

ВІННИЦЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

КРУПЕЛЬНИЦЬКИЙ Леонід Вітальєвич



**АНАЛОГОВІ ПРИСТРОЇ САМОКОРИГУЮЧИХ АЦП
ДЛЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ
НИЗЬКОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ**

**Спеціальність 05.11.16 — інформаційно-вимірювальні системи
(в науці та промисловості)**

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дисертація в рукописі.

Робота виконана в Спеціальному конструкторсько-технологічному бюро "Модуль" Вінницького політехнічного інституту.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Азаров Олексій Дмитрович.

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор Кондалев Андрій Іванович.
2. Кандидат технічних наук, доцент Бухалов Володимир Валентинович.

Провідна організація: Державний науково-дослідний інститут
"Система" (м. Львів).

Захист відбудеться 26 лютого 1994 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 10.01.01 у Вінницькому політехнічному інституті (286 021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького політехнічного інституту.

Автореферат розісланий 21 січня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Вхиччук С.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми

Вирок застосування інформаційно-вимірвальної техніки нерозривно пов'язано з проблемами сполучення сигналів, що отримуються від аналогових датчиків, з засобами цифрової обробки інформації. Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) є невід'ємними компонентами ряду сучасних інформаційно-вимірвальних систем (ІВС) і багато в чому визначають їх ефективність. Підвищені вимоги до точності та швидкодії АЦП в першу чергу виникають при створенні автоматизованих технологічних установок, вимірвальних пристроїв, систем запису, відтворення та обробки звукових, гідроакустичних, сейсмічних сигналів. При розробці АЦП для вказаних систем вимірвання та обробки низькочастотних сигналів виникає необхідність розгляду перетворювачів аналог-код як сукупності аналогових та цифрових пристроїв (нормуючих підсилювачів, фільтрів, комутаторів, підсилювачів вибірки-зберігання, джерел опорних величин, схем порівняння, керуючих та інтерфейсних пристроїв і т.п.). Такий підхід дозволяє виділити статичні та динамічні складові загальної похибки та оптимізувати характеристики всього тракту проходження вимірвального сигналу - від датчика до засобу обробки.

Застосування комплексного підходу особливо актуально при розробці аналогових пристроїв для високоточних АЦП і ІВС (з точністю аналого-цифрового перетворення на рівні 14-ти і більше двійкових розрядів). Найбільш ефективним шляхом створення високоточних перетворювачів, як свідчить світовий та вітчизняний досвід, є застосування структурних методів самокалібровки та самокорекції. Представниками таких АЦП є розглянуті в дисертації самокоригуючі АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ) з використанням числа Фібоначчі та "золотої пропорції".

Відомо, що в самокоригувчих АЦП можлива цифрова корекція похибок аналогових пристроїв. Але системного підходу щодо аналізу і синтезу таких пристроїв розроблено не було. Крім того, в процесі практичної реалізації самокоригувчих АЦП було виявлено ряд проблем, що потребують окремих досліджень стосовно метрологічних характеристик, структурних та схемотехнічних рішень, методів корекції. Причому, рамки цих досліджень не обмежуються самокоригувчими АЦП, а можуть бути помирнені на високоточні АЦП та ІВС в цілому.

Мета роботи та задачі досліджень:

розробити критерію ефективності проектування аналогових пристроїв та встановити їх взаємозв'язок з метрологічними характеристиками АЦП та ІВС;

скласти математичні моделі аналогових пристроїв, визначити похибки, що коригуються, і похибки, які не можуть бути скориговані;

запропонувати структурні та схемотехнічні рішення аналогових пристроїв, оптимізувати їх параметри шляхом експериментальних досліджень та моделювання на ЕОМ;

реалізувати і дослідити самокоригувчі АЦП та системи вимірювання та обробки сигналів з застосуванням розроблених аналогових пристроїв.

Основні положення, що виносяться на захист.

1. Використання методів самокорекції при проектуванні аналогових пристроїв АЦП підвищує ефективність функціонування систем вимірювання та обробки низькочастотних сигналів.

2. Розроблений комплекс нормованих метрологічних характеристик високоточних АЦП адекватно характеризує їх точність та швидкість в складі ІВС.

3. Розроблені моделі похибок аналогових пристроїв самокоригувчих АЦП є основою для аналізу складових коригованих та некоригованих похибок, а також шляхів їх зменшення.

4. Принципи побудови аналогових пристроїв самокоригуючих АЦП для розробки структурних та схемотехнічних рішень вхідного пристрою, пристрою квантування і пристрою дискретизації.

5. Структурні та алгоритмічні рішення самокоригуючих АЦП і ІВС з використанням розроблених аналогових пристроїв.

Методи досліджень.

