

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Д. Азаров
О. А. Архипчук
С. М. Захарченко

**ВИСОКОЛІНІЙНІ ПОРОЗРЯДНІ АЦП З ВАГОВОЮ
НАДЛИШКОВІСТЮ ДЛЯ СИСТЕМ РЕЄСТРАЦІЇ І
ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ**

Монографія

УНІВЕРСУМ – Вінниця
2005

УДК 681.335
А35

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор **В. О. Романов**
доктор технічних наук, професор **О. М. Роїк**

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 4 від 25.11.2004 р.)

Азаров О. Д., Архипчук О. А., Захарченко С. М.
А35 Високोलінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю для систем реєстрації і оброблення сигналів. Монографія. –
Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с.

ISBN

У монографії розглянуто методи підвищення точності АЦП порозрядного врівноваження з ваговою надлишковістю, побудованих на неточній елементній базі. Показано, що завдяки застосуванню процедур цифрового самокалібрування, підсумкова похибка перетворення, як власне АЦП, так і вимірювальних каналів систем у цілому, може бути значно (на 1-3 порядки) меншою, ніж первинні похибки елементів.

Книгу розраховано на науковців, аспірантів, студентів та фахівців, які займаються проектуванням і розробкою інформаційно-вимірювальних систем, систем цифрового реєстрування й оброблення аналогових сигналів.

УДК 681.335

ISBN

© О. Д. Азаров, О. А. Архипчук, С. М. Захарченко, 2005

ЗМІСТ

ВСТУП..... 5

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО ВРІВНОВАЖЕННЯ СИСТЕМНОГО ЗАСТОСУВАННЯ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

- 1.1. Схемотехнічні і технологічні методи підвищення точності системних АЦП **Ошибка! Закладка не определена.**
- 1.2. Методи формування нерозривної передатної характеристики АЦП, побудованих на низькочотних аналогових вузлах..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 1.3. Структурно-алгоритмічні методи підвищення точності АЦП системного застосування **Ошибка! Закладка не определена.**
- 1.4. Аналіз шляхів підвищення лінійності порозрядних АЦП на основі систем числення з ваговою надлишковістю **Ошибка! Закладка не определена.**

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ САМОКАЛІБРУВАННЯ ПОРОЗРЯДНИХ АЦП З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ, ПОБУДОВАНИХ НА НЕТОЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

- 2.1. Визначення ваг розрядів АЦП, побудованих на основі ЦАП із безпосереднім та приведеним балансом первинних похибок **Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.2. Методи самокалібрування ваг розрядів і формування цифрового еквівалента результату перетворення **Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.3. Аналіз методичних похибок калібрування ваг розрядів АЦП із ваговою надлишковістю **Ошибка! Закладка не определена.**

РОЗДІЛ 3. ПАРАМЕТРИЧНИЙ І СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМНИХ ВИСОКОЛІНІЙНИХ АЦП, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

- 3.1. Аналіз видів похибок, які визначаються в процесі самокалібрування **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2. Параметричний синтез точностних характеристик АЦП, що самокалібруються **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.3. Евристичний структурний синтез високолінійних АЦП, що самокалібруються **Ошибка! Закладка не определена.**

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОЛІНІЙНИХ АЦП, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ, У

СИСТЕМАХ ВИМІРЮВАНЬ І РЕЄСТРАЦІЇ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ **Ошибка! Закладка не определена.**

4.1. Рекомендації з використання високочастотних АЦП, що самокалібруються, у системах цифрової реєстрації аналогових сигналів..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.2. Використання високочастотних АЦП, що самокалібруються, у системах цифрових вимірювань та оброблення аналогових сигналів **Ошибка! Закладка не определена.**

4.3. Прикладне програмне забезпечення для моделювання функціонування порозрядних АЦП **Ошибка! Закладка не определена.**

ЛІТЕРАТУРА..... **8**

ДОДАТКИ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток А. Розв’язок системи рівнянь для методу самокалібрування за стратегією „згори-донизу” **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Б. Лістинг моделючої програми **Ошибка! Закладка не определена.**

