

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Д. Азаров, О. В. Дудник

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ
ВИСОКОТОЧНОГО СЛІДКУВАЛЬНОГО
АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ
З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2014

УДК 004.387:621.3.087.92

ББК 32.973.3

A35

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 26.02.2014 р.)

Рецензенти:

Є. Т. Володарський, доктор технічних наук, професор

М. А. Філінюк, доктор технічних наук, професор

Азаров, О. Д.

A35 Методи та засоби високоточного слідкувального аналого-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю : монографія / О. Д. Азаров, О. В. Дудник. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 120 с.

ISBN 978-966-641-580-9

У монографії розглянуто питання побудови високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються. Запропоновано методи підвищення лінійності характеристики перетворення таких АЦП 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. Книга розрахована на науковців, аспірантів та інженерів, які займаються розробкою високоточних аналого-цифрових перетворювачів.

УДК 004.387:621.3.087.92

ББК 32.973.3

ISBN 978-966-641-580-9

© О. Азаров, О. Дудник, 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ, ЩОДО ПОБУДОВИ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АЦП СЛІДКУВАЛЬНОГО ТИПУ.....	9
1.1 Аналіз різновидів багаторозрядних АЦП слідкувального типу	9
1.2 Похибки багаторозрядних АЦП слідкувального типу.....	15
1.3 Основні шляхи зменшення похибок багаторозрядних АЦП слідкувального типу.....	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ВИСОКОЛІНІЙНОГО СЛІДКУВАЛЬНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ	28
2.1 Метод підвищення лінійності багаторозрядних АЦП слідкувального типу на основі таблиці перетворення «цифровий еквівалент–робочий код»	29
2.2 Метод лінеаризації характеристики перетворення багаторозрядних АЦП слідкувального типу шляхом самокалібрування на основі межових кодових комбінацій	32
2.3 Похибки генераторів компенсувального сигналу на базі ЦАП із ваговою надлишковістю	36
2.4 Похибки багаторозрядних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.....	42
РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ БАГАТОРОЗРЯДНИХ ВИСОКОЛІНІЙНИХ АЦП СЛІДКУВАЛЬНОГО ТИПУ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ.....	48
3.1 Методи структурно-функціональної організації багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.....	48
3.2 Оцінки точності формування компенсувального сигналу у АЦП слідкувального типу із ваговою надлишковістю	56

3.3 Похибки багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.....	63
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОРОЗРЯДНИХ ВИСОКОЛІНІЙНИХ АЦП СЛІДКУВАЛЬНОГО ТИПУ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ.....	
4.1 Проектування багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.....	67
4.2 Рекомендації щодо реалізації аналогових вузлів для багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються	69
4.3 Рекомендації щодо реалізації цифрових вузлів для багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються	79
4.4 Програмне забезпечення для моделювання багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковістю, що самокалібруються.....	82
4.5 Рекомендації щодо вибору засобів для аналізу характеристик багаторозрядних високолінійних АЦП слідкувального типу	89
ВИСНОВКИ.....	100
ЛІТЕРАТУРА	102

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АК – аналоговий комутатор
БК – блок керування
ВН – вагова надлишковість
ГКмС – генератор компенсувального сигналу
ГКС – генератор калібрувального сигналу
ДНЛ – диференційна нелінійність
ДШ – дешифратор
ЗП – запам'ятовувальний пристрій
ІНЛ – інтегральна нелінійність
КК – кодова комбінація
ОМР – одиниця молодшого розряду
ОП – операційний підсилювач
ПВЗ – пристрій вибірки–зберігання
ПФІ – перетворювач форми інформації
СП – схема порівняння
СЧ – система числення
СЧВН – система числення із ваговою надлишковістю
ХП – характеристика перетворення
ЦЕ – цифровий еквівалент
ЦОП – цифровий обчислювальний пристрій

ВСТУП

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

АЦП слідкувального типу відносяться до компенсаційних перетворювачів форми інформації (ПФІ) і призначені для кодування аналогових сигналів, що змінюються повільно. Водночас відносно нешвидка реакція такого типу АЦП на швидкі зміни вхідного сигналу роблять їх непридатними для багатьох галузей застосування, зокрема, в багатоканальних системах перетворення, реєстрування й опрацювання аналогових величин [181].

Проте варто відмітити, 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 резольверкод, 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 [58].

Водночас 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 завдання їх параметрів, недосконалістю технології виготовлення та впливом природних чинників у процесі експлуатації, зокрема: зміна температури навколишнього середовища, старіння елементів аналогових вузлів, впливом радіації тощо. При цьому варто відмітити, що всі багаторозрядні (14 і більше двійкових розрядів) ЦАП без вживання спеціальних заходів,

по суті, є неточними, оскільки їхня кінцева похибка перетворення не відповідає заявленій роздільній здатності [60].

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 [58]. Водночас перенесення вказаних підходів на АЦП слідкувального типу, що побудований 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 [96]. 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 ВН дозволяє значно підвищити точність такого перетворювача за рахунок використання самокалібрування (СК).

При цьому, комплексний підхід до розв'язання задачі підвищення точності такого типу АЦП передбачає використання процедур самокалібрування, зокрема, за умови реалізації ПФІ на основі систем числення із ваговою надлишковістю (СЧВН), а також технологічних і схемотехнічних методів підвищення точнісних характеристик аналогових вузів. Це пов'язано з тим, що в АЦП компенсаційного типу існують похибки, які шляхом використання тільки самокалібрування усунути або зменшити не вдається [110].

Питанням підвищення точності ПФІ займалися наукові школи професора А. І. Кондалева, В. О. Багацького, В. О. Романова, [80–82, 88, 92, 113–117, 162, 164–165], П. П. Орнатського [134–136], М. В. Аліпова [74, 75], Б. Й. Швецького [186]. Також покращенням точнісних характеристик ПФІ, а також систем, до яких вони входять, займалися наукові школи Ю. М. Туза, Є. Т. Володарського [90, 123, 178]. Загальні принципи побудови та покращення характеристик АЦП досліджувалися та розроблялися науковими школами Е. І. Гітса [93–95], В. Б. Смолова [166–171], В. М. Муттера [126–132].

Водночас із вітчизняними науковцями питанням покращення характеристик перетворювачів форми інформації займалися науковці

далекого зарубіжжя, зокрема: В. Кестер [45–51, 181] з корпорації Analog Devices, Руді Дж. Ван Де Плаше та інші з Philips [39, 40], а також співробітники науково-дослідних підрозділів корпорацій Texas Instruments Inc., Burr-Brown, MAXIM, Linear Technology Corporation, Intel Corporation [11–13, 20, 21, 23, 24, 26–29, 31, 35, 36, 38, 44].

Сучасні дослідження АЦП слідкувального типу здійснюються вченими Р. Р. Бабаяном [77–79], Діртом Кіллатом, Хуанг Яном [139], О. Мохамедом [32], Ф. Куо [25], Л. Доррером [17] та ін.

Проблеми покращення характеристик АЦП на основі застосування вагової надлишковості розглядаються у Вінницькому національному технічному університеті з 70-х років минулого століття в науковій школі професора О. Д. Азарова [57–71]. Зокрема, починаючи з 80-х років для підвищення лінійності перетворювачів активного застосування набувають методи самокалібрування [69–71].

Водночас задача покращення точнісних 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 питання підвищення точності багаторозрядних АЦП слідкувального типу на основі застосування ЦАП із ваговою надлишковістю та процедур самокалібрування є актуальною задачею, що і стало темою монографії.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ, ЩОДО ПОБУДОВИ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АЦП СЛІДКУВАЛЬНОГО ТИПУ

1.1 Аналіз різновидів багаторозрядних АЦП слідкувального типу

АЦП слідкувального типу відносяться до класу ПФІ компенсаційного типу (рис. 1.1) і відрізняються від інших відносно простою структурою та високим темпом видачі результатів, оскільки вихідний код доступний для зчитування на кожному такті перетворення. На рис. 1.1: СП – схема порівняння; БК – блок керування; ГКмС – генератор компенсабельного сигналу. Водночас відносно «повільна» реакція такого типу АЦП на швидкі зміни вхідного сигналу роблять їх непридатними для багатьох галузей застосування, зокрема, у багатоканальних системах перетворення, реєстрування й опрацювання аналогових величин.

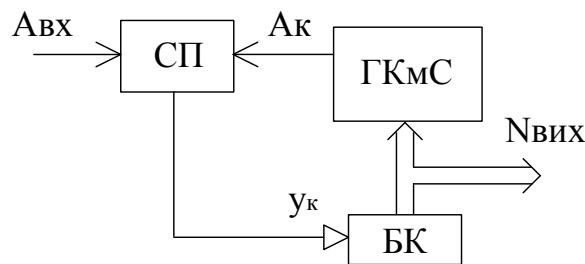


Рисунок 1.1 – Узагальнена структурна схема АЦП компенсаційного типу

Перевагами цього типу АЦП є те, що код на виході такого перетворювача доступний на кожному такті перетворення. Ця властивість особливо важлива для перетворювачів сельсин–код та резольвер–код [181].

