

Р.В. Кочан¹, О.В. Кочан², Г.І. Клим¹¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра спеціалізованих комп’ютерних систем,²Тернопільський національний економічний університет,
НДІ Інтелектуальних комп’ютерних систем

МЕТОД КОРЕГУВАННЯ НЕЛІНІЙНОСТІ ДВОДІАПАЗОННИХ АЦП З БЕЗПОСЕРЕДНІМ ВИМІРЮВАННЯМ СПАДІВ НАПРУГИ НА РЕЗИСТОРАХ БАГАТОРЕЗИСТОРНОГО ПОДІЛЬНИКА НАПРУГИ

© Кочан Р.В., Кочан О.В., Клим Г.І., 2013

Розроблено метод формування тестових точок для визначення та коригування інтегральної нелінійності багаторозрядних АЦП, що використовують багаторезисторний подільник напруги з усередненням спадів напруги на усіх резисторах. Проведено дослідження впливу похибки опору резисторів багаторезистивного подільника та випадкової похибки АЦП на невиключену похибку коригування інтегральної нелінійності.

Ключові слова: інтегральна нелінійність, невиключена похибка, багаторезисторний подільник напруги.

There is developed method of testing points generation for identification and correction of integral nonlinearity of high performance ADC. The developed method is based on averaging all voltages of multi-resistors voltage divider. It is investigated influence of resistors' error and random error of ADC on residual error of integral nonlinearity correction for method based on multi-resistor divider.

Key words: Integral Nonlinearity, Residual Error, Multi-Resistor Voltage Divider.

Вступ

Розповсюдження засобів обчислювальної техніки та алгоритмів цифрового опрацювання сигналів призвели до того, що аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) стали необхідним компонентом фактично усіх вимірювальних систем, а їх метрологічні характеристики визначають характеристики систем загалом, тому покращення параметрів АЦП є актуальним завданням.

Огляд літературних джерел

Нішу прецизійних АЦП напруги постійного струму зайняли перетворювачі на базі сигма-дельта модулятора (СДМ) [1, 2]. Їх високу точність забезпечують структурно-алгоритмічні методи – встановлення нуля і калібрування, що зменшує вплив на результат перетворення адитивної та мультиплікативної складових похибки перетворення. Тому похибка результату перетворення визначається переважно похибками джерела напруги калібрування, комутуючого пристрою і залишковою похибкою АЦП, в якій домінує похибка нелінійності функції перетворення (ФП) АЦП. Наприклад, для 24-розрядного АЦП типу AD7714 [3] похибка нелінійності досягає 0,0015 %, що відповідає 16-му розряду, отже, априорі молодші 8 розрядів результату перетворення неточні та надлишкові. Тому для

підвищення точності перетворення АЦП більше ніж 0,0015 %, потрібно коригувати нелінійну складову його похибки. Також існують методи вимірювання (заміщення, відношення), точність яких визначається саме нелінійністю ФП АЦП [4]. У [5–7] запропоновано метод визначення нелінійності функції перетворення (ФП) АЦП у тестових точках з високою точністю, що ґрунтується на усередненні спадів напруги на групах послідовно включених резисторів багаторезисторного подільника напруги. Кількість тестових точок визначається кількістю резисторів у подільнику. Недоліком цього методу, який умовно називається «базовим», є те, що усі сформовані тестові точки відповідають ряду $\frac{1}{N}$ і знаходяться у нижній половині діапазону перетворення АЦП.

Мета роботи – розробити метод, що забезпечує рівномірний розподіл тестових точок за діапазоном перетворення АЦП.

