

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага

**ВИСОКОПРОДУКТИВНІ АЦП
ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ
ЗІ ЗМІННИМИ ТРИВАЛОСТЯМИ ТАКТІВ
ПОРОЗРЯДНОГО КОДУВАННЯ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2012

УДК 004.386: 621.3.087.92

ББК 32.973

A35

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 6 від 26 січня 2012 року)

Рецензенти:

Володарський Є. Т., доктор технічних наук, професор

Філінюк М. А., доктор технічних наук, професор

Азаров, О. Д.

A35 Високопродуктивні АЦП із ваговою надлишковістю зі змінними тривалостями тактів порозрядного кодування: монографія / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 154 с.

ISBN 978-966-641-486-4

У монографії розглянуто питання побудови високопродуктивних ЦАП із ваговою надлишковістю та змінними тривалостями тактів порозрядного наближення. У роботі досліджуються запропоновані методи підвищення продуктивності порозрядних ЦАП із ваговою надлишковістю. Книга розрахована на науковців, аспірантів та інженерів, які займаються розробкою високоточних швидкодіючих аналого-цифрових перетворювачів.

УДК 004.386: 621.3.087.92

ББК 32.973

ISBN 978-966-641-486-4

© О. Азаров, О. Решетнік, В. Гарнага, 2012

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО КОДУВАННЯ.....	10
1.1. Визначення і оцінювання продуктивності сучасних пе- ретворювачів аналог–код.....	10
1.2. Вимоги до динамічних характеристик пристроїв бага- торозрядного високопродуктивного кодування.....	13
1.3. Методи підвищення продуктивності багаторозрядних АЦП порозрядного кодування з ваговою надлишковістю.....	26
РОЗДІЛ 2 МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО КОДУВАННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКО- ВІСТЮ.....	40
2.1. Метод високопродуктивного аналого-цифрового пере- творення зі змінними тривалостями тактів порозрядного кодування	40
2.2. Статичні і динамічні похибки АЦ-перетворення, що реалізується із застосуванням операції порівняння з регу- льованою чутливістю	47
2.3. Математичні моделі похибок усталення на основі рів- нянь балансу при прискореному порозрядному аналого- цифровому перетворенні	62
2.4. Оптимізація параметрів АЦП із змінними тривалостя- ми тактів прискореного порозрядного кодування.....	68

РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ АЦП ІЗ ЗМІННИМИ ТРИВАЛОСТЯМИ ТАКТІВ ПРИСКОРЕНОГО ПОРОЗРЯДНОГО ВРІВНОВАЖЕННЯ	76
3.1. Аналіз структур і алгоритмів функціонування АЦП із змінними тривалостями тактів прискореного порозрядного кодування	76
3.1.1. АЦП на основі СЧВН $\{1, 0\}$	76
3.1.2. АЦП, що реалізує алгоритм «тільки вмикання» на базі СЧВН $\{1, -1\}$	78
3.2. Методи побудови ЦАП із ваговою надлишковістю	80
3.3. Структурно-функціональна організація генераторів тактових імпульсів змінної тривалості	89
3.4. Порівняльні оцінки швидкодії АЦП із постійними і змінними тривалостями тактів порозрядного кодування	90
РОЗДІЛ 4 АНАЛОГОВІ ВУЗЛИ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ АЦП НА БАЗІ ДВОТАКТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ СТРУМУ	92
4.1. Двотактні підсилювачі постійного струму	92
4.2. Структурно-функціональна організація швидкодуючої схеми порівняння з регульованою чутливістю	101
4.3. Підсилювач різниці для високочутливого компаратора	104
4.4. Буферні пристрої на базі двотактних підсилювачів постійного струму	108

РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОЕКТУВАННЯ АЦП ІЗ ЗМІННИМИ ТРИВАЛОСТЯМИ ТАКТІВ ПРИСКОРЕНОГО ПОРОЗРЯДНОГО КОДУВАННЯ	112
5.1. Рекомендації з проектування генераторів тривалостей тактів у високопродуктивному АЦП порозрядного коду- вання з ваговою надлишковістю	112
5.2. Рекомендації щодо застосування прикладного програ- много забезпечення для моделювання прискореного поро- зрядного аналого-цифрового перетворення	114
5.3. Комп'ютерне моделювання динамічних характеристик багаторозрядного АЦП із ваговою надлишковістю	120
5.4. Практична реалізація високопродуктивних АЦП із змінними тривалостями тактів порозрядного кодування	124
Додаток А Схема вузлів АЦП із змінними тривалостями тактів порозрядного кодування з ваговою надлишковістю	130
Література	131

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦ – аналого-цифровий;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
БК – блок керування;
БФС – блок форсуючих сигналів;
ЕОМ – електронна обчислювальна машина;
НЗЗ – нелінійний зворотний зв'язок;
НПСЧ – надлишкові позиційні системи числення;
ПВР – пристрій виділення різниці;
ПЕ – пороговий елемент;
ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій;
ПЛЧ – програмований лічильник;
ППС – підсилювач постійного струму;
ПР – підсилювач різниці;
ПТГ – первинний тактовий генератор;
ПФІ – перетворювач форми інформації;
РПН – регістр послідовного наближення;
СП – схема порівняння.
СЧВН – системи числення з ваговою надлишковістю;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ВСТУП

У рамках існуючих типів перетворювачів форми інформації (ПФІ), аналого-цифрові перетворювачі порозрядного наближення становлять значну питому вагу серед сучасних типів АЦП [1]. Їх зазвичай класифікують як пристрої загального використання. Вони мають переважно середню швидкодію, порівняно невеликі апаратні витрати і забезпечують досить високу роздільну здатність на рівні 14–18 розрядів. АЦП послідовного наближення найчастіше використовуються в багатоканальних системах збору й обробки даних. Такі АЦП не мають затримки, характерної для конвеєрних АЦП, що дозволяє використовувати їх при кодуванні неперіодичних процесів у режимі одиничних вимірювань. Лінійність порозрядного АЦП залежить від якості внутрішнього ЦАП. У сучасних перетворювачах використовуються ЦАП, переважно, на основі генераторів струмів та на основі комутованих конденсаторів, тобто такі, в яких на відміну від резистивних немає потреби в лазерному припасуванні ваг розрядів.

Підвищення швидкодії цього класу перетворювачів інформації розширить сферу їх використання. Відомо, що переважна більшість сучасних АЦП порозрядного наближення виконуються на основі двійкової системи числення, що накладає на прилади фундаментальні обмеження особливо в рамках підвищення швидкодії. З іншого боку, висока роздільна здатність вказаних АЦП вимагає застосування високочутливих вхідних буферів, перетворювачів напруга–струм, а також високочутливих схем порівняння струмів, які мають можливість працювати у широкому динамічному діапазоні вхідного сигналу.

Перспективним є підхід щодо збільшення швидкодії порозрядних АЦП шляхом скорочення тривалостей тактів врівноваження. При цьому постає задача компенсації статичних та динамічних похибок перетворення, що виникли внаслідок скорочення тривалостей тактів. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є побудова АЦП з ваговою надлишковістю.

Використання вагової надлишковості дає можливість значного (на порядок і більше) підвищення продуктивності порозрядного аналого-

цифрового перетворення за рахунок компенсації динамічних похибок першого і другого роду, що виникають у процесі порозрядного аналого-цифрового перетворення при збереженні роздільної здатності [1, 2].

Відомо підходи до підвищення швидкодії двійкових АЦП порозрядного врівноваження на основі застосування змінних тривалостей тактів, описані в роботах В. В. Островерхова [3]. Проте вигаши від застосування запропонованих методів є незначним, 15–20 %. Загальні принципи побудови та покращення характеристик АЦП досліджувалися та розроблялися науковими школами колишнього СРСР, Росії, США та України. Вирішенням питання підвищення продуктивності та швидкодії перетворювачів форми інформації займалися наукові школи А. І. Кондалєва [4–20], П. П. Орнатського [21–25], Б. Й. Швецького [26]. Також слід відзначити, що покращенням метрологічних характеристик ПФІ, а також систем, до яких вони входять, займалися Ю.М.Туз, Є.Т.Володарський [27–29]. Загальні принципи побудови та покращення характеристик АЦП досліджували В. Б. Смолів [30–39], Е. І. Гітіс [40–43] та інші.

Разом з радянськими і українськими науковцями, питанням покращення характеристик порозрядних АЦП із постійною тривалістю тактів займалися відомі науковці США, зокрема: Ф. Гудінаф [44] та В. Кестер [45–50] з корпорації Analog Device, З. Боєсиглер та С. Соколов [51–54] з Intersil Inc., Руді Дж. Ван Де Плаше, Х. Ван Дер Плог, Г. Хукзед, Хенк А. Х. Тірмір, М.Вертріх та Ральф Л. Д. Роверс [55] з Philips а також співробітники науково-дослідних підрозділів корпорацій Texas Instruments Inc., Burr-Brown, MAXIM, Linear Technology Corporation, Intel Corporation [56–72]. Варто зазначити, що фірми Intersil, Siemens та Crystal Semiconductor Corporation проводять дослідження ПФІ з ваговою надлишковістю [52, 73–77].

Створенням високопродуктивних порозрядних АЦП з ваговою надлишковістю з 70-х років минулого століття займається наукова школа професора О. Д. Азарова у Вінницькому національному технічному університеті [1, 2, 78–82]. Проте в запропонованих підходах вагова надлишковість використовується нераціонально. Водночас частину надлишковості можна використати на компенсацію статичних

похибок схеми порівняння, що виникають внаслідок зниження чутливості.

