


Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

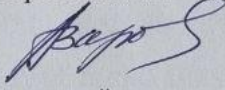
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

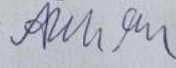
на тему:

МЕТОД ТА ЗАСОБИ АКУСТИЧНОГО СКАНУВАННЯ В БАГАТОКАНАЛЬНІЙ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВІЙ СИСТЕМІ

Виконав студент 2 курсу, групи ІКІ-22м
спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія

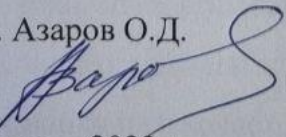
"  " Бажан В.В.
2023 р.

Керівник д.т.н., проф.
"  " Азаров О.Д.
2023 р.

Опонент к.ф-м.н доц.каф МБІС
"  " Шиян А.А.
2023 р.

Допущено зав.каф ОТ

д.т.н., проф. Азаров О.Д.

" 15 " грудня 2023 р.


Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 12 — Інформаційні технології
Спеціальність 123 — «Комп'ютерна інженерія»
Освітня програма — «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

обчислювальної техніки
проф., д.т.н. О.Д. Азаров



«26» вересня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

студенту Бажану Віталію Вікторовичу

1 Тема роботи «Метод та засоби акустичного сканування в багатоканальній аналогово-цифровій системі» керівник роботи **Азаров Олексій Дмитрович**, д.т.н., проф,

затверджені наказом вищого навчального закладу від 18 вересня 2023р. № 247

2 Строк подання студентом роботи 18 грудня 2023 року


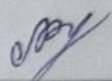
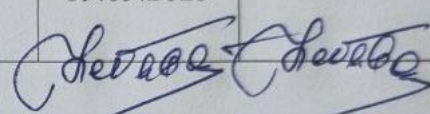
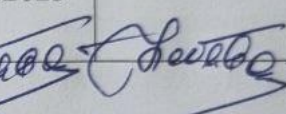
3 Вихідні дані до роботи: дані, що отримуються в результаті аудіо локації.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз методів та засобів звукової локації та ідентифікації, аналіз технології обробки низькочастотних звукових сигналів, експериментальні дослідження та тестування, розрахунок економічної доцільності створення програмного модуля для обрахунку акустичних поверхонь в багатоканальній аналого-цифровій системі.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): план розподілу полів головної сторінки, загальний вигляд головної сторінки додатка.

6 Консультанти розділів роботи представлені в таблиці 1.

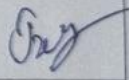






Таблиця 1— Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Крупельницький Л.В., к.т.н., доцент, каф. ОТ	19.09.2023 	
5	Небава М.І., к.е.н., професор кафедри ЕПВМ	19.09.2023 	

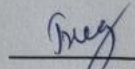
7 Дата видачі завдання 19.09.2023 р.

8 Календарний план наведено в таблиці 2.

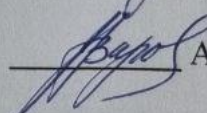
Таблиця 2 — Календарний план

№	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Підпис
1	Аналіз методів та засобів звукової локації та ідентифікації	04.10.2023	
2	Аналіз технології обробки низькочастотних звукових сигналів	18.10.2023	
3	Експериментальні дослідження та тестування	15.11.2023	
4	Економічна частина	25.11.2023	
5	Попередній захист	16.10.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки і презентації	02.12.2023	
7	Перевірка якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків	07.12.2023	

Студент

 Бажан В.В.

Керівник роботи

 Азаров О. Д.

АНОТАЦІЯ

УДК 004

Бажан В.В. Метод та засоби акустичного сканування в багатоканальній аналогово-цифровій системі. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2023 — 100 с. На укр. Мові. Бібліогр. 22 назв; рис.: 30; табл. 7.

У роботі розглядаються прийоми та інструменти акустичного сканування в многоканальній аналого-цифровій системі. Проводиться аналіз методів та засобів акустичної локації та ідентифікації об'єктів. Досліджуються прийоми та системи багатоканального сканування з використанням мікрофонних решіток.

Ключові слова: багатоканальні аналого-цифрові системи, акустичні поверхні, мікрофонна решітка, низькочастотний сигнал, акустичне сканування.

ABSTRACT

УДК 004

Bazhan V.V. Method and means of acoustic scanning in multi-channel analog-digital systems. Master's thesis in speciality 123 — Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2023 — 100 p. In Ukrainian. Language. Bibliography: 22 titles; Figures: 30; Table 7.

Techniques and tools of acoustic scanning in a multi-channel analog-digital system are considered in the work. Methods and means of acoustic location and object identification are analyzed. Techniques and systems of multichannel scanning using microphone arrays are studied.

Keywords: multi-channel analog-digital systems, acoustic surfaces, microphone array, low-frequency signal, acoustic scanning.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД СИСТЕМ АКУСТИЧНОГО СКАНУВАННЯ	11
1.1 Огляд акустичного сканування	11
1.2 Принципи роботи акустичних систем.....	15
1.3 Акустичні характеристики.....	19
1.4 Сигнал обробки в акустичних системах	21
2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ БАГАТОКАНАЛЬНОМУ СКАНУВАННІ В СИСТЕМІ МІКРОФОННОХ РЕШІТКИ	25
2.1 Огляд аналого-цифрових систем.....	25
2.2 Архітектура багатоканальних систем	27
2.3 Цифрова обробка сигналу.....	40
2.4 Засоби збереження та передачі даних	42
3 ЗАСОБ І МЕТОД АКУСТИЧНОГО СКАНУВАННЯ В БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	46
3.1 Поєднання акустичного сканування та багатоканальних систем	46
3.2 Специфікація акустичного обладнання	58
3.3 Алгоритми аналізу акустичних даних	60
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТИ	67
4.1 Вибір апаратного забезпечення	67
4.2 Вибір програмного забезпечення	69
4.3 Проведення експериментів	71

					08-54.МКР.010.00.000 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Метод та засіб акустичного сканування в багатоканальній аналого-цифровій системі Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Бажан В.В.							6	100			
Перевір.	Азаров О.Д.											
Опонент	Шиян А.А.											
Н. Контр.	Швец С. І.											
Затверд.	Азаров О. Д.				<i>ВНТУ, гр. ІКІ-22м</i>							

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ МОДУЛЯ ДЛЯ ОБРАХУНКУ АКУСТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В БАГАТОКАНАЛЬНІЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВІЙ СИСТЕМІ.....	74
5.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки.....	74
5.2 Визначення економічної ефективності за результатами дослідження.....	77
5.3 Економічна ефективність науково-технічного розвитку та його потенційної комерціалізації потенційним інвесторам	82
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	89
ДОДАТОК А Технічне завдання	92
ДОДАТОК Б Структурна схема АЦ-системи аудіолокації та ідентифікації об'єктів місцевості	96
ДОДАТОК В Конструкція мікрофонних решіток двох типів	97
ДОДАТОК Г Структурна схема самокаліброваної АЦ-системи.....	98
ДОДАТОК Д Блок-схема роботи алгоритму акустичного сканування	99
ДОДАТОК Е Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	100

					08-54.МКР.010.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми акустичне сканування є однією з найважливіших технологічних галузей і пропонує широкий спектр можливостей у різних сферах — від медицини до промисловості. При цьому багатоканальні аналого-цифрові системи (БКАЦС) відіграють важливу роль у зборі, обробці та аналізі акустичних даних з високою точністю і швидкістю. Метою даного дослідження є визначення інструментів і методів акустичного сканування в багатоканальних аналого-цифрових системах та оцінка їх потенціалу і можливостей в сучасному технологічному середовищі.

Акустичне сканування — використання акустичних хвиль для отримання інформації про об'єкти та середовища їх поширення. Ця технологія використовується в різних галузях, таких як медицина, безпека, металургія та геологія. Багатоканальні аналого-цифрові системи розширюють можливості акустичного сканування, оскільки можуть одночасно записувати та аналізувати сигнали від великої кількості датчиків і мікрофонів.

Розвиток акустичного сканування та технології БКАЦС наразі є актуальним і важливим напрямком досліджень. Досвідчені інженери та дослідники зацікавлені в розробці цих систем для вирішення складних завдань і досягнення значних результатів. Тому дослідження та аналіз засобів і методів акустичного сканування в БКАЦС мають велике теоретичне і практичне значення.

У цьому контексті дана робота є спробою зробити внесок у подальший розвиток і впровадження акустичного сканування в багатоканальних аналого-цифрових системах. Результати цього дослідження принесуть користь інженерам, дослідникам і фахівцям у галузі комп'ютерної інженерії та акустики, а також сприятимуть розвитку і розширенню можливостей цих систем у різних сферах застосування.

Об'єкт дослідження — процеси багатоканального аналого-цифрових перетворень та їх здатність до реєстрації та обробки акустичних сигналів.

Предмет дослідження — апаратні засоби та програмні методи акустичного сканування.

Мета роботи — підвищення точності та швидкодії, при акустичному скануванні в багатоканальних аналогово-цифрових системах.

Завдання, що впливають з мети роботи

— визначення науково-технічної задачі та знаходження шляхів її вирішення;

— дослідження теоретичних засад стосовно акустичного сканування;

— дослідження багатоканальних аналогово-цифрових систем, включаючи їх архітектуру та особливості цифрової обробки сигналів;

— визначення засобів і методів акустичного сканування в багатоканальних аналогово-цифрових системах, дослідження алгоритмів аналізу даних;

— практична реалізація програмного засобу, включаючи вибір та розробку програмного забезпечення;

— проведення тестування програмного засобу, аналіз отриманих результатів;

— визначення економічної ефективності дослідження, рекомендації щодо застосування програмного засобу.

Методи дослідження: аналітичний метод для вивчення теоретичної бази дослідження, експериментальний метод, метод обробки сигналу, метод моделювання, розробка програмного забезпечення, аналітичний метод дослідження.

Новизна дослідження — вдосканалено метод акустичного сканування з використанням сучасних аналого-цифрових перетворювачів, в якому підвищено роздільну здатність за рахунок цифрової обробки сигналів.

Практичне значення роботи — розроблені програмні та системні рішення для акустичного сканування.

Апробації результатів роботи здійснена в доповіді на Науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Матеріали роботи доповідались та опубліковувались:

Бажан В.В., Л. В. Крупельницький / Методи акустичного сканування в багатоканальній аналогово-цифровій системі. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (мн-2024. Режим доступу <https://conferences.Vntu.Edu.Ua/index.Php/mn/mn2024/author/submission/19162>

Звіт про науково-дослідну роботу «Високопродуктивні багатоканальні аналого-цифрові самокалібровані системи моніторингу й синхронного опрацювання низькочастотних сигналів» / ВНТУ, Вінниця, 2022 р., N держ. Реєстрації 0120U002205 — 308 с.

1 ОГЛЯД СИСТЕМ АКУСТИЧНОГО СКАНУВАННЯ

1.1 Огляд акустичного сканування

Сьогодні багато завдань, таких як промисловість, медичне обслуговування, охорона навколишнього середовища та національна оборона, поєднують необхідність точного та ефективного моніторингу процесів, які вимагають технічних засобів багатоканального збору та обробки низькочастотних сигналів. Сигнал. Прямі вітчизняні еквіваленти в науково-дослідних роботах ще належить визначити. Інформація про подібні іноземні системи є або конфіденційною, або надто загальною, без конкретних пояснень принципів роботи, параметрів і методів збору.

Незважаючи на це, вітчизняні та закордонні дослідження у суміжних галузях, таких як радіолокація, гідроакустика, сейсмозвідка, акустичні візуальні сигнали, розпізнавання зображень, досягли успішних наукових і практичних результатів. Комплексно та ефективно поєднати ці напрями прагнуть науковці, які проводять дослідження у своїх галузях і мають значний науково-практичний досвід. При цьому науково-дослідну базу в основному складають теоретичні та практичні результати з розробки самокалібрувальних аналого-цифрових пристроїв і систем на основі резервованих систем підрахунку позицій.

Сучасні системи для прийому, посилення та аналого-цифрового перетворення низькочастотних сигналів використовують методи, запозичені з радіолокації, гідролокації, геофізики та сейсмічної розвідки, такі як електронне сканування та відповідна обробка сигналів у каналах датчика масиви. Методи та інструменти моніторингу низькочастотного сигналу та інструменти пасивного електронного сканування, представлені в цій статті, розробляють ці класичні методи на основі мікрофонної матриці.

Ефективність просторово-часового розподілу корисного сигналу залежить, перш за все, від точності та узгодженості передавальних характеристик каналів вимірювання системи. Ці функції технічно складні значуще поліпшити без

застосування методів калібрування та самокоригування. Розповсюдження принципів калібрування та самокоригування на вимірювальні тракти аналого-цифрових систем дозволяють значно покращити їх характеристики в порівнянні з відомими технологічними підходами.

В сучасних системах збору широко використовуються АЦП на комутованих конденсаторах з ваговою надлишковістю, оскільки вони характеризуються низьким споживанням потужності і легко інтегруються з цифровими КМОН-схемами. Залишається актуальним питання калібрування таких перетворювачів під час роботи, особливо при зміні параметрів навколишнього середовища. При реалізації АЦП на комутованих конденсаторах з використанням вагової надлишковості спрощується процедура самокалібрування пристроїв у порівнянні із наявними підходами.

Продуктивність класичних алгоритмів багатоканального сигнального моніторингу обмежена обсягом обчислень і часто не забезпечує режиму реального часу, а способи їх розпаралелювання не враховують специфіку опрацювання сигналів. Використання методів та засобів багатооперандного паралельного введення й опрацювання сигналів покращує обчислювальну ефективність локальної комп'ютерної системи без залучення додаткових структур [1].

Для визначення параметрів сигналів і координат об'єктів на місцевості за їх акустичними і візуальними образами може використовуватися обернене логічне виведення, яке зводиться до розв'язання системи нечітких логічних рівнянь. Проте більшість методів розв'язання таких систем є аналітичними і обмеженими наявністю точних розв'язків, що не є типовим для більшості задач моніторингу. Задача пошуку множини розв'язків системи нечітких логічних рівнянь відноситься до класу NP-складних. При цьому визначення множини мінімальних розв'язків залишається нерозв'язаною задачею. Методи розпізнавання акустичних і візуальних об'єктів на основі системи нечітких правил вирішують обернену задачу логічного виведення. Наприклад, запропоновано модель множини розв'язків системи нечітких логічних рівнянь із

max-min композицією у вигляді нечітких правил ЯКЩО-ТО для заданих класів виходу.

Питанням розпізнавання звукових сцен і подій присвячена велика кількість робіт зарубіжних учених. Результати досліджень у цьому напрямку мають практичне застосування в системах безпеки та домашніх системах («розумні будинки», «розумні міста» тощо). У більшості таких систем як параметри математичних моделей використовуються низькочастотні спектральні коефіцієнти. На етапі ідентифікації параметрів використовується прихована марковська модель суміші Гауса, за експериментальними даними результати близькі. Також запропоновано методи підвищення точності розпізнавання за наявності шуму. Запропонована методика адаптивного формування ознакових словників, на відміну від відомих ознакових словників, повинна містити інформаційні ознаки (параметри) звукових подій, зафіксованих в атмосфері звукового поля, в якій здійснюватиметься розпізнавання, що дозволить збільшити погіршення відношення сигнал/шум ймовірність правильної ідентифікації звукової події за даних обставин.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати мету дослідження та її основні завдання.

Мета — дослідження спрямовані на поліпшення точності, ефективності та надійності розпізнавання різноманітних сигналів шляхом розробки та вдосконалення моделей і методів обробки багатоканальних даних, а також розробки схем, алгоритмів, апаратних і програмних засобів для сучасних АЦ-систем моніторингу та синхронної обробки низькочастотних сигналів.

Основні завдання дослідження:

- розробити загальну модель та структуру систем моніторингу та синхронного опрацювання низькочастотних сигналів в АЦ-системах;
- сформулювати технічні вимоги до напрямків розробки;
- провести системний аналіз структурних і схемотехнічних рішень в області підсилення, аналого-цифрового перетворення та обробки сигналів сенсорів;

— вивчення впливу неузгодженості статичних і динамічних характеристик каналу вимірювання на точність аналого-цифрового перетворення та обсяг сигнальної інформації;

— запропонувати нові вдосконалені методи калібрування статичних і динамічних характеристик аналогового обладнання та вимірювальних каналів системи змінного струму;

— дослідження високолінійних симетричних підсилювачів для поточних низькочастотних сигналів;

— розробка структурних рішень і алгоритмів для роботи високоточних аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів (АЦП і ЦАП) з можливістю перерозподілу заряду з резервуванням ваги;

— розробити оперативний метод визначення надмірної ваги відхилення ваги АЦП на основі аналізу вихідного коду;

— розробити структури та алгоритми для одночасного паралельного сканування та моніторингу сигналу;

— розробити методи використання інтелектуального аналізу даних для підвищення точності визначення координат об'єктів та реалізувати відповідні алгоритми та програми;

— покращити метод просторово-часового представлення параметрів у словнику характеристик аудіосигналу та запропонувати швидкий метод кластеризації на основі k-середніх для обчислення центроїда параметрів аудіосигналу.

Для вирішення поставлених завдань необхідно використовувати комплексний підхід, заснований на сучасних методах обробки аналогового сигналу, таких як підсилення струму, калібрування під час підсилення та самокорекція під час аналого-цифрового перетворення. Інноваційним вважається поширення методу самокалібрування перетворювачів змінного струму на вимірювальні канали запропонованої системи змінного струму з метою покращення її амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ), лінійності та зменшення неідентичності параметрів. каналів.[2]

Схема приймального підсилювача каналу вимірювання використовує принцип струму і менш чутлива до зовнішніх перешкод і шумів. Підсилювачі струму характеризуються високою лінійністю фазових характеристик і малими перехідними часами через обмежену глибину зворотного зв'язку [3].

Самокалібрування АЦ-систем передбачає оптимізацію окремих некорегованих параметрів (шуми, швидкодія) в їх вимірювальних каналах. Інші параметри (коефіцієнт підсилення, зсув, нерівномірність АФЧХ, міжканальна неідентичність) визначаються в режимі калібрування та коригуються в цифровому вигляді.

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

Новаторським є підхід до структур і алгоритмів швидкодіючого багатоканального електронного сканування та локації сигналів, який використовує унікальні нейроподібні ієрархічні обчислювальні структури та нейронечіткі технології. Застосування методів підвищення роздільної здатності результатів сканування забезпечується за допомогою інтелектуального аналізу даних через формулювання та розв'язання оберненої логічної задачі [4].

1.2 Принципи роботи акустичних систем

Сучасні новаторські методи та алгоритми розпізнавання акустичних сцен та подій базуються на використанні EM-алгоритму розділення Гаусовських сумішей з урахуванням специфіки їх застосування для опрацювання кількох сигналів одночасно. Попереднє виділення корисних сигналів з шумів базується на методах обробки, отриманих при опрацюванні результатів візуалізації вимірювань в багатоканальних системах діагностики та моніторингу стану об'єктів. Буде вдосконалено відомий метод кластеризації на основі EM-алгоритму та розроблено новий метод адаптивного формування словника параметрів моделі з врахуванням особливостей атмосфери сцени [5].

Заплановані в роботі методи та їх реалізація створюють нові структурні, алгоритмічні та апаратно-програмні рішення для багатоканальних АЦ-систем моніторингу та обробки низькочастотних сигналів. При цьому використовуються ідеї та підходи, розроблені в суміжних напрямках, таких як струмове підсилення, самокориговане АЦ-перетворення, багатоканальна обробка, виділення акустичних та візуальних образів з шумів, розпізнавання звуків, нечітка логіка, нейромережеві технології. Унікальність досліджень полягає в поєднанні авторських ідей в цих напрямках для створення методологічного базису та практичної реалізації в експериментальних зразках АЦ-систем.

До АЦ-систем вимірювання та обробки низькочастотних сигналів можна віднести наступні:

- інформаційно-реєстраційні системи для моніторингу з цифровим записом та можливістю оперативної чи подальшої обробки низькочастотних сигналів;
- вимірювальні системи, що взаємодіють з об'єктами вимірювання та фіксують сигнали відповіді;
- системи для вимірювань, обладнання та медичної діагностики;
- активні та пасивні системи акустичної локації та ідентифікації джерел сигналів в контрольованій місцевості.

Структурні схеми АЦ-систем вимірювання наведено на рис. 1.1—1.3.

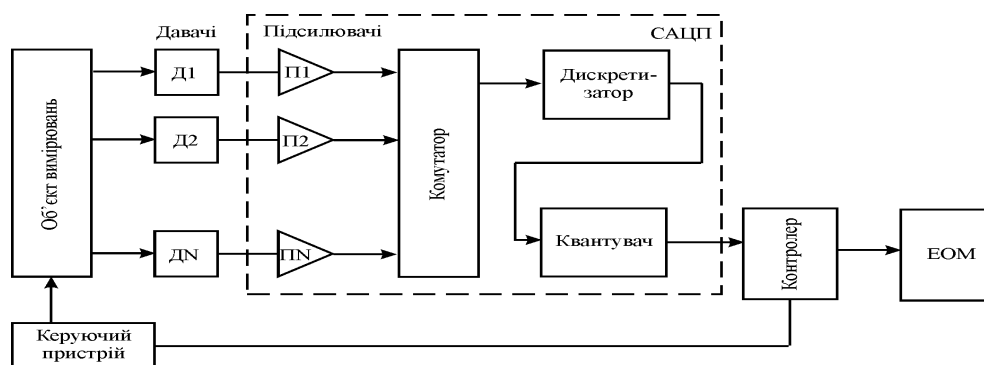


Рисунок 1.1 — Інформаційна система та вимірювання за кількома каналами.

