

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О.Д. Азаров

**АНАЛОГО-ЦИФРОВЕ ПОРОЗРЯДНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ
НА ОСНОВІ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ З ВАГОВОЮ
НАДЛИШКОВІСТЮ**

Монографія

ВНТУ 2010

УДК 681.325; 681.335

ББК 32.971; 32.972

A35

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 4 від 26.11.2009р.)

Рецензенти:

В.О. Романов доктор технічних наук, професор

Р.Н. Кветний доктор технічних наук, професор

Азаров О.Д.

A35 Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових систем числення з ваговою надлишковістю: монографія / Азаров О. Д.. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 231 с.

ISBN 966-641-089-9

У монографії розглянуто основи теорії порозрядного аналого-цифрового перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю. Описано принцип комплексного вирішення проблеми підвищення як швидкодії, так і точності аналого-цифрових перетворювачів, побудованих на низькоточній елементній базі.

Книгу розраховано на науковців, аспірантів, студентів та фахівців, які займаються проектуванням і розробкою багаторозрядних високоточних АЦП прискореної швидкодії, а також інформаційно-вимірювальних систем, систем цифрового реєстрування й оброблення аналогових сигналів.

УДК 681.325; 681.335

ББК 32.971; 32.972

ISBN 966-641-089-9

© О.Д. Азаров, 2010

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 НАПРЯМКИ Й ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СЧВН У БАГАТОРОЗРЯДНИХ ПФІ	9
1.1 Арифметико-числові властивості СЧВН, що застосову- ються у ПФІ	9
1.2 Особливості побудови багаторозрядних ЦАП паралель- ної дії на основі СЧВН	18
1.3 Напрямки застосування СЧВН при багаторозрядному прискореному аналого-цифровому порозрядному перет- воренні.....	33
2 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ БАГАТОРОЗРЯД- НИХ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО НАБЛИЖЕННЯ, ПОБУДО- ВАНИХ НА НЕТОЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ	50
2.1 Метод аналізу нерозривності характеристики претво- рення АЦП на основі СЧВН в „особливих точках”	50
2.2 Самокалібрування характеристики перетворення бага- торозрядних високоточних АЦП на основі СЧВН(0,1) і СЧВН($\bar{1}$, 1)	60
2.3 Методичні похибки й ефективність самокалібрування.....	71
3 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ АЦП ПОРОЗРЯД- НОГО НАБЛИЖЕННЯ НА ОСНОВІ СЧВН.....	82
3.1 Метод складення рівнянь балансу на основі аналізу при- пустимих похибок усталення у „критичних точках”	82

3.2	Прискорене форсоване АЦ-перетворення на основі СЧВН($\bar{1}, 1$). Форсуючі сигнали	101
3.3	Математичні моделі похибок усталення при АЦ-перетворенні на основі СЧВН($\bar{1}, 1$).....	112
3.4	Прискорене АЦ-перетворення на основі СЧВН (0,1) із форсуванням компенсуючого сигналу	126
4	АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОДАТКОВИХ ЧИННИКІВ НА РЕЖИМ ПРИСКОРЕНОГО ПОРОЗРЯДНОГО АЦ-ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ СЧВН.....	143
4.1	Математичні моделі похибок усталення компенсуючого сигналу за умови багатократного прискореного врівноваження	143
4.2	Прискорене АЦ-перетворення при коливальному характері формування компенсуючого сигналу	154
4.3	Прискорене врівноваження за умови змінення рівня вхідного сигналу	167
5	РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ НА БАЗІ АЦП ІЗ ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ	187
5.1	Вибір оптимальної СЧВН під час проектування АЦП системного застосування з підвищеними точністю і швидкістю.....	187
5.2	Проектування високоточних швидкодійних цифрових систем реєстрування і оброблення аналогових сигналів.....	199
	ЛІТЕРАТУРА	219

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦ – перетворення – аналого-цифрове перетворення;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
БК – блок керування;
БПВ – юлок порозрядного врівноваження;
ДНЛ – диференційна не лінійність;
ДСТ – державний стандарт;
ІВС – інформаційно-вимірювальні системи;
ІНЛ – інтегральна не лінійність;
ІОС – інформаційно-обчислювальна система;
НСМ – нагромаджувальний суматор;
ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;
ПВЗ – пристрій вибірки-зберігання;
ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій;
ПІ – перетворювач інформації;
ПК – пристрій керування;
ПФІ – перетворювачі форми інформації;
РПН – реєстр послідовного наближення.
РПН – реєстр послідовного наближення;
САЦП – системний аналого-цифровий перетворювач;
СП – схема порівняння;
СПІ – системні перетворювачі інформації;
СЦАП – системний цифроаналоговий перетворювач;
СЦП – система цифрової реєстрації;
СЧ – система числення;
СЧВН – система числення з ваговою надлишковістю;
ЦАП – цифроаналоговий перетворювач;
ЦОМ – цифрова обчислювальна машина;
ЦОП – цифровий обчислювальний пристрій;
ЦФ – цифровий фільтр;