Іншою цінною характеристикою АЦП слідкувального типу 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 опрацювання сигналів. Вказана характеристика також дає можливість у низці випадків відмовитись від необхідності використання аналогового фільтра низьких частот на вході ПФІ [82, 113], що значним чином спрощує та здешевлює побудову систем.

Доцільним також є використання АЦП слідкувального типу у багатоканальних системах збору телеметричної інформації для передавання даних від низькочастотних сенсорів фізичних величин у мікрохвильових аналогових та цифрових радіорелейних станціях [133]. Так, зокрема узагальнена схема базового комплексу мікрохвильової телерадіорозподільної мережі наведено на рис. 1.2.

У АЦП слідкувального типу вхідний аналоговий сигнал (A_{BX}) врівноважується компенсувальним аналоговим сигналом (A_K), що формується генератором компенсувального сигналу, увімкненим у коло зворотного зв'язку тракту врівноваження. Причому цифровий еквівалент $K(A_K)$ саме компенсувального сигналу A_K вважається результатом перетворення A_{BX} :

$$N_{ВИХ} = K(A_K) \approx K(A_{BX}). \quad (1.1)$$

Варто відмітити також, що АЦП слідкувального типу являють собою, по суті, систему автоматичного регулювання, в якій компенсувальна аналогова величина A_K відслідковує зміни вхідної аналогової величини A_{BX} .



Рисунок 1.2 – Базовий комплекс мікрохвильової телерадіорозподільної мережі

При цьому, якщо швидкість зміни вхідного сигналу перевищує деяке граничне значення, то компенсувальний сигнал не встигає відслідковувати його зміни, що призводить до появи динамічної похибки. Ця похибка включає методичну складову, яка залежить від алгоритму врівноваження, та інструментальну складову. При цьому вважають, що частота дискретизації в такому АЦП повинна бути обрана таким чином, щоб перехідні процеси у вузлах перетворювача встигали закінчитися за один період дискретизації.

Варто відмітити, що досить часто АЦП слідкувального типу порівнюють із сигма-дельта-АЦП, у яких вказаний недолік відсутній, однак останній тип АЦП є специфічним типом ПФІ і має низку особливостей та галузей застосувань [10, 181]. Так, зокрема сигма-дельта-АЦП у традиційному виконанні є непридатними для високоточних систем, а особливо для високоточних систем із сигналами, що змінюються повільно, оскільки їх метрологічні характеристики не нормуються або нормуються досить обмежено [42, 52].

Разом з тим наявність в АЦП слідкувального типу різницевого сигналу $\Delta A = A_K - A_{ВХ}$, який характеризує різницю компенсувальної та вхідної аналогових величин, відкриває потенційні можливості для контролю та коригування динамічної похибки в процесі перетворення. Це, в кінцевому рахунку, дозволяє забезпечувати рівень динамічної похибки в заданих межах.

Класичним прикладом АЦП слідкувального типу є так званий АЦП слідкувального типу з «одичним приростом» [118, 140], що наведений на рис. 1.3. Тут К1 та К2 – перший та другий компаратори; ПВР – пристрій виділення різниці; РЛЧ – реверсивний лічильник; $A_{ВХ}$ – вхідний аналоговий сигнал; A_K – компенсувальний аналоговий сигнал; A_P – різницевий аналоговий сигнал; q – аналогова величина, що представляє молодший значущий розряд (МЗР); $N_{ВІХ}$ – вихідний код.

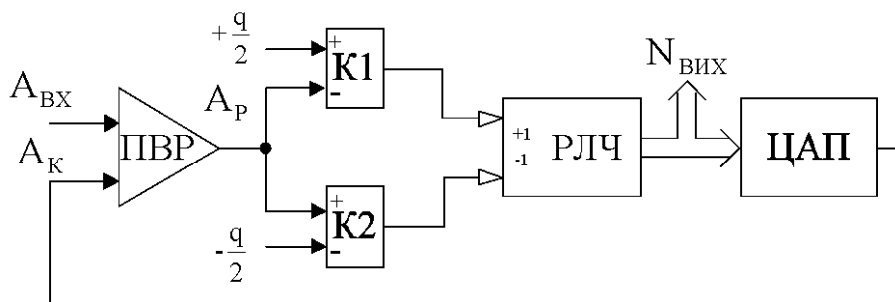


Рисунок 1.3 – АЦП слідкувального типу з «одичним приростом»

Наявність двох компараторів у структурі цього АЦП необхідна для усунення автоколивань. Час перетворення такого АЦП залежить від числа двійкових розрядів n та визначається як

$$T_{\text{ПР}} = (2^n - 1) \cdot t_{\text{д}}, \quad (1.2)$$

де $t_{\text{д}}$ – тривалість такту врівноваження.

До переваг слідкувального АЦП з «одиничним приростом» належать: простота, висока статична точність, а також можливість перетворення низькочастотних сигналів з досить високою частотою дискретизації. Відносна простота такого АЦП допускає реалізацію в мікроелектронному виконанні. Зокрема, відома схема восьмирозрядного АЦП слідкувального типу, реалізованого на інтегральних схемах фірми «Motorola». Вказаний перетворювач характеризується тривалістю такту врівноваження менше 200 нс при похибці перетворення не більше 0,4 % в режимі слідкування. Відома також схема однокристального АЦП слідкувального типу «Ferranti Semiconductors Ltd» (Великобританія) [53]. Десятирозрядний перетворювач ZN433 забезпечує похибку нелінійності менше половини МЗР і дозволяє опрацьовувати сигнали з частотою 300 Гц при тактовій частоті 1 МГц.

Варто зазначити, що подальшого зменшення часу перетворення АЦП слідкувального типу можна досягти комбінованим врівноваженням, за допомогою додаткових компараторів з порогами спрацьовування (при непарному числі розрядів) $+2^{\frac{n-1}{2}} \cdot q$ та $-2^{\frac{n-1}{2}} \cdot q$. Схема такого перетворювача наведена на рис. 1.4. Тут К3 – третій компаратор, РЛЧ2 – другий реверсивний лічильник. При цьому компаратори К1 та К2 визначають напрям рахунку лічильника РЛЧ1. Ціна ділення шкали цього лічильника становить $2^{\frac{n-1}{2}} \cdot q$. Компаратор К3 визначає напрям рахунку РЛЧ2, вага молодшого розряду якого становить q . Варто відзначити, що у такому АЦП у випадку, якщо зміни значення вхідного сигналу становлять менше q , врівноваження відбувається лічильником РЛЧ2, при більших змінах сигналу врівноваження відбувається з використанням РЛЧ1.

Час перетворення такого АЦП становить:

$$T_{\text{ПР}} = 2(2^{\frac{n-1}{2}} - 1) \cdot t_{\text{д}}. \quad (1.3)$$

З порівняння (1.2) і (1.3) випливає, що введення додаткових компараторів у АЦП слідкувального типу зменшує час перетворення, проте вимагає введення додаткового обладнання.

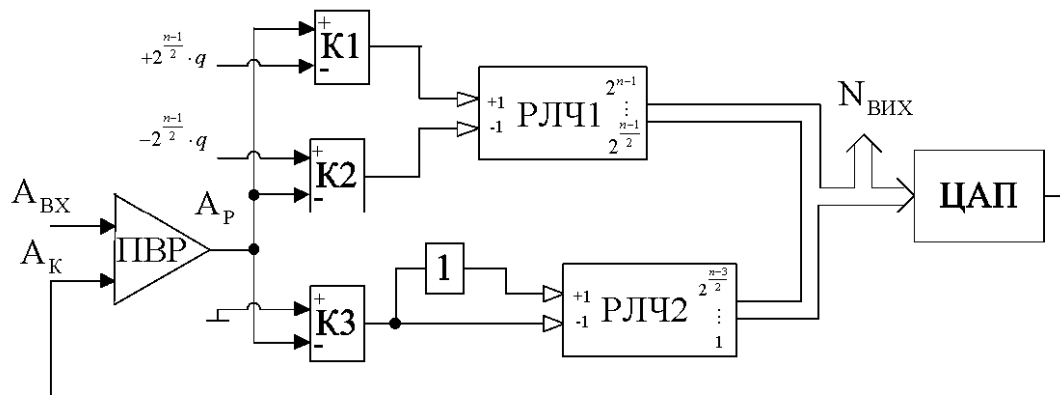


Рисунок 1.4 – АЦП слідкувального типу з додатковим компаратором

Іншим підходом щодо скорочення часу перетворення АЦП слідкувального типу без збільшення числа компараторів є використання алгоритму зі змінним рівнем ступеня врівноваження [120]. Такий перетворювач, окрім ПВР, компаратора і ЦАП, містить також реверсивний лічильник з керованими розрядами і схему управління. Визначення поточного розміру ступеня врівноваження здійснюється залежно від стану компаратора у двох попередніх тактах врівноваження. Якщо стан компаратора у двох сусідніх тактах не змінюється, то в поточному такті ступінь врівноваження вдвічі збільшується. Якщо ж стан компаратора змінюється (що свідчить про проходження стану рівноваги), то в поточному такті рівень ступеня врівноваження вдвічі зменшується. Максимальне число тактів врівноваження в такому АЦП становить [120]:

$$T_{HP} = 2n \cdot t_o. \quad (1.4)$$

Таке управління ступенями врівноваження дозволяє, порівняно зі слідкувальним АЦП з «одиничними приростами», значно зменшити час перетворення і середньоквадратичне значення динамічної похибки.

