

ВИСОКОЛІНІЙНІ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО ВРІВНОВАЖЕННЯ ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ, ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ

Вінницький національний технічний університет

Розглянуто методи підвищення лінійності АЦП, що використовуються у системах комп'ютерного оброблення даних, наприклад, для сейсмозв'язки, цифрових аудіосистем та ін. Показано, що використання даних методів дозволяє будувати високолінійні багаторозрядні АЦП порозрядного врівноваження із ваговою надлишковістю на низькоточній елементній базі. Проаналізовано надлишкові позиційні системи числення, їх основні види, поняття абсолютної і відносної вагової надлишковості. Наведено структурні схеми перетворювачів форми інформації на основі НПСЧ і граф-схеми алгоритмів калібрування їх характеристики перетворення

Вступ

Сучасні комп'ютерні системи оброблення даних для сейсмозв'язки, цифрових аудіосистем та ін. вимагають застосування багаторозрядних АЦП і ЦАП. При розрядності 12-18 двійкових розрядів похибки диференціальної та інтегральної лінійності повинні не перевищувати 1-2 молодших розряди, а в деяких випадках і менше [1, 2]. Досягнення високої лінійності сучасними перетворювачами форми інформації пов'язані в основному із застосування нових технологічних, схемотехнічних і структурно-кібернетичних методів [2, 3]. Схемотехнічні методи пов'язані із ростом технологічних можливостей мікроелектроніки, удосконалення технології лінійних аналогових ІС, освоєння нанотехнологій. Проте основне значення в даній галузі мають саме схемотехнічні і структурно-кібернетичні методи, до яких можна віднести методи і алгоритми коригування, самокоригування, самокалібрування.

Досягнення точності АЦП, що відповідає більше ніж 12 розрядів, використовуючи лише технологічні методи, впирається в фундаментальне обмеження точності завдання параметрів аналогових елементів АЦП. Особливо складним є коригування похибок лінійності. Тому природним є використання методів самонастроювання характеристик перетворення, зокрема, са-

мокоригування ваг розрядів без фізичного впливу на них, а також коригування температурних і часових впливів. Автори пропонують застосувати як один із видів самонастроювання характеристики перетворення АЦП порозрядного врівноваження процедуру цифрового самокалібрування ваг розрядів [2, 4]. Такий підхід передбачає використання позиційних систем числення із ваговою надлишковістю. Його відмітною особливістю є можливість побудови високолінійних метрологічно стабільних АЦП порозрядного врівноваження, побудованих на низькоточних аналогових вузлах, без застосування спеціальної процедури лазерного припасування, а також можливість істотного скорочення часу перетворення і підвищення швидкодії за рахунок компенсації динамічних похибок першого і другого роду [2, 5, 6].

Мета досліджень і постановка задач

Метою статті є аналіз методів підвищення лінійності АЦП із застосуванням процедур самокалібрування характеристики перетворення АЦП порозрядного врівноваження із ваговою надлишковістю.

Згідно із зазначеною метою формулюються такі задачі:

1. Дослідити вплив значень інструментальних похибок ЦАП на спотворення характеристики перетворення АЦП.

2. Проаналізувати процедури самокалібрування характеристики перетворення АЦП порозрядного врівноваження на основі

3.

,

$$= \cdot -1 = \ll 2 \cdot 6, -2 = - = \cdot \gg$$

$$= \frac{-}{6}$$

(-)

$$= 1,618$$

$$= 1,84;$$

(. 1).

$$= /2$$

(. 1).

(wide code) (. 2)

()

. 1.

$$= \begin{matrix} > \\ =0 \end{matrix}$$

{1,1}; {0,1}

. 2.

0, 1, 2, ..., -1

, Q_t

$$Q_i =$$

$$= 6, -1 + 6, -2 + - + - >$$

набір ваг розрядів – це базис. Прикладом такого базису може бути набір ваг розрядів, пропорційних p -числам Фібоначчі або числам, значення яких пропорційні дубльованому двійковому ряду типу $1; 1; 2; 2; 4; 4; \dots 2^{n-1}, 2^{n-1}$ та інші [7].