ВСТУП

Аналого-цифрові перетворювачі сукупно з цифроаналоговими перетворювачами утворюють клас перетворювачів форми інформації, що широко застосовуються в різних сферах людської діяльності. Параметри і характеристики ПФІ залежать від галузі використання і складності розв'язуваних задач. У теперішній час набуло поширення використання ПФІ разом із ЦОП у складі різноманітних систем. При цьому АЦП і ЦАП розглядаються як системні перетворювачі інформації. Причому СПП, у свою чергу, виконують роль аналого-цифрових підсистем [1], які залежно від призначення систем реалізують функції зв'язку з об'єктом, а саме аналого-цифрових контролерів, аналого-цифрових інтерфейсів, аналого-цифрових спецпроцесорів, підсистем тестування, випробовування та регулювання параметрів і характеристик виробів, що виготовляються, збирання й оброблення вимірювальної інформації, аналізу і синтезу сигналів і т.п. Особливо серйозні вимоги висуваються до характеристик СПП, що входять до складу інформаційно-вимірювальних систем. У першу чергу це точність і швидкодія. Удосконалення зазначених характеристик є центральним напрямком досліджень у галузі одержання, перетворення й оброблення аналогових сигналів.

Вирішенням проблем підвищення точності і швидкодії протягом тривалого часу плідно займалися наукові школи А. І. Кондалєва, В. О. Романова, В. О. Багацького [1–7], В. Б. Смолова [8–11], Е. І. Гітіса [12–14], П. П. Орнатського [15–19], Б. І. Швецького [20–22], О. П. Стахова [23–25], В. М. Шляндина [26–28], Ю. М. Туза [29], Є. Т. Володарського [30], М. П. Цапенка [31] та інших. На жаль, багато оригінальних ідей учених України і країн колишнього СРСР так і не було впроваджено в практику внаслідок орієнтації політики колишнього керівництва міністерств і відомств СРСР, що відповідали за засоби електронізації, вимірювальну й обчислювальну техніку, на копіювання закордонних підходів і зразків, аж до копіювання інтегральних схем. Це обумовило серйозне відставання рівня техніки у цій галузі, зокрема, в Україні. Проте запропоновані ідеї ряду наукових колективів не тільки не втратили своєї актуальності в сучасних умовах,

але й створюють передумови для проектування і розроблення ІВС і засобів перетворення інформації, що за своїми параметрами і характеристиками не поступаються кращим закордонним зразкам. При цьому орієнтація на передову технологію й особливо нанотехнологію дозволила б налагодити розроблення, виготовлення і впровадження таких виробів у народне господарство України.

Традиційно проблеми підвищення точності і швидкодії ПІ вирішувалися і частково вирішуються за рахунок застосування досконалішої елементної бази. Проте за умов, коли можливості технології на певному етапі вичерпані, потрібні принципово інші підходи, що базуються, зокрема, на введенні надлишковості на різних рівнях проектування пристроїв і систем: функціонально-алгоритмічному, інформаційному і структурно-схемотехнічному.

Слід зазначити, що перший і третій напрямки вже досить тривалий період мають місце в теоретичних дослідженнях і практичних розробках низки наукових шкіл і дали свої позитивні результати. Проте зазначені підходи в основному дозволяють вирішувати тільки одну з проблем: або підвищення точності, або – швидкодії. Так, наприклад, підвищення швидкості високоточного аналого-цифрового перетворення може здійснюватися структурно-схемотехнічним шляхом (паралельно-послідовні структури) або функціонально-алгоритмічним (багатокрокові інтегруючі АЦП). Підвищення ж точності, що досягається за допомогою цих підходів, орієнтованих на різні методи коригування статичних похибок, як правило, призводить до зниження швидкодії перетворювачів. У цьому зв'язку певну нішу посідають дослідження, пов'язані з вирішенням проблем комплексного підвищення як точності, так і швидкодії шляхом уведення в проєктовані пристрої окремого виду надлишковості, а саме, у формі систем числення з ваговою надлишковістю (СЧВН).

