

## Багатоканальні аналого-цифрові системи, що самокоригуються для опрацювання акустичних сигналів

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Проведено аналітичний огляд структурних і схемотехнічних рішень та методів самокалібрування вимірювальних АЦ-систем, розглянуто структури та параметри АЦ-систем для опрацювання низькочастотних біомедичних акустичних сигналів на основі самокаліброваних АЦП і ЦАП.

**Ключові слова:** обробка сигналів, аналого-цифрові системи, самокалібрування, перетворювачі біомедичних сигналів, вимірювальні системи.

### Abstract

An analytical review of structural and circuit engineering solutions and methods of self-calibration of measuring AD-systems, structures and parameters of AD-systems for the processing of low-frequency biomedical acoustic signals on the basis of self-calibrated ADCs and DACs are considered.

**Keywords:** signal processing, analog-digital systems, self-calibration, biomedical acoustic signal transducers, measuring systems.

Розвиток високоточних АЦП і ЦАП пов'язаний із новими технологічними можливостями мікроелектроніки та з широким застосуванням нових структурних і схемотехнічних рішень. Серед технологічних досягнень виділяються: удосконалювання технології лінійних аналогових інтегральних схем, освоєння нанотехнологій, розвиток можливостей гібридно-модульних технологій.

Актуальною є побудова моделей, які будуть пов'язували метрологічні характеристики АЦП і їхніх пристроїв із критеріями ефективності спроектованої АЦ-системи. Під час проектування АЦ-систем для опрацювання біомедичних акустичних сигналів виникають питання оцінювання ефективності, розробки комплексу метрологічних характеристик, математичного моделювання й схемотехнічного проектування АЦ-систем у цілому і його окремих аналогових пристроїв.

Розробка самокаліброваних аналого-цифрових систем для опрацювання акустичних сигналів є актуальною і покликана забезпечити високоточне перетворення постійних та низькочастотних сигналів, що перекривають спектр інфразвукових та звукових частот. Розробка АЦП та вимірювальних систем на їх основі із такими характеристиками є одним із пріоритетних напрямків досліджень в нашій країні та закордоном [1,2]. Значна частина таких АЦ-систем створюється на основі АЦП та ЦАП, що самокоригуються (САЦП, СЦАП).

Самокалібрування є різновидом процедури самокоригування, що полягає у визначенні абсолютних відхилень ваг розрядів АЦП і ЦАП від номінальних значень і визначення коригувальних поправок до характеристики вхід-вихід з перериванням процесу основного перетворення [3].

САЦП - це перетворювачі, у яких за рахунок автоматичного цифрового коригування похибок аналогових пристроїв забезпечуються високі метрологічні характеристики. САЦП відрізняються наявністю зворотних зв'язків за результатами коригування, які здійснюється спеціалізованим контролером. Характерною рисою САЦП є також наявність певної апаратної, часової або кодової надлишковості. Важливою перевагою є можливість забезпечення високих технічних характеристик при знижених вимогах до елементної бази й технології виготовлення.

Уведення вагової надлишковості в АЦП порозрядного врівноваження дозволяє формувати нерозривну передатну характеристику за умови наявності не тільки статичних похибок, а і значних динамічних похибок, що виникають під час перетворення. Такий підхід дає можливість скоротити не тільки вплив статичних похибок за рахунок використання процедури самокалібрування [4,5], а також надає можливість підвищення швидкості процесу аналого-цифрового перетворення.

Вибір параметрів АЦ-систем головним чином визначають динамічні похибки і похибка дискретності. З їх допомогою встановлюється зв'язок між характеристиками АЦП для опрацювання акустичних сигналів і сигналу, що кодується.

Системні динамічні характеристики багатоканальних АЦ-систем повинні враховувати такі основні показники:

- широкий частотний діапазон сигналів (1 Гц – 10 кГц);
- незначні спотворення спектру сигналів (мінус 90-120 дБ);
- низький коефіцієнт нелінійних спотворень форми сигналів (0,001-0,01 %);
- низькі нерівномірність амплітудно-частотної характеристики ( $\pm 0.03$  дБ) та нелінійність фазо-частотної характеристики ( $\pm 0.1$ ) в смузі корисного сигналу.

Для забезпечення виконання вказаних системних вимог перспективним є застосування методів створення самокоригованих АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю [6], а також методів побудови аналогових пристроїв на двотактних підсилювачах постійного струму із балансними зворотними зв'язками. При цьому слід відзначити, що незважаючи на наявність результатів досліджень у цьому науковому напрямку [1, 2], застосування вказаних методів до АЦ-систем є недостатнім. Тому створення таких систем є актуальною науково-технічною проблемою.

Метою досліджень є покращення статичних і динамічних характеристик АЦ-систем для опрацювання низькочастотних акустичних сигналів за рахунок застосування у вимірювальних каналах АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю.

Задачі досліджень, що впливають з поставленої мети:

- проаналізувати можливості застосування АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю для покращення статичних і динамічних характеристик перетворювальних каналів багаторозрядних АЦ-систем;
- розглянути методи підвищення точності і швидкодії АЦ-систем за рахунок поширення принципів коригування статичних і компенсування динамічних похибок надлишкових АЦП і ЦАП додатково на функціональні блоки вимірювальних каналів;
- розглянути структурні схеми АЦ-систем для вимірювання і аналізу низькочастотних біомедичних акустичних сигналів на базі АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, а також навести досягнуті значення їх статичних і динамічних параметрів.

