpha = 1 + \frac{R_2^{CM}}{R_1^{CM}} = 1 + k^{CM} . \quad (6)$$

Відповідно з урахування виразу (6) співвідношення (5) можна представити у вигляді

$$U_i = U_{ex} \cdot \alpha . \quad (7)$$

Схема віднімання (рис. 4):

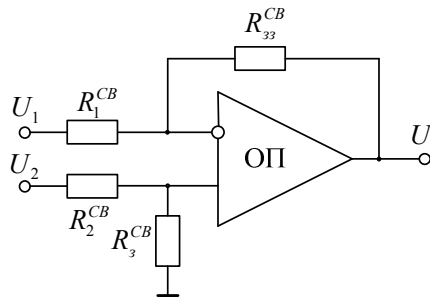


Рисунок 4 – Схема віднімання

$$U_i = U_2 \cdot \left(\frac{(R_{33}^{CB} + R_1^{CB}) \cdot R_3^{CB}}{(R_3^{CB} + R_2^{CB}) \cdot R_1^{CB}}\right) - U_1 \cdot \left(\frac{R_{33}^{CB}}{R_1^{CB}}\right) . \quad (8)$$

Якщо представити $\frac{(R_{33}^{CB} + R_1^{CB}) \cdot R_3^{CB}}{(R_3^{CB} + R_2^{CB}) \cdot R_1^{CB}}$ як k_1^{CB} та $\frac{R_{33}^{CB}}{R_1^{CB}}$ як k_2^{CB} то вираз (8) можна представити наступним чином:

$$U_i = k_1^{CB} \cdot U_2 - k_2^{CB} \cdot U_1 . \quad (9)$$

Оскільки $R_1^{CB} = R_2^{CB} = R_3^{CB} = R_{33}^{CB}$ то $k_1^{CB} = k_2^{CB} = 1$ і вираз (8) матиме вигляд: $U_i = U_2 - U_1$.

Таким чином з урахуванням вище отриманих співвідношень роботи блоків і відповідно до розглянутого алгоритму аналогово-цифрового перетворення напруга на виході схеми віднімання, що передається на наступний цикл в процесі перетворення описується виразом:

$$U_{(i+1)} = U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{on} . \quad (10)$$

Аналіз статичних похибок циклічного АЦП

Похибка перетворення циклічного АЦП визначається передусім відхиленням аналогових елементів перетворювача від номіналу і накопиченням даних похибок від циклу до циклу як мультиплікативних і адитивних.

Відносну похибку ваги i -го розряду може бути знайдено за формулою

$$\delta U_i = \Delta U_i / U_i, \quad (11)$$

$$\Delta U_i = U'_i - U_i, \quad (12)$$

де ΔU_i - абсолютна похибка сигналу на i -тому циклі перетворення; U'_i - реально отримане значення сигналу на i -тому циклі перетворення; U_i - значення сигналу на i -тому циклі ідеального процесу перетворення.

Похибка формування сигналу на виході пристрою вибірки-зберігання обумовлена похибкою задання тактових інтервалів в процесі перетворення; проходженням керуючого сигналу через паразитні ємності ключових елементів.

Основними характеристиками точності конденсаторів є допуск на номінальну ємність при виготовленні, температурний коефіцієнт ємності (ТКС), опір витоку діелектрика, коефіцієнт абсорбції.

При наявності відхилення ємності від свого номіналу її реальне значення визначається як:

$$C_{зб} = C_{зб} \cdot (1 + \delta C_{зб}), \quad (13)$$

де $C_{зб}$ - номінальне значення ємності, $\delta C_{зб}$ - відносне відхилення.

Крім того необхідно врахувати похибку від напруги зміщення нуля операційного підсилювача $U_{зм0}$:

$$\delta U_{зм0} = \frac{U_{зм}}{U_{ех.ном}}, \quad (14)$$

де $U_{ех.ном}$ - номінальне максимальне значення вхідної напруги операційного підсилювача;

$U_{зм}$ - номінальне значення напруги зсуву нуля операційного підсилювача.