Застосування СЧВН у техніці АЦП і ЦАП розпочалося в СРСР з кінця 70-х років спочатку у науковій школі професора О. П. Стахова, згодом і автора цієї монографії, незалежно від аналогічних робіт, що розгорнулися водночас у США (фірма Intersil Inc.). На першому етапі (до середини 80-х років) в основному вирішувалася проблема підвищення точності. У результаті цього, зокрема, у практичному плані були створені високоточні багаторозрядні (14–17-розрядів) АЦП, що са-

мокалібруються з середньою швидкодією (час перетворення 50–500 мкс, основна похибка – 0,006–0,02%). На другому етапі (з середини 80-х років) почала вирішуватися проблема комплексного підвищення точності і швидкості аналого-цифрового перетворення. Актуальність досліджень у цій галузі підтверджується позитивними практичними результатами. Водночас слід зазначити, що СЧВН, що використовується у СПП, у загальному випадку варто розглядати як внутрішню (робочу) стосовно основної (двійкової) системи числення, в якій функціонують цифрові обчислювальні пристрої, що входять до структури різноманітних ІВС.

У 2004 році було видано першу монографію автора [32] у цьому напрямку. В подальшому у 2005, 2006 і 2008 роках було опубліковано ще низку наукових праць [33–38] з цієї тематики. У цих роботах детальніше розкрито питання: побудови спеціалізованих ПФІ, а також використання їх в ІВС; методи підвищення точності конденсаторних АЦП і ЦАП; особливості проектування аналогових вузлів для вказаного класу пристроїв.

У цій монографії не ставилося за мету кардинальне змінення матеріалу першої монографії з урахуванням останніх публікацій. Водночас, окремі наукові положення з першої монографії зазнали низки доопрацювань, деякі розділи детальніше структуровано й доповнено.

Метою другого видання монографії є подальша систематизація основ теорії аналого-цифрового перетворення на основі СЧВН. Центральною задачею висувається комплексне вирішення таких аспектів проблеми: з одного боку – підвищення (у 5–10 разів) швидкодії АЦП за рахунок можливості компенсації істотних (20–50%) похибок усталення, що виникають під час формування компенсуючого сигналу; з іншого боку – істотне (на 1–2 порядки) підвищення точності (лінійності) ПФІ, побудованих на неточних елементах, шляхом самокалібрування характеристики перетворення. Причому це все здійснюється “розміном” вагової надлишковості на компенсацією динамічних похибок I і II роду, а також на цифрове коригування статичних похибок елементної бази.

Автор буде вдячний за відгуки на монографію, а також поради, що стосуються подальшого розвитку досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кондалев А. И. Преобразователи формы информации компьютерного типа / Кондалев А. И. – К., 1990. – 46 с. – (Препр. / АН Украины; 90-91).
2. Кондалев А. И. Преобразователи формы информации / Кондалев А. И. – К. : Наукова думка, 1965. – 246 с.
3. Кондалев А. И. Системные преобразователи формы информации / Кондалев А. И. – К. : Наукова думка, 1974. – 336 с.
4. Вопросы проектирования преобразователей формы информации / под. ред. А. И. Кондалева. – К. : Наукова думка, 1977. – 242 с.
5. Преобразователи формы информации для малых ЭВМ / Кондалев А. И., Багацкий В. А., Романов В. А., Фабричев В. А. – К. : Наукова думка, 1982. – 312 с.
6. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев. – К. : Наукова думка, 1987. – 280 с.
7. Преобразователи формы информации с обработкой данных / В. А. Багацкий, Ю. М. Грешищев, И. В. Самус, В. А. Фабричев; под ред. А. И. Кондалева. – К. : Наукова думка, 1992. – 264 с.
8. Смоллов В. Б. Вычислительные преобразователи с цифровыми управляемыми сопротивлениями / Смоллов В. Б. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 135 с.
9. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи / под ред. В. Б. Смоллова и Е. А. Смирнова. – Л. : Энергия, 1967. – 312 с.
10. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / под ред. В. Б. Смоллова. – Л. : Энергия, 1976. – 336 с.
11. Грушвицкий Р. И. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем / Грушвицкий Р. И. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 160 с.
12. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств / Гитис Э. И. – М. : Энергия, 1970.

13. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств / Гитис Э. И. – 3-е изд., перераб. – М: Энергия, 1975. – 448 с.
14. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи : учеб. пособие для вузов / Гитис Э. И., Пискулов Е. А. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 360 с.
15. Орнатский Е. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский Е. П. – К. : Вища школа, 1973.
16. Орнатский Е. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Орнатский Е. П. – К. : Вища школа, 1976.
17. Орнатский Е. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский Е. П. – 4-е изд. перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1980. – 560 с.
18. Орнатский Е. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Орнатский Е. П. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.
19. Орнатский Е. П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский Е. П. – 5-е изд. перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1986. – 504 с.
20. Швецкий Б. И. Электронные цифровые приборы / Швецкий Б. И. – К. : Техника, 1981. – 247 с.
21. Швецкий Б. И. Электронные цифровые приборы / Швецкий Б. И. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Техника, 1991. – 191 с.
22. Швецкий Б. И. Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом / Швецкий Б. И. – К. : Техника, 1970. – 268 с.
23. Стахов А. П. Введение в алгоритмическую теорию измерения / Стахов А. П. – М. : Сов. Радио, 1977. – 288 с.
24. Стахов А. П. Алгоритмическая теория измерения / Стахов А. П. – М. : Знание, 1979. – 64 с.
25. Стахов А. П. Коды золотой пропорции / Стахов А. П. – М. : Радио и связь, 1984. – 152 с.
26. Шляндин В. М. Цифровые электроизмерительные приборы / Шляндин В. М. – М. : Энергия, 1972.
27. Шляндин В. М. Цифровые измерительные преобразователи и приборы / Шляндин В. М. – М. : Высшая школа, 1973. – 280 с.

28. Шляндин В. М. Цифровые измерительные устройства : учебник для вузов / Шляндин В. М. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1981. – 335 с.

29. Туз Ю. М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Туз Ю. М. – К. : Высшая школа, 1976. – 256 с.

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

31. Цапенко М. П. Измерительные информационные системы. : учеб. пособие для вузов / Цапенко М. П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 440 с.

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

33. Азаров О. Д. Високолінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю: монографія / Азаров О. Д., Архипчук О. А., Захарченко С. М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с.

34. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокалібруються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / під заг. ред О. Д. Азарова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 167 с.

35. Захарченко С. М. Самокалібровані АЦП із накопиченням заряду на основі надлишкових позиційних систем числення : монографія / Захарченко С. М., Азаров О. Д., Харков О. М.; під заг. ред О. Д. Азарова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 235 с.

36. Азаров О. Д. Конвеєрні аналого-цифрові перетворювачі з ваговою надлишковістю : монографія / Азаров О. Д., Шапошніков О. В., Захарченко С. М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 157 с.

37. Азаров О. Д. Обчислювальні АЦП і ЦАП, що самокалібруються, для систем цифрового оброблення аналогових сигналів : монографія / Азаров О. Д. Коваленко О. О.; під заг. ред О. Д. Азарова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 147 с.

38. Азаров О.Д. Багатоканальні ІВС опрацювання стрибкоподібних сигналів на базі АЦП із ваговою надлишковістю : монографія /

Азаров О. Д, Снігур А. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 138 с.

39. Избыточные системы счисления, моделирование, обработка данных и системное проектирование в технике преобразования информации : учеб. пособие / В. А. Поджаренко, А. Д. Азаров, В. А. Власенко, И. И. Коваленко. – К. : Вища школа, 1990.

40. Конденсаторні матриці для ЦАП на основі НПСЧ / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага і др. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №2. – С. 6–18.

41. А.с. 1246378 СССР, Н 03 М 1/66. Преобразователь код-ток / А. Д. Азаров, А. П. Стахов, В. Я. Стейскал (СССР). – № 3860515 ; заявл. 10.12.1984 ; опубл. 23.05.1986, Бюл. № 11 – 5 с.

42. Boyacigiller Z. Increase analog system accuracy with a 14-bit monolithic ADC / Boyacigiller Z., Sockolov S. // EDN. – 1982. – August. – №18. – P. 137–144.

43. А.с. 1179533 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 3684369 ; заявл. 04.01.1984 ; опубл. 15.09.1985, Бюл. № 34 – 4 с.

44. А.с. 1223368 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 3774406 ; заявл. 01.08.1984 ; опубл. 07.04.1986, Бюл. № 13 – 8 с.

45. А.с. 1226664 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 3760223 ; заявл. 21.04.1984 ; опубл. 23.04.1986, Бюл. № 15 – 9 с.

46. А.с. 1288913 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. П. Марценюк и др. (СССР). – № 3925661 ; заявл. 08.07.1985 ; опубл. 07.02.1987, Бюл. № 5 – 4 с.

47. А.с. 1288914 СССР, Н 03 М 1/26. Устройство аналого-цифрового преобразования / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 3927378 ; заявл. 08.07.1985 ; опубл. 07.02.1987, Бюл. № 5 – 12 с.