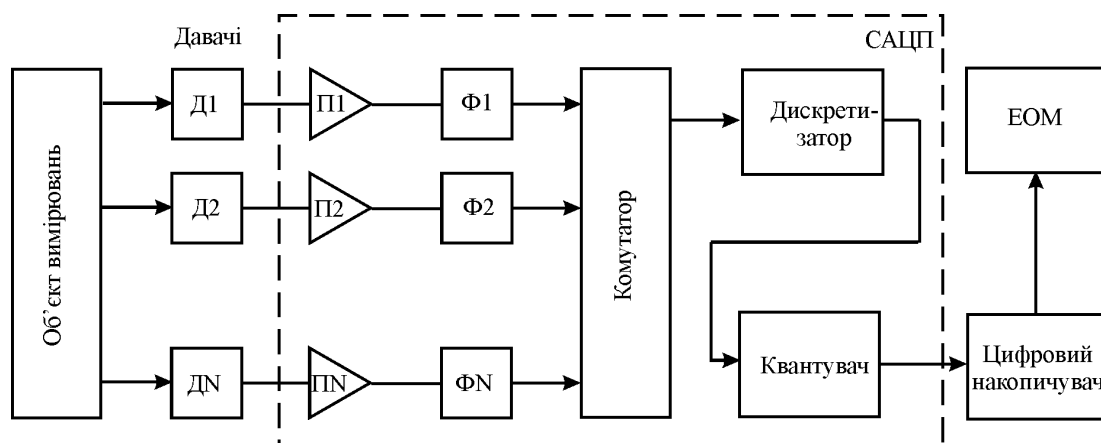


Рисунок 1.2 — Система моніторингу та обробки даних.

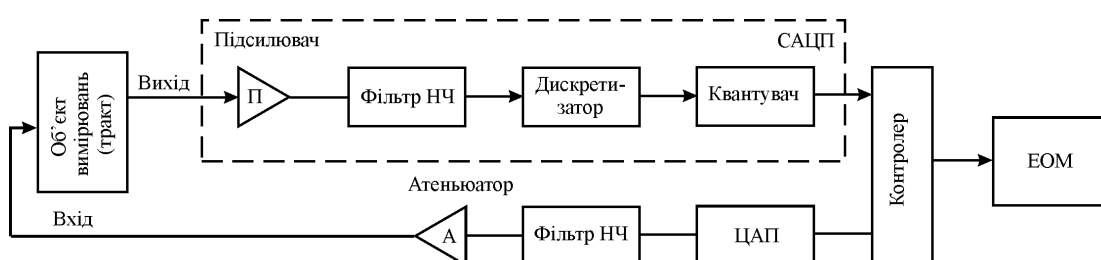


Рисунок 1.3 — Система, яка є активною щодо об'єкта вимірювання.

Вимірювальний компонент усіх цих систем включає фізичні датчики, підсилювачі, фільтри низьких частот (LFF), аналогові перемикачі (АС), а також інтерфейси передачі даних на зовнішній комп'ютер по відношенню до системи.

Системи змінного струму на малюнку 1.1 спочатку поєднують загальні вимоги до точності та частотного діапазону використовуваних АЦП. Як правило, бажана точність визначається (16—24) бітами вихідного коду для діапазону частот вхідного сигналу від 0 Гц до 100 кГц. Тобто необхідно високоточне перетворення і обробка сигналів постійної і низької частоти, до них відносяться спектр інфразвуку, звукові сигнали і сигнали більшої частоти.

Створення АЦП та приладів на їх основі з такою характеристикою вважається одним із найважливіших напрямків досліджень в Україні та за кордоном. Значна кількість цих систем побудована навколо самокалібрувальних і самозмінних АЦП і ЦАП.

Важливо відзначити, що згадані вище системи АС також мають комп'ютер, який контролює процедуру вимірювання, обробки та представлення інформації. Як наслідок, загальна філософія сучасних комп'ютерів передбачає, що АЦП, ЦАП і метрологічні характеристики мають бути частиною системи:

- сумісність з цифровими методами обробки інформації;
- вбудований механізм контролю продуктивності, який автоматично регулює метрологічні параметри;
- можливість попередньої обробки інформації;
- єдині стандарти асоціації на проектування аналогових і цифрових компонентів;
- технологічна основа - великі та складні інтегральні схеми (ІС).

Структурні рішення відіграють вирішальну роль у розробці високоточних АЦ-систем. Але здійснюються розробки нових методів та алгоритмів корегування, автокалібрування та попередньої обробки інформації [8].

Моделювання процесів обробки та перетворення інформації в аналого-цифрових перетворювачах (АЦП) має комплексний характер, що охоплює різні рівні, від структурно-функціонального до технічного й конструктивного. Однак у багатьох випадках моделювання не враховує взаємозв'язки на рівні метрологічних характеристик, які мають велике значення для оцінки загальної ефективності АЦП-системи. Таким чином, створення моделей, які зв'язують метрологічні властивості АЦП та їх компонентів з критеріями ефективності розробленої АЦ-системи, є важливим завданням.

Беручи до уваги властивості низькочастотних систем вимірювання та обробки, очевидно, що конструкція цих систем вимагає високої точності як самих АЦП, так і інших аналогових пристроїв. Аналіз сучасних зарубіжних прямих АЦП показує, що їх властивості впливають насамперед із структурних методів. Щоб досягти найвищого можливого рівня метрологічної досконалості в системах змінного струму, усі компоненти в вимірювальних каналах повинні бути розглянуті та скориговані.

Під час проектування систем змінного струму для обробки низькочастотних сигналів стають очевидними питання оцінки ефективності, досягнення множинних метрологічних параметрів, математичного моделювання та проектування цілих схем та їх окремих аналогових компонентів. Навіть за наявності сучасних зарубіжних мікросхем високоточних АЦП і ЦАП важливість цих завдань не зменшується, а зростає, оскільки повне використання цих можливостей стає більш важливим.

1.3 Акустичні характеристики

АЦ-система для локалізації звуку та ідентифікації об'єктів на місцевості була ґрунтується на багатоканальній обробці низькочастотних сигналів, отриманих з акустичних мікрофонних решіток.

Локалізація звукових джерел на місцевості та дистанційне отримання звукової інформації є ключовими характеристиками такої системи, як, наприклад, для автоматизованого контролю доступу та забезпечення безпеки територій, у комп'ютерних системах для ідентифікації джерел звуку, а також в мультимедійних системах стадіонів, концертних залів, виставкових приміщень та інших об'єктів. Мікрофонна фазованна решітка, що представляє собою масив мікрофонів, є одним з типів спрямованих мікрофонів і складається з приймачів звуку, що працюють у визначеній фазі або з фазовою затримкою, розташованих в приміщенні або на підвір'ї. Основа функціонального принципу багатоканальних мікрофонних решіток ґрунтується на цифровому підсумовуванні сигналів у каналах з введенням часових зсувів, необхідних для формування сигналу із заданого напрямку. Сигнал, отриманий мікрофонною решіткою (МР), підсилюється передніми підсилювачами низьких частот, перетворюється в цифровий формат за допомогою багатоканальних аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) і передається на персональний комп'ютер (ПК).

Щойно акустичний сигнал досягає мікрофонної решітки (МР), виникають затримки внаслідок напрямку джерела сигналу та розповсюдження звукової

хвилі. Вибір сигналу з певного напрямку стає можливим шляхом введення відповідної затримки в кожний вимірювальний канал, як показано на рис. 1.4.

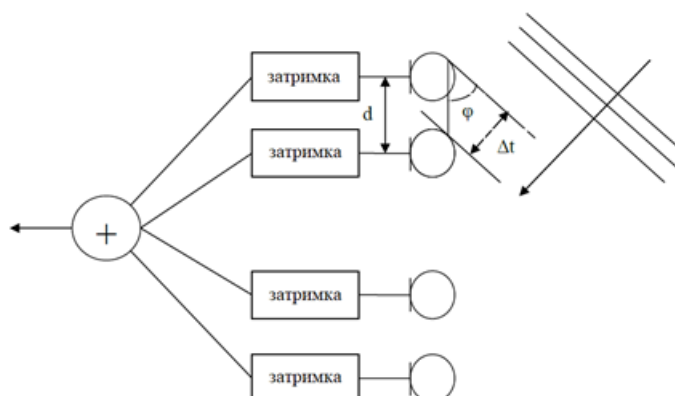


Рисунок 1.4 — Затримки сигналів для виділення напрямку на джерело звуку

Припустимо, що мікрофонна решітка (МР) має N приймачів, а d — відстань між цими приймачами. Тоді для встановлення напрямку основної пелюстки діаграми направленості на кут φ , часовий зсув між сигналами сусідніх мікрофонів повинен бути таким:

$$\Delta t = d \cdot \sin(\varphi) / v, \quad (1.1)$$

де v — швидкість розповсюдження звуку в повітрі.

При обробці отриманих сигналів від мікрофонної решітки з метою виділення сигналів під різними кутами напрямку φ , необхідно проводити сумування відліків сигналів для кожного конкретного кута. Одним з простих способів введення часових затримок між сигналами є їхнє зсування на певну кількість відліків m , де це число пов'язане з частотою дискретизації Fd :

$$\Delta t = m / Fd \quad (1.2)$$

Кут φ основного пелюстка звукової діаграми мікрофонної решітки на однаковій (однаковій) відстані між мікрофонами залежить від кількості зсувів між різними зчитуваннями сусідніх сигналів перед додаванням відповідно до співвідношень (1.1) і (1.2).).

$$\varphi = \arcsin (m * v / (d * Fd)). \quad (1.3)$$

З (1.3) випливає, що чим вища частота дискретизації Fd , тим менший буде крок сканування по дискретним відлікам кута φ .

Кут φ матиме рівномірно розташовані значення лише при невеликих значеннях m , коли наближено виконується рівність $\varphi = \arcsin (\varphi)$ для послідовних значень m , таких як ... -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 .

Проте, у електронному скануванні місцевості ця особливість не є вибагливою: при більших кутах роздільна здатність може зменшуватися, проте їх точні значення відповідатимуть вказаному співвідношенню (1.3). Врахувавши це, пропонується новий принцип для АЦ-системи, що наведено на структурній схемі на рисунку 1.5.

1.4 Сигнал обробки в акустичних системах

Звукові сигнали приймаються одним мікрофонним масивом (для визначення напрямку) або двома (для визначення координат). Аналогові сигнали, попередньо підсилені в кожному вимірювальному каналі, конвертуються в цифрову форму за допомогою високоточних АЦП, при цьому самокоригується амплітудно-фазова частотна характеристика .

Для визначення місць розташування джерел сигналу на електронній карті місцевості використовується програмний модуль (ПЗ), що є частиною прискореної електронно-цифрової системи сканування, ця система використовує ієрархічну обчислювальну структуру, паралельну місцевості. Локалізація звукових об'єктів уточнюється за допомогою нейрофазі методів.

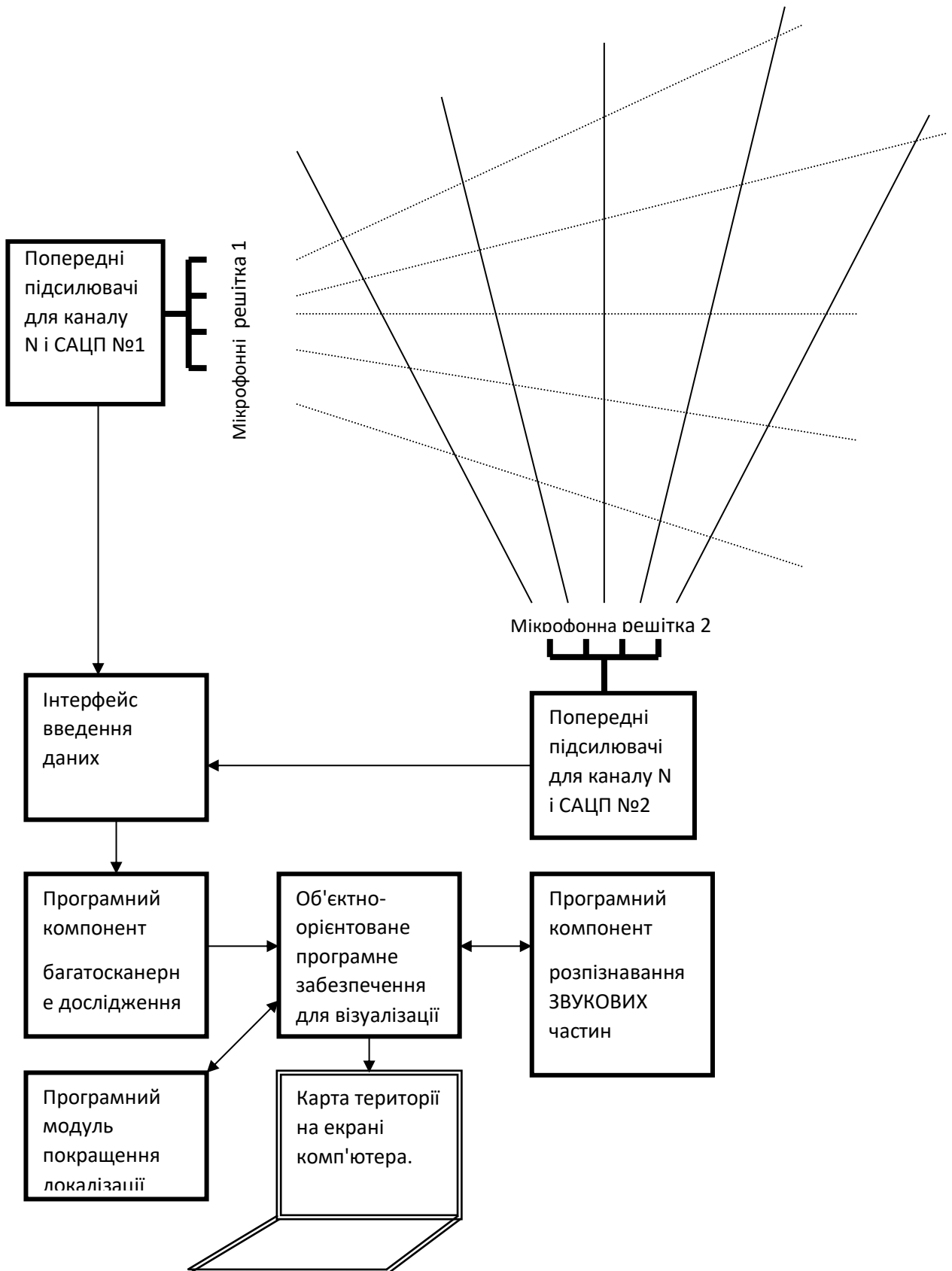


Рисунок 1.5 – Структурна схема АЦ-системи аудіолокації та ідентифікації об'єктів на місцевості

Розпізнавання типів об'єктів є похідним від оригінального швидкого алгоритму пошуку дерева та розпізнавання компонентів звукового сигналу.

Отримані результати розташування та ідентифікації об'єктів можна швидко відобразити на карті місцевості, вивести на екран контрольного персонального комп'ютера (ПК), зберегти або передати в центри управління. На поточному етапі роботи активно досліджуються методи обробки сигналів, розробляється структура апаратної частини, створюються алгоритми програмного забезпечення, проводиться макетування та випробування експериментального зразка системи.

Точність вимірювань в системах змінного струму визначається значеннями помилок перетворення АЦП і ЦАП, що становлять суттєву частину метрологічних характеристик вимірювальних каналів. Основною метрологічною характеристикою є основна помилка, яка розподіляється на систематичну та випадкову. Незалежно від конкретного типу пристрою чи системи існує три типи постійних помилок: адитивна, масштабна та лінійна. Залежно від потреб у швидкодії та точності, використовуються різні підходи до розробки системних перетворювачів інформації. Проблема досягнення високої точності аналого-цифрового перетворення із відносною похибкою не більше 0,05% та роздільною здатністю не менше 14 біт вдало вирішена для АЦП інтегруючого типу. Однак у таких пристроях традиційно спостерігається обмежена частота відліків ($f_{\text{відл}}$), яка зазвичай не перевищує десятків або сотень Гц. Для досягнення вищого коефіцієнта перетворення використовуються АЦП порозрядного врівноваження і паралельно-послідовні АЦП. До цього ж перші мають середню швидкодію ($f_{\text{відл}}=10^0-10^2$ кГц), а другі – високу ($f_{\text{відл}}=10^1-10^4$ кГц). Зі збільшенням швидкодії виникає проблема зі збереженням низького рівня помилок у цих пристроях. Важливо відзначити, що поліпшення властивостей елементної бази стикається з основними обмеженнями, які обумовлені технологічними можливостями та властивостями матеріалів. Відхилення ваг розрядів від необхідних значень, характерних для середньо та високошвидкісних перетворювачів інформації, часто виправляються в процесі виробництва за допомогою лазерного

налаштування резисторів або конденсаторів паралельних ЦАП, що входять до складу цих АЦП. Це призводить до збільшення площі внутрішніх кристалічних компонентів і кристала в цілому.

Ці процеси порушують структуру компонентів і зменшують не тільки часову стабільність окремих елементів, наприклад, резисторів, але й температурну стабільність всієї схеми. Зазначений підхід ускладнює досягнення точності, що відповідає роздільній здатності понад 14 біт .

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ БАГАТОКАНАЛЬНОМУ СКАНУВАННІ В СИСТЕМІ МІКРОФОННОЇ РЕШІТКИ

2.1 Огляд аналогово-цифрових систем

Більш точним підходом є використання повної корекції помилок або калібрування ваг окремих бітів ЦАП і АЦП без необхідності фізичного втручання в елементи схеми. У випадку ЦАП, побудованого на основі двійкової системи числення, зменшення статичних помилок досягається за допомогою корекції вихідного значення шляхом введення корекцій, які представлені у формі аналогових сигналів та генеруються додатковим коригуючим ЦАП. У такому випадку перетворений код K_{vh} , як показано на рис. 2.1, вводиться як вхідний сигнал до основного ЦАП (ЦАП) та в цифровий обчислювальний пристрій (ЦОП). ЦОП обчислює код корекції, який надходить на вхід коригуючого ЦАП (ЦАПкор) [10].

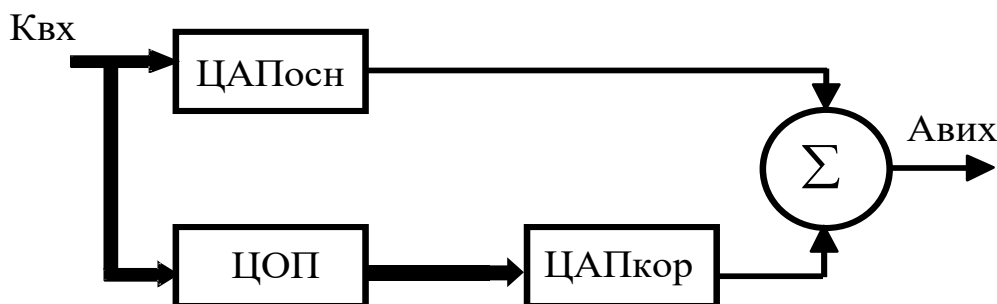


Рисунок 2.1 — Коригування вихідної величини двійкового ЦАП

Результат перетворення $A_{вих}$ формується з використанням суматора (Σ) аналогових величин. Цей принцип підвищення точності ЦАП є одним з розповсюджених і застосовується, такою фірмою, як Intersil Inc. (США). Але його використання при АЦП призводить до часткового зменшення швидкої роботи пристрої. Довести цей факт можна, провівши аналіз роботи самокаліброваної побітої компенсації АЦП взявши за основу двійкову систему

числення, спрощену блок-схему якої наведено на рис. 2.2. Пристрій складається з схеми порівняння аналогових сигналів (СП), основного ЦАП (ЦАП_{осн}), коригувального ЦАП (ЦАП_{кор}), суматора аналогових величин (Σ), цифрового обчислювального пристрою, регістру коригувального ЦАП (РГ), вихідного регістру (РГ_{вих}), регістру послідовного наближення (РПН), блока керування (БК) [11].

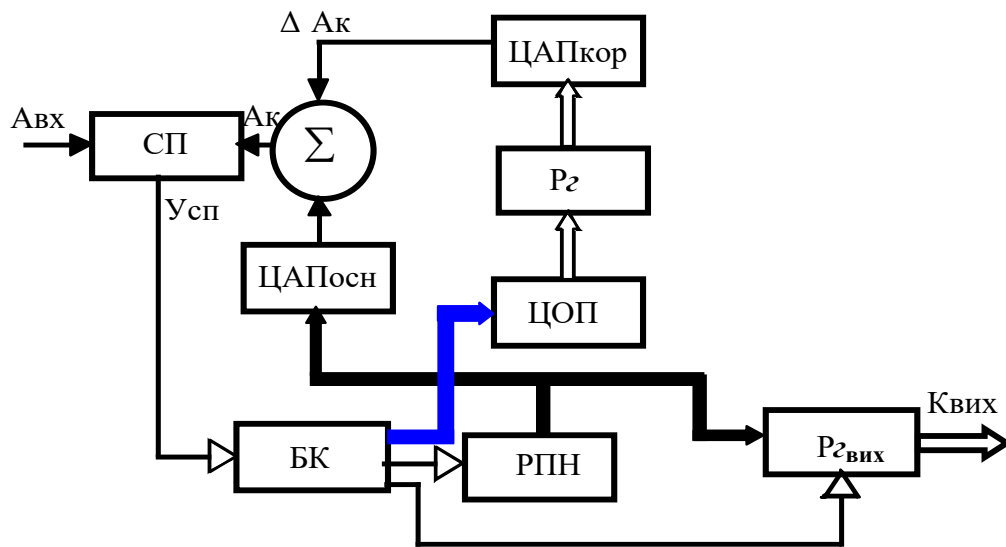


Рисунок 2.2 — Самокалібрований двійковий АЦП

В основному режимі на вхід АЦП подається сигнал, що перетворюється $A_{ВХ}$, та який врівноважується компенсуючим сигналом $A_К = A_{осн} + \Delta A_К$, де: $A_{осн}$ — сигнал з виходу ЦАП_{осн}, а $\Delta A_К$ — коригувальна поправка, що формується ЦАП_{кор}. Причому, значення коду $\Delta A_К$ розраховується ЦОП на кожному такті, коли вмикаються старші неточні розряди. Час перетворення в режимі з корекцією визначається виразом

$$t_{np} = nt_T + mt_{кор},$$

де n — число тактів врівноваження;

t_T — тривалість такту врівноваження;

m — число каліброваних розрядів;

$t_{кор}$ — час обчислення коригувальної поправки.

