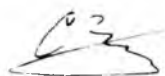


ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ЗАХАРЧЕНКО СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ



**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА САМОКАЛІБРОВАНИХ АЦП З  
НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ НА ОСНОВІ НАДЛИШКОВИХ  
ПОЗИЦІЙНИХ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ**

Спеціальність 05.13.08 - обчислювальні машини, системи  
та мережі, елементи і пристрої  
обчислювальної техніки та сис-  
тем керування.

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця - 1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки Вінницького державного технічного університету.

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Кондалев Андрій Іванович,  
кандидат технічних наук, доцент  
Капіцький Ярослав Іванович.

Провідна організація: Національний технічний університет  
України "Київський політехнічний  
інститут".

Захист відбудеться "28" 02 1997р. о "12" годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 10.01.03 в  
Вінницькому державному технічному університеті за адресою:  
286021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького державного технічного університету.

Автореферат розісланий "22" 02 1997р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Колодний В.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Серед сучасних перетворювачів форми інформації (ПФІ) можна виділити окремий клас пристроїв - перетворювачі з накопиченням заряду (НЗ). Характерною рисою даного класу приладів є наявність обов'язкової процедури накопичення заряду. Друга відмітна ознака вказаних пристроїв - їх схожа структурна реалізація. Практично всі ПФІ з НЗ будуються з використанням однакових елементарних блоків: конденсаторів, операційних підсилювачів та компараторів.

Поширене розповсюдження ПФІ з НЗ пояснюється перш за все тим, що вони легко реалізуються у вигляді інтегральних схем. На сьогоднішній день серед аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) із НЗ середньої та високої швидкодії найбільш розповсюдженими є АЦП з перерозподілом заряду, сігма-дельта АЦП, циклічні або алгоритмічні та багатокрокові флеш-АЦП. Обмежене використання інших перетворювачів цього класу, зокрема АЦП на основі послідовного ЦАП, пояснюється їх обмеженою точністю.

Один із перспективних методів підвищення точності ПФІ з НЗ базується на використанні інформаційної надлишковості, зокрема, у формі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ). Актуальність цього напрямку підтверджується позитивними практичними результатами як в Україні, так і за кордоном.

Метою досліджень є розробка методів підвищення точності АЦП із накопиченням заряду, зокрема, АЦП на базі генераторів експоненційних струмів (ГЕС) шляхом використання НПСЧ, інженерних рекомендацій по проектуванню високоточних АЦП із НЗ, а також аналогових вузлів вказаних перетворювачів інформації на перспективній елементній базі.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішуються такі задачі:

1. Аналіз і складення математичних моделей похибок АЦП із генератором експоненційних струмів.
2. Розробка методів зниження похибок аналого-цифрового перетворення в перетворювачах інформації з ГЕС шляхом уведення інформаційної надлишковості.
3. Розробка алгоритмів самокалібрування ваг розрядів АЦП із ГЕС на основі НПСЧ.
4. Розробка моделюючих програм для дослідження похибок

рового перетворення за рахунок самокалібрування ваг розрядів АЦП із ГЕС.

5. Розроблено методику дослідження похибок аналого-цифрового перетворення шляхом комп'ютерного моделювання процесу самокалібрування ваг розрядів перетворювача.

6. Отримані математичні співвідношення, що характеризують процес накопичення методичних похибок при самокалібруванні ваг розрядів АЦП.

7. Розроблені структури високолінійних самокаліброваних перетворювачів інформації з генератором експоненційних струмів на базі НПСЧ, що реалізують запропоновані алгоритми підвищення точності.

8. Запропоновано та досліджено метод комплексного зниження складових похибки самокалібрування.

Практична цінність роботи полягає в тому що:

1. Розроблені рекомендації по проектуванню високоточних АЦП із генератором експоненційних струмів на базі НПСЧ, які забезпечують, зокрема, стабілізацію метрологічних характеристик перетворювачів при зміні умов навколишнього середовища, а також протягом тривалого терміну експлуатації.

2. Запропонована модель розрядної сітки самокаліброваного АЦП, що надає можливість на етапі проектування визначити необхідну кількість основних і додаткових розрядів перетворювача.

3. Розроблені інженерні рекомендації по схемотехнічному проектуванню аналогових вузлів самокаліброваних АЦП із ГЕС на перспективній елементній базі у вигляді напівзамовних ВІС.

4. Розроблено програмне забезпечення, що дає можливість на етапі проектування шляхом моделювання оцінити сумарну похибку АЦП при заданні різних параметрів та умов перетворення.

