

# Переваги аналого-цифрових перетворювачів Монте-Карло

Семаньків М.В.

Доц. кафедри інформатики, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
вул. Шевченка 57, м. Івано-Франківськ, Україна, dlyamarii@gmail.com

**Анотація** — визначено перспективи покращення технічних характеристик аналого-цифрових перетворювачів, наведено результати порівняльного аналізу аналого-цифрових перетворювачів різних типів.

**Ключові слова:** метод Монте-Карло, аналого-цифровий перетворювач, генератор псевдовипадкових чисел.

## The advantages of analog-to-digital converters Monte-Carlo

Semankiv M.V.

Doc., Department of Computer Science, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University  
Shevchenko str., 57, Ivano-Frankivsk, Ukraine, dlya\_marii@gmail.com

**Abstract** — the improvement of the technical specifications of analog-to-digital converters has been indicated in the article, the comparative analysis of analog-to-digital converters of various types has been listed

**Keywords:** Monte Carlo, analog-to-digital converter, pseudo-random number generator.

### ВСТУП

Аналого-цифрові і цифрово-аналогові перетворювачі (АЦП і ЦАП) є найбільш складними частинами пристроїв обміну інформацією, які в значній мірі визначають якість та ефективність функціонування системи в цілому. Підвищення технічних характеристик аналого-цифрового (АЦ) перетворення є однією з важливих проблем сучасних засобів вимірювання. Це стимулює появу нових високоточних методів, засобів перетворення і оброблення вимірювальної інформації в аналоговій і цифровій формі. Основними вимогами, що висуваються до сучасних перетворювачів форми інформації, є підвищення швидкодії, точності, надійності та зниження собівартості, структурної складності, дотримання стабільності характеристик при змінненні зовнішніх чинників та протягом тривалого часу експлуатації.

### БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ МОНТЕ-КАРЛО

Вдосконалення точності та швидкодії, що є основними характеристиками АЦП, стає центральними напрямками досліджень у галузі отримання, перетворення та оброблення аналогових сигналів. Переважна більшість сучасних високоточних АЦП системного застосування використовує структурно-алгоритмічні методи покращення метрологічних характеристик. Більшість з цих методів дозволяє покращувати тільки вибрані показники, тобто або тільки точність перетворення, або тільки швидкодію. При використанні АЦП у вимірювальних пристроях важливу роль відіграє точність перетворення, а

швидкодія даних пристроїв обмежена реальною швидкістю реєстрації результату вимірювання. При використанні АЦП в якості пристрою вводу вимірювальної інформації від нього вимагається висока швидкодія [1-2].

Для забезпечення високої швидкості та точності перетворення інформації у обчислювальних системах використовують наступні два типи аналого-цифрових перетворювачів: аналого-цифровий перетворювач послідовного наближення та сигма-дельта АЦП. У високошвидкісних системах керування і багатоканальних системах використовуються АЦП послідовного наближення, що обумовлено швидкістю формування вибірки. Сигма-дельта АЦП базується на усередненні вхідного сигналу за визначений проміжок часу і часто використовується для систем, де виникає потреба високої розрядності, наприклад, для вимірювальних систем. Для підвищення розрядності та підвищення швидкодії в порівнянні з вказаними типами АЦП запропоновано АЦП Монте-Карло, що класифікується до інтегруючих перетворювачів і володіє перевагами даного класу, зокрема простотою технічної реалізації.

На рис. 1. приведені області, що займають сучасні АЦП різного типу на площині розрядність — швидкодія.

Практично всі методи побудови інтегруючих перетворювачів реалізують наближені чисельні методи інтегрування і мають методичну похибку. Тому при проектуванні інтегруючих аналого-цифрових інформаційно-вимірювальних перетворювачів слід попередньо оцінювати методичну похибку інтегрування, на основі якої вибирається метод побудови інтегруючого

перетворювача. Похибка методу Монте-Карло становить  $\approx \sqrt{1/n}$ , де  $n$  – кількість випадкових вибірок, які формуються генератором випадкових чисел. Зменшити похибку обчислень можна за рахунок збільшення кількості генерованих випадкових значень. Проте слід зауважити, що на методи генерування для методу Монте-Карло накладається вимога високої якості рівномірності послідовності випадкових чисел і забезпечення простоти технічної реалізації генератора. Результати досліджень характеристик відомих методів генерування, показують про недотримання обох вимог, що вказує на потребу розробки методу генерування випадкових чисел для забезпечення умов рівномірності та простоти структурної складності.