Завдяки використанню спеціальної схеми порівняння аналогових сигналів, швидкодія, точність та чутливість якої змінюється на кожному такті врівноваження є можливість організувати процес порозрядного врівноваження зі змінними тривалостями тактів. Основна ідея такого врівноваження полягає в тому, що тривалість тактів повинна зростати від старших до молодших. На коротких старших тактах чутливість схеми порівняння погана, але швидкодія висока. На молодших довгих тактах чутливість схеми порівняння висока, але швидкодія погана. Причому останній (наймолодший такт) має найдовшу тривалість порівнянню з тривалістю такту порозрядного АЦП з постійними тривалостями тактів.

Використання змінних тривалостей тактів порозрядного наближення в процесі аналого-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю дозволяє значно підвищити продуктивність процесу аналого-цифрового перетворення із збереженням роздільної здатності. У ПФІ з ваговою надлишковістю є можливість у комплексі разом із підтриманням заданої точності в АЦП побудованих на неточних елементах підвищувати швидкодію в 5–10 разів за рахунок компенсації динамічних похибок, що виникають під час врівноваження [2]. Але такий підхід до підвищення швидкодії порозрядних АЦП зі збереженням роздільної здатності є новим та недослідженим, таким чином, науково-технічна задача, пов'язана зі створенням нового класу високопродуктивних багаторозрядних АЦП зі змінними тривалостями тактів порозрядного наближення з ваговою надлишковістю, є актуальною [83–134].

Автори будуть вдячні за відгуки на монографію, а також за побажання з приводу подальшого розвитку досліджень.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО НАБЛИЖЕННЯ

1.1. Визначення і оцінювання продуктивності сучасних перетворювачів аналог–код

Закордонні виробники АЦП і ЦАП наводять не велику кількість інформації про кожен пристрій [135, 140–143, 145–153, 154, 171, 172]. Основними параметрами, що відносяться до продуктивності ПФІ є кількість розрядів та кількість перетворень за секунду. Варто зазначити, що часто можна спостерігати невідповідність похибок перетворення декларованій роздільній здатності. Для того, щоб визначити реальну роздільну здатність слід звернути увагу на такі параметри як інтегральна нелінійність, диференціальна нелінійність, відношення сигнал шум та ефективну кількість розрядів. До того ж має значення режим при якому знімалися вказані значення.

Оцінювання продуктивності ПФІ є нетривіальною задачею. Метод оцінювання залежить від конкретного застосування для якого проводиться вибір ПФІ. Вирішенням питання оцінювання та підвищення продуктивності перетворювачів інформації займалась наукова школа професора А. І. Кондалева [5–20].

Продуктивність ПФІ не визначається лише його швидкодією. Продуктивність це результативність реалізації ними певних задач. Водночас швидкодія визначає лише швидкість виконання операцій [9]. Загальна продуктивність АЦП залежить від системи в якій він використовується. При проектуванні АЦП варто не лише ставити собі за мету досягнення високої продуктивності, а враховувати:

- об'єкт з яким буде працювати система в цілому;
- елементну базу для побудови пристрою;
- системні вимоги;
- відомості про досягнутий рівень в розвитку АЦП.

Існують різні способи визначення продуктивності: час виконання операцій, кількість операцій за одиницю часу, складні міри, що визна-

чаються цільовими функціями [9]. Пристрій може бути продуктивним або ні залежно від вимог, які до нього висуваються.

Ефективність ПФІ не повинна ототожнюватись з його конкретними параметрами, вона є функцією від всієї множини характеристик пристрою. Показник ефективності може навіть не мати конкретного фізичного змісту, але утилітарний сенс повинен бути завжди [9]. На практиці в якості показника ефективності часто використовують конкретні параметри пристрою. Проте такий підхід може використовуватись лише для спеціалізованих пристроїв, але не для АЦП загального використання.

Показники ефективності та продуктивності пов'язані. Критерієм ефективності може служити функція від основних параметрів перетворювача, при оптимальному значенні якої отримуємо максимальну продуктивність [9].

Існує методика оцінювання загальної якості АЦП [9]. Спочатку параметри АЦП нормуються, потім визначають їх вагові коефіцієнти та будується цільова функція.

Найбільшу вагу при визначенні продуктивності АЦП мають кількість розрядів (точність перетворення) та час перетворення (частота). Ці параметри перетворювача взаємопов'язані. Збільшення точності викликає зменшення швидкодії і навпаки. Побудувавши залежність частоти перетворення від розрядності для найкращих сучасних моделей АЦП отримаємо лінію, яка називається границею Перето [9]. При створенні нового АЦП з підвищеною продуктивністю є сенс рухатися цю границю лише в напрямку підвищення і швидкодії і точності, особливо для ПФІ загального використання. Варто зазначити, що підвищення продуктивності ПФІ можливе навіть без підвищення швидкодії та точності (можливо навіть з погіршенням цих параметрів), якщо при цьому суттєво зменшується вартість пристрою, зменшується споживана потужність, покращується утилітарність або покращується інший вагомий параметр пристрою.

Таким чином продуктивність АЦП можна визначати за таким законом:

$$P = W_1 \cdot R_1 + \dots + W_k \cdot R_k,$$

де k – кількість параметрів, які враховуються при оцінюванні; R_i – значення i -го параметра; W_i – вага i -го параметра [9].

Для порозрядних АЦП загального призначення основними параметрами, що впливають на продуктивність, є розрядність та частота дискретизації, враховуючи це маємо:

$$P = n \cdot F \cdot f(R_1, R_2, \dots, R_m),$$

де m – кількість додаткових параметрів, які враховуються при оцінюванні; n – кількість розрядів АЦП; F – частота дискретизації; $f(R_1, R_2, \dots, R_m)$ – функція, яка визначає підвищення продуктивності від додаткових параметрів АЦП.

Додаткові параметри можна враховувати, але їх вага не є великою, тому можна використовувати спрощену формулу для оцінювання, яку використовують виробники при порівнянні АЦП [134]:

$$P = n \cdot F.$$

Підвищення продуктивності ПФІ за допомогою вагової надлишковості є відносно новим методом. Проаналізуємо яким чином вагова надлишковість впливає на основні параметри АЦП і на продуктивність у цілому.

Вагова надлишковість виникає за умови певних співвідношень між вагами розрядів [1]. Для цього треба, щоб у розрядній сітці системи числення сума ваг молодших розрядів була більша за вагу старшого i -го розряду, тобто $Q_i < \sum_0^{i-1} Q_j$.

Прикладом системи числення з ваговою надлишковістю, зокрема, є система, в якій $Q_i = Q_{i-1} + Q_{i-2}$ (числа Фібоначі) [172] або коли відношенням ваг сусідніх розрядів $Q_i / Q_{i-1} = \alpha$. При цьому, якщо $\alpha \approx 1,618$ та $\alpha^i = \alpha^{i-1} + \alpha^{i-2}$.

Слід зазначити, що побудова багаторозрядних (12–18 двійкових розрядів) швидкодіючих аналого-цифрових перетворювачів порозрядного врівноваження є досить складною задачею. Це пов'язано з тим, що вага молодшого розряду такого АЦП повинна бути досить малою. До того ж значний вплив на роботу схеми мають динамічні похибки

першого та другого роду, а також шуми. Наприклад, в АЦП з кількістю розрядів $n=18$ і діапазоном вхідного сигналу $D_{\text{вх}} = \pm 2,5B$ роздільна здатність дорівнює 262144 квантів, а значення молодшого кванта при цьому є 19 мкВ [171, 173]. Водночас у цьому випадку чутливість повинна бути не гірша за половину молодшого кванта на рівні 9,5 мкВ. Проте серійні компаратори забезпечують чутливість по напрузі на рівні $U_{\text{min}} = 5$ мВ при часовій затримці спрацювання $t_{\text{max}} = 4$ нс [145, 147, 148, 170].

Завдяки застосуванню змінних тривалостей тактів врівноваження можна досягти значного скорочення загального часу врівноваження. Нажаль такий підхід неможливо застосувати для двійкової системи числення. Двійкова система числення не має вагової надлишковості і не здатна компенсувати статичні та динамічні похибки, що виникають внаслідок змінної тривалості тактів [1]. У цьому випадку на старших тактах врівноваження різниця між вхідним та компенсуючим сигналом $\Delta A(t) = A_{\text{вх}}(t) - A_{\text{к}}(t)$ потенційно може бути великою, на молодших же тактах значення цієї різниці зменшується. Відповідно чутливість схеми порівняння повинна поступово зростати від старших тактів $((n-1), (n-2), \dots)$ до молодших тактів $(\dots, 1, 0)$ [85].

В АЦП з ваговою надлишковістю підвищується точність та швидкодія, тобто продуктивність АЦП з ваговою надлишковістю буде більшою ніж у звичайного двійкового АЦП. Водночас, за підвищення точності та швидкодії потрібно чимось платити. В АЦП з ваговою надлишковістю збільшуються апаратні витрати на побудову ЦАП, схеми порівняння, блока керування та перетворювача кодів. Водночас, спрощується схема для самокалібрування.

