

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БІЛІЧЕНКО НАТАЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 681.325.5

**ВИСОКОТОЧНІ АНАЛОГО-ЦИФРОВІ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ЗАРЯДУ
НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАДЛИШКОВОСТІ**

Спеціальність 05.13.05 – Елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування

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

Вінниця - 2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Вінницькому державному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Азаров Олексій Дмитрович

Вінницький державний технічний університет,

завідувач кафедри обчислювальної техніки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Романов Володимир Олександрович**,
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, завідувач відділу
перетворювачів форми інформації
м.Київ

кандидат технічних наук **Мичуда Леся Зиновіївна**, Національний університет
«Львівська політехніка», асистент кафедри автоматизації теплових та хімічних
процесів
м.Львів

Провідна установа:

Інститут проблем ресстрації інформації Національної Академії наук України,
відділ №107 спеціалізованих засобів моделювання
м.Київ

Захист відбудеться «25» 05 2001 р. о 9:30 год. на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому державному технічному
університеті за адресою: 21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького державного
технічного університету за адресою: 21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ГУК.

Автореферат розісланий «24» 04 2001 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Захарченко С.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми. Застосування комп'ютерів у різних галузях людської діяльності вимагає постійного вдосконалення існуючих та розробки нових типів аналого-цифрових та цифроаналогових перетворювачів (АЦП та ЦАП). Це пояснюється тим призначенням, яке виконують перетворювачі форми інформації (ПФІ) в інформаційно-вимірювальних системах, в автоматизованих системах керування, системах зв'язку комп'ютерів з об'єктами. АЦП та ЦАП виконують роль інтерфейсу між реальними аналоговими сигналами об'єктів та цифровими сигналами комп'ютерів. Адекватність відображення реальних аналогових процесів їх цифровими еквівалентами цілком залежить від якості аналого-цифрового перетворення. Основними вимогами, що висуваються до сучасних ПФІ, є підвищення швидкодії, точності та надійності. Крім того, ПФІ повинні мати стабільні характеристики при зміні зовнішніх чинників та протягом тривалого часу експлуатації. Ще одна важлива вимога – можливість інтегрального виконання. Більшості вимог задовольняють ПФІ, побудовані на схемах із комутованими конденсаторами. Головні переваги АЦП на комутованих конденсаторах (АЦП_{КК}) пов'язані з можливістю їх реалізації за КМОН-технологією, яка на сьогоднішній день є найпоширенішою. Ще однією перевагою МОН-структур є те, що ця технологія дозволяє простим способом реалізувати конденсатор, який є одним з основних елементів АЦП_{КК}. Крім того, точність виконання конденсаторів за КМОН-технологією значно краща за точність виконання резисторів. Відносна похибка при реалізації конденсаторів у типових КМОН-технологіях менше 0,06%, а чутливість цього параметру до зміння робочої температури дуже слабка. АЦП_{КК} не потребують використання пристроїв вибирання й зберігання та споживають значно меншу потужність у порівнянні з іншими типами ПФІ. До недоліків перетворювачів даного класу можна віднести дещо меншу швидкодію в порівнянні з біполярними пристроями.

Як і для інших типів ПФІ, проблема підвищення точності та швидкодії АЦП_{КК} є актуальною. Частково вона може бути вирішена за рахунок покращення технології (використання лазерного припасування елементів). Однак, цей підхід, крім суттєвого збільшення вартості виробництва, призводить до погіршення температурних параметрів, зменшує надійність пристроїв. Інший шлях покращення точносних характеристик АЦП – уведення надлишковості на різних рівнях проектування пристроїв: функціонально-алгоритмічному, інформаційному та структурно-схемотехнічному. Використання інформаційної надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ) є одним із перспективних шляхів комплексного вирішення проблеми підвищення точності та швидкодії АЦП_{КК}. Особливості функціонування АЦП із перерозподілом заряду (ПЗ) не дають можливості перенести відомі підходи підвищення точності та швидкодії АЦП

за рахунок НПСЧ на пристрої згаданого класу і потребують детальних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась згідно з планом наукових досліджень Вінницького державного технічного університету в рамках держбюджетної теми 52-Д-201 “Дослідження принципів введення інформаційної надлишковості для підвищення точності та швидкості аналого-цифрового перетворення”, номер держ. реєстр. №0199U003435.

Мета й задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення точності швидкодіючих АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду, побудованих на низькоточних аналогових вузлах, за рахунок використання інформаційної надлишковості у вигляді НПСЧ, розробка рекомендацій по використанню отриманих теоретичних положень для проектування високоточних швидкодіючих самокаліброваних АЦП на комутованих конденсаторах, а також аналогових вузлів згаданих перетворювачів інформації на перспективній елементній базі.

