

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Вінницький національний технічний університет

ДУДНИК ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ

УДК 681.335

**БАГАТОРІЗЯДНІ ВИСОКОЛІНІЙНІ АЦП СЛІДКУВАЛЬНОГО ТИПУ З
ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України,
Азаров Олексій Дмитрович,
Вінницький національний технічний університет,
директор інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Багацький Валентин Олексійович,
Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, м.Київ,
провідний науковий співробітник відділу перетворювачів форми інформації;

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

Захист відбудеться «25» жовтня 2013 р. о 12-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий «23» вересня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі утворюють клас перетворювачів форми інформації (ПФІ), що широко застосовуються в різних галузях людської діяльності. Параметри і характеристики таких перетворювачів залежать від галузі використання і складності задач, що розв'язуються.

АЦП слідкувального типу відносяться до компенсаційних пристроїв і призначені для кодування аналогових сигналів, що змінюються повільно. Водночас відносно нешвидка реакція такого типу АЦП на стрибкоподібні змінення вхідного сигналу роблять їх непридатними для багатьох галузей застосування, зокрема, у багатоканальних системах перетворення, реєстрування й опрацювання аналогових величин. Проте, варто відзначити, що цей тип АЦП має й свої переваги – код на виході такого перетворювача доступний на кожному такті перетворення. Ця властивість особливо важлива для перетворювачів сельсинкод та резольвер-код, саме в яких, переважним чином, і застосовуються АЦП слідкувального типу. Іншою цінною характеристикою таких АЦП є те, що швидкі перехідні процеси на вході перетворювача викликають зміну вихідного коду лише на одиницю молодшого розряду. Це досить важливо при наявності шумів у системі.

У теперішній час виробництво і застосування багаторозрядних АЦП слідкувального типу значно скоротилось. Це пояснюється складністю лінеаризації стрибкоподібної характеристики перетворення (ХП) вказаного типу АЦП, побудованого на неточних елементах, із зростанням їх розрядності.

Основними джерелами статичних похибок багаторозрядних АЦП слідкувального типу є відхилення параметрів аналогових елементів від своїх номінальних значень (головним чином параметрів ЦАП). Це пов'язано з фундаментальними обмеженнями на точність формування параметрів аналогових вузлів, недосконалістю технології виготовлення та впливом природних чинників у процесі експлуатації, зокрема: змінення температури навколишнього середовища, старіння елементів, впливом радіації тощо.

Традиційно в АЦП різноманітних типів, зокрема, порозрядного наближення, послідовно-паралельних АЦП, для підвищення точності, у тому числі лінійності ХП, використовують різноманітні методи калібрування та коригування. Водночас перенесення вказаних підходів на АЦП слідкувального типу, побудованих на неточних елементах, зокрема, неточному ЦАП, є недоцільним. Це пояснюється тим, що в АЦП слідкувального типу на основі двійкової системи числення (СЧ) процедуру коригування похибок ХП необхідно проводити на кожному такті перетворення, а це значно знижує швидкість перетворення.

Водночас варто відзначити, що всі багаторозрядні (14 і більше двійкових розрядів) ПФІ без вживання спеціальних заходів, по суті, є неточними, оскільки їхня кінцева похибка перетворення не відповідає заявленій роздільній здатності. Це призвело до поступового витіснення двійкових АЦП слідкувального типу пристроями з кращими параметрами (АЦП послідовного наближення, сигма-дельта АЦП).

Разом з тим, побудова багаторозрядних АЦП слідкувального типу на основі неточного ЦАП із ваговою надлишковістю (ВН) дозволяє значно підвищити точність такого перетворювача за рахунок використання спрощеної процедури самокалібрування.

При цьому, комплексний підхід до розв'язання задачі підвищення точності такого типу АЦП передбачає реалізацію ПФІ на основі систем числення з ваговою надлишковістю (СЧВН), а також використання технологічних і схемотехнічних методів підвищення точносних характеристик аналогових вузлів. Це пов'язано з тим, що в АЦП компенсаційного типу існують похибки, які шляхом використання тільки самокалібрування усунути або зменшити не вдається.

Водночас задача покращення точносних характеристик багаторозрядних АЦП слідкувального типу на базі двійкових ЦАП через складність процедур самокалібрування характеристики перетворення на теперішній час не вирішена та у науково-технічній

літературі практично не розглянута, а тому тема дисертаційної роботи, присвячена підвищенню точності багаторозрядних АЦП слідкувального типу на основі застосування ЦАП із ваговою надлишковістю та процедур самокалібрування, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких наведено у цій дисертаційній роботі, проводилися здобувачем протягом 2010-2013 років згідно з науковим напрямком кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету, а також як виконавцем науково-дослідних програм «Теорія побудови пристроїв та елементної бази прискореного високоточного аналого-цифрового перетворення» (номер державної реєстрації 0108U000664) та «Методи, пристрої та елементна база високопродуктивного, відмовостійкого аналого-цифрового перетворення» (номер державної реєстрації 0111U001114).

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є підвищення точності багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на неточних аналогових вузлах, що досягається методами калібрування характеристики перетворення з використанням неточного ЦАП на основі систем числення з ваговою надлишковістю. Це дозволяє підвищувати та підтримувати точність перетворення в межах норми, незважаючи на первинні похибки елементної бази та похибки, що виникають внаслідок дії природних чинників та старіння.

Для досягнення поставленої мети слід розв'язати такі завдання:

1. Запропонувати і проаналізувати моделі статичних похибок каналів АЦ- і ЦА-перетворення на базі слідкувальних АЦП, побудованих на неточних аналогових вузлах, а також визначити їх кориговані й некориговані складові.

2. Запропонувати і проаналізувати методи підвищення лінійності характеристики перетворення багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на низькоточній елементній базі, шляхом самокалібрування.

3. Визначити критерій та оцінити ефективність запропонованих методів підвищення лінійності характеристики перетворення багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, побудованих на низькоточній елементній базі.

4. Проаналізувати вимоги щодо статичних і динамічних характеристик аналогових вузлів, що використовуються для побудови багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.

5. Надати рекомендації щодо практичної реалізації аналогових і цифрових вузлів багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються, а саме: підсилювачів, буферів, перетворювачів кодів та інших, а також рекомендації щодо практичної реалізації таких АЦП.

6. Запропонувати рекомендації користувачу щодо використання програмного забезпечення для моделювання високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.

7. Надати рекомендації щодо вибору засобів для дослідження метрологічних характеристик перетворювачів форми інформації, зокрема АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення високоточного аналого-цифрового перетворення в АЦП слідкувального типу, побудованих на неточних аналогових вузлах, шляхом самокалібрування.

Предметом дослідження є статичні похибки, що виникають у багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на низькоточних аналогових вузлах, до і після застосування процедур самокалібрування.

Методи дослідження базуються на використанні: теорії багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю для аналізу можливості покращення точносних характеристик АЦП слідкувального типу шляхом уведення процедури цифрового самокалібрування; теорії похибок, а також теорії ймовірності та математичної статистики для розроблення моделей статичних похибок перетворення до і після самокалібрування; комп'ютерного моделювання для аналізу процесу слідкувального АЦ-перетворення з ваговою надлишковістю з

використанням процедур самокалібрування ваг розрядів та оцінювання похибок перетворення в процесі експлуатації, а також для перевірки отриманих теоретичних положень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше запропоновано метод підвищення лінійності АЦП слідкувального типу, побудованих на низькоточних ЦАП із ваговою надлишковістю, що базується на самокалібруванні із використанням таблиці перетворення «робочий код – цифровий еквівалент»;

- вперше запропоновано метод лінеаризації характеристики перетворення АЦП слідкувального типу, побудованих на низькоточних ЦАП із ваговою надлишковістю, що базується на використанні межових кодових комбінацій та відрізняється від інших спрощеними вимогами до цифрового обладнання;

- вперше оцінено ефективність запропонованих методів підвищення лінійності багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю за комплексним критерієм зменшення похибки перетворення та збільшення витрат обладнання. Це дає можливість досягти мінімізації додаткових витрат обладнання за умови забезпечення заданої похибки перетворення;

- подальшого розвитку отримали моделі статичних похибок каналів АЦ- і ЦА-перетворення до і після самокалібрування, що дозволило визначити складові похибок вказаних каналів АЦП слідкувального типу і вичленити кориговані, частково кориговані і некориговані похибки.

