

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Д. Азаров, О. В. Кадук

**БАГАТОРОЗРЯДНІ АЦП І ЦАП
ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ,
СТІЙКІ ДО ПАРАМЕТРИЧНИХ ВІДМОВ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 004.387:621.3.087.92

ББК 32.973.3

А 35

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 25.03.2010 р.)

Рецензенти:

Є. Т. Володарський, доктор технічних наук, професор

Р. Н. Кветний, доктор технічних наук, професор

Азаров, О. Д.

А 35 Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов : монографія / О. Д. Азаров, О. В. Кадук. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 150 с.

ISBN 978-966-641-369-0

У монографії розглянуто питання побудови багаторозрядних ЦАП паралельної структури і АЦП порозрядного кодування з ваговою надлишковістю. Запропоновано методи підтримання відмовостійкості вказаних пристроїв в процесі експлуатації при появі параметричних відмов аналогових вузлів перетворювачів інформації. Запропоновано аналітичні вирази для оцінювання міжкалібрувального інтервалу, дотримання якого дозволить підтримувати точність перетворення АЦП і ЦАП протягом циклу експлуатації на заданому рівні. 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 978-966-641-369-0

© О. Азаров, О. Кадук, 2010

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТИПІВ ВІДМОВ І МЕТОДІВ ПІДТРИМАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АЦП І ЦАП	12
1.1. Аналіз типів відмов елементів аналогової і цифрової електронної техніки	12
1.2. Вплив часткових параметричних відмов елементів аналогових вузлів на похибки перетворювачів форми інформації (ПФІ)	18
1.3. Аналіз існуючих методів підтримання відмовостійкості багаторозрядних ПФІ	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОД ПІДТРИМАННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АЦП І ЦАП ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ ШЛЯХОМ САМОКАЛІБРУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ	40
2.1. Арифметико-числові властивості систем числення з ваговою надлишковістю та їх вплив на характеристики перетворення ПФІ	40
2.2. Кориговані і некориговані статичні похибки каналів АЦ і ЦА-перетворення	45
2.3. Вплив статичних похибок каналів перетворення на виникнення часткових параметричних відмов ПФІ	57
2.4. Метод самокалібрування для підтримання відмовостійкості багаторозрядних ЦАП і АЦП порозрядного наближення	62
2.4.1. Одноциклове самокалібрування ваг розрядів із заданням індивідуального рівня калібрувального сигналу	63
2.4.2. Самокалібрування з усередненням на розгортках	65
2.5. Ефективність методів самокалібрування для підтримання відмовостійкості ПФІ	70
РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АЦП І ЦАП, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ, З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ	77
3.1. Структури і алгоритми функціонування відмовостійких багаторозрядних ПФІ з ваговою надлишковістю	77
3.1.1. ЦАП, що самокалібрується, з ваговою надлишковістю	77

3.1.2. АЦП порозрядного наближення з самокалібруванням характеристики перетворення	87
3.2. Формування результату перетворення АЦП і визначення вхідного робочого коду ЦАП	89
3.3. Оцінювання міжкалібрувального інтервалу і коефіцієнту готовності	94
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ	
ВІДМОВОСТІЙКИХ ПФІ, ЩО ФУНКЦІОНУЮТЬ В УМОВАХ	
ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ НА ПОХИБКИ	
ПЕРЕТВОРЕННЯ.....	
	101
4.1. Відмовостійкі ПФІ, що функціонують при змінній тем- ператури навколишнього середовища і протягом тривалого терміну експлуатації.....	101
4.2. Аналогові вузли ПФІ, що самокалібруються, у вигляді ВІС.....	106
4.2.1. Вхідний, вихідний буфери.....	106
4.2.2. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів	108
4.2.3. Підсилювач постійного струму з комутацією вихідних сигналів	111
4.2.4. Двотактний симетричних підсилювач постійного струму	112
4.3. Рекомендації щодо використання багаторозрядних від- мовостійких АЦП порозрядного кодування в аналізаторі па- раметрів звукових трактів.....	116
4.4. Рекомендації користувачу щодо використання програм- ного забезпечення для моделювання процедур самокалібру- вання характеристики перетворення АЦП і ЦАП.....	120
ВИСНОВКИ.....	125
ЛІТЕРАТУРА	128
Додаток. Лістинг програми для моделювання процедур самока- лібрування багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю	142

ВСТУП

Застосування багаторозрядних ЦАП і АЦП послідовного наближення в інформаційно-вимірювальних системах, багатоканальних системах збору даних, апаратурі для контролю статичних і динамічних характеристик систем теле- й радіомовлення, аерокосмічній галузі, системах контролю метрологічних характеристик електронних схем, апаратурі для сейсмозв'язки й отримання сейсмограм, вимірювальних системах метрологічної атестації аналого-цифрових систем, пристроях для високоточного перетворення фізичних величин, акустичних вимірюваннях вимагає відповідності їх метрологічних характеристик заданим нормам протягом всього циклу експлуатації, а також при роботі у складних умовах. Слід відзначити, що за таких вимог під час функціонування у вказаних пристроях можуть виникати три види відмов: катастрофічні, збої і часткові параметричні [1, 2]. При цьому, надійність АЦП і ЦАП розглядається переважно по відношенню до катастрофічних відмов і збоїв [3]. Вони порушують роботу схеми перетворювача через вихід з ладу аналогових вузлів і не є характерними для багаторозрядних ПФІ [4]. Щодо часткових параметричних відмов, то вони не порушують робочого стану ПФІ, однак суттєво впливають на точність його роботи. Часткові відмови проявляються у змінненні параметрів аналогових вузлів ЦАП та АЦП і призводять до збільшення похибки перетворення і її виходу за межі допуску. Це відповідно асоціюється з частковою параметричною відмовою пристрою в цілому [3, 5].