Як уже зазначалось, для ідеального пристрою вибірки-зберігання $U_{вих} = U_{ех}$. Проте конденсатор в процесі зберігання розряджається, тому:

$$U_{вих} = U_{ех} \cdot (1 - \delta U_{ех}). \quad (15)$$

$$\delta U_{ех} = 1 - e^{-\frac{t_m}{\tau_p}} \quad (16)$$

де $\tau_p = R_{екв} \cdot C_{зб}$ - стала часу розрядження, (17)

t_m - тривалість одного такту.

$R_{екв} = \frac{R_{кл} \cdot R_{ех}}{R_{кл} + R_{ех}}$ - еквівалентний опір, де $R_{кл}$ - опір замкненого ключа пристрою вибірки-

зберігання, $R_{ех}$ - вхідний опір ОП пристрою вибірки-зберігання.

Тобто похибку, яку вносить ПЗВ можна визначити за допомогою наступного співвідношення:

$$\Delta k^{ПЗВ} = (-e^{-\frac{t}{R_{екв} \cdot C_{зб} \cdot (1 + \delta C_{зб})}}) \cdot (1 - \delta U_{зм0}^{ПЗВ}). \quad (18)$$

Підставляючи (18) у (9) можна визначити напругу на $i+1$ -му кроці U'_{i+1} з урахування похибки ПЗВ:

$$U'_{i+1} = U_i \cdot \Delta k^{ПЗВ} \cdot (1 + k^{CM}) - U_{он}, \quad (19)$$

а похибка, яку вносить ПЗВ можна визначити за співвідношенням:

$$\delta U_{i+1}^{ПЗВ} = \frac{[U_i \cdot \Delta k^{ПЗВ} \cdot (1 + k^{CM}) - U_{он}] - [U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{он}]}{U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{он}}, \quad (20)$$

Залежність $\delta U_{i+1}^{ПЗВ}$ від номеру розряду за наявності похибки ПЗВ зображено на рис. 5.

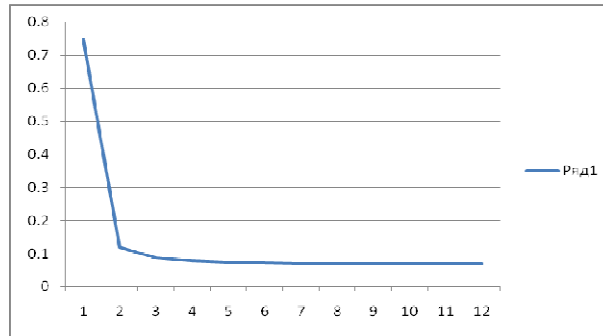


Рисунок 5 – Залежність $\delta U_{i+1}^{ПВЗ}$ від номеру розряду за наявності похибки ПВЗ

Похибки отримані на виході схем підсилення сигналу на α і схеми віднімання передусім обумовлені відхиленням резисторів від номіналу. Реальне значення резистора при наявності відхилення від номіналу визначається як $R = R \cdot (1 + \delta R)$, де R – номінальне значення опору, δR – відносне відхилення. А також врахуємо похибку від напруги зміщення нуля операційного підсилювача $U_{зм0}$ яку можна обрахувати за співвідношенням (14).

Отже отримаємо залежності сигналу на виході перетворювача за наявності похибок на підсилювачі і схеми віднімання.

Для схеми підсилення сигналу на основу системи числення α враховуючи співвідношення $R = R \cdot (1 + \delta R)$ та вираз (14) вирази (5) матиме вигляд:

$$U_i = U_{вх} \cdot \left(1 + \frac{R_2^{CM} + \Delta R_2^{CM}}{R_1^{CM} + \Delta R_1^{CM}}\right) \cdot (1 - \delta U_{зм0}^{CM}). \quad (21)$$

Тому похибка, яку вносить схема підсилення визначається рівнянням:

$$k^{CM} + \Delta k^{CM} = \left(1 + \frac{R_2^{CM} + \Delta R_2^{CM}}{R_1^{CM} + \Delta R_1^{CM}}\right) \cdot (1 - \delta U_{зм0}^{CM}). \quad (22)$$

Враховуючи вирази (21), (22) та підставляючи їх у вираз (9) можна визначити реальну напругу на $i+1$ -му циклі U'_{i+1} :

$$U'_{i+1} = U_i \cdot (1 + k^{CM} + \Delta k^{CM}) - U_{он}. \quad (23)$$

Похибка схеми множення:

$$\delta U_{i+1}^{CM} = \frac{[U_i \cdot (1 + k^{CM} + \Delta k^{CM}) - U_{он}] - [U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{он}]}{U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{он}}. \quad (24)$$

Графік залежності δU_{i+1}^{CM} від номеру розряду враховуючи похибку схеми множення зображено на рис. 6.

