

## МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОРЕКЦІЇ НЕЛІНІЙНОЇ ПОХИБКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Романюк О.Д.<sup>1)</sup>, Кочан Р.В.<sup>2)</sup>, Кочан В.В.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Тернопільський національний економічний університет, магістрант; <sup>2)</sup> Національний університет „Львівська політехніка”, к.т.н., доцент; <sup>3)</sup> Тернопільський національний економічний університет, к.т.н., доцент

### І. Вступ

Найвищу точність на сьогодні мають сигма-дельта АЦП, але їх нелінійність скупно нормована [1]. Наприклад, для 24-х розрядних сигма-дельта АЦП типу AD7714 нелінійність не перевищує 0,0015% (на рівні 16-го розряду), але не вказано умови та час експлуатації. Не дарма [1], стверджує “на сьогодні не існує методів простої та ефективної корекції похибки нелінійності АЦП”. В [2] запропоновано нові методи визначення і корекції нелінійності АЦП, які, при малій апаратній складності, забезпечують похибку нелінійності 0,0001...0,0002%. Але методи експериментальних досліджень АЦП з такою нелінійністю не представлені – їх розроблення залишається актуальним.

### ІІ. Відомі методи визначення нелінійної похибки АЦП

Відомі методи дослідження метрологічних параметрів АЦП та вимоги до взірцевого обладнання представлено в таблиці 1. Як видно з неї, таке обладнання дороге та не завжди доступне в Україні.

Метою роботи є розроблення методу експериментального дослідження ефективності корекції нелінійної похибки прецизійних АЦП, що вимагає обладнання нижчої точності.

Таблиця 1.

Відомі методи визначення метрологічних параметрів АЦП

Суть методу	Вимоги до обладнання	Недоліки
Зрівняння	В 3 – 5 разів точніше	Дорого, недоступно
Калібрування	В 3 – 5 разів точніше	Дорого, недоступно
Ввімкнення паралельно взірцевого АЦП	В 3 – 5 разів точніше	Обладнання не існує
За допомогою взірцевого ЦАП	В 3 – 5 разів точніше	Дорого, недоступно
Кодокеровані міри електричних величин	В 3 – 5 разів точніше	Дорого, недоступно
“Внутрішнє” самотестування (коди Фібоначчі)	В 3 – 5 разів точніше	Лише для АЦП порозрядного зрівноваження
Спотворення окремих квантів АЦП	В 3 – 5 разів точніше останнього розряду	Обладнання не існує
За густиною імовірності похибки	В 3 – 5 разів точніше	Дорого, недоступно
Гістограмний метод (стандарт ІЕЕЕ-1241)	В 3 рази менша амплітуда гармонік	Дорого, тривалість до 1000 год.

### ІІІ. Пропонований метод дослідження ефективності корекції нелінійної похибки АЦП

Ефективність корекції нелінійності АЦП не залежить від її амплітуди, тому ефективність вигідно визначати для АЦП великою нелінійністю. Пропонується під час досліджень ефективності “зіпсувати” досліджуваний АЦП, штучно збільшивши його нелінійність або цифровим методом (суматором додає до коду АЦП відповідну поправку), або аналоговим методом (за допомогою цифро-аналогового перетворювача). При експериментальних дослідженнях слід знайти відношення похибки АЦП без додаткової нелінійності до похибки з додатковою нелінійністю. Результат перетворення  $N_{x1}$  без додаткової нелінійності буде

$$N_{x1} = K \cdot U_x + f(U_x) \quad , \quad (1)$$

де  $U_x$  – вхідна напруга АЦП;  $f(U_x)$  – нелінійна похибка АЦП;  $K$  – коефіцієнт перетворення АЦП.

Коли ввести додаткову нелінійну похибку АЦП  $f^{\nabla}(U_x)$ , результат буде

$$N_{x2} = K \cdot U_x + f(U_x) + f^{\nabla}(U_x) \quad . \quad (2)$$

Після корекції нелінійності при відсутності додаткової нелінійності, згідно (1), запишемо

$$N_{x1}^K = K \cdot U_x + f^K(U_x) \quad , \quad (3)$$

де  $N_{x1}^K$  – код АЦП після корекції нелінійності без додаткової нелінійності;  $f^K(U_x)$  – невиключена нелінійна похибка АЦП у цьому випадку.