Особливо гострою проблема виходу похибки перетворення за зону допуску є у багаторозрядних ПФІ [6–8]. Це проявляється у невідповідності декларованої роздільної здатності реальному значенню похибки перетворення. Наприклад, найкращі сучасні АЦП не дають абсолютної точності перетворення більше 12 двійкових розрядів у широкому діапазоні температур і протягом життєвого циклу, що пов'язано з наявністю фундаментальних обмежень із забезпечення точності і стабільності параметрів аналогових вузлів [6].

Щодо цифрових вузлів або цифрових пристроїв слід відзначити таке. Мікросхемами цифрових пристроїв, наприклад, мікропроцесори,

схеми пам'яті можуть містити сотні тисяч і мільйони елементів. При цьому, незважаючи на задання досить широких зон допусків параметрів елементів (10...20 %), ймовірність появи повної відмови висока. Натомість кількість елементів в АЦП і ЦАП значно менша (на порядки). Тому у цьому плані ПФІ можна вважати надійними по відношенню до катастрофічних відмов. Водночас, для цифрових пристроїв нема сенсу говорити про параметричну відмовостійкість, оскільки якщо орієнтуватися на технологічні методи, то первинні похибки їх елементної бази можуть бути значно (на порядки) більшими порівняно з багаторозрядними АЦП і ЦАП. Проте для багаторозрядних ПФІ проблема параметричної відмовостійкості стоїть досить гостро.

Стосовно АЦП, особливо багаторозрядних (12...18), слід виділити групи похибок перетворення, зокрема, такі як: первинні інструментальні похибки і додаткові, що з'являються в процесі експлуатації. Первинні похибки мають місце безпосередньо після виготовлення пристрою і обумовлені неточністю задання параметрів елементної бази та можуть бути значними. Наприклад, відносна похибка виготовлення мікроелектронних резисторів без лазерного припасування складає 1...3%, конденсаторів – 0,1...1% [9, 10]. Це для багаторозрядних ПФІ є неприпустимим, тому для зменшення похибок елементної бази використовуються різні дороговартісні технологічні прийоми, зокрема, лазерне припасування параметрів аналогових вузлів [10]. Вказана процедура руйнує структуру матеріалів компонентів, що у свою чергу погіршує часову і температурну стабільність [10]. Разом з тим, лазерне припасування дає короточасний ефект за умови функціонування перетворювачів у широкому діапазоні температур. До того ж слід зазначити, що можливості удосконалення елементної бази аналогових вузлів, як правило, є обмеженими [6]. Так, аналіз моделей багаторозрядних ЦАП і АЦП, що випускаються серійно провідними фірмами світу, зокрема, Analog Devices, Intersil, Maxim Integrated Products, Texas Instruments, National Semiconductor [6–8, 11, 12] показує, що при зміні умов навколишнього середовища похибки перетворення можуть значно (у декілька разів) перевищувати роздільну здатність, що відповідає значенню молодшого кванту.

Водночас є інший підхід, що дозволяє досягти зменшення похибки

перетворення, не використовуючи припасування ваг розрядів, тобто уникнути потреби фізичного впливу на елементи схеми. Замість технологічного припасування при цьому використовуються методи самокоригування і самокалібрування ваг розрядів і характеристики перетворення в цілому, що дозволяє значно (на 1...2 порядки) зменшити похибки перетворення порівняно з первинними похибками елементів, а також використовувати неточну і порівняно нестабільну первинну елементну базу для побудови аналогових вузлів. Слід також відзначити, що, по суті, для всіх багаторозрядних ПФІ елементна база є і неточною, і нестабільною [13].

Разом з тим, у процесі експлуатації через старіння і під впливом чинників навколишнього середовища характеристики елементів будуть змінюватися, що викличе появу додаткових похибок і відповідно появу часткових параметричних відмов. При цьому властивість багаторозрядних АЦП і ЦАП утримувати похибку перетворення у заданих межах, незважаючи на змінення протягом циклу експлуатації параметрів аналогових вузлів під дією чинників, що впливають, будемо називати відмовостійкістю ПФІ.

Багато розробників ПФІ для зменшення похибки перетворення протягом циклу експлуатації пропонують використовувати різні методи самокоригування [14–20] і самокалібрування [21–28], що до того ж сприяє підтриманню відмовостійкості. Водночас, незважаючи на десятиліття наукових досліджень у галузі ПФІ, питання відновлення часткових параметричних відмов у багаторозрядних ЦАП і АЦП розглянуто недостатньо. Причинами появи таких відмов є зміна параметрів аналогових вузлів ПФІ, зокрема, дрейф порогу спрацювання схеми порівняння, зміна значень розрядних струмів перетворювача код-струм, номіналів елементів резистивних, конденсаторних матриць [29]. Тому, для зменшення похибок перетворення багаторозрядних ЦАП і АЦП, що виникають внаслідок дії чинників навколишнього середовища і старіння елементів, перспективним є використання методів самокоригування і самокалібрування.

Для побудови багаторозрядних ПФІ, як правило, використовують двійкові системи числення. Проте при цьому такі перетворювачі, зокрема, АЦП порозрядного врівноваження мають ряд недоліків. Так, у

двійкових АЦП, що самокоригуються, зменшується швидкодія перетворення, оскільки в цьому випадку під час основного перетворення для кожного розряду розраховується коригувальна поправка, і витрачається час на її розрахунок і введення.

Тому було запропоновано використовувати для побудови ПФІ системи числення з ваговою надлишковістю (СЧВН), оскільки в цьому випадку з'являється можливість підвищувати точність АЦП, побудованого на неточних елементах, шляхом врахування відхилень ваг розрядів, а також підтримувати заданий рівень похибок перетворення під час експлуатації при зміні умов навколишнього середовища, а саме: температури, вологості, тобто забезпечувати відмовостійкість до часткових параметричних відмов. Крім того, у ПФІ з ваговою надлишковістю є можливість у комплексі з підтриманням відмовостійкості підвищувати швидкодію АЦП порозрядного кодування в 5...10 разів за рахунок компенсації динамічних похибок, що виникають під час врівноваження [21].