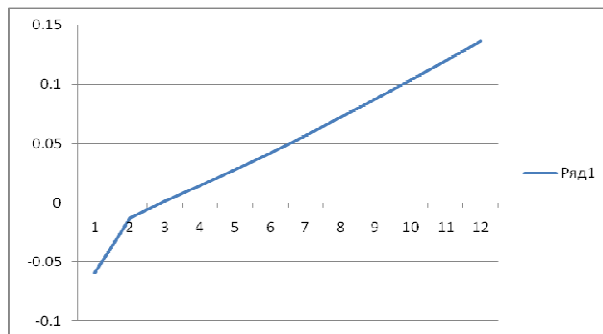


Рисунок 6 – Залежність δU_{i+1}^{CM} від номеру розряду за наявності похибки схеми множення

Відповідно похибки внесені схемою віднімання для кожного із входів можна представити рівняннями:

$$k_1^{CB} + \Delta k_1^{CB} = \frac{((R_{33}^{CB} + \Delta R_{33}^{CB}) + (R_1^{CB} + \Delta R_1^{CB})) \cdot (R_3^{CB} + \Delta R_3^{CB})}{((R_3^{CB} + \Delta R_3^{CB}) + (R_2^{CB} + \Delta R_2^{CB})) \cdot (R_1^{CB} + \Delta R_1^{CB})}, \quad (25)$$

$$k_2^{CB} + \Delta k_2^{CB} = \frac{R_{33}^{CB} + \Delta R_{33}^{CB}}{R_1^{CB} + \Delta R_1^{CB}}, \quad (26)$$

а вираз (8) набуває наступного вигляду:

$$U_i = (k_1^{CB} + \Delta k_1^{CB}) \cdot U_2 - (k_2^{CB} + \Delta k_2^{CB}) \cdot U_1. \quad (27)$$

Враховуючи вирази (25), (26) та (14) для схеми віднімання співвідношення (9) реальної реальної напруги на $i+1$ -му циклі U'_{i+1} буде знаходитись за співвідношенням:

$$U'_{i+1} = [(k_1^{CB} + \Delta k_1^{CB}) \cdot (U_i \cdot (1 + k^{CM})) - (k_2^{CB} + \Delta k_2^{CB}) \cdot U_{on}] \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB}), \quad (28)$$

$$\delta U_{i+1}^{CB} = \frac{[(k_1^{CB} + \Delta k_1^{CB}) \cdot (U_i \cdot (1 + k^{CM})) - (k_2^{CB} + \Delta k_2^{CB}) \cdot U_{on}] \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB}) - [U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{on}]}{U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{on}}. \quad (29)$$

Залежність δU_{i+1}^{CB} від номеру розряду із похибкою схеми віднімання представлено на рис. 7.

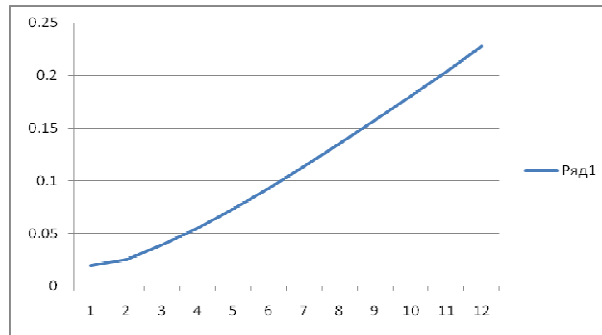


Рисунок 7 – Залежність δU_{i+1}^{CB} від номеру розряду із похибкою схеми віднімання

Відповідно вага розряду з урахуванням усіх видів похибок вираз (9) матиме вигляд:

$$U'_{i+1} = [(k_1^{CB} - \Delta k_1^{CB}) \cdot (U_i \cdot \Delta k^{ПВЗ}) \cdot (1 + k^{CM} + \Delta k^{CM}) - U_{on} \cdot (k_2^{CB} - \Delta k_2^{CB})] \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB}). \quad (30)$$