48. А.с. 1304172 СССР, Н 03 М 1/26. Способ аналого-цифрового преобразования / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 3941981 ; заявл. 08.07.1985 ; опубл. 15.04.1987, Бюл. № 14 – 3 с.

49. А.с. 1474824 СССР, Н 03 М. Устройство для аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования / А. Д. Азаров, В. П. Марценюк, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 4178341 ; заявл. 09.01.1987 ; опубл. 23.04.1989, Бюл. № 15 – 14 с.

50. А.с. 1513619 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 4257835 ; заявл. 07.05.1987 ; опубл. 07.10.1989, Бюл. № 37 – 7 с.

51. А.с. 1591182 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / Л. В. Крупельницкий, В. Я. Стейскал, А. Д. Азаров и др. (СССР). – № 4604001 ; заявл. 09.11.1988 ; опубл. 07.09.1990, Бюл. № 33 – 6 с.

52. Сигорский В. П. Основы теории электронных схем / Сигорский В. П., Петренко А. И. – К. : Техника, 1967. – 610 с.

53. А.с. 1381706 СССР, Н 03 М 1/42. Конвейерный аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, С. М. Арапов, А. Д. Азаров и др. (СССР). – № 4014504 ; заявл. 28.01.1986 ; опубл. 15.03.1988, Бюл. № 10 – 5 с.

54. А.с. 1495993 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 4260607 ; заявл. 15.06.1987 ; опубл. 23.07.1989, Бюл. № 27 – 7 с.

55. А.с. 1279064 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал др. (СССР). – № 3882939 ; заявл. 12.04.1985 ; опубл. 23.12.1986, Бюл. № 47 – 8 с.

56. Азаров А. Д. К вопросу об оценке надежности преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями / Азаров А. Д. // Методы построения алгоритмических моделей сложных систем. Выпуск 4. – Таганрог : ТРТИ, 1979. – С. 146–149.

57. Азаров А. Д. Преобразователи информации в кодах с иррациональными основаниями / Азаров А. Д., Крютченко Е. В., Моисеев В. И. – Серпухов, 1979. – 13 с. – (Препринт: ОЭА 17-184 / Ин-т физики высоких энергий).

58. Стахов А. П. О возможности создания надежных преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями / Стахов А. П., Азаров А. Д., Рубин А. Г. // Управляющие системы и машины. – 1980. – С. 49–53.

59. Патент 2498031 Франція, МКИ Н 03 К. Преобразователь р-кодов в аналоговую величину / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – 16 с.

60. Патент 1165889 Канада, МКИ Н 03 К. Преобразователь р-кодов в аналоговую величину / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – 16 с.

61. Патент 2090490 Англия, МКИ Н 03 К. Преобразователь р-кодов в аналоговую величину / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – 16 с.

62. А.с. № 758510 СССР, Н 03 К 13/02. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. А. Лужецкий (СССР). – № 2624305 ; заявл. 07.06.1978 ; опубл. 23.08.1980, Бюл. № 31 – 4 с.

63. А.с. № 947955 СССР, Н 03 К 13/02. Цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев (СССР). – № 2917810 ; заявл. 21.07.1980 ; опубл. 13.03.1982, Бюл. № 8 – 4 с.

64. А.с. 864548 СССР, Н 03 К 13/02. Цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 2853222 ; заявл. 17.12.1979 ; опубл. 14.05.1981, Бюл. № 34 – 4 с.

65. Азаров О. Д. Підвищення точності та швидкодії аналого-цифрових перетворювачів методами інформаційної надлишковості / Азаров О. Д., Захарченко С. М., Кравцов М. О. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №2. – С. 78–83.

66. Азаров О. Д. Розробка самокаліброваної системи цифрової реєстрації аналогової інформації / Азаров О. Д., Скрипник О. С., Шапошников О. В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №2. – С. 73–78.

67. Азаров О. Д. Самокалібрування надлишкових АЦП з перерозподілом заряду / Азаров О. Д., Біліченко Н. О., Захарченко С. М. // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 1999. – Т. 2, № 1. – С. 67–74.

68. Азаров О. Д. Дослідження високопродуктивного аналого-цифрового перетворення на основі НПСЧ / Азаров О. Д., Шапошников О. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 4. – С. 76–80.

69. Азаров О. Д. Самокалібровані аналого-цифрові перетворювачі

на основі надлишкових позиційних систем числення / Азаров О. Д., Снігур А. В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: збірник наукових праць. – Хмельницький : ТУП, 2002. – Т. 2. – С. 18–20.