Після корекції нелінійності при наявності додаткової відомої нелінійності, згідно (2), запишемо

$$N_{X2}^K = K \cdot U_X + f^K(U_X) + f^{\nabla K}(U_X), \quad (4)$$

де  $N_{X2}^K$  – код АЦП після корекції нелінійності при дії додаткової нелінійності;  $f^{\nabla K}(U_X)$  – невиключена нелінійна похибка АЦП у другому випадку.

Різниця кодів без корекції нелінійних похибок АЦП, за (1) і (2), повинна відповідати  $f^\nabla(U_X)$

$$N_{X2} - N_{X1} = f^\nabla(U_X). \quad (5)$$

Якщо (5) не виконується, а невідповідність перевищує подвійну випадкову похибку АЦП, то експериментальні дослідження некоректні, їх результати не можна приймати до уваги.

Різниця кодів при корекції нелінійних похибок АЦП, за (3) і (4), повинна відповідати  $f^{\nabla K}(U_X)$

$$N_{X2}^K - N_{X1}^K = f^{\nabla K}(U_X). \quad (6)$$

Тоді коефіцієнт ефективності корекції  $K_{KOR}$  можна визначити як відношення (5) до (6)

$$K_{KOR} = \frac{f^\nabla(U_X)}{f^{\nabla K}(U_X)} = \frac{|N_{X2}| - |N_{X1}|}{|N_{X2}^K| - |N_{X1}^K|}. \quad (7)$$

Для визначення  $K_{KOR}$  по діапазону перетворення слід знайти його для не менше, ніж двічі більшої, ніж кількість точок корекції нелінійності та визначити мінімальне значення  $K_{KOR}^{MIN}$

$$K_{KOR}^{MIN} = \frac{|f^\nabla(U_X)|}{|f^{\nabla K}(U_X)|_{MIN}} = \frac{\left( |N_{X2}| - |N_{X1}| \right)}{\left( |N_{X2}^K| - |N_{X1}^K| \right)_{MIN}}. \quad (8)$$

Але (7) і (8) не враховують нелінійності взірцевого засобу, тому врахуємо вплив його нелінійності  $f_N(U_X)$  при написанні (1) і (2) і введемо її в (7)

$$K_{KOR} = \frac{|N_{X2}| - |N_{X1}| + |f_N(U_X)|}{|N_{X2}^K| - |N_{X1}^K| + |f_N(U_X)|}. \quad (9)$$

Якщо  $f^\nabla(U_X) \gg f(U_X)$  і  $f^\nabla(U_X) \gg f_N(U_X)$ , то вплив  $f_N(U_X)$  в чисельнику (9) малий. В знаменнику (9) можливо  $|N_{X2}^K| - |N_{X1}^K| \leq |f_N(U_X)|$ , тому відносна похибка  $\delta_K$  визначення  $K_{KOR}$  буде

$$\delta_K \approx \left( \frac{|N_{X2}^K| - |N_{X1}^K|}{|N_{X2}^K| - |N_{X1}^K| + |f_N(U_X)|} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (10)$$

Графіки залежності  $\delta_K$  від нелінійності взірцевого засобу  $f_N(U_X)$  показані на рис. 1.

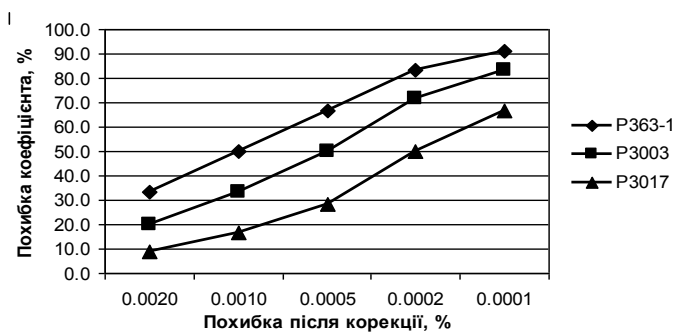


Рис. 1. Залежності похибки  $K_{KOR}$  від нелінійності взірцевого засобу

#### IV. Висновки

Пропонований метод дослідження ефективності корекції нелінійності АЦП дозволяє щонайменше в 5 разів знизити вимоги до необхідного взірцевого обладнання. Тому для дослідження АЦП найвищої точності можна використовувати доступне в Україні обладнання.

#### Список використаних джерел

1. Уолт Кестлер. Аналого-цифровое преобразование. М.: Техносфера, 2007. – 1016с.
2. Кочан Р.В. Прецизійні аналого-цифрові перетворювачі з бездемонтажною метрологічною самопаравіркою: монографія / Р.В. Кочан. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 252 с.