

УДК 004

ЗАСТОСУВАННЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРІЇ

Василевський О. Г., Букрєєва О. С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

У галузі спектрометрії мас для перетворення аналогового сигналу у цифровий використовують амплітудно-цифрові перетворювачі (АЦП). Їх призначення – вимірювання амплітуд вхідних імпульсних сигналів шляхом аналого-цифрового перетворення та накопичення отриманих даних у вигляді спектрів у внутрішній буферній пам'яті.

АЦП для спектрометрії відрізняються від аналого-цифрових перетворювачів загально технічного призначення як особливостями побудови, так і застосовуваної термінологією і характеристиками. Спектрометричні АЦП (САЦП) зазвичай мають додатково у своєму складі схему визначення імпульсу, виділення аналізованого діапазону амплітуд, схему лінійного пропускання, зарядно-розрядний пристрій для запам'ятовування вимірюваної амплітуди.

Різниця двох сусідніх рівнів квантування, що називається у звичайних АЦП квантом або одиницею (вагою) молодшого розряду, у спектрометрії визначається як ширина каналу. Для характеристики рівня шумів замість середньоквадратичного відхилення шуму використовують поняття профілю каналу, яке вводиться як залежність ймовірності реєстрації імпульсу в даному каналі від амплітуди цього імпульсу. В ідеальному випадку це був би графік прямокутної функції: якщо амплітуда імпульсу знаходиться всередині каналу, ймовірність реєстрації дорівнює одиниці, а якщо поза каналом дорівнює нулю [1].

Насправді свій шум АЦП розмиває межі каналу. У довідкових даних на САЦП якість профілю каналу оцінюється за довжиною плоскої вершини на рівні ймовірності реєстрації, що дорівнює 0,9.

Важливими характеристиками, що визначають якість САЦП, є також інтегральна та диференційна нелінійності. Під інтегральною нелінійністю розуміється відношення максимального відхилення реальної вимірювальної характеристики від апроксимуючої прямої до повної шкали, причому апроксимувальна пряма проводиться таким чином, щоб відхилення від неї були мінімізовані за методом найменших квадратів. Інтегральна нелінійність характеризує похибку енергетичної шкали спектрометра. Наприклад, щоб положення піку в спектрі визначалося з точністю до одного каналу приладом з 8192 каналами, інтегральна нелінійність повинна бути не гірше за 0,012%.

Диференційна нелінійність характеризує неоднорідність ширин каналів АЦП і є дискретною функцією номера каналу, але у довідкових даних на САЦП вказується її максимальне значення. Вимога щодо диференціальної нелінійності до САЦП незрівнянно жорсткіша, ніж до АЦП загально технічного призначення.

Дійсно, специфіка застосування САЦП полягає в тому, що його вихідні коди є адресами каналів накопичувача (пристрій, що запам'ятовує), в якому набирається амплітудний (енергетичний) спектр. У цьому достовірність кількості відліків у тому чи іншому каналі, тобто точність вимірювання інтенсивності випромінювання в залежності від його енергії, визначається двома складовими. Перша – статистична похибка. Зазвичай прагнуть отримати статистичну похибку близько десятих відсотків. Оскільки число відліків у каналі пропорційно ширині каналу, друга складова помилки – диференціальна нелінійність. Щоб зберегти точність вимірювань, необхідно забезпечити диференціальну нелінійність перетворювача також на рівні кількох десятих часток відсотка. При гірших показниках страждає як точність вимірів, а й у досліджуваному спектральному розподілі енергій випромінювання можуть виникнути помилкові апаратурні піки чи провали. Для порівняння, диференціальна нелінійність АЦП загальнотехнічного призначення нормується 0,5–1,0 одиниці молодшого розряду, тобто. 50–100%, що є неприйнятним [1].

Враховуючи сказане, з багатьох розроблених для промислової електроніки методів аналого-цифрового перетворення в спектрометрії знаходять застосування лише деякі з них. В основному використовуються АЦП із перетворенням Вілкінсона (Wilkinson D.H.) та АЦП порозрядного врівноважування.

Перевагою САЦП із перетворенням Вілкінсона є те що можливо забезпечити малу диференціальну нелінійність. Стабільність частоти опорного генератора можна забезпечити дуже високою, використовуючи кварцову стабілізацію. Тому рівномірність шкали, тобто однаковість ширини всіх каналів, фактично визначається одним загальним еталоном – розрядним струмом конденсатора, що запам'ятовує. Недоліком перетворювача за методом Вілкінсона є порівняно великий час перетворення, яке разом з часом циклу запису коду у запам'ятовуючій пристрій становить мертвий час АЦП. Тому АЦП подібного типу застосовуються в основному в прецизійних спектрометричних пристроях з відносно низькою ($\sim 10^4 \text{ c}^{-1}$) швидкістю рахунку, насамперед у спектрометрах заряджених частинок малої та середньої енергії з використанням напівпровідникових детекторів.

Прагнення підняти вхідне спектрометричне завантаження трактів змушує розробників апаратури все частіше звертатися до швидких методів амплітудно-цифрового перетворення, до яких належить і порозрядне врівноваження. В іноземній літературі цей метод зазвичай називають послідовним наближенням. Однак, диференціальна нелінійність цих АЦП є незадовільною для задач спектрометрії (50% замість допустимого 1%). Вирішенням проблеми є доповнення схеми елементами, що дозволяють реалізувати так званий метод шкали, що ковзає.

У зв'язку з цим, останнім часом стали використовуватися і паралельні АЦП, які працюють із цифровими сигнальними процесорами.

Література:

[1] Гаврилов Л.Е. Основы ядерной электроники. Ч.1: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. 164 с.