ВСТУП

Використання цифрової техніки дозволило людству зробити великий крок вперед. Цифрові технології все більше проникають у побут людини: оброблення аудіо та відео інформації, контролери побутової техніки, телефонія, вимірювальні прилади та інші. Всі ці технології працюють із зовнішнім світом, в якому вся інформація відображується в аналоговій формі. Тому виникає потреба у використанні аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) та цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП), які утворюють групу перетворювачів форми інформації (ПФІ). При цьому гостро постає питання точності та швидкості цього перетворення.

У теперішній час АЦП та ЦАП часто використовуються в комплексі з ЦОМ у складі різних систем. У даному випадку АЦП та ЦАП розглядаються як системні перетворювачі інформації (СПІ) [1]. У свою чергу СПІ виконують роль аналого-цифрових підсистем, котрі залежно від призначення систем реалізують функції аналого-цифрових контролерів, аналого-цифрових інтерфейсів, аналого-цифрових спецпроцесорів, підсистем тестування, випробувань та регулювання параметрів та характеристик виробів, збирання та цифрового оброблення вимірювальної інформації, аналізу та синтезу сигналів та ін. Найбільші вимоги висуваються до характеристик і параметрів СПІ, що входять до складу інформаційно-вимірювальних систем. У першу чергу це точність та швидкодія. Вдосконалення вказаних характеристик є центральним напрямком досліджень у галузі отримання, перетворення та оброблення аналогових сигналів.

Вирішенням питання підвищення точності та швидкодії протягом довгого часу плідно займалися наукові школи професора А.І.Кондалєва, зокрема, В.О.Романов, В.О.Багацький, В.А.Фабричев [1-15]. Питаннями створення порозрядних АЦП на основі генераторів градуйованих імпульсів займалися наукові школи В.М.Шляндина [16-18], порозрядних АЦП на основі експоненційних струмів – Б.І.Швецького [19-21], порозрядних АЦП на основі інформаційно-вагової надлишковості – О.Д.Азарова [22-24,129-138,146-153]. Крім того, загальні принципи побудови та покращення характеристик АЦП досліджувалися та розроблялися науковими школами В.Б.Смолова [25-34], П.П.Орнатського [35-39], Е.І.Гітіса [40-43], М.В.Аліпова [44-47] та іншими [48-68]. Також слід відзначити, що покращенням метрологічних характеристик АЦП, а також систем, до яких вони входять, займалися наукові школи Ю.М.Туза, Є.Т.Володарського [69-71].

Паралельно з радянськими і українськими науковцями, питанням покращення характеристик АЦП займалися відомі закордонні вчені; зокрема: Ф.Гудінаф [72] та В.Кестер [73-78] з корпорації Analog Device, З.Боєсиглер та С.Соколов [79,80] 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 [81-82] з Philips а також співробітники науково-дослідних підрозділів корпорацій Texas Instruments Inc., Burr-Brown, МАХІМ, Linear Technology Corporation, Intel Corporation та ін.[83-124].

Підвищення точності перетворювачів форми інформації розвивалося двома основним напрямками. Перший пов'язано з удосконаленням елементної бази, зокрема, за рахунок нових технологій, припасування параметрів елементів, використанням нових матеріалів та фізичних явищ. Але цей напрям не в змозі задовольнити швидко зростаючі потреби, оскільки має фундаментальні обмеження. До того ж він не може враховувати змінення параметрів елементів під впливом умов навколишнього середовища та часу.