Достовірність отриманих результатів підтверджується збігом результатів, отриманих аналітичними методами, з результатами комп'ютерного моделювання й експериментальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що отримані теоретичні положення дозволили:

- запропонувати структурні та принципові схеми високолінійних багаторозрядних (роздільна здатність – $14\div 16$ двійкових розрядів) АЦП слідкувального типу, що самокалібруються, із застосуванням низькоточних ЦАП із ваговою надлишковістю (інструментальна похибка $\leq 3\div 5$ %);

- запропонувати рекомендації щодо практичної реалізації аналогових вузлів для високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на базі двотактних структур, а саме: підсилювачів, буферів та інших;

- запропонувати рекомендації щодо практичної реалізації цифрових вузлів для високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються;

- запропонувати рекомендації користувачу щодо використання програмного забезпечення для моделювання високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу;

- запропонувати рекомендації щодо дослідження метрологічних характеристик перетворювачів форми інформації, зокрема АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються, за допомогою спеціалізованого стенду контрольно-вимірювальних пристроїв.

Результати дослідження впроваджено у Інституті електроніки та зв'язку Української академії наук та у Вінницькому національному технічному університеті МОНУ, а саме:

- у Інституті електроніки та зв'язку УАН НП впроваджено структурно-функціональну схему АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібрується, для перетворення даних від низькочастотних сенсорів фізичних величин; метод самокалібрування АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що дозволяє забезпечувати високу лінійність перетворення. Акт впровадження затверджено 20.05.2013;

- у Вінницькому національному технічному університеті при виконанні курсових та дипломних робіт для студентів спеціальності 6.091501 з дисциплін «Комп'ютерна електроніка», «Лінійні інтегральні схеми» та при вивченні спецкурсу «Аналого-цифрова

техніка» впроваджено методи підвищення точності АЦП слідкувального типу, побудованих на низькоточних ЦАП із ваговою надлишковістю; структурні та принципові схеми багаторозрядних (роздільна здатність – 14÷16 двійкових розрядів) АЦП слідкувального типу, що самокалібруються, із застосуванням низькоточних ЦАП із ваговою надлишковістю. Акт впровадження затверджено 26.05.2013.

Особистий внесок здобувача в роботах, виконаних у співавторстві: запропоновано схему проміжного каскаду для збільшення коефіцієнта передачі [18], запропоновано схему комутатора струмів [19], запропоновано схему вихідного каскаду для підвищення швидкодії [20-23, 25], запропоновано схему вхідного каскаду для підвищення точності [24], запропоновано схему завдання режиму по постійному струму вхідного каскаду для підвищення коефіцієнту підсилення [26], запропоновано схему проміжного каскаду для підвищення коефіцієнту підсилення [27], запропоновано використання блоку керування для поєднання процедури самокалібрування та визначення цифрових еквівалентів поточного базису [33], запропоновано використання блоку керування для поєднання процедури самокалібрування та визначення цифрових еквівалентів поточного базису [34], запропоновано схему завдання режиму по постійному струму вхідного каскаду для підвищення коефіцієнту підсилення [35-37, 28], запропоновано використовувати блок пам'яті для змінення характеру генерування аналогового сигналу [29], запропоновано використовувати блок пам'яті для змінення характеру генерування аналогового сигналу [30], запропоновано методи структурно-функціональної організації генераторів компенсувального сигналу на базі неточних ЦАП із ваговою надлишковістю із застосуванням цифрових еквівалентів компенсуючого сигналу та із застосуванням межових кодових комбінацій [2, 31, 9], запропоновано схему самокалібрування для підвищення точності роботи [32], запропоновано модель некоригованих складових похибок каналу АЦ-перетворення після проведення процедури самокалібрування [3], запропоновано метод перетворення «вхідна аналогова величина – компенсуюча аналогова величина – робочий код – ЦЕ» [8, 13], запропоновано метод лінеаризації стрибкоподібної характеристики перетворення АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю [4, 11], запропоновано рекомендації щодо побудови ЦАП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються, побудованих на неточних елементах [7, 10, 12, 14], запропоновано моделі статичних похибок генераторів компенсувального сигналу, побудованих на неточному ЦАП із ваговою надлишковістю, для багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю до та після самокалібрування [6], запропоновано моделі статичних похибок багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на неточному ЦАП із ваговою надлишковістю без та із застосуванням самокалібрування [5, 15], запропоновані рекомендації щодо практичної реалізації аналогових вузлів багаторозрядних АЦП, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю [1], запропоновано та реалізовано алгоритм обчислення похибок АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю [16], запропоновано та реалізовано алгоритм калібрування АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю [17].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи було апробовано на науково-технічних конференціях:

- «Відмовостійкі високолінійні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються» на XXXVIII науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, 2009 р.;

- «Перетворювачі форми інформації, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю» на IV міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіо-електроніки, телекомунікацій та приладобудування», 2009 р.

- «Перетворення «цифровий еквівалент – робочий код – аналог» в ЦАП, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю» на міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія», 2010 р.;

- «Статичні похибки багаторозрядних ПФІ з ваговою надлишковістю, що самокалібруються» на XXXIX науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, 2010 р.;

- «Методи самокалібрування багаторозрядних АЦП із ваговою надлишковістю» на XXXIX науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, 2010 р.

- «Лінеаризація характеристики перетворення АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю» на третій міжнародній науково-практичній конференції «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації», 2011 р.;

- «Compensating Signal Generators for a Self-Calibrating Tracking ADC» на 11th International Conference on Development and Application Systems, 2012 р.;

- «Високолінійні багаторозрядні АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю» на ХІІ регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств, 2012 р.;

- «Multibit self-calibrating tracking ADC with weight redundancy» на 13th Kharkiv young scientists conference on radiophysics, electronics, photonics and biophysics, 2012 р.;

- «Моделі похибок АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю» на ХІІІ регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств, 2013 р.

Публікації. За підсумками наукових досліджень опубліковано 37 наукових праць, включаючи 7 статей у наукових журналах, що входять до переліку періодичних фахових видань, з них 2 статті входять до наукометричної бази РІНЦ, 1 стаття у науковому журналі, що входить до наукометричної бази Scopus, 20 патентів на корисну модель, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, 7 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, що містять 73 рисунки і 24 таблиці, висновків, списку використаних джерел (186 найменувань) і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 176 сторінок. Основний текст складає 115 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено зв'язок із науково-дослідними програмами, планами та темами, сформульовано мету та завдання дослідження, окреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, конкретну участь автора, наведено інформацію про впровадження результатів роботи, їх апробацію та публікації.