Основні задачі, що визначаються поставленою метою:

1. Розробка структур високоточних швидкодіючих самокаліброваних АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду.
2. Подальша розробка теоретичних положень щодо зменшення статичних похибок швидкодіючих АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду на основі НПСЧ.
3. Розробка математичних моделей статичних та динамічних похибок АЦП із перерозподілом заряду, в яких підвищення точності й швидкодії здійснюється за рахунок використання інформаційної надлишковості.
4. Удосконалення методів підвищення точності швидкодіючих АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду шляхом цифрового калібрування ваг розрядів.
5. Отримання аналітичних співвідношень для визначення методичних похибок швидкісного аналого-цифрового перетворення порозрядного врівноваження й виявлення шляхів їх зменшення.
6. Розробка рекомендацій щодо проектування швидкодіючих високолінійних самокаліброваних АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду, які реалізують запропоновані методи підвищення точності, а також проектування аналогових вузлів цих пристроїв на перспективній елементній базі.

Об'єкт дослідження – процес аналого-цифрового перетворення порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду, що породжує проблему підвищення точності швидкодіючих АЦП.

Предмет дослідження – статичні та динамічні похибки швидкодіючих АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду на основі НПСЧ.

Методи досліджень базуються на математичному моделюванні процесів аналого-цифрового перетворення під час аналізу статичних та динамічних

похибок, теорії похибок для дослідження точності швидкодіючих АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду, теорії чисел і чисельних методах для вибору основи надлишкової позиційної системи числення, математичному аналізі електронних схем для розробки аналогових вузлів АЦП та комп'ютерному моделюванні під час аналізу функціонування як всього пристрою в цілому, так і окремих його вузлів.

Наукова новизна отриманих результатів. До основних результатів, що доводять наукову новизну, відносяться:

- вдосконалені та дістали подальшого розвитку принципи побудови пристроїв високоточного швидкісного аналого-цифрового перетворення порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду за рахунок використання інформаційної надлишковості;
- подальший розвиток методів зменшення статичних похибок швидкодіючих АЦП порозрядного врівноваження з перерозподілом заряду, які базуються на використанні інформаційної надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення;
- уперше отримані математичні моделі статичних та динамічних похибок АЦП із перерозподілом заряду, які дозволяють визначити основні джерела появи похибок та шляхи їх зменшення; доведено, що статичні похибки перетворення у значній мірі визначаються методичною складовою;
- удосконалені математичні моделі методичних похибок самокалібрування, аналіз яких дозволяє покращити відомі методи самокалібрування ваг розрядів і підвищити точність швидкісного аналого-цифрового перетворення пристроями, побудованими на низькоточній елементній базі;
- вперше отримані аналітичні співвідношення, які дозволяють оцінювати значення похибок швидкісного аналого-цифрового перетворення з використанням запропонованих методів самокалібрування ваг розрядів для різних стратегій калібрування.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність полягає в тому, що:

- розроблені теоретичні положення доведені до рекомендацій щодо проектування високоточних швидкодіючих АЦП з перерозподілом заряду на основі НПСЧ, які забезпечують, зокрема, стабілізацію метрологічних характеристик при зміні умов навколишнього середовища та протягом тривалих проміжків часу, а також підвищення швидкості аналого-цифрового перетворення за рахунок компенсації динамічних похибок;
- розроблені практичні рекомендації щодо схемотехнічного проектування аналогових вузлів самокаліброваних АЦП з перерозподілом заряду.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в розробках холдингової компанії "Реле й автоматика" (м. Київ) при проєктуванні томографічних пристроїв, в яких застосовуються високоточні швидкодіючі самокалібровані АЦП, та використовуються в навчальному процесі на кафедрі обчислювальної

техніки Вінницького державного технічного університету. Підтвердженням впровадження результатів дисертаційної роботи є наявність відповідних актів.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачем: [1] запропоновано процедури калібрування ваг розрядів АЦП, що базуються на проведенні проміжкових калібрувань, по результатах яких обчислюються відхилення ваг розрядів; [2] – запропонована методика дослідження похибок самокаліброваних АЦП із ПЗ, зокрема, методичної похибки самокалібрування; [4] – розглянуті основні різновиди аналого-цифрових перетворювачів: виявлені основні переваги АЦП_{КК}; [6] – запропоновано різні варіанти формування допоміжного сигналу A_{δ} і, відповідно, досліджень залежності методичної похибки ε_f , а також всіх її складових від A_{δ} ; [7] розроблено алгоритм калібрування АЦП із ПЗ, який реалізований за схемою "згори-донизу" й дозволяє завдяки використанню ПІСЧ виконувати калібрування ваг розрядів виключно у цифровій формі.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародній конференції "Контроль і управління в складних системах" (Вінниця, ВДТУ, 1999 р.), на міжнародній науково-технічній конференції DAS-2000 (Румунія, Університет "Стефана чел.Маре", 2000 р.), на міжнародній науково-технічній конференції "Приборостроение 2000" (Симсиз, 2000 р.), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Вінницького державного технічного університету (Вінниця, ВДТУ, 1999-2001 р.).