Розглядаючи випадок, якщо похибка формування ЦАП_{осн} знаходиться у нерухомому стані або має різницю відсотків, тоді для багаторозрядних перетворювачів ($n > 12$) число коригованих розрядів сягатиме значень $m \geq n/2$. Варто врахувати, якщо $t_{кор}$ порівняне з t_T , то це викликає значне збільшення $t_{пр}$. Отже, використання вище описаного підходу для підвищення точності вимог розрахування коригувальних поправок для кожного з «неточних» розрядів під час процесу врівноважування призводить до зниження швидкості перетворень навіть для АЦП середньої швидкості [12].

Вдосконалення зазначених характеристик аналого-цифрового перетворення викликає суперечку. У більшості випадків звичайне вдосконалення одного параметра, наприклад, точності, часто призводить до погіршення швидкодії. Зменшення кількості обладнання або спрощення пристрою може погіршити точність чи швидкодію і тощо. Одночасно включення додаткових елементів у розроблювані пристрої, таких як надлишкові потокові схеми числення, в певній мірі дозволяє вирішити проблеми комплексного поліпшення кількох характеристик аналого-цифрового перетворення. Такий підхід надає можливість, збільшуючи бітову глибину пристрою (яке, зокрема, призводить до збільшення кількості тактів при порозрядному врівноважуванні), з одного боку, підвищувати точність АЦП середньої і високої швидкодії, які використовують грубі аналогові вузли. З іншого боку, цей підхід дозволяє підвищувати швидкодію високоточних АЦП, використовуючи аналогові елементи середньої швидкодії.

2.2 Архітектура багатоканальних систем

Підвищення швидкодії багаторозрядних АЦП досягається двома шляхами. Перший спрямований на використання більш вдосконаленої елементної бази. Другий шлях пов'язаний з введенням в проєктовані пристрої надлишковості. Зокрема, одним із «найстаріших» підходів у цьому напрямку є використання

структурної надлишковості. Суть його передусім виявляється у паралельно-послідовному принципі перетворення. Відомі два варіанти структурних схем паралельно-послідовних АЦП: з одним набором компараторів і порогами спрацювання, які перенастроюються на кожному кроці, і з використанням кількох наборів компараторів – по одному на кожний такт.

Спрощена структурна схема більш розповсюдженого варіанта самокоригованого двійкового 14-розрядного паралельно-послідовного АЦП, продемонстровано на рис. 2.3 [13].

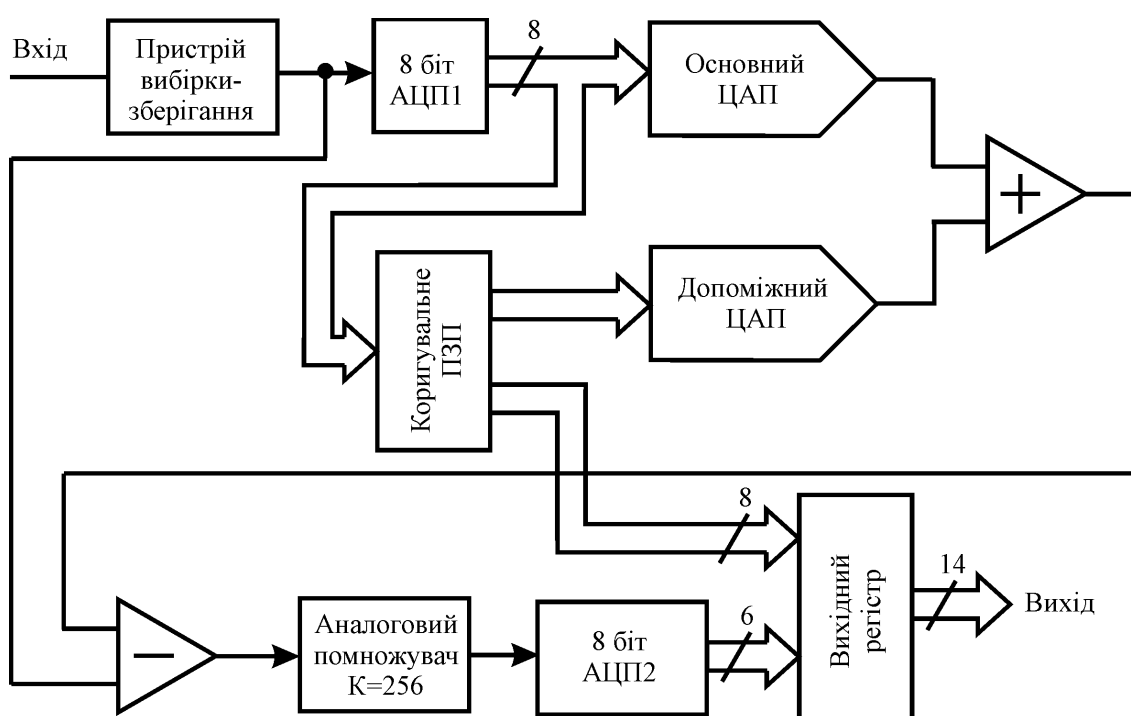


Рисунок 2.3 — Структурна схема паралельно-послідовного АЦП з коригуванням

У розглянутому пристрої спочатку відбувається перетворення з 8-бітової форми до 6-бітової. Зручно використовувати паралельні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) як набір компараторів для створення послідовно-паралельних перетворювачів. Однак неможливо досягти точності 16 біт, наприклад, використовуючи два паралельно інтегрованих 8-бітових АЦП. Це пов'язано з різницеvim сигналом на вході другого етапу (АЦП2), який складається з неперетвореної частини вхідного сигналу та помилки, яка виникає

через недосконалість ADC1 першого етапу, схеми віднімання, аналогового перемножувача та основного ЦАП. Тому часто використовується метод перекриття масштабів АЦП першого та другого етапів для отримання заданої точності перетворення в послідовно-паралельних перетворювачах .

У даній структурній схемі є програмований пристрій пам'яті (ПЗУ) і допоміжний ЦАП, який виконує стикування першого та другого етапів. Цей метод налаштування за допомогою ПЗУ називається програмним корегуванням. Для розширення діапазонів температур і часу налаштування ПЗУ можна замінити мікропроцесорною програмованою оперативною пам'яттю (ОЗУ). Алгоритм налаштування такого самокалібруючого перетворювача полягає в заповненні комірок ОЗУ кодами, що генеруються під час самокалібрування АЦП1 на безлічі вхідних опорних рівнів напруги. Для калібрування N-бітового АЦП1 потрібно сформуванати 2^{N-1} опорних рівнів напруги, що вимагає значних апаратних та часових витрат. Існують різні рішення, що зменшують кількість необхідних вхідних рівнів та контроль часу, але вони не усувають повністю потребу в складному багаторівневому опорному джерелі напруги.

Щодо аналогової частини паралельно-послідовних АЦП, їх специфікацією є висока точність та швидкодія диференціального підсилювача. Однак при реалізації паралельно-послідовних АЦП виникають труднощі через великий рівень перешкод, які виникають у проміжок часу між першим та наступним тактами перетворення. Ці перешкоди виникають через одночасне спрацьовування компараторів АЦП1 першого етапу та ключів ЦАП. Проблема завадостійкості стає особливо актуальною при роботі таких АЦП у вимірювальних системах разом із високочутливими попередніми підсилювачами. Проблема перешкодостійкості є значущою, коли ці АЦП використовуються у вимірювальних АЦ-системах разом із високочутливими попередніми підсилювачами.

Загалом, перевагою паралельно-послідовних АЦП є їхню можливість будувати на основі доступних мікросхем паралельних перетворювачів. Однак недоліками є складність, значна апаратна витрата, велике енергоспоживання та

низька стійкість до перешкод. Прагнення спростити аналогову частину з розвитком цифрових схем та обробки сигналів призвело до появи нових типів перетворювачів, таких як той, що використовує метод дельта-сигма-модуляції.

Робочий принцип дельта-сигма АЦП є досить простим: завдяки високій частоті дискретизації всі зміни вхідної напруги відстежуються шляхом збільшення вихідної напруги ЦАП в позитивному або негативному напрямку. Послідовний код керування ЦАП фактично містить інформацію про швидкість зміни вхідної напруги, тобто її похідну. Для відновлення вихідного сигналу потрібен зворотній процес — інтегрування, яке здійснюється цифровим НЧ-фільтром. Роздільна здатність і точність перетворювача в значній мірі залежать від цифрового НЧ-фільтра. Наприклад, модель CS5316 використовує 384 фільтри, вказуючи на складність цифрової частини пристрою в обмін на спрощення аналогової. У 16-розрядному АЦП CS5316 частота квантування в 128 разів перевищує частоту дискретизації і становить 2,56 МГц, що пояснюється тим, що перетворювачі дельта-сигма також називаються перетворювачами надмірного квантування.

Структурну схему дельта-сигма АЦП наведено на рис. 2.4.

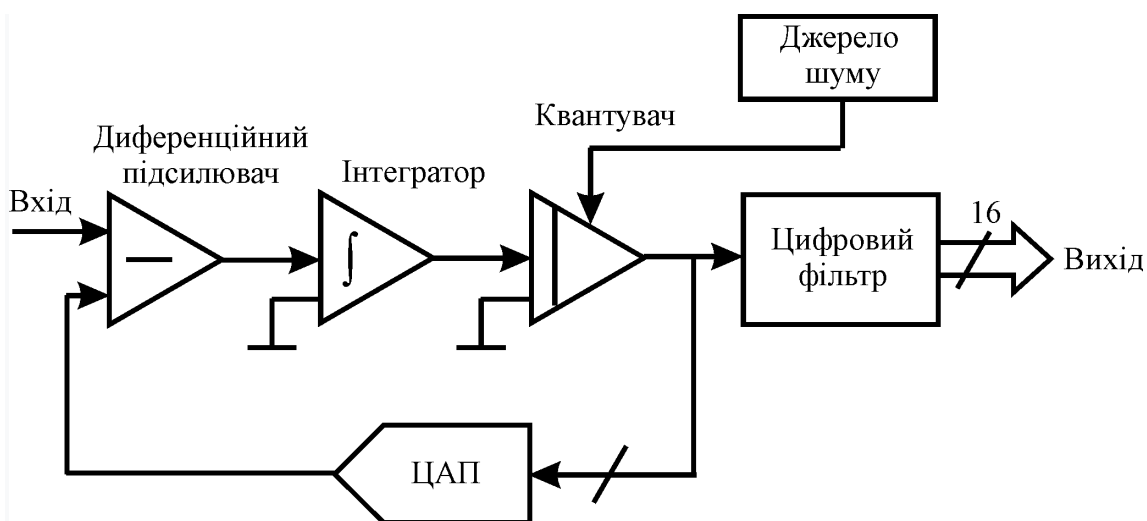


Рисунок 2.4 — Структурна схема дельта-сигма АЦП

Досягнення в галузі дельта-сигма АЦП є значущими. Наприклад, Cirrus Logic (Crystal Semiconductor), спільно з Analog Devices та Burr-Brown, лідером у

виробництві точних АЦП, широко використовують метод модуляції дельта-сигма. Інтегральна схема ADS1271, призначена для звукових систем, має нелінійні спотворення не більше 0,001% в діапазоні вхідних частот від 10 Гц до 22 кГц. За сучасними зарубіжними інтегральними схемами видно, що перетворювачі дельта-сигма домінують в галузі високоточних вимірювань постійного струму, де традиційно використовувались інтегральні АЦП, і навіть в областях обробки сигналів, де паралельно-послідовні структури були неконкурентоспроможними.

У більшості розробок дельта-сигма АЦП використовується метод «генерації шуму» для підвищення роздільної здатності. На блок-схемі показано джерело шуму, підключене до квантора (компаратора), а еквівалентна схема та передатні функції Лапласа для сигналу (НЧ-фільтр) та шуму (ВЧ-фільтр) показані на іншій схемі.

Схему формування шумів при дельта-сигма модуляції і передатні функції Лапласа наведено на рис. 2.5.

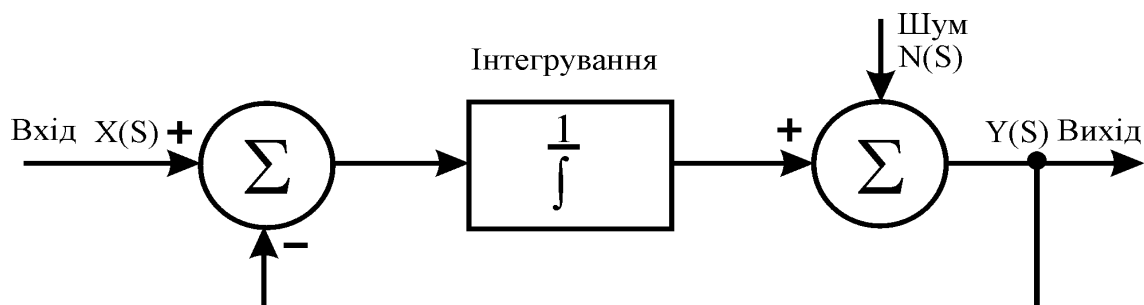


Рисунок 2.5 — Схема формування шумів при дельта-сигма модуляції і передатні функції Лапласа

$$\text{Для сигналу (N(S)=0): } \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{1}{S+1} \text{ – фільтр НЧ;}$$

$$\text{Для шуму (X(S)=0): } \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{S}{S+1} \text{ – фільтр ВЧ}$$

Введення додаткового шуму фактично не погіршує, а навпаки, покращує роздільну здатність датчика, оскільки передача спектра шуму відбувається у більш високочастотному діапазоні, де його можна успішно скасовувати за допомогою цифрового НЧ-фільтра.

З урахуванням принципово монотонної характеристики дельта-сигма АЦП, ці перетворювачі виявляються невід'ємними в ряді застосувань, зокрема, у цифровому магнітному записі звукових сигналів. Головним недоліком таких перетворювачів є тривалий час встановлення цифрового вихідного сигналу при різкій зміні аналогового вхідного сигналу, що призводить до неефективності їх використання в багатоканальних системах. У моделях CS5505/6 та AD7710/11/12 обмеження частково подолано за рахунок спеціальних гребінчастих фільтрів для постійних сигналів.

Деякі перетворювачі, наприклад, DSP56ADC16 від Motorola, можуть зменшити кількість фільтрів, скоротивши роздільну здатність з 16 біт до 12 біт, що також призводить до значного скорочення часу встановлення. Аналогова частина дельта-сигма АЦП вражає своєю простотою, проте саме тут виявляються важливі характеристики, такі як вплив шуму цифрової частини, необхідність автоматичного регулювання нульового зміщення інтегратора та інше. Технології КМОН та схеми комутованих конденсаторів використовуються як у аналоговій, так і у цифровій частині дельта-сигма АЦП. Розвиток цих перетворювачів став можливим завдяки досягнутому рівню інтеграції, що дозволяє вбудовувати цифрові фільтри високого порядку безпосередньо в кристал мікросхем. Зрозуміло, що з подальшим розвитком АЦП дельта-сигма можливе використання цифрових фільтрів з регульованими частотними характеристиками, що дозволить регулювати частотні характеристики пристроїв введення та попередньо обробляти сигнали, поки АЦП працює як частина АЦ-системи.

Алгоритми генерації спектру шуму та регулювання частотної характеристики можуть також знайти застосування в самокалібруючих АЦП, а також у системах та програмах цифрової обробки сигналів.

Технологія комутованих конденсаторів також лягла в основу розробки популярних АЦП порозрядного наближення для цифрових аудіосистем за кордоном, як показано на блок-схемі на рис. 2.6 .

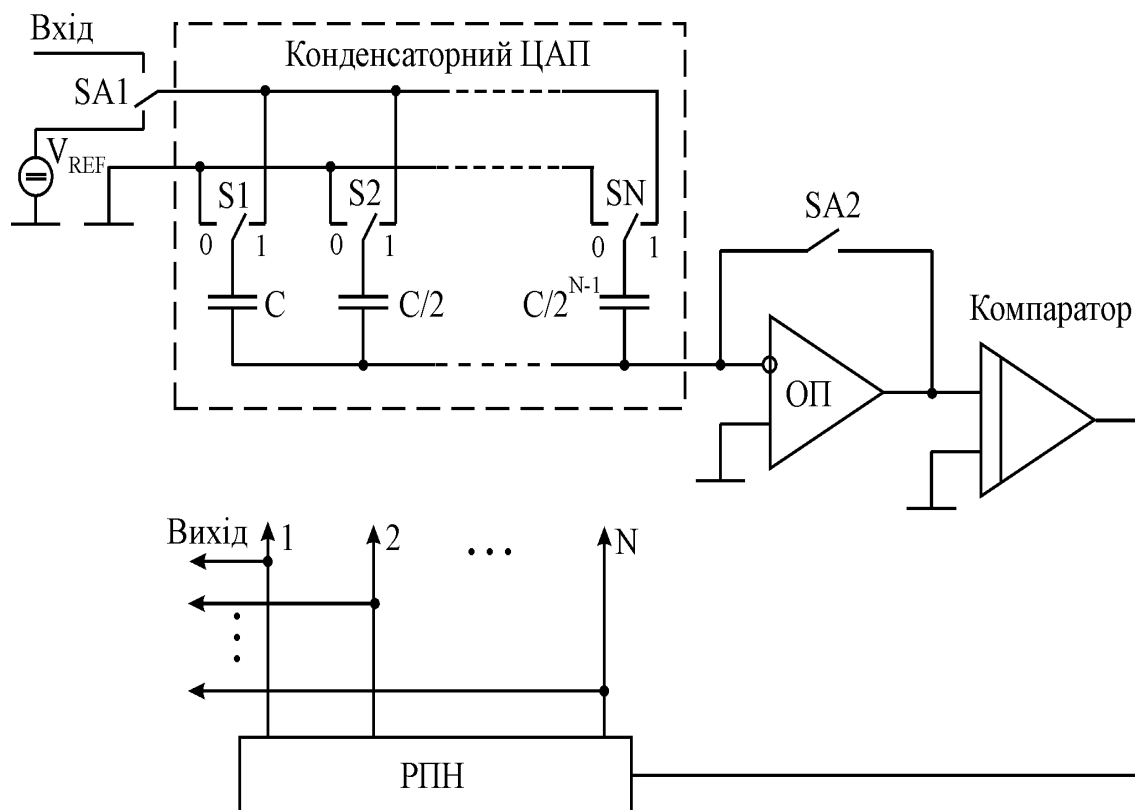


Рисунок 2.6 — Типова структурна схема АЦП порозрядного наближення на комутованих конденсаторах

Під час режиму вибірки вхідного сигналу ємності конденсаторів заряджаються до величини вхідної напруги $U_{ВХ}$. Після розмикання перемикача SA2 у зворотному зв'язку операційний підсилювач переходить у режим утримання заряду. Далі відбувається перемикання перемикача SA1 на опорне джерело V_{REF} , і розпочинається процес перетворення. Цей процес полягає в збалансуванні заряду на вході операційного підсилювача шляхом комутації конденсаторів матриці за допомогою перемикачів S1... SN. При перемиканні конденсатора старшого розряду на шину «нуль» (положення "0" S1), схема функціонує як дільник напруги між конденсаторами однакової ємності. Напруга на вході операційного підсилювача U_X обчислюється за формулою:

$$U_X = (V_{REF} - U_{BX})/2$$

Компаратор визначає знак напруги U_X , і керуючий пристрій перетворювача (КПП) утримує або повертає перемикач S1 у вихідне положення. Аналогічний процес зрівноважування відбувається на всіх подальших тактах.

Особливістю описаного конденсаторного АЦП є можливість отримання досить точних значень конденсатора на обмеженій площі кристала КМОН-ВІС. Паразитні ємності перемикачів, що комутують верхні пластини конденсатора, не впливають на точність перетворення. Реалізація цих перемикачів може використовувати транзистори з каналами достатньо широкими для забезпечення високої швидкості. Паразитні ємності нижніх пластин конденсаторів також майже не впливають, оскільки напруга U_X практично дорівнює «нулю» в кінці процесу перетворення. Ці ємності можуть бути значно більшими (на два порядки) в порівнянні з ємністю конденсатора переходу.

Одним із недоліків послідовного наближення АЦП, який ускладнює їх практичне втілення, є жорсткий зв'язок між точністю та часом перетворення через процеси саморозряду конденсаторів. Крім того, при конструюванні КМОН-структур ключі повинні бути особливо тщательно розроблені з технологічної точки зору, щоб уникнути помилок при перемиканні та розподілі зарядів. Відомо, що ці помилки значно обмежують динамічний діапазон аналого-цифрових фільтрів. Наукова література не надає достатньої інформації щодо впливу процесів абсорбції конденсаторів на точність перетворення, хоча аналогічні питання вже давно обговорюються у відношенні до пристроїв вибірки-зберігання. Зазначені АЦП широко застосовуються в побутовій апаратурі цифрового звукозапису з урахуванням їхніх особливостей. Таким чином, їх використання в високоточних вимірювальних системах повинно супроводжуватися дослідженням всіх метрологічних властивостей. Всі вищезазвані недоліки конденсаторних АЦП не знецінюють основні переваги

методу послідовного наближення при створенні на його основі самокорегуючих АЦП:

— ефективний баланс між апаратними витратами та швидкодією, а також між аналоговою та цифровою частинами, а саме між паралельно-послідовними та дельта-сигма-перетворювачами;

— можливість контролю та регулювання лінійності через встановлення співвідношень ваг цифрових бітів;

— повне вирівнювання вхідного сигналу після завершення перетворення, що призводить до адитивного характеру серії помилок;

— придатність до застосування в багатоканальних та системах з нерівномірною дискретизацією;

— можливість структурного та схемного об'єднання пристрою введення, дискретизатора і квантувача, що дозволяє їх послідовно коригувати;

— послідовний формат вихідного коду квантувача, що відкриває можливості для побітової обробки.