У **першому розділі** розглянуто основні особливості АЦП слідкувального типу та існуючі підходи щодо покращення точносних характеристик вказаних ПФІ. Так, розглянуто та проаналізовано узагальнену структурну схему АЦП слідкувального типу (рис. 1). Тут СП – схема порівняння, БК – блок керування, ГКМС – генератор компенсувального сигналу, u_k – сигнал з виходу СП, $A_{вх}$ – вхідний аналоговий сигнал, $N_{вих}$ – вихідний код. Показано, що в АЦП компенсаційного типу точність та швидкість встановлення компенсувального аналогового сигналу A_k у значній мірі впливають на точність та швидкість роботи АЦП.

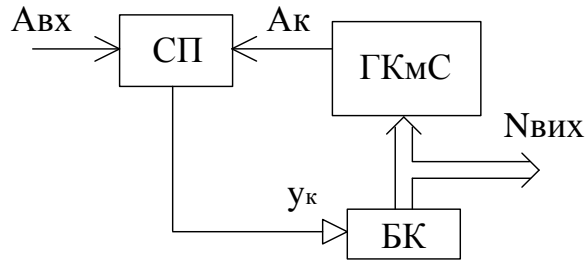


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема АЦП компенсаційного типу

Показано, що до складу ГКМС, у найпростішому випадку, входить реверсивний лічильник та ЦАП на основі двійкової СЧ. Відхилення ваг розрядів неточного ЦАП від їх номінальних значень призводять до порушення лінійності характеристики перетворення ГКМС, що, зокрема, проявляється у появі на ній стрибків компенсувального аналогового сигналу.

Розглянуто основні існуючі шляхи зменшення похибок компенсувального сигналу багаторозрядних АЦП слідкувального типу. Показано, що перспективними підходами щодо генерування компенсувального сигналу є такі, що базуються на використанні ЦАП з ВН (α -ЦАП) як коригуючого, так і основного у схемі ГКМС та процедури самокалібрування.

У **другому розділі** проаналізовано особливості організації слідкувального висколінійного аналогово-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю.

Запропоновані методи підвищення лінійності характеристики перетворення АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю на основі самокалібрування та застосування: межових кодових комбінацій (КК); таблиці перетворення «робочий код-цифровий еквівалент».

Блок-схему алгоритму формування таблиці перетворення «робочий код-цифровий еквівалент» ($K_{BX} \rightarrow N_P$) наведено на рис. 2. Тут K_{BX} – вхідний код у двійковій СЧ, N_P – код у СЧВН.

Алгоритм пошуку межових КК зображено на рис. 3. Тут N_i' та N_i'' – коди, що задаються межову КК.

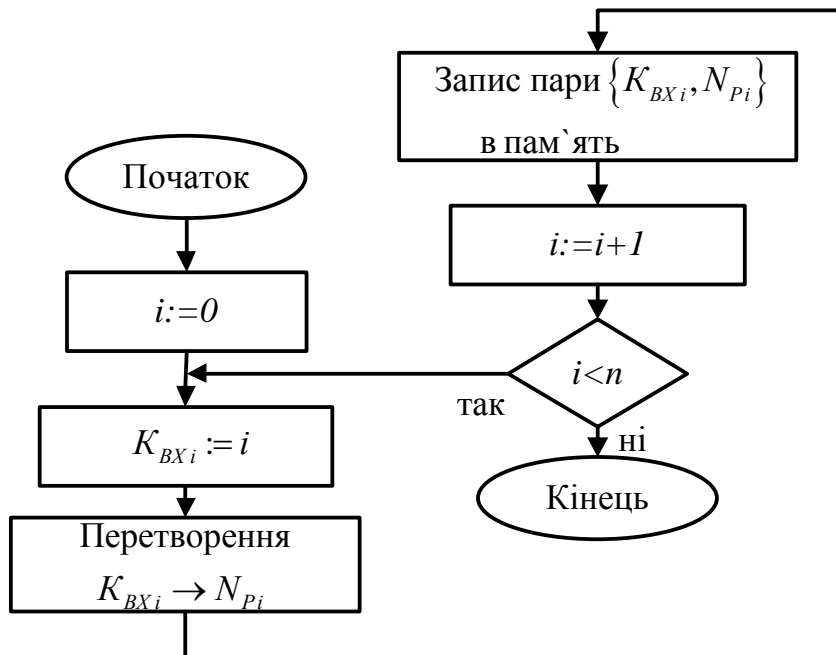


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму формування таблиці перетворення $K_{BX} \rightarrow N_P$

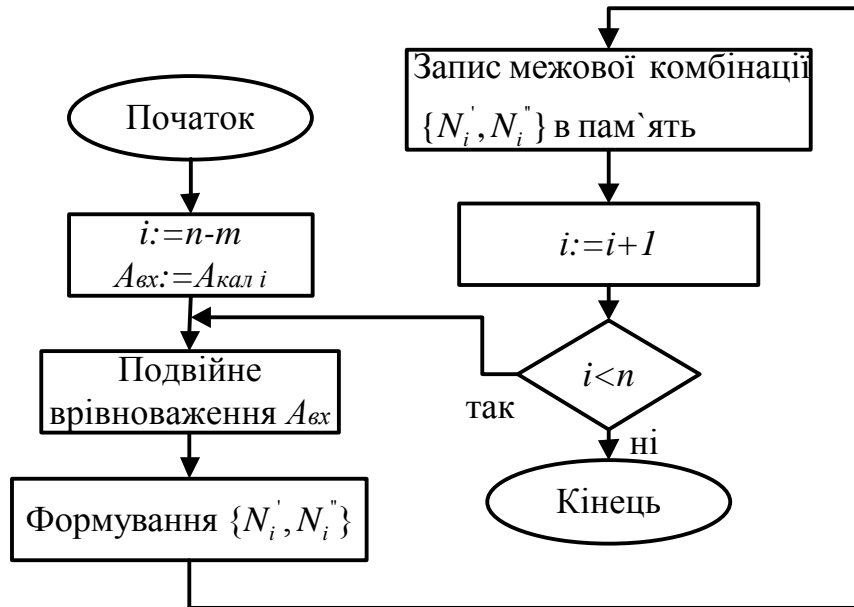


Рисунок 3 – Алгоритм пошуку межових КК

На рис. 4 наведено графічне зображення процедури лінеаризації («зшивання») стрибкоподібної ХП 11-ти розрядного ЦАП із ВН на основі СЧВН із $\alpha = 1,618$ зі значними відхиленнями ваг розрядів від їх номінальних значень на основі межових КК.

Показано, що застосування запропонованих методів дозволяє покращувати точнісні характеристики АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, побудованого на неточних елементах, без визначення коригувальних поправок та відповідної втрати швидкодії.