Другий напрямок використовує введення різних форм надлишковості [22]: структурно-схемотехнічної, функціонально-алгоритмічної та інформаційної. Це дозволяє покращувати характеристики ПФІ за рахунок компенсування похибок перетворення або коригування результату перетворення. Шляхи, пов'язані з використанням структурно-схемотехнічної та функціонально-алгоритмічної надлишковості для покращення основних характеристик, тривалий час досліджуються багатьма науковими школами [1,13,28,45] і це дало свій позитивний результат. Водночас використання в проектуванні АЦП вказаних видів надлишковості дозволяє покращувати тільки одну з характеристик: точність або швидкодію. У зв'язку з цим визначену нішу займають дослідження, пов'язані з комплексним вирішенням проблеми одночасного підвищення як точності, так і швидкодії шляхом уведення інформаційно-вагової надлишковості, зокрема, у вигляді надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ)[22].

Застосування НПСЧ в техніці АЦП та ЦАП почалося в Україні ще з кінця 70-х років минулого сторіччя в науковій школі професора А.П. Стахова [125-128], а починаючи з 80-х – професора О.Д. Азарова у Вінницькому національному технічному університеті, причому, незалежно від аналогічних робіт, що виконувалися у США фірмою Intersil Inc. На першому етапі (до середини 80-х років) в основному вирішувалося питання підвищення точності. Завдяки цьому були створені високоточні (14-17 розрядні) АЦП та ЦАП, що самокалібруються та самокоригуються, середньої швидкодії. На

другому етапі (з середини 80-х років) почали вирішувати проблему комплексного підвищення точності та швидкодії аналого-цифрового перетворення. В результаті було розроблено і виготовлено ряд моделей високоточних АЦП, що самокалібруються та самокоригуються, високої швидкодії.

Із плином часу з'явилися нові технології та матеріали, з'явилися можливості побудови нових схем з більшим ступенем інтеграції та більшими обчислювальними потужностями, але разом з тим зросли вимоги до АЦП та ЦАП. Внаслідок цього виникла потреба у перегляді існуючих методів підвищення точності АЦП, побудованих на неточних елементах, середньої та підвищеної швидкодії, з метою покращення існуючих досягнень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кондалев А.И. Преобразователи формы информации компьютерного типа.– Киев, 1990. – 46 с. / (Препр./АН Украины; 90-19)
2. Багацкий В.Л. Современные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи.- К.: О-во "Знание" УССР, 1980.-21 с.
3. Багацкий В.Л. Теория построения, проектирования и практическая реализация аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей общего применения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.08 /НАН Украины: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова. – К.:1994.– 35с.
4. Вонятыцкий А.Ю., Кондалев А.И. Статистические модели ЦАП на источниках тока: Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова: 88-64. – К.: 1988.-21 с.
5. Вопросы проектирования преобразователей формы информации / Под ред. А.И. Кондалева. – К.: Наук. думка, 1977.-242 с.
6. Высокопроизводительные преобразователи формы информации А.И.Кондалев, В.Л.Багацкий, В.А.Романов, В.А.Фабричев. – К.: Наукова думка, 1987.-280с.
7. Кондалев А.И. Системные преобразователи формы информации. – К.: Наук. Думка, 1974.-334с.
8. Кондалев А.И., Овчарук М.Е., Сиверский М.П. Комбинированный аналого-цифровой преобразователь // Устройства и элементы систем автоматизации научного эксперимента. – Новосибирск, 1970. -С.331 -335.
9. Кондалев А.И., Романов В.А., Багацкий В.А., Ключан П.С. Вклад Украины в развитие системных преобразователей формы информации // Труды Междунар. симпозиума "Компьютеры в Европе. Прошлое, настоящее и будущее". – К.: ИК НАН Украины. – 1998. – 130 с.
10. Кондалев А.И., Ключан П.С., Лаврентьев В.Н. Преобразователи формы информации для контрольно-измерительных систем и вычислительных комплексов // Проблемы создания преобразователей формы информации. – К.: Наукова думка, 1980. – Ч.2. – С. 12-20.
11. Преобразователи формы информации для малых ЭВМ/ А.И. Кондалев, В.А. Багацкий, В.А. Романов, В.А. Фабричев. – К.: Наукова думка, 1982. -312с.
12. Преобразователи формы информации с обработкой данных / Под общ. ред. д.т.н. А.И. Кондалева / Багацкий В.А., Грешищев Ю.М.,

Самус И.В., Фабричев В.А. – К.: Наукова думка, 1992. – 264 с.

