

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Азаров Олексій Дмитрович

**Розробка теорії аналого-цифрового перетворення на
основі надлишкових позиційних систем числення**

**Спеціальність: 05.11.16 - інформаційно-вимірювальні системи
(в науці та промисловості)**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня доктора
технічних наук

Вінниця - 1994

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки
Вінницького державного технічного університету.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

КОНДАЛЄВ Андрій Іванович,

доктор технічних наук, професор

СКРИПНИК Юрій Олександрович,

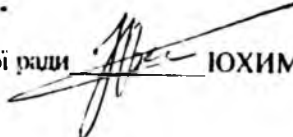
доктор технічних наук, професор

ВОЛОДАРСЬКИЙ Євген Тимофійович.

Провідна установа: Інститут проблем математичних машин
та систем НАН України (м. Київ).

Захист відбудеться «27» січня 1995р. на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 10.01.01 у Вінницькому державному
технічному університеті за адресою: 286021, Вінниця, вул.
Хмельницьке шосе, 95.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці
Вінницького державного технічного університету.
Автореферат розісланий «14» грудня 1994р.

Учений секретар спеціалізованої ради  ЮХИМЧУК С. В.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) у сукупності з цифрованалоговими (ЦАП) створюють клас перетворювачів форми інформації (ПФІ), котрі досить часто використовують разом із ЦОМ у складі різноманітних систем. При цьому АЦП та ЦАП розглядаються як системні перетворювачі інформації (СПІ). Причому СПІ, в свою чергу, виконують роль аналого-цифрових підсистем, які в залежності від призначення систем реалізують функції сполучення з об'єктом, аналого-цифрових контролерів, інтерфейсів, спеціалізованих процесорів, підсистем тестування, збору й обробки виміральної інформації, аналізу й синтезу сигналів та інше.

Особливо серйозні вимоги висуваються щодо характеристик СПІ, які входять до складу інформаційно-вимірвальних систем (ІВС). В першу чергу це є точність та швидкодія. Удосконалення вказаних характеристик є центральним напрямком досліджень у галузі отримання, перетворення та обробки аналогової інформації. Розв'язанням проблем підвищення точності та швидкодії тривалий час займалися наукові школи А.І. Кондаєва, В.Б. Смольова, Е.І. Гітиса, П.П. Орнатського, Б.І. Швецького, О.П. Стахова, Д.М. Туза, В.М. Шляндина, М.П. Цяпенка та інш.

Традиційно вказані проблеми вирішувались і частково вирішуються за рахунок використання більш досконалої елементної бази. Проте в умовах, коли можливості технології висчерпані, потрібні нові принципово інші підходи, що базуються на введенні надлишковості на різних рівнях проектування систем та пристроїв: функціонально-алгоритмічному, структурно-

схемотехнічному та інформаційному.

Слід зазначити, що перший та другий напрямки достатньо тривалий період знаходять місце в теоретичних дослідженнях ряду наукових шкіл і дали свої позитивні наслідки. Проте згадані підходи в основному дозволяють розв'язувати тільки одну з проблем: або підвищення точності, або - швидкодії. В зв'язку з цим певну нішу займають дослідження, що спрямовані на комплексне вирішення проблем точності та швидкодії шляхом введення в СПІ інформаційної надлишковості, зокрема, у формі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ). Актуальність цього напрямку підтверджується позитивними практичними результатами як в Україні, так і за кордоном. Причому НПСЧ, що використовується в СПІ, в загальному випадку слід розглядати як внутрішню (робочу) по відношенню до основної (двійкової) системи числення, у котрій функціонують цифрові обчислювальні пристрої в рамках структури ІВС.

Метою досліджень є розробка теорії аналого-цифрового перетворення на основі НПСЧ, інженерних методик та рекомендацій по проектуванню високоточних швидкодіючих АЦП і ЦАП високої роздільності, а також інформаційно-виміривальних систем із застосуванням цих пристроїв.