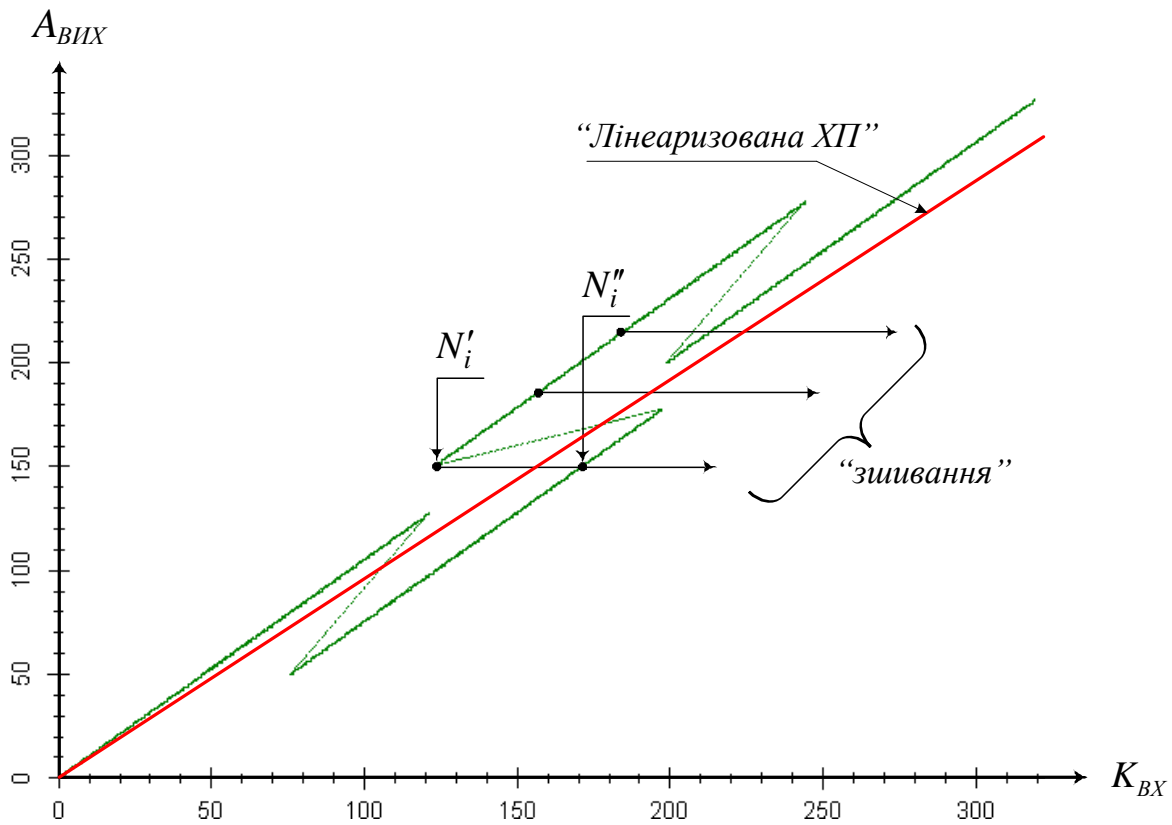


Рисунок 4 – Графічне зображення лінеаризації стрибкоподібної ХП неточного ЦАП із ВН

Проаналізовано похибки генераторів компенсувального сигналу на базі ЦАП із ваговою надлишковістю. Складено математичні моделі складових статичних похибок генераторів компенсувального сигналу, побудованих на неточному ЦАП із ваговою надлишковістю, для багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю до та після самокалібрування.

Проаналізовано та складено математичні моделі статичних похибок багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю до та після самокалібрування, що дозволило оцінити абсолютну похибку таких перетворювачів при використанні запропонованих методів, а також оцінити їх ефективність (рис. 5). Тут $\Delta_{ДР}$ – похибка дрейфу нуля СП, η' – зона нечутливості порогового елемента (ПЕ), $\Delta\eta'$ – похибка зони нечутливості ПЕ, α -ЦАП – ЦАП із ВН, α -РЛЧ – лічильник у СЧВН, $\delta_{МСК}$ – приведені значення методичної похибки визначення ваг розрядів α -ЦАП шляхом самокалібрування, $\delta_{\alpha МКК}$ – приведені значення скоригованої похибки, що виникає на межі сусідніх кодових комбінацій α -ЦАП, Δ_0 – похибка зміщення нуля.

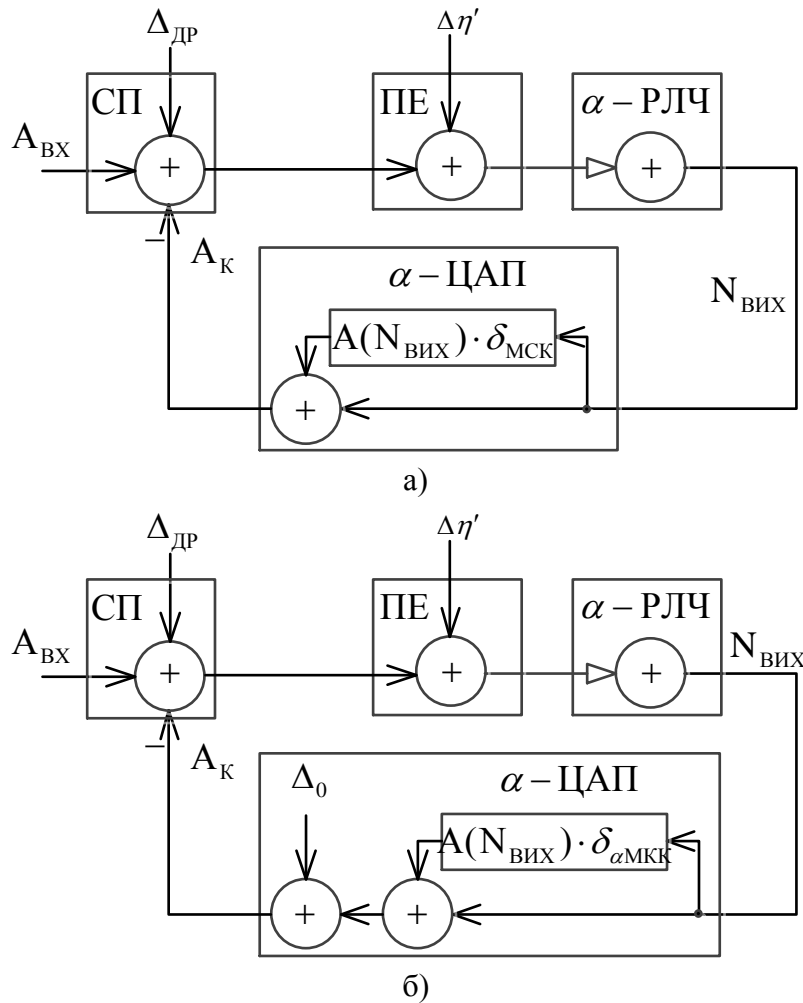


Рисунок 5 – Структурні моделі складових похибки АЦП слідкувального типу з ВН, що реалізує метод підвищення лінійності ХП: а) на основі таблиці перетворення «цифровий еквівалент-робочий код»; б) на основі межових КК

У **третьому розділі** проаналізовано можливості побудови генераторів компенсувального сигналу на базі неточних ЦАП із ваговою надлишковістю для високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються. Запропоновано структурні схеми генераторів компенсувального сигналу для високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.

Проаналізовано можливості побудови, а також запропоновано і проаналізовано структурні схеми високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу, що використовують запропоновані методи підвищення лінійності характеристики перетворення (рис. 6). Тут БПП та БОП – блок постійної та оперативної пам'яті відповідно, АК – аналоговий комутатор, ГКС – генератор калібрувального сигналу, РПН – регістр порозрядного наближення, ЦОП – цифровий обчислювальний пристрій.