Звісно, аналіз, який був проведений, не охоплює всі можливі методи побудови високоточних АЦП. Проте ця інформація в значній мірі надає базові принципи для розробки та застосування як АЦП, так і ЦАП, а також їх аналогових пристроїв. Усі ці методи використовують переваги цифрової корекції помилок аналогових пристроїв. В інтегральних та дельта-сигма АЦП відбувається багаторазове накопичення та обробка відліків вхідного сигналу для зменшення шуму, який може бути викликаний аналоговими елементами. У паралельно-послідовних АЦП виправляються помилки, пов'язані з невідповідністю аналогових пристроїв, які беруть участь у різних циклах перетворення. А у АЦП порозрядного наближення виправляються помилки, які виникають внаслідок недосконалостей ваг розрядів. У всіх випадках покращення точності та швидкості вимагає використання надлишкових конструктивних, алгоритмічних, схемних, технологічних або проектних рішень.

Теоретично продемонстровано та експериментально доведено, що використання в калькуляторі вагової надлишковості позитивно впливає на

лінійність характеристичного перетворення при побудові пристроїв на основі недосконалих елементів. Наприклад, у ЦАП, у яких відсутній технологічний розгляд ваг виходів, використання вагового резервування може значно підвищити лінійність. Крім того, швидкість побітового перетворення з аналогового в цифровий може бути значно збільшена за рахунок автоматичної корекції динамічних помилок балансування. Ці переваги SLC щодо точних і швидких АЦП і ЦАП включені як у симетричні, так і в загальні асиметричні (0,1) бази розрахунків.

Використання декількох датчиків у вхідному сигналі S (1..m) пояснюється необхідністю збереження системних каналів для перемикання між групами або типами датчиків або напрямком прийому акустичного сигналу. Використання компараторів КП дозволяє визначити ідеальний коефіцієнт посилення, який використовується для регулювання перевантаження вхідних сигналів. Контролер інтерфейсу даних, який може бути реалізований на мікропроцесорі або спеціалізованому процесорі сигналів, відповідає за отримання та надсилання даних на комп'ютер через вибраний високошвидкісний стандартний інтерфейс (USB, S/PDIF, Bluetooth, Ethernet, Wi-Fi) . ПК із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення (СПЗ) аналізує сигнали та контролює процес корекції системи АС через відповідний контролер.

До самокаліброваної АЦ-системи доданий перемножуючий ЦАП, який має чітко фіксовану максимальну амплітуду вихідного сигналу, рівну значенню напруги ДОН. Залежно від алгоритму та кроку калібрування, цей ЦАП відтворює тестові опорні сигнали, такі як імпульси фіксованого періоду та амплітуди, гармонійні та полігармонійні сигнали з заданим набором частот. Ці тестові сигнали подаються на вхід вимірювальних каналів АЦ-системи через комутатори ВК на входи програмованих підсилювачів ПП. Процес калібрування охоплює параметри комутаторів, підсилювачів, фільтрів та САЦП і відбувається послідовно для кожного коефіцієнта підсилення ПП.

Структура, представлена на рис. 2.7 передбачає використання окремих АЦП в кожному каналі. У цьому випадку можуть застосовуватися сучасні

дельта-сигма АЦП з високою роздільною здатністю та децимацією цифрового фільтра. Для додаткової ефективності вимірювальних систем, зокрема при швидкому перемиканні вхідних датчиків або комутаційних перевантаженнях підсилювачів, може бути вигідніше використовувати схему з послідовним перетворенням змінного струму сигналів у каналах, як це наведено на рис. 2.8.

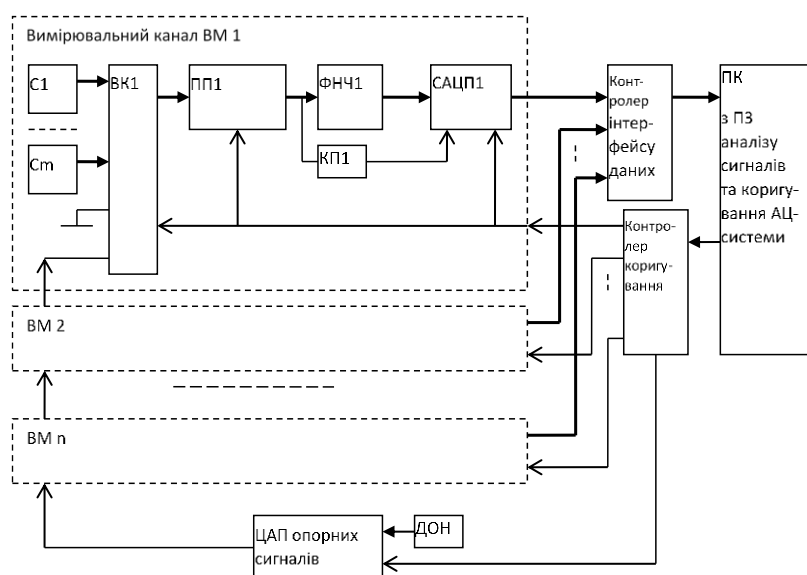


Рисунок 2.7 — Склад багатоканальної системи АС, призначеної для аналізу сигналів з регулюванням властивостей вимірюваних каналів.

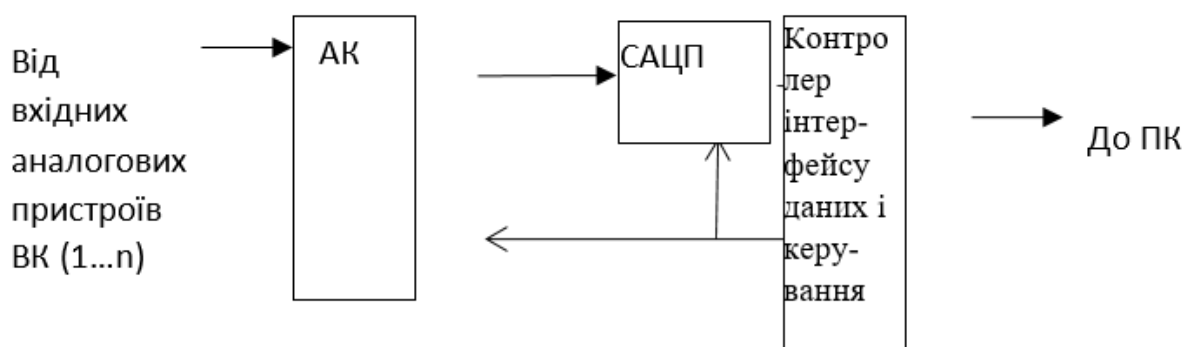


Рисунок 2.8 — Варіант схеми з послідовним АЦ-перетворенням сигналів

Параметром може бути амплітуда, частота або фаза вихідної змінної напруги. Фізична величина, вимірювана за допомогою цих сенсорів, впливає на ємність, індуктивність або взаємну індуктивність компонентів ланцюга. Серед таких сенсорів можна відзначити ємнісні, індукційні, трансформаторні,

магнітострикційні, струнні та інші. Змінні вихідні сигнали цих сенсорів можуть подаватися безпосередньо на вхід АЦ-системи або перетворюватися на пропорційну напругу перед подачею.

Важливість власних характеристик перетворення вхідних сенсорів полягає в їхньому прямому впливі на точність вимірювання системи. Багато параметрів перетворювальних властивостей датчиків можна визначити як на етапі виготовлення, так і під час експлуатації. Наприклад, лінійність статичної передатної характеристики датчиків може бути визначена та скоригована під час окремо організованого процесу калібрування. Нерівномірність та нетотожність частотних характеристик вимірювальних каналів також визначаються та коригуються в процесі калібрування.

Вхідні схеми аналогової комутації сигналів взаємодіють прямо з сенсорами фізичних величин, і тому їх розробляють для відповідних типів вхідних ліній та комутаційних з'єднань. Захист від перенапруги здійснюється за допомогою симетричних схем з вхідними обмежувальними резисторами та захисними діодами. У деяких випадках використовуються трансформаторні та оптоелектронні схеми для гальванічної ізоляції входів, що також може впливати на точність вимірювань. Захисні ланцюги, підключені до вхідних перемикачів, також враховують параметри нелінійності та нетотожності між каналами, спільно з параметрами вхідних датчиків.

Програмовані підсилювачі в системі змінного струму, яка перемикається між різними фазами, виконують дві основні функції: перетворення диференціального вхідного сигналу в загальний фазовий сигнал і узгодження динамічного діапазону вхідного сигналу з діапазоном вхідної напруги низьких частот. фільтр і ЦАП. Ці підсилювачі, як правило, є похідними від класичної диференціальної схеми трьох операційних підсилювачів, але також можна використовувати інші типи підсилювачів, зокрема підсилювачі струму, які мають подібні вхідний, проміжний і буферний каскади. У процесі калібрування необхідно визначити та врахувати «нульове» зміщення та фактичне посилення кожного посилення програмованого підсилювача. Ця процедура передбачає

проведення вимірювань і зміну параметрів за підходом «зверху вниз». вниз», розпочинаючи з більшого вхідного діапазону і переходячи до меншого.

Під час обробки сигналів від сенсорів результати налаштувань використовуються для корекції сигналів в кожному каналі АЦ-системи окремо. Розглядаються параметри реальної статичної передатної характеристики та амплітудно-фазо-частотної характеристики. Адаптація АЦ-системи до рівня та спектру вхідного сигналу в кожному каналі може ґрунтуватися як на апаратних компонентах (вихідні сигнали НП, АЦП), так і на програмному аналізі частотного спектра (в процесорі сигналу та в ПК).

Процедура вимірювання статичних і динамічних властивостей у багатоканальній системі змінного струму, призначеній для обробки низькочастотної інформації, повинна забезпечувати такі технічні вимоги:

- кількість каналів, що вимірюють 4;
- кількість каналів з контролем напруги та струму для живлення активних датчиків 4;
- аналогові вхідні сигнали одного типу;
- діапазон напруг аналогових входів: від 0,1 до 1 В;
- діапазон вхідних частот від 1 Гц до 10000 Гц;
- динамічний діапазон, обмежений відношенням сигнал/шум не менше 126 дБ;
- спектральна чіткість не менше 140 дБ;
- нетрадиційні спотворення не більше 0,003%;
- нерівномірність АЧХ і нерівномірність АЧХ каналів не більше 0,03 дБ / 0,1°;
- інтерфейси передачі даних USB 2.0 і Bluetooth;
- напруга живлення +5 В, з запасом 10% від порту USB або акумулятора;
- ефективна реалізація — на основі друкованої плати розміром не більше 125 мм x 125 мм x 30 мм.

Вивчивши структурні та параметричні ознаки, можна зробити висновок:

— можливість покращення статичних і динамічних властивостей системи змінного струму за допомогою АЦП і ЦАП на основі НПСЧ;

— методи підвищення точності та швидкодії системи змінного струму за рахунок підвищення принципів статичної корекції та автокомпенсаторного характеру динамічних похибок АЦП і ЦАП для інших ділянок вимірювального каналу;

— загальний структурний опис системи змінного струму, що використовується для вимірювання та аналізу низькочастотних сигналів на основі самокаліброваних АЦП і ЦАП.

Специфікації первинних технічних вимог до самокаліброваної 4-канальної системи АС для обробки низькочастотної інформації. Наведені технічні характеристики підтверджуються результатами попередніх експериментальних досліджень і властивостями подібних систем, створених авторами.

2.3 Цифрова обробка сигналу

З погляду багатоканальної цифрової обробки аналогових сигналів важливою особливістю є наявність трьох АЦП і двох одноканальних ЦАП. Три АЦП, що мають позначення ADC1, ADC2 та ADC3, реалізовані як 12-бітні АЦП послідовного наближення та здатні обробляти сигнали з 16 зовнішніх аналогових каналів, які комутуються за допомогою мультиплексора. Кожен АЦП має власний набір зовнішніх каналів, які можна до нього підключити. Аналого-цифрове перетворення може виконуватися в одноканальному (single), багатоканальному (scan), безперервному (continuous) або переривчастому (discontinuous) режимах.

Останнім часом вимоги до статичних і динамічних властивостей вимірювальних та інформаційних систем, призначених для обробки і перетворення низькочастотних звукових сигналів, значно зросли. Ці типи систем використовуються в різних областях, включаючи сейсмозв'язку, вимірювання деформації, гідроакустику, виявлення звуку, біомедицину та інші. Дуже важливо визнати, що успішне досягнення бажаних властивостей цих систем

безпосередньо залежить від властивостей аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) і цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП), а також інших аналогових пристроїв, таких як підсилювачі, перемикачі, фільтри тощо.

Вибір елементної бази АЦ-системи обумовлюється діапазонами значень рівнів і частот вивчених сигналів, а також вимогами до статичних і динамічних характеристик перетворення. Таким чином, в залежності від призначення АЦ-системи, статичні характеристики повинні забезпечувати комплекс показників, які відповідають конкретним вимогам:

- широкий динамічний діапазон оброблюваних сигналів, який може коливатися від 100 до 140 дБ;
- висока роздільна здатність в межах від 16 до 24 біт;
- мінімальний рівень нелінійності аналого-цифрового перетворення, що знаходиться в діапазоні від 0,001% до 0,01%;

При визначенні динамічних характеристик АЦ-системи важливо враховувати наступні ключові аспекти:

- широкий діапазон частот сигналів, що охоплює від 1 герц до 10 кілогерц;
- мінімальний рівень шумів в спектрі сигналу, знаходячись у діапазоні від мінус 90 до мінус 120 дБ;
- низький коефіцієнт нелінійних спотворень, який може коливатися від 0,001% до 0,01%;
- мінімальна нерівномірність амплітудно-частотної характеристики в межах $\pm 0,03$ дБ та нелінійність фазочастотної характеристики в межах $\pm 0,1$ градуса у смузі корисного сигналу.

У системах багатоканальних аналого-цифрових перетворювачів (АЦ-системах), особливо при врахуванні загальної обробки сигналу, існують додаткові вимоги до того, щоб статичні та динамічні характеристики всіх каналів були ідентичними, а також вимоги до мінімізації впливу одного каналу на інший канал.

2.4 Засоби збереження та передачі даних

Один із етапів реалізації високопродуктивних багатоканальних аналого-цифрових систем моніторингу та синхронного оброблення низькочастотних аудіосигналів — перевірка параметрів мікрофонних вимірювальних каналів і їх тестування в умовах, які наближені до реальних. Для проведення цього етапу необхідно виконати ряд організаційних та технічних заходів, зокрема розробити програмне забезпечення, що дозволяє аналізувати параметри сигналів кожного мікрофонного вимірювального каналу протягом певного часового інтервалу, порівнювати ці сигнали і формувати діаграму напрямку. Дане програмне забезпечення повинно обробляти wav-файли, отримані під час лабораторних і натурних випробувань як окремих мікрофонних вимірювальних каналів, так і їх збірок у комплексі. Використання зазначених режимів, напрямків і типів звукових сигналів та порівняння отриманих результатів з очікуваними дозволить виявляти проблеми та похибки вказаних каналів для подальшого коригування. Зокрема, такий підхід дозволить виявляти похибки амплітудних і фазових характеристик мікрофонних вимірювальних каналів, відповідність сигналів на їх входах і виходах, похибки визначення напрямку та інше [14].

Уточнення акустичного зображення за допомогою методу Байєсового виведення відоме як Байєсове фокусування. Роздільну здатність реконструкції на основі Байєсової моделі підвищено завдяки використанню апріорної інформації про розподіл джерел. Це дозволяє послідовно оцінювати положення джерела шляхом підбору моделі розповсюдження звукової енергії до вимірюваних даних. В результаті вирішення оберненої задачі, параметри сканування, які зазвичай налаштовуються вручну, автоматично оцінюються разом із параметрами розподілу джерел. Поточні оцінки параметрів джерел використовуються для оновлення функцій налаштування на наступних ітераціях.

Статистично оптимізована реконструкція поля вимагає значних витрат. Вартість експериментів зростає із зростанням вимог до обладнання, яке автоматично встановлює параметри формування променя, які зазвичай

емпірично налаштовуються відповідно до форми мікрофонної решітки. Проте обробка потоків акустичних даних унеможливило проведення серій експериментів для багаторазової ініціалізації ітеративного пошуку параметрів звукових джерел. У цьому випадку виведення тривимірної моделі акустичного поля здійснюється за допомогою альтернативних технологій.

На місцевості, де джерела розташовані близько одне до одного, не ефективно використовувати велику обчислювальну потужність для деталізованої тривимірної візуалізації, оскільки така зайва деталізація не призводить до поліпшення загального розуміння подій в акустичному полі. Таким чином, у тривимірному відображенні складних акустичних сцен використовується метод еквівалентного джерела. Цей метод, за допомогою методу найменших квадратів, відтворює звуковий тиск, схожий на виміряний в певному віртуальному акустичному об'ємі. Внаслідок цього, просторова реконструкція спрощується та адаптується до реальних сценаріїв вимірювань без необхідності відновлення параметрів всіх джерел в акустичному полі.

В умовах неповних даних метод еквівалентного джерела передбачає розробку моделей звукового поля з інтервальними або нечіткими параметрами. Положення джерел оцінюється методами нечіткої кластеризації на основі аналізу щільності пікових значень в звуковому полі. Внесок окремого джерела або групи джерел в сумарний рівень звукової енергії моделюється матрицею відношень, яка налаштовується на експериментальні дані. На заключному етапі, для визначеної кількості джерел або їх кластерів, параметри поля відновлюються методами регуляризації. Реконструкція реальних акустичних сцен на місцевості виконується шляхом генерації можливих сценаріїв на основі кластерного аналізу з наступною генетичною селекцією джерел, які забезпечують мінімальну відстань між модельними і спостережуваними рівнями звукового тиску. У результаті, реконструкція поля, що виникає від багатьох джерел, вимагає значних обчислювальних витрат, оскільки вона зводиться до генерації та селекції матриць відношень, які визначають розподіл рівнів звукової енергії поля за розрідженими даними .

У цій роботі пропонується модель акустичної поверхні, що ґрунтується на нечітких відношеннях. Координати джерела або групи джерел описуються нечіткими термінами, і матриця нечітких відношень з'єднує місцезнаходження джерел і рівні звукової енергії поля. Система нечітких логічних рівнянь зв'язує функції належності місцезнаходжень джерел і рівнів звукової енергії за допомогою композиційного правила виведення. Таким чином, задача реконструкції акустичної поверхні зводиться до розв'язання сполученої системи нечітких логічних рівнянь, що отримана для наявних даних «координати — потужність поля».

Метод отримання нечітких відношень з експериментальних даних, на основі розв'язання сполученої системи нечітких логічних рівнянь, базується на числовому розв'язанні таких систем за допомогою генетико-нейронної технології. Розв'язання сполученої системи рівнянь відбувається на двох етапах. На першому етапі генетико-нейронним алгоритмом визначається нульовий розв'язок для матриці нечітких відношень і параметрів функцій належності нечітких термінів, який мінімізує різницю між результатами лінгвістичної апроксимації і даними вимірювань. На другому етапі нульовий розв'язок дозволяє організувати генетичний пошук множини розв'язків сполученої системи рівнянь у вигляді інтервалів, де границі нечітких відношень уточнюються за допомогою нейро-нечіткої мережі. Лінгвістична інтерпретація передбачає перехід від множини розв'язків для матриці нечітких відношень до множини наборів нечітких правил «ЯКЩО-ТО».

Дотримуючись методу, на першому етапі реконструкції отримується нуль-варіант матриці відношень, який визначає нульовий розподіл рівнів звукової енергії поля. Одночасно з нульовим розподілом енергії поля визначаються параметри функцій належності нечітких термінів, які описують координати джерел звуку. На другому етапі визначається множина розв'язків для матриці нечітких відношень у вигляді граничних розподілів рівнів звукової енергії поля. В цьому випадку результатом композиційного виведення є нижня і верхня акустичні поверхні. Кількість варіантів реконструкції поля визначається шляхом

переходу від матриці відношень до множини наборів правил «ЯКЩО-ТО», які описують акустичну поверхню.

Отже, параметри моделі визначаються властивостями розв'язків сполученої системи нечітких логічних рівнянь, що дозволяє уникнути генерації і селекції моделей поля на основі матриць відношень «місце – рівень звукової енергії». Розв'язання сполученої системи рівнянь дозволяє спростити процес реконструкції поля, що виникає від багатьох джерел, і збільшити частоту реконструкції при обробці потоків акустичних даних.

Генетико-нейронний алгоритм реконструкції акустичного поля запропоновано так, що модель поля будувалась на основі фундаментальних законів теорії звуку, а параметри джерел задавались чіткими значеннями. Особливість варто підкреслити, що у цьому дослідженні кількість джерел звуку не обмежена. Реконструкції підлягає акустична поверхня у вигляді нечіткої бази знань, де кількість термінів входів обмежується розмірами контрольованої ділянки місцевості .

Мета роботи — розробити метод реконструкції акустичної поверхні на основі нечітких знань для неповних даних. Метод повинен забезпечити підвищення роздільної здатності та частоти реконструкції поля, генерованого багатьма джерелами. Для досягнення цієї мети необхідно: розробити модель акустичного поля на основі нечітких відношень; розробити метод реконструкції акустичної поверхні на основі розв'язання сполученої системи нечітких логічних рівнянь. Цей підхід не потребує проведення серії витратних експериментів і дозволяє обмежитись обладнанням, що реалізує класичні методи формування променів для обробки потоків акустичних даних.