13. Романов В.А. Теория, методы построения и техническая реализация микропроцессорных преобразователей формы информации с повышенной надежностью и производительностью: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.05 / НАН Украины: Ин-т кибернетики им.В.М. Глушкова. – К.: 1994.-34с.

14. Романов В.А. Аналого-цифровые микропроцессоры в информационно-вычислительных и управляющих системах. – К.: Знание, 1984. – 16 с.

15. Фабричев В.А. Теория и практика создания методов и средств электромагнитной совместимости устройств преобразования формы информации: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.05 / НАН Украины: Ин-т кибернетики им.В.М. Глушкова.-К.: 1994.-38с.

16. Цифровые измерительные преобразователи и приборы / Под ред. В.М. Шляндина. -М.: Высш. Шк., 1973.-280 с.

17. Цифровые электронно-измерительные приборы / Под ред. В.М. Шляндина. – М.: Энергия, 1972. – 400 с.

18. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1981. – 335 с.

19. Швецкий Б.И. Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом. – К.: Техніка, 1970. – 204 с.

20. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. – К.: Техніка, 1981. – 247с.

21. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. – К.: Техніка, 1991. – 191 с.

22. Азаров О. Д. Розробка теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.11.16 / Вінницький політехнічний ін-т. – Вінниця, 1994. – 44с.

23. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления: Учеб. пособие / Сост. А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.П.Марценюк и др.; Под общей ред. д-ра техн. наук А.П.Стахова.- К.: УМК ВО, 1988.- 180с.

24. 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 шк., 1990.-208с.

25. Аналого-цифровые комплексы: Учеб. пособие / В.Б. Смоллов, А.В. Анисимов, Р.Ш. Исмаилов и др. -Л.: ЛЭТИ, 1980. -96 с.

26. Балашов Е.П., Сидоров В.М., Смоллов В.Б. Аналоговые ЗУ управляющих и вычислительных систем // Хранение информации в кибернетических устройствах. – М.: Энергия, 1969. – С. 223-235.

27. Вопросы построения интегральных преобразователей напряжения в код / Смоллов В.Б., Шмидт В.К., Варлинский Н.Н., Молодцов В.О., Павлов С.М., Немнонов В.А. // Вопросы преобразования информации. – Таганрог, 1972. – Вып. 6. – С. 3-9.

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

29. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации. / Под ред. В. Б. Смоллова. Л.: Энергия, 1976,-336с.

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

31. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжений / Под ред. В.Б. Смоллова, Н.А. Смирнова. – Л.: Энергия, 1967.-312с.

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

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

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

35. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) – 5-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986.-504с.

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

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

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

39. Орнатский П.П., Пономаренко Н.Ф. Измерительный эксперимент: Учебное пособие. – Киев: КПИ, 1979. – 112 с.

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

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

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

43. Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналого-цифровые

преобразователи. – М.: Энергоиздат, 1981. –360с.

44. Алипов Н.В. Помехоустойчивые алгоритмы функционирования преобразователей формы информации // Сборник тезисов докладов V Всесоюзного симпозиума «Проблемы создания преобразователей формы информации».-К.: Наук. думка, 1984.-Ч. 1.- С.107-109.

45. Алипов Н.В. Алгоритмы функционирования параллельно-последовательных преобразователей формы информации, корректирующих динамические ошибки // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Харьков: Вища школа, 1985. – С.57-64.

46. Алипов Н.В. Об одном классе корректирующих алгоритмов аналого-цифрового преобразования // Радиотехника. – Харьков: Вища школа, 1985. – С. 120-125.

47. Алипов Н.В. Разработка теории методов решения задач помехоустойчивого поиска и преобразования информации: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.05 / ХПИ. -Харьков, 1986. – 54 с.