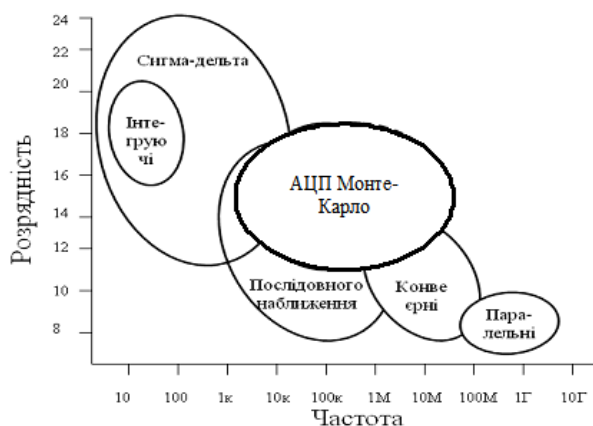


Рисунок 1 – Швидкодія і розрядність різних типів АЦП

Для аналого-цифрового перетворювача Монте-Карло на області сканування сумуються результати порівняння вхідного сигналу з сигналом псевдовипадкового характеру [4]. Якщо на періоді перетворення (області сканування) сформувати  $2^n$  значень послідовності псевдовипадкових чисел і відповідно здійснити  $2^n$  порівнянь, та підрахувати кількість одиниць результату порівнянь, що є пропорційним інтегралу функції аналогового значення вхідного сигналу перетворення, та здійснювати подальше інтегрування значення вхідного параметру на наступній області сканування, то даний тип АЦП відповідає за швидкодією та простотою технічної реалізації розгоргаючому АЦП, проте зі значно вищою точністю, яка досягається внаслідок застосування методу Монте-Карло. Згідно методу Монте-Карло здійснюється усереднення вхідного сигналу на області сканування (рис. 2).

Особливістю інтегруючих АЦП є їх висока стійкість до періодичних завад. При використанні методу Монте-Карло вхідний сигнал інтегрується на визначеному часовому інтервалі, що дозволяє подавити заваду на етапі перетворення. Високі показники лінійності, стійкість до завад, принцип дискретизації, що не потребує застосування

пристроїв вибірки і зберігання, вказують на передові позиції розробки АЦП Монте-Карло та інформаційно-вимірювальних систем на їх основі.

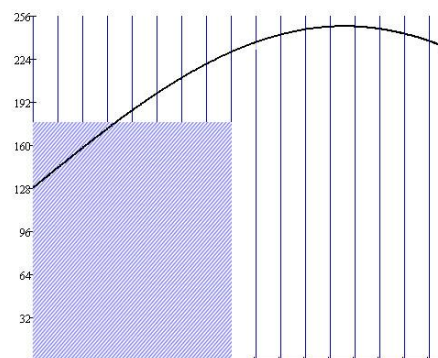


Рисунок 2 – Усереднене значення вхідного сигналу при аналого-цифровому перетворенні Монте-Карло

При виборі багатоканального аналого-цифрового перетворювача найчастіше надається перевага перетворювачам, що складаються з вхідного аналогового комутатора, пристрою вибірки і зберігання та АЦП. Недоліком вказаного типу багатоканального АЦП є послідовне зчитування вхідних даних та їх почергове аналого-цифрове (АЦ) перетворення. Ще одним варіантом архітектури є перетворювач, де на вході кожного каналу використовуються пристрої вибірки і зберігання, які паралельно фіксують миттєві значення вхідних сигналів по всіх каналах, після чого за допомогою комутатора та АЦП проводиться їх послідовне АЦ перетворення. Недоліком такої системи є необхідність використання високошвидкісного АЦП. Даний недолік можна ліквідувати шляхом реалізації регулярної архітектури на основі  $n$  одноканальних АЦП, які працюють в паралельному режимі. Ще одним варіантом побудови багатоканального аналого-цифрового перетворювача є розміщення на кожному каналі АЦП, проте даний спосіб вирізняється своєю дороговизною та найвищою апаратною складністю. Тому при виборі архітектури АЦП необхідно враховувати частотний діапазон вхідних сигналів, необхідну точність перетворення та саму собівартість.

Структурна схема багатоканального АЦП Монте-Карло представляє розпаралелену структуру із відповідною кількістю вимірювальних каналів, що включають вхідні компаратори, елементи “&” стробування та суматори, які поканально додають імпульси, кількість яких пропорційна значенню параметра перетворення. По паралельній вихідній шині подаються коди перетворення. На другі входи компараторів  $K_i$  подається опорний скануючий сигнал  $U_{on}$ , що формується генератором випадкових чисел ПВГ, в склад якого входять компаратор, ЦАП, генератор тактових імпульсів та лічильник. По окремих

виходах із генератора проводиться також поканальне стробування та рестарт каналних лічильників. Синхронне вивантаження вихідних кодів лічильників спрощує процедуру датування відліків під час вводу повідомлень в цифрову інформаційну систему [5-6].