Залежність δU_{i+1} від номеру розряду за наявності усіх видів похибок можна знайти за співвідношенням:

$$\delta U_{i+1} = \frac{[(k_1^{CB} - \Delta k_1^{CB}) \cdot (U_i \cdot \Delta k^{ПВЗ}) \cdot (1 + k^{CM} + \Delta k^{CM}) - U_{on} \cdot (k_2^{CB} - \Delta k_2^{CB})] \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB}) - [U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{on}]}{U_i \cdot (1 + k^{CM}) - U_{on}}. \quad (31)$$

Залежність δU_{i+1} за наявності усіх видів похибок від номеру розряду представлено на рис. 8.

Розкривши дужки у виразі 30 отримаємо наступне співвідношення:

$$U'_{i+1} = [(k_1^{CB} - \Delta k_1^{CB}) \cdot (U_i \cdot \Delta k^{ПВЗ}) \cdot (1 + k^{CM} + \Delta k^{CM}) \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB})] - [U_{on} \cdot (k_2^{CB} - \Delta k_2^{CB}) \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB})] \quad (32)$$

Якщо представимо як Δ_1 похибку, яку вносять блоки у перший доданок і Δ_2 – як похибку другого доданку:

$$\Delta_1 = (k_1^{CB} - \Delta k_1^{CB}) \cdot \Delta k^{ПВЗ} \cdot (1 + k^{CM} + \Delta k^{CM}) \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB}), \quad (33)$$

$$1 + \Delta_2 = (k_2^{CB} - \Delta k_2^{CB}) \cdot (1 - \delta U_{3M0}^{CB}), \quad (34)$$

то вираз (2), який описує ідеальний процес перетворення циклічного АЦП, можна представити наступним чином:

$$U_{i+1} = (\alpha + \Delta_1) \cdot U_i + (1 + \Delta_2) \cdot a_i \cdot U_{on}, \quad (35)$$

де Δ_j – похибка, яка впливає на лінійність перетворювача,

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

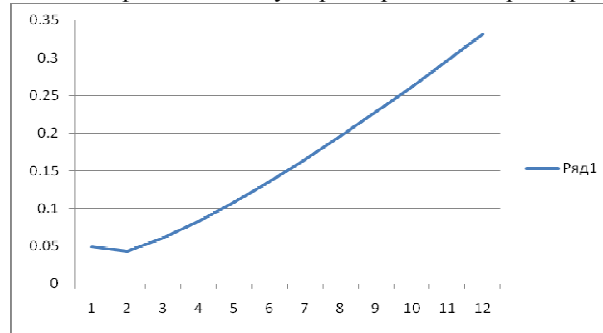


Рисунок 8 – Залежність δU_{i+1} від номеру розряду

Аналізуючи вплив кожного із блоків, що входять до циклічного АЦП, можна зробити висновок, що похибки ПВЗ і схеми множення є мультиплікативними, тобто входять до Δ_1 , а похибки схеми віднімання являються адитивними і відповідно входять до Δ_2 . Похибка Δ_2 призводить до зміни нахилу кодувальної характеристики і не впливає на лінійність перетворювача (рис. 9.б). Похибка Δ_1 впливає на лінійність перетворювача і призводить до появи пропуску кодів (рис. 9.в) у кодувальній характеристиці двійкового АЦП.

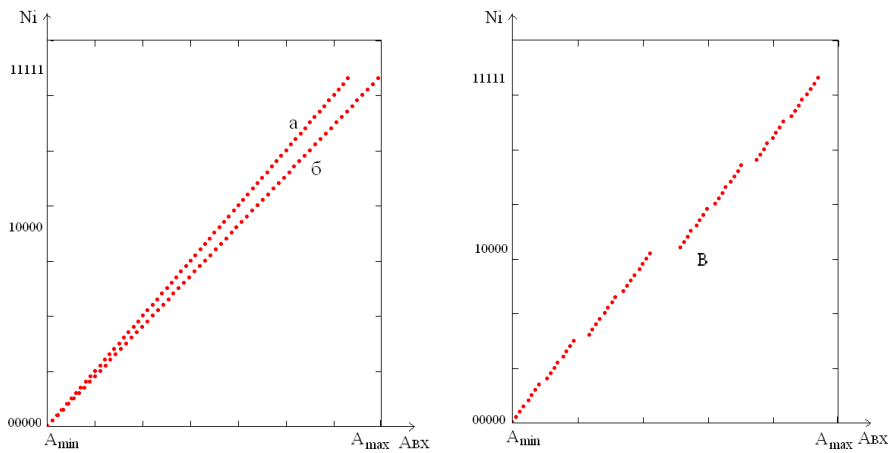


Рисунок 9 – Характеристика вход-вихід АЦП з основою системи числення $\alpha=2$:

а – АЦП з ідеальними вагами розрядів;

б – АЦП із $\Delta_2=0,1$; в – АЦП із $\Delta_1=0,2$.

Кодувальну характеристику циклічного АЦП із ваговою надлишковістю за наявності і відсутності відхиленя ваг розрядів показано на рисунку 10а та 10б.

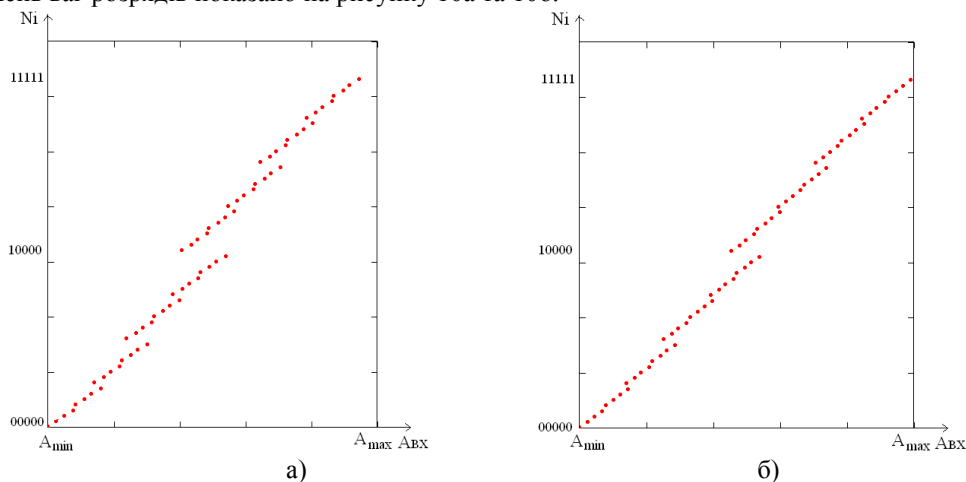


Рисунок 10 – Характеристика вход-вихід АЦП з основою системи числення

а) $\alpha=1,7, \Delta_1=0, \Delta_2=0$; б) $\alpha=1,7, \Delta_1=0,2, \Delta_2=0,1$

Використання НПСЧ дозволяє виключити розриви, які виникають через зазначені причини.

Висновки

У роботі розглянуто функціональні блоки, що входять до циклічного АЦП, досліджено процес утворення похибок даними блоками та приведено математичні співвідношення для їх визначення. Проведено класифікацію похибок, що дозволяє віднести їх до адитивних або мультиплікативних і показано вплив даних складових на передатну характеристику. Доведено, що похибки зміщення нуля і відхилення резисторів від номіналу схеми віднімання протягом одного такту впливають тільки на нахил кодувальної характеристики, а похибки пристрою вибірки-зберігання, схеми множення і накопичення похибок схеми віднімання змінюють робочу систему числення. Показано, що застосування вагової надлишковості дозволяє уникнути розривів кодувальної характеристики, що спричиняють похибки другої групи та відкоригувати їх методами цифрового калібрування.

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.– Москва: МИ. – 1992. – 416с.
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 // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. / Алипов Н.В. – 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. / - Винницкий политехнический институт. - Винница, 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. - Винница, 1997. – 16 с.
8. Стахов А.П. Аналого-цифровые преобразователи на основе избыточных систем счисления // Помехоустойчивые коды. / Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. – М.: Знание, 1989. – С. 40-48.

Відомості про авторів

Захарченко Сергій Михайлович – к.т.н., доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел. 58-02-25.

Бойко Олександр Володимирович – аспірант кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, e-mail: alexandr_boiko3@gmail.com.

Захарченко Галина Сергіївна – студентка, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.