Вагова надлишковість характеризується як перевищення суми ваг молодших розрядів над вагою старшого розряду у вигляді:

$$Q_i \leq \sum_{j=0}^{i-1} Q_j.$$

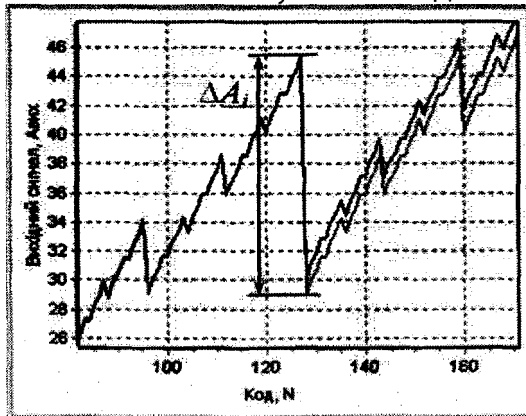
Причому, абсолютне значення вагової надлишковості визначається як:

$$\Delta \tilde{Q}_i = \sum_{j=0}^{i-1} Q_j - Q_i.$$

Відносна вагова надлишковість характерна для НПСЧ із природним розташуванням ваг розрядів, оскільки її значення не залежить від номера розряду і розраховується у вигляді:

$$\delta \tilde{Q} = \frac{\sum_{j=0}^{i-1} Q_j - Q_i}{\sum_{j=0}^i Q_j} \approx \frac{2-\alpha}{\alpha}.$$

Характерна для НПСЧ вагова надлишковість, яка відсутня у двійкових системах числення, має наслідком



наявність зон перекриття в характеристиці перетворення. Ширина зони перекриття для i -го розряду ΔA_i рівна значенню абсолютної вагової надлишковості $\Delta A_i = \Delta \tilde{Q}_i$. У цьому випадку, якщо абсолютні значення відхилень ΔQ_i ваг розрядів задовольняють нерівності $\Delta Q_i \leq \Delta A_i$, тоді характеристика перетворення надлишкового ЦАП розривів мати не буде.

У випадку додатного відхилення номінальної ваги розряду ЦАП характеристика перетворення АЦП, що його містить, буде мати немонотонність (рис. 3).

Коли ж вага старшого (i -го) розряду ЦАП перевищує номінальну вагу, в характеристиці перетворення АЦП з'являється пропуск коду (рис. 4), який у надлишковому АЦП є природним, оскільки алгоритм порозрядного перетворення слугує фільтром для появи в процесі перетворення лише окремих кодів, і з'явиться лише одна кодова комбінація з множини еквівалентних, залежно від значення відхилення ваги розряду. Багатозначність характеристики перетворення АЦП дозволяє досягти її неперервності навіть за умови наявності відхилень значень розрядів.

Пропуск коду в АЦП можна скоригувати в цифровий спосіб за рахунок використання процедури самокалібрування.