1. Метод формування тестових точок

В результаті дослідження базового методу визначення ФП АЦП [5, 6] виявлено залежність невиключеної похибки нелінійності від густини розміщення тестових точок. Це дає можливість після коригування похибок за допомогою встановлення нуля, калібрування та базового методу, виділити в діапазоні перетворення АЦП два субдіапазони – нижню та верхню половини діапазону перетворення АЦП. При цьому невиключена похибка перетворення у цих субдіапазонах є різною, а невиключену нелінійну складову похибки верхнього субдіапазону приблизно на порядок перевищує невиключена нелінійна складову похибки нижнього субдіапазону. Враховуючи ці результати, пропонується формувати тестові точки визначення нелінійності ФП багатодіапазонного АЦП (в найпростішому випадку – дводіапазонного) як спади напруги на послідовно включених резисторах багаторезисторного подільника напруги, виміряних на нижньому субдіапазоні найвищого діапазону перетворення АЦП, та використовувати їх для визначення нелінійності ФП АЦП на нижчих діапазонах перетворення. Для подільника напруги, що складається з резисторів R_1, R_2, \dots, R_N , тестові точки формуються як спади напруги на послідовно включених резисторах $R_1; R_1, R_2; R_1 \dots R_3; R_1 \dots R_{N/2}$. Це дає змогу отримати $\frac{N}{2}$ тестових точок, розміщених рівномірно у нижній половині найвищого діапазону перетворення АЦП, та виміряних з порівняно високою точністю. Їх використання для калібрування та визначення нелінійності ФП АЦП на нижчому діапазоні забезпечує поєднання порівняно високої точності кожної із сформованих тестових точок і забезпечує рівномірний розподіл цих точок за діапазоном перетворення у випадку, якщо відношення напруги вищого діапазону до напруги нижчого більше ніж два, а також уможливорює формування довільної кількості тестових точок.

2. Методика дослідження невиключеної похибки коригування нелінійності АЦП

Експериментальні дослідження невиключеної похибки коригування нелінійності вимагають зразкового обладнання, похибка якого у 3...5 разів менша за очікувану залишкову нелінійність. Однак рівень нелінійності прецизійних АЦП утруднює експериментальні дослідження, тому для дослідження використано імітаційне моделювання, що дає змогу оцінити запропонований метод за різних типів ФП АЦП і параметрів подільника. Методика дослідження аналогічна до методики дослідження базового методу, описаної в [6], і включає такі етапи:

– у випадковий спосіб задаються криві, які імітують нелінійність функції перетворення АЦП на вищому та нижчому діапазонах перетворення та опори резисторів R_1, R_2, \dots, R_N ;

– розраховуються результати аналого-цифрового перетворення на відповідних комбінаціях резисторів для реалізації базового методу на вищому діапазоні АЦП;

- до цих результатів перетворення додається випадкова складова похибки АЦП;
- за цими результатами обчислюються параметри розрахованої функції нелінійності вищого діапазону перетворення АЦП;
- розраховуються спади напруги на послідовно включених резисторах $R_1; R_1, R_2; R_1 \dots R_3; R_1 \dots R_{N/2}$;
- для цих спадів напруги розраховуються результати аналого-цифрового перетворення на нижчому діапазоні АЦП;
- до цих результатів перетворення додається випадкова складова похибки АЦП;
- за цими результатами обчислюються параметри розрахованої функції нелінійності нижчого діапазону АЦП;
- похибка обчислюється як різниця між заданою та розрахованою кривими на нижчому діапазоні перетворення АЦП.

Отже, набираючи статистику, перевіряється твердження про придатність цього методу до використання в умовах дії випадкової похибки АЦП та розкилу опорів резисторів. Криві, що імітують нелінійність на двох діапазонах перетворення АЦП, аналогічно як і в [6], обиралися на основі полінома четвертого степеня з випадковими коефіцієнтами, причому критерієм придатності було неперевикнення максимального значення нелінійності по модулю 250 квантів. Приклади кривих, що імітують нелінійність, показані на рис. 1. Також показано огинаючі, які являють собою максимальні та мінімальні значення для 500 реалізацій експерименту.