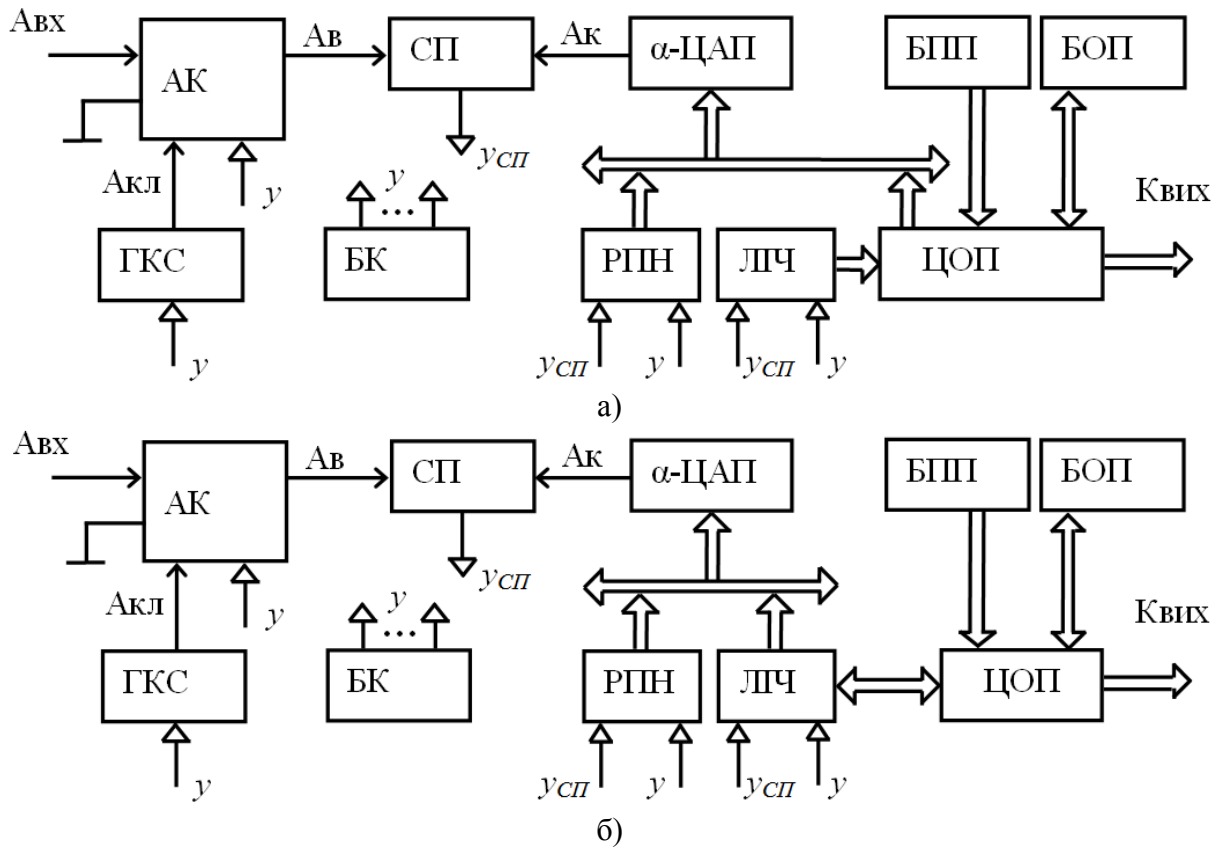


Рисунок 6 – АЦП слідкувального типу з ВН, що використовують запропоновані методи підвищення лінійності ХП на основі:

а) таблиці перетворення $K_{BX} \rightarrow N_P$; б) межових КК

Запропоновано комплексний критерій для оцінювання ефективності запропонованих методів з урахуванням витрат обладнання:

$$E = \frac{K_A}{\frac{\ln 2}{\ln \alpha} + 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{2^{n-1} \cdot (1 + \frac{\ln 2}{\ln \alpha})}{\frac{\ln 2}{\ln \alpha} \cdot (n - m)}}, \quad (1)$$

де K_A – коефіцієнт зменшення абсолютної похибки, α – основа СЧВН, m – кількість умовно точних розрядів ЦАП із ВН, n – загальна кількість розрядів ЦАП із ВН.

При цьому, якщо K_A будемо рахувати як відношення абсолютної похибки перетворення АЦП слідкувального типу без та із застосуванням запропонованих методів, то для методу підвищення лінійності ХП на основі таблиці перетворення $K_{BX} \rightarrow N_P$ маємо:

$$K_A = \frac{\Delta A(N_{ВНХ})}{\Delta A'(N_{ВНХ})} = \frac{A_{BX} \cdot \left[1 - \frac{1}{1 + \delta_Q} \right] + \frac{\Delta_{ДР} - \Delta_0 \pm (\eta' + \Delta \eta')}{1 + \delta_Q}}{A_{BX} \cdot \left[1 - \frac{1}{1 + \delta_{МСК}} \right] + \frac{\Delta_{ДР} \pm (\eta' + \Delta \eta')}{1 + \delta_{МСК}}} \approx$$

$$\approx \frac{1 - \frac{1}{1 + \delta_Q}}{1 - \frac{1}{1 + \delta_{МКК}}}, \quad (2)$$

де δ_Q – допуск на формування ваг розрядів α -ЦАП.

Для методу підвищення лінійності ХП на основі межових КК:

$$\begin{aligned} K_A &= \frac{\Delta A(N_{ВИХ})}{\Delta A'(N_{ВИХ})} = \\ &= \frac{A_{ВХ} \cdot \left[1 - \frac{1}{1 + \delta_Q} \right] + \frac{\Delta_{ДР} - \Delta_0 \pm (\eta' + \Delta\eta')}{1 + \delta_Q}}{A_{ВХ} \cdot \left[1 - \frac{1}{1 + \delta_{\alpha \text{ МКК}}} \right] + \frac{\Delta_{ДР} - \Delta_0 \pm (\eta' + \Delta\eta')}{1 + \delta_{\alpha \text{ МКК}}}} \approx \\ &\approx \frac{1 - \frac{1}{1 + \delta_Q}}{1 - \frac{1}{1 + \delta_{\alpha \text{ МКК}}}}. \end{aligned} \quad (3)$$

У **четвертому розділі** проаналізовано статичні і динамічні характеристики аналогових вузлів високолінійних багаторозрядних АЦП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються.

Показано, що підсилювачі постійного струму (ППС) та буфери є важливою частиною вказаних ПФІ та впливають на точності характеристики перетворювачів. Запропоновано використовувати ППС (рис. 7), а також буферні пристрої (рис. 8), що побудовані за двотактними симетричними структурами. Тут $I_{вх}$ та $I_{вих}$ – вхідний та вихідний струми відповідно, R_H – резистор навантаження, $U_{вх}$ та $U_{вих}$ – вхідна та вихідна напруги відповідно.

Розглянута можливість проектування ЦАП і АЦП із ВН з покращеними статичними і динамічними характеристиками на базі традиційних двійкових ЦАП, що не вимагає створення оригінальної елементної бази.

Проаналізовано методи структурно-функціональної організації та підходи щодо проектування цифрової частини високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.