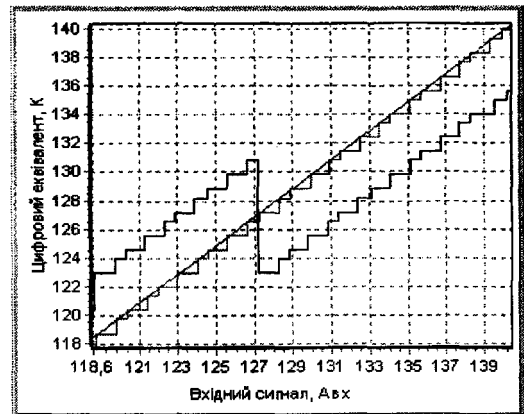


Рис. 3. Немонотонність характеристики перетворення надлишкового АЦП

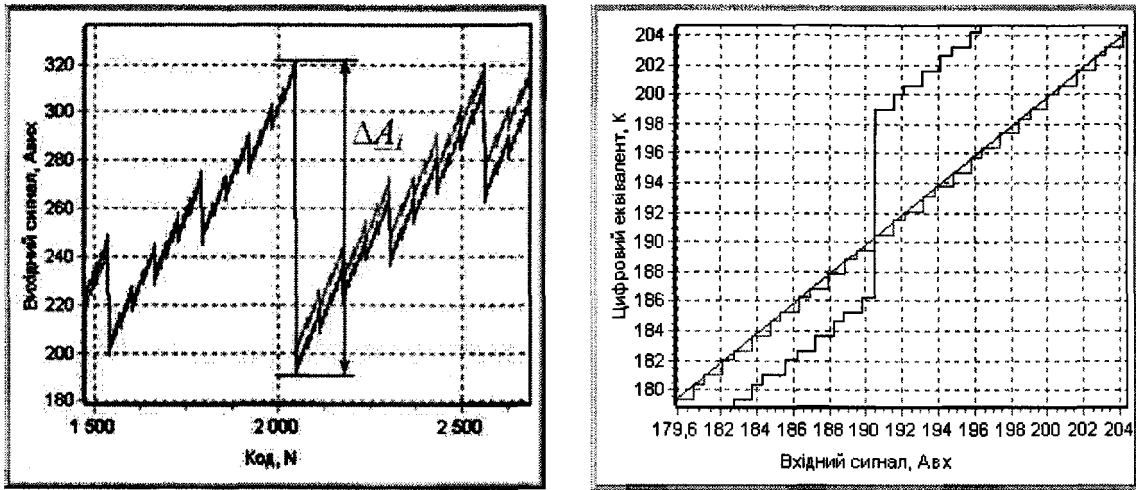


Рис. 4. Пропуск кодів у надлишковому АЦП

Самокалібрування є різновидом процедури самокоригування, що полягає у визначенні абсолютних відхилень ваг розрядів АЦП (ЦАП) від номінальних (дійсних) значень і визначення коригувальних поправок до характеристики вхід-вихід з перериванням процесу основного перетворення. Обчислення і введення коригувальної поправки у двійкових АЦП і ЦАП здійснюється безпосередньо під час основного перетворення і знижує швидкодію пристрою. Реалізація процедури коригування як правило вимагає наявності еталонних сигналів або взірцевих мір. Термін «самокалібрування» означає визначення відхилень ваг старших розрядів шляхом послідовного порівняння ваги поточного розряду із сумою певної групи сусідніх молодших розрядів. Це порівняння базується на основі існуючих між ними математичних співвідношень. Результати самокалібрування можуть багатократно використовуватися у процесі основного перетворення або вимірювання аж доти, поки внаслідок змінення параметрів аналогових вузлів АЦП або вимірювального каналу не виникне потреба здійснювати повторне самокалібрування.

В основу методу самокалібрування покладено принцип умовного розбиття розрядної сітки перетворювача на групу «неточних» старших розрядів і «точних» молодших (рис. 5). При цьому всі ваги розрядів мають однаковий технологічний допуск δQ , причому досить значний – 1÷10%, що значно

спрощує технологію виготовлення аналогових вузлів і, зокрема, дозволяє відмовитися від лазерного припасування ваг розрядів ЦАП. Це забезпечує цілісність структури матеріалів елементів, їх стабільність і зменшення вартості. Для двійкових АЦП існують і інші моделі розподілу похибок розрядної сітки, наприклад, старші – «точні», за умови що їх абсолютні відхилення не перевищують половини молодшого значимого кванта, і молодші, відповідно, умовно «неточні», коли їх абсолютна похибка також не перевищує половини молодшого значимого кванта, але відносна похибка більша ніж для старших розрядів. Проте це ускладнює технологію припасування ваг розрядів.

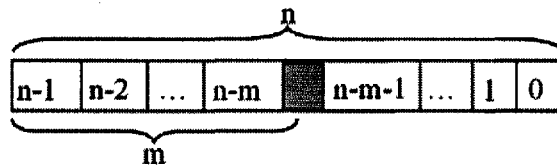


Рис. 5. Модель розрядної сітки АЦП у режимі самокалібрування

У АЦП на основі НПСЧ є можливість формувати ваги всіх розрядів з великим технологічним допуском. При цьому належність до «точних» молодших розрядів вибирається з умови:

$$\Delta Q_{i \max} \leq 0,5 \cdot Q_0,$$

де $\Delta Q_{i \max}$ – максимальне значення абсолютної похибки i -го розряду, що залежить від технологічного допуску δQ на відхилення від ідеального значення ваги i -го розряду $Q_{i \text{ id}}$:

$$\Delta Q_{i \max} = \delta Q \cdot Q_{i \text{ id}}.$$

них ваг розрядів АЦП послідовного наближення є нормальним. Тому для оцінювання ефективності стратегій самокалібрування використовуємо статистичні характеристики, а саме математичне сподівання $M(\Delta\bar{Q})$ (1) і середньоквадратичне відхилення $\sigma(\Delta\bar{Q})$ (2) [9].

$$M(\Delta\bar{Q}) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \Delta\bar{Q}_i, \quad (1)$$

де n – розрядність перетворювача форми інформації, $\Delta\bar{Q}_i = Q_i - Q_{i \text{ кал}}$ – похибка самокалібрування в i -й вибірці.

$$\sigma(\Delta\bar{Q}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{n-1} [\Delta\bar{Q}_i - M(\Delta\bar{Q})]^2}. \quad (2)$$

Значення математичного сподівання $M(\Delta\bar{Q})$ і середньоквадратичного відхилення $\sigma(\Delta\bar{Q})$ похибок самокалібрування,

що проводиться відповідно до різних стратегій, знайдені за допомогою спеціально розробленої комп'ютерної програми. Вона призначена для моделювання роботи АЦП порозрядного врівноваження, побудованого на неточному надлишковому ЦАП.