Реалізація результатів роботи полягає в проектуванні комплекту твердотільних напівзамовних ВІС аналогових вузлів високоточних АЦП і ЦАП (високолінійний швидкодіючий підсилювач постійного струму для пристрою вибірки та зберігання аналогових сигналів, схема погодження логічних рівнів, схема порівняння струмів).

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на VII -му міжнародному симпозиумі "Проблеми створення перетворювачів інформації" - Київ, 1992; науково-технічних конференціях країн СНД "Контроль та

керування в технічних системах" - Вінниця, 1992, 1995; науково-технічних конференціях із міжнародною участю "Приладобудування - 94" та "Приладобудування - 95" - Вінниця, Симферополь, Львів, 1994, 1995; науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників і студентів Вінницького державного технічного університету в 1991-1996 роках.

Публікації По матеріалах дисертаційної роботи опубліковано 7 робіт, та отримано 1 позитивне рішення на патент України.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається із вступу, чотирьох глав, висновку, списку використаних джерел та додатків. Дисертація має загальний обсяг 242 сторінки, з яких основний зміст міститься на 203 сторінках, включаючи рисунки та таблиці на 50 сторінках, список використаних джерел із 106 найменувань на 11 сторінках; додатки на 23 сторінках.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність досліджень. Охарактеризовано наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів, показано зв'язок задач, що розв'язуються, з плановими науковими дослідженнями. Приведено структуру та коротку анотацію дисертаційної роботи.

У першій главі проводиться огляд сучасного стану й аналізуються тенденції розвитку техніки аналого-цифрового перетворення із накопиченням заряду. Автором запропоновано класифікацію АЦП із НЗ. Згідно зі вказаною класифікацією розглянуті та проаналізовані структурні особливості, а також принципи функціонування кожного типу АЦП із НЗ. Вказані основні переваги та недоліки окремих перетворювачів інформації. Відзначається, що техніка накопичення заряду дає можливість реалізувати велике різноманіття структур АЦП послідовного врівноваження, які характеризуються простою структурною реалізацією і відносно високою швидкістю. Як свідчить огляд літературних джерел найбільше розповсюдження серед АЦП із НЗ, що реалізують алгоритм послідовного врівноваження, отримали АЦП із перерозподілом заряду та циклічні перетворювачі. Типовим представником АЦП із перерозподілом заряду є AD677 фірми Analog Devices.

Описуються різні шляхи поліпшення характеристик АЦП із НЗ. Технологічний підхід передбачає, зокрема, підвищення точності виготовлення інтегральних конденсаторів. Для цього конденсатори великої ємності виготовляються шляхом запаралелюван-

тійного струму для ПЕЗ, схема погодження логічних рівнів, схема порівняння струмів.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Запропонована класифікація аналого-цифрових перетворювачів із накопиченням заряду. Проаналізовані сучасні методи підвищення точності вказаних пристроїв. Показано, що характеристики АЦП із НЗ можуть бути значно поліпшені завдяки використанню методів інформаційної надлишковості.

2. Розроблені методи підвищення точності АЦП із НЗ шляхом самокалібрування при умові введення інформаційної надлишковості у вигляді НПСЧ. Отримані математичні співвідношення, які підтверджують, що запропонований підхід дозволяє суттєво зменшити похибки самокаліброваних аналого-цифрових перетворювачів у порівнянні з первинними похибками аналогових вузлів.

3. Розроблені математичні моделі інструментальних похибок аналогових вузлів, що входять до складу АЦП із ГЕС. Проведена систематизація цих похибок, а також виявлено їх зв'язок зі складовими загальної похибки аналого-цифрового перетворення.

4. Запропоновані та проаналізовані алгоритми самокалібрування ваг розрядів АЦП із ГЕС на основі НПСЧ  $\{1, \bar{1}\}$ . Виявлено, що алгоритм самокалібрування, який базується на дворазовому врівноваженні допоміжного сигналу, забезпечує більш високу точність у порівнянні з алгоритмом одноразового врівноваження.

5. Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для імітаційного моделювання роботи АЦП із ГЕС на основі НПСЧ. Розроблена також методика дослідження похибок самокалібрування, що базується на комп'ютерному моделюванні.

6. Запропоновано метод комплексного зменшення складових похибки самокалібрування передатної характеристики АЦП із ГЕС. Це дає можливість суттєво зменшити кількість додаткових розрядів, а також знизити вимоги щодо метрологічних параметрів ряду аналогових вузлів. Показано, що вказаний метод підвищення точності самокалібрування може бути використано в будь-якому самокаліброваному АЦП, що побудований на основі НПСЧ.