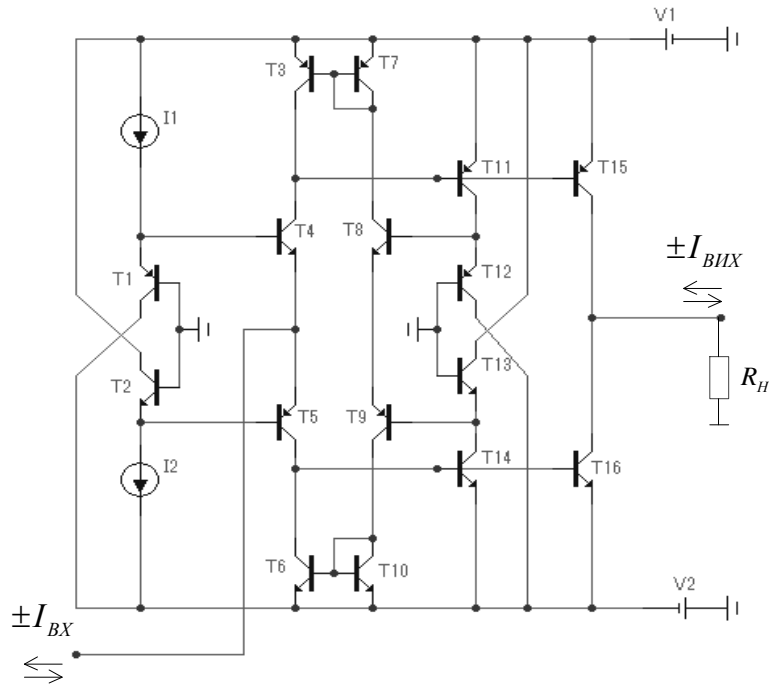


Рисунок 7 – Двотактний симетричний ППС

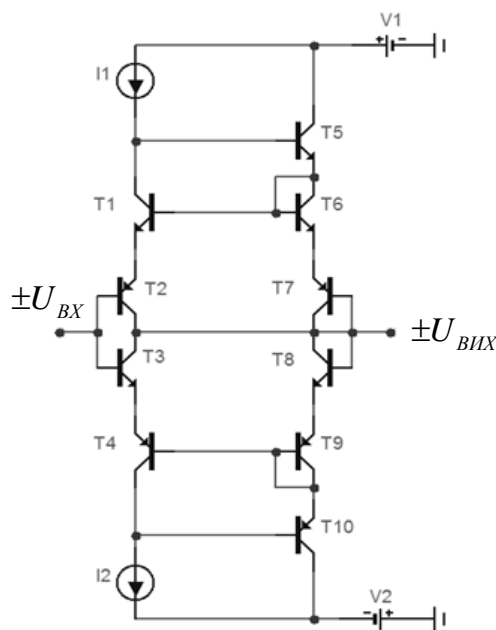


Рисунок 8 – Буферний пристрій

Показано, що одним із перспективних підходів є використання програмованих логічних схем. При цьому функціональна схема цифрової частини високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ВН на базі ПЛІС може бути організована так, як це показано на рис. 9. Тут Ка-ЦАП – контролер α -ЦАП, КГКЛС – контролер генератора калібрувального сигналу, КСП – контролер схеми порівняння, КАК – контролер аналогового комутатора.

Розроблено програмне забезпечення для моделювання високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються, що дозволяє оцінити характеристики розроблених перетворювачів, зокрема ІНД, ДНЛ та розподіли цих параметрів по діапазону перетворення.

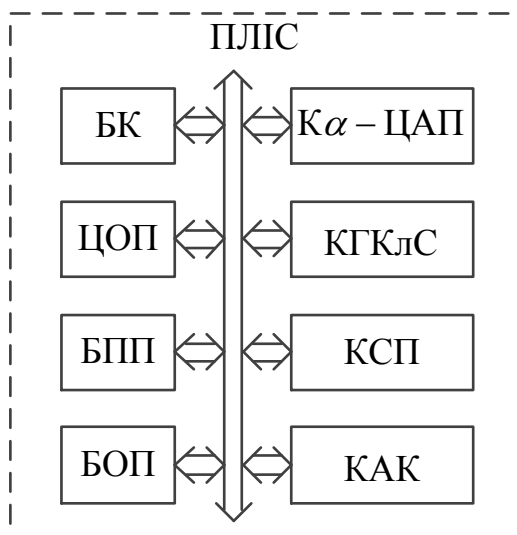


Рисунок 9 – Функціональна схема цифрової частини високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ВН на базі ПЛІС

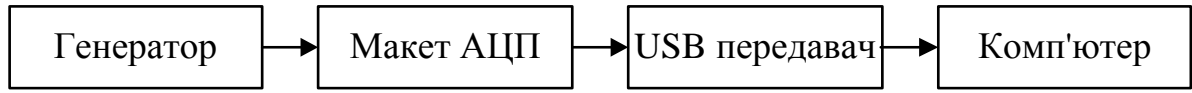
На основі тестового стенду проведено оцінку характеристик макетного зразка багаторозрядного АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібрується (табл.1).

Таблиця 1 – Характеристики виготовленого макету слідкувального АЦП із ВН, що самокалібрується

Параметр	Значення
Діапазон вхідної напруги (В)	$\pm 5,0$
Розрядність вихідного двійкового коду (біт)	12
Похибка перетворення (МЗР)	< 2
Частота перетворення (кГц)	25
Час калібрування (сек)	5

Доведено, що застосування запропонованих підходів дає змогу забезпечити похибку перетворення такого пристрою на рівні молодшого розряду.

Структурна схема та фото тестового стенду наведені на рис. 10. Аналогова частина макету багаторозрядного АЦП слідкувального типу з ВН, що самокалібруються, наведена на рис. 11.



а)



АЦП

б)

Рисунок 10 – Тестовий стенд АЦП слідкувального типу із ВН, що самокалібрється: а) структурна схема; б) фото

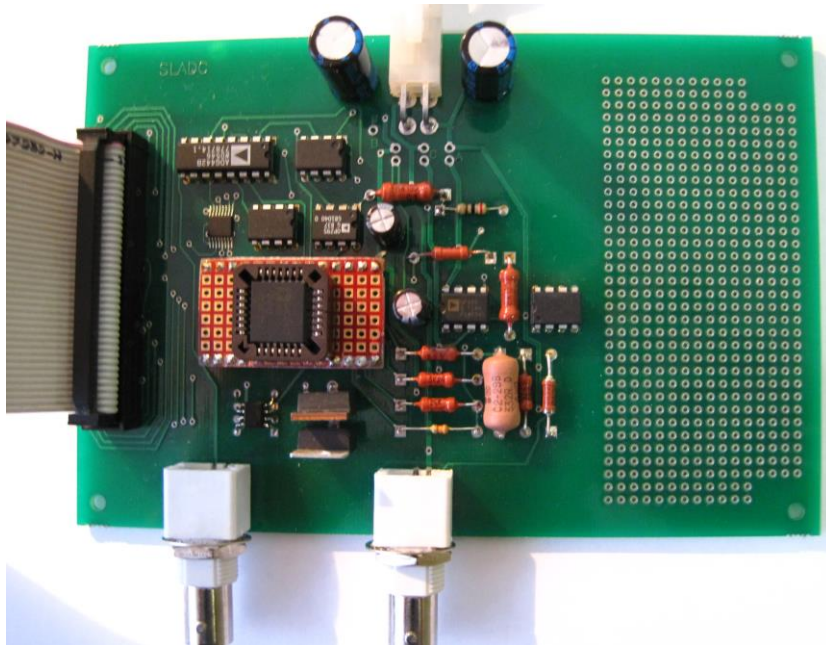


Рисунок 11 – Аналогова частина макету багаторозрядного АЦП слідкувального типу з ВН, що самокалібрється

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

Основні результати досліджень такі:

1. Запропоновано методи підвищення лінійності характеристики перетворення АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю шляхом самокалібрування на базі: межових кодових комбінацій; таблиці перетворення «робочий код-цифровий еквівалент». Показано, що застосування запропонованих методів дозволяє покращувати точносні характеристики АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, побудованого на неточних елементах, без визначення коригувальних поправок та відповідної втрати швидкодії.

2. Проаналізовано та складено математичні моделі складових статичних похибок генераторів компенсувального сигналу, а також багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на неточному ЦАП із ваговою надлишковістю, до та після самокалібрування, що дозволило оцінити абсолютну похибку компенсувального аналогового сигналу при використанні запропонованих методів та як наслідок оцінити їх ефективність.

3. Запропоновано комплексний критерій ефективності розроблених методів з урахуванням витрат обладнання, що дозволило довести, що застосування запропонованих методів дає змогу істотно (на 1-2 порядки) зменшити похибку генерування компенсувального сигналу і таким чином підвищити точність всього АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, а також навести порівняльні оцінки запропонованих методів.