3 ЗАСОБИ І МЕТОДИ АКУСТИЧНОГО СКАНУВАННЯ В БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

3.1 Поєднання акустичного сканування та багатоканальних систем

Мета — програмне забезпечення повинно створювати графічне відображення звукових сигналів для кожного мікрофонного вимірювального каналу на основі аудіофайлу та формувати діаграму напрямку. Кожен мікрофонний канал повинен мати індивідуальний графічний слід на загальному відображенні, відрізняючись кольором. Крім того, програма повинна виводити в окремій частині вікна діаграму напрямку:

- тип представлення даних wav-файл;
- формат представлення даних PCM;
- кількість каналів у wav-файлі 1, 2, 3, 4;
- розрядність відділків звукового сигналу (8, 16, 24, 32) біт;
- частота дискретизації вказана у самому wav-файлі;
- час запису звукового сигналу (1-5) сек;

Програма повинна відображати параметри wav-файлу в окремій вкладці, подібно до зображення на рисунку 3.1 [15].



Рисунок 3.1 — Параметри звукового сигналу

Для аналізу в режимі багатоваріантності, програма повинна мати здатність створювати необмежену кількість графічних представлень звукового сигналу, які оформлені у вигляді окремих вкладок. У кожному графічному представленні звукового сигналу кожен канал у графічному представленні повинен бути представлений окремим треком.

Вимоги до області графічного представлення треків такі:

- забезпечення можливості призначення обраних каналів для кожного треку, подібно до зображення на рисунку 3.2;
- можливість визначення номера відліку, з якого починається побудова графічного представлення треків звукового сигналу;
- можливість прокрутки графічного представлення для знаходження конкретного відліку за його номером;

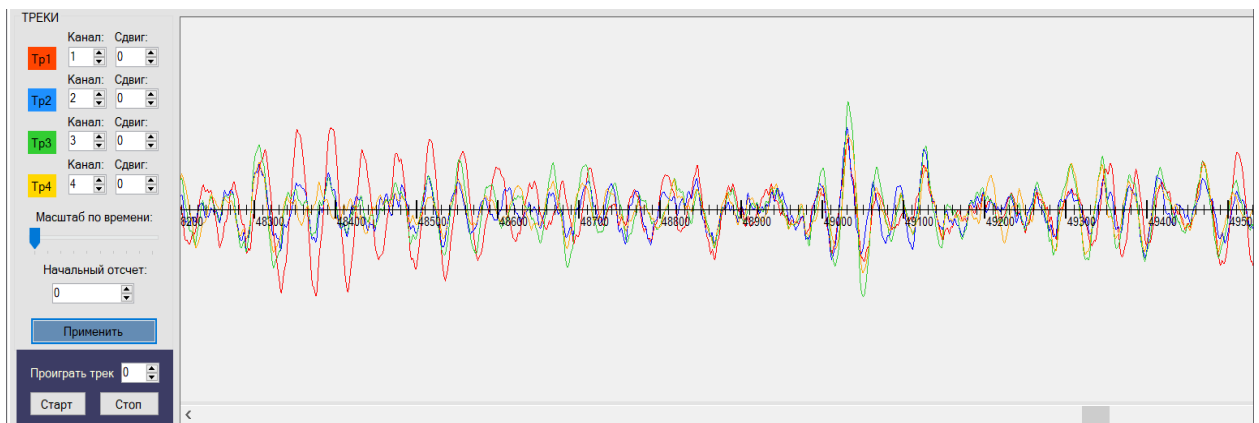


Рисунок 3.2 — Графічне представлення треків звукового сигналу

- забезпечити можливість розпочати побудову треків, вказавши номер звукового сигналу, з якого розпочати відтворення;
- забезпечити можливість визначення початкового відліку для прослуховування звукового сигналу обраного каналу;
- забезпечити можливість масштабування графічного зображення звукових сигналів по осі абсцис;
- забезпечити можливість додаткової примусової затримки окремих треків у часі для самоперевірки програми та оцінки ефективності побудови діаграми спрямованості реальних сигналів в ідеальних умовах;
- забезпечити можливість додавання нових вкладок для графічного представлення звукових сигналів і видалення вкладок за вибором користувача;
- забезпечити можливість збереження графічного представлення сигналу в окремому файлі;

— програма повинна мати можливість виводити графічне представлення діаграми спрямованості в кожній вкладці, як показано на рис. 3.3, залежно від графічного представлення треків.

Вимоги до області представлення діаграми спрямованості наступні:

- забезпечити можливість зміни числа напрямків у діапазоні від 2 до 300;
- забезпечити можливість врахування відстаней між мікрофонами у відносному значенні, приймаючи за одиницю відстань між першим і другим мікрофонами [16].

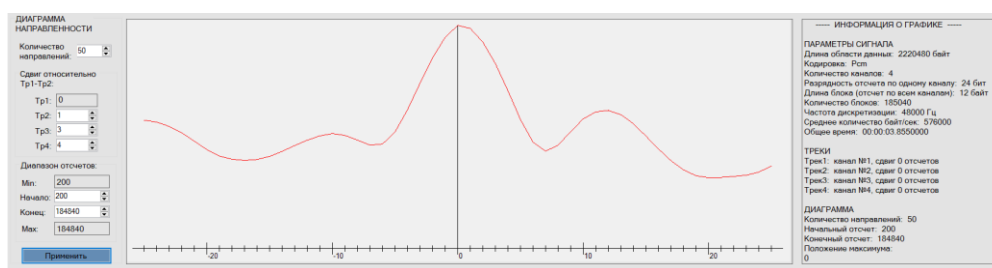


Рисунок 3.3 — Графічне представлення діаграми направленості звукового сигналу

Вхідні канали можуть бути розподілені між групами регулярних (regular), кількістю до 16, та групою інжекттованих (injected), кількістю до 4. Порядок опитування каналів в групах визначається програмно. Результати перетворення регулярних каналів зберігаються в одному регістрі, що вимагає своєчасного зчитування даних, наприклад, за допомогою прямого доступу до пам'яті. Щодо результатів перетворення інжекттованих каналів, для кожного каналу використовується окремий регістр. Впроваджені канали мають вищий пріоритет для перетворення, тому при спільному використанні звичайних і введених каналів перетворення звичайних каналів припиняється, а перетворення введених каналів продовжується. Часові витрати на перетворення визначаються часом вибірки та, безпосередньо, часом перетворення, що займає 12 тактів. При максимальній швидкості, час вибірки становить 3 такти, тобто загальний час на перетворення складає 15 тактів. За максимальної тактової частоти АЦП 30 МГц, мінімальний час перетворення становить 0,5 мкс.

АЦП можуть працювати в здвоєному або розгорнутому режимах для підвищення швидкості сканування. У здвоєному режимі, який передбачає спільну роботу ADC1 та ADC2, результат перетворення одразу зберігається в 32-бітному регістрі даних ADC1. Це дозволяє отримувати дані від двох окремих каналів одночасно. У розгорнутому режимі ADC3 завжди працює незалежно і не синхронізується з іншими АЦП.

Найбільш практичним для застосування у багатоканальних аналого-цифрових системах моніторингу та синхронного опрацювання низькочастотних сигналів є «одночасний» режим для регулярних чи інжектованих каналів, в якому ADC1 сканує канали від 0 до 15 для регулярних, або від 0 до 3 для інжектованих, тоді як ADC2 робить це в зворотному напрямку, від 15 до 0 чи від 3 до 0 відповідно. Таким чином, кожен канал буде оброблений двічі протягом того самого періоду (рис. 3.4).

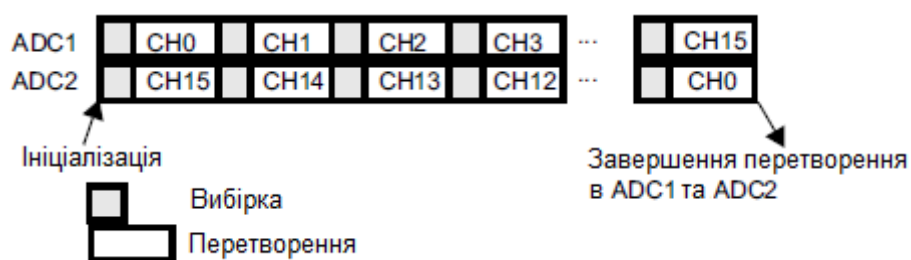


Рисунок 3.4 — Здвоєний одночасний режим для регулярних каналів

Враховуючи це, можна реалізувати 12-бітне синхронне оброблення чотирьох аналогових каналів за допомогою мікроконтролера з родини STM32F4, застосовуючи схему, зображену на рис. 3.5.

В даному варіанті одночасно опрацьовуються аналогові канали 1, 2, 3 та 4. При цьому результати перетворення відповідають миттєвим значенням сигналів у каналах 1 та 2 в момент часу $t + 2n\Delta t$, а також миттєвим значенням сигналів у каналах 3 та 4 в момент часу $t + 2(n + 1)\Delta t$, де Δt - час вибірки та перетворення. При розрахунку реальних часових зсувів між сигналами, які надходять через канали 1...4, слід враховувати часову затримку Δt у отриманні результатів

аналого-цифрового перетворення з каналів 3 та 4. Це можна здійснити як програмно, так і апаратно, введенням часової затримки Δt у канали 3 та 4.

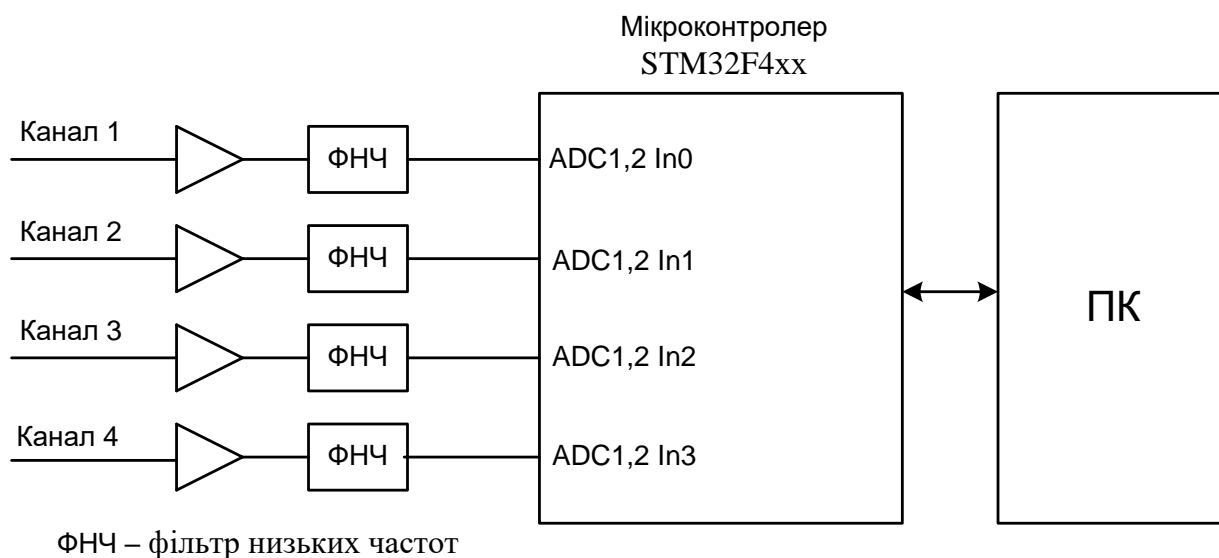


Рисунок 3.5 — Обробка чотирьох аналогових каналів за допомогою мікроконтролера STM32F4

При максимальній швидкості перетворення частота дискретизації кожного каналу складатиме 1 МГц при формуванні кожного 12-бітного результату.

Розглянутий варіант реалізації 4-канальної синхронної обробки аналогових сигналів заснований на найбільшому використанні ресурсів мікроконтролера, вимагає мінімум зовнішніх компонентів і є найбільш ефективним. Однак роздільна здатність квантування не перевищує 12 біт, і калібрування АЦП мікроконтролера можлива лише за допомогою використання 12-бітної роздільної здатності. Це означає, що параметри елементів, які беруть участь у вхідних каналах аналогових сигналів, не можуть бути компенсовані в робочому режимі.

Для вирішення цих проблем запропонований варіант реалізації 4-канальної аналого-цифрової системи із підтримкою самокалібрування, який представлений на рис. 3.6. Кожен із чотирьох вимірювальних каналів складається з аналогового комутатора (АК), програмованого підсилювача (ПП), антиаліасінгового фільтра

низьких частот (АФЧХ), пристрою вибірки-зберігання (ПВЗ), цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) та компаратора (КП) .

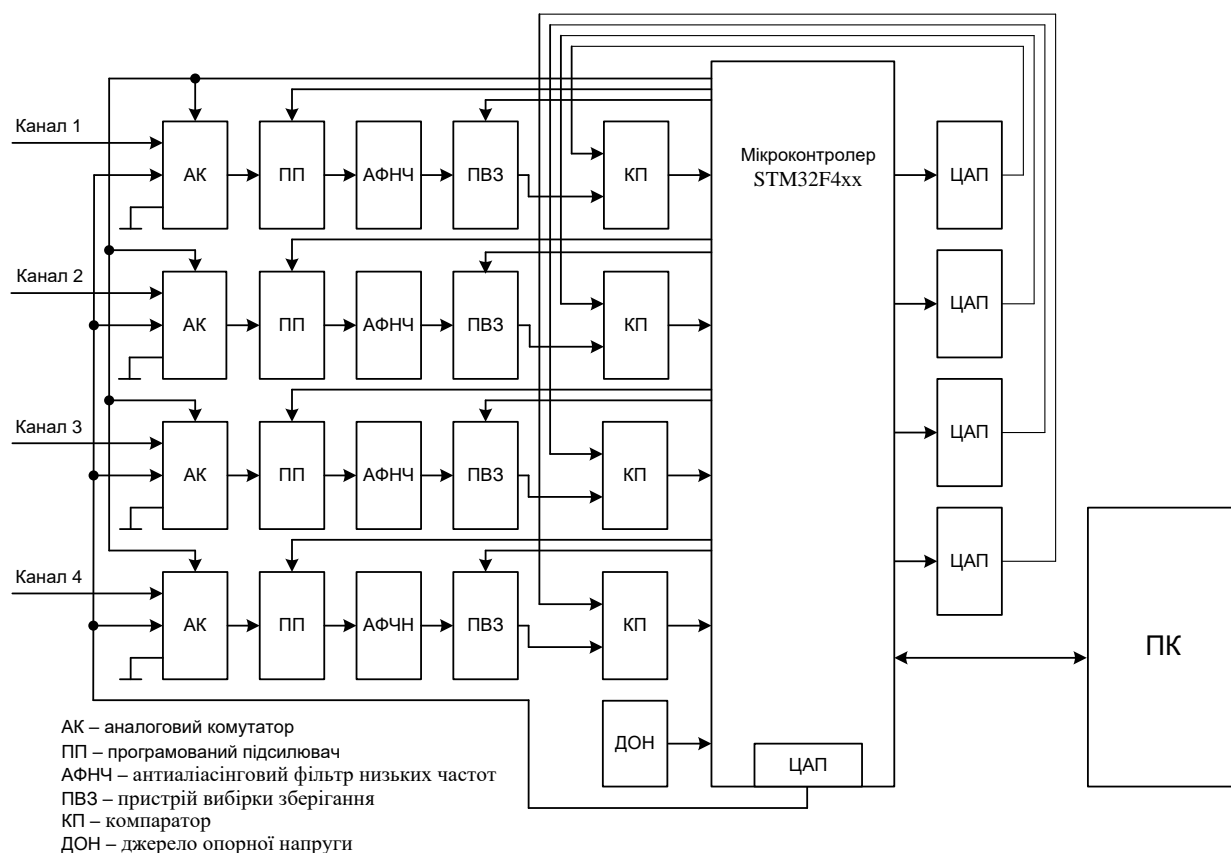


Рисунок 3.6 — Структурна схема 4-канальної самокаліброваної АЦ-системи

Система працює у двох режимах: вимірювання та самокалібрування. У режимі вимірювання сигнали, що надходять через канали 1...4, пересилаються аналоговими комутаторами до вимірювальних каналів програмованих підсилювачів. Управління комутаторами здійснюється мікроконтролером.

Програмовані підсилювачі мають дві основні функції: перетворення диференційованого вхідного сигналу в недиференційований вхідний сигнал і узгодження динамічного діапазону вхідного сигналу з діапазоном напруги фільтрів згладжування. Як правило, програмовані підсилювачі побудовані відповідно до традиційної різницевої схеми на трьох різних операційних підсилювачах, але вони також можуть бути побудовані з використанням

підсилювачів струму, які мають подібні вхідний, проміжний і буферний каскади. Коефіцієнти підсилення можуть мати кілька різних значень, що дозволяє вибирати різні діапазони вхідної напруги. Реалізується окреме збільшення або зменшення коефіцієнта підсилення для кожного каналу за сигналами мікроконтролера [17].

Антиаліасінгові фільтри нижніх частот обмежують спектри вхідних сигналів, виключаючи ефект перекриття спектрів, який може виникнути при дискретизації сигналів з необмеженим зверху спектром. У якості фільтрів можуть використовуватися пасивні фільтри першого порядку.

Після фільтрації, під час якої високочастотні складові сигналів вилучаються, сигнали потрапляють на пристрої вибірки зберігання, які фіксують миттєве значення аналогового сигналу у момент вибірки. Миттєве значення сигналу зберігається на час, необхідний для виконання аналого-цифрового перетворювача. Таким чином, за допомогою пристроїв вибірки зберігання здійснюється дискретизація сигналів. Імпульсні тактові сигнали, що забезпечують процес дискретизації, формуються мікроконтролером. У більшості випадків пристрої вибірки зберігання базуються на накопичувальному конденсаторі та аналогових ключах з узгоджувальними підсилювачами.

Перетворення миттєвих значень аналогових сигналів у цифровий код виконується мікроконтролером за алгоритмом порозрядного врівноваження, що проводиться в НПСЧ. У кожному такті перетворення мікроконтролер формує 16-бітний двійковий код для кожного каналу, еквівалентний коду у НПСЧ. Кожен вимірвальний канал включає 16-бітний ЦАП, який перетворює двійковий код в напругу, порівнювану компаратором з миттєвим значенням вхідного сигналу. Зміна результату порівняння від «менше» до «більше чи дорівнює» відображається як зміна логічного значення на виході компаратора, що визнається мікроконтролером як умова завершення перетворення для відповідного каналу.

Результати конвертації передаються для подальшої обробки на особистий комп'ютер (ПК) через один із стандартних швидкісних інтерфейсів, таких як USB або Ethernet, з апаратною підтримкою від мікроконтролера .

У режимі калібрування відбувається коригування статичних та динамічних характеристик вимірювальних каналів (ВК). Під час калібрування для кожного коефіцієнта підсилення програмованого підсилювача (ПП) визначаються та враховуються його зсув «нуля» та поправочний масштабний коефіцієнт підсилення за допомогою виведення аналогових комутаторів сигналів з їхніх входів до загальної шини та джерела опорних сигналів. Джерело опорних сигналів будується на основі джерела опорної напруги (ДОН) за допомогою 12-бітного цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), який вбудований в мікроконтролер.

Алгоритм РР для калібрування з різними коефіцієнтами підсилення є похідним від підходу зверху вниз. Починаючи з найбільшої входної гучності, підсилювач налаштовується. Для цього ЦАП опорних сигналів емулює гармонічний сигнал, амплітуда якого ідентична значенню джерела опорної напруги. Далі ЦАП створює менший, точніший опорний сигнал напруги, пропорційний уже відкаліброваному коефіцієнту посилення. Потім підсилювач переходить до нижчого діапазону входних частот, де цей процес повторюється.

У режимі прямого перетворення результати корекції використовуються для індивідуальної корекції статичних і динамічних властивостей вимірювання кожного каналу. Розглянуто фактичні значення параметрів статичної передачі (у часовій області) та фактичні АЧХ і АЧХ (у частотній області), які визначаються під час калібрування. Адаптація системи змінного струму до динамічного діапазону і спектру сигналів в кожному з каналів можлива за рахунок як схемних рішень (таких як входні схеми, ПП, АФНЧ), так і налаштування спектру цифрових сигналів (в мікроконтролері і на ПК).

В результаті створення вимірювальних каналів системи змінного струму можливе через мікроконтролер, який керує системою, що дозволяє як коригувати

передатну функцію АЦП, так і комплексне самокалібрування статичних і динамічних властивостей системи.

Під час розробки компонентів та експериментальних зразків багатоканальних аналого-цифрових самокаліброваних систем для моніторингу та синхронної обробки низькочастотних сигналів враховано основні вимоги, які впливають із призначення системи:

- АЦ-системи є автоматизованими та взаємодіють з оператором;
- обчислення під час вимірювань або моніторингу повинні проводитися в реальному часі, і не повинно бути пропусків сигналів;
- апаратна складова АЦ-системи повинна регулярно самокалібруватись для забезпечення необхідних параметрів точності;
- програмна складова АЦ-системи повинна бути модульною, з паралельним виконанням операцій сканування, візуалізації, аудіодетекції, та реконструкції акустичного поля.

Апаратна складова експериментальних зразків АЦ-системи забезпечує:

- приймання низькочастотних сигналів з чотирьох та восьми вимірювальних каналів;
- підсилення звукових сигналів за допомогою малошумних лінійних підсилювачів низьких частот;
- синхронне аналого-цифрове перетворення сигналів з високою роздільною здатністю, ідентичністю та лінійністю амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ);
- безперервну передачу цифрових поточкових даних на керуючий ПК;
- комп'ютерне апаратно-програмне забезпечення процесів електронного сканування, цифрової обробки, ідентифікації сигналів в системному блоці керуючого ПК;
- прискорене паралельне виконання обчислювальних операцій сканування;
- візуалізацію результатів аудіолокації об'єктів на карті місцевості та розпізнаних типів сигналів та їхню належність на моніторі ПК;

— уточнення місцеположення об'єктів за допомогою нейронечітких технологій, які базуються на рейтингових моделях оцінювання;

— введення оператором системи команд управління та налаштування режимів роботи апаратного і програмного забезпечення.