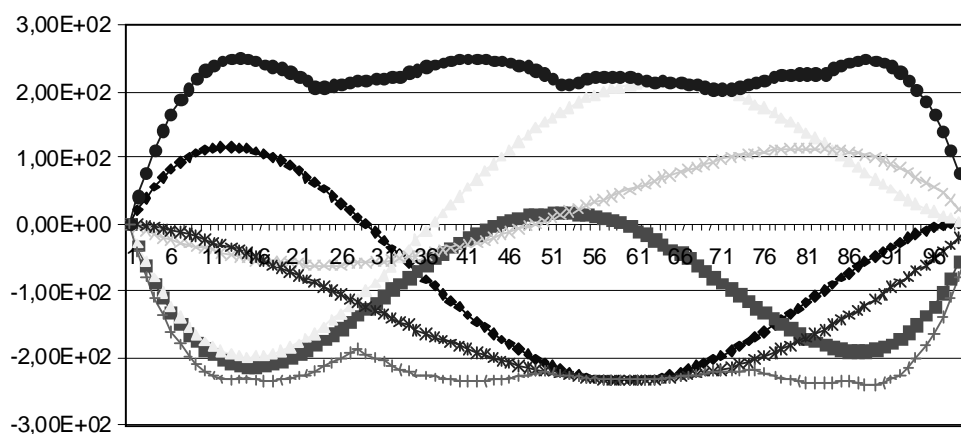


Рис. 1. Імітована нелінійність ФП АЦП

Верифікація програмного забезпечення здійснювалася за допомогою підстановки «ідеальних» резисторів у подільник і моделі АЦП без випадкової похибки. Отримане значення похибки не перевищувало 0,05 кванта, що можна пояснити похибкою заокруглення під час обчислень. Отже, розроблені моделі працюють коректно, їх можна використати для аналізу впливу параметрів компонентів схеми на невиключену похибку коригування нелінійності ФП АЦП.

Моделювання проводилось для подільника на 12 резисторів із максимальним відхиленням опору кожного резистора від номінального на 1 та 2 %. Результати дослідження невиключеної похибки коригування нелінійності від вхідної напруги для резисторів з відхиленням опору $\pm 1\%$ показано на рис. 2. Аналогічно як і для рис. 1, представлено огинаючі для 500 реалізацій обчислювального експерименту, а також кілька отриманих кривих. Отже, максимальне значення невиключеної похибки не перевищує 1,5 кванта, що є значенням, співмірним з дискретністю АЦП. Отже, запропонований метод, як і базовий, є нечутливий до відхилень опорів резисторів від номінального значення.

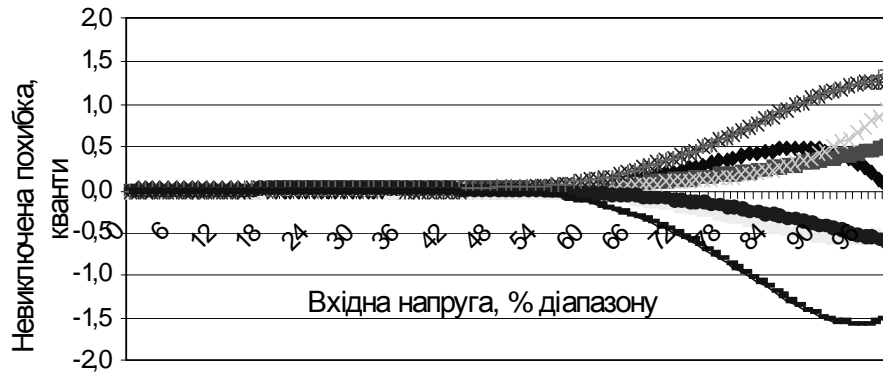


Рис. 2. Залежність невиключеної похибки нелінійності АЦП від вхідної напруги для відхилення резисторів $\pm 1\%$ від номінального значення

Результати дослідження випадкової складової похибки АЦП (шуму) на невиключену похибку для амплітуди шуму ± 6 квантів показано на рис. 3. Загалом ці результати подібні до результатів дослідження базового методу [6], але на відміну від нього, стосуються усього нижнього діапазону перетворення.

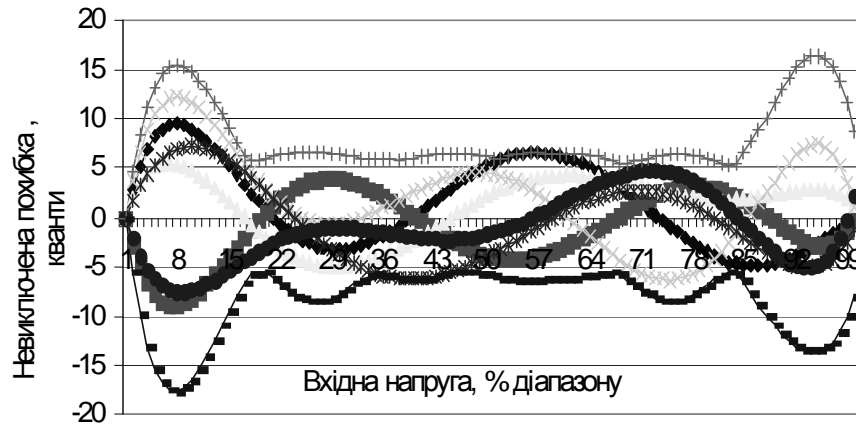


Рис. 3. Залежність невиключеної похибки від вхідної напруги для шуму АЦП ± 6 квантів