1.2 Огляд динамічних характеристик пристроїв та елементної бази багаторозрядних АЦП порозрядного наближення

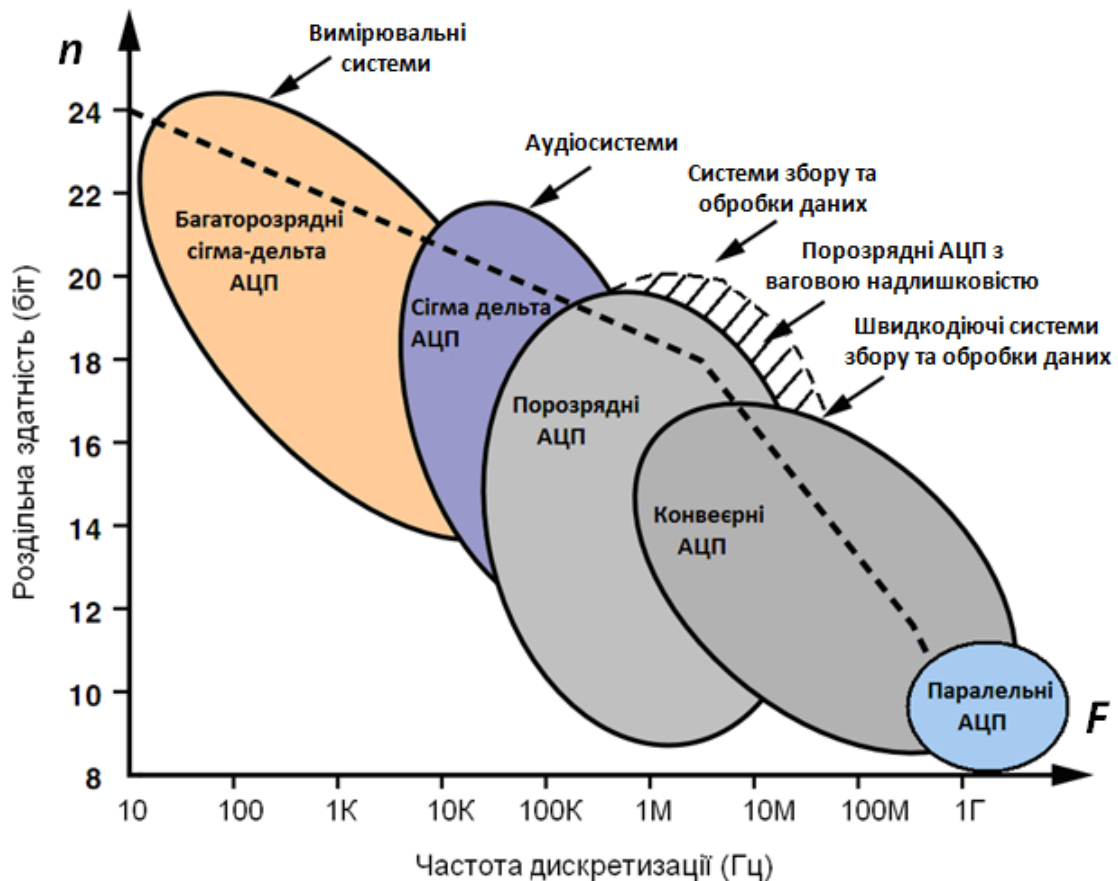
Провідне положення на ринку АЦП мають закордонні компанії, такі як: Analog Devices, Texas Instruments, Intersil, National Semiconductors, Linear Technologies, Maxim. На сучасному ринку АЦП

є величезна кількість пристроїв. АЦП виробляє близько двадцяти компаній, але безсумнівними лідерами є лише згадані вище [132]. Інші компанії виробляють пристрої низької продуктивності для обробки звуку.

Сучасні АЦП порозрядного врівноваження використовують у таких галузях [133]:

- системи обробки даних;
- прецизійні вимірювальні системи;
- цифровий звукозапис;
- сейсмозв'язка;
- різноманітні автоматичні системи;
- швидкодіючі системи збору даних.

На рис. 1.1 наведено граничні параметри різних типів АЦП по точності та частоті дискретизації.



Риснок 1.1 – Граничні параметри різних типів АЦП по точності та частоті

З рисунка видно, що можна підібрати різні типи АЦП з однаковими параметрами, проте вибір типу АЦП залежить від галузі застосування.

Порозрядні АЦП займають проміжне положення серед інших типів АЦП. Вони забезпечують високу швидкодію та точність (частота дискретизації 10 МГц при роздільній здатності 16 біт). Порозрядні АЦП найчастіше використовуються у багатоканальних системах збору і обробки даних. Такі АЦП не мають затримки, характерної для конвеєрних АЦП, що дозволяє використовувати їх в багатоканальному режимі або при кодуванні неперіодичних процесів в режимі одиничних вимірювань. Лінійність порозрядного АЦП залежить від якості внутрішнього ЦАП. У сучасних перетворювачах використовуються ЦАП на основі комутованих конденсаторів, такі матриці на відміну від резистивних не вимагають лазерного припасування ваг розрядів [133, 134]. Варто зазначити, що в порозрядних АЦП легко реалізувати режим само тестування та самокалібрування [1, 133].

Аналіз сучасних високопродуктивних АЦП порозрядного врівноваження показав, що більшість з них використовують самокалібрування для покращення точності ЦАП.

Сігма-дельта АЦП використовуються там де необхідна висока роздільна здатність та невисока швидкодія. Висока роздільна здатність дозволяє перетворювати сигнали низького рівня безпосередньо з виходів давачів. Варто зазначити, що в сігма-дельта АЦП високих порядків виникають труднощі в забезпеченні стабільної роботи [133]. Для отримання необхідної точності при використанні сігма-дельта АЦП його необхідно настроїти, а цей процес набагато складніший ніж у порозрядного АЦП. У деяких системах замість сігма-дельта АЦП можна використовувати порозрядні АЦП з вимірювальним підсилювачем [134].

Конвеєрні АЦП високої швидкодії використовують при обробці зображень, в вимірювальній та медичній апаратурі, цифровому зв'язку та ін. На сьогодні вони майже повністю витіснили чисто паралельні АЦП. Водночас паралельні АЦП використовуються там де потрібна надвисока швидкодія (більше 1 ГГц). Спільним недоліком кон-

верних та паралельних АЦП є висока вартість та низька роздільна здатність.

Таким чином можна зробити висновок, що АЦП порозрядного врівноваження є найпоширенішим типом АЦП, що використовуються в багатоканальних системах збору та обробки інформації. У деяких системах такі АЦП здатні замінити сігма-дельта АЦП та конвеєрні АЦП. Варто зазначити, що високопродуктивні АЦП мають спеціальні блоки для самокалібрування та самотестування, що дозволяє значно покращити характеристики пристрою в цілому.

Розглянемо продукцію лідерів серед виробників АЦП, для того щоб визначити «передній край» в сучасній технології перетворення інформації.

Фірма Analog Devices пропонує найшвидші порозрядні аналого-цифрові перетворювачі (табл. 1.1) [133, 135–139]. Для АЦП серії PulSAR на 18 двійкових розрядах швидкодія сягає 2 MSPS (мільйонів перетворень за секунду). У деяких пристроях використовується калібрування для підвищення точності.

Таблиця 1.1 – Порозрядні АЦП фірми Analog Devices

Модель	Розрядність (біт)	Частота дискретизації (МГц)	ENOB (біт)	DNL (біт)	INL (біт)	SNR (дБ)
AD7641 [140]	18	2	15.2	0.52	1.99	93.5
AD7626 [141]	16	10	14.8	0.35	0.45	91
AD7357 [142]	14	4.25	12.3	0.51	2	76.5
AD7356 [143]	12	5	11.5	0.5	0.5	71.5

Варто зазначити, що АЦП AD7356 та AD7357 є двоканальними. Причому, перший з'явився в 2008 році а другий через рік. Обидва пристрої мають спеціальну технологію зменшення енергоспоживання, яка захищена патентом [144]. Багаторозрядний AD7641 було випущено ще у 2006 році, а надшвидкодіючий AD7626 у 2009 році. Варто зазначити, що лише AD7641 має блок калібрування. Можна зробити висновок, що нові АЦП серії PulSAR забезпечують свої високі

параметри не лише за рахунок технології виробництва, але й за рахунок покращення характеристик порозрядних АЦП шляхом калібрування. Порозрядні АЦП фірми Texas Instruments гірші від пристроїв фірми Analog Devices (табл. 1.2) [145, 146]. Деякі пристрої мають багатоканальний вхід і схеми для контролю і коригування процесу перетворення.

Таблиця 1.2 – Порозрядні АЦП фірми Texas Instruments

Модель	Розрядність (біт)	Частота дискретизації (МГц)	ENOB (біт)	DNL (біт)	INL (біт)	SNR (дБ)
ADS8484 [151]	18	1,25	16	1,5	2,5	97
ADS8422 [152]	16	4	15.07	1,5	2	93
ADS7891 [153]	14	3	14	0,75	0,75	78

Фірма Intersil виробляє порозрядні АЦП середньої швидкодії (табл. 1.3) [147]. Інші компанії не акцентують увагу на АЦП порозрядного наближення, але вони досягли значних успіхів у побудові АЦП інших видів.