Самокоригування АЦП (ЦАП) – це окрема процедура визначення відхилень від номінальних значень параметрів вузлів АЦП (ЦАП) і їх запам'ятовування у вигляді цифрових кодів для формування протягом вказаної процедури коригувальних поправок до характеристики вхід-вихід з метою зменшення статичних похибок з перериванням при цьому процесу основного перетворення. Реалізація процедури коригування може вимагати наявності еталонних сигналів [14]. *Самокалібрування* є різновидом коригування і може виконуватися в АЦП (ЦАП), побудованому на основі СЧВН. У процесі вказаної процедури визначаються коди значень відхилень ваг старших «неточних» розрядів шляхом порівняння ваги поточного розряду, що калібрується, із певною сумою ваг групи сусідніх молодших розрядів на базі існуючих між ними математичних співвідношень з подальшим обчисленням коригувальних поправок або коригованих значень «неточних» розрядів. Використання спеціальних взірцевих мір або еталонних сигналів у цьому випадку не потрібне. Самокалібрування здійснюється з метою зменшення похибок диференціальної, інтегральної лінійності, зміщення нуля характеристики вхід-вихід, а її результати можуть багатократно використовуватися у процесі основного перетворення. При цьому на відміну від самокори-

гування поправка вводиться у цифровій формі, що не впливає на швидкодію роботи перетворювача інформації.

Регулярне виконання самокалібрування дозволить підтримувати метрологічні характеристики в межах норми, незважаючи на виникнення параметричних відмов аналогових вузлів, викликаних впливом зміни умов навколишнього середовища, а також через старіння елементів схеми протягом періоду експлуатації. Ці відмови призводять до появи похибок перетворення, але завдяки самокалібруванню пристрій функціонує в нормальному режимі. Тому в даному випадку можна говорити про забезпечення відмовостійкості багаторозрядних ПФІ протягом всього життєвого циклу.

Вирішенням питання підвищення точності і підтримання відмовостійкості перетворювачів інформації займалися наукові школи України, зокрема, професора А. І. Кондалєва, В. О. Романова, В. О. Багацького, В. А. Фабричева [30–44], П. П. Орнатського [5, 45–48], М. В. Аліпова [49–52], Б. Й. Швецького [53]. Також слід відзначити, що покращенням метрологічних характеристик ПФІ, а також систем, до яких вони входять, займалися наукові школи Ю. М. Туза, Є. Т. Володарського [54–56]. Загальні принципи побудови та покращення характеристик АЦП досліджувалися та розроблялися науковими школами колишнього СРСР, зокрема, В. Б. Смолова [14, 15, 57–64], Е. І. Гітіса [2, 65–67].

Разом з радянськими і українськими науковцями питанням покращення характеристик АЦП займалися відомі науковці далекого зарубіжжя, зокрема: Ф. Гудінаф [68], В. Кестер [69–74] з корпорації Analog Device, З. Боєсиглер, С. Соколов [75, 76] з Intersil Inc., Руді Дж. Ван Де Плаше, Х. Ван Дер Плог, Г. Хукзед, Хенк А. Х. Тірмір, М. Вертріх, Ральф Л. Д. Роверс [77, 78] з Philips, а також співробітники науково-дослідних підрозділів корпорацій Texas Instruments Inc., МАХІМ, Linear Technology Corporation, Intel Corporation [79–95] та ін.

Питання створення відмовостійких порозрядних АЦП на основі СЧВН з 70-х років минулого століття розглядаються у Вінницькому національному технічному університеті в науковій школі професора О. Д. Азарова [4]. Причому у 70-х і на початку 80-х рр. пропонувалося відмовостійкість забезпечувати шляхом використання процедури са-

моконтролю. При цьому вважалося, що розряд ПФІ може відмовити повністю або частково, і його подальше використання у процесі врівноваження неможливе. Під час процедури самоконтролю визначалися номери розрядів, що відмовили, і виконувався обхід їх під час перетворення. Завдяки ваговій надлишковості вилучення розряду не призводило до розриву характеристики перетворення. Такий підхід дозволяв збільшити відсоток виходу годних пристроїв під час виготовлення і підтримувати відмовостійкість під час експлуатації. Проте недоліком такого підходу є те, що кількість розрядів, що вилучається як при появі катастрофічних відмови, так і параметричних, є обмеженою і залежить від характеристик системи числення, використаної для побудови надлишкового ПФІ. Починаючи з 80-х років для підтримання відмовостійкості використовуються методи самокалібрування [21–28].

Таким чином, забезпечення точності на етапі виготовлення технологічними методами, а також методами самоконтролю не гарантує стійкості вказаних пристроїв до впливу чинників навколишнього середовища в процесі експлуатації ПФІ. У результаті цього реальна точність перетворення за вказаних умов зменшується. Разом з тим, слід відзначати, що стандартизованих показників відмовостійкості при поступових відмовах для перетворювачів форми інформації не існує [5].

До того ж питання підтримки відмовостійкості багаторозрядних ЦАП і АЦП порозрядного кодування розглянуто недостатньо у науково-технічній літературі, і має місце несистематизований підхід. Крім того, відсутні математичні моделі, що дозволяють пов'язати відмовостійкість і похибки перетворення. Причому, як відзначалося, забезпечення відмовостійкості шляхом використання процедур самокоригування і потрібних при цьому розрахунків та введень коригувальних поправок в аналоговій формі суттєво знижує швидкодію пристрою. При цьому метод самокалібрування не вимагає визначення поправки під час перетворення і не приведе до зниження швидкодії. Водночас, у процесі визначення ваг розрядів має місце накопичення методичної похибки. Тому виникла потреба у розробці нових методів самокалібрування. Слід також відзначити, що і до теперішнього часу не розглядалися питання визначення міжкалібрувального інтервалу для ПФІ з ваговою надлишковістю. Таким чином, наукова задача, пов'язана зі

створенням нового класу відмовостійких багаторозрядних ЦАП і АЦП порозрядного кодування з ваговою надлишковістю, є актуальною.