4. Проаналізовано можливості побудови генераторів компенсувального сигналу, а також багаторозрядних АЦП слідкувального типу на базі неточних ЦАП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються. Запропоновано структурні схеми високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються, а також структурні схеми генераторів компенсувального сигналу для таких перетворювачів. Розглянуто підходи щодо структурно-алгоритмічної організації прямого і зворотного перетворення «робочий код – ЦЕ» для АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються. Показано, що реалізація вказаних перетворень здійснюється з використанням відомих обчислювальних вузлів, що працюють у двійковій системі числення. Це не вимагає побудови оригінальної елементної бази і дозволяє застосовувати серійні цифрові мікросхеми.

5. Проаналізовано статичні і динамічні характеристики аналогових вузлів високолінійних багаторозрядних АЦП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються. Запропоновано математичні вирази для оцінювання параметрів вказаних аналогових вузлів. Надані рекомендації щодо практичної реалізації аналогових та цифрових вузлів високолінійних багаторозрядних АЦП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються. Запропоновано використовувати підсилювачі постійного струму та буферні пристрої, що побудовані за двотактними симетричними структурами, оскільки вони володіють кращими характеристиками. Показано, що одним із перспективних підходів є використання програмованих логічних схем.

6. Досліджено характеристики макетного зразка багаторозрядного АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібрується. Доведено, що застосування запропонованих підходів дає змогу забезпечити похибку перетворення такого пристрою на рівні ваги молодшого розряду.

7. Розроблено програмне забезпечення для моделювання високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються, що дозволяє оцінити характеристики розроблених перетворювачів та визначити їх оптимальні параметри.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

За темою досліджень опубліковано 37 наукових праць, основними з них є:

1. Static and dynamic characteristics of the self-calibrating multibit ADC analog components [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, М. Дук, Д. Порубов // Proc. SPIE 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, January 11, 2013. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2019737>
2. Дудник О.В. Генератори компенсувального сигналу для АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються / О.Д. Азаров, О.В. Дудник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №6. – С.202–210. – ISSN 1997-9266.
3. Дудник О.В. Кориговані і некориговані похибки багаторозрядних ПФІ, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009.– №2. – С.99–110. – ISSN: 1681-7893.
4. Дудник О.В. Метод лінеаризації характеристики перетворення АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, Д.О. Кириленко // Проблеми інформатизації та управління. – 2011. – №1. – С.5–15. – ISSN: 2073-4751.
5. Дудник О.В. Статичні похибки АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник // Проблеми інформатизації та управління. – 2012. – №3. – С.7–13. – ISSN: 2073-4751.
6. Дудник О.В. Статичні похибки генераторів компенсувального сигналу для АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Дудник // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012.– №1 (23). – С.5–15. – ISSN: 1681-7893.
7. Методи цифрового калібрування відмовостійких ЦАП із ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник, А.В. Росощук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – №1. – С.4–14. – ISSN: 1999-9941.
8. Пряме та зворотне перетворення «робочий код – цифровий еквівалент» в АЦП і ЦАП, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник, О.Г. Муращенко // Проблеми інформатизації та управління. – 2010. – №2. – С.6–13. – ISSN: 2073-4751.
9. Dudnyk O.V. Compensating Signal Generators for a Self-Calibrating Tracking ADC [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, О. В. Дудник // 11th International Conference on Development and Application Systems, May 15-17, 2012 - Suceava, Romania – p.1. – Режим доступу: <http://www.dasconference.ro/cd2012/data/papers/C10.pdf>
10. Дудник О.В. Відмовостійкі високолінійні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, що самокалібруються [Електронний ресурс] / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник // XXXVIII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, 17–20 березня 2009р.: тези доповідей. – В.: ВНТУ, 2009. – Режим доступу: <http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2009/initki/txt/dudnyk.pdf>.
11. Дудник О.В. Лінеаризація характеристики перетворення АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Дудник // Третя міжнародна науково-практична конференція «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації», 20-22 квітня 2011. – В.: ВНТУ, 2011. – С.198-200.
12. Дудник О.В. Методи самокалібрування багаторозрядних АЦП із ваговою надлишковістю [Електронний ресурс] / О.Д. Азаров, О.В. Дудник // XXXIX науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, 09-12 березня 2010. – В.: ВНТУ, 2010. – Режим доступу: <http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2010/initki/txt/dydnuk.pdf>.

13. Дудник О.В. Перетворення «цифровий еквівалент – робочий код – аналог» в ЦАП, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, А.О. Росошук // Міжнародна науково-технічна конференція Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 19-21 травня 2009. – В.: ВНТУ, 2010. – С. 356-358.
14. Дудник О.В. Перетворювачі форми інформації, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник // IV міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні проблеми радіо-електроніки, телекомунікацій та приладобудування" СПРТП-2009, 8-10 жовтня 2009 року. – В.: ВНТУ, 2009. – С.31.
15. Дудник О.В. Статичні похибки багаторозрядних ПФІ з ваговою надлишковістю, що самокалібруються [Електронний ресурс] / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, І.К. Ходжанязов // XXXIX науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету,, 09-12 березня 2010. – В.: ВНТУ, 2010. – Режим доступу: http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2010/initki/txt/dydnuk_xodganiyazov.pdf.
16. Дудник О. В. Комп'ютерна програма "Моделювання процедури калібрування АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю" / О.Д. Азаров, О.В. Дудник // Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 40449. – К.: Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 12.10.2011 р.
17. Дудник О. В. Комп'ютерна програма "Моделювання процедури самокалібрування багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю" / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник // Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 29467. – К.: Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 15.07.2009 р.
18. Патент України на корисну модель № 38501: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22. Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, О.В. Дудник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200810078; заявл. 04.08.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл №1.
19. Патент України на корисну модель № 48282: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач-комутатор струмів / О.Д. Азаров, О.В. Кадук, О.В. Дудник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200909909; заявл. 28.09.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл №5.
20. Патент України на корисну модель № 50244: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200913620; заявл. 25.12.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл №10.
21. Патент України на корисну модель № 50245: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200913621; заявл. 25.12.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл №10.
22. Патент України на корисну модель № 51014: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Буферний каскад / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів, О.В. Кадук; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201000934; заявл. 29.01.2010; опубл. 25.06.2010, Бюл №12.
23. Патент України на корисну модель № 51224: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Буферний каскад / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200913561; заявл. 25.12.2009; опубл. 12.07.2010, Бюл №13.
24. Патент України на корисну модель № 51963: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струмів / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201000930; заявл. 29.01.2010; опубл. 10.08.2010, Бюл №15.
25. Патент України на корисну модель № 52717: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струмів / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів;

заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201001305; заявл. 08.02.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл №17.

26. Патент України на корисну модель № 52786: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струмів / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201002330; заявл. 01.03.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл №17.

27. Патент України на корисну модель № 52787: (51) МПК (2009) Н 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струмів / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, С.В. Богомолів; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201002331; заявл. 01.03.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл №17.

28. Патент України на корисну модель № 65530: (51) МПК Н 03 К 5/24. Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, С.В. Павлов, О.В. Дудник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201105802; заявл. 10.05.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл №23.

29. Патент України на корисну модель № 70191: (51) МПК Н 03 К 3/011. Генератор компенсувального сигналу / О.Д. Азаров, О.В. Дудник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201115349; заявл. 26.12.2011; опубл. 25.05.2012, Бюл №10.

30. Патент України на корисну модель № 71304: (51) МПК Н 03 К 3/011. Генератор компенсувального сигналу / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, Д.О. Кириленко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201115345; заявл. 26.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл №13.

31. Патент України на корисну модель № 72248: (51) МПК Н 03 К 3/011. Аналогово-цифровий перетворювач / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, М.В. Пономарьова; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201201482; заявл. 13.02.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл №15.