Таблиця 1. Результати комп'ютерного моделювання статистичних характеристик для різних методик самокалібрування

n_a	$\delta Q, \%$	r	$M(\Delta\bar{Q})$				$\sigma(\Delta\bar{Q})$			
			CI	СII	СIII	СIV	CI	СII	СIII	СIV
17	1	5000	-1,2	-15,4	0,3	0,03	11,9	6,9	10,3	3,6
	3		-2	-70	-0,4	0,1	37,7	34,5	34,3	11
	5		-3,7	-104	-0,5	-0,3	61,6	43	56,8	18,9
21	1		-8,5	-104,5	1,4	-0,4	82,2	46,8	72,3	25,4
	3		-25,6	-490,4	2,28	0,54	251,4	237,7	228,3	75,9
	5		-31,9	-712,7	7,5	-2,7	423,3	294,7	389,2	129,2
24	1		-36,3	-442,9	17,3	-2,9	348	198,8	306,3	107,6
	3		-108,5	-2077	-9,7	-1,1	1065	1007	967	321,7
	5		-135,9	-3018	32,1	-11,6	1791,8	1249	1647,9	546,9

Таблиця 2. Значення коефіцієнта подовження розрядної сітки для різних α

α	1,2	1,3	1,41	1,5	1,618	1,7	1,84	1,9	2
γ_n	3,8	2,64	2,06	1,71	1,48	1,31	1,18	1,08	1

Висновки

1. Показано, що використання позиційних систем числення із ваговою надлишковістю при побудові АЦП по-

Результати моделювання для АЦП з основою НПСЧ $\alpha=1,618$ і різною кількістю розрядів, наведено в табл. 1. У табл. 2 наведено значення коефіцієнтів подовження розрядної сітки двійкової системи числення для різних α .

У табл. 1 CI, CII, CIII, CIV відповідно перша, друга, третя, четверта стратегії самокалібрування, n_a – кількість розрядів НПСЧ, δQ – технологічний допуск, r – кількість реалізацій, $M(\Delta\bar{Q})$ – математичне сподівання, $\sigma(\Delta\bar{Q})$ – середньоквадратичне відхилення. Слід зазначити, що використання НПСЧ призведе до збільшення розрядної сітки перетворювача.

Аналіз результатів моделювання, наведених у таблиці, дає можливість вибрати конкретну стратегію самокалібрування. Вибір буде залежати від того, яка з них дасть найменші похибки перетворення АЦП порозрядного врівноваження із ваговою надлишковістю. Кількість неточних розрядів m залежить від значення технологічного допуску на елементи δQ . При збільшенні m і δQ вибір конкретної стратегії самокалібрування більш складний.

розрядного врівноваження дозволяє використовувати неточний ЦАП навіть при значних технологічних допусках на елементи, уникнути розриву характеристики перетворення і

застосовувати процедуру цифрового самокалібрування ваг розрядів.

2. Запропоновано чотири стратегії самокалібрування АЦП порозрядного врівноваження із ваговою надлишковістю, побудованого на неточному ЦАП.

3. Доведено, що збільшення допуску на похибки формування параметрів аналогових вузлів автоматично призводить до зростання числа неточних розрядів m і викликає потребу використовувати стратегію самокалібрування з осередненням на розгортках. При малих значення m можна використовувати інші стратегії самокалібрування.

Список літератури

1. *Walt Kaster*. Analog-Digital Conversion. - Analog Devices Inc. 2004. - 1230 p.

2. *Азаров О.Д.* Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення. Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. - 260 с.

3. *Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Смолов В.Б.* Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 160 с.

4. *Азаров О.Д., Кадук О.В.* Характеристика перетворення порозрядного АЦП, що самокалібрується, побудованого на неточному ЦАП із ваговою надлишковістю // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - 2007. - №3. - С. 8 - 18.

5. *Захарченко С.М., Азаров О.Д., Харьков О.М.* Самокалібровані АЦП із накопиченням заряду на основі надлишкових позиційних систем числення. Монографія / Під заг. ред. О.Д. Азарова. - Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. - 235 с.

6. *Азаров О.Д., Крупельницький Л.В.* Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів: Монографія. / Під заг. ред. О.Д. Азарова. - Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005 - 167 с.

7. *Азаров О.Д., Решетник О.О., Гарнага В.А., Кадук О.В.* Похибки квантування в АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення // Вісник ВПІ. - 2007. - №3. - С. 67 - 73.

8. *Стахов А.П., Азаров А.Д., Марценюк В.П., Мусеев В.И., Стейскал В.Я.* Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления. - К.: УМК ВО, 1988. - 180 с.

9. *Гмурман В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. 10-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2005. - 404 с.