48. Алиев Т. М., Сейдель Л. П. Автоматическая коррекция погрешностей цифровых измерительных приборов. – М.: Энергия, 1975. –216 с.

49. Анисимов Б. В., Четвериков В. Н. Основы теории и проектирования цифровых вычислительных машин. М.: Машиностроение, 1965. – 486 с.

50. Бахтиаров Г.Д. Аналого-цифровые преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 230 с.

51. Блажкевич Б. И., Погрибной В. А. Цифровые приборы комбинированного уравнивания. – К.: Наукова думка, 1973. – 124 с.

52. Букреев И.Н., Мансуров Б. М., Горячев В.И. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: "Сов.радио", 1975.-368с.

53. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи. – 5-е изд. – М.: Наука, 1984. – 144 с.

54. Гальперин М.В. Усилители постоянного тока. – 2-е издание. – М.: Наука, 1987.-219 с.

55. Гребен А.Б. Проектирование аналоговых интегральных схем. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1976. – 256 с.

56. Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС.: Руководство по анализу и расчету: Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 560 с.

57. Зубчук В.И., Сигорский В.П., Шкуро А.Н. Справочник по цифровой схемотехнике. -К.: Техніка, 1990. -448 с.

58. Капиев Р.Э. Измерительно-вычислительные комплексы. – Л.:

Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.

59. Карцев А. А. Арифметика цифровых машин. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

60. Моисеев В.С. Системное проектирование преобразователей информации. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 255 с.

61. Муттер В.М. Аналого-цифровые следящие системы. – Л.: Энергия, 1974.- 184с.

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

63. Ракитянська Г.Б. Оптимізація тривалості циклу порозрядного кодування методом динамічного програмування // Вісник ВПІ. – 1996. – №4. – С.32-36.

64. Савельев А.Я. Арифметические и логические основы цифровых автоматов: Учебник. – М.: Высш. школа, 1980. –225 с.

65. Савельев А.Я. Прикладная теория цифровых автоматов: Учеб. для вузов по спец. ЭВМ.-М.: Высш. шк., 1987.-272 с.

66. Самофалов К. Г., Луцкий Г. М. Структуры и организация функционирования ЭВМ и систем. – К.: Издательское объединение "Вища школа", 1978. – 392 с.

67. Сигорский В.П., Петренко А.И. Основы теории электронных схем. – К.: Техніка, 1967. – 610с.

68. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: пер. с англ. / под ред. У. Томпкинса. – М.: Мир, 1992. – 592 с.

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

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

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

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

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

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

75. Walt Kester. Peripheral Circuits Can Make or Break Sampling

ADC Systems // EDN. – Oct. 1, 1992. – P. 97-105.

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

77. Walt Kester. High speed sampling and high speed ADC // High speed design techniques. -Analog Devices Inc. – 1999. – p. 93.

78. Walt Kester, James Bryant. Grounding in High Speed Systems // High speed design techniques. – Analog Devices Inc, 1999. – p. 6.

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

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

81. Rudy J. Van De Plassche, Hans J. Schouwenaars. A Monolithic 14 Bit A/D Converter // IEEE Journal of Solid State Circuits.-Dec. 1982.-Vol. SC-17, No. 6.-P.1112-1117.

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

83. Mc Creary J.L., Gray P.R. All-MOS charge redistribution analog-to-digital conversion techniques – Part 1 // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1975. – Vol.10. – P.371-379.

84. Mc Creary J.L. Matching properties, and voltage and temperature dependens of MOS capacitors //IEEE J. Solid-State Circuits. – Dec. 1981. – Vol.16. – P.608-616.

85. R.Singh et al., Matching properties of linear MOS capacitors // Solid-State Electron. – Apr. 1989. – Vol.32, N4. – P.299-306.

86. Fischer J.H. et al., Line receiver interface circuit for high speed voiceband modems // ISSCC Dig. Tech. Papers. – 25 Feb. 1987. – P.298-299.