Приймання, підсилення та аналого-цифрове перетворення низькочастотних сигналів з чотирьох вимірювальних каналів та передача даних на персональний комп'ютер забезпечується розробленим мікропроцесорним модулем 4-канальної самокоригованої аналого-цифрової системи SADS-M4.

У самокоректуючому режимі модуль проводить калібрування статичних передатних характеристик та динамічних характеристик амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) для всіх чотирьох каналів на кожному з чотирьох діапазонів підсилення.

Приймання, нормалізація та аналого-цифрове перетворення вхідних аналогових сигналів від вимірювальних мікрофонів Superlux ECM-999 акустичних фазованих решіток на 2, 4 та 8 каналів реалізуються синхронізованими перетворювачами, які базуються на промислових 24-розрядних аудіоінтерфейсах з фантомним живленням Behringer U-Phoria UMC404HD. На рисунку 3.7 показано фотографії двох таких інтерфейсів з кабельним підключенням входів. Фотографії виготовлених мікрофонних стійок для різних варіантів побудови багатоканальних систем моніторингу та розпізнавання низькочастотних сигналів представлені на рисунках 3.8-3.9. Спрощеною конфігурацією є мікрофонна решітка 8-канальної 2-променевої АЦ-системи сканування акустичних сигналів на місцевості, фотографія якої подана на рисунку 3.10. В даній системі передбачено визначення місцезнаходження акустичного об'єкта за допомогою перехресного сканування місцевості. Більш складні конфігурації експериментальних систем з трьома та чотирма променями сканування і більшою кількістю мікрофонних каналів реалізовані на основі апаратних конфігурацій, які відображено на рисунках 3.8-3.9 .



Рисунок 3.7 — 8-канальний варіант входних підсилювачів-перетворювачів на базі аудіоінтерфейсів з Behringer U-Phoria UMC404HD



Рисунок 3.8 — Стійки з мікрофонними решітками 8-канальної 2-променевої АЦ-системи сканування акустичних сигналів на місцевості



Рисунок 3.9 — Сійки з мiкрофонними решiтками 8-каналної 3-променевої АЦ-системи сканування акустичних сигналiв на мiсцевостi



Рисунок 3.10 — Сійки з мiкрофонними решiтками 16-каналної 4-променевої АЦ-системи сканування акустичних сигналiв на мiсцевостi

3.2 Специфікація акустичного обладнання

Малошумні лінійні підсилювачі низьких частот використовують для підсилення звукових сигналів. Дослідження та моделювання підтверджують високу якість цих підсилювачів.

Синхронне аналого-цифрове перетворення сигналів досягається високою роздільною здатністю та лінійністю. Це може відбуватися за допомогою схемотехнічних засобів струмового перетворення або калібрування динамічних характеристик вимірювальних каналів.

Забезпечення захисту даних віддалених АЦ-перетворювачів досягається швидкими методами коригування циклічних кодів. Комп'ютерне апаратно-програмне забезпечення використовує методи паралелізму, асоціативної та матричної організації обчислень для прискорення обробки сигналів.

Візуалізація результатів аудіолокації та розпізнавання об'єктів здійснюється за допомогою вдосконалених алгоритмів аудіодетекції. Уточнення місцезнаходження об'єктів досягається за допомогою нейронечітких технологій та нових методів реконструкції акустичного поля.

Мікрофонні решітки є стандартною технологією для візуалізації акустичного поля в системах моніторингу місцевості. Фізичні принципи, які лежать в основі побудови решіток із обмеженою кількістю мікрофонів, призводять до проблеми розріджених даних через нерегулярний розподіл фокальних точок на перетині променів. Для реконструкції акустичного поля з неповних даних використовується метод ретроспективного розповсюдження звукового тиску, розв'язуючи обернену задачу. Задача підвищення роздільної здатності решітки полягає у визначенні координат і потужностей звукових джерел, при умові, що кількість джерел та їх розташування невідомі [18].

Модель поля будується на основі фундаментальних законів розповсюдження звукової енергії. Використання класичних методів регуляризації для розв'язання оберненої задачі реконструкції звукового поля обмежується випадками відомої кількості розріджених джерел. За

невизначеності даних, оцінка параметрів джерел здійснюється статистичними методами. Такі методи вимагають значних обчислювальних витрат для проведення серій експериментів з метою уточнення положення джерел та їх потужностей.

З іншого боку, при невизначеності даних, задача реконструкції акустичного поля може розглядатися як задача ідентифікації на основі нечітких відносин. Акустична поверхня описується нечіткою базою знань, яка моделюється матрицею нечітких відносин. У теорії нечітких реляційних рівнянь, задача здобування матриці відносин з експериментальних даних відноситься до класу обернених задач. Множина розв'язків оберненої задачі відповідає множині наборів правил «ЯКЩО-ТО», тобто варіантів реконструкції акустичного поля. Таким чином, замість проведення серій експериментів, ефективним є використання інтелектуальних технологій ідентифікації, які надають повний опис подій в акустичному полі на основі наявних даних.

Проблему неповних даних можна вирішити за допомогою збільшення кількості вимірювань, де оцінки параметрів джерел формуються методами формування променю. На відміну від класичного формування променю, експерименти проводяться з різних положень решітки з змінним розподілом мікрофонів. Мета полягає в виборі оптимального положення решітки та режиму формування променю. Послідовність позицій решітки навколо джерел обирається випадковим чином або експерименти проводяться з детермінованими шаблонами позицій вимірювань. На основі узгодженості моделей з даними спостережень, що повторюються найбільш часто, розробляється метод формування променю з діаграмою направленості, залежно від відстані від центру решітки. Зменшення кількості експериментів та збільшення частоти реконструкції досягається шляхом адаптивного збільшення порогового значення звукового тиску, орієнтованого на певний клас звукових джерел. Оптимальне положення мікрофонів для заданої апертури решітки визначається за допомогою методу Монте-Карло.

3.3 Алгоритми аналізу акустичних даних

В окремому полі програми виводиться текстова інформація про параметри сигналу, треків і діаграми спрямованості. Розроблено алгоритми для різних режимів.

Робота програми розпочинається із завантаження файлу, для чого необхідно відкрити вікно вибору файлу. У результаті виконання цього режиму параметри звукового сигналу відображаються у першій вкладці. При потребі створюються вкладки для графічного представлення каналів сигналу в окремих треках і для графічного представлення діаграми направленості [19].

На рисунку 3.11 представлений алгоритм завантаження файлу.

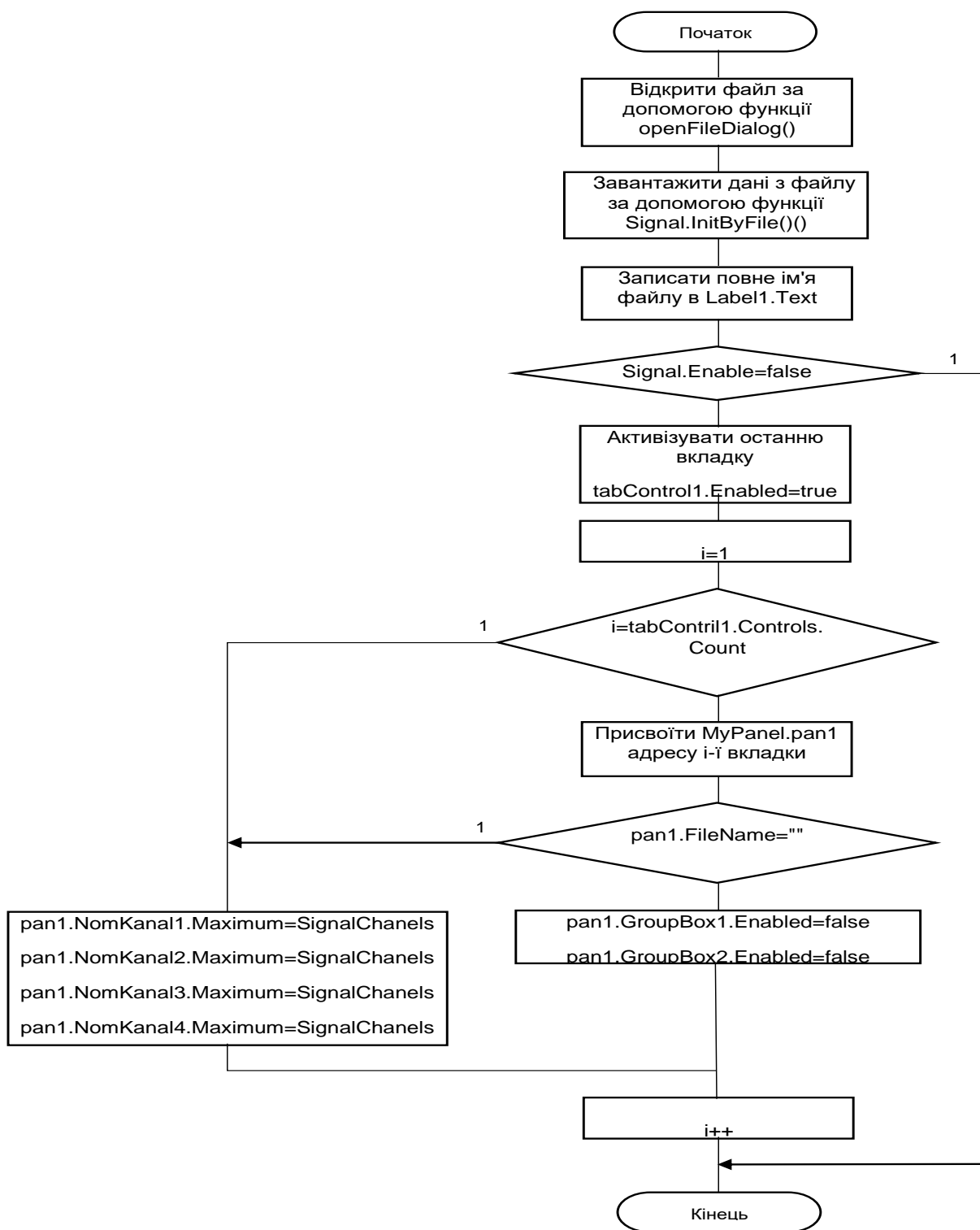


Рисунок 3.11 — Алгоритм завантаження файлу

На рисунку 3.12 представлений алгоритм добавляння графічного представлення сигналу.

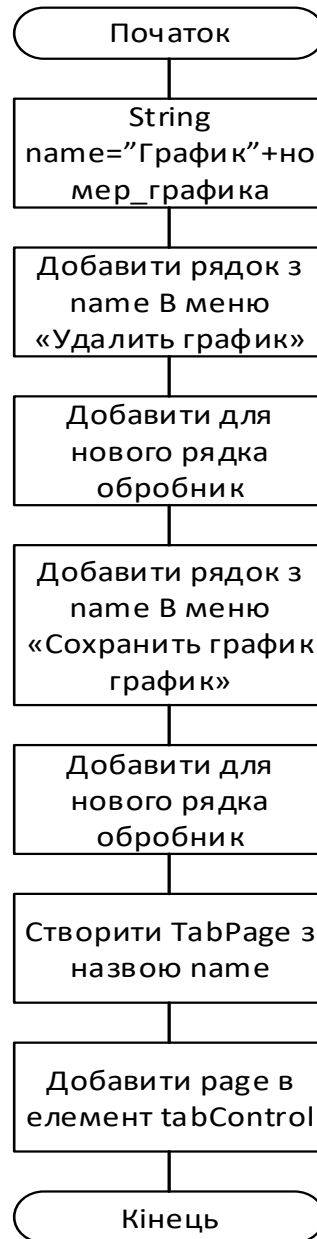


Рисунок 3.12 — Алгоритм добавляння графічного представлення сигналу

На рисунку 3.13 представлений алгоритм добавляння графічного представлення сигналу.



Рисунок 3.13 — Алгоритм видалення графічного представлення сигналу

На рисунку 3.14 представлений алгоритм збереження графічного представлення сигналу.

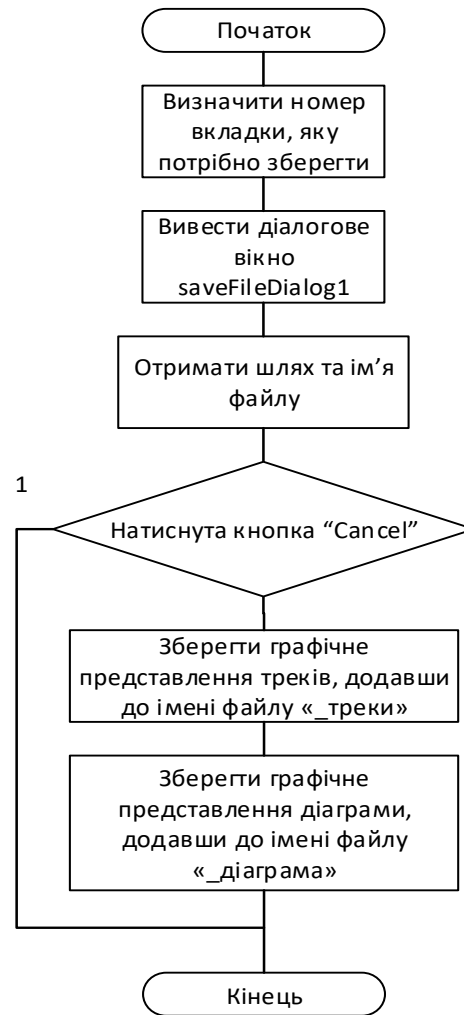


Рисунок 3.14 —Алгоритм збереження графічного представлення сигналу

На рисунку 3.15 представлений алгоритм візуалізації графіків на графічному представленні сигналу.

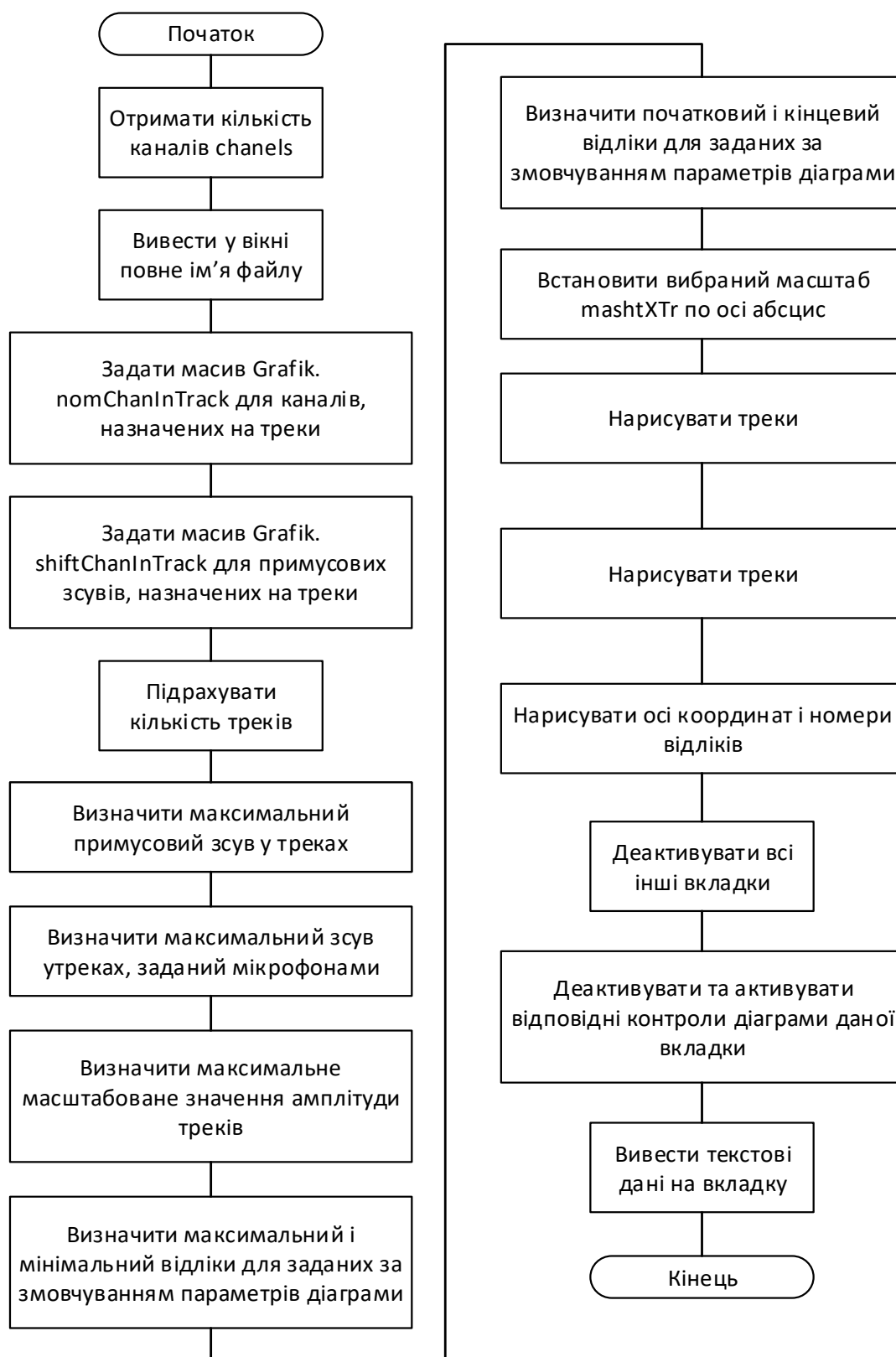


Рисунок 3.15 — Алгоритм візуалізації графіків на графічному представленні сигналу

На рисунку 3.16 представлений алгоритм візуалізації діаграми на графічному представленні сигналу.

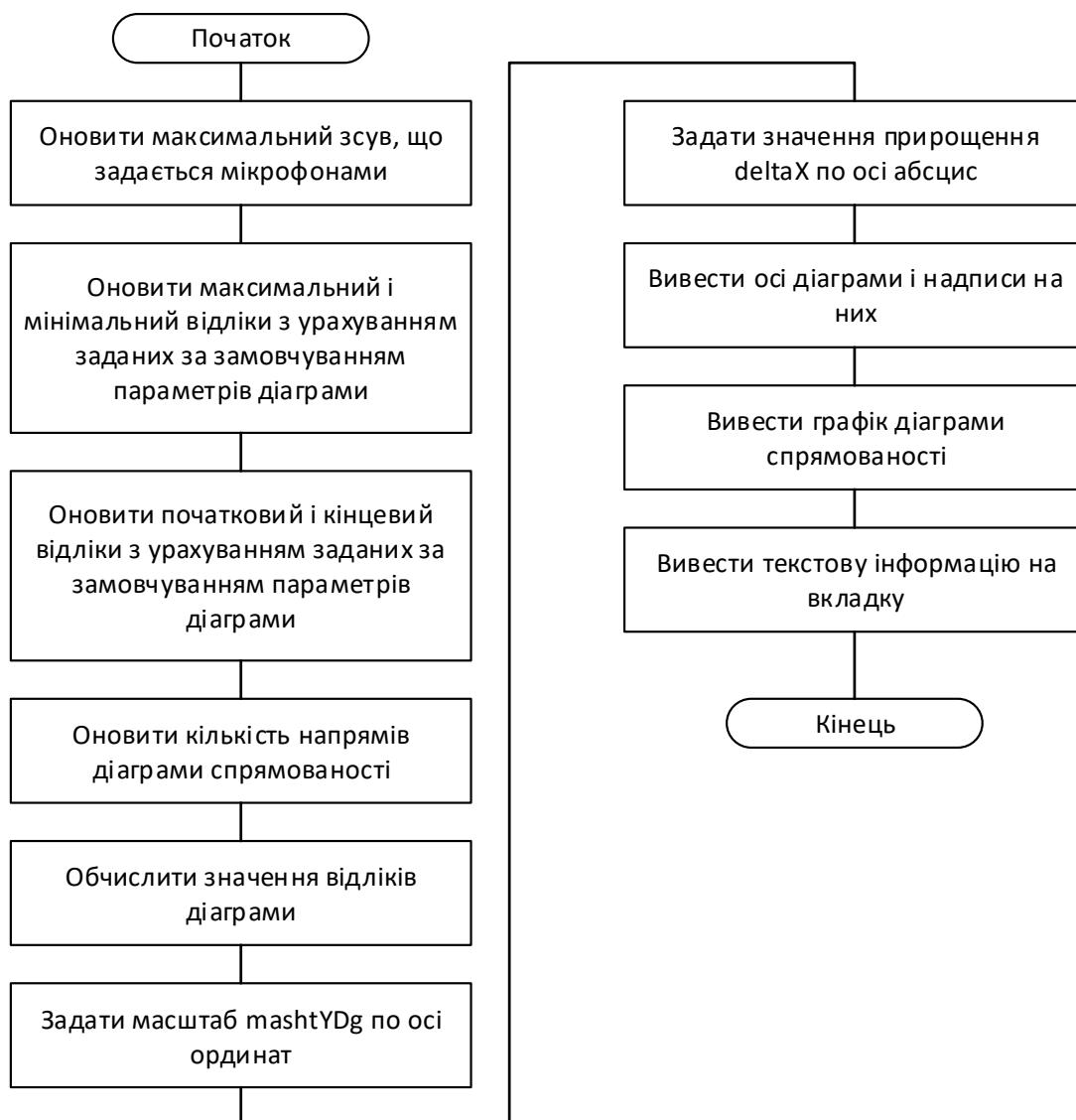


Рисунок 3.16 — Алгоритм візуалізації діаграми на графічному представленні сигналу

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТИ

4.1 Вибір апаратного забезпечення

Ефективним та простим рішенням для впровадження багатоканальної цифрової обробки аналогових сигналів є використання мікроконтролерів. Сучасні мікроконтролери виділяються не лише великою продуктивністю та значним обсягом оперативної та програмної пам'яті, але й різноманіттям периферійних пристроїв. На сьогоднішній день, у більшості нових розробок використовуються 32-бітні мікроконтролери з ядром ARM (Advanced RISC Machines), яке розроблене і підтримується однойменною англійською компанією. Ця компанія спеціалізується на розробці мікропроцесорних ядер і продажу ліцензій на них. Виробники поєднують ARM-ядра з оперативною та програмною пам'яттю, а також різними периферійними пристроями, створюючи власні мікроконтролери. У результаті, на ринку представлено ARM мікроконтролери декількох десятків виробників.