Метою монографії є розробка методів і засобів забезпечення відмовостійкості багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю шляхом самокалібрування як ваг розрядів, так і характеристики перетворення в цілому. Це дозволяє підтримувати точність перетворення в межах норми, незважаючи на те, що як основні, так і додаткові похибки елементної бази, що виникають внаслідок появи часткових параметричних відмов аналогових вузлів, перевищують значення, які визначаються роздільною здатністю пристрою. А також визначення міжкалібрувального інтервалу, дотримання якого у процесі експлуатації вказаних пристроїв дозволить підтримувати їх відмовостійкість при появі параметричних відмов аналогових вузлів.

Автори будуть вдячні за відгуки на монографію, а також за побажання щодо розвитку подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

У монографії запропоновано елементи теорії відмовостійких багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю. Це є підґрунтям для побудови класу багаторозрядних високолінійних АЦП послідовного наближення і ЦАП паралельної дії із ваговою надлишковістю, метрологічні характеристики яких практично не залежать від зміни умов навколишнього середовища. Використання такого класу ПФІ у інформаційно-вимірювальних системах, системах контролю дозволяють також забезпечити параметричну відмовостійкість вказаних систем. Відмовостійкість багаторозрядних АЦП і ЦАП забезпечується за рахунок періодичного виконання процедури самокалібрування. Виконання цієї процедури дозволяє нівелювати вплив часткових параметричних відмов аналогових вузлів схеми, що з'являються в процесі експлуатації через зміну температури навколишнього середовища, а також через старіння елементів, на вихідну характеристику ПФІ. Крім того, такі перетворювачі інформації можна будувати на неточній елементній базі, тобто такій, первинні похибки якої є більшими в порівнянні з похибками АЦП і ЦАП.

Отримані наукові положення є внеском у подальший розвиток теорії аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворення на основі позиційних систем числення із ваговою надлишковістю, що пов'язаний із створенням відмовостійких багаторозрядних АЦП порозрядного кодування і ЦАП паралельної дії.

Основні результати досліджень такі:

1. Здійснено аналіз існуючих методів підтримання відмовостійкості багаторозрядних ЦАП і АЦП. Визначено, що актуальною є розробка нових методів підтримання відмовостійкості багаторозрядних ПФІ. Зокрема, перспективним є використання методу цифрового самокалібрування ваг розрядів і характеристики перетворення ПФІ. Це можливо здійснювати при побудові багаторозрядних АЦП і ЦАП на основі систем числення із ваговою надлишковістю.

2. Запропоновано новий метод підтримання відмовостійкості багаторозрядних ЦАП і АЦП порозрядного кодування із ваговою надлиш-

ковістю, побудованих на неточних і нестабільних аналогових вузлах, шляхом цифрового самокалібрування як ваг розрядів, так і характеристики перетворення в цілому, зокрема, з виконанням процедури усереднення на розгортках;

3. Вперше отримано аналітичні вирази для оцінювання міжкалібрувального інтервалу багаторозрядних ЦАП і АЦП порозрядного кодування із ваговою надлишковістю, що дозволить підтримувати відмовостійкість роботи вказаних пристроїв протягом всього циклу експлуатації при зміні параметрів навколишнього середовища і старінні елементів аналогових вузлів;

4. Подальшого розвитку отримали аналітичні вирази для оцінювання ефективності процедур самокалібрування, зокрема, з усередненням на розгортках, що дозволяє оцінити доцільність використання того чи іншого методу самокалібрування залежно від потрібних точносних характеристик багаторозрядних АЦП і ЦАП;

5. Подальшого розвитку отримали моделі статичних похибок каналів АЦ- і ЦА-перетворення до і після самокалібрування, що виникають в результаті появи часткових параметричних відмов при зміні чинників навколишнього середовища і в результаті старіння елементів аналогових вузлів багаторозрядних АЦП і ЦАП. Це дозволило визначити складові похибок вказаних каналів і вичленити кориговані, частково кориговані і некориговані похибки.

6. Доведено, що характеристика квантування ПФІ на основі СЧВН із природним базисом є нерівномірною, а крок квантування – багатозначним. Встановлено, що набір можливих кроків квантування обмежений і залежить від основи системи числення, що дозволить враховувати похибки квантування при оцінюванні загальної похибки перетворення багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю;

7. Розроблено рекомендації для проектування відмовостійких багаторозрядних ПФІ з ваговою надлишковістю. Подальшого розвитку отримали структури відмовостійких багаторозрядних АЦП порозрядного кодування і ЦАП паралельної дії, а також схеми аналогових вузлів вказаних пристроїв. Розроблено структурно-логічні схеми формування результату перетворення АЦП і цифрового еквіваленту робочого коду ЦАП. Показано, що такий підхід дозволяє здійснювати

обчислення в традиційній двійковій системі числення і не вимагає додаткових перетворювачів кодів на виході АЦП (вході ЦАП).