7. Розроблені інженерні рекомендації по схемотехнічному проектуванню і розробці самокаліброваних АЦП із ГЕС на основі НПСЧ, а також аналогових вузлів до них. Доказана можливість реалізації розроблених вузлів, зокрема пристрою вибірки та зберігання аналогових сигналів, генератора експоненційних

струмів, комутаторів струмів на перспективній елементній базі у вигляді напівзамовних ВІС типу базових матричних кристалів.

8. На основі запропонованих рекомендацій створені твердотільні напівзамовні ВІС високолінійного пристрою вибірки та зберігання аналогових сигналів, схеми погодження логічних рівнів та схеми порівняння струмів на базових матричних кристалах типу "Фархад-2".

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ВІДБРАЖЕНО В ТАКИХ РОБОТАХ

1. Азаров О.Д., Захарченко С.М. Аналіз статичних похибок АЦП зі зрівноваженням зарядів // Вісник ВПІ.-1995.-№2.- С.5-12.

2. Азаров А.Д., Захарченко С.М. Высокоточный самокорректирующийся конденсаторный АЦП для систем контроля и измерений // Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-технической конф. стран СНГ. - Винница, 1992.

3. Азаров А.Д., Захарченко С.М. Разработка высокоточного самокорректирующегося конденсаторного АЦП // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 7-го симпозиума.- Киев, 1992.-С.97.

4. Позитивне рішення на видачу патенту України по заявці N 93007329 від 16.07.1996, МПК Н03 К5/24. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів.(Азаров О.Д., Стахов О.П, Степайко Ю.М., Захарченко С.М.). Заявлено 28.10.93.

5. Захарченко С.М. Разработка высокоточных самокорректирующихся конденсаторных АЦП для измерительных комплексов // Приборостроение-94. Тез. докл. конф.-Винница, 1994.-С.134.

6. Захарченко С.М. Повышение точности конденсаторных АЦП с источниками экспоненциальных токов // Приборостроение-94. Тез. докл. научно-технической конференции с международным участием.- Винница-Симферополь, 1994.-С.115.

7. Захарченко С.М. Математическое моделирование характеристик конденсаторных АЦП, ЦАП для устройств измерения и контроля //Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-технической конф. - Винница, 1995.-С.299.

8. Захарченко С.М. Повышение точности самокалибровки АЦП, построенных на основе ИЛСС // Приборостроение - 95. Тез. докл. научно-технической конференции с международным участием.- Винница-Львов - 95.

Особистий внесок автора в роботах, що опубліковані у спі-

вавторстві: [1]-склав моделі статичних похибок аналогових вузлів АЦП із ГЕС; [2]-розробив структуру та промодельовав її роботу на ПЕОМ; [3]-розробив структуру самокаліброваного конденсаторного АЦП; [4]-запропонував схему компенсації зсуву нуля.

Захарченко С.М. Исследование и разработка самокалибрующихся АЦП с накоплением заряда на основе избыточных позиционных систем счисления.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - вычислительные машины, комплексы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Винницкий государственный технический университет. Винница, 1997. Защищается 8 научных работ, содержащих исследования по введению информационной избыточности в АЦП с накоплением заряда. Доказано, что предложенный подход позволяет повысить точность аналого-цифровых преобразователей, построенных на неаккуратной элементной базе и сохранить метрологические характеристики в течение длительных сроков эксплуатации. Освоено промышленное внедрение выполненных разработок.

Zakharchenko S.M. The investigation and design of selfcalibrating ADC with charge accumulation on the basis of redundant position number system.

The dissertation for the submission for the award of Doctorrate degree in Engineering Sciences on speciality 05.13.08 - computers, complexes and networks, units and devices of computers and control systems. Vinnitsa State Technical University, 1997. Submitted for the defence are 8 scientific works that contains researches in introduction of information redundancy in ADC with charge accumulation. The suggested approach is supposed to make possible of increasing accurancy of analog-to-digital conversion in ADC that is built on low-accurate elements and to keep metrological characteristics during the long time of exploitation. The working out has aplyed industry.

Ключові слова: аналого-цифрові перетворювачі з накопиченням заряду, надлишкові позиційні системи числення, самокалібрування, генератор експоненційного струму.



Підписано до друку 16.01.1997 р.  
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького державного технічного університету.  
Наклад 100 примірників.