Процесорні ядра Cortex стали результатом розвитку класичної архітектури ARM. Завдяки покращеній продуктивності, простоті моделі програмування, ефективній системі обробки переривань та доступній вартості, архітектура Cortex стає все більш популярною. Для виконання цифрової обробки аналогових сигналів, що включає багато каналів, рекомендується використовувати мікроконтролер з ядром Cortex-M, цей мікроконтролер є одночасно ефективним і бюджетним для створення пристроїв обробки сигналів. Вони зазвичай використовуються в пристроях з інтелектуальними вимірюваннями, користувальницькими інтерфейсами, автомобільними та промисловими засобами керування, а також медичним обладнанням.

Серед мікроконтролерів з ядром Cortex-M найбільш популярні мікроконтролери серії STM32 від компанії STMicroelectronics. Це пояснюється їхньою низькою вартістю при значній продуктивності, наявністю документації, доступністю засобів розробки та налагодження, включаючи безкоштовні засоби,

наявність готових рішень та бібліотек для роботи з периферією. Це не лише спрощує розробку, але й скорочує час виготовлення пристроїв.

Особливий інтерес викликає лінійка мікроконтролерів STM32F4 серії серед продуктів STM32. Це сімейство реалізоване на базі ядра Cortex M4. Його відзначає апаратна підтримка цифрової обробки сигналів (за допомогою модуля DSP) та виконання операцій над числами з плаваючою точкою (за допомогою модуля FPU). Загальні характеристики мікроконтролерів STM32F4:

- у платформі використовується 32-розрядний процесор ARM Cortex-M4;
- частота годинника становить 168 МГц, з часовою базою 1,25 хвилини та частотою 210DMIPS/1,25DMIPS;
- допомога з впровадженням процедур DSP;
- нова високоефективна матриця шин;
- дозволено до 1 МБ флеш-пам'яті;
- до 192+4 кбайт флеш-пам'яті;
- напруга на кінці живлення 1,8...3,6 В (POR, PDR, PVD і BOR);
- внутрішні генератори для системи RC на 16 МГц і 32 кГц (для RTC);
- зовнішнє джерело часу — 4,26 МГц, а для RTC — 32,768 кГц;
- усунення несправностей компонентів SWD/JTAG та модуля ETM;
- три 12-розрядних АЦП на 24 вхідних каналу (підвищення швидкості до 7,2 мегасемплів, датчик температури);
- два 12-розрядних ЦАП;
- менеджер DMA на 16 потоків здатний підтримувати передачу пакетів.
- два сторожові таймери (WDG та IWDG);
- протоколи зв'язку: I2C, USART (ISO 7816, LIN, IrDA), SPI, I2S.
- USB 2.0 FS/HS OEG;
- 10/100 Ethernet MAC (IEEE 1588v2, MII/RMII);
- різні способи доступу до USB можна розділити на три категорії: перша — контролер USB (карти SD, SDIO, MMC і Ce-ATA);

- доступ до інтерфейсу цифрової камери можна отримати через USB, це робиться в 8/10/12 або 14-біт;
- FSMC-процесор (Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR, NAND і LCD 8080/6800);
- комп'ютер, який генерує випадкові числа за допомогою апаратного забезпечення, називається апаратним генератором;
- обчислення CRC виконується за допомогою апаратного забезпечення, за яким слідує 96-бітний унікальний ідентифікатор;
- за шифрування відповідає модуль AES 128, 192, 256, Triple DES, HASH (MD5, SHA-1) і HMAC.

4.2 Вибір програмного забезпечення

Спеціалізоване програмне забезпечення повинно виконувати наступні функції:

- приймання цифрових сигналів з каналів 1...4 та 5...8 через інтерфейси USB;
- буферизація сигналів у двох вхідних буферах даних на час обробки (від 3с до 5с);
- електронне сканування для виділення сигналів з заданою кількістю напрямків (20...50) за допомогою відповідних зсувів та підсумовування відліків чотирьохканальних сигналів;
- формування координатної матриці рівнів для всіх вузлів на основі коефіцієнта кореляції між двома звуковими сигналами з вказаних напрямків;
- знаходження максимуму коефіцієнта кореляції для джерел звуку, що нечітко розташовані в координатних вузлах;
- візуалізація графічної ілюстрації рівнів звукових сигналів в координатних вузлах на екрані;
- виділення та візуалізація звукових об'єктів з використанням нейронечітких технологій;

- розпізнавання (аудіодетекція) типів сигналів з найвищими коефіцієнтами кореляції;
- візуалізація інформації підсистеми ідентифікації;
- поновлення циклу обробки даних, починаючи з вичитування нових звукових сигналів з вхідного буфера.

Вимоги до програмного забезпечення підсистеми розпізнавання аудіосигналів:

- формат вхідного звукового файлу — *.wav;
- частота дискретизації аудіосигналу — не більше 48000 Гц;
- розрядність відліків аудіосигналу (16/24) біти;
- розбиття аудіосигналу на фрейми рівномірне;
- тривалість одного фрейму аудіосигналу 10 мс;
- тривалість розпізнаваного аудіосигналу не менше 0.5 с;
- відношення сигнал/шум для розпізнаваного аудіосигналу не менше 30 дБ;
- максимальна затримка в прийнятті рішення про тип аудіосигналу 200 мс;
- ймовірність правильного розпізнавання аудіосигналів не менше 0.8;
- кількість записів у словнику аудіосигналів не менше 30.

Конструктивне виконання вимірювальної частини експериментальних зразків АЦ-систем:

- чотири мікрофонні решітки з чотирма вимірювальними мікрофонами кожна;
- чотири модулі АЦ-перетворення;
- керуючий ПК (стаціонарний або компактний комп'ютер типу Notebook) розташовується в закритому від впливу погодних факторів місці та обслуговується одним оператором.

Діапазон робочих температур експлуатації від мінус 10 град. С до +40 град. С.

4.3 Проведення експериментів

Конструювання вимірювальних каналів розроблюваних АЦ-систем можливе за допомогою мікроконтролерних блоків управління. Це дозволяє як самостійно коригувати передатні характеристики АЦП, так і комплексно самокалібрувати статичні та динамічні характеристики вимірювальних каналів.

Один із варіантів обробки звукових сигналів, як описано вище, виконується мікроконтролером за допомогою компенсуючих ЦАП за схемою порозрядного врівноваження [20]. Для створення блока управління експериментальної 4-канальної АЦ-системи, яка самокалібрується, обрано мікроконтролери з сімейства STM32F4, зокрема широко розповсюджений мікроконтролер STM32F407VET6. Оскільки для цього мікроконтролера існує багато налагоджувальних плат, таких як Discovery F4 STM32F407, доступні відкриті приклади та бібліотеки, які полегшують розробку на ньому. На рис. 4.1 наведено експериментальний взірець [21].



Рисунок 4.1 — Експериментальний взірець модуля АЦ-системи SADS-4М

Обрано 4-канальну мікросхему ЦАП AD5665 від Analog Devices для реалізації АЦ-системи. Ця мікросхема поєднує чотири 16-розрядні ЦАП з буферизованими виходами та працює в діапазоні напруги від 2,7 до 5,5 В. Має вбудовані джерела опорної напруги на 1,25 В та 2,5 В, а також підтримує

використання зовнішнього джерела опорної напруги. Керується універсальним послідовним інтерфейсом, сумісним з різними стандартами.

Для вхідних кола комутації та підсилювачів обрані операційні підсилювачі OP275A, комутатори ADG709 та програмовані підсилювачі AD8251 від Analog Devices. Усі обрані мікросхеми відповідають технічним вимогам до АЦ-системи.

Операційний підсилювач OP275A об'єднує два підсилювачі з високою точністю та низьким рівнем шуму, використовуючи біполярні та JFET-транзистори. Комутатор ADG709 є низьковольтним CMOS аналоговим мультиплексором, а програмований підсилювач AD8251 має цифрове програмоване підсилення з високою лінійністю та низькими спотвореннями.

Для отримання фантомного живлення для мікрофонів різних типів використовується 4-канальний ЦАП AD5665 та операційний підсилювач OP275A.

Розроблена схема 4-канальної АЦ-системи SADS-M4 включає аналогові мультиплексори, програмовані підсилювачі та компаратори для чотирьох незалежних каналів з різними режимами використання.

Мультиплексори DA7...DA10 забезпечують підключення входів до каналів, передавши один з чотирьох сигналів на вихідні диференційні лінії DA, DB через вибір входу за допомогою виходів PE6 та PE7 мікроконтролера DD1. Вибір входу однаковий для всіх каналів через цифрові адресні входи A0 та A1 мультиплексорів DA7...DA10, які отримують сигнали KA0 та KA1 від мікроконтролера DD1.

На диференційні входи SA1, SB1 мультиплексорів надходять сигнали від мікрофонів, підключених через струмообмежувальні резистори R19...R26 (1 кОм). SA2, SB2 підключені до шини «нуля», SA3, SB3 отримують тестовий сигнал з вбудованого ЦАП1 мікроконтролера DD1. Четвертий вхід SA4, SB4 служить для калібрування за граничними значеннями, отримуючи напруги живлення позитивної та негативної полярності.

Схема передбачає незалежне керування напругою живлення кожного каналу за допомогою 4-канального ЦАП DA1. Код напруги визначається 16-

бітним двійковим кодом, передаваним через SPI з мікроконтролера на входи DIN1 та SCLK1 ЦАП DA1. Керування активізується сигналом SYNC від мікроконтролера.

ЦАП AD5665 здійснює асинхронне очищення через лінію CLR, що встановлюється мікроконтролером через вихід PC6. Логічне значення на вході POR визначає вихідну напругу ЦАП при вмиканні живлення.

Напруга з виходів ЦАП DA1 підводиться до операційних підсилювачів DA2...DA5, які формують напруги живлення для кожного каналу. Підсилювачі DA12...DA15 перетворюють диференційний сигнал в недиференційний та встановлюють коефіцієнт підсилення.

Програмовані підсилювачі DA12...DA15 також здійснюють зсув вихідної напруги на +2,5 В для перетворення сигналу. Зсув визначається опорною напругою на входах REF підсилювачів, яку забезпечує мікросхема ADR03 від Analog Devices.

Антиаліазінгові фільтри низьких частот (ФНЧ) на виходах підсилювачів використовують пасивні фільтри першого порядку на резисторах R32...R34 та конденсаторах C32...C34 для відокремлення постійної складової сигналу.

Мікроконтролер DD1 виконує аналого-цифрове перетворення сигналів через чотириканальний ЦАП DA16 та компаратори DA17 та DA18. Цифровий 16-бітний код передається в регістри ЦАП через послідовний синхронний канал передачі даних (DIN2 та SCLK2). Сигнали керування формуються на виходах PC13, PC14 та PC15 мікроконтролера.

Підключення до зовнішнього ПК реалізовано через USB (модуль OTG_FS мікроконтролера) та Bluetooth (Bluetooth-модуль HC05 від ITEAD Studio). Електроживлення забезпечується від порта USB (+5 В) або зовнішнього акумулятора Power Bank.

Експериментальний модуль АЦ-системи SADS-M4 відповідає технічним вимогам, забезпечуючи 4 незалежних вхідних канали, програмовані діапазони вхідної напруги, широкий діапазон робочих частот, високу роздільну здатність та інші параметри [22].

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ МОДУЛЯ ДЛЯ ОБРАХУНКУ АКУСТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В БАГАТОКАНАЛЬНІЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВІЙ СИСТЕМІ

5.1 Проведення розрахунків на створення засобу

Метою цього розділу є проведення технологічного аудиту модуля, який призначений для потокового розрахунку акустичних поверхонь в системі, що використовує аналогову технологію.

Для проведення фінансового та технологічного аудиту залучаються не менше трьох незалежних аудиторів. Рекомендується оцінювати науково-технічну підготовку кандидата та його потенціал для комерціалізації за п'ятибальною шкалою, яка базується на 12 критеріях, дотримуючись рекомендацій таблиці. 5.1.

Таблиця 5.1 — Рекомендовані рекомендації щодо оцінки комерційного потенціалу проектів та їх потенційної грошової вартості.

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження табл 5.1

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практик на здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

Продовження табл 5.1

12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту
----	---	--	---	--	---

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	4	4	3
Наявність аналогів на ринку	3	3	4
Цінова політика	4	4	4
Технічні та споживчі властивості виробу	4	3	4
Експлуатаційні витрати	3	4	3
Ринок збуту	4	3	4
Конкурентоспроможність	3	4	3
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	4	3	4
Фінансування	4	4	3
Матеріально-технічна база	3	3	3
Термін реалізації ідеї	3	3	4
Супровідна документація	3	3	4
Сума	42	41	44
Середньоарифметична сума балів	$(42+41+44) / 3 = 42,33$		

Дані в таблиці 5.2 свідчать про те, що можна зробити висновок про ступінь комерціалізації цієї розробки. Для цього найефективнішим варіантом є використання пропозицій, наведених у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

З таблиці видно, що комерційний потенціал розробленого обладнання високий, це пояснюється тим, що за технічною складовою немає подібних вітчизняних продуктів, а іноземні системи є дорогими та важкодоступними.

5.2 Визначення економічної ефективності за результатами дослідження

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

де M — місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p — число робочих днів в місяці, 22 днів;

t — число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	----------------------	--

Продовження табл 5.3

Керівник проекту	52000	2363,64	43	101 636,52
Програміст	45000	2045,45	43	87 954,35
Всього				189 590,87

Оскільки у випадку, коли створюється апаратне забезпечення, розробник є як творцем, так і замовником технічної розробки.

Доплати розробникам, які брали участь у створенні обладнання.

До базової заробітної плати розробників і робітників зазвичай додаються додаткові виплати:

$$З_д = З_о \cdot 15 \% / 100 \% , \quad (5.2)$$

$$З_д = (189 590,87 \cdot 15 \% / 100 \%) = 28 438,63 \text{ (грн.)}$$

Сьогодні законодавство щодо відрахувань із заробітної плати становить 22% від загального фонду оплати праці.

$$Н_з = (З_о + З_д) \cdot 22 \% / 100\% \quad (5.3)$$

$$Н_з = (189 590,87 + 28 438,63) \cdot 22 \% / 100 \% = 47 966,49 \text{ (грн.)}$$

Зниження вартості обладнання, пов'язане з розробкою.

Амортизація обладнання, що використовується для розробки, розраховується за спрощеною формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [грн.]}. \quad (5.4)$$

де Ц — балансова вартість обладнання, грн.;

T — термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років

$t_{\text{вик}}$ — термін використання під час розробки, місяців

Наприклад, розрахуємо витрати на амортизацію, пов'язані з цією системою, її балансова вартість становить 32 тис. грн., термін корисної експлуатації – 2 роки, а термін корисної експлуатації – 1,5 місяці.

$$A_{\text{обл}} = \frac{32000}{2} \times \frac{1,95}{12} = 2600 \text{ грн.}$$

Аналогічно ми розраховуємо витрати на амортизацію для іншого обладнання та інфраструктури. Ми обраховуємо математику в таблиці 5.4.

Однак, оскільки витрати на офіційну операційну систему та інші спеціалізовані ресурси становлять менше 20 000 грн., ці ресурси не амортизуються і їх вартість повністю включена у вартість розробки, $V_{\text{нем.ак.}} = 600$ грн

Таблиця 5.4 — Відрахування амортизації матеріальних і нематеріальних активів для забудовників.

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер та комп'ютерна периферія	32 000	2	1,95	2600
Офісне обладнання (меблі)	25 000	4	1,95	1015,62
Приміщення	120 000	20	1,95	975
Всього				4590, 62

Тарифи на електроенергію в різних галузях є різними для непобутових та населення. Крім того, тарифи на розподіл електроенергії від різних

постачальників (енерго) будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від рівня напруги (1 або 2). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх компаній, які розподіляють енергію, регулює Національна комісія, що здійснює регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрата силової електроенергії визначається за формулою:

$$e_{\text{н}} = e \cdot n \cdot \Phi \cdot \text{ж.}, \quad (5.5)$$

де B — вартість 1 кВт-години електроенергії для 1 класу підприємства, $B = 31.6$ грн./кВт;

Π — встановлена потужність обладнання, кВт. $\Pi = 0,3$ кВт;

Φ — фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

$K_{\text{п}}$ — коефіцієнт використання потужності, $K_{\text{п}} = 0,9$.

$$B_e = 0,9 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 43 \cdot 7,42 = 689,16 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати та загальновиробничі витрати.

Термін «Інші витрати» використовується для опису витрат, які не пов'язані із зазначеними витратами та безпосередньо відносяться до вартості дослідження. Інші витрати, зазначені у статті "Інші витрати", вважаються 50...100% посадового окладу дослідника:

$$I_e = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{H_{\text{ів}}}{100\%}, \quad (5.6)$$

де $H_{\text{ів}}$ — норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = 189\,590,87 \cdot 90\% / 100\% = 170\,631,78 \text{ (грн.)}$$

До статті «Загальновиробничі (загальновиробничі) витрати» включаються витрати, пов'язані з управлінням підприємством, витрати на винахідництво та раціоналізацію, витрати на підготовку (перепідготовку) та наймання робочої сили, а також витрати, пов'язані з оплатою банків послуги, витрати на розвиток виробництва, витрати, пов'язані з науково-технічною інформацією та рекламою.

Визначаються витрати, пов'язані з «Загальновиробничими (загальновиробничими)». як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (З_о + З_р) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{нзв}$ — норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = 189\,590,87 * 140\% / 100\% = 265\,427,21 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{заг} = 189\,590,87 + 28438,63 + 47\,966,49 + 2600 + 600 + 689,16 + 170\,631,78 + \\ + 265\,427,21 = 705\,944,14 \text{ грн.}$$

Розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються $ЗВ$, визначається за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \text{ (грн)}, \quad (5.8)$$

де η — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Якщо науково-технічний розвиток знаходиться на рівні: наукових досліджень, то $\eta=0,1$; технічний розвиток, тоді $\eta=0,2$; розробка конструкторської документації, то $\eta=0,3$; технологічний розвиток, тоді $\eta=0,4$; дослідний зразок, то $\eta=0,5$; створення індустріалізованої моделі, тоді $\eta=0,7$; і реалізації, то $\eta=0,9$. Ми можемо вибрати порогове значення $\eta=0,5$, оскільки проект все ще знаходиться на стадії прототипу:

$$3B = 705\,944,14 / 0,5 = 1\,411\,888,28 \text{ грн.}$$

5.3 Економічна ефективність науково-технічного розвитку для його потенційної комерціалізації потенційним інвестором.

У реальному світі загальний позитивний ефект, який потенційний інвестор може мати від реалізації одного чи кількох науково-технічних зусиль, — збільшення загального прибутку потенційного інвестора. Саме збільшення чистого прибутку забезпечить потенційного інвестора додатковими коштами, дозволить інвестору покращити фінансові результати своєї діяльності, підвищити конкурентоспроможність, а також може позитивно вплинути на прийняття рішення щодо комерціалізації даної розробки.

Для розрахунку потенційного збільшення загального прибутку потенційного інвестора від науково-технічного розвитку важливо:

- коли результати науково-технічного розвитку є практичними;
- показати, через скільки років після впровадження даної науково-технічної розробки очікуються найбільші позитивні результати для інвестора (наприклад, протягом 3 років після її впровадження).
- визначити обсяг попиту на дану або подібну науково-технічну розробку та назвати основних учасників (зацікавлених осіб) цього попиту;
- для визначення грошової вартості науково-технічних розробок з такою ж або подібною функціональністю.

При розрахунку економічної ефективності вартість грошей повинна змінюватися з часом, оскільки гроші часто витрачаються, а потім заробляються. При оцінці успішності інноваційних проектів визначають наступні критичні показники абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);

- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);
- терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Оглядаючи курси науково-технічного розвитку, можна розрахувати економічну ефективність науково-технічного розвитку, яку потім можна поєднати з інтересом потенційного інвестора до конкретної ситуації.

Покращення або вдосконалення апаратного продукту, призначеного для загального споживання.

У цьому випадку майбутній грошовий ефект базуватиметься на наступній інформації.

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (5.10)$$

де $\pm \Delta\Pi_o$ — зміна вартості апаратного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

N — кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

Π_o — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки, $\Pi_o = \Pi_o \pm \Delta\Pi_o$;

Π_b — вартість технічного продукту у році до впровадження результатів розробки;

ΔN — збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

λ — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

p — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

ϑ — ставка податку на прибуток, у 2023 році $\vartheta = 18\%$.

Вважаємо очікувану вартість 5 000 грн. Для кожного проданого продукту період збільшення доходу становитиме 3 роки. Після завершення та вдосконалення проекту його вартість буде збільшена на 500 грн. Також збільшиться загальна кількість проданих одиниць: за перший рік буде продано 5000 одиниць, за другий рік – 7500 одиниць, протягом третього року буде продано 10000 одиниць. До впровадження наукових досягнень продукт не використовувався:

$$\Delta\Pi_1 = (0*500 + (5000 + 500)*5000)* 0,8333* 0,33) * (1 - 0,18) = 617\,644,50 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0*500 + (5000 + 500)*(500+750)* 0,8333* 0,33) * (1 - 0,18) = 1\,544\,111,25 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0*500 + (5000 + 500)*(500+750+1000)* 0,8333* 0,33) * (1 - 0,18) = 2\,779\,400,25 \text{ грн.}$$

У підсумку комерційна вартість впровадження результатів розробки за три роки становить 4 941 156 грн.