70. Азаров О. Д. Системи цифрового оброблення аналогових сигналів на базі самокаліброваних АЦП / Азаров О. Д., Войтун О. Г. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : збірник наукових праць. – Хмельницький : ТУП, 2002. – Т. 2. – С. 21–23.

71. Азаров О. Д. Метод самокалібрування похибок порозрядних АЦП з ваговою надлишковістю / Азаров О. Д., Захарченко С. М., Архипчук О. А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 6. – С. 5–8.

72. Мулявка Я. Схемы на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами : пер. с польск. / Мулявка Я. – М. : Мир, 1992.

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

74. Naylor J. Zwei 18-bit-AD-Umsetzer auf einem chip / Naylor J., Metzger J. // Electronic Industrie. – 1989. – №9.

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

76. А.с. 1277396 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. Д. Азаров, А. П. Стахов, В. П. Волков (СССР). – № 3883962 ; заявл. 15.04.1985 ; опубл. 15.12.1986, Бюл. № 46 – 9 с.

77. А.с. 1197079 СССР, Н 03 М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. П. Волков и др. (СССР). – № 3745021 ; заявл. 18.04.1984 ; опубл. 07.12.1985, Бюл. № 45 – 14 с.

78. Азаров О. Д. Нові методи цифрового самокалібрування для АЦП з перерозподілом заряду / Азаров О. Д., Захарченко С. М., Біліченко Н. О. // 35 праць міжнародної науково-технічної конференції “Приборостроение-2000”. – Вінниця-Симеїз, 2000. – С. 233–237.

79. Азаров О. Д. Підвищення точності швидкодіючих АЦП конвексного типу методом інформаційної надлишковості / Азаров О. Д., Шапошніков О. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 5. – С. 68–73.

80. Азаров О. Д. Оптимізація надлишкових АЦП порозрядного врівноваження за реалізаційно-часовими витратами / Азаров О. Д., Ракитянська Г. Б. // Матеріали IV міжн. наук.- техн. конф.: Контроль і управління в технічних системах. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 1997. – Т. I.

81. Захарченко С. М. Розробка і дослідження конденсаторних АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.08 – обчислювальні машини, системи та мережі, елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування / Захарченко С. М. – Вінниця, 1997.

82. Біліченко Н. О. Високоточні аналого-цифрові перетворювачі з перерозподілом заряду на основі інформаційної надлишковості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.08 – обчислювальні машини, системи та мережі, елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування / Біліченко Н. О. – Вінниця, 2001. – 19 с.

83. Пешков А. П. Использование избыточного кодирования для компенсации динамической погрешности аналого-цифрового преобразователя / Пешков А. П., Твердохлеб А. И. // Автоматика и вычислительная техника: Респ. сб. Вып. 13. – Минск : Высшая школа, 1983. – С. 99–102.

84. Погосов А. Ю. Методы повышения быстродействия прецизионных интегральных АЦП поразрядного уравнивания / Погосов А. Ю., Полонников Д. Е. // Микроэлектроника. Вып. 5. – 1986. – Т. 15. – С. 431–433.

85. Повышение быстродействия БИС аналого-цифровых преобразователей последовательного приближения / Федорков Б. Г., Рябов Е. А., Сотский Д. В. и др. // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов : тез. докл. науч. техн. конф. – Рига : ИЭВТ АН Латв. ССР, 1983. – Т. I. – С. 70–73.

86. Бохонко Б. А. Быстродействующий микроэлектронный аналого-цифровой преобразователь с цифровой коррекцией динамической погрешности / Бохонко Б. А. // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов : тез. докл. науч. техн. конф. – Рига : ИЭВТ АН Латв. ССР, 1983. – Т. I. – С. 30–33.

87. Гребен А. Б. Проектирование аналоговых интегральных схем : пер. с англ. / Гребен А. Б. – М. : Энергия, 1976. – 256 с.

88. Шило В. Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре / Шило В. Л. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Сов. радио, 1979. – 368 с.

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

90. Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС : руководство по анализу и расчету : пер. с англ. / Гринфилд Дж. – М. : Мир, 1992. – 560 с.

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

92. Разевиг В. Д. Применение программы P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ / Разевиг В. Д. – В 4 выпусках. Вып. 4. Моделирование цифровых и смешанных устройств – М. : Радио и связь, 1992. – 71 с.

93. Азаров А. Д. Моделирование быстродействующих алгоритмов аналого-цифрового преобразования на основе избыточных систем счисления / Азаров А. Д. // Техн. конф. стран СНГ: Контроль и управление в технических системах : тез. докл. – Винница : Винницкий политехнический институт, 1982. – С. 148–149.