Варто зазначити, що вищеописані схеми АЦП слідкувального типу знайшли широке застосування у різноманітних системах керування зі зворотним зв'язком. Зокрема, відоме використання АЦП слідкувального типу як аналого-цифрового регулятора режиму металообробки для верстатів із числовим програмним керуванням (рис. 1.5) [89]. Тут ПЧПК – пристрій числового програмного керування; АЦР – аналого-

цифровий регулятор; K – цифровий код; $U_{дп}$ – напруга, що визначає потужність різання верстата; $ПО$ – процес обробки; ПГР – електропривод головного руху; ППХ і ППУ – координати x і y , відповідно; ДП – датчик потужності; ЗБ – збурення.

Також відомо використання АЦП слідкувального типу разом з різноманітними цифровими обчислювальними пристроями для покращення характеристик систем автоматичного регулювання [87], використання вказаних ПФІ у системах медичного моніторингу [84].

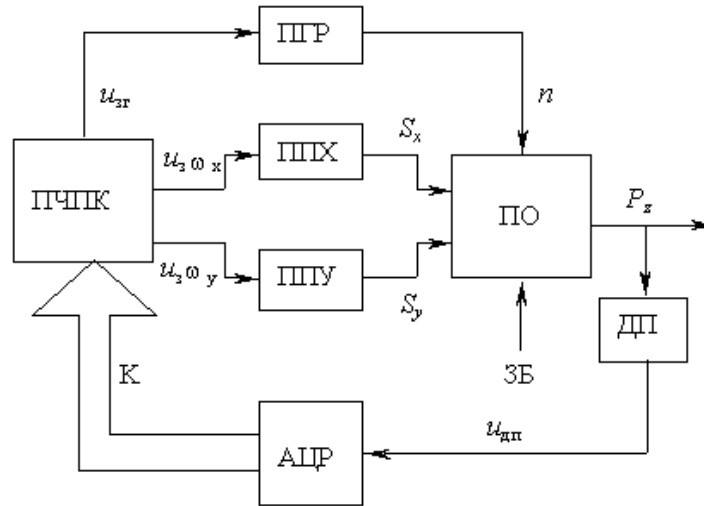


Рисунок 1.5 – Функціональна схема системи керування верстатом

Окремою галуззю застосування АЦП слідкувального типу є використання їх у DC-DC перетворювачах [41, 137, 138]. Узагальнена схема такого варіанту використання АЦП зображена на рис. 1.6.

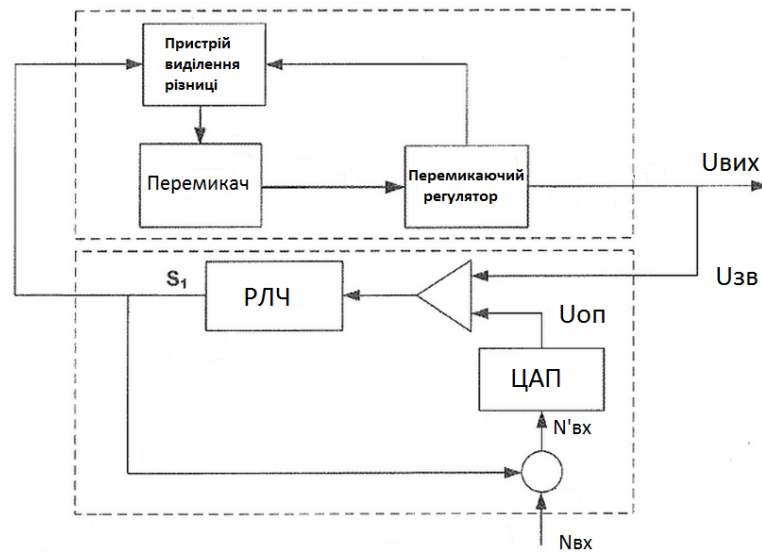


Рисунок 1.6 – DC-DC перетворювач на основі АЦП слідкувального типу

Тут $U_{вих}$ – вихідна напруга; $N_{вх}$ – цифрове значення вихідної напруги. Узагальнену таблицю галузей застосування АЦП слідкувального типу можна зобразити таким чином (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Галузі застосування АЦП слідкувального типу

Галузь застосування	Параметри	
	Розрядність вихідного двійкового коду	Частота перетворення
Перетворювачі сельсин-код та револьвер-код	до 17 біт	500 кГц – 4 МГц
DC-DC перетворювачі	до 10 біт	до 20 кГц
Багатоканальні системи збору телеметричної інформації	до 14 біт	до 100 кГц

1.2 Похибки багаторозрядних АЦП слідкувального типу

При побудові ПФІ на неточних аналогових вузлах, у разі зміни умов навколишнього середовища, а також у процесі старіння пристрою параметри і характеристики аналогових вузлів ЦАП змінюються. Відхилення параметрів аналогових вузлів від своїх номінальних значень призводять до погіршення точнісних характеристик перетворювачів.

Так, основними джерелами статичних похибок багаторозрядних АЦП слідкувального типу, побудованих на неточному ЦАП, є відхилення параметрів аналогових вузлів від своїх номінальних значень.

Варто зазначити, що під точним розуміється ЦАП, у якому похибки відповідають нормативним значенням [108]. Неточними ж вважаються такі багаторозрядні ЦАП, первинні похибки аналогових елементів яких перевищують кінцеву похибку перетворення. При цьому, як уже відмічалось вище, всі багаторозрядні ЦАП без вживання спеціальних заходів, по суті, є неточними, оскільки їхня кінцева похибка перетворення не відповідає заявленій роздільній здатності [60].

Застосування технологічних прийомів для забезпечення точності ЦАП у широкому діапазоні температур і протягом циклу експлуатації

дозволяє створювати лише 12-розрядні перетворювачі, похибки яких відповідають заявленій роздільній здатності [110].

У табл. 1.2 наведено гіпотетичні значення абсолютної та відносної до діапазону значень допустимих похибок лінійності (ІНЛ, ДНЛ) багаторозрядних ЦАП [58].

Таблиця 1.2 – Гіпотетичні значення абсолютної та відносної похибок лінійності багаторозрядних АЦП і ЦАП

Розрядність	Абсолютне значення похибки (одиниць молодшого розряду (ОМР))	Відносне значення похибки (%)
12	$\pm 1 (\pm 0,5)$	0,0244
14	$\pm 1 (\pm 0,5)$	0,0061
16	± 1	0,00152
18	± 1	0,00038

У табл. 1.3 наведено статичні характеристики типових багаторозрядних ЦАП, що випускаються провідним фірмам світу, зокрема, Analog Devices, Texas Instruments Incorporated, Linear Technology Corporation [6, 7, 15, 29].

Таблиця 1.3 – Характеристики багаторозрядних ЦАП провідних фірм світу

Фірма/Модель	Розрядність	Інтегральна нелінійність		Диференційна нелінійність	
		Абсолютне значення (ОМР)	Відносне значення до діапазону перетворення (%)	Абсолютне значення (ОМР)	Відносне значення до діапазону перетворення (%)
Analog Devices / AD5453	14	–	–	від –1 до +2	0,00915
Analog Devices / AD5446	14	-	-	від –1 до +	0,00915

Продовження табл. 1.3

Фірма/Модель	Розрядність	Інтегральна нелінійність		Диференційна нелінійність	
		Абсолютне значення (ОМР)	Відносне значення до діапазону перетворення (%)	Абсолютне значення (ОМР)	Відносне значення до діапазону перетворення (%)
Linear Technology/ LTC2611/ LTC2611-1	14	±6	0,0366	±1	0,0061
Linear Technology / LTC2601/ LTC2601-1	16	±6	0,00912	±4	0,00608
Texas Instruments / DAC7731E	16	±6	0,00912	±2	0,00304
Texas Instruments / DAC7664Y	16	±4	0,00608	±3	0,00456

Аналіз наведених даних підтверджує, що багаторозрядні ЦАП без вживання спеціальних заходів, по суті, є неточними, оскільки їхні кінцеві похибки не відповідають гіпотетичним значенням допустимих похибок абсолютної та відносної лінійності.

Немонотонність та розриви характеристики перетворення (ХП) неточного двійкового ЦАП відповідним чином впливають і на похибки роботи АЦП, що містить такий ЦАП [26, 58, 70] (рис. 1.7).