Таблиця 1.3 – Порозрядні АЦП

Порозрядні АЦП фірми Intersil						
Модель	Розрядність (біт)	Частота дискретизації (МГц)	ENOB (біт)	DNL (біт)	INL (біт)	SNR (дБ)
HI-574A [154]	12	0,04	12	0,5	0,5	71
HI-5805 [155]	12	5	12	0,5	0,5	68
HI-5812 [156]	12	0,05	12	0,5	0,5	72
Порозрядні АЦП фірми National Semiconductors						
ADC081C021 [157]	8	1	8	0,2	0,2	-
ADC141S626 [158]	14	0,25	13.3	0,95	0,95	82
ADC161S626 [159]	16	0,25		0,8	0,8	93,2
Порозрядні АЦП фірми Linear Technologies						
LTC1407A [160]	14	3	14	0,5	0,5	-
LTC1407 [160]	12	3	14	0,5	0,5	-
LTC1865 [161]	16	0,25	15	1	1	87
Порозрядні АЦП фірми MAXIM						
MAX11044 [162]	16	0,25	16	0,5	0,5	91
MAX1316 [163]	14	2	14	1	1,5	77
MAX1304 [164]	12	4	12	0,9	1	71

Так наприклад фірма National Semiconductors пропонує пристрої із швидкодією 3000 MSPS і розрядністю 8 розрядів (табл. 1.3) [148]. Особливо варто відзначити фірму MAXIM. Виробник пропонує пристрої із швидкодією 2200 MSPS на 8 розрядів (табл. 1.4) [149] та різноманітні матеріали, що полегшують проектування на основі цієї продукції. А компанія Linear Technologies – 250 MSPS на 10 розрядів (табл. 1.3) [150].

Сучасні серійні АЦП порозрядного врівноваження високої роздільної здатності переважно реалізуються за типовою схемою рис. 1.2, лише деякі моделі не мають блока для калібрування [165].

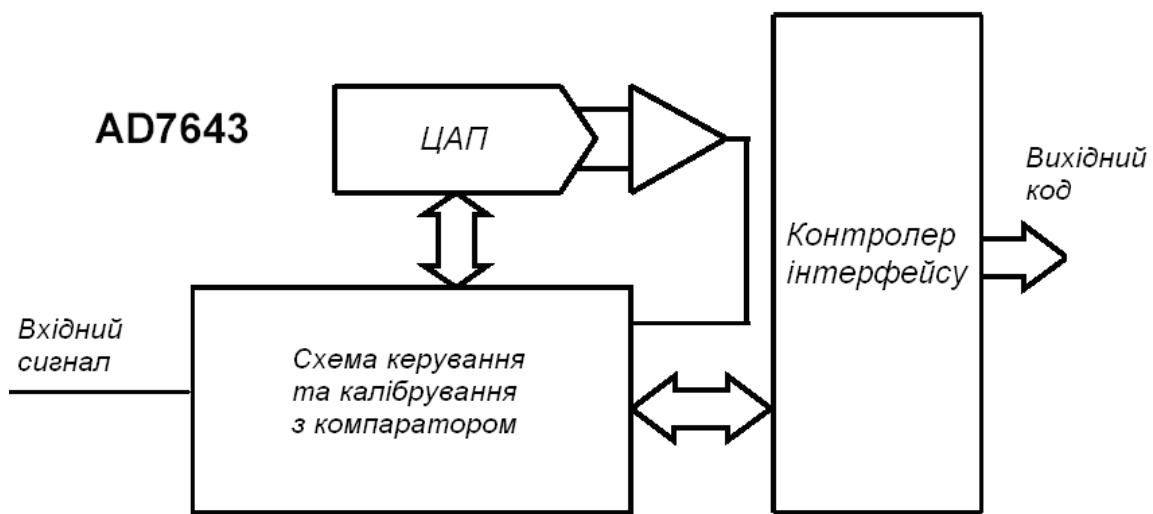


Рисунок 1.2 – Блок-схема АЦП фірми Analog Devices AD7643 та AD7677

Підвищення точності та швидкодії у останніх моделях досягається завдяки покращенню технології виробництва. Традиційним варіантом підвищення швидкодії як інтегральних схем взагалі, так і АЦП, зокрема, є струмовий підхід [166, 167]. При використанні цього підходу для побудови аналогової частини АЦП порозрядного наближення слід виділити дві особливості дві особливості. По перше, використовується принцип підсилення струмів, що значно зменшує тривалість перехідних процесів. По друге, використовується пороговий елемент на основі диференційного каскаду, який теж оперує струмами і є швидкодіючим. При цьому використовується ЦАП на основі генераторів струму, що дозволяє звести до мінімуму вплив паразитних ємностей [168].

При проектуванні широкосмугових схем підсилювачі струму мають певні переваги перед підсилювачами напруги. Оскільки більшість паразитних параметрів інтегральних схем є ємностями, то смуга пропускання може бути ширшою. Транзистори в підсилювачі струму з успіхом використовуються аж до граничної частоти. Частотний діапазон для більшості підсилювачів напруги менший через велику кількість фазових зсувів. Таким чином для максимального використання частотних можливостей транзистора його варто використовувати в якості підсилювача струму. Навіть при необхідності підсилити напругу її варто перетворити в струм [166].

Розглянемо аналогову частину АЦП порозрядного врівноваження побудовану за принципом перетворення струмів на основі перетворювачів опорів (рис. 1.3а)). У якості ЦАП використовується перетворювач код-струм (ПКС) на основі генераторів струмів. Вхідна напруга $U_{ВХ}$ перетворюється в струм за допомогою буфера та резистора

$$I_{БУФ} = \frac{U_{ВХ}}{R_{БУФ}},$$

де $R_{БУФ}$ — вихідний опір буфера.

Підсилювач різниці (ПР) струму перетворює різницю струмів

$$\Delta I_{ПР} = I_{БУФ} - \sum_0^{n-1} I_i,$$

де I_i — розрядні струми ПКС, у напругу для порогового елемента

$$U_{ВИХ} = \Delta I_{ПР} K_i,$$

де K_i — коефіцієнт передачі по струму.

Варто зазначити, що підсилювач струму має малий вхідний опір $r_{ВХ}$ (десятки омів), таким чином стала часу на вході підсилювача струму буде дуже малою

$$\tau_{ВХ} = r_{ВХ} C_{ВХ},$$

де $C_{ВХ} = C_{ПКС} + C_{ППС}$.

При побудові блока порозрядного врівноваження на основі звичайного операційного підсилювача з високоомним входом (рис. 1.3б) стала часу буде набагато більшою, оскільки його вхідний опір r'_{BX} є значно більшим за вхідний опір підсилювача струму (на кілька порядків).

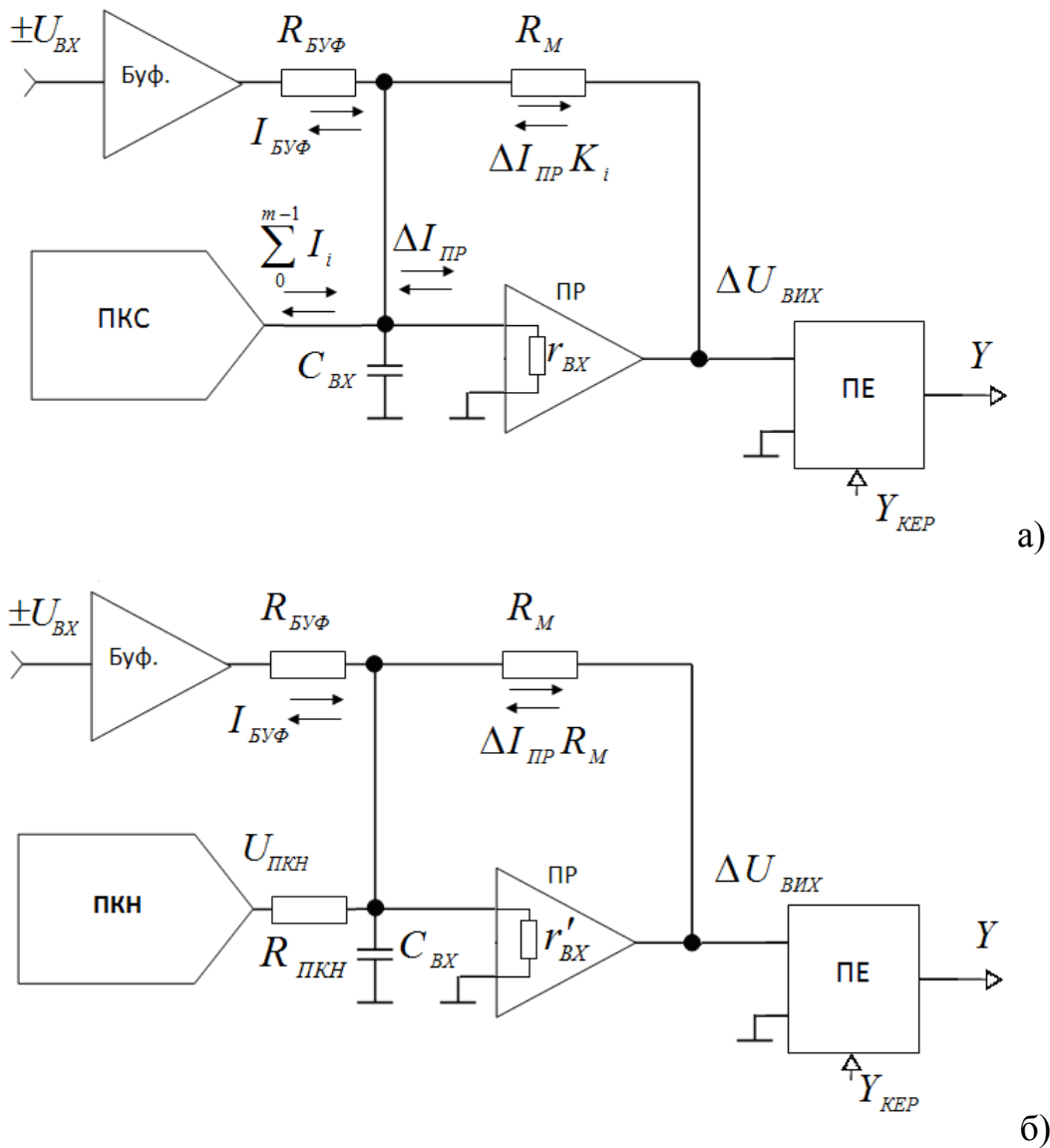


Рисунок 1.3 – Блок порозрядного врівноваження:

а) на базі перетворення струмів; б) з перетворенням напруг

При цьому стала часу на вході підсилювача буде визначатись резистором масштабу та вихідними опорами буфера та ПКН

ЛІТЕРАТУРА

1. Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення : Монографія / Азаров О.Д. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.
2. Азаров О. Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових систем числення з ваговою надлишковістю : Монографія / Азаров О. Д. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 232 с.
3. Островерхов В. В. Динамические погрешности аналого-цифровых преобразователей / Островерхов В. В. – Л. : Энергия, 1975. – 176 с.
4. Кондалев А. И. Преобразователи формы информации компьютерного типа / Кондалев А. И. – К. : Знание, 1990. – 46 с.
5. Багацкий В. А. Современные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи / Багацкий В. А. – К. : Знание, 1980. – 21 с.
6. Багацкий В. А. Теория построения, проектирования и практическая реализация аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей общего применения : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.08 / В. А. Багацкий. – К., 1994. – 35с.
7. Вонятыцкий А. Ю. Статистические модели ЦАП на источниках тока / Вонятыцкий А. Ю., Кондалев А. И. – К., 1988. – 21 с. – (Препринт / АН УССР, ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова ; 88-64).
8. Кондалев А. И. Вопросы проектирования преобразователей формы информации / Кондалев А. И. – К. : Наук. думка, 1977. – 242 с.
9. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / [Кондалев А. И., Багацкий В. А., Романов В. А., Фабричев В. А.]– К. : Наукова думка, 1987. – 280 с.
10. Кондалев А. И. Системные преобразователи формы информации / Кондалев А. И. – К. : Наук. Думка, 1974. – 334 с.
11. 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.

12. 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» ИК НАН Украины. – К., 1998. – С. 130.

13. 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.

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

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

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

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

18. Фабричев В. А. Теория и практика создания методов и средств электромагнитной совместимости устройств преобразования формы информации : автореф. дис. д-ра техн. наук: спец. 05.13.05 / В. А. Фабричев. – К., 1994. – 38 с.

19. Кондалев А. И. Преобразователи формы информации / Кондалев А. И. – К. : Наукова думка, 1965. – 176 с.

20. Преобразователи формы информации: современное состояние и перспективы развития / В. А. Багацкий, П. С. Клочан, В. А. Ро-

манов [та ін.] // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2003. – № 2. – С. 40–46.

21. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Орнатский П. П. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.

22. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / Орнатский П. П. – К. : Вища школа, 1986. – 504 с.

23. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский П. П. – К. : Вища школа, 1973. – 364 с.

24. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский П. П. – К. : Вища школа, 1980. – 560 с.

25. Орнатский П. П. Измерительный эксперимент : учебное пособие / П. П. Орнатский, Н. Ф. Пономаренко. – К. : КПИ, 1979. – 112 с.

26. Швецкий Б. И. Электронные цифровые приборы / Швецкий Б. И. – К. : Техника, 1991. – 191 с.

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

28. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / [Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б.]. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.

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

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

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

32. Смолов В. Б. Аналого-цифровые комплексы / В. Б. Смолов, А. В. Анисимов, Р. Ш. Исмаилов. – Л. : ЛЭТИ, 1980. – 96 с.
33. Балашов Е. П. Аналоговые ЗУ управляющих и вычислительных систем / Е. П. Балашов, В. М. Сидоров, В. Б. Смолов // Хранение информации в кибернетических устройствах. – 1969. – № 2. – С. 223–235.
34. Вопросы построения интегральных преобразователей напряжения в код / [В. Б. Смолов, В. К. Шмидт, Н. Н. Варлинский, В. О. Молодцов и др.] // Вопросы преобразования информации. – 1972. – Вып. 6. – С. 3–9.
35. Смолов В. Б. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / Смолов В. Б. – Л. : Энергия, 1976. – 336 с.
36. Мурсаев А. Х. Точные ключи, операционные устройства запоминания напряжений на канальных транзисторах / Мурсаев А. Х., Смолов В. Б., Угрюмов Е. П. – Л. : ЛДНТП, 1972. – 30 с.
37. Чернявский Е. А. Системы автоматизированного проектирования средств ИИТ / Е. А. Чернявский, В. Б. Смолов, А. В. Минаев. – Л. : ЛЭТИ, 1988. – 58 с.
38. Смолов В. Б. Вычислительные преобразователи с цифровыми управляемыми сопротивлениями / Смолов В. Б. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 135 с.
39. Смолов В. Б. Функциональные преобразователи информации / Смолов В. Б. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 247 с.
40. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи / Э. И. Гитис, Е. М. Пискулов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 360 с.
41. Автоматизация проектирования аналого-цифровых устройств / [Гитис Э. И., Собкин Б. Л., Подколзин А. Н. и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 182 с.
42. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств / Гитис Э. И. – М. : Энергия, 1970. – 400 с.

43. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств / Гитис Э. И. – М. : Энергия, 1975. – 448 с.
44. Гудинаф Ф. Новые области применения аналого-цифровых преобразователей с высоким разрешением / Гудинаф Ф. // Электроника. – 1991. – № 7. – С. 89–96.
45. Walt Kester Drive Circuitry is Critical to High-Speed Sampling ADCs / Walt Kester // Electronic Design Special Analog Issue. – 1994. – Nov. 7. – P. 43–50.
46. Walt Kester Basic Characteristics Distinguish Sampling A/D Converters / Walt Kester // EDN. – 1992. – Sept. 3. – P. 135–144.
47. Walt Kester Peripheral Circuits Can Make or Break Sampling ADC Systems / Walt Kester // EDN. – 1992. – Oct. 1. – P. 97–105.
48. Walt Kester Layout, Grounding, and Filtering Complete Sampling ADC System / Walt Kester // EDN. – 1992. – Oct. 15. – P. 127–134.
49. Walt Kester. High speed sampling and high speed ADC / Walt Kester // High speed design techniques : Analog Devices Inc., 1999. – 93 p.
50. Walt Kester. Grounding in High Speed Systems / Walt Kester, James Bryant // High speed design techniques : Analog Devices Inc., 1999. – P. 6.
51. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. / Соклоф С. – М. : Мир, 1988. – 583 с.
52. Zlya Boyaciglller. Increase analog-system accuracy with a 14-bit monolithic ADC / Zlya Boyaciglller, Steve Sockolov // EDN. – 1982. – august 18. – P. 137–143.
53. Ризенман М. Проблемы и перспективы развития производства АЦП с высокой разрешающей способностью / М. Ризенман // Электроника. – 1988. – Том 61. – С. 63–72.
54. Brubaker J. 14-bit DAC ates with uPs, settles in less than 1 uS / J. Brubaker, Z. Boyaclglller, P. Bradshaw // Electronic design. – 1981. – Apr. – 16. – P. 147–151.

55. Rudy J. Van De Plassche A Monolithic 14 Bit A/D Converter / Rudy J. Van De Plassche, Hans J. Schouwenaars // IEEE Journal of Solid State Circuits. – 1982. – Dec. Vol. SC-17, No. 6. – P. 1112–1117.
56. Steve Ruscak. Using Histogram Techniques to Measure A/D Converter Noise / Steve Ruscak, Larry Singer // Analog Dialogue. – 1995. – Vol. 29–2. – P. 35–41.
57. Carl Moreland An 8-bit 150MSPS Serial ADC / Carl Moreland // ISSCC Digest of Technical Papers. – 1995. – Vol. 38. – P. 272.
58. Carl Moreland. An Analog-to-Digital Converter Using Serial-Ripple Architecture / Carl Moreland // Masters' Thesis – Florida : Florida State University College of Engineering, Department of Electrical Engineering. – 1995. – P. 56.
59. Practical Analog Design Techniques / [edited by Walt Kester]. – Analog Devices, 1995. – 860 p.
60. Linear Design Seminar / [edited by Walt Kester and James M. Bryant]. – Analog Devices. – 1995. – 540 p.
61. Howard E. Hilton. A 10MHz Analog-to-Digital Converter with 110dB Linearity / Howard E. Hilton // H.P. Journal. – 1993. – October – P. 105–112.
62. Lee S. Comments on «Comments on ‘interstage gain-proration technique for digital-domain multistep ADC calibration’» / Lee S. Lee J. // IEEE Trans. Circuit Syst.II. – 2001. – Vol. CAS-48. – P. 745–749.
63. Rombouts P. Comments on «Interstage Gain-Proration Technique for Digital-Domain Multistep ADC Calibration» / Rombouts P., Weyten L. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 1999.– Vol. CAS-46. – P. 1114–1116.
64. Lee S. Interstage gain proration technique for digital-domain multi-step ADC calibration / Lee S., Song B. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 1994. – Vol. CAS-41. – P. 12–18.
65. Explicit analysis of channel mismatch effects in time-interleaved ADC systems / [Kurosawa N., Kobayashi H., Maruyama K. and other] // IEEE Trans. Circuit Syst. I. – 2001. – Vol. CAS-48. – P. 261–271.