8. Розроблено програмне забезпечення для моделювання процедур самокалібрування характеристики перетворення багаторозрядних ЦАП і АЦП порозрядного кодування із ваговою надлишковістю, що дозволяє оцінювати характеристики багаторозрядних ПФІ з ваговою надлишковістю, оптимізувати алгоритми їх роботи, змінюючи число розрядів, основу системи числення, допуски на елементу базу та ін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення : ДСТУ 3433–96 (ГОСТ 27.005–97). – [Чинний від 01.01.1999]. – К. : Держстандарт України, 1998. – 46 с.
2. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи / Э. Гитис, Е. Пискулов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 360 с.
3. Моисеев В. С. Системное проектирование преобразователей информации / Моисеев В. С. – Л. : Машиностроение, Ленигр. отд-ние, 1982. – 255 с.
4. 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.
5. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Орнатский П. П. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.
6. High Speed, High Accuracy, 14-Bit, 16-Bit, and 18-Bit PulSAR ADCs [Електронний ресурс] / Analog Devices // офіційний сайт. Режим доступу : <http://www.analog.com/static/imported-files/overviews/PulSAR.pdf>.
7. Selecting A/D Converters [Електронний ресурс] / Intersil Corporation. Application Note // офіційний сайт. Режим доступу : <http://www.intersil.com/data/an/an016.pdf>.
8. Amplifier and Data Converter Guide [Електронний ресурс] / Texas Instruments // офіційний сайт. Режим доступу : <http://focus.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?literatureNumber=slyb115c&fileType=pdf>.
9. Alan B. Grebene. Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design / Alan B. Grebene, 2003. – 879 p.
10. Alan Hasting. The Art of Analog Layout / Hasting A, 2001. – 539 p.
11. A/D Converter Design Guide [Електронний ресурс] / Maxim Integrated Products // офіційний сайт. Режим доступу : http://www.maxim-ic.com/design_guides/en/AD_CONVERTERS_28.pdf.
12. Nicholas Gray. ABCs of ADCs [Електронний ресурс] / National

Semiconductor // офіційний сайт. Режим доступу : http://www.national.com/appinfo/adc/files/ABCs_of_ADCs.pdf.

13. Walt Kester. The Data Conversion Handbook [Електронний ресурс] / Analog Devices // офіційний сайт. Режим доступу : http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/data_conversion_handbook.html.

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

15. 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. – ISBN 5-283-04450-5.

16. Albert O'Grady. Getting 14-Bit Performance from a 32-Channel 14-Bit String DAC [Електронний ресурс] / Analog Devices // офіційний сайт. Режим доступу : www.analog.com/library/analogDialogue/archives/37-02/calibration.pdf.

17. Phillip E. Allen. CMOS Analog Circuit Design / Phillip E. Allen, Douglas R. Holberg. Oxford : Oxford University Press, 2002. – 784 p.

18. Goodenough F. Dual 18-bit ADC chip grabs 20-kHz audio // Electronic Design. – 1989. – vol. 14.

19. Naylor J. 18-bit-AD-Umsetzer auf einem Chip // Electronic Industrie. – 1989. – № 9.

20. Mosley J.D. Self-calibrating 16-bit A/D converter quarantees no missing codes to 50 kHz // EDN. – 1987. – vol. 32, № 2.

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

22. Захарченко С. М. Самокалібровані АЦП із накопиченням заряду на основі надлишкових позиційних систем числення. Монографія / Захарченко С. М., Азаров О. Д., Харьков О. М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 235 с.

23. Крупельницький Л. В. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів. Монографія / Л. Крупельницький, О. Азаров. – Вінниця : УНІ-

ВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 167 с.

24. Біліченко Н. О. Високоточні аналого-цифрові перетворювачі з перерозподілом заряду на основі інформаційної надлишковості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.05 / Н. О. Біліченко. – Вінниця, 2001. – 16 с.

25. Азаров О. Д. Високолінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю для систем реєстрації і оброблення сигналів. Монографія / Азаров О. Д., Архипчук О. А., Захарченко С. М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с.

26. 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.

27. Азаров О. Д. Багатоканальні ІВС опрацювання стрибкоподібних сигналів на базі АЦП із ваговою надлишковістю. Монографія / О. Азаров, А. Снігур. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. – 138 с.

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

29. Стрельников В. П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В. Стрельников, А. Федухин. – К. : Логос, 2002. – 486 с.

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

31. Багацкий В. А. Современные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи / Багацкий В. А. – К. : Знание УССР, 1980. – 21 с.

32. 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. – Киев, 1994. – 35 с.

33. 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).

34. Кондалев А. И. Вопросы проектирования преобразователей

формы информации / Кондалев А. И., Никитин А. Н., Багацкий В. А. [и др.] ; под общ. ред. А. Кондалева. – К. : Наук. думка, 1977. – 242 с.

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

36. Кондалев А. И. Системные преобразователи формы информации / Кондалев А. И. – К. : Наук. Думка, 1974. – 334с.

37. Кондалев А. И. Комбинированный аналого-цифровой преобразователь / Кондалев А. И., Овчарук М. Е., Сиверский М. П. // Устройства и элементы систем автоматизации научного эксперимента. – Новосибирск, 1970. – С. 331–335.

38. Вклад Украины в развитие системных преобразователей формы информации / Кондалев А. И., Романов В. А., Багацкий В. А., Ключан П. С. // Труды Междунар. Симпозиума «Компьютеры в Европе. Прошлое, настоящее и будущее». – К. : ИК НАН Украины. – 1998. – 130 с.

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

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

41. Преобразователи формы информации с обработкой данных / [Багацкий В. А., Грешищев Ю. М., Самус И. В. и др.]; под ред. А. И. Кондалева. – К. : Наукова думка, 1992. – 264 с. – ISBN 5-12-003298-2.

42. 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. – Киев, 1994. – 34 с.