Залежність максимальної невиключеної похибки нижчого діапазону перетворення АЦП від величини випадкової похибки показана на рис. 4. Враховуючи лінійність цієї залежності, можна зробити висновок, що для запропонованого методу за умови використання дванадцятирезисторного подільника напруги коефіцієнт впливу шуму АЦП не перевищує три.

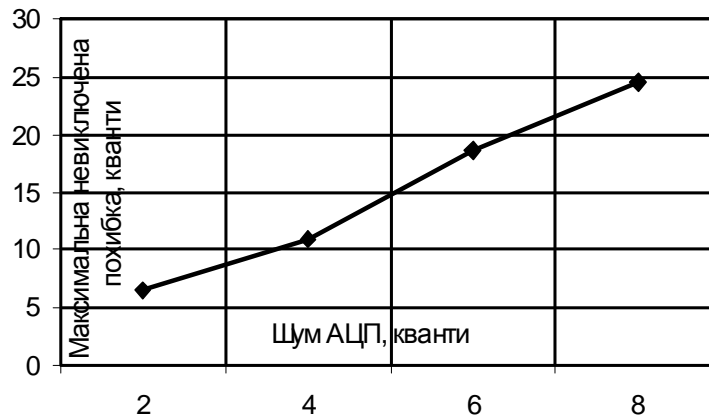


Рис. 4. Залежність максимального значення невиключеної похибки АЦП від амплітуди шуму АЦП

Висновки

В результаті дослідження запропонованого методу формування точок визначення нелінійності ФП нижчого діапазону перетворення АЦП можна зробити такі висновки:

- вплив відхилення опору резисторів від середнього значення на невиключену похибку є співмірний з дискретністю АЦП;
- домінуючий вплив на невиключену похибку має випадкова складова похибки АЦП з коефіцієнтом впливу приблизно 3;
- вибором параметрів схеми можна забезпечити формування тестових точок з напругами, що відповідають напругам перевірки нижчого діапазону перетворення АЦП згідно з чинними стандартами [8], що дають змогу перевіряти АЦП на нижчому діапазоні перетворення з використанням однозначної міри електричної напруги.

1. Fowler K. Part 7: analog-to-digital conversion in real-time systems. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*. – 2003. Vol. 6. Issue 3. – P. 58–64. 2. Kester W. Which ADC Architecture Is Right for Your Application? // *Analog Dialogue*. – 2005. – Vol. 39, № 2. – P.11–19. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL: <http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/39-06/architecture.pdf>. 3. 24-Bit Sigma-Delta, Signal Conditioning ADC with 2 Analog Input Channels – AD7714. *Data Sheets*. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7714/products/product.html>. 4. Кочан Р.В. Використання АЦП для вимірювання за методом заміщення // *Український метрологічний журнал*. – Харків, 2010. – № 3. – С. 11–16. 5. Кочан Р.В. *Прецизійні аналого-цифрові перетворювачі з бездемонтажною метрологічною самоперевіркою: монографія* / Р.В. Кочан. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 252 с. 6. Кочан Р.В. Похибка методу корекції інтегральної нелінійності АЦП з допомогою багаторезистивного подільника // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Секція комп’ютерні системи та мережі”*. – 2011. – № 717. – С.69–75. 7. Кочан Р.В. Визначення інтегральної нелінійності аналого-цифрових перетворювачів // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2007. – № 2, Т.2. – С. 159–162. 8. ДСТУ 3744-98. *Перетворювачі вимірювальні напруги та струму цифрові. Загальні технічні умови. Чинний від 01.07.2000*. – К.: Держстандарт України, 1998. – 10 с.