Розрахунок ефективності інвестицій і терміну окупності.

Оцінимо поточну величину загального приросту всіх чистих прибутків ПП, які може отримати потенційний інвестор від потенційного впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.11)$$

де $\Delta\Pi_i$ — збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

T — період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

τ — ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$;

t — період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо починаючи з першого року:

$$\begin{aligned} \text{ПП} = & (617\,644,50 / (1+0,1)^1) + (1\,544\,111,25 / (1+0,1)^2) + (2\,779\,400,25 / \\ & / (1+0,1)^3) = 561\,495 + 1\,276\,125 + 2\,088\,204,54 = 3\,925\,824,54 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Далі визначається вартість початкових інвестицій у PV , які потенційний інвестор має витратити на впровадження та популяризацію науково-технічних розробок. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * ZB, \quad (5.12)$$

де $k_{инв}$ — коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{инв} = 2 \dots 5$, але може бути і більшим;

ZB — загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 1\,411\,888,28 = 2\,823\,776,56 \text{ грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ або чистий приведений дохід (NPV , Net Present Value) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = \text{ПП} - \text{PV}, \quad (5.13)$$

$$E_{abc} = 3\,925\,824,54 - 2\,823\,776,56 = 1\,102\,047,98 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Щоб прийняти остаточне рішення з цього питання, необхідно розрахувати внутрішній економічний вигравш або показник внутрішньої норми прибутку (IRR, Internal rate of return) інвестованих грошей і порівняти його з названою ставкою дисконту для бар'єру, що є мінімальним внутрішнім економічним прибутком, який був би досягнутий, якби інвестиції були спрямовані на науково-технічний розвиток.

Поговоримо про відносну (річну) ефективність наукових інвестицій. Для цього скористаємося формулою:

$$E_e = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.14)$$

$T_{жс}$ — життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[3]{(1 + 1\,102\,047,98 / 2\,823\,776,56) - 1} = 0,11$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.15)$$

де d — середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $d = (0,09 \dots 0,14)$;

f — показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,5)$.

Так як $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.16)$$

$$T_{ок} = 1 / 0,11 = 9,09 \text{ р.}$$

Вартість розробки нового технічного продукту становить 1 411 888,28 грн. Передбачалася орієнтовна вартість кожної статті витрат. Також враховується загальний прибуток, який виробник може отримати від впровадження нового технічного рішення, термін окупності для інвестора та економічний ефект від розробки. Наслідком аналізу розрахунків є те, що можна зробити висновок, що розроблений апаратний модуль є дуже успішним. Термін окупності приблизно 9 років.

ВИСНОВКИ

Розроблено структури апаратних компонентів багатоканальних систем, які перетворюють, обробляють і контролюють низькочастотну інформацію. Досліджено статичні та динамічні властивості АЦП і ЦАП щодо НПСЧ і каналів вимірювання, запропоновано нові методи контролю і калібрування.

Продемонстровано мікроконтролерні методи багатоканального перетворення змінного струму, показано, що створення вимірювальних каналів на основі мікроконтролера є ефективним конструктивно-технічним вирішенням проблеми. Це полегшує самокалібрування передачі характеристики АЦП, а також комплексне самокалібрування статичних і динамічних властивостей вимірювальних каналів.

Показано представлення акустичної поверхні, яка створюється кількома джерелами в системі змінного струму пасивної акустичної локації. Розподіл джерел визначається матрицею нечітких відношень «координати поля – рівень звукової енергії». Запропоновано метод реконструкції акустичної поверхні на основі розв'язання сполученої системи нечітких логічних рівнянь при неповних даних.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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. Варюхин В.А. Основы теории многоканального анализа. - Киев: Наук. думка, 2015. - 168 с.
4. Столбов М.Б. Застосування мікрофонних решіток для дистанційного збору мовної інформації // Науково-технічний вісник інформаційних технологій, механіки та оптики. – 2015. – Т. 15. – № 4. – С. 661-675.
5. В.В. Гравіров, К.В. Кислов, Д.В. Лиходєєв, А.С. Нумалов Прецизійна автономна модульна 24-розрядна система збору геофізичних даних // "Наукове приладобудування". – Вид.: РАН, 2018. – Т. 28. – № 4. – С. 64-72. - doi: 10.18358/np-28-4-i6472
6. 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.
7. 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.
8. Бурцев О.П. Паралельна обробка даних сейсмозвідки з використанням розширеної моделі Master-Slave // Суперкомп'ютерні дні у Росії: Праці міжнародної конференції (26-27 вересня 2016 р., м. Київ). – М.: Вид-во МДУ, 2016. – С. 887-895.
9. Bartl E., Belohlavek R. Hardness of Solving Relational Equations // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2015. – Vol. 23 (6) – P. 2435 – 2438.

10. Díaz-Moreno J. C., Medina J., Turunen E. Minimal solutions of general fuzzy relation equations on linear carriers. *Analytic characterization // Fuzzy Sets and Systems*. – 2017. – Vol. 311. – P. 112–123.
11. 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
12. K. Ashraf, B. Elizalde, F. Iandola, M. Moskwicz, 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.
13. A to D and D to A Converter ICs [Електронний ресурс] /Edited by Laroy Davis. – 2010. – Режим доступу: http://www.interfacebus.com/Analog_DAC.html.
14. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів: Навчальний посібник / В.Г. Абакумов, З.Ю. Готра, С.М. Злепко, С.В. Павлов та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 352 с.
15. Волович Г.І. Схемотехніка аналогових та аналого-цифрових електронних пристроїв. М: Видавничий дім Додека-XXI, 2005, 528 с.
16. Stakhov A.P. *The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science* / International Publisher «World Scientific» (New Jersey, London, Singapore, Beijing, Shanghai, Hong Kong, Taipei, Chennai), 2009. - 748 p.
17. Стовпців М.Б. Застосування мікрофонних ґрат для дистанційного збирання інформації // *Науково-технічний вісник інформаційних технологій, механіки та оптики*. – 2015. – Т. 15. – №4. - С. 661-675.
18. *Microphone Arrays. Signal Processing Techniques and Applications* / Eds. M. Brandstein, D. Ward // Springer-Verlag, 2001.– 402 p.
19. Методи та засоби для визначення напрямку та для ідентифікації джерел звуків на місцевості / Ткаченко О. М.; Крупельницький Л. В.; Дерев'яга Б.С.; Зінчук Р. С. // *Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ*. – Вінниця, 23-24 березня 2016 р.

20. Л. В. Крупельницький 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". –Україна.– Вінниця, 19-21 квітня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С. 129–133.

21. 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.

22. Реалізаційні моделі матричного обчислювача для класифікатора біомедичних даних / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Л. В. Крупельницький, О. М. Перебейніс, О. С. Безкревний // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2016. –Том 2 (№ 36). – С. 43–51.

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти та науки України

Вінницький національний технічний університет

Інститут інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТд.т.н., професор Азаров О. Д.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

(підпис)

“29” Вересня 2023р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Метод та засоби акустичного сканування в багатоканальній аналогово-
цифровій системі

08-54.МКР.001.00.000 ТЗ

Науковий керівник: д.т.н., проф.

Азаров О.Д.студент групи 1Кі-22мБажан В.В.

Вінниця 2023

1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

Підставою для розробки даної магістерської кваліфікаційної роботи є наказ ВНТУ №____ від «__» ____ 2023 року та рішення засідання кафедри обчислювальної техніки (протокол №__ від «_____»__ 2023 року).

2 Мета і призначення МКР

2.1 Мета полягає у дослідженні, аналітичному огляді та оцінці методів та засобів, за допомогою яких здійснюється акустичне сканування в багатоканальних аналогово-цифрових системах задля дослідження їх ефективності та можливостей використання у різноманітних галузях.

2.2 Призначення роботи полягає оптимізації алгоритмів обробки сигналів, допомагають створити інноваційні методи взаємодії з користувачем у багатоканальних аналогово-цифрових системах, можуть бути застосовані у різноманітних.

3 Вихідні дані для виконання МКР

Тридцять два масива даних опрацьованого звукового сигналу із урахуванням затримок з частотою дискретизації 48 кГц, розрядністю 16-24 двійкових розряди.

4 Вимоги до виконання МКР

4.1 Провести аналіз методів та засобів звукової локації та ідентифікації.

4.2 Провести аналіз технології обробки низькочастотних звукових сигналів.

4.3 Розробити прототип розроблюваного рішення.

4.4 Провести експериментальні дослідження та тестування програмного модуля.

5 Етапи МКР

Етапи МКР та очікувані результати приведені в табл. А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Аналіз методів та засобів звукової локації та ідентифікації	20.09.2023р.	04.10.2023р.	Розділ 1
2	Аналіз технології обробки низькочастотних звукових сигналів	05.10.2023р.	18.10.2023р.	Розділ 2
3	Експериментальні дослідження та тестування	02.11.2023р.	15.11.2023р.	Розділ 4
4	Економічна частина	17.11.2023р.	25.11.2023р.	Розділ 5

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, нормоконтроль про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлювання МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— міждержавний ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія». Кафедра обчислювальної техніки ВНТУ 2022;

— документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21».

ДОДАТОК Б

Структурна схема АЦ-системи аудіолокації та ідентифікації об'єктів на місцевості

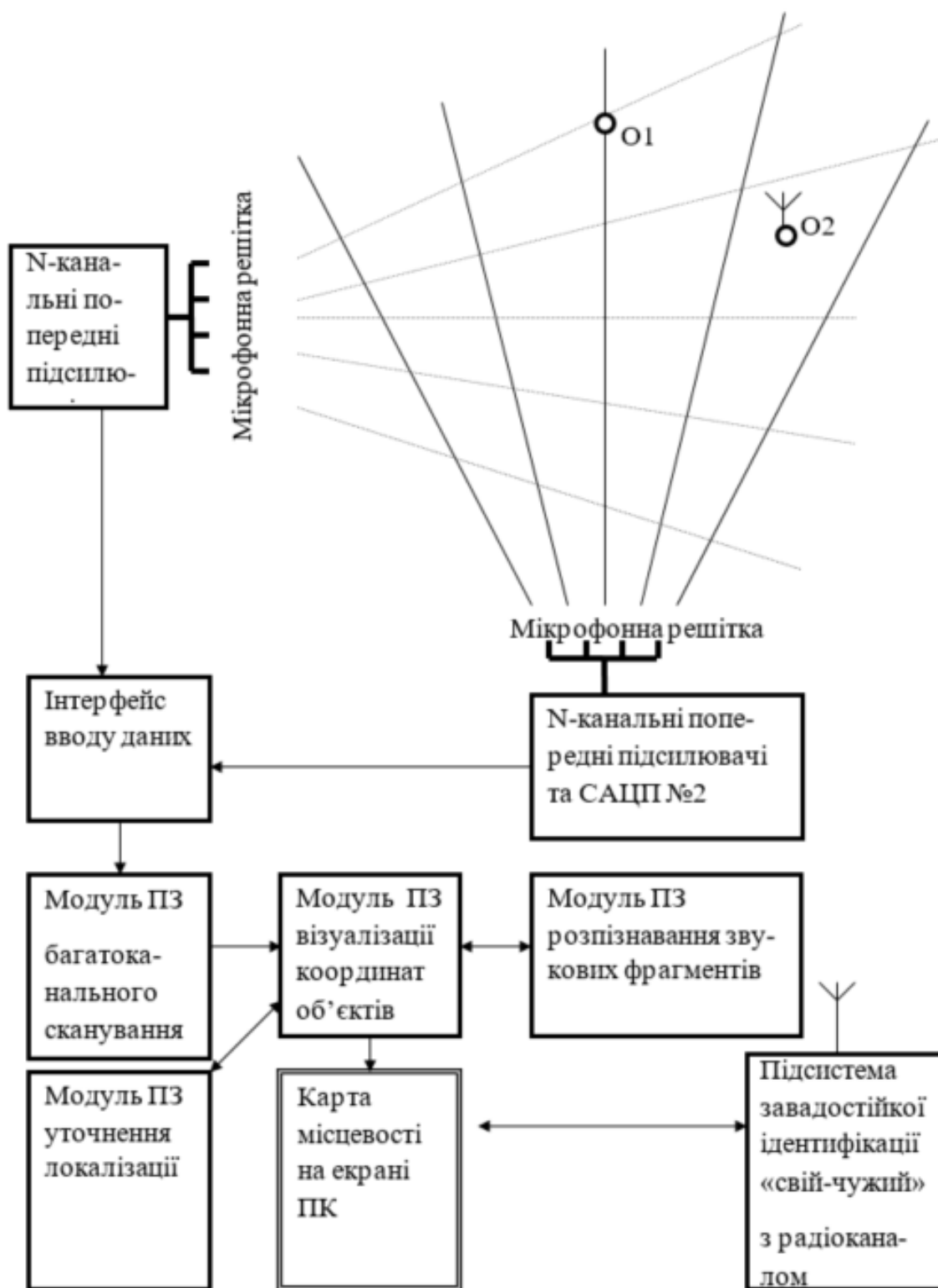


Рисунок Б — Структурна схема АЦ-системи аудіолокації та ідентифікації об'єктів на місцевості

ДОДАТОК В

Конструкція мікрофонних решіток двох типів



Рисунок В.1 — Зовнішній вигляд АЦ- системи портативного варіанту



Рисунок В.2 — Зовнішній вигляд АЦ- системи стаціонарного варіанту

ДОДАТОК Г

Структурна схема самокаліброваної АЦ-системи

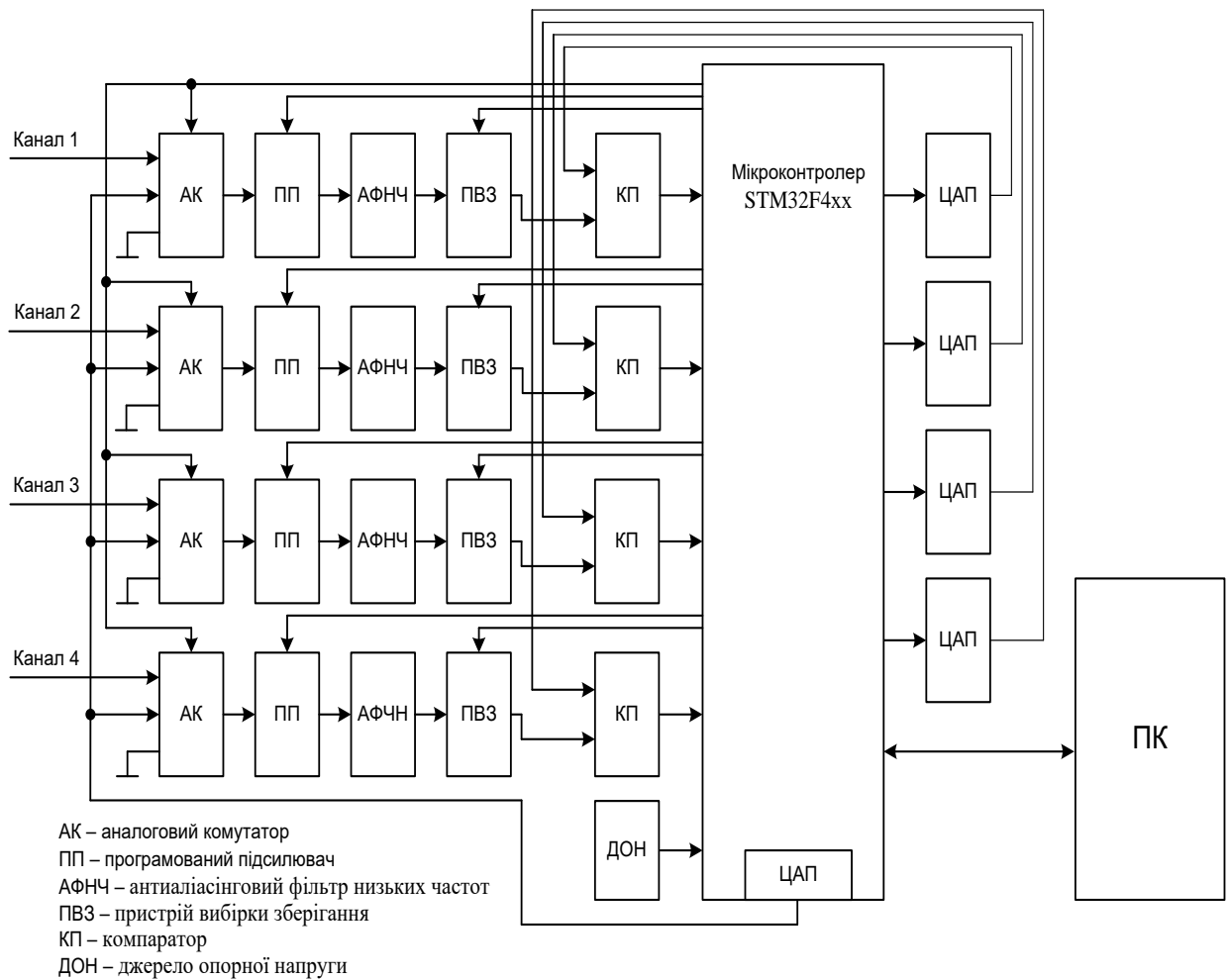


Рисунок Г.— Структурна схема самокаліброваної АЦ-системи

ДОДАТОК Д

Блок-схема роботи алгоритму акустичного санування

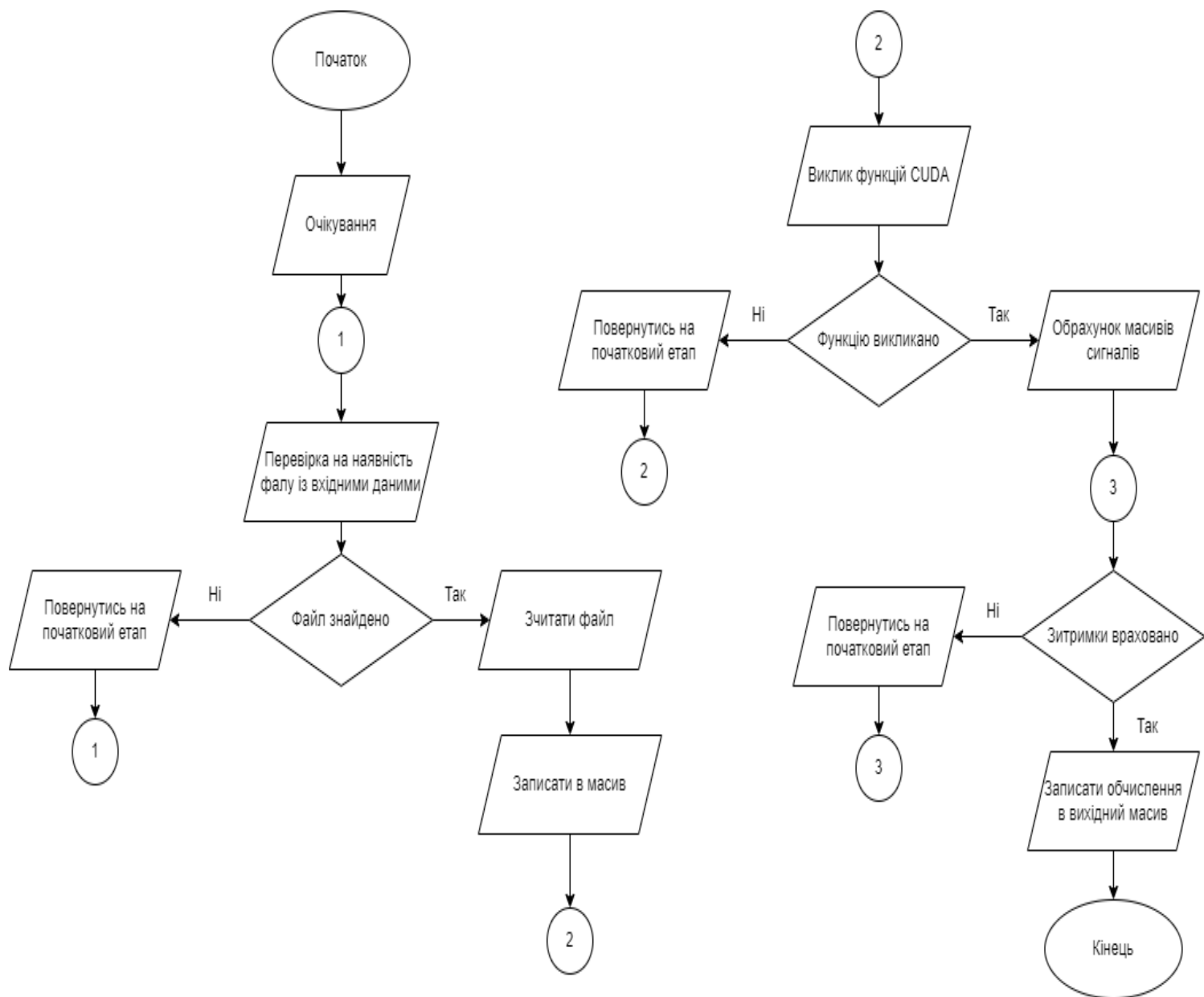


Рисунок Д.— Блок-схема роботи алгоритму акустичного санування

ДОДАТОК Е

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ**Назва роботи: Методи прискорення розрахунків акустичних поверхонь в багатоканальній аналого-цифровій системіТип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)Підрозділ кафедра обчислювальної техніки
(кафедра, факультет)**Показники звіту подібності
Unicheck**Оригінальність 87,7% Схожість 12,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)Захарченко С.М.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____