Поставлена мета досягається розв'язанням задач, до складу яких входять:

- розробка й аналіз способів підвищення точності АЦП середньої та високої швидкодії;
- розробка методик досліджень і складення математичних моделей динамічних похибок АЦП на основі НПСЧ;
- розробка й аналіз способів підвищення швидкості аналого-цифрового перетворення на основі НПСЧ;

- побудова критеріїв та оцінювання ефективності використання НПСЧ на етапі проектування при спільному підвищенні точності та швидкодії СПІ;

- розробка рекомендацій по проектуванні високоточних самокалібруючих і самокоригуючих швидкодійних АЦП, систем цифрової реєстрації й обробки аналогової інформації на їх основі, а також аналогових вузлів СПІ на перспективній елементній базі.

Методи досліджень базуються на математичному моделюванні процесів аналого-цифрового перетворення, теорії чисел, чисельних методах обчислювань, теорії інформації, методах машинного аналізу електронних схем, теорії сигналів, апараті спеціальних функцій та теорії вимірювань.

Наукова новизна полягає в розробці теорії аналого-цифрового перетворення на основі НПСЧ, яка обґрунтовує можливість комплексного вирішення проблем підвищення точності та швидкодії АЦП високої роздільності шляхом введення інформаційної надлишковості у формі НПСЧ. Отримані результати є новим вагомим внеском у розвиток загальної теорії перетворювачів форми інформації в напрямку створення високоточних швидкодійних АЦП системного застосування.

Практична цінність полягає в тому, що:

- розроблено методику ефективного вибору НПСЧ, яка дозволяє на етапі проектування розраховувати умови функціонування, за якими спільне підвищення точності й досягнення максимальної швидкодії системного АЦП здійснюється з мінімальними додатковими витратами обладнання;

- розроблені рекомендації по проектуванні самокалібруючих і самокоригуючих швидкодійних АЦП, а також високоточних швид-

кодуючих систем цифрової реєстрації й обробки аналогової інформації на їх основі;

- розроблені інженерні рекомендації по схемотехнічному проектуванню аналогових вузлів АЦП і ЦАП на основі НПСЧ з реалізацією на перспективній елементній базі у вигляді напівзамовних ВІС;

- створено програмне забезпечення, що дозволяє на етапі проектування шляхом моделювання оцінювати швидкодію АЦП при змінюванні параметрів та умов перетворення.

Основні наукові положення, що виносяться на захист.

В області загальної теорії:

1. Принцип комплексного підвищення точності та швидкості аналого-цифрового порозрядного перетворення високої роздільності, який оснований на введенні інформаційної надлишковості на рівні вибору системи числення.
2. Способи підвищення точності, а також прискорення аналого-цифрового перетворення на основі НПСЧ з використанням та без використання форсуючих аналогових сигналів.
3. Методики досліджень динамічних похибок і складення математичних моделей похибок усталення компенсуючого сигналу при прискореному аналого-цифровому перетворенні.
4. Математичні моделі похибок усталення при прискореному самокомпенсуючому й форсованому перетворенні на основі НПСЧ $(1, T)$ та НПСЧ $(0, 1)$, а також моделі вхідних та форсуючих компенсуючих аналогових сигналів.
5. Математичні моделі похибок усталення при прискореному аналого-цифровому перетворенні на основі НПСЧ з урахуванням впливу додаткових чинників: ненульових початкових умов врівноваження, типу перехідного процесу при формуванні компенсу-

ного сигналу, змінюванні рівня вхідного сигналу.

У теорії проектування:

1. Методика та критерії ефективного вибору НПСЧ при введенні інформаційної надлишковості, що дозволяють підвищувати точність та досягати максимальної швидкодії АЦП з мінімальними додатковими витратами обладнання.

2. Рекомендації по структурному проектуванню високоточних самокалібруючих та самокоригуючих швидкодіючих АЦП і ЦАП високої роздільності, а також систем цифрової реєстрації та обробки аналогової інформації на їх основі.

3. Інженерні рекомендації по схемотехнічному проектуванні аналогових вузлів системних АЦП і ЦАП на основі НПСЧ з реалізацією на перспективній елементній базі у вигляді ВІС.