66. Jin H. A digital-background calibration technique for minimizing timing-error effects in time-interleaved ADCs / Jin H., Lee E. K. F. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 2000. – Vol. CAS-47. – P. 603–613.
67. Gustavsson M. A global passive sampling technique for high-speed switched-capacitor time-interleaved ADCs / Gustavsson M., Tan N. N. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 2000. – Vol. CAS-47. – P. 821–831.
68. Galton I. Digital cancellation of D/A converter noise in pipelined A/D converters / Galton I. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 2000. – Vol. CAS-47. – P. 185–196.
69. Maulik P. C. Analysis of leakage current induced nonlinearity in resistor-ladder based data converters / Maulik P. C. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 2000. – Vol. CAS-47. – P. 136–137.
70. Rombouts P. A digital error-averaging technique for pipelined A/D conversion / Rombouts P., Weyten L. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 1998. – Vol. CAS-45. – P. 1321–1323.
71. Capofreddi P. D. The use of linear models in A/D converter testing / Capofreddi P. D., Wooley P. D. // IEEE Trans. Circuit Syst. I. – 1997. – Vol. CAS-44. – P. 1105–1113.
72. Pace P. E. Optimum analog preprocessing for folding ADC's / Pace P. E., Schafer J. L. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – 1997. – Vol. 42. – P. 825–829.
73. Пат. 5644308 США, МКИ H03M 1/10. Algorithmic analog-to-digital converter having redundancy and digital calibration / Donald A. Kerth, Brian D. Green ; Crystal Semiconductor Corporation. – №372954 ; Заявл. 17.01.1995 ; Оpubл. 17.01.1997, НКИ 341/120.
74. Пат. 4336526 США, МКИ H03K 13/05. Successive approximation analog-to-digital converter using non-binary series / Basil Weir; Intersil Inc. – №142644; Заявл. 22.04.1980; Оpubл. 22.06.1982, НКИ 340/347.
75. Пат. 7528761B2 США, H03M 1/12. Analog/digital conversion using successive approximation and redundant weighting / Draxelmayr D.; Infineon Technologies AG. – №7528761B2 ; Заявл. 27.06.2007 ; Оpubл. 5.05.2009.

76. Пат. 2008/0001804A1 США, H03M 1/12. Analog/digital conversion using successive approximation and redundant weighting / Draxelmayr D.; Infineon Technologies AG. – №2008/0001804A1; Заявл. 27.06.2007; Опубл. 3.01.2008.

77. Пат. 4970514 США, H03M 1/10. Calibration method for redundant A/D and D/A converters with a weighted network / Draxelmayr D. ; Infineon Technologies AG. – №4970514 ; Заявл. 14.12.1988 ; Опубл. 13.10.1990.

78. Азаров О. Д. Обчислювальні АЦП і ЦАП, що самокалібруються, для систем цифрового оброблення сигналів : Монографія. / О. Д. Азаров, О. О. Коваленко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. – 147 с.

79. Крупельницький Л. В. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія. / Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 147 с.

80. Высокоточный АЦП сопряженный с микроЭВМ / А. П. Стахов, В. П. Марценюк, А. Д. Азаров, [и другие] // УСиМ. – 1985. – №5. – С. 23–27.

81. Семнадцатиразрядный самокорректирующийся АЦП / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев, [и другие] // Приборы и системы управления. – 1986. – № 1. – С. 17–18.

82. Комплект гибридных схем для самокорректирующихся 16-разрядных аналого-цифровых преобразователей / А. П. Стахов, В. Я. Стейскал, А. Д. Азаров, [и другие] // Приборы и системы управления. – 1988. – №5. – С. 232.

83. 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. 5–12.

84. Азаров О. Д. Коригування статичних похибок вимірювального каналу ІВС, який містить АЦП із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, А. В. Снігур, Л. В. Крупельницький, О. О. Решетнік,

В. А. Гарнага // Проблеми інформатизації та управління. – 2007. – № 2. – С. 25–37.

85. Азаров О. Д. Підсилювач з регульованою чутливістю для схеми порівняння струмів / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, С. М. Захарченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 2. – С. 5–13.

86. Азаров О. Д. Моделі форсуючих сигналів для прискореного порозрядного аналого-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага, В. В. Ратнюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2. – С. 3–39.

87. Формування нерозривних передатних характеристик ЦАП і АЦП на основі вагової надлишковості / [О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, С. М. Захарченко та інш.] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 3. – С. 7–15.

88. Азаров О. Д. Похибки квантування в АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага, О. В. Кадук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №3. – С. 67–74.

89. Азаров О. Д. АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ $\{0, 1\}$ та $\{1, -1\}$ / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 4. – С. 24–27.

90. Решетнік О. О. АЦП із змінною тривалістю тактів врівноваження на основі надлишкових позиційних систем числення / Решетнік О. О. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 6. – С. 126–129.

91. 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 // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 3. – Режим доступу до журн. : http://nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3/2008-3.files/uk/08odafsc_ua.pdf

92. Азаров О. Д. Математичні моделі динамічних похибок I-го роду для швидкодіючих порозрядних АЦП із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, Л. В. Крупельницький // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – № 2. – С. 7–13.

93. Азаров О. Д. Похибки усталення при аналого-цифровому перетворенні з прогресуючими тривалостями тактів порозрядного врівноваження з ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, М. Ю. Шабатура // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – № 3. – С. 5–12.

94. Азаров О. Д. Аналіз передатної характеристики двотактного симетричного підсилювача постійного струму / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, О. О. Решетнік, С. В. Богомолів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2007. – № 1. – С. 51–59.

95. Конденсаторні матриці для ЦАП на основі НПСЧ / [О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага та ін.] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 2. – С. 5–18.

96. Азаров О. Д. Модель операції порівняння при порозрядному аналого-цифровому перетворенні з прогресуючим набором тривалостей тактів урівноваження / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – №3. – С. 5–13.

97. Патент на корисну модель № 11189 Україна, МПК (2006): H03K 5/22, G05B 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Захарченко С. М., Гарнага В. А.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200505341 ; заявл. 06.06.2005 ; опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12.

98. Патент на корисну модель №11301 Україна, МПК (2006): H03F 3/26 Різницевий підсилювач струму / Азаров О. Д., Гарнага В. А., Захарченко С. М., Решетнік О. О.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200506085 ; заявл. 21.06.2005 ; опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12.

99. Патент на корисну модель № 16968 Україна, МПК (2006): H03K 5/00, G05B 1/00. Буферний елемент / Азаров О. Д., Решетнік

О. О., Гарнага В. А., Захарченко С. М., Харьков О. М. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200512049 ; заявл. 15.12.2005 ; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

100. Патент на корисну модель №17239 Україна, МПК (2006): H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Лукащук О. О., Гарнага В. А., Снігур А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200603280 ; заявл. 27.03.2006 ; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

101. Патент на корисну модель № 18466 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Лукащук О.О., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200604582 ; заявл. 25.04.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

102. Патент на корисну модель № 18599 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Лукащук О. О., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200605299 ; заявл. 15.05.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

103. Патент на корисну модель №19370 Україна, МПК (2006):H03K 5/22, G05B 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Тарасова О. М., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200606551 ; заявл. 13.06.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

104. Патент на корисну модель №19728 Україна, МПК (2006): H03K 5/22, G05B 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Лукащук О. О., Богомоллов С. В., Гарнага В. А.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u200608586 ; заявл. 31.07.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. №12.

105. Патент на корисну модель № 20246 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Вхідний пристрій порівняння струмів / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Лукащук О. О., Богомоллов С. В., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний уні-

верситет. – № u200607987 ; заявл. 17.07.2006 ; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.

106. Патент на корисну модель № 21954 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Буферний елемент / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Лукашук О. О., Богомолів С. В., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200611431 ; заявл. 30.10.2006 ; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4.

107. Патент на корисну модель № 23999 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Лукашук О. О., Богомолів С. В., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200702059 ; заявл. 26.02.2007 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.

108. Патент на корисну модель № 25471 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Кадук О. В., Богомолів С. В., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200703563 ; заявл. 02.04.2007 ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

109. Патент на корисну модель № 26413 Україна, МПК (2006) : H03K 5/00, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струмів / Азаров О. Д., Кадук О. В., Богомолів С. В., Гарнага В. А., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200702063 ; заявл. 26.02.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.

110. Патент на корисну модель № 26493 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струмів / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Решетнік О. О., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200705169 ; заявл. 11.05.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.

111. Патент на корисну модель № 26495 Україна, МПК (2006) : H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струмів / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Решетнік О. О., Гарнага В. А. ; заявник

та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200705196 ; заявл. 11.05.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.

112. Патент на корисну модель № 26771 Україна, МПК (2006): H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струмів / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Крупельницький Л. В., Решетнік О. О., Гарнага В. А.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200704476 ; заявл. 23.04.2007 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.

113. Патент на корисну модель № 28375 Україна, МПК (2006): H03K 5/22, G05B 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Крупельницький Л. В., Гарнага В. А., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200707425 ; заявл. 22.07.2007 ; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20.