94. Азаров А. Д. Проектирование самокорректирующихся быстродействующих преобразователей информации на основе оптимальных избыточных систем счисления / Азаров А. Д. // Тез. докл. 7-го симпозиума : Проблемы создания преобразователей формы информации. – К., 1992. – С. 9–10.

95. Азаров А. Д. Высоколинейный АЦП для цифровой звукозаписи / Азаров А. Д., Стейскал В. Я., Коваленко Е. А. // XII Всесоюзн. конф. : Перспективы развития техники радиовещательного приема, радиовещания, звукоусиления и акустики. – Ленинград, 1988. – С. 134.

96. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления : учеб. пособие / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. П. Марценюк и др. – К. : УМК ВО, 1988. – 180 с.

97. Анисимов Б. В. Основы теории и проектирования цифровых

вычислительных машин / Анисимов Б. В., Четвериков В. Н. – М. : Машиностроение, 1965. – 486 с.

98. Азаров А. Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: автореф. дис. на получение научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления / Азаров А. Д. – Харьков, 1980, – 24 с.

99. Азаров О. Д. Розробка теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.11.16 – інформаційно-вимірювальні системи / Азаров О. Д. – Вінниця, 1995, – 48 с.

100. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №29467. Моделювання процедури самокалібрування багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю / О. Д. Азаров, О. В. Кадук, О. В. Дудник. – Опубл. 15.07.2009.

101. Островерхов В. В. Динамические погрешности аналого-цифровых преобразователей / Островерхов В. В. – Л. : Энергия, 1975. – 176 с.

102. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. – 13-е изд. – М. : Наука, 1986. – 544 с.

103. Аладьев В. З. Вычислительные задачи на персональном компьютере / Аладьев В. З., Гершгорн Н. А. – К. : Техника, 1991. – 245 с.

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

105. А.с. 1388985 СССР, Н 03 М 1/26. Способ аналого-цифрового преобразования / В. Я. Стейскал (СССР). – № 4113965 ; заявл. 05.09.1986 ; опубл. 15.04.1988, Бюл. № 14 – 7 с.

106. Щушков Е. К. Многоканальные аналого-цифровые преобразователи / Щушков Е. К., Цодиков М. Б. – Л. : Энергия, 1975. – 160 с.

107. Достал И. Операционные усилители : пер. с англ. / Достал И. – М. : Мир, 1982. – 512 с.

108. А.с. 1450098 СССР, Н 03 К 5/24, G 05 В 1/01. Входное устрой-

ство схемы сравнения токов / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, Ю. М. Степайко и др. (СССР). – № 4204509 ; заявл. 02.03.1987 ; опубл. 07.01.1989, Бюл. № 1 – 4 с.

109. Титце У. Полупроводниковая схемотехника : справочное руководство : пер. с нем. / Титце У., Шенк К. – М. : Мир, 1982.

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

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

112. Аналого-цифровые преобразователи на основе избыточных систем счисления / Стахов А. П., Азаров А. Д., Моисеев В. И. и др. // Помехоустойчивые коды (Компьютер Фибоначчи). Сер. Радиоэлектроника и связь. – №9. – М. : Знание, 1989. – 64 с.

113. Высокоточный самокорректирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе кодов с иррациональными основаниями / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. – К. : ИК АН УССР, 1982. – 35 с.

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

115. Высокоточный АЦП, сопряженный с микроЭВМ / Стахов А. П., Марценюк В. П., Азаров А. Д. и др. // Управляющие системы и машины. – 1985. – №5. – С. 23–27.

116. А.с. 1200422 СССР, Н 03 М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 3706544 ; заявл. 04.01.1984 ; опубл. 23.12.1985, Бюл. № 47 – 4 с.

117. А.с. 1216829 СССР, Н 03 М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 3783033 ; заявл. 06.07.1984 ; опубл. 07.03.1986, Бюл. № 9 – 16 с.

118. А.с. 1138949 СССР, Н 03 М 1/66. Дифференциальный цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, В. П. Марценюк, А. Д. Азаров (СССР). – № 3653610 ; заявл. 24.10.1983 ; опубл. 07.05.1985, Бюл. № 5 – 5 с.

119. А.с. 1221754 СССР, Н 03. М 1/66. Устройство цифроаналого-

вого преобразования / А. П. Стахов, В. И. Моисеев, А. Д. Азаров и др. (СССР). – № 3782904 ; заявл. 15.08.1984 ; опубл. 30.03.1986, Бюл. № 12 – 7 с.