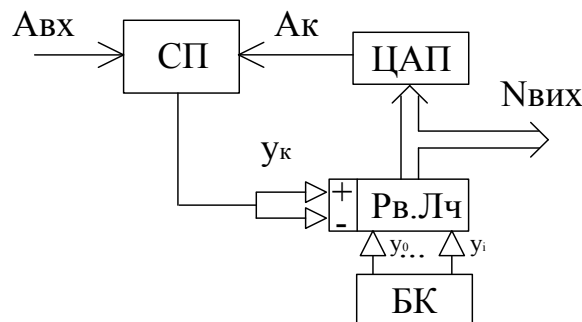


Рисунок 1.7 – Структурна схема АЦП слідкувального типу

Так, наприклад, для 8-розрядного двійкового АЦП слідкувального типу зі значним допуском на елементну базу ($\delta Q = 5\%$) ХП може мати такий вигляд (рис. 1.8).

Тут δQ – відносна похибка задання ваги розряду, що описується таким виразом:

$$\delta Q = \frac{\Delta Q_i}{Q_i}, \quad (1.5)$$

де ΔQ_i – відхилення реальної ваги i -го розряду від свого номінального значення; Q_i – значення аналогової величини (струму або напруги), що відображає реальну вагу i -го розряду пристрою.

На рис. 1.8 $K_{ВИХ}$ – цифровий еквівалент аналогового сигналу; $A_{ВХ}$ – вхідний аналоговий сигнал.

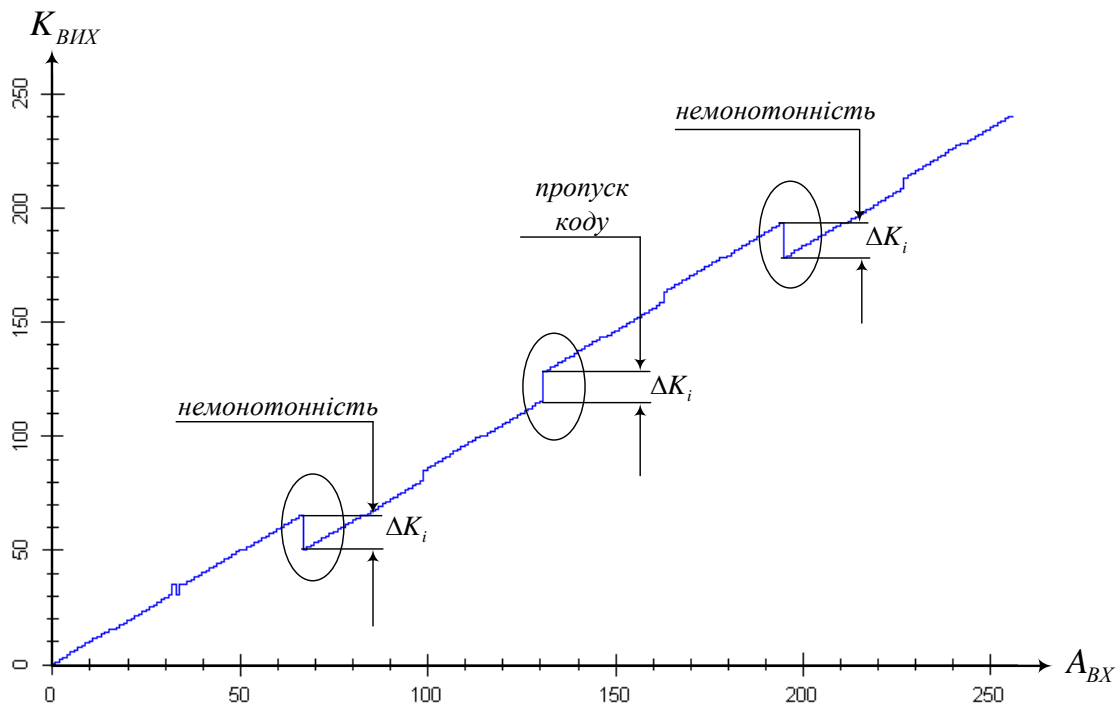
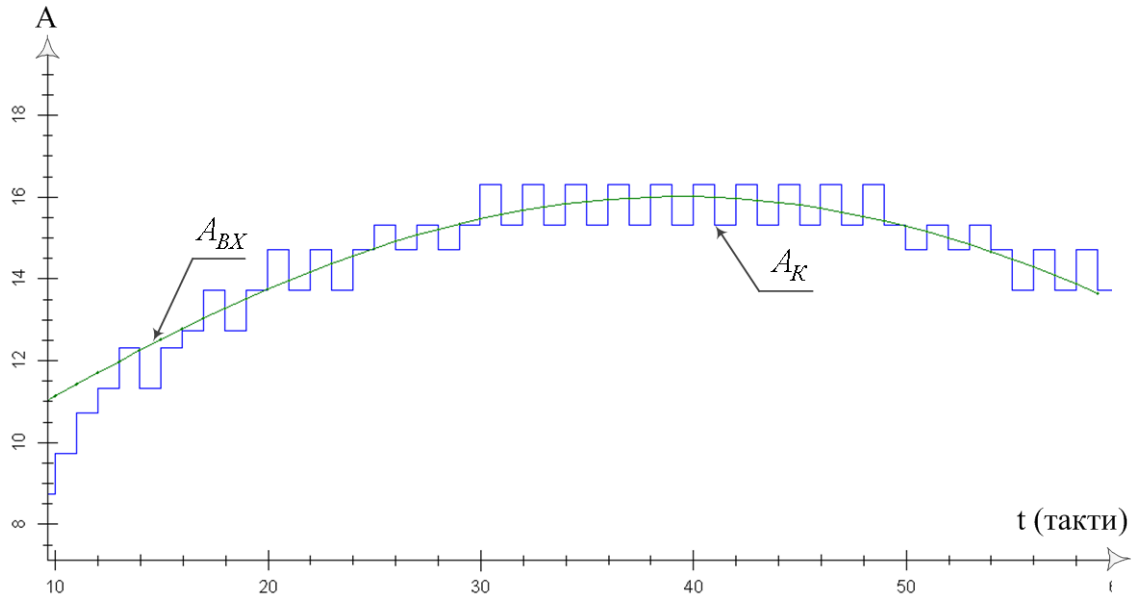


Рисунок 1.8 – ХП двійкового АЦП слідкувального типу

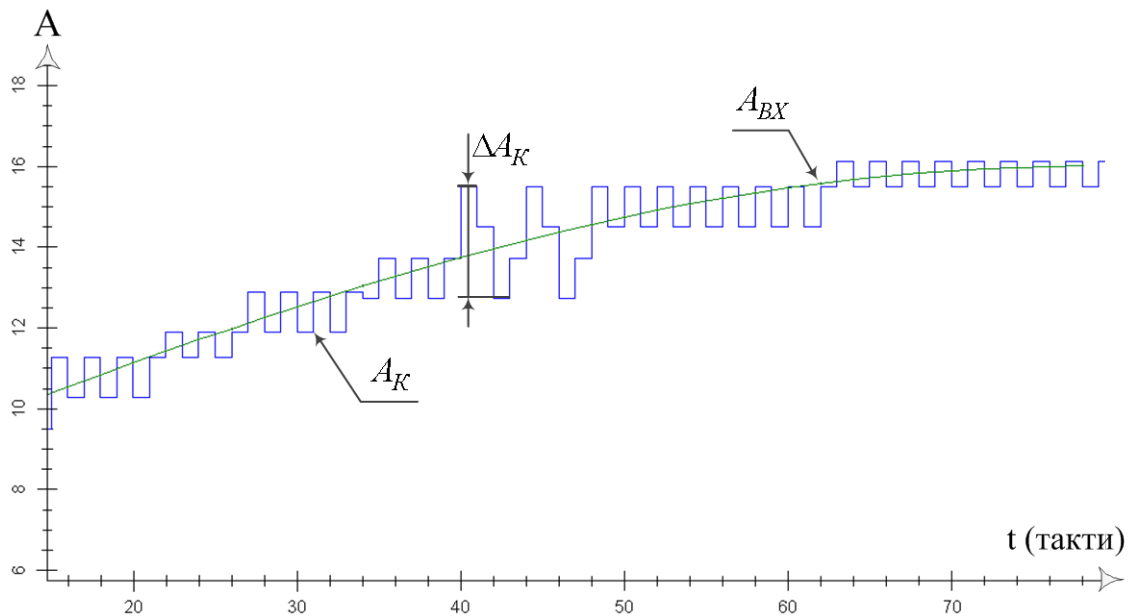
Водночас варто вказати, що в АЦП компенсаційного типу точність та швидкість встановлення компенсувального аналогового сигналу A_k у значній мірі впливають на точність та швидкість роботи АЦП.

До складу ГКмС у найпростішому випадку входить реверсивний лічильник та ЦАП на основі двійкової СЧ. Варто зазначити, що відхи-

лення ваг розрядів неточного ЦАП від їх номінальних значень призводять до порушення лінійності характеристики перетворення ГКМС, що, зокрема, проявляється у появі на ній стрибків компенсуючого аналогового сигналу [110] (рис. 1.9).



а)



б)

Рисунок 1.9 – Часові діаграми процесу врівноваження A_{BX} в АЦП слідкувального типу, побудованому на: а) точному ЦАП; б) неточному ЦАП

Варто відмітити, що немонотонність та пропуски кодів ХП ПФІ спричинені невідповідністю ваг розрядів заданого базису порівняно з вагами реалізованого або поточного базисів. Заданий базис – це такий, що являє собою набір ваг розрядів, значення яких дорівнюють номінальним вагам розрядів. Реалізований та поточний базиси – це такі, що являють собою набір реальних ваг розрядів, що фізично проявляються в реальних АЦП і ЦАП, побудованих на основі заданого базису СЧ, після їх виготовлення та у процесі експлуатації, відповідно [96].

