

НАДЛИШКОВІ ЦИФРО-АНАЛОГОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто принципи побудови надлишкових цифро-аналогових перетворювачів та їх використання у сучасних електронних системах. Проаналізовано основні архітектури ЦАП, методи підвищення точності перетворення та зменшення похибок за рахунок використання надлишкових кодів. Показано переваги таких перетворювачів у високоточних вимірювальних та телекомунікаційних системах.

Ключові слова: цифро-аналогові перетворювачі, надлишкове кодування, електронні системи, точність перетворення, цифрова обробка сигналів.

Abstract

The paper considers the principles of redundant digital-to-analog converters and their application in modern electronic systems. The main DAC architectures, methods of improving conversion accuracy, and reducing errors using redundant codes are analyzed. The advantages of such converters in high-precision measurement and telecommunication systems are demonstrated.

Keywords: digital-to-analog converters, redundant coding, electronic systems, conversion accuracy, digital signal processing.

Вступ

Цифро-аналогові перетворювачі є важливими складовими сучасних електронних пристроїв, оскільки вони забезпечують перетворення цифрових сигналів, що формуються обчислювальними системами, у безперервні аналогові сигнали. Такі перетворювачі використовуються у системах автоматичного керування, вимірювальній техніці, телекомунікаціях, аудіоапаратурі та інших галузях електроніки.

З розвитком цифрових технологій та збільшенням обсягів обробки інформації зростають вимоги до точності, швидкодії та надійності електронних систем. У зв'язку з цим особливо актуальним стає питання підвищення ефективності роботи цифро-аналогових перетворювачів.

Одним із перспективних напрямів удосконалення таких пристроїв є використання надлишкових структур та спеціальних методів кодування, що дозволяють підвищити точність перетворення сигналів та зменшити вплив похибок елементної бази.

Основна частина

Цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) виконують функцію перетворення дискретного цифрового коду у безперервний аналоговий сигнал. Основною характеристикою ЦАП є точність відтворення сигналу, яка залежить від розрядності перетворювача, стабільності елементів схеми та впливу зовнішніх факторів. У традиційних архітектурах ЦАП похибки можуть виникати через неточність номіналів резисторів, нестабільність джерел струму або температурні зміни параметрів електронних компонентів [1].

Для підвищення точності перетворення використовуються надлишкові цифро-аналогові перетворювачі, у яких застосовується принцип надлишкового кодування. Суть цього підходу полягає в тому, що одному значенню аналогового сигналу може відповідати декілька різних цифрових кодів. Завдяки цьому система має можливість вибирати такий код, який мінімізує похибку перетворення або компенсує неточності елементів схеми [2].

Однією з найбільш поширених структур є бінарно-зважений ЦАП, у якому кожен біт цифрового коду керує джерелом струму або напруги, що має вагу, пропорційну значенню розряду. Така архітектура є простою у реалізації, проте вона потребує високої точності елементів. Використання надлишкових кодів дозволяє частково компенсувати похибки, що виникають унаслідок відхилення параметрів компонентів [3].

Іншим широко застосовуваним варіантом є резистивна матриця типу R-2R, яка забезпечує більш стабільні параметри та простоту масштабування кількості розрядів. У поєднанні з надлишковими методами кодування такі схеми дозволяють зменшити нелінійні спотворення та покращити точність перетворення сигналів.

У сучасних електронних системах надлишкові ЦАП часто використовуються разом із цифровими алгоритмами корекції похибок. Такий підхід широко застосовується у високоточних вимірювальних системах, телекомунікаційних пристроях та системах цифрової обробки сигналів [4].

Крім того, використання надлишкових структур підвищує стійкість системи до шумів та випадкових відхилень параметрів елементів. Це особливо важливо для інтегральних мікросхем, де через технологічні особливості виробництва можливі значні варіації характеристик компонентів.

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. Аналогові та аналого-цифрові пристрої системних перетворювачів форми інформації: підручник / О. Д. Азаров, С.В. Богомолів, Л.В.Крупельницький, М. Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 316с
2. Agayev F., Karimov J., Mehdiyeva A., Quliyeva S. Design principles of digital-to-analog conversion in information transformation. Technology Audit and Production Reserves. 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.267770>
3. 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>
4. 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.

Покотило Іван Володимирович – студент групи 2КІ-226, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: pokotilovania@gmail.com.

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

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

Pokotylo Ivan V. – Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: pokotilovania@gmail.com.