87. Hae-Seung Lee, David A. Hodges, Paul R. Gray, Self-Calibrating 15 Bit CMOS A/D Converter // IEEE Journal of Solid State Circuits. – Dec. 1984. – Vol. SC-19, No. 6. – P.813-815.

88. Seung-Hoon Lee, Bang-Sup Song, Digital-Domain Calibration of Multistep Analog-to-Digital Converters // IEEE Journal of Solid State Circuits.-Dec. 1992.-Vol. 27, No. 12. – P.1679-1688.

89. Khen-Sang Tan, Sami Kiriaki, Michiel De Wit, John W. Fattaruso, Ching-Yuh Tsay, W. Edward Matthews, Richard K. Hester. Error Correction Techniques for High-Performance Differential A/D Converters // IEEE Journal of Solid State Circuits. – Dec. 1990. – Vol. 25, No. 6. – P.1318-1327.

90. Steve Ruscak and Larry Singer. Using Histogram Techniques to Measure A/D Converter Noise // Analog Dialogue. – 1995. – Vol. 29-2. –

P.35-41.

91. Chuck Lane. A 10-bit 60MSPS Flash ADC, Proceedings of the 1989 Bipolar Circuits and Technology Meeting // IEEE Catalog No. 89CH2771-4. – September 1989. – P.44-47.

92. Carl Moreland. An 8-bit 150MSPS Serial ADC // ISSCC Digest of Technical Papers. – 1995. – Vol. 38. – P.272.

93. Roy Gosser and Frank Murden. A 12-bit 50MSPS Two-Stage A/D Converter // ISSCC Digest of Technical Papers. – 1995. – P.278.

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

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

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

97. Robert A. Witte. Distortion Measurements Using a Spectrum Analyzer // RF Design. – September, 1992. – P.75-84.

98. Joey Doernberg, Hae-Seung Lee, David A. Hodges. Full Speed Testing of A/D Converters // IEEE Journal of Solid State Circuits. – Dec. 1984. – Vol. SC-19, No. 6. – P.820-827.

99. Brendan Coleman, Pat Meehan, John Reidy and Pat Weeks. Coherent Sampling Helps When Specifying DSP A/D Converters // EDN. – October 15, 1987. – P.145-152.

100. James J. Colotti. Digital Dynamic Analysis of A/D Conversion Systems Through Evaluation Software Based on FFT/DFT Analysis // RF Expo East 1987 Proceedings, Cardiff Publishing Co. – P. 245-272.

101. Dan Sheingold, Editor. Analog-to-Digital Conversion Handbook. Third Edition // Prentice-Hall. – 1986.

102. Matthew Mahoney. DSP-Based Testing of Analog and Mixed-Signal Circuits // IEEE Computer Society Press. – 1987. – Washington, D.C..

103. Richard J. Higgins. Digital Signal Processing in VLSI // Prentice-Hall. – 1990.

104. M. S. Ghauri and K. R. Laker. Modern Filter Design: Active RC and Switched Capacitors // Prentice Hall. – 1981.

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

106. Anthony Agnello. 16-bit conversion paves the way to high-quality audio for PCs // Electronic Design.–1990. – No. 14. – P.51-55.

107. 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.

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

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

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

111. Jin H. and Lee E. K. F. A digital-background calibration technique for minimizing timing-error effects in time-interleaved ADCs // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – July 2000. – Vol. CAS-47. – P.603-613.

112. Sculley T. L. and Brooke M. A. Nonlinearity correction techniques for high speed, high resolution A/D conversion // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – March 1995. – Vol. CAS-42. – P.154–163.

113. Gustavsson M. and Tan N. N. A global passive sampling technique for high-speed switched-capacitor time-interleaved ADCs // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – September 2000. – Vol. CAS-47. – P.821–831.

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

115. Maulik P. C. Analysis of leakage current induced nonlinearity in resistor-ladder based data converters // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – February 2000. – Vol. CAS-47. – P.136–137.