Вказані особливості призводять до зростання вище припустимої норми похибок інтегральної (ІНЛ) та диференційної (ДНЛ) лінійності ХП ПФІ.

Зробимо аналіз похибок каналу ЦА-перетворення, використовуючи структурну схему, що показана на рис. 1.10. Тут ПКС (α -ЦАП) – перетворювач код–струм, який, по суті, є головним компонентом ЦАП; СП – схема порівняння; ПВР – пристрій виділення різниці; ПЕ – пороговий елемент; ЦОП – цифровий обчислювальний пристрій; БУ – блок управління; ГКС – генератор калібрувального сигналу; АК – аналоговий комутатор; ЦК – цифровий комутатор.

Залежно від призначення пристрою, в якому реалізовано канал ЦА-перетворення, він може містити також перетворювач струм–напруга (ПСН), що вносить додаткові похибки.

Виділимо похибки аналогових вузлів у каналі ЦА-перетворення:

1. Температурний дрейф зміщення нуля: перетворювача струм–напруга $\Delta_{0П}$, аналогового комутатора $\Delta_{0АК}$, буфера $\Delta_{0Б}$, перетворювача струм–напруга $\Delta_{0ПСН}$;

2. Похибки інтегральної $\Delta_{ІНЛ}$, диференційної $\Delta_{ДНЛ}$ лінійностей, зміщення нуля $\Delta_{0ЦАП}$, суперпозиції ваг розрядів $\Delta_{РОЗ}$ та квантування $\Delta_{КВЦАП}$ ПКС (α -ЦАП);

3. Похибки лінійності характеристики перетворення: перетворювача струм–напруга $\Delta_{ЛН ПСН}$, аналогового комутатора $\Delta_{ЛН АК}$, буфера $\Delta_{ЛН Б}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. 23A1024/23LC1024 1Mbit SPI Serial SRAM with SDI and SQI Interface [Електронний ресурс] / Microchip // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25142A.pdf>
2. 23A256/23K256 256K SPI Bus Low-Power Serial SRAM Data Sheet [Електронний ресурс] / Microchip // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/22100c.pdf>
3. 23A512/23LC512 512 Kbit SPI Serial SRAM with SDI and SQI Interface [Електронний ресурс] / Microchip // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25155A.pdf>
4. 23A640/23K640 64K SPI Bus Low-Power Serial SRAM Data Sheet [Електронний ресурс] / Microchip // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/22126c.pdf>
5. AD5024/AD5044/AD5064 Fully Accurate, 12-/14-/16-Bit VOUT nanoDAC, Quad [Електронний ресурс] / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5024_AD5044_AD5064.pdf
6. AD5444/AD5446: 12-/14-Bit High Bandwidth Multiplying DACs with Serial Interface [Електронний ресурс] / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5444_5446.pdf
7. AD5450/AD5451/AD5452/AD5453: 8-/10-/12-/14-Bit High Bandwidth Multiplying DACs with Serial Interface [Електронний ресурс] / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5450_5451_5452_5453.pdf
8. AD5530/AD5531 Serial Input, Voltage Output 12-/14-Bit Digital-to-Analog Converters [Електронний ресурс] / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5530_5531.pdf
9. AD5601/AD5611/AD5621 2.7 V to 5.5 V, <100 μ A, 8-/10-/12-Bit nanoDAC [Електронний ресурс] / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5601_5611_5621.pdf
10. Application Note AN-283: Sigma – Delta ADCs and DACs // Application Reference Manual – Analog Devices, 1993. – P. 16.
11. Capofreddi P. D. The use of linear models in A/D converter testing / P. D. Capofreddi, P. D. Wooley // IEEE Trans. Circuit Syst. I. – December 1997. – Vol. CAS-44. – P.1105–1113. – ISSN: 1057-7130.

12. Carl Moreland. An 8-bit 150MSPS Serial ADC / M. Carl // ISSCC Digest of Technical Papers. – 1995. – Vol. 38. – P. 272.
13. Carl Moreland. An Analog-to-Digital Converter Using Serial-Ripple Architecture / M. Carl // Masters' Thesis, Florida State University College of Engineering, Department of Electrical Engineering. – 1995. – P. 56.
14. Cyclone III Device Handbook [Електронний ресурс] / Altera Corporation // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.altera.com/literature/hb/cyc3/cyclone3_handbook.pdf.
15. DAC7731: 16-Bit, Single Channel, Digital-to-Analog Converter W/ Internal +10V Reference and Serial I/F [Електронний ресурс] / Texas Instruments // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.ti.com/product/dac7731>
16. DE0 User Manual [Електронний ресурс] / Altera Corporation // Офіційний сайт. – Режим доступу : ftp://ftp.altera.com/up/pub/Altera_Material/12.1/Boards/DE0/DE0_User_Manual.pdf
17. Dorrer. L. A 3-mW 74-dB SNR 2-MHz continuous-time delta-sigma ADC with a tracking ADC quantizer in 0.13- μ m CMOS / L. Dorrer, F. Kuttner, P. Greco // Solid-State Circuits – Dec. 2005. – Vol. 40 , Issue 12 . – P. 2416–2427. – ISSN: 0018-9200.
18. Dudnyk O. V. Compensating Signal Generators for a Self-Calibrating Tracking ADC [Електронний ресурс] / O. D. Azarov, O. V. Dudnyk // 11th International Conference on Development and Application Systems, May 15–17, 2012 - Suceava, Romania. – 1 с. – Режим доступу : <http://www.dasconference.ro/cd2012/data/papers/C10.pdf>
19. Future Technology Devices International Ltd. FT245R USB FIFO IC [Електронний ресурс] / Altera Corporation // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT245R.pdf
20. Galton I. Digital cancellation of D/A converter noise in pipelined A/D converters / I. Galton // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – March 2000. – Vol. CAS-47. – P.185–196. – ISSN: 1057-7130.
21. Gustavsson M. A global passive sampling technique for high-speed switched-capacitor time-interleaved ADCs / M. Gustavsson, N. N. Tan // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – September 2000. – Vol. CAS-47. – P. 821–831. – ISSN: 1057-7130.

22. Hans Camenzind. Designing Analog Chips / Camenzind Hans. – 2005. – P. 242. – ISBN 141-960-314-0. – Режим доступу : http://www.designing-analog-chips.com/_count/designinganalogchips.pdf
23. Howard E. Hilton. A 10MHz Analog-to-Digital Converter with 110dB Linearity / E. Howard // H.P. Journal. – October, 1993. – P. 105–112. – ISSN 0018-1153.
24. Jin H. A digital-background calibration technique for minimizing timing-error effects in time-interleaved ADCs / H. Jin, E. K. F. Lee // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – July, 2000. – Vol. CAS-47. – P. 603–613. – ISSN: 1057-7130.
25. Kuo. F. A superconducting tracking A/D converter / F. Kuo, H. Dang, S.R. Whiteley // Solid-State Circuits. – February 1991. – Vol. 26, Issue 2. – P. 142–145. – ISSN: 0018-9200.
26. Kurosawa N. Explicit analysis of channel mismatch effects in time-interleaved ADC systems / N. Kurosawa, H. Kobayashi, K. Maruyama // IEEE Trans. Circuit Syst. I. – March, 2001. – Vol. CAS-48. – P. 261–271. – ISSN: 1057-7122.
27. Lee S. Comments on «Comments on interstage gain-proration technique for digital-domain multistep ADC calibration»/ S. Lee, J. Lee // IEEE Trans. Circuit Syst.II. – July, 2001. – Vol. CAS-48. – P. 745–749. – ISSN: 1057-7130.
28. Lee S. Interstage gain proration technique for digital-domain multi-step ADC calibration / S. Lee, B. Song // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – January, 1994. – Vol. CAS-41. – P. 12–18. – ISSN: 1057-7130.
29. Linear Design Seminar. Chapter 5 [Електронний ресурс] / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/43-09/EDCh%205%20sampling%20theory.pdf>
30. LTC2601/LTC2611/LTC2621: 16-/14-/12-Bit Rail-to-Rail DACs in 10-Lead DFN [Електронний ресурс] / Linear Technology // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/2601fb.pdf>
31. Maulik P. C. Analysis of leakage current induced nonlinearity in resistor-ladder based data converters / P. C. Maulik // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – February, 2000. – Vol. CAS-47. – P. 136–137.
32. Mohamed O. 6-Bit 130-MS/s Low-power Tracking ADC in 90 nm CMOS / M. O. Shaker, M. A. Bayoumi // Circuits and Systems (MWSCAS), 2010 53rd IEEE International Midwest Symposium. – 1–4 August 2010. – P. 304–307.

