

Високोलінійні аналого-цифрові перетворювачі з ваговою надлишковістю, що самокалібруються

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено особливості побудови високоточних аналого-цифрових перетворювачів із ваговою надлишковістю та механізмами самокалібрування. Розглянуто сучасні підходи до реалізації АЦП, проаналізовано вплив апаратних похибок і шумів на точність перетворення, а також методи їх компенсації. Особливу увагу приділено використанню надлишкових вагових коефіцієнтів і алгоритмів автоматичного калібрування, що дозволяють підвищити лінійність та стабільність характеристик. Визначено ефективність застосування таких рішень у вимірювальних комплексах і цифрових системах обробки сигналів.

Ключові слова: аналого-цифрові перетворювачі, вагова надлишковість, самокалібрування, точність вимірювання, цифрова обробка сигналів.

Abstract

This paper examines the design features of high-precision analog-to-digital converters with weighted redundancy and self-calibration capabilities. Modern ADC architectures are reviewed, along with the impact of hardware imperfections and noise on conversion accuracy and methods for their compensation. Special attention is given to redundant weighting techniques and automatic calibration algorithms that improve linearity and stability. The effectiveness of these approaches in measurement systems and digital signal processing applications is highlighted.

Keywords: analog-to-digital converters, weighted redundancy, self-calibration, measurement accuracy, digital signal processing.

Вступ

Аналого-цифрові перетворювачі виконують важливу функцію в сучасних електронних системах; вони виконують функцію перетворення безперервних аналогових сигналів у цифровий формат, який може бути використаний комп'ютерами для додаткової обробки. Ці аналого-цифрові перетворювачі мають багато застосувань у багатьох типах приладів, що використовуються для вимірювальних цілей, у системах керування, у телекомунікаціях, у медичному приладобудуванні та в інших галузях, що потребують високоякісної обробки сигналів або даних.

Зі зростанням цифрових технологій та ретельного аналізу інформації потреба у швидких, ефективних, точних та стабільних АЦП стала ще більшою, ніж раніше. Навіть невеликі похибки перетворення можуть суттєво вплинути на вимірювання пристрою або роботу складної електронної системи. Це вимагало від нас створення кращих способів конструювання нових типів пристроїв.

Одним зі способів підвищення ефективності аналого-цифрового перетворювача є використання вагової надмірності та самокалібрування. Найефективнішим методом досягнення цього в поєднанні з ваговою надмірністю є наявність надлишкових форм сигналів, які можна використовувати для компенсації впливу неточностей, що виникають в елементній системі, а також використання алгоритму автоматичного калібрування, який можна використовувати для налаштування параметрів пристрою під час його роботи. Це дозволяє отримати більшу точність, менше нелінійних спотворень та надійнішу роботу АЦП в різних робочих середовищах.

Основна частина

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) призначені для перетворення безперервного аналогового сигналу у дискретний цифровий код. Однією з ключових характеристик АЦП є точність вимірювання, яка визначається розрядністю, швидкодією та стабільністю параметрів елементної бази. У традиційних архітектурах похибки можуть виникати через шуми, квантовану похибку, а також через нестабільність опорних напруг і температурні впливи на компоненти схеми [1].

Однією з поширених архітектур є послідовно-наближувальний АЦП (SAR), у якому використовується внутрішній цифро-аналоговий перетворювач для поетапного визначення значення сигналу. У разі впровадження вагової надлишковості така структура здатна коригувати помилки на кожному кроці перетворення, що значно підвищує точність без суттєвого ускладнення апаратної

частини [2].

Іншим варіантом реалізації є АЦП із використанням конденсаторних матриць, де вагові коефіцієнти задаються ємностями. Надлишковість у таких схемах дозволяє компенсувати відхилення значень конденсаторів, які виникають через технологічні неточності виготовлення, та забезпечує більш стабільні результати перетворення. Важливою особливістю високоточних АЦП є наявність механізмів самокалібрування. Ці алгоритми дозволяють автоматично визначати та коригувати похибки, що виникають у процесі роботи, без необхідності зовнішнього втручання. Самокалібрування може виконуватися як під час запуску пристрою, так і в реальному часі, що забезпечує стабільність параметрів у змінних умовах експлуатації [3].

Висновки

У роботі розглянуто особливості побудови надлишкових цифро-аналогових перетворювачів та їх використання у сучасних електронних системах. Проаналізовано принципи надлишкового кодування, які дозволяють зменшити вплив похибок елементів схеми та підвищити точність перетворення сигналів.

Показано, що застосування надлишкових структур у цифро-аналогових перетворювачах дає можливість компенсувати технологічні відхилення параметрів компонентів, зменшити нелінійні спотворення та підвищити стабільність роботи пристроїв.

Отже, використання надлишкових цифро-аналогових перетворювачів є перспективним напрямом розвитку сучасної електроніки, оскільки такі пристрої забезпечують високу точність перетворення сигналів і можуть ефективно застосовуватися у вимірювальних, телекомунікаційних та інформаційно-обчислювальних системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aazarov O., Bohomolov S., Krupelnyskyi L., Obertiukh M. Textbook on analog-to-digital and digital-to-analog conversion. Vinnytsia: VNTU, 2024. 316 p.
2. Kumar Adepu A., Narayanam B. Design of a segmented current steering digital-to-analog converter using PMOS cascode current source in UMC 65 nm technology. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2025. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v39.i2.pp821-830>
3. Improving the accuracy of digital-to-analogue converters. Measurement: Sensors. 2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101419>

Азаров Олексій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри ОТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Богомолів Сергій Віталійович – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Вовк Олексій Андрійович – студент групи 2КІ-226, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: errrfe1@gmail.com.

Azarov Oleksiy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Bogomolov Serhiy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Vovk Olexii – Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: errrfe1@gmail.com.