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

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

118. Harjani R. and Vinnakota B. Analog circuit observer blocks // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – March 1997. – Vol. CAS-44. – P.154–163.

119. Moon U. and Song B. Background digital calibration techniques for pipelined ADCs // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – February 1997. – Vol. CAS-44. – P.102–109.

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

121. Lewis S. H., Ramachandran R. and Snelgrove W. M. Indirect

testing of digital-correction circuits in analog-to-digital converters with redundancy // IEEE Trans. Circuit Syst. II. – July 1995. – Vol. CAS-42. – P.437–445.

122. Irons F. H., Hummels D. M. and Kennedy S. P. Improved compensation for analog-to-digital converters // IEEE Trans. Circuit Syst. – August 1991. – Vol. CAS-38. – P.958–961.

123. Tenten W. J. and Shepherd P. R. Novel analog to digital converters using voltage inverter switches-I: Reference circuits // IEEE Trans. Circuit Syst. – June 1991. – Vol. CAS-38. – P.582–589.

124. Tenten W. J. and Shepherd P. R. Novel analog-digital converters using voltage inverter switches-II: Applications // IEEE Trans. Circuit Syst. – July 1991. – Vol. CAS-38. – P.685–693.

125. Стахов А. П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. – М.: Сов. радио, 1977. – 288 с.

126. Стахов А. П., Лужецкий В. А. Машинная арифметика ЦВМ в кодах Фибоначчи и "Золотой" пропорции. Предварительная публикация. – М.: Академия Наук СССР, 1981. – 64 с.

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

128. Стахов А.П. Алгоритмическая теория измерений и основания компьютерной арифметики// Измерение, контроль, автоматизация. – 1988. – N2.

129. A.Azarov, S.Zakharchenko, A.Arhipchuk New method of reduction of a methodical error of self-calibration for ADC on the basis of redundant positional number systems // Optoelectronic Information Technologies. – 2000. – Vol. 4425. – P.22-26.

130. Азаров О.Д., Захарченко С.М., Архипчук О.А. Зменшення методичної похибки самокалібрування АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць . – Хмельницький: ТУП. – 2002. – Випуск №9 том 2. – С.24-28.

131. Азаров О.Д., Захарченко С.М., Архипчук О.А. Калібрування похибок АЦП з ваговою надлишковістю за стратегією „згори-донизу” //Збірник праць міжнародної НТК „Приборостроение – 2002” – Алушка. – 2002р. – С.12-15.

132. Азаров О.Д., Захарченко С.М., Архипчук О.А. АЦП порозрядного врівноваження з самокалібруванням за стратегією „згори-донизу” // Тези доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції „Контроль і управління в складних системах” (КУСС-2003) – м. Вінниця, 8-11 жовтня 2003р. – С.101.

133. Азаров О.Д., Захарченко С.М., Архипчук О.А. Новый метод зменшення методичної похибки самокалібровки АЦП на основі

надлишкових позиційних систем числення // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2001. – том 3, №2. – С.78-83.

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

135. Азаров О.Д., Захарченко С.М., Архипчук О.А. Статичні похибки самокаліброваних АЦП порозрядного врівноваження з ваговою надлишковістю // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2003. – випуск 58. – с.6-12.

136. Азаров О.Д., Захарченко С.М., Архипчук О.А. АЦП порозрядного врівноваження з самокалібруванням за стратегією „згори-донизу” // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – №6. – С.41-45.

137. Азаров О.Д., Архипчук О.А. Параметричний синтез точностних характеристик самокаліброваних АЦП // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2004. – випуск 74. – С.409-415.

138. Пат. №53090А України, 7 Н03М1/42. Спосіб аналого-цифрового перетворення / О.Д. Азаров, О.А. Архипчук, С.М. Захарченко (Україна). – №2002031816; Заявл. 05.03.2002; Опубл. 15.01.2003, Бюл. №1.