33. Norsworthy S. R. Delta –Sigma Data Converters: Theory, Design and Simulation / S. R. Norsworthy, R. Schreider, G. C. Temes. – NY : IEEE Press, 1997. – P. 476. – ISBN 078-031-045-4.
34. Nios II Processor: The World's Most Versatile Embedded Processor [Електронний ресурс] / Altera Corporation // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.altera.com/devices/processor/nios2/ni2-index.html>
35. Pace P. E. Optimum analog preprocessing for folding ADC's / P. E. Pace, J. L. Schafer // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – February, 1997. – Vol. 42. – P. 825–829. – ISSN: 1057-7130.
36. Practical Analog Design Technique. Chapter 4 [Електронний ресурс] / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/seminars_webcasts/3689212352_2623Section4.pdf
37. Rombouts P. A digital error-averaging technique for pipelined A/D conversion / P. Rombouts, L. Weyten // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – September 1998. – Vol. CAS-45. – P. 1321–1323. – ISSN: 1057-7130.
38. Rombouts P. Comments on «Interstage Gain-Proration Technique for Digital-Domain Multistep ADC Calibration» / P. Rombouts, L. Weyten // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – August, 1999. – Vol. CAS-46. – P. 1114–1116. – ISSN: 1057-7130.
39. Rudy J. Van De Plassche. A Monolithic 14 Bit A/D Converter / J. Van De Plassche Rudy, J. Schouwenaars Hans // IEEE Journal of Solid State Circuits. – December, 1982. – Vol. SC-17, No. 6. – P. 1112–1117. – ISSN: 0018-9200.
40. Rudy J. Van De Plassche. A Monolithic 14 Bit D/A Converter / J. Van De Plassche Rudy, Goedhart Dick // IEEE Journal of Solid State Circuits. – Jun, 1979. – Vol. SC – 14, No. 3. – P. 552–556.
41. Shenglei Wang. A novel adaptive delay-tracking ADC for DVS power management applications / Shenglei Wang, Yuan Gao, Haiqi Li // Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), 2011 IEEE International Symposium – November 30 2011–December 2 2011. – Beijing. – P. 65–68.
42. Stanley P. Lipshitz; John Vanderkooy. Why 1-Bit Sigma-Delta Conversion is Unsuitable for High-Quality Applications [Електронний ресурс] / Audio Engineering Society. – May, 2001. – ISSN 0004-7554. – Режим доступу : <http://sjeng.org/ftp/SACD.pdf>
43. Static and dynamic characteristics of the self-calibrating multibit ADC analog components [Електронний ресурс] / O. D. Azarov, O. V. Dudnyk, M. Duk, D. Porubov // Proc. SPIE 8698, Optical Fibers and

Their Applications 2012, January 11, 2013. – Режим доступа : <http://dx.doi.org/10.1117/12.2019737>

44. Steve Ruscak. Using Histogram Techniques to Measure A/D Converter Noise / Ruscak Steve, Singer Larry // Analog Dialogue. – 1995. – Vol. 29-2. – P. 35–41. – ISSN: 0161-3626.

45. Walt Kester. Basic Characteristics Distinguish Sampling A/D Converters / Kester Walt // EDN. – September 3, 1992. – P. 135-144.

46. Walt Kester. Drive Circuitry is Critical to High-Speed Sampling ADCs / Kester Walt // Electronic Design Special Analog Issue. – November 7, 1994. – P. 43–50.

47. Walt Kester. Grounding in High Speed Systems / Kester Walt, Bryant James // High speed design techniques. – 1999. – P. 6. – Режим доступа : http://www.analog.com/static/imported-files/seminars_webcasts/36710482603_117527_507217348021sect7b.pdf

48. Walt Kester. High speed sampling and high speed ADC / Kester Walt // High speed design techniques. – Analog Devices Inc. – 1999. – P. 93.

49. Walt Kester. Layout, Grounding, and Filtering Complete Sampling ADC System / Kester Walt // EDN. – October 15, 1992. – P. 127–134.

50. Walt Kester. Peripheral Circuits Can Make or Break Sampling ADC Systems / Kester Walt // EDN. – October 1, 1992. – P. 97–105.

51. Walt Kester. Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning [Электронный ресурс] / Kester Walt // Analog Devices. – ISBN 0-916550-20-6. – Режим доступа : [http://www.analog.com/static/imported-files/seminars_webcasts/Op%20Amp%20Applications%20Book%20\(PDF\)/P2%20Ch4_final.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/seminars_webcasts/Op%20Amp%20Applications%20Book%20(PDF)/P2%20Ch4_final.pdf)

52. Wannamaker R. A. Theory of Nonsubtractive Dither / R. A. Wannamaker, S. P. Lipshitz, J. Vanderkooy // IEEE Transactions On Signal Processing. – Vol. 48. – February, 2000. – P. 499–516.

53. ZN433 10-bit tracking a to d converter [Электронный ресурс] / Ferranti Semiconductors // Режим доступа : <http://www.datasheetarchive.com/dataframe.php?file=Document204177.pdf&dir=Databooks-5&part=ZN433#>

54. А. с. 1439751 СССР, Н03 М 13/12. Преобразователь двоичного кода в код Фибоначчи / А. П. Стахов, В. А. Лужецкий, П. В. Козлюк, И. М. Попович; заявитель и патентообладатель Винницкий политехнический институт. – № 4076283/24-24 ; заявл. 09.06.86; опубл. 23.11.88, Бюл. № 43.

55. А. с. 662932 СССР, G 06 F 5/00. Преобразователь р-кода Фибоначчи в двоичный код / А. П. Стахов, Н. А. Соляниченко; заявитель и патентообладатель Винницкий политехнический институт. - № 2386002/18-24 ; заявл. 02.08.76; опубл. 15.05.79, Бюл. № 18.

56. А. с. 662933 СССР, G 06 F 5/00. Преобразователь кодов / А. П. Стахов, Н. А. Соляниченко; заявитель и патентообладатель Винницкий политехнический институт. - № 2386002/18-24; заявл. 02.08.76; опубл. 15.05.79, Бюл. № 18.

57. Азаров А. Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.11.16 / А. Д. Азаров. – Харьков, 1980. – 16 с.

58. Азаров О. Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових систем числення з ваговою надлишковістю : моногр. / О. Д. Азаров. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 232 с. – ISBN 978-966-641-354-6.

59. Азаров О. Д. Багатоканальні ІВС опрацювання стрибкоподібних сигналів на базі АЦП із ваговою надлишковістю : моногр. / О. Д. Азаров, А. В. Снігур. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 138 с. – ISBN: 978-966-641-244-0.

60. Азаров О. Д. Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов : моногр. / О. Д. Азаров, О. В. Кадук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 150 с.

61. Азаров О. Д. Високолінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю : моногр. / О. Д. Азаров, О. А. Архипчук, С. М. Захарченко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с. – ISBN 966-641-112-1.

62. Азаров О. Д. Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокалібруються : моногр. / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 156 с. – ISBN 978-966-641-435-2.

63. Азаров О. Д. Методи задання робочих точок проміжних каскадів двотактних підсилювачів постійного струму / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага // Проблеми інформатизації та управління. – 2009. – № 1(25). – С. 6–14. – ISSN: 2073-4751.

64. Азаров О. Д. Обчислювальні АЦП і ЦАП, що самокалібруються, для систем цифрового оброблення аналогових сигналів : моногр. / О. Д. Азаров, О. О. Коваленко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 147 с. – ISBN 966-641-171-7.

65. Азаров О. Д. Методичні похибки самокалібрування АЦП послідовного наближення із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. В. Кадук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 5(117). – С. 12–17. – ISSN 2226-9150.

66. Азаров О. Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення : моногр. / О. Д. Азаров. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.

67. Азаров О. Д. Системи числення з ваговою надлишковістю для швидкодіючих АЦП послідовного наближення і ЦАП, що самокалібруються [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, С. В. Богомолів // Електронне наукове фахове видання «Наукові праці ВНТУ». – 2008. – № 3. – С.1–8. – ISSN: 2307-5384. – Режим доступу : http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-3/2008-3.files/uk/08odafsc_ua.pdf

68. Азаров О. Д. Методи побудови ЦАП із ваговою надлишковістю на базі двійкових ЦАП / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага // Проблеми інформатизації та управління. – 2006. – № 3. – С. 5–11.

69. Азаров О. Д. Оцінювання міжкалібрувального інтервалу для багаторозрядних ЦАП і АЦП порозрядного перетворення із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. В. Кадук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – № 1(14). – С. 5–12.

70. Азаров О. Д. Характеристика перетворення порозрядного АЦП, що самокалібрується, побудованого на неточному ЦАП із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. В. Кадук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 3(10). – С. 8–18.

71. Азаров О. Д. Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов : моногр. / О. Д. Азаров, О. В. Кадук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 150 с.

72. Азгальдов Г. Г. О квалиметрии / Г. Г. Азгальдов, Э. И. Райхман. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 17 с.

73. Алекс М. Введение в .NET 4.0 и Visual Studio 2010 для профессионалов / М. Алекс. – Нью-Йорк : Apress Inc., 2010. – 416 с. – ISBN 978-5-8459-1639-6.

