

## Сучасний стан, напрямки, мета та задачі досліджень багатоканальних самокаліброваних АЦ-систем

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Розглянуто стан, напрямки, мету та задачі досліджень з наукової роботи «Високопродуктивні багатоканальні аналого-цифрові самокалібровані системи моніторингу й синхронного опрацювання низькочастотних сигналів»*

**Ключові слова:** аналого-цифрова система, мережі збору даних, моніторинг сигналів, нейронечіткі технології, обробка сигналів, розпізнавання звуків, самокалібрування, сканування сигналів.

### Abstract

*The state, directions, purpose and tasks of researches on scientific work "High-performance multichannel analog-digital self-calibrated systems of monitoring and synchronous processing of low-frequency signals" are considered.*

**Keywords:** analog-digital system, data acquisition networks, signal monitoring, fuzzy technologies, signal processing, sound recognition, self-calibration, signal scanning.

В теперішній час низку задач промисловості, охорони здоров'я, захисту довкілля, оборони держави поєднує необхідність точного та ефективного моніторингу процесів, що забезпечуються технічними засобами багатоканального збору й обробки низькочастотних сигналів. Прямих вітчизняних аналогів за темою дослідження не виявлено, а дані про схожі зарубіжні системи є конфіденційними, або ж занадто загальними, не конкретизованими за принципами роботи, параметрами та способами їх отримання. Одночасно, відомі успішні вітчизняні та закордонні дослідження в суміжних напрямках - радіолокація, гідроакустика, сейсмозв'язка, розпізнавання акустичних і візуальних сигналів та образів. Виконавці науково-дослідної роботи «Високопродуктивні багатоканальні аналого-цифрові самокалібровані системи моніторингу й синхронного опрацювання низькочастотних сигналів», що виконується на кафедрі обчислювальної техніки ВНТУ, науковий керівник та відповідальний виконавець, які є авторами цієї публікації, мають у напрямках своїх досліджень достатній науковий і практичний доробок для ефективного поєднання традиційних і нових методів за тематикою досліджень. При цьому, базою досліджень є теоретичні та практичні результати створення самокаліброваних аналого-цифрових пристроїв і систем на основі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ) [1-3].

Сучасні системи багатоканального приймання, підсилення і аналого-цифрового перетворення низькочастотних сигналів застосовують методи, запозичені з радіолокації, гідроакустики, геофізики та сейсмозв'язки – електронне сканування в каналах сенсорних решіток, кореляційна обробка сигналів [4,5]. Пропоновані в роботі методи та засоби моніторингу низькочастотних сигналів та засоби пасивного електронного сканування на основі мікрофонних решіток розвивають ці класичні підходи.

Ефективність просторового і часового виділення корисних сигналів, в першу чергу, визначається точністю та ідентичністю передатних характеристик вимірювальних каналів систем [6], які не можуть бути суттєво покращені технологічно, без застосування методів калібрування та самокорегування.

Поширення принципів калібрування й самокорегування на вимірювальні тракти АЦ-систем дають можливість покращити їх характеристики порівняно з відомими технологічними прийомами [2,3].

АЦП на комутованих конденсаторах з ваговою надлишковістю широко застосовуються в сучасних системах збору даних, оскільки характеризуються малою споживаною потужністю і природно інтегруються з цифровими КМОН-схемами [7]. Актуальним залишається питання калібрування таких перетворювачів в процесі роботи, при зміні параметрів навколишнього середовища [8]. Реалізація АЦП на комутованих конденсаторах з використанням вагової надлишковості дозволяє спростити процедуру самокалібрування пристроїв порівняно з існуючими підходами.

Продуктивність класичних алгоритмів багатоканального сигнального моніторингу обмежена обсягом обчислень і часто не забезпечує режиму реального часу, а способи їх розпаралелювання не враховують специфіку сигналів, що опрацьовуються [9]. Застосування методів та засобів багатооперандного паралельного введення й опрацювання сигналів збільшує обчислювальну ефективність локальної комп'ютерної системи без залучення додаткових структур.

Для визначення параметрів сигналів і координат об'єктів на місцевості за їх акустичними і візуальними образами може застосовуватись обернене логічне виведення, що зводиться до розв'язання системи нечітких логічних рівнянь [10,11]. Проте, більшість методів розв'язання таких систем є аналітичними, обмеженими існуванням точних розв'язків, що в загальному випадку не характерно для більшості задач моніторингу. Методи розпізнавання акустичних і візуальних об'єктів на основі системи нечітких правил дають нові рішення оберненої задачі логічного виведення. Запропоновано метод визначення координат об'єкта у просторі та часі на основі лінгвістичної моделі в реальному часі [12].