Публікації. Результати роботи опубліковані в 5 статтях у наукових журналах, що входять до відповідного переліку ВАК України та 2 доповідях на міжнародних науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, чотирьох додатків, загальний обсяг дисертації 215 сторінок, із яких основний зміст викладений на 137 сторінках друкованого тексту, 76 рисунків на 43 сторінках, 5 таблиць. Список використаних джерел складається з 167 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* до дисертації обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету роботи. Охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, показано зв'язок поставлених задач із плановими науковими дослідженнями. Наведено коротку анотацію дисертаційної роботи.

У *першому розділі* проводиться огляд сучасного стану й аналізуються тенденції розвитку сучасних інтегральних конденсаторних ПФІ. Виявлено особливості структурної організації та принципи функціонування різних типів

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Біліченко Н.О., Захарченко С.М., Азаров О.Д. Самокалібрування надлишкових АЦП із перерозподілом заряду // Реєстрація, зберігання та обробка даних. – 2000. Т. 2. №1. С. 67-74.
2. Біліченко Н.О., Захарченко С.М., Азаров О.Д. Дослідження похибок самокаліброваних АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 1999. - №6. С. 59-63.
3. Біліченко Н.О. Дослідження динамічних характеристик АЦП з перерозподілом заряду // Реєстрація, зберігання та обробка даних. – 1999. - Т.1, №6. С. 78-83.
4. Захарченко С.М., Біліченко Н.О. Високоточні АЦП з перерозподілом заряду на основі ПІСЧ // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2000. - №4. – С. 65-67.
5. Біліченко Н.О. Особливості проєктування високоточних самокаліброваних АЦП з перерозподілом заряду на основі надлишкових позиційних систем числення // Реєстрація, зберігання та обробка даних. - 2000. - Т.2, №4. - С. 38-47.
6. Azarov A.D., Bilichenko N.A., Zakharchenko S.M. Improvement of the Characteristics of Analog-to-Digital Converters of Methods of Information Redundancy // Development and Application Systems. Conf. Session. – Suceava (Romania). - 2000. – P. 47-51.
7. Захарченко С.М., Біліченко Н.О., Азаров О.Д. Нові методи цифрового самокалібрування для АЦП з перерозподілом заряду // 36. праць міжнародної науково-технічної конференції «Приборостроение 2000». – Вінниця – Симеїз. – 2000. - С. 233-237.

АНОТАЦІЇ

Біліченко Наталія Олександрівна. Високоточні аналого-цифрові перетворювачі з перерозподілом заряду на основі інформаційної надлишковості. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування. – Вінницький державний технічний університет, Вінниця, 2001.

Дана робота є подальшим розвитком досліджень у галузі розробки аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) і присвячена вдосконаленню принципів побудови високоточних швидкодіючих АЦП з перерозподілом заряду. Показано, що характеристики АЦП з перерозподілом заряду можуть бути значно покращені за рахунок використання інформаційної надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ). Розроблено методи зменшення похибок аналого-цифрового перетворення в АЦП з перерозподілом заряду шляхом введення інформаційної надлишковості. Розроблені методи зменшення підсумкової методичної похибки, обумовленої процесом самокалібрування ваг розрядів. Проведені дослідження динамічних параметрів АЦП з перерозподілом заряду. Визначені умови, за якими тривалий грекспоненційний перехідний процес вироджується у швидкий одноекспоненційний з незмінною постійною часу на всіх кроках врівноваження. Запропоновано спосіб підвищення швидкості аналого-цифрового перетворення, який базується на значному скороченні довжини такту врівноваження на старших розрядах.

Ключові слова: аналого-цифрове перетворення, надлишкові позиційні системи числення, інформаційна надлишковість, ключовий елемент, самокалібрування, динамічні похибки, конденсаторна матриця, аналого-цифрові перетворювачі з перерозподілом заряду.

Bilichenko Nataliya Olexandrivna. High Accuracy Analog-to-Digital Converters with Charge Redistribution on the Basis of Informational Redundancy. – Manuscript.