32. Патент України на корисну модель № 76520: (51) МПК Н 03 К 3/011. Генератор компенсувального сигналу / О.Д. Азаров, О.В. Дудник, М.В. Пономарьова; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201206585; заявл. 30.05.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл №1.

33. Патент України на корисну модель №61610: (51) МПК (2011) Н 03 К 5/24. Обчислювальний перетворювач "Робочий код - цифровий еквівалент" / О.Д. Азаров, О.В.Кадук, О.В. Дудник, А.В.Росошук; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201015635; заявл. 24.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл №14.

34. Патент України на корисну модель №61611: (51) МПК (2011) Н 03 К 5/24. Обчислювальний перетворювач "Цифровий еквівалент – робочий код" / О.Д. Азаров, О.В.Кадук, О.В. Дудник, Д.О.Кириленко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201015636; заявл. 24.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл №14.

35. Патент України на корисну модель №64986: (51) МПК Н 03 К 5/22. Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, Л.В. Крупельницький, О.В. Дудник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201104929; заявл. 20.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл №22.

36. Патент України на корисну модель №65020: (51) МПК Н 03 К 5/24. Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, М.Ю. Теплицький, О.В. Дудник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201105008; заявл. 20.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл №22.

37. Патент України на корисну модель №65094: (51) МПК Н 03 К 5/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, О.В. Дудник; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201105688; заявл. 04.05.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл №22.

АНОТАЦІЯ

Дудник О. В. Багаторозрядні високолінійні АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013.

Дисертацію присвячено підвищенню точності багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на неточних аналогових вузлах, що досягається методами калібрування характеристики перетворення з використанням неточного ЦАП на основі систем числення з ваговою надлишковістю.

Запропоновано методи підвищення лінійності характеристики перетворення АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю шляхом самокалібрування на базі: межових кодових комбінацій; таблиці перетворення «робочий код-цифровий еквівалент». Показано, що застосування запропонованих методів дозволяє покращувати точнісні характеристики АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, побудованого на неточних елементах, без визначення коригувальних поправок та відповідної втрати швидкодії.

Проаналізовано та складено математичні моделі складових статичних похибок генераторів компенсувального сигналу, а також багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на неточному ЦАП із ваговою надлишковістю, до та після самокалібрування, що дозволило оцінити абсолютну похибку компенсувального аналогового сигналу при використанні запропонованих методів та як наслідок оцінити їх ефективність за комплексним критерієм ефективності розроблених методів з урахуванням витрат обладнання.

Запропоновано структурні схеми високолінійних багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються, а також структурні схеми генераторів компенсувального сигналу для таких перетворювачів.

Досліджено характеристики макетного зразка багаторозрядного АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібрується. Доведено, що застосування запропонованих підходів дає змогу забезпечити похибку перетворення такого пристрою на рівні ваги молодшого розряду.

Ключові слова: АЦП слідкувального типу, вагова надлишковість, самокалібрування, генератор компенсувального сигналу, підвищення лінійності, неточні аналогові елементи.

ABSTRACT

Dudnyk O.V. Multidigit high-linearity self-calibrating tracking ADC with weight redundancy. - On the Rights of the manuscript.

The thesis for a Ph.D. science degree by specialty 05.13.05 – Computer System and Components. - Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2013.

Dissertation is devoted to improving of the accuracy of multi-bit tracking ADC, built on inaccurate analog elements, which is achieved by means of conversion characteristic calibration using inaccurate DAC based on the systems of notation with weight redundancy.

The methods of improving of the tracking ADC with weight redundancy linearity by self-calibration on the basis of: the boundary code combinations; conversion table "working code - digital equivalent" are proposed. It is shown that the use of the proposed methods can improve the accuracy of the tracking ADC with weight redundancy built on inaccurate analog elements without specifying of the corrective amendments and corresponding loss of the performance.

Mathematical models of the static errors of the compensating signal generators and multi-bit tracking ADC, built on an inaccurate DAC with weight redundancy, before and after self-calibration are proposed and analyzed. The absolute error of the compensating analog signal generator which uses proposed methods is evaluated and as a consequence the effectiveness of the developed methods on the base of complex criteria of efficiency is estimated.

The structural scheme of high-linearity self-calibrating multi-bit tracking ADC with weight redundancy and structural schemes of compensating signal generators for such converters are proposed.

The characteristics of the sample model of the self-calibrating multi-bit tracking ADC with weight redundancy are estimated.

Keywords: tracking ADC, weight redundancy, self-calibration, compensating signal generator, improving of the linearity, inaccurate analog elements.

АННОТАЦИЯ

Дудник А. В. Многоразрядные высоколинейные самокалибрующиеся АЦП следящего типа с весовой избыточностью. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - компьютерные системы и компоненты. - Винницкий национальный технический университет, Винница, 2013.

Диссертация посвящена повышению точности многоразрядных АЦП следящего типа, построенных на неточных аналоговых узлах, что достигается методами калибровки характеристики преобразования с использованием неточного ЦАП на основе систем исчисления с весовой избыточностью.

Предложены методы повышения линейности характеристики преобразования АЦП следящего типа с весовой избыточностью путем самокалибровки на базе: граничных кодовых комбинаций; таблицы преобразования «рабочий код - цифровой эквивалент». Показано, что применение предложенных методов позволяет улучшать точностные характеристики АЦП следящего типа с весовой избыточностью, построенного на неточных элементах, без определения корректирующих поправок и соответствующей потери быстродействия.

Проанализированы и составлены математические модели составляющих статических погрешностей генераторов компенсирующего сигнала, а также многоразрядных АЦП следящего типа, построенных на неточном ЦАП с весовой избыточностью, до и после самокалибровки. Это позволило оценить абсолютную погрешность компенсирующего аналогового сигнала при использовании предложенных методов и как следствие оценить их эффективность.

Предложен комплексный критерий эффективности разработанных методов с учетом расходов на оборудование, что позволило доказать, что применение предложенных методов позволяет существенно (на 1-2 порядка) уменьшить погрешность генерирования компенсирующего сигнала и таким образом повысить точность всего АЦП следящего типа с весовой избыточностью, а также привести сравнительные оценки предложенных методов.

Предложены структурные схемы высоколинейных многоразрядных самокалибрующихся АЦП следящего типа с весовой избыточностью, а также структурные схемы генераторов компенсирующего сигнала для таких преобразователей.

Проанализированы статические и динамические характеристики аналоговых узлов высоколинейных многоразрядных самокалибрующихся АЦП с весовой избыточностью. Предложены математические выражения для оценки параметров указанных аналоговых узлов. Даны рекомендации по практической реализации аналоговых и цифровых узлов высоколинейных многоразрядных самокалибрующихся АЦП с весовой избыточностью. Предложено использовать усилители постоянного тока и буферные устройства, построенные по двухтактным симметричным структурам, поскольку они обладают лучшими характеристиками. Показано, что одним из перспективных подходов является использование программируемых логических схем.

Исследованы характеристики макетного образца многоразрядного АЦП следящего типа с весовой избыточностью, что самокалибруется. Доказано, что применение предложенных подходов позволяет обеспечить погрешность преобразования такого устройства на уровне веса младшего разряда.

Разработано программное обеспечение для моделирования высоколинейных многоурядных самокалибрующихся АЦП следящего типа с весовой избыточностью, что позволяет оценить характеристики разработанных преобразователей и определить их оптимальные параметры.

Ключевые слова: АЦП следящего типа, весовая избыточность, самокалибровка, генератор компенсирующего сигнала, повышение линейности, неточные аналоговые элементы.

Підписано до друку 17.09.2013 р. Формат 29.7×42 ¼
Наклад 120 прим. Зам. № 2013-150
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59