Розпізнаванню звукових сцен і подій присвячено значну кількість робіт закордонних вчених [13,14]. Результати досліджень в цьому напрямку знаходять практичне застосування як у охоронних системах, так і в системах побутового призначення («розумний будинок», «розумне місто» тощо). У більшості таких систем як параметри математичної моделі використовуються мел-частотні спектральні коефіцієнти. На етапі розпізнавання параметрів застосовуються Гаусові змішані та приховані Марківські моделі, які, за експериментальними даними, показують близькі результати. Пропонується метод адаптивного формування словника ознак, в якому, на відміну від відомих, мають знаходитися інформативні ознаки (параметри) звукових подій, записаних в атмосфері звукової сцени, на якій буде відбуватися розпізнавання, дозволить підвищити ймовірність правильного розпізнавання аудіоподій за умов погіршення співвідношення сигнал/шум [15].

Проведений аналіз дозволяє сформулювати мету та основні завдання досліджень в рамках науково-дослідної роботи. Метою досліджень є підвищення точності, швидкодії та достовірності розпізнавання широкого спектру сигналів за рахунок створення й вдосконалення моделей і методів опрацювання багатоканальних даних, схем, алгоритмів, апаратних і програмних засобів для новітніх АЦ-систем моніторингу й синхронної обробки низькочастотних сигналів.

Основними завданнями досліджень є такі:

- запропонувати загальну модель та структуру АЦ-систем моніторингу й синхронного опрацювання низькочастотних сигналів
- сформулювати технічні вимоги до напрямків розробки;
- здійснити системний аналіз структурних і схемотехнічних рішень в техніці підсилення, АЦ-перетворення та обробки сигналів сенсорів;
- дослідити вплив неідентичності статичних й динамічних характеристик вимірювальних каналів на точність АЦ-перетворення та інформативність сигналів;
- запропонувати нові й вдосконалені методи калібрування статичних і динамічних характеристик аналогових пристроїв і вимірювальних каналів АЦ-систем ;
- дослідити струмові високолінійні симетричні підсилювачі низькочастотних сигналів;
- розробити структурні схеми та алгоритми функціонування високоточних аналого-цифрових і цифро аналогових перетворювачів (АЦП і ЦАП) з перерозподілом заряду з ваговою надлишковістю;
- розробити методи оперативного визначення відхилень ваг розрядів АЦП з ваговою надлишковістю на основі аналізу вихідного коду;
- розробити структури й алгоритми синхронного паралельного сканування й моніторингу сигналів;
- розробити методи підвищення точності визначення координат об'єктів засобами інтелектуального аналізу даних й реалізувати відповідний алгоритм та програму;

- вдосконалити методи просторово-часового представлення параметрів у словнику ознак аудіосигналів та запропонувати швидкий метод кластеризації на основі  $k$ -середніх для обчислення центроїдів параметрів аудіосигналу.

Для вирішення сформульованих задач потрібно застосовувати комплексний підхід, що ґрунтується на сучасних підходах до опрацювання аналогових сигналів, таких як: струмове підсилення, калібрування при підсиленні та самокорекція при аналого-цифровому перетворенні. Новим авторським підходом є розширення методів самокалібрування АЦ-перетворювачів на вимірювальні канали пропонованих АЦ-систем для покращення параметрів їх амплітудно-фазо-частотних характеристик (АФЧХ), лінійності та зменшення неідентичності каналів.

В схемотехніці приймально-підсилювальних трактів вимірювальних каналів застосовується струмовий принцип, що забезпечує низьку чутливість до зовнішніх завад та шумів. Струмовим підсилювачам, зокрема, притаманні висока лінійність фазової характеристики та малий час перехідного процесу внаслідок обмеженої глибини зворотного зв'язку. Самокалібрування АЦ-систем передбачає, що в їх вимірювальних каналах схемотехнічно оптимізуються лише окремі, некореговані параметри (шуми, швидкодія). Інші параметри (коефіцієнт підсилення, зсув, нерівномірність АФЧХ, їх міжканальна неідентичність) - визначаються в режимі калібрування та надалі корегуються в цифровому вигляді.

Пропонуються структурні схеми та алгоритми функціонування високоточних АЦП з перерозподілом заряду з ваговою надлишковістю та методи оперативного визначення відхилень ваг розрядів АЦП з ваговою надлишковістю на основі аналізу вихідного коду

Новим є підхід до структур і алгоритмів швидкодіючого багатоканального електронного сканування й локації сигналів, який використовує оригінальні нейроподібні ієрархічні обчислювальні структури й нейронечіткі технології. Метод підвищення роздільної здатності результатів сканування забезпечується засобами інтелектуального аналізу даних шляхом формулювання і розв'язання оберненої логічної задачі.