120. А.с. 1221755 СССР, Н 03 М 1/66. Устройство цифроаналогового преобразования / А. П. Стахов, В. И. Моисеев, А. Д. Азаров и др. (СССР). – № 3785416 ; заявл. 24.08.1984 ; опубл. 30.03.1986, Бюл. № 12 – 8 с.

121. А.с. 1248072 СССР, Н 03 М 1/66. Устройство для цифроаналогового преобразования / А. П. Стахов, В. И. Моисеев, А. Д. Азаров и др. (СССР). – № 3788847 ; заявл. 11.09.1984 ; опубл. 30.07.1986, Бюл. № 28 – 8 с.

122. А.с. 1257847 СССР, Н 03 М 1/66. Устройство цифроаналогового преобразования / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. П. Марценюк (СССР). – № 3806281 ; заявл. 29.10.1984 ; опубл. 15.09.1986, Бюл. № 34 – 4 с.

123. А.с. 1257848 СССР, Н 03 М 1/66. Устройство цифроаналогового преобразования / А. П. Стахов, В. И. Моисеев, А. Д. Азаров и др. (СССР). – № 3811432 ; заявл. 29.10.1984 ; опубл. 15.09.1986, Бюл. № 34 – 8 с.

124. А.с. 1312739 СССР, Н 03 М 1/66. Устройство цифроаналогового преобразования / А. Д. Азаров, Т. Н. Васильева, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 3954615 ; заявл. 19.19.1985 ; опубл. 23.05.1987, Бюл. № 19 – 5 с.

125. А.с. 1319280 СССР, Н 03 М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 3925079 ; заявл. 08.07.1985 ; опубл. 23.06.1987, Бюл. № 23 – 10 с.

126. А.с. 1325704 СССР, Н 03 М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь / А. Д. Азаров, В. И. Моисеев, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 3990247 ; заявл. 16.12.1985 ; опубл. 23.07.1987, Бюл. № 27 – 3 с.

127. А.с. 1405117 СССР, Н 03 М 1/66. Устройство цифроаналогового преобразования / А. Д. Азаров, В. И. Моисеев, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 4115307 ; заявл. 16.06.1986 ; опубл. 23.06.1988, Бюл. № 23 – 7 с.

128. А.с. 1474824 СССР, Н 03 М 1/2. Устройство для аналогоцифрового и цифроаналогового преобразования / А. Д. Азаров,

В. П. Марценюк, В. И. Моисеев и др. (СССР). – № 4178341 ; заявл. 09.01.1987 ; опубл. 23.04.1989, Бюл. № 15 – 14 с.

129. А.с. 1538254 СССР, Н 03 М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 4178664 ; заявл. 12.01.1987 ; опубл. 23.01.1990, Бюл. № 3 – 5 с.

130. А.с. 1790030 СССР, Н 03 М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь / А. Д. Азаров, Е. А. Коваленко, В. Я. Стейскал и др. (СССР). – № 4822528 ; заявл. 03.05.1990 ; опубл. 23.01.1993, Бюл. № 3 – 15 с.

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

132. Сентурия С. Электронные схемы и их применение / Сентурия С., Уэдлок Б. – М. : Мир, 1977. – 434 с.

133. А.с. 1485309 СССР, G 11 C 27/00. Аналоговое запоминающее устройство / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, А. П. Голубев и др. (СССР). – № 4314608 ; заявл. 08.10.1987 ; опубл. 07.06.1989, Бюл. № 21 – 4 с.

134. А.с. 1552231 СССР, G 11 C 27/00. Аналоговое запоминающее устройство / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, А. П. Голубев и др. (СССР). – № 4465600 ; заявл. 26.07.1988 ; опубл. 23.03.1990, Бюл. № 11 – 4 с.

135. А.с. 1256147 СССР, Н 03 F 3/45. Источник тока / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, В. П. Марценюк и др. (СССР). – № 3765619 ; заявл. 01.10.1984 ; опубл. 11.09.1986, Бюл. № 32 – 2 с.

136. А.с. 1397892 СССР, П 05 А 1/56. Источник постоянного тока / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, В. П. Волков и др. (СССР). – № 4084627 ; заявл. 24.04.1986 ; опубл. 14.05.1988, Бюл. № 19 – 4 с.

137. А.с. 1534440 СССР, G 05, F 1/55. Стабилизатор постоянного тока / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, В. П. Волков и др. (СССР). – № 4144615 ; заявл. 29.10.1987 ; опубл. 23.12.1989, Бюл. № 33 – 3 с.