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

44. Фабричев В. А. Теория и практика создания методов и средств электромагнитной совместимости устройств преобразования формы информации : автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук : спец. 05.13.05 / Фабричев В. А. – Киев, 1994. – 38 с.
45. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / Орнатский П. П. – [5-е изд., перераб. и доп.] – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 504 с.
46. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский П. П. – К. : Вища школа, 1973. – 364 с.
47. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский П. П. – К. : Вища школа, 1980. – 560 с.
48. Орнатский П. П. Измерительный эксперимент : учебное пособие / П. Орнатский, Н. Пономаренко. – Киев : КПИ, 1979. – 112 с.
49. Алипов Н. В. Помехоустойчивые алгоритмы функционирования преобразователей формы информации // Проблемы создания преобразователей формы информации : V Всесоюзный симпозиум, 1984 г. : тезисы доклада. – К. : Наук. думка, – 1984. – Ч. 1. – С. 107–109.
50. Алипов Н. В. Алгоритмы функционирования параллельно-последовательных преобразователей формы информации, корректирующих динамические ошибки / Алипов Н. В. // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 1985. – №2. – С. 57-64.
51. Алипов Н. В. Об одном классе корректирующих алгоритмов аналого-цифрового преобразования / Алипов Н. В. // Радиотехника. – 1985. – № 1. – С. 120–125.
52. Алипов Н. В. Разработка теории методов решения задач помехоустойчивого поиска и преобразования информации : автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук : спец. 05.13.05 / Алипов Н. В. – Харьков, 1986. – 54 с.
53. Швецкий Б. И. Электронные цифровые приборы / Швецкий Б. И. – [2-е изд, перераб. и доп.] – К. : Техника, 1991. – 191 с.
54. Туз Ю. М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Туз Ю. М. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1976. – 285 с.

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

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

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

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

59. Вопросы построения интегральных преобразователей напряжения в код / [Смоллов В. Б., Шмидт В. К., Варлинский Н. Н. и др.] // Вопросы преобразования информации. – 1972. – Вып. 6. – С. 3–9.

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

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

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

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

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

65. Автоматизация проектирования аналого-цифровых устройств / [Гитис Э. И., Собкин Б. Л., Подколзин А. Н. и др.] ; под ред. Э.И. Гитиса. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 182 с.

66. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств / Гитис Э. И. – М. : Энергия, 1970. – 400 с.

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

68. Гудинаф Ф. Новые области применения аналого-цифровых преобразователей с высоким разрешением // Электроника. – 1991. – №7. – С. 89–96.

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

70. Walt Kester. Basic Characteristics Distinguish Sampling A/D Converters / Walt Kester // EDN. – Sept. 3, 1992. – P. 135–144.

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

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

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

74. Walt Kester. Grounding in High Speed Systems / Walt Kester, James Bryant / Walt Kester // High speed design techniques. – 1999. – P. 6.

75. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. Пер. с англ. / Соклоф С. – М. : Мир, 1988. – 583 с.

76. Zlya Boyaciglller. Increase analog-system accuracy with a 14-bit monolithic ADC / Zlya Boyaciglller, Steve Sockolov. – EDN. – august 18, 1982. – P. 137–143.

77. 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. –Dec. 1982. – Vol. SC-17, No. 6. – P. 1112–1117.

78. Rudy J. Van De Plassche. A Monolithic 14 Bit D/A Converter / Rudy J. Van De Plassche, Dick Goedhart // IEEE Journal of Solid State Circuits. – Jun. 1979. – Vol. SC – 14, No. 3. – P. 552–556.

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

80. Carl Moreland. An 8-bit 150MSPS Serial ADC/ Carl Moreland //

ISSCC Digest of Technical Papers. – 1995. – Vol. 38. – P. 272.

81. Carl Moreland. An Analog-to-Digital Converter Using Serial-Ripple Architecture / Carl Moreland // Masters' Thesis, Florida State University College of Engineering, Department of Electrical Engineering. – 1995. – P. 56.

82. Practical Analog Design Techniques // Analog Devices. – 1995. – Chapter 4, 5, and 8.

83. Linear Design Seminar // Analog Devices. – 1995. – Chapter 4, 5.

84. Howard E. Hilton. A 10MHz Analog-to-Digital Converter with 110dB Linearity / Howard E. Hilton // H.P. Journal. – October 1993. – P. 105–112.

85. Lee S. and Lee J. Comments on «Comments on ‘interstage gain-proration technique for digital-domain multistep ADC calibration’» // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – July 2001. – Vol. CAS-48. – P. 745–749.

86. Rombouts P. Comments on «Interstage Gain-Proration Technique for Digital-Domain Multistep ADC Calibration» / Rombouts P., Weyten L. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – August 1999. – Vol. CAS-46. – P. 1114–1116.

87. Lee S. Interstage gain proration technique for digital-domain multistep ADC calibration / Lee S., Song B. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – January 1994. – Vol. CAS-41. – P. 12–18.

88. Explicit analysis of channel mismatch effects in time-interleaved ADC systems / [Kurosawa N., Kobayashi H., Maruyama K. and others]. // IEEE Trans. Circuit Syst. I. – March 2001. – Vol. CAS-48. – P. 261–271.

89. 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. – July 2000. – Vol. CAS-47. – P. 603–613.

90. 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. – September 2000. – Vol. CAS-47. – P. 821 – 831.

91. Galton I. Digital cancellation of D/A converter noise in pipelined A/D converters / Galton I. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – March 2000. – Vol. CAS-47. – P. 185–196.

92. Maulik P. C. Analysis of leakage current induced nonlinearity in

resistor-ladder based data converters / Maulik P. C. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – February 2000. – Vol. CAS-47. – P. 136–137.

93. Rombouts P. A digital error-averaging technique for pipelined A/D conversion / Rombouts P., Weyten L. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – September 1998. – Vol. CAS-45. – P. 1321–1323.

94. Capofreddi P. D. The use of linear models in A/D converter testing / Capofreddi P. D., Wooley P. D. // IEEE Trans. Circuit Syst. I. – December 1997. – Vol. CAS-44. – P. 1105–1113.