Реалізація результатів досліджень. Основні положення, методику, рекомендації та висновки використані при проектуванні й розробці високоточних швидкодіючих АЦП і ЦАП високої роздільності, систем цифрової реєстрації й обробки аналогової інформації на їх основі, а також у навчальному процесі. Впроваджені вироби та пристрої:

- багатоканальна інформаційно-вимірвальна система збору та реєстрації сейсмоакустичної інформації ПАСМ-120;

- автоматизований аналізатор параметрів трактів звукового мовлення на базі швидкодіючих самокоригуючих АЦП і ЦАП, сполучених з ПЕОМ типу ІВМ РС/ХТ/АТ;

- комплект високоточних самокоригуючих аналого-цифрових модулів та вимірвальних блоків для ПЕОМ типу ІВМ РС/АТ (САЦП-МКЗ, СПАК-2, БПФІ-1С, БПІ-СЗ);

- комплект твердотільних напівзамовних ВІС аналогових вузлів високоточних швидкодіючих АЦП і ЦАП (високочутлива схема по-

івняння струмів, перетворювач код-струм, високолінійний швидкісний ПДС для пристрою вибірки та зберігання аналогових сигналів, схема погодження логічних рівнів).

У навчальному процесі матеріали дисертації використовуються при читанні лекційних курсів "Схемотехніка ЕОМ", "Перетворювачі інформації та аналого-цифрові мікропроцесори", "Теорія та автоматизація проектування ЕОМ", а також при проведенні лабораторних робіт, практичних занять, курсового й дипломного проектування студентами спеціальностей 2201 та Б47 у Вінницькому державному технічному університеті й відображені в навчальних посібниках:

1. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, В.П. Марценжж и др. - К.: УМК, 1988. - 180 с.
2. Избыточные позиционные системы счисления в технике преобразования информации // Избыточные системы счисления, моделирование, обработка данных и системное проектирование в технике преобразования информации: Учеб. пособие. - К. Вища шк., 1990, С.62-105.

Зв'язок теми дисертації з плановими дослідженнями.

Робота виконувалась у відповідності до таких постанов, наказів та програм:

1. Постанова Президії АН України від 14.06.89 "Коди й комп'ютери Фібоначчі. Новий підхід до створення вимірвальних, обчислювальних та керуючих систем нових поколінь".

2. Наказ Мінвузу УРСР №78 від 21.03.91 року. Тема Д-8 "Розвиток теорії чисел Фібоначчі й створення нових інформаційних арифметичних і схемотехнічних основ самоконтролюючих

і відмовостійких, високонадійних обчислювальних, виміривальних, інформаційно-реєстраційних систем, систем передачі і відображення інформації".

3. Науково-технічна програма ДКНТ 6.04.04 "Відкриті інформаційно-виміривальні системи та автоматизація вимірювань".

4. Наказ ВПІ від 30.04.92. Тема 52-Д51 "Проектування мікроелектронних аналого-цифрових вузлів для швидкодіючих перетворювачів форми інформації на основі НПСЧ".

5. Програма мінмашпрому України №48 "Створення конкурентно-спроможних засобів відображення інформації і технології їх виробництва". Тема "Створення та серійне освоєння 16-розрядних IBM сумісних самокоригуючих АЦП і ЦАП для високоточних систем вимірювань, цифрової обробки та відображення виміривальної інформації".

Апробація роботи . Положення дисертації та результати досліджень доповідались і обговорювались на:

- IV-VI Всесоюзних та VII Міжнародному симпозиумах "Проблеми створення перетворювачів форми інформації" Київ, 1980, 1984, 1988, 1992 рр.;

- республіканських науково - технічних конференціях "Питання теорії та проектування перетворювачів форми інформації" - Київ, Вінниця, Тернопіль, 1983 - 90рр.;

- республіканській конференції "Питання проектування та практичного використання ПЛІ в керуючих та обчислювальних комплексах" - Одеса, 1990р.;

- Всесоюзних конференціях по виміривальним інформаційним системам "ІВС - 81" - Львів, 1982р та "ІВС - 95" - Вінниця, 1985рр.;

- Всесоюзних конференціях "Методи та мікроелектронні

засоби цифрового перетворення та обробки сигналів" - Рига, 1983, 1989рр.;

- Всесоюзній конференції "Функціональна оптоелектроніка в обчислювальній техніці й пристроях керування" - Тбілісі, 1986р.;