74. Алипов Н. В. Об одном классе корректирующих алгоритмов аналого-цифрового преобразования / Н. В. Алипов // Радиотехника. – 1985. – № 1. – С. 120–125.

75. Алипов Н. В. Разработка теории методов решения задач мехоустойчивого поиска и преобразования информации : автореф.

дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук: спец. 05.13.05 / Н. В. Алипов. – Харьков, 1986. – 54 с.

76. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8 / М. А. Амелина, С. А. Амелин. – М. : Горячая линия–Телеком, 2007. – 464 с. – ISBN: 978-5-93517-339-5.

77. Бабаян Р. Р. Исследование и разработка принципов построения аналого-цифровых преобразователей высокой точности и быстродействия следящего типа / Р. Р. Бабаян, Д. Е. Полонников // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2002. – № 7. – С. 32. – ISSN 0032-8154.

78. Бабаян Р. Р. Разработка и исследование АЦП следящего типа высокой точности и быстродействия / Р. Р. Бабаян, В. П. Морозов // Датчики и системы. – 2008. – № 9. – С. 38–40. – ISSN 1992-7185.

79. Бабаян Р. Р. Экспериментальные исследования следящего преобразователя аналог-цифра высокой точности / Р. Р. Бабаян // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2002. – № 1. – С. 43. – ISSN 0032-8154.

80. Багацкий В. А. Преобразователи формы информации с обработкой данных / В. А. Багацкий, Ю. М. Грешищев, И. В. Самус. – К. : Наукова думка, 1992. – 264 с.

81. Багацкий В. А. Современные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи / В. А. Багацкий – К. : О-во «Знание» УССР, 1980. – 21 с.

82. Багацкий В. А. Теория построения, проектирования и практическая реализация аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей общего применения : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.13.08 / В. А. Багацкий. – К., 1994. – 35 с.

83. Балашов Е. П. Аналоговые ЗУ управляющих и вычислительных систем / Е. П. Балашов, В. М. Сидоров, В. Б. Смоллов // Хранение информации в кибернетических устройствах. – 1969. – № 2. – С. 223–235.

84. Балашов Ю. Аналого-цифровые преобразователи в приборах регистрации биопотенциалов / Ю. Балашов, Д. Козлов // CHIP NEWS Украина. Инженерная микроэлектроника. – 2003. – № 2. – С. 40–44.

85. Бесекерский В. А. Системы автоматического управления с микроЭВМ / В. А. Бесекерский, В. В. Изранцев. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1987. – 320 с.

86. Біліченко Н. О. Високоточні аналого-цифрові перетворювачі з перерозподілом заряду на основі інформаційної надлишковості : авто-

реф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.05 / Н. О. Біліченко. – Вінниця, 2001. – 16 с.

87. Васильев К. К. Теория автоматического управления (следящие системы): учеб. пособ. 2-е изд. / К. К. Васильев. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 97 с. – ISBN 5-89146-234-6.

88. Вклад Украины в развитие системных преобразователей формы информации / [А. И. Кондалев, В. А. Романов, В. А. Багацкий, П. С. Клочан] // Труды междунар. симпозиума «Компьютеры в Европе. Прошлое, настоящее и будущее». – К.: ИК НАН Украины. – 1998. – 130 с.

89. Водічев В. А. Аналого-цифровий регулятор режиму металлообробки для верстатів з числовим програмним керуванням / В. А. Водічев // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2003. – № 1(11). – С. 86–91. – ISSN 2076-2887.

90. Володарский Е. Т. Планирование, организация измерительного эксперимента / Е. Т. Володарский, Б. Н. Малиновский, Ю. М. Туз. – К.: Вища школа, 1987. – 280 с.

91. Вонятыцкий А. Ю. Статистические модели ЦАП на источниках тока / А. Ю. Вонятыцкий, А. И. Кондалев. – К.: ИК, 1988. – 21 с.

92. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / [А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев]. – К.: Наукова думка, 1987. – 280 с.

93. Гитис Э. И. Автоматизация проектирования аналого-цифровых устройств / Э. И. Гитис, Б. Л. Собкин, А. Н. Подколзин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 182 с.

94. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи / Э. Гитис, Е. Пискулов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.

95. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств / Э. И. Гитис. – М.: Энергия, 1975. – 448 с.

96. Грушвицкий Р. И. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем / Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, В. Б. Смоллов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 160 с.

97. Грушвицкий Р. И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, Е. П. Угрюмов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с. – ISBN: 5-94157-002-3.

98. Дудник О. В. Комп'ютерна програма «Моделювання процедури калібрування АЦП слідкувального типу з ваговою надлишковіс-

ттю» / 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.

99. 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.

100. 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 2009 р. : тези доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – Режим доступу : <http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2009/initki/txt/dudnyk.pdf>.

101. 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.

102. 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.

103. 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. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – С. 198–200.

104. 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.

105. 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, 9–12 березня 2010. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – Режим доступу : <http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2010/initki/txt/dydnuk.pdf>.

106. Дудник О. В. Перетворення «цифровий еквівалент – робочий код – аналог» в ЦАП, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, А. О. Росощук // Міжнародна науково-технічна конференція «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ», 19–21 травня 2009. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 356–358.

107. Дудник О. В. Перетворювачі форми інформації, що самокалібруються, із 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. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – С.31.

108. Дудник О. В. Статичні похибки АЦП слідкувального типу із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. В. Кадук, О. В. Дудник // Проблеми інформатизації та управління. – К. : НАУ, 2012. – № 3. – С. 7–13. – ISSN: 2073-4751.

109. Дудник О. В. Статичні похибки багаторозрядних ПФІ з ваговою надлишковістю, що самокалібруються [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, І. К. Ходжаніязов // XXXIX науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, 9–12 березня, 2010 року. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – Режим доступу : http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2010/initki/txt/dydnuk_xodganiyazov.pdf.

110. 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.

111. Захарченко С. М. Самокалібровані АЦП із накопиченням заряду на основі надлишкових позиційних систем числення : моногр. / С. М. Захарченко, О. Д. Азаров, О. М. Харьков. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 235 с. – ISBN 966-641-141-5.

112. Изерман Р. Цифровые системы управления : пер. с англ. / Р. Изерман. – М. : Мир, 1984. – 541 с.

113. Кондалев А. И. Вопросы проектирования преобразователей формы информации / А. И. Кондалев. – К. : Наукова думка, 1977. – 242 с.

114. Кондалев А. И. Комбинированный аналого-цифровой преобразователь / А. И. Кондалев, М. Е. Овчарук, М. П. Сиверский // Уст-

ройства и элементы систем автоматизации научного эксперимента. – Новосибирск, 1970. – С. 331–335.

115. Кондалев А. И. Преобразователи формы информации для контрольно-измерительных систем и вычислительных комплексов / А. И. Кондалев, П. С. Клочан, В. Н. Лаврентьев // Проблемы создания преобразователей формы информации. – К. : Наукова думка, 1980. – Ч. 2. – С. 12–20.

116. Кондалев А. И. Преобразователи формы информации компьютерного типа / А. И. Кондалев. – К. : Знание, 1990. – 46 с.

117. Кондалев А. И. Системные преобразователи формы информации / А. И. Кондалев. – К. : Наукова думка, 1974. – 334 с.

118. Коннели Дж. Аналоговые интегральные схемы. Элементы, схемы, системы, применение / Дж. Коннели. – М. : Мир, 1977. – 430 с.

119. Крупельницький Л. В. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : моногр. / Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 167 с. – ISBN 966-641-126-1.

120. Кудрявцев В. В. Исследование и разработка следящих аналого-цифровых преобразователей в системе ввода линии ЭВМ : автореф. дис. канд. техн. наук / В.В. Кудрявцев – Л., 1980. – 18 с.

121. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования / И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус – К. : Вища школа, 1986. – 238 с.

122. 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.

123. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / [Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк]. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с. – ISBN 966-574-079-2.

124. Моисеев В. С. Системное проектирование преобразователей информации / В. С. Моисеев. – Л. : Машиностроение : Ленингр. отделение, 1982. – 255 с.

125. Мурсаев А. Х. Точные ключи, операционные устройства запоминания напряжений на канальных транзисторах / А. Х. Мурсаев, В. Б. Смоллов, Е. П. Угрюмов – Л. : ЛДНТП, 1972. – 30 с.

126. Муттер В. М. Абсолютная устойчивость нелинейных систем судовой автоматики / В. М. Муттер. – Л. : Судостроение, 1973. – 168 с.

127. Муттер В. М. Анализ влияния неточности изготовления резисторов на погрешность параллельных делителей / В. М. Муттер // Микропровод и приборы сопротивления. – 1972. – № 9. – С. 169–178.

128. Муттер В. М. Достаточные условия устойчивости цифровых автоматических приборов следящего уравнивания / В. М. Муттер // Новосибирск : Автометрия, 1971. – № 4. – С. 132–136.

129. Муттер В. М. Исследование периодических движений следящих АЦП на фазовой плоскости / В. М. Муттер // Контрольно-измерительная техника. – 1971. – № 11. – С. 16–23.