Dissertation for Candidate of Technical Sciences degree field 05.13.05 – Elements and Devices of Computer Facilities and Systems of Control. – Vinnitsya State Technical University, Vinnitsya, 2001.

This work is further development in the field of analogue-to-digital converter (A/DC) and is devoted to the improvement of principles of arrangement of high accuracy high speed of response A/DC with charge redistribution. It is shown that the characteristics of A/DC with charge redistribution can be improved by means of use

of informational redundancy in the form of redundant positional counting systems (RPCS). The methods of reduction of errors of analogue-to-digital conversion in A/DC with charge redistribution by means of deviation of informational redundancy. Methods of decrease of summary methodical error, stipulated by the process of self-calibration of digit meaning are worked out. The research of dynamic parameters of A/DC with charge redistribution is carried out. The conditions, that degenerate continuous three-exponential transitional process into fast one-exponential process with invariable time constant in all steps of balancing, are determined. The way of increase of speed of analogue-to-digital conversion that is based on immense, reduction of length of balancing best on higher digit is offered.

Key words: analogue-to-digital conversion, redundant positional counting system, informational redundancy, key element, self-calibrating, dynamic errors, capacitor matrix, analogue-to-digital converter with charge redistribution.

Биличенко Наталья Александровна. Высокоточные аналого-цифровые преобразователи с перераспределением заряда на основе информационной избыточности. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. – Винницкий государственный технический университет, Винница, 2001.

Диссертация является дальнейшим развитием в области разработки аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и посвящена усовершенствованию принципов построения высокоточных быстродействующих АЦП с перераспределением заряда. В работе разработаны методы высокоточного аналого-цифрового преобразования по принципу перераспределения заряда на основании избыточных позиционных систем счисления, а также инженерные рекомендации по проектированию быстродействующих высоколинейных самокалиброванных АЦП с перераспределением заряда. Проведен анализ современных принципов построения АЦП с перераспределением заряда. Получили дальнейшее развитие методы уменьшения погрешностей аналого-цифрового преобразования в АЦП с перераспределением заряда путем введения информационной избыточности. Показано, что характеристики АЦП с перераспределением заряда могут быть значительно улучшены за счет использования информационной избыточности в виде избыточных позиционных систем счисления (ИПСС). Разработаны структуры и математические модели конденсаторных α -матриц, являющиеся основой для аналитического исследования АЦП с перераспределением заряда. Рассмотрены принципы построения АЦП для преобразования двуполярных входных сигналов с использованием одного или двух источников опорного напряжения. Проведены исследования динамических параметров АЦП с

перераспределением заряда. Определены условия, при которых конденсаторная матрица может рассматриваться как безинерционное устройство, не влияющее на динамические параметры АЦП. Получено аналитическое соотношение для оценки динамической погрешности калибровки. Исследованы погрешности преобразования, возникающие под воздействием различных факторов. Доказано, что при использовании ИПСС возможна автокомпенсация погрешностей дифференциальной нелинейности. Рассмотрены стратегии калибровки "снизу-вверх" и "сверху-вниз", а также на их основе разработаны процедуры цифровой самокалибровки весов разрядов АЦП с перераспределением заряда. Разработаны методы снижения суммарной методической погрешности, обусловленной процессом самокалибровки. Это позволяет уменьшить количество оборудования устройств в виде дополнительных разрядов, а также снизить требования к точности формирования аналоговых узлов и уменьшить длительность такта уравнивания. С помощью программ схемотехнического моделирования проведено исследование параметров АЦП с перераспределением заряда. Показано, что при использовании ИПСС повышение быстродействия за счет автокомпенсации динамических погрешностей достигается даже при значительных отклонениях весов разрядов, а также при достаточно неточной технологии изготовления аналоговых узлов. Предложен способ повышения быстродействия АЦП с перераспределением заряда, построенного на основе ИПСС, основанный на значительном сокращении продолжительности такта уравнивания на старших разрядах. Разработанные теоретические аспекты повышения точности и быстродействия АЦП с перераспределением заряда путем введения информационной избыточности в виде ИПСС нашли свое отражение в рекомендациях по проектированию аналоговых узлов АЦП на перспективной элементной базе.

Ключевые слова: аналого-цифровое преобразование, избыточные позиционные системы счисления, информационная избыточность, ключевой элемент, самокалибровка, динамические погрешности, конденсаторная матрица, аналого-цифровые преобразователи с перераспределением заряда.

Підписано до друку 20.04.2001 Формат 29,7x42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. №2001-069
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
М. Вінниця. Хмельницьке шосе, 93. Тел.: 44-01-59