95. Pace P. E. Optimum analog preprocessing for folding ADC's / Pace P. E., Schafer J. L. // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – February 1997. – Vol. 42. – P. 825–829.

96. Надійність техніки. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94. – [Чинний від 28.12.94]. – К. : Держстандарт України, 1994 – 91 с.

97. Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Методи випробувань : ДСТУ 2504–94. – [Чинний від 01.07.1995]. – К. : Держстандарт України, 1994 – 45 с.

98. Никулин С. М. Надежность элементов радиоэлектронной аппаратуры / Никулин С. М. – М. : Энергия, 1979. – 80 с.

99. Сотсков Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники / Сотсков Б. С. – М. : Высшая школа, 1970. – 270 с.

100. Hans Camenzind. 700 Series 20v Bipolar Array Design Manual / Hans Camenzind. – 2005. – P. 192.

101. Hans Camenzind. Designing Analog Chips / Hans Camenzind. – 2005. – P. 242.

102. AD7621 : 16-Bit, 2 LSB INL, 3 MSPS PulSAR ADC [Електронний ресурс] / Analog Devices // офіційний сайт. Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7621.pdf.

103. Иванов В. Н. Мощные интегральные усилители / Иванов В. Н., Иванов В. В. – Ленинград : ЦНИИ «Румб», 1987. – 145 с.

104. Иванов В. Н. Проектирование аналоговых схем на специализированных БИС / В. Иванов, В. Иванов. – Ленинград : ЦНИИ «Румб», 1988. – 139 с.

105. Перетворювачі цифрового коду у напругу або струм вимірювальні. Загальні технічні вимоги : ДСТУ 3636–98 (ГОСТ 30606-98). –

- [Чинний від 01.01.1999]. – К. : Держстандарт України, 1998 – 46 с.
106. Перетворювачі вимірювальні напруги та струму цифрові. Загальні технічні вимоги : ДСТУ 3744–98 (ГОСТ 30605-98). – [Чинний від 01.01.1999]. – К. : Держстандарт України, 1998 – 46 с.
107. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Волович Г. И. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528 с.
108. Ракитин В. В. Интегральные схемы на КМОП-транзисторах / Ракитин В. В. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 308 с.
109. Anthony Collins. Solid State Solutions for Electricity Metrology [Електронний ресурс] / Analog Devices // офіційний сайт. Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/16673279729875solid_state.pdf.
110. Walt Kester. Which ADC Architecture Is Right for Your Application? [Електронний ресурс] / Analog Devices // офіційний сайт. Режим доступу : <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/architecture.pdf>.
111. Mike Walsh. 14-Bit Monolithic ADCs : First to Sample Faster than 1 MSPS [Електронний ресурс] / Mike Walsh, Larry Singer, Joe DiPilato. Analog Devices // офіційний сайт. Режим доступу : <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/31-2/14bit.html>
112. Гельман М. М. Системные аналого-цифровые преобразователи и процессоры сигналов / Гельман М. М. – М. : Мир, 1999. – 559 с.
113. Пат. 6707403В1 США. НКИ 341/120. Analog to digital converter with a calibration circuit for compensating for coupling capacitor errors, and a method for calibrating the analog to digital converter / Christopher Peter Hurrell. № 10/292116; заявл. 12.11.2002; опубл. 16.03.2004. – 25 с.
114. А. с. 1216829 СРСР, МКИ Н 03 М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев, В. Я. Стейскал, Н. А. Масленикова, Р. С. Оганесян. – №3783033; заявл. 6.07.1984; опубл. 8.11.1985, Бюл. №9. – 20 с.
115. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления / [Стахов А. П., Азаров А. Д., Марценюк В. П. и др.]. – К. : УМК ВО, 1988. – 180 с.
116. Пат. 7408490 В2, США. НКИ 341/120. Calibration of a

redundant number system successive approximation analog-to-digital converter / John L. Melanson, Clinton R. Wolff. № 11/537872; заявл. 02.10.2006; опубл. 05.08.2008;. – 20 с.

117. Пат. 6348885 В1, США. НКИ 341/120. System and method for digitally calibration an analog-to-digital converter / Carlos Estaban Munoz, Karl Ernesto Thompson, Douglas S. Piasecki, Wai Laing Lee, Eric Swanson. № 09/393046; заявл. 09.09.1999; опубл. 19.02.2002. – 10 с.

118. Пат. 6404375 В1, США. НКИ 341/172. System and method of selecting and using bit testing sequences during successive approximation for calibrating an analog to digital converter / Carlos Estaban Munoz, Karl Ernesto Thompson, Douglas S. Piasecki, Wai Laing Lee, Eric Swanson. № 09/393091; заявл. 09.09.1999; опубл. 11.06.2002. – 19 с.

119. Пат. 6417794 В1, США. НКИ 341/161. System and apparatus for digitally calibrating capacitors in an analog-to-digital converter using successive approximation / Carlos Estaban Munoz, Karl Ernesto Thompson, Douglas S. Piasecki, Wai Laing Lee, Eric Swanson. № 09/393826; заявл. 09.09.1999; опубл. 09.07.2002. – 19 с.

120. Пат. 5644308, США. НКИ 341/120. Algorithmic analog-to-digital converter having redundancy and digital calibration // Donald A. Kerth, Brian D. Green. № 372954; заявл. 17.01.1997; опубл. 01.07.1997. – 38 с.

121. Похибки квантування в АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення / [Азаров О. Д., Решетнік О. О., Гарнага В. А., Кадук О. В.] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 3 (72). – С. 67–73.

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

123. Кадук О. В. Методи побудови АЦП порозрядного наближення, що самокалібруються / Азаров О. Д., Кадук О. В. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 1 (15). – С. 56–66.