В роботі використано методи теорії похибок, методи спектрального аналізу, чисельні методи, методи машинного аналізу і моделювання електронних схем.

Наукова новизна.

1. Запропоновано при проектуванні ІВС, самокоригуючих АЦП та їх аналогових пристроїв використовувати методику аналізу, яка передбачає використання спільних критеріїв ефективності і спільний підхід, який базується на корекції похибок.

2. Розроблено комплекс нормованих метрологічних характеристик високоточних самокоригуючих АЦП і їх аналогових пристроїв. Визначені кориговані і некориговані похибки, а також встановлено взаємозв'язки між ними.

3. Запропоновано інтегральні оцінки похибок вхідного пристрою АЦП, які враховують спектральні характеристики вхідного сигналу.

4. Запропонована методика вимірювань та виведена аналітична залежність, яка дозволяє оцінити час апертурної невизначеності дискретизатора по спектру вихідного сигналу АЦП.

5. Складена математична модель перехідних процесів в пристрої квантування, яка дозволяє більш точно оцінювати динамічні похибки аналого-цифрового перетворення;

6. Розроблено методи корекції нелінійності статичної передавальної характеристики та нерівномірності амплітудно- і фазо-частотної характеристик вхідного пристрою.

Практична цінність.

1. На основі аналізу математичних моделей похибок запропоновано евристичні методи структурного і схемотехнічного синтезу аналогових пристроїв.

2. Розроблено і досліджено аналогові пристрої високоточних самокоригуючих АЦП: вхідний пристрій, пристрій дискретизації і пристрій квантування. Основні вузли пристроїв реалізовано у вигляді гібридних інтегральних схем.

3. Розроблено дослідні зразки самокоригуючих АЦП і високоточних вимірвальних систем.

Реалізація результатів.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень аналогових пристроїв реалізовані ряд виробів, у тому числі:

вимірвальний 18-розрядний самокоригуючий АЦП для автоматизації технологічних процесів;

вимірвальний 16-розрядний самокоригуючий АЦП для вимірювання та обробки сигналів;

вимірвальна система атестації тензоеlementів;

аналізатор параметрів звукових трактів.

Вказані розробки використовуються організаціями України та Росії, у тому числі Укртелерадіокомпанією, АТ "Манометр" (м. Москва).

Апробація роботи.

Основні положення дисертаційної роботи були представлені автором і обговорювались на: 6-му Всесоюзному симпозіумі "Проблеми створення перетворювачів форми інформації" (м. Київ, 1988 р.); 2-й Всесоюзній науково-технічній конференції "Технологія СІС і питання їх виробництва" (м. Ярославль, 1988 р.); науково-технічній конференції "Методи і мікроелектронні засоби цифрового перетворення і обробки сигналів" (м. Рига, 1989 р.); 2-й Всесоюзній конференції "Проблеми та перспективи розвитку цифрової звукової техні-

ки" (м. Ленінград, 1990 р.); Республіканській конференції "Питання проектування та практичного використання ПФІ в керуючих та обчислювальних комплексах" (м. Одеса, 1990 р.); науково-технічній конференції країн СНД "Контроль та керування в технічних системах" (м. Вінниця, 1992 р.); 7-му симпозиумі "Проблеми створення перетворювачів форми інформації" (м. Київ, 1992 р.).

Публікації.

Результати виконаних досліджень опубліковано в 28 роботах, а числі яких 7 авторських свідоцтв на винаходи і 2 позитивних рішення по заявках на винаходи.

Структура та обсяг дисертації.

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, списку літератури та додатків. Робота має 150 сторінок машинописного тексту, 45 сторінок рисунків і таблиць, список літератури із 111 найменувань на 11 сторінках та додатки на 53 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ показана актуальність дослідження, визначені основні цілі та задачі, що вирішуються в дисертаційній роботі.

В ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ виконано аналіз тенденцій розвитку техніки високоточних АЦП та встановлено системні вимоги до них. До систем вимірювання та обробки низькочастотних сигналів, що розглядаються в контексті виконаних досліджень, застосовано таку класифікацію:

- автоматизовані технологічні контрольно-вимірювальні установки;
- інформаційно-вимірювальні системи збору, запису та обробки сигналів;

системи та прилади для вимірювання параметрів низькочастотних сигналів та траєкторій

На прикладі САТ продемонстрована можливість введення в контур корекції статичних похибок не тільки електронної, але й механічної частин вимірвальної системи. САТ впроваджено як складову частину контрольно-вимірвальної системи атестації тензомодулів при виробництві датчиків тиску на АТ "Манометр" (м. Москва).