114. Патент на корисну модель № 39796 Україна, МПК (2006): H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Теплицький М. О., Решетнік О. О., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200812467 ; заявл. 23.10.2008 ; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.

115. Патент на корисну модель №42958 Україна, МПК (2006): H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Теплицький М. О., Решетнік О. О., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200902332 ; заявл. 16.13.2009 ; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.

116. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 26840 ПА. Україна. “Програма моделювання процесу порозрядного аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення” / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Гарнага В. А. – Дата реєстрації 9.12.2008.

117. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №33507 ПА. України. “Програмне забезпечення для дослідження динамічних похибок першого роду в швидкодіючих порозрядних АЦП з

ваговою надлишковістю та прогресуючим набором тактів врівноваження” / Азаров О. Д., Решетнік О. О., Шабатура М. Ю. – Дата реєстрації 31.05.2010.

118. Азаров О. Д. Математична модель компаратора з регульованою чутливістю для швидкодіючого багаторозрядного АЦП із ваговою надлишковістю [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – №1. – Режим доступу : <http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-1/uk.htm>.

119. Азаров О. Д. Підсилювач з регульованою чутливістю для пристроїв автоматики / О. Д. Азаров, О. М. Харьков, О. О. Решетнік // тези доповідей 13-та міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика – 2006) : – Вінниця; 2006. – С. 202.

120. Решетнік О. О. АЦП із змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ [Електронний ресурс] / О. О. Решетнік // тези доповідей ІХ Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС – 2008) : – Вінниця; 2008. – Режим доступу : http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection_2.3.pdf

121. Азаров О. Д. Схема порівняння з регульованою чутливістю для швидкодіючого порозрядного АЦП із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // тези доповідей Перша Міжнародна науково-практична конференція “Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації” : – Вінниця; 2007. – С. 165.

122. Азаров О. Д. Системи числення з ваговою надлишковістю для швидкодіючих АЦП послідовного наближення і ЦАП, що самокалібруються / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, М. Ю. Шабатура // тези доповідей Друга Міжнародна науково-практична конференція “Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації”. – Вінниця; 2009. – С. 188.

123. Азаров О. Д. Методика складання математичних моделей динамічних похибок І-го роду для швидкодіючих порозрядних АЦП із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // тези доповідей 4-та Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» СПРТП–

2009. – Вінниця ; 2009. – Режим доступу : http://conf.vstu.vinnica.ua/sprtp_2009.html

124. Крупельницький Л. В. Структурна і алгоритмічна організація швидкодіючих АЦП порозрядного врівноваження і ЦАП з вагою надлишковістю / Л. В. Крупельницький, О. О. Решетнік // «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» : тези доповідей Міжнародна науково-практична конференція. – Вінниця ; 2010. – С. 375.

125. Решетнік О. О. Сучасні високопродуктивні АЦП порозрядного врівноваження / О. О. Решетнік // «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» : тези доповідей Міжнародна науково-практична конференція. – Вінниця ; 2010. – С. 395.

126. Азаров О. Д. Статико-динамічні характеристики підсилювачів струму для швидкодіючих ЦАП / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // тези студентських доповідей рекомендовані до опублікування XXXIV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу співробітників та студентів ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – С. 165.

127. Азаров О. Д. Динамічні характеристики підсилювача струму для схеми порівняння з регульованою чутливістю / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // тези студентських доповідей рекомендовані до опублікування XXXV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу співробітників та студентів ВНТУ. – Вінниця ; 2006. – С. 104.

128. Азаров О. Д. Методи побудови ЦАП із ваговою надлишковістю на базі двійкових ЦАП / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // Тези студентських доповідей рекомендовані до опублікування XXXVI науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу співробітників та студентів ВНТУ. – Вінниця ; 2007. – С. 107.

129. Азаров О. Д. Швидкодіючі АЦП порозрядного кодування з регульованою тривалістю тактів врівноваження [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік // XXXVII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу співробітників та студентів університету : електронне наукове видання матеріалів кон-

ференції. – Вінниця, 2008. – Режим доступу : <http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2008/initki/ot.html>.

130. Решетнік О. О. Швидкодіючі АЦП послідовного наближення із ваговою надлишковістю із змінним набором тривалостей такту врівноваження [Електронний ресурс] / О. О. Решетнік, М. Ю. Шабатура // XXXVIII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу співробітників та студентів університету : електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2009. – Режим доступу : <http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2009/initki/txt/shabatura.pdf>.

131. Решетнік О. О. Методи підвищення швидкодії АЦП порозрядного наближення з ваговою надлишковістю [Електронний ресурс] // XXXIX науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу співробітників та студентів університету : електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця, 2010. – Режим доступу : <http://conf.vstu.vinnica.ua/allvntu/2010/initki/ki.php>.

132. A to D and D to A Converter ICs [Електронний ресурс] / edited by Laroy Davis. – 2010. – Режим доступу : http://www.interfacebus.com/Analog_DAC.html.

133. Walt Kester Which ADC architecture is right for your application / Walt Kester // Analog dialogue. – 2005. – Vol. 39, № 2. – P. 11–18.

134. Кестер У. Как правильно выбрать АЦП / Кестер У. // ЭКИС. – 2005. – № 12. – С. 12–19.

135. Технічна документація Analog Devices [Електронний ресурс] / Norwood : Analog Devices, Inc. – 2010. – Режим доступу: <http://www.analog.com/en/technical-documentation/resources/index.html>.

136. Digital Signal Processing: World Class Designs / [David Katz, Kenton Williston, Walt Kester and other]. – Newnes, 2009. – 460 p.

137. Test and Measurement / [Stuart Ball, G. M. S. De Silva, Jon Wilson, and other]. – Newnes, 2008. – 891 p.

138. Walt Kester. Data Conversion Handbook / Walt Kester. – Newnes, 2004. – 953 p.

139. Walt Kester Mixed-Signal and Dsp Design Techniques / Walt Kester. –Newnes, 2002. – 336 p.
140. AD7641: 18-Bit, 2 MSPS SAR ADC [Электронный ресурс] / Analog Devices, Inc., 2006. – Режим доступа : <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7641/products/product.html>.
141. AD7626: 16Bit, 10 MSPS SAR ADC [Электронный ресурс] / Analog Devices, Inc., 2010. – Режим доступа : <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7626/products/product.html>.
142. AD7357: Differential Input, Dual, Simultaneous Sampling, 4.25 MSPS, 14-Bit, SAR ADC [Электронный ресурс] / Analog Devices, Inc., 2009. – Режим доступа : <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7357/products/product.html>.
143. AD7356: Differential Input, Dual, Simultaneous Sampling, 5 MSPS, 12-Bit, SAR ADC [Электронный ресурс] / Analog Devices, Inc., 2008. – Режим доступа : <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7356/products/product.html>.
144. US Patent 6681332, G06F 1/32, H04M 1/72, H04M 1/73, H03M 1/00. System and method to place a device in power down modes/states and restore back to first mode/state within user-controlled time window / Byrne Michael, O'Byrne Nicola, Price Colin, Hummerston Derek; No. 09/523610 filed on 03/13/2000.
145. Технічна документація Texas Instruments [Электронный ресурс] / Dallas : Texas Instruments, Inc., 2010. – Режим доступа : http://focus.ti.com/general/docs/prod.tsp?DCMP=TIHeaderTracking&HQS=Other+OT+hdr_p_products.
146. Amplifier and data converters guide / Dallas : Texas Instruments, Inc., 2009. – Режим доступа : <http://focus.ti.com/lit/sg/slyb115c/slyb115c.pdf>.
147. Технічна документація Intersil [Электронный ресурс] / Milpitas, Intersil, 2010. – Режим доступа : <http://www.intersil.com/support/techdocs.asp>.

148. Технічна документація National Semiconductors [Електронний ресурс] / Santa Clara, National Semiconductors, 2010. – Режим доступу : http://www.national.com/analog/all_products#elearning.
149. Технічна документація MAXIM [Електронний ресурс] / Sunnyvale, MAXIM, 2010. – Режим доступу : <http://www.maxim-ic.com/products.cfm>.
150. Технічна документація Linear Techmology [Електронний ресурс] / Milpitas, Linear Techmology, 2010. – Режим доступу : <http://www.linear.com/pc/viewCategory.jsp>.
151. ADS8484 datasheet [Електронний ресурс] / Dallas : Texas Instruments, Inc., 2010. – Режим доступу : <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ads8484.pdf>.
152. ADS8422 datasheet [Електронний ресурс] / Dallas : Texas Instruments, Inc., 2010. – Режим доступу : <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ads8422.pdf>.
153. ADS7891 datasheet [Електронний ресурс] / Dallas : Texas Instruments, Inc., 2010. – Режим доступу : <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ads7891.pdf>.
154. HI-574A datasheet [Електронний ресурс] / Milpitas, Intersil, 2010. – Режим доступу : <http://www.intersil.com/data/fn/fn3096.pdf>.
155. HI-5805 datasheet [Електронний ресурс] / Milpitas, Intersil, 2010. – Режим доступу : <http://www.intersil.com/data/fn/fn3984.pdf>.
156. HI-5812 datasheet [Електронний ресурс] / Milpitas, Intersil, 2010. – Режим доступу : <http://www.intersil.com/data/fn/fn3214.pdf>.
157. ADC081C021 datasheet [Електронний ресурс] / Santa Clara, National Semiconductors, 2010. – Режим доступу : <http://www.national.com/pf/DC/ADC081C021.html#Overview>.
158. ADC141S626 datasheet [Електронний ресурс] / Santa Clara, National Semiconductors, 2010. – Режим доступу : <http://www.national.com/pf/DC/ADC141S626.html#Overview>.
159. ADC161S626 datasheet [Електронний ресурс] / Santa Clara, National Semiconductors, 2010. – Режим доступу : <http://www.national.com/pf/DC/ADC161S626.html#Overview>.