При порівнянні АЦП Монте-Карло і АЦП послідовного наближення слід відзначити, що обидва вказані типи забезпечують високу точність перетворення, низьку вартість виробництва, енергоспоживання та тепловиділення, оскільки в їх склад входить один компаратор. Крім того пристрій вибірки та зберігання в АЦП послідовного наближення зберігає постійне значення протягом всіх тактів перетворення для  $n$ -розрядного перетворювача. Метод Монте-Карло не потребує пристрою вибірки-зберігання, оскільки в кожному з тактів перетворення здійснюється порівняння вхідного сигналу з сигналом псевдовипадкового характеру, що дозволяє розширити частотну смугу та підвищити точність перетворення швидкозмінних сигналів. АЦП послідовного наближення застосовуються на частотах перетворення від кількох герц до десятків кілогерц. При цьому досягається точність перетворення до 18 розрядів. АЦП Монте-Карло дозволяє розширити частотний спектр, або підвищити розрядність перетворення, забезпечуючи простоту технічної реалізації.

Сигма-дельта АЦ перетворювачі широко застосовують у багатоканальних вимірювальних пристроях, де необхідний значний динамічний діапазон при низькій швидкості формування відліків, чи перетворенні сигналів з низькою динамікою зміни. При стрибкоподібній зміні сигналу (або зміні на невідому величину), що має місце при багатоканальних вимірюваннях, початковосформовані коди є недостовірними. У режимі багатоканальних вимірювань темп формування потоку даних в 4 рази нижчий, ніж в одноканальному режимі (перші три вимірювання можуть виявитися недостовірними і відкидаються мікроконтролером). Користувачі точних сигма-дельта перетворювачів вимушені застосовувати кожен АЦП індивідуально на кожний з каналів внаслідок великого часу установа вхідних фільтрів, коли інтегруючи, багатоетапні та АЦП послідовного перетворення дозволяють багатоканальне мультиплексування. Це спричиняє до значних апаратурних затрат на реалізацію багатоканальних систем, що прямим чином

відображається на їхній вартості та конкурентоспроможності на ринку.

Проведено дослідження ефективності застосування АЦП Монте-Карло у системах віброакустичного діагностування в порівнянні з АЦП послідовного наближення, на прикладі діагностування роботи вентиляторного агрегату. Висока точність перетворення на основі методу Монте-Карло підтвердило ефективність його використання для перетворення аналогового вібраційного сигналу в цифровий в широкому діапазоні частот, як засобу вимірювання і аналізу вібрації, з метою отримання достовірної інформації про стан об'єкту у необхідній кількості і якості для забезпечення дослідження його технічного стану.

## ВИСНОВКИ

Для АЦП Монте-Карло частота перетворення визначається динамічними характеристиками ЦАП і компаратора. Час перетворення визначається кількістю генерованих значень на одному відліку. При використанні методу Монте-Карло вхідний сигнал інтегрується на визначеному часовому інтервалі, що дозволяє подавити заваду на етапі перетворення. Високі показники лінійності, стійкості до завад, принцип дискретизації, що не потребує застосування пристроїв вибірки і зберігання, вказують на передові позиції розробки АЦП Монте-Карло та інформаційно-вимірювальних систем на їх основі.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Г.Д. Бахтиаров, В.В. Малинин, В.П. Школин. Под ред. Г.Д. Бахтиарова Аналого-цифровые преобразователи. – Издательство М.: Сов. радио, 1980 г., - 277 с.
- [2] Гитис Э.И. "Преобразователи информации для электронных цифровых измерительных устройств" – М.: "Энергия", 1970 г., - 400 с.
- [3] Смоллов В.Б., Фомичев В.С. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые нелинейные вычислительные устройства. – Л.: Энергия, 1974 г., - 264 с.
- [4] Петришин Л.Б. Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації в базисі Галуа. – Київ: ІЗІМН МОУ, 1997, - 237 с.
- [5] Лаврів М.В. Аналого-цифрове перетворення Монте-Карло в засобах вимірювання і обробки вібраційних сигналів / М.В. Лаврів, Л.Б. Петришин // Комп'ютинг. – 2008. – Т. 7, № 1. – С.43-50.
- [6] Лаврів М.В. Застосування АЦП Монте-Карло для покращення технічних характеристик перетворювачів / М.В. Лаврів // Вісник СНУ ім. В.Далія. – 2008. – №8 (126). – С. 326-331.