В АПЗТ реалізовано корекцію як статичних, так і ряду динамічних характеристик аналогових пристроїв. Запропоновано алгоритми корекції АЧХ і ФЧХ фільтрів НЧ. Алгоритми обробки сигналів, що використовуються в АПЗТ, ґрунтуються на результатах досліджень комплексу нормованих метрологічних характеристик та методів їх вимірвання. АПЗТ пройшов метрологічну атестацію в ДНДІ "Система" (м. Львів) і впроваджений в Укртелерадіокомпанію як автоматизований засіб вимірвання параметрів мішійських трактів звукового мовлення.

Основні результати та висновки

1. Запропоновано при проектуванні ІВС, самокоригуючих АЦП та їх аналогових пристроїв використовувати методику аналізу, в якій критеріями для оцінювання ефективності є складові комплексу нормованих метрологічних характеристик. За допомогою експериментальних досліджень розроблено математичні моделі аналогових пристроїв АЦП і ІВС. На основі цих моделей визначено статичні та динамічні складові комплексу, досліджено кориговані та некориговані похибки та встановлено їх взаємозв'язок.

2. Запропоновано інтегральні оцінки нерівномірності АЧХ, нелінійності ФЧХ, похибки антинакладання спектрів у вхідному пристрої, в яких врахововано спектральні характеристики вхідного сигналу;

3. Розроблена методика вимірвань та отримана аналітична залежність середньоквадратичного значення часу апертурної невизначеності пристрою дискретизації від спектру вихідного сигналу АЦП.

4. Запропонована математична модель перехідних процесів в пристрої квантування, що враховує затримки ввімкнення розрядів

ПКС, перехідні перешкоди і двоетапний характер усталення сигналу на виході СПС.

5. Розроблені та досліджені структурні і схемотехнічні рішення аналогових пристроїв САЦП та їх вузлів: вимірвального підсилювача, активного фільтра НЧ, термостатованого джерела опорної напруги, прецизійного аналогового комутатора, підсилювача вибірки-зберігання, перетворювача код-струм, схеми порівняння струмів.

6. Запропоновано та досліджено метод корекції похибки лінійності СПХ вимірвального підсилювача і метод корекції нерівномірності АЧХ і нелінійності ФЧХ фільтрів НЧ.

7. На основі досліджень аналогових пристроїв та методів їх корекції розроблені дослідні зразки ряду виробів, в числі яких: вимірвальний 18-розрядний аналого-цифровий самокоригуючий перетворювач САЦП-НКЗ; швидкодіючий 16-розрядний аналого-цифровий самокоригуючий перетворювач САЦП-021; вимірвальна система атестації тензoeлементів САТ; аналізатор параметрів звукових трактів АПЗТ. Вказані вироби виробляються в СКТБ "Модуль" ВПІ і запроваджені в ряді організацій України та СНД.

Основний зміст роботи викладено в публікаціях:

1. Крупельницький Л.В. Аналоговые устройства самокорректирующихся АЦП // Вопросы проектирования и практического использования ПФИ в управляющих и вычислительных комплексах. Тез. докл. республиканской конф. - Одесса, 1990. - С.112-113.

2. Крупельницький Л.В. Коррекция статических и динамических погрешностей аналоговых устройств в самокорректирующихся АЦП // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 7-го симпозиума. - Киев, 1992. - С.78-79.

3. Стейгал В.Я., Крупельницький Л.В., Рафалюк А.Б., Лизюк В.В. Быстродействующий преобразователь код-ток в гибридном исполнении для высокоточных преобразователей формы информации // Технадбгич

ГИС и вопросы их производства. Тез. докл. Второй Всесоюзной научно-технической конф. - Ярославль, 1988. - Ч.2. - С.108-109.

4. Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Степайко Ю.М., Крупельницкий Л.В. ГИС устройства сравнения токов // Там же. - С.106-107.

5. Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Герасимчук В.В. ГИС термостатированного источника опорного напряжения // Там же. - С.114.

6. Высокоточный самокорректирующийся микропроцессорный аналого-цифровой преобразователь САЦП-МКЗ. Стахов А.П., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Лысок В.В., Крупельницкий Л.В. и др. // Приборы и техника эксперимента. - 1989. - № 1. - С.97.

7. Высокоточный самокорректирующийся микропроцессорный преобразователь САЦП-МКЗ. Стахов А.П., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Майстришин В.Я. // Информационный листок о научно-техническом достижении № 88-006. - Винницкий ИТЦНТИ, 1988. - 5 с.

8. Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Коваль Ю.В. ГИС термостатированного источника опорного напряжения для самокорректирующихся ПФИ // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 6-го Всесоюзного симпозиума. - Киев, 1988. - С.201-202.

9. Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Майстришин В.Я. САЦП-МКЗ - микропроцессорный аналого-цифровой преобразователь на основе кода "золотой пропорции" // Там же. - С.127-128.