124. Кадук О. В. Кориговані і некориговані похибки багаторозрядних ПФІ, що самокалібруються, з ваговою надлишковістю / Азаров О. Д., Кадук О. В., Дудник О. В. // Оптико-електронні інфор-

маційно-енергетичні технології. – 2009. – № 2 (18). – С. 99–109.

125. Кадук О. В. Стратегії самокалібрування характеристики перетворення АЦП порозрядного кодування з ваговою надлишковістю / Азаров О. Д., Кадук О. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1 (76). – С. 102–110.

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

127. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике / Гмурман В. Е. – [Изд. 10-е, стер]. – М. : Высш. шк., 2005. – 404 с.

128. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Вентцель Е. С. – М. : Наука, 1969. – 576 с.

129. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – [Изд. 3-е, стер]. – М. : Наука, 1969. – 512 с.

130. Кадук О. В. Підвищення параметричної надійності АЦП із ваговою надлишковістю / Азаров О.Д., Кадук О.В. // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : міжнар. конф., 15-17 травня 2007 р. : тези доп. – Вінниця : ВНТУ, – 2007. – С. 140.

131. Кадук О. В. Математична модель відмов ЦАП, що самокалібрується, із ваговою надлишковістю / Азаров О. Д., Кадук О. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 5 (80). – С. 78–83.

132. Комп'ютерна програма для моделювання надійнісних характеристик АЦП порозрядного врівноваження із ваговою надлишковістю / [О. Д. Азаров, О. О. Лукашук, Ю. С. Ліпінська, О. В. Кадук] // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 26842. – К. : Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації : 09.12.2008.

133. Кадук 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 про реєстрацію авторського права на твір № 29467. – К. : Державний депар-

тамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації : 15.07.2009.

134. Рего К. Г. Метрологическая обработка результатов технического измерений / Рего К. Г. – К. : Техніка, 1987. – 128 с.

135. Статистические методы в инженерных исследованиях / [Круг Г. К., Бородюк В. П., Вошинин А. П., Иванов А. З.]; под. ред. Г. К. Круга. – М. : Высш. школа, 1983. – 216 с.

136. Гнатек Ю. Р. Справочник по цифроаналоговым и аналогоцифровым преобразователям / Гнатек Ю. Р. – М. : Радио и связь, 1982. – 552 с.

137. Кадук О. В. Високолінійні АЦП порозрядного врівноваження із ваговою надлишковістю, що самокалібруються, для комп'ютерних систем оброблення даних / Азаров О. Д., Кадук О. В. // Проблеми інформатизації та управління. – 2007. № 1 (23). – С. 84–91.

138. Кадук О. В. Перетворювачі форми інформації, що самокалібруються, із ваговою надлишковістю / Азаров О. Д., Кадук О. В., Дудник О. В. // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009) : міжнар. конф., 8-10 жовтня 2009 року. : тези доп. – Вінниця : ВНТУ, – 2009. – С. 31.

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

140. Кадук О. В. Міжкалібрувальний інтервал для АЦП порозрядного кодування із ваговою надлишковістю, що самокалібрується / Азаров О.Д., Кадук О.В. // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : міжнар. конф., 22-24 квітня 2009 р. : тези доп. – Вінниця : ВНТУ, – 2009. – С. 197–198.

141. Пат. на корисну модель 41315 Україна. МПК (2009) H03M 1/66. Цифро-аналоговий перетворювач / О. Д. Азаров, О. В. Кадук; заявн. Вінницький національний технічний університет. – № u200900491; заявлено 23.01.2009; опубл. 12.05.2009; Бюл. № 9. – 12 с.

142. Пат. на корисну модель 44123 Україна. МПК (2009) H03M 1/00. Аналого-цифровий перетворювач / О. Д. Азаров, О. В. Кадук;

заявн. Вінницький національний технічний університет. – № u200901544; заявлено 23.02.2009; опубл. 25.09.2009; Бюл. № 18. – 12 с.

143. Пат. на корисну модель 23906 Україна, МПК (2006) H03K 5/22, G05B 1/00. Буферний каскад / О. Д. Азаров, О. В. Кадук, В. В. Ратнюк, Л. В. Крупельницький; заявн. Вінницький національний технічний університет. – № u200701187; заявлено 05.02.2007; опубл. 11.06.2007; Бюл. № 8. – 8 с.

144. Пат. на корисну модель 25471 Україна. МПК (2006) H03K 5/22, G05B 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / О. Д. Азаров, О. В. Кадук, С. В. Богомолів, В. А. Гарнага, О. О. Решетнік; заявн. Вінницький національний технічний університет. – № u200703563; заявлено 02.04.2007; опубл. 10.08.2007; Бюл. № 12. – 12 с.

145. Пат. на корисну модель 22671 Україна, МПК (2006) H03K 5/22, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / О. Д. Азаров, О. В. Кадук, О. О. Лукашук, С. В. Богомолів, Л. В. Крупельницький; заявн. Вінницький національний технічний університет. – № u200613036; заявлено 11.12.2006; опубл. 25.04.2007; Бюл. № 5. – 12 с.

146. Пат. на корисну модель 26413 Україна, МПК (2006) H03K 5/00, G05B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / О. Д. Азаров, О. В. Кадук, С. В. Богомолів, В. А. Гарнага, О. О. Решетнік; заявн. Вінницький національний технічний університет. – № u200702063; заявлено 26.02.2007; опубл. 25.09.2007; Бюл. № 15. – 10 с.

Наукове видання

**Азаров Олексій Дмитрович
Кадук Олександр Володимирович**

**БАГАТОРОЗРЯДНІ АЦП І ЦАП
ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ,
СТІЙКІ ДО ПАРАМЕТРИЧНИХ ВІДМОВ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено О. Кадуком

Підписано до друку 22.06.2010 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,63.
Наклад 100 прим. Зам № 2010-121.

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.