160. LTC1407 datasheet [Электронный ресурс] / Milpitas, Linear Technology, 2010. – Режим доступа : <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/14071fb.pdf>.
161. LTC1865 datasheet [Электронный ресурс] / Milpitas, Linear Technology, 2010. – Режим доступа : <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/18645fb.pdf>.
162. MAX11044 datasheet [Электронный ресурс] / Sunnyvale, MAXIM, 2010. – Режим доступа : <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX11044-MAX11046.pdf>
163. MAX1316 datasheet [Электронный ресурс] / Sunnyvale, MAXIM, 2010. – Режим доступа : <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1316-MAX1326.pdf>.
164. MAX1304 datasheet [Электронный ресурс] / Sunnyvale, MAXIM, 2010. – Режим доступа : <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1304-MAX1314.pdf>.
165. Analog-digital conversion / [Edited by Walt Kester]. – Analog Devices Inc., 2004. – 1230 p.
166. Гребен А. Б. Проектирование аналоговых интегральных схем / А. Б. Гребен – М. : Энергия, 1976. – 256 с.
167. Палмер У. Быстродействующий прецизионный усилитель-преобразователь сопротивлений / У. Палмер // Электроника. – 1988. – №1. – С. 77–82.
168. Бахтиаров Г. Д. Аналого-цифровые преобразователи / Г. Д. Бахтиаров, В. В. Малинин, В. П. Школин. – М. : Сов. радио, 1980. – 280 с.
169. Основы вычислительной техники / [Геллер С. И., Остроумов М. А., Парамонов В. С. и др.]. – М. : Артиллерийская академия Советской Армии, 1960. – 414 с.
170. Навчальні ресурси Analog Devices [Электронный ресурс] / Norwood : Analog Devices, Inc. – 2010. – Режим доступа: <http://www.analog.com/en/training-tutorials-seminars/resources/index.html>.

171. Навчальні ресурси Linear Techmology [Електронний ресурс] / Milpitas, Linear Techmology, 2010. – Режим доступу : <http://www.linear.com/designtools/>.

172. Стахов А. П. Фибоначчиевы двоичные позиционные системы счисления // Кодирование и передача дискретных сообщений в системах связи. – М. : Наука, 1976. – С. 155–179.

173. Alan B. Greben Bipolar and MOS analog integrated circuit design / Alan B. Greben. – John Wily & sons Technology & Industrial Arts, 2003. – 912 p.

174. Разевиг В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью MicroCap 7 / Разевиг В. Д. – М. : Горячая линия - Телеком, 2003. – 368 с.

175. Шило В. Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре / Шило В. Л. – М. : Сов. радио, 1979. – 368 с.

176. Полонников Д. Ю. Операционные усилители. Принципы построения, теория, схемотехника / Д. Ю. Полонников – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.

177. Сигорский В. П. Основы теории электронных схем / В. П. Сигорский, А. И. Петренко – К. : Техника, 1967. – 469 с.

178. Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС : Руководство по анализу и расчету / Гринфилд Дж. – М. : Мир, 1992. – 560 с.

179. Иванов В. Е., Иванов В. В. Проектирование аналоговых систем на специализированных БИС / В. Е. Иванов, В. В. Иванов. – Л. : ЦНИИ РУМБ, 1988. – 140 с.

180. US Patent №3307173, НКИ 340/347. Transient reduction in digital-to-analog converters / Alfred E. Pobody, Glen Burnie, Charles R. Pearman ; NAVY. № 360464 ; Заявл. 16.04.1964 ; Оpubл. 28.02.1967.

181. Стахов А. П. Введение в алгоритмическую теорию измерений / Стахов А. П. – М. : Сов. радио, 1977. – 167 с.

182. Стахов А. П. Машинная арифметика ЦВМ в кодах Фибоначчи и «золотой» пропорции / А. П. Стахов, В. А. Лужецкий. – М. : Предв. публ. АН СССР, 1987. – 225 с.

183. Кодирование в информационных регистрирующих системах / [Стахов А. П., Лихтциндер Б. Я., Орлович Ю. П., Сторожук Ю. А.]. – Киев, 1985. – 192 с.

184. Моисеев В. И. Разработка и исследование высокоточных АЦП и ЦАП на основе избыточных измерительных кодов : автореф. дисс. канд. техн. Наук 05.13.05 / В. И. Моисеев. – К. : РИО ИК АН УССР, 1984. – 24 с.

185. Марценюк В. П. Разработка и исследование высокопроизводительных АЦП для прецизионных систем весоизмерения : автореф. дис. канд. техн. наук 05.13.05 / В. П. Марценюк. – К. : РИО ИК АН УССР, 1985. – 23 с.

186. Стейскал В. Я. Быстродействующие самокорректирующиеся аналого-цифровые преобразователи для высококачественной цифровой магнитной записи : автореф. дис. канд. техн. наук 05.13.05 / В. Я. Стейскал. – К. : РИО ИК АН УССР, 1988. – 24 с.

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

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

189. А. с. №1304172 СССР, МКИ4 Н00М 1/26. Способ аналого-цифрового преобразования / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, В. И. Моисеев, В. П. Марценюк ; Опубл. 15.04.87, Бюл. № 14.

190. Азаров О. Д. Прискорене аналого-цифрове перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення / Азаров О. Д. // Вісник ВПІ. – 1993. – № 1. – С. 22–27.

191. AD8611 8-Lead, Ultrafast 4 ns Single Supply Comparator [Электронный ресурс] / Analog Devices, Inc., 2006. – Режим доступа : <http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CAD8611%2C00.htm>.

192. Красносельский М. А. Системы с гистерезисом / М. А. Красносельский, А.В. Покровский. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 272 с.

193. Alexei Pokrovskii. Systems with histeresis [Електронний ресурс] / Alexei Pokrovskii. – Cork, 2007. – Режим доступу : <http://euclid.ucc.ie/hysteresis/node2.htm>.

194. Гельман М. М. Системные аналого-цифровые преобразователи и процессоры сигналов / Гельман М. М. – М. : Мир, 1999. – 559 с.

195. Брагин А. А. Основы метрологического обеспечения аналого-цифровых преобразователей электрических сигналов / А. А. Брагин, А. Л. Семенюк. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 600 с.

196. Мичуда З. Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі – АЦП майбутнього / Мичуда З. Р. – Львів : Простір, 2002. – 242 с.

197. Баранов Л. А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления / Баранов Л. А. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.

198. Пряме і 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.

199. Технічний опис Dual, 12-/14-/16-bit, 1.0 GSPS D/A Converter AD9776/AD9778/ AD9779 / Norwood : Analog Devices inc., 2005. – 56 p.

200. Burn-Brown Products from Texas Instruments. Dual, 12-Bit, Parallel Input, Multiplying Digital-to-Analog Converter / Dallas : Texas Instruments Incorporated, 2006. – 18 p.

201. Технічний опис ISL5961 14-Bit, +3.3V, 130/210+MSPS, High Speed D/A Converter / Santa Clara : Intersil American Inc., 2004. – 13 p.

202. Бабіч М. П. Комп'ютерна схемотехніка : навч. посібник / М. П. Бабіч, І. А. Жуков. – К. : МК-Прес, 2004. – 412 с.

203. Корнійчук В. І. Основи комп'ютерної арифметики / В. І. Корнійчук, В. П. Тарасенко, О. В. Тарасенко. – К. : Корнійчук, 2007. – 164 с.

204. Папернов А. А. Логические основы цифровой вычислительной техники / Папернов А. А. – М. : Советское радио, 1972. – 592 с.

205. Бузунов Ю. А. Принципы построения цифровых вычислительных машин / Ю. А. Бузунов, Е. Н. Вавилов. – М. : Техника, 1972. – 316 с.
206. Карцев М. А. Арифметика цифровых машин / Карцев М. А. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
207. Азаров О. Д. Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокалібруються : монографія / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 156 с.
208. Гарнага В. А. Методи задання робочих точок проміжних каскадів двотактних підсилювачів постійного струму / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага // Проблеми інформатизації та управління. – К., 2009. – № 1 (25). – С. 6–14.
209. Гарнага В. А. Методи симетрування коефіцієнтів передачі проміжних каскадів двотактних підсилювачів постійного струму [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага // Електронне наукове фахове видання «Наукові праці Вінницького національного технічного університету». – Вінниця, 2009. – № 3. – Режим доступу до журналу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-3/2009-3.htm>.

Наукове видання

Азаров Олексій Дмитрович
Решетнік Олександр Олександрович
Гарнага Володимир Анатолійович

**ВИСОКОПРОДУКТИВНІ АЦП
ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ
ЗІ ЗМІННИМИ ТРИВАЛОСТЯМИ ТАКТІВ
ПОРОЗРЯДНОГО КОДУВАННЯ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено В. Гарнагою

Підписано до друку 20.09.2012 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,89
Наклад 100 прим. Зам № 2012-133

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 у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.