10. Моисеев В.И., Крупельницкий Л.В., Майстришин В.Я., Левачкова И.С. Измерительный комплекс линеаризации характеристик датчиков на основе самокорректирующегося микропроцессорного АЦП. // Там же. - С.71-73.

11. А.С. № 1485309 СССР, МКИ G 11 C27/00. Аналоговое запоминающее устройство / Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Голубев А.П., Крупельницкий Л.В. - Опубл. 07.06.89., Бюл. № 21.

12. А.С. № 1435993 СССР, МКИ H 03 M 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / Стахов А.П., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Лы-

сук В.В., Рафалык А.Е., Васильева Т.Н., Крупельницкий Л.В., Майстришин В.Я. - Опубл. 23.07.89, Бюл. N 27.

13. А.С. N 1529434 СССР, МКИ H 03 K 5/24. Входовое устройство схемы сравнения токов / Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Степайко Ю.М., Крупельницкий Л.В. - Опубл. 15.12.89, Бюл. N 46.

14. А.С. N 1534440, МКИ G 05 F 1/56. Стабилизатор постоянного тока / Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Яковлев В.П. - Опубл. 07.01.90, Бюл. N 1.

15. А.С. N 1552231 СССР, МКИ G 11 C27/00. Аналоговое запоминающее устройство / Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Голубев А.П., Крупельницкий Л.В. - Опубл. 23.03.90., Бюл. N 11.

16. А.С. 1571761 СССР Н03 H 1/46. Аналого-цифровой преобразователь / Стахов А.П., Моисеев В.И., Крупельницкий Л.В. и др. - Опубл. 15.06.90, Бюл. N 22 .

17. А.С. N 1591182, МКИ H 03 H 1/46. Аналого-цифровой преобразователь / Крупельницкий Л.В., Стейскал В.Я., Азаров А.Д., Моисеев В.И. - Опубл. 07.09.90, Бюл. N 33.

18. Рафалык А.Е., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В. Высокоточное интеграторное аналоговое запоминающее устройство // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов. Тез. докл. конф. - Рига, 1990. - Т.1. - С.52-54.

19. Крупельницкий Л.В., Лысок В.В., Думко О.Г. Термостабильный преобразователь код-ток повмненного быстрогодействия // Там же. - С.34-36.

20. Голубев А.П., Крупельницкий Л.В. Минимизация погрешностей восстановления звуковых сигналов в цифроаналоговом преобразователе // Там же. - С.21-23.

21. Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В. Век преобразования форм информации для измерителя параметров звуковых трактов // Проблемы и перспективы развития цифровой звуковой техники. Тез. докл. второй Всесоюзной научно-технической конф. - Ленинград 1989. - С.85-86.

22. Майстришин В.Я., Крупельницкий Л.В., Стейская В.Я. Параллельно-последовательный АЦП на основе избыточных систем счисления // Там же.- С.98-99.

23. Майстришин В.Я., Левачкова И.С., Крупельницкий Л.В. Моделирование статических погрешностей 16-разрядного самокорректирующегося АЦП // Вопросы проектирования и практического использования ПЭМ в управляющих и вычислительных комплексах. Тез. докл. республиканской конф.- Одесса, 1990.- С.52-53.

24. Червинчук Н.В., Стейская В.Я., Крупельницкий Л.В. Автоматизация контроля параметров трактов звукового вещания // Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-технической конф. стран СНГ. - Винница, 1992.- С.103.

25. Крупельницкий Л.В., Голубев А.П., Позняк Д.В., Скалозуб В.В. Анализатор параметров звуковых трактов на базе самокорректирующийся АЦП и ЦАП, сопряженных с ПЗВМ // Проблемы создания преобразователей форм информации. Тез. докл. 7-го симпозиума.- Киев, 1992.- С.123-124.

26. Высокоточный измерительный контроллер для работы с датчиками физических величин. Майстришин В.Я., Скалозуб В.В., Стейская В.Я., Лисвк В.В., Крупельницкий Л.В., Голубев А.П. // Там же.- С.57-58.

27. Положительное решение по заявке N 4677527 СССР, от 11.04.88. Входное устройство схем сравнения токов. / Азаров А.Д., Стейская В.Я., Степайко Ю.И., Крупельницкий Л.В.

28. Положительное решение по заявке N 7663950 СССР, от 20.03.89. Аналого-цифровой преобразователь. / Стахов А.П., Мисисев В.И., Крупельницкий Л.В. и др.

Подписано в печать 18.01.94 г.

Бумага офсетная.

Фак. № 2. Тир. 100 экз.

ВПИ "Модуль", Хмельницкое шоссе 97