139. Матеріали, отримані з мережі Internet: <http://www.analog.com>, <http://www.ti.com>, <http://www.maxim-ic.com>, <http://www.linear.com> та інші.

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

141. Манчев Б.А. Исследование и разработка алгоритмов и систем автоматической коррекции нелинейности цифроаналоговых преобразователей информации с суммированием взвешенных эталонов: Автореф. дис. канд. техн. наук. Л., 1986. 16 с.

142. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. Под ред. Г.Д. Бахтиарова. – М.: Советское радио, 1980. – 280 с.

143. Шлыков Г.П. Аппаратурное определение погрешностей цифровых приборов. М.: Энергоатомиздат, 1985.

144. Современная теория фильтров и их применение // Под. ред. С.К. Митры и У. Темеша: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981.

145. Вьюхин В.Н., Касперович А.Н., Вопросы проектирования аналого-цифровых преобразователей предельной разрядности //

Автометрия. – 1985. №5. с.3-12.

146. Азаров А.Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: Автореф. дисс. канд. техн. наук.: 05.11.16 / ХИРЭ. – Харьков, 1980. – 16 с.

147. Моисеев В.И. Разработка и исследование высокоточных АЦП и ЦАП на основе избыточных измерительных кодов: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / РИО ИК АН УССР – Киев, 1984. – 16 с.

148. Марценюк В.П. Разработка и исследование высокопроизводительных АЦП для прецизионных систем весоизмерения: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / РИО ИК АН УССР. – Киев, 1985. – 16 с.

149. Стейскал В.Я. Быстродействующие самокорректирующиеся аналого-цифровые преобразователи для высококачественной цифровой магнитной записи: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / РИО ИК АН УССР – Киев, 1988. – 16 с.

150. Крупельницкий Л.В. Аналоговые устройства самокорректирующихся АЦП для систем измерения и обработки низкочастотных сигналов: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.13 / – Винниц. политех. ин-т. – Винница, 1994. – 16 с.

151. Коваленко Е.А. Разработка и исследование самокалибрующихся вычислительных АЦП и ЦАП для систем цифровой обработки аналоговой информации. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / Винниц. гос. техн. ун-т. – Винница, 1997. – 16 с.

152. Захарченко С.М. Исследование и разработка самокалибрующихся АЦП с накопителем заряда на основе избыточных позиционных систем счисления. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.08 / Винниц. гос. техн. ун-т. – Винница, 1997. – 16 с.

153. Біліченко Н.О. Високоточні аналого-цифрові перетворювачі з перерозподілом заряду на основі інформаційної надлишковості. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / Вінницький державний технічний ун-т. – Вінниця, 2001. – 16 с.

154. Мулявка Я. Схемы на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами: Пер. с пол. – М.: Мир, 1992. – 253 с.

155. Брагин А.А., Семенюк А.Л. Основы метрологического обеспечения аналого-цифровых преобразователей электрических сигналов. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 165 с.

156. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.95. – К.: Держстандарт України, 1994. – 67 с.

157. Гурский И.В. Теория вероятности с элементами

математической статистики. Учеб. пособие для втузов. – М.: Высшая школа, 1971. – 328 с., ил.

158. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: Учеб. Пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 248 с., ил.

159. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.: ил.

160. Марал.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. С англ.. – М.: Мир, 1990. – 584 с., ил.

161. Майк Ризенман. Проблемы и перспективы развития производства АЦП с высокой разрешающей способностью. – Электроника. – 1988. – №1. – с. 34-38.

162. Шахов Э.К. Преобразователи информации: классификация и динамические свойства // Датчики и системы. – 2000. – №8. – С.10-19.

163. 2012 год – конец транзисторной эры? // Компьютерное обозрение. – 1999. – №25. – С. 4.

164. Джерри Хорн. Физические пределы аналого-цифрового преобразования // Инженерная микроэлектроника. – 2000. – №2. – С.32-41.