130. Муттер В. М. Классификация и обобщенная структурная схема аналого-цифровых следящих преобразователей / В. М. Муттер // Контрольно-измерительная техника. – 1970. – № 9. – С. 8–14.

131. Муттер В. М. Комбинированные преобразователи напряжения в код с совмещением режимов слежения и поразрядного уравнивания / В. М. Муттер // Контрольно-измерительная техника. – 1973. – № 14. – С. 109–113.

132. Муттер В. М. Аналого-цифровые следящие системы / В. М. Муттер. – Л. : Энергия, 1974. – 312 с.

133. Нарытник Т. Н. Преимущества и перспективы развития микроволновых распределительных сетей на основе технологий МИТРИС и DOCSIS [Электронный ресурс] / Т. Н. Нарытник, П. Я. Ксьонзенко, П. В. Химич // Проблемы телекоммуникацій. – 2012. – № 4(9). – С. 104–128. – ISSN 2220-6922. – Режим доступа : http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_narytnik_mitris.pdf

134. Орнатский Е. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Е. П. Орнатский. – К. : Вища школа, 1976. – 432 с.

135. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатский. – [5-е изд., перераб. и доп.] – К. : Вища школа, Головное изд-во, 1986. – 504 с.

136. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.

137. Пат. Сполучених Штатів Америки № 20120062204 A1. G05B 24/02. Digital Voltage Converter Using A Tracking ADC / Dieter Draxelmaur; заявник і патентовласник Infineon Technologies Ag. – Заявл. 15.09.2010; опубл. 15.03.2012.

138. Пат. Сполучених Штатів Америки № 7710092 B2. G05F 1/40. Self tracking ADC for digital power supply control systems / Alain

Charpuis; заявник і патентовласник Shuyu Lei. Power-One, Inc.– Заявл. 22.10.2007; опубл. 22.05.2010.

139. Пат. Сполучених Штатів Америки № 8358231B2. H03M 1/34. Tracking analog-to-digital converter (ADC) with a self-controlled variable clock / Dirt Killat, Huang Yan; заявник і патентовласник Dialog Semiconductor GmbH. – Заявл. 05.11.2011; опубл. 10.22.2013.

140. Пат. України на корисну модель № 38501: (51) МПК (2009) H 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.

141. Пат. України на корисну модель № 48282: (51) МПК (2009) H 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.

142. Пат. України на корисну модель № 50244: (51) МПК (2009) H 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струму / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, С. В. Богомоллов; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200913620; заявл. 25.12.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл № 10.

143. Пат. України на корисну модель № 50245: (51) МПК (2009) H 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струму / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, С. В. Богомоллов; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200913621; заявл. 25.12.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл № 10.

144. Пат. України на корисну модель № 51014: (51) МПК (2009) H 03 К 5/22 Буферний каскад / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, С. В. Богомоллов, О. В. Кадук; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201000934; заявл. 29.01.2010; опубл. 25.06.2010, Бюл № 12.

145. Пат. України на корисну модель № 51224: (51) МПК (2009) H 03 К 5/22 Буферний каскад / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, С. В. Богомоллов; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200913561; заявл. 25.12.2009; опубл. 12.07.2010, Бюл № 13.

146. Пат. України на корисну модель № 51963: (51) МПК (2009) H 03 К 5/22 Двотактний симетричний підсилювач струмів / О. Д. Азаров, О. В. Дудник, С. В. Богомоллов; заявник і патентовласник Вінни-

цький національний технічний університет. – № u201000930; заявл. 29.01.2010; опубл. 10.08.2010, Бюл № 15.

147. Пат. 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.

148. Пат. 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.

149. Пат. 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.

150. Пат. 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.

151. Пат. України на корисну модель № 70191: (51) МПК Н 03 К 3/011. Генератор компенсуючого 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.

152. Пат. України на корисну модель № 71304: (51) МПК Н 03 К 3/011. Генератор компенсуючого 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.

153. Пат. 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.

154. Пат. України на корисну модель № 76520: (51) МПК Н 03 К 3/011. Генератор компенсуючого сигналу / О. Д. Азаров, О. В. Дуд-

ник, М.В. Пономарьова; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201206585; заявл. 30.05.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл № 1.

155. Пат. 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. Росощук; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201015635; заявл. 24.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл № 14.

156. Пат. 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.

157. Пат. 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.

158. Пат. 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.

159. Пат. 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.

160. Петров Г. М. Преобразование информации в аналого-цифровых вычислительных устройствах и системах / Г. М. Петров, А. П. Лосев, Г. В. Москаленко. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.

161. Потемкин И. С. Функциональные узлы цифровой автоматики / И. С. Потемкин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.

162. Преобразователи формы информации для малых ЭВМ / [А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев]. – К. : Наукова думка, 1982. – 312 с.

163. 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.

164. Романов В. А. Аналого-цифровые микропроцессоры в информационно-вычислительных и управляющих системах / В. А. Романов. – К. : Знание, 1984. – 116 с.

165. Романов В. А. Теория, методы построения и техническая реализация микропроцессорных преобразователей формы информации с повышенной надежностью и производительностью : автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук: спец. 05.13.05 / В. А. Романов. – К., 1994. – 34 с.

166. Смоллов В. Б. Аналого-цифровые комплексы / В. Б. Смоллов, А. В. Анисимов, Р. Ш. Исмаилов. – Л. : ЛЭТИ, 1980. – 96 с.

167. Смоллов В. Б. Вычислительные преобразователи с цифровыми управляемыми сопротивлениями / В. Б. Смоллов. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 135 с.

168. Смоллов В. Б. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / В. Б. Смоллов. – Л. : Энергия, 1976. – 336 с.

169. Смоллов В. Б. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжений / В. Б. Смоллов, Н. А. Смирнов. – Л. : Энергия, 1967. – 312 с.

170. Смоллов В. Б. Функциональные преобразователи информации / В. Б. Смоллов. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 247 с.

171. Смоллов В. Б. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / В. Б. Смоллов, Е. П. Угрюмов, В. К. Шмидт. – Л. : Энергия, 1976. – 336 с.

172. Стахов А. П. Коды золотой пропорции / А. П. Стахов. – М. : Радио и связь, 1984. – 152 с.

173. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. / И. П. Степаненко. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с. – ISBN: 5-93208-045-0.

174. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов / В. Б. Стешенко. – М. : ДОДЭКА, 2000. – 128 с. – ISBN 5-94020-001-X.

175. Стиллмен Э. Изучаем С#. Включая С# .NET 4.0 и Visual Studio 2010 / Э. Стиллмен, Дж. Грин. – СПб. : Питер, 2012. – 698 с. – ISBN 978-545-900-422-9.

176. Технічний опис HFA3046/3096/3127/3128 Transistor Array SPICE Models: Application Note [Електронний ресурс] / Intersil // Режим доступу : http://pdf.eicom.ru/datasheets/intersil_pdfs/hfa3046_3096_3127_3128/hfa3046_3096_3127_3128.pdf

177. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк. – М. : ДМК Пресс, 2008. – Т. 2. – 942 с. – ISBN: 5-94074-148-7.

178. Туз Ю. М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Ю. М. Туз. – К. : Вища школа. Головное изд-во, 1976. – 285 с.

179. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника / Е. П. Угрюмов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 528 с. – ISBN: 978-5-9775-0162-0.

180. Универсальный генератор сигналов Rigol DG1022 [Електронний ресурс] / RIGOL Technologies. – Режим доступу : http://www.rigol.com.ua/nfs/product/815690/file/RIGOL_DG1000.pdf

181. Уолт Кестер. Аналого-цифровое преобразование / Кестер Уолт. – М. : Техносфера, 2007. – 1019 с. – ISBN 978-594-836-146-8.

182. Федосов В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW / В. П. Федосов, А. К. Нестеренко. – М. : ДМК-Пресс, 2007 – 256 с. – ISBN 583-270-269-7.

183. Харьков О. М. Швидкодіючі високоточні АЦП із перерозподілом заряду з ваговою надлишковістю, що самокалібруються : автореф. дис на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.05 / О. М. Харьков. – Вінниця, 2007. – 16 с.

184. Цифровой осциллограф RIGOL DS1052E [Електронний ресурс] / RIGOL Technologies. – Режим доступу : http://www.rigol.com.ua/nfs/product/813435/file/RIGOL_DS1000DE.pdf

185. Чернявский Е. А. Системы автоматизированного проектирования средств ИИТ / Е. А. Чернявский, В. Б. Смоллов, А. В. Минаев. – Л. : ЛЭТИ, 1988. – 58 с.

186. Швецкий Б. И. Электронные цифровые приборы / Б. И. Швецкий ; 2-е изд, перераб. и доп. – К. : Техника, 1991. – 191 с. – ISBN 5-335-00807-5.

Наукове видання

**Азаров Олексій Дмитрович
Дудник Олександр Вікторович**

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИСОКОТОЧНОГО
СЛІДКУВАЛЬНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО
ПЕРЕТВОРЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено О. Дудником

Підписано до друку 20.10.2014 р.
Формат 29,7×42 1/4. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 6,93.
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2014-38.

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.