Основна перевага систем числення з ваговою надлишковістю при АЦ-перетворенні, полягає в відсутності "розривів" у перетворювальній характеристиці, викликаних відхиленнями реальних ваг розрядів від їхніх розрахункових значень. Додатковою рисою АЦП порозрядного врівноваження на основі СЧВН, є прискорене аналого-цифрове перетворення. Ця властивість самокоригування пов'язана зі скороченням часу кожного з кроків порівняння, завдяки виправленню помилок неправильного вмикання старших розрядів увімкненням молодших розрядів [1].

Теоретично та експериментально доведено [1, 2, 6], що застосування вагової надлишковості в техніці АЦ-перетворення дозволяє істотно (на 1-2 порядки) підвищити лінійність характеристики перетворення пристроїв, побудованих на неточних елементах, наприклад, за умови побудови ЦАП без технологічного припасування ваг розрядів. Крім цього, є можливість істотно (у 5-8 разів) збільшити швидкість порозрядного аналого-цифрового перетворення за рахунок автоматичної компенсації динамічних похибок врівноваження [1, 6]. Вказані переваги систем числення з ваговою надлишковістю для побудови точних та швидкодіючих АЦП і ЦАП реалізуються як в симетричному базисі числення  $(\bar{1}, 1)$ , та і у більш поширеному – несиметричному  $(0, 1)$  базисі.

Отже, у результаті застосування методів коригування статичних і динамічних характеристик в багатоканальній АЦ-системі для опрацювання біомедичних акустичних сигналів можливе досягнення таких основних технічних параметрів [7]:

- число вимірювальних каналів – 4;
- число каналів для задання напруг і струмів для живлення активних біомедичних сенсорів – 4;
- тип вхідних та вихідних аналогових сигналів – симетричний;
- рівень напруги вхідних аналогових сигналів – від 0.1 до 1 В;
- смуга частот вхідних сигналів – від 1 до 10000 Гц;
- динамічний діапазон, обмежений відношенням сигнал-шум, – не менше 126 дБ;
- спектральна роздільна здатність – не менше 140 дБ;
- нелінійні спотворення – не більше 0.003%;
- нерівномірність і неідентичність АЧХ/ФЧХ каналів – не більше 0.03 дБ/0.1°;
- інтерфейс даних та керування від ЕОМ і мобільних пристроїв – USB 2.0 і Bluetooth;

- напруга живлення  $+5\text{ В} \pm 10\%$  від порта USB чи від акумулятора Power-Bank;
  - конструктивне виконання – на основі друкованої плати розміром не більше  $125*125*30\text{ мм}$ ;
- Таким чином, в результаті виконаного аналізу отримано такі висновки:
- показано можливість покращення статичних і динамічних характеристик АЦ-систем для опрацювання низькочастотних сигналів шляхом застосування АЦП і ЦАП з ваговою надлишковістю;
  - розглянуто методи підвищення точності і швидкодії АЦ-систем за рахунок поширення принципів коригування статичних і компенсування динамічних похибок надлишкових АЦП і ЦАП додатково на функціональні блоки вимірювальних каналів;
  - запропоновано структурні схеми АЦ-систем для вимірювання і аналізу низькочастотних сигналів на базі самокаліброваних АЦП і ЦАП. Доведено, що їх використання покращує значення статичних і динамічних параметрів систем;
  - сформульовано вимоги до основних технічних параметрів 4-канальної самокоригованої АЦ-системи опрацювання біомедичних акустичних сигналів;
  - досягнення вказаних технічних вимог підтверджується результатами попередніх експериментальних досліджень і параметрами аналогічних виробів та систем [8].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Азаров О.Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення з ваговою надлишковістю: Монографія / Азаров О.Д. – Вінниця.– ВНТУ, 2010. – 232 с.
2. Крупельницький Л.В., Азаров О.Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів: Монографія / Під заг. ред. О.Д. Азарова.- УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 167 с.
3. Грушвицкий Р. И. Мурсаев А. Х., Смоллов В. Б. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. — 160 с.
4. Азаров О.Д. Моделі форсуючих сигналів для прискореного порозрядного аналого-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.О. Решетнік, В.А. Гарнага, В.В. Ратнюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2. – С. 3–39.
5. Формування нерозривних передатних характеристик ЦАП і АЦП на основі вагової надлишковості / О.Д. Азаров, О.О. Решетнік, С.М. Захарченко та інш. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 3. – С. 7–15.
6. Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: Монографія.– УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004.– 257 с.
7. Крупельницький Л.В., Грабчак С.О., Фігас А.С. Метод та аналого-цифрові засоби пасивного акустичного сканування внутрішніх органів людини./ Л.В.Крупельницький., С.О. Грабчак, А.С. Фігас// Тези доповідей Шостої Міжнародної науково-практичної конференції "Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації". Україна, Вінниця, 24-25 жовтня 2017 р.: збірник наукових праць.- Вінниця: ВНТУ, 2017. – С.128-130.
8. Крупельницький Л.В. Характеристики і структури багатоканальних АЦ-систем, що самокоригуються, для аналізу аудіо сигналів / Тези доповідей П'ятої Міжнародної науково-практичної конференції "Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації". – м. Вінниця, Україна. – 19-21 квітня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С. 129-133.

**Фігас Анна Сергіївна** — студентка групи ІКІ-16м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [annfigas@gmail.com](mailto:annfigas@gmail.com).

**Anna S. Figas**, student 1KI-16m group, Faculty of information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [annfigas@gmail.com](mailto:annfigas@gmail.com).