Досліджувані в науковій роботі методи й засоби їх реалізації створюють нові структурні, алгоритмічні та апаратно-програмні рішення багатоканальних АЦ-систем моніторингу та опрацювання низькочастотних сигналів. Зокрема, використовуються ідеї та підходи розробників, розвинуті в суміжних задачах струмового підсилення, самокорегованого АЦ-перетворення, багатоканального опрацювання, виділення акустичних і візуальних образів з шумів, розпізнавання звуків, нечіткої логіки, нейромережових технологій. Особливістю досліджень є поєднання авторських ідей у вказаних напрямках з метою створення методологічного базису та практичної реалізації напрацювань в експериментальних зразках АЦ-систем.

## 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. AD systems for processing of low frequency signals based on self calibrate ADC and DAC with weight redundancy / Azarov O. D., Krupelnitskyi L. V., Vinnytsa National Technical University (Ukraine); Komada P., Ławicki, T., Lublin University of Technology (Poland); Askarova N., Sagymbekova A., Kazakh National Research Technical University (Kazakhstan) // Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – Volume R. 93.– № 5. – P. 125-128.
4. Варюхин В.А. Основы теории многоканального анализа. - Киев: Наук. думка, 2015. - 168 с.
5. Столбов М.Б. Применение микрофонных решеток для дистанционного сбора речевой информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2015.- Т. 15.- № 4.- С. 661-675.
6. В.В. Гравиров, К.В. Кислов, Д.В. Лиходеев, А.С. Нумалов Прецизионная автономная модульная 24-разрядная система сбора геофизических данных // "Научное приборостроение". - Изд.: РАН, 2018. - Т. 28. - № 4. - С. 64-72. - doi: 10.18358/np-28-4-i6472
7. E.Becker Alisson, J.C.Lanot Guilherme, S.CardosoTiago, R.Balen. Single event transient effects on charge redistribution SAR ADCs // Microelectronics Reliability, June 2017. - Vol. 73. – P. 22-35.
8. Xingyuan Tong, Yawen Chen Low-Power High-Linearity Switching Procedure for Charge-Redistribution SAR ADC // Circuits, Systems, and Signal Processing, September 2017. - Volume 36. - Issue 9. – P. 3825–3834.

9. Бурцев А.П. Параллельная обработка данных сейморазведки с использованием расширенной модели Master-Slave // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции (26-27 сентября 2016 г., г. Москва). - М.: Изд-во МГУ, 2016. - С. 887-895.
10. Bartl E., Belohlavek R. Hardness of Solving Relational Equations // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2015. – Vol. 23 (6) – P. 2435 – 2438.
11. Díaz-Moreno J. C., Medina J., Turunen E. Minimal solutions of general fuzzy relation equations on linear carriers. Algebraic characterization // Fuzzy Sets and Systems. – 2017. – Vol. 311. – P. 112–123.
12. 94. Azarov O., Krupelnitskyi L., Rakytyanska H. Sound field reconstruction from incomplete data by solving fuzzy relational equations. In: Babichev S., Lytvynenko V., Wójcik W., Vyshemyrskaya S. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 1246. – Cham: Springer, 2021. – P. 547–566.
13. Computational Analysis of Sound Scenes and Events. Tuomas Virtanen, Mark D. Plumbley, Dan Ellis (Eds.) - Springer International Publishing AG, 2018. – 422 p.: DOI 10.1007/978-3-319-63450-0\_1
14. K. Ashraf, B. Elizalde, F. Iandola, M. Moskewicz, J. Bernd, G. Friedland, and K. Keutzer. Audio-based multimedia event detection with DNNs and sparse sampling. In Proceedings of the 5th ACM on International Conference on Multimedia Retrieval, ACM, 2015. - Pages 611–614.
15. Пошук заданих фрагментів в архіві аудіо записів із застосуванням KD-дерев : Монографія / Грійо Тукало О. Ф., Ткаченко О.М., Крупельницький Л.В. – Вінниця: ВНТУ, 2020.- 148 с. - ISBN 978-966-641-789-6.

**Азаров Олексій Дмитрович** – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Крупельницький Леонід Віталійович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [krupost@gmail.com](mailto:krupost@gmail.com).

**Azarov, Olexiy D.** – Doct. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Computer Techniques Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Krupelnitskyi, Leonid V.** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Computer Techniques Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [krupost@gmail.com](mailto:krupost@gmail.com).