- Всесоюзній конференції "Оптоелектронні методи й засоби обробки зображень" - Вінниця - Тбілісі, 1987р.;

- республіканській науково - технічній конференції "Перспективи розвитку та застосування швидкодіючих перетворювачів форми даних" - Вільнюс, 1985р.;

- Всесоюзній науково-технічній конференції "Перспективи розвитку техніки радіомовного прийому, радіомовлення, звукопідсилювання та акустики" - Ленінград, 1988р.;

- науково-технічній конференції країни СНД "Контроль та керування в технічних системах" - Вінниця, 1992р.;

- щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Вінницького політехнічного інституту - Вінниця, 1979-1994рр.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 103 роботи, у тому числі 2 навчальних посібника, отримано 5 зарубіжних патентів та 63 авторських свідоцтва на винахід; 11 робіт опубліковано без співавторів. Результати виконаних досліджень відображені крім того в звітах по НДР.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається із вступу, п'яти глав, висновку, списку використаних джерел та додатків. Дисертація має загальний обсяг 438 сторінок, з яких основний зміст міститься на 296 сторінках, включаючи рисунки та таблиці на 63 сторінках, список використаних джерел із 240

найменувань на 26 сторінках; додатки - на 117 сторінках.

Автор висловлює щиро подяку О. П. Стахову за підтримку та допомогу в проведенні досліджень.

2. ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність проблем досліджуваних. Схарактеризовано наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів, показано зв'язок проблем, що розв'язуються з планами наукових досліджень. Приведено структуру та коротку анотацію глав дисертаційної роботи.

У першій главі проводиться огляд сучасного стану й аналізуються тенденції розвитку техніки перетворювачів інформації системного застосування. Розглянуто структурні особливості й параметри АЦП і ЦАП високої роздільності в системах вимірювань, реєстрації та цифрової обробки аналогових сигналів. Відзначається, що розвиток засобів цифрової обчислювальної техніки істотно вплинув на розширення функціональних можливостей інформаційно-вимірювальних та інформаційно-обчислювальних систем (ІОС). СПІ роблять ЦОМ цілком незалежними від різновидів та типів джерел інформації, в ролі яких виступають давачі та вимірювальні прилади. Перед розробниками ІВС та ІОС при цьому постає задача адекватного стикування з комп'ютером пристроїв, що сприймають інформацію від об'єкту.

Проте використання комп'ютера є ефективним лише тоді, коли застосовувані СПІ не вносять обмежень по точності та швидкодії в процес перетворення інформації. З іншого боку, цифрова обробка інформації за допомогою комп'ютера дозволяє не тільки покращити метрологічні характеристики АЦП за раху-

інформації з використанням АЦП і ЦАП на основі ПЛСЧ. Показано, що запропонований підхід дозволяє в комплексі підвищувати точність та швидкодій наскрізних трактів аналого-цифрового та цифроаналогового перетворення, а також забезпечує стабілізацію метрологічних характеристик при зміні умов зовнішнього середовища.

7. Розроблені інженерні рекомендації по схемотехнічному проектуванню й розробці аналогових вузлів високоточних швидкодіючих систем цифрової реєстрації й обробки аналогової інформації. Показана можливість реалізації, зокрема, високочутливих швидкодіючих схем порівняння струмів, перетворювачів код-струм, високолінійних швидкісних ПЛС у вигляді напівзамовних ВІС.

8. Результати виконаних досліджень впроваджені на підприємствах України й Росії при проектуванні й розробці багатоканальної інформаційно - виміривальної системи (ПАСМ 120), автоматизованого аналізатора параметрів трактів звукового мовлення, комплекту високоточних швидкодіючих самокоригуючих аналого-цифрових модулів та виміривальних блоків, а також - у навчальний процес у Вінницькому державному технічному університеті.

4. ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

Матеріали досліджень викладено в 103 роботах, основними в яких є:

1. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления: Учеб. пособие / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. П. Мерценник и др. - К.: УМК, 1988. - 180 с.

2. Азаров А. Д. Избыточные позиционные системы счисления в

технике преобразования информации //Избыточные системы счисления, моделирование, обработка данных и системное проектирование в технике преобразования информации: Учебн. пособие-К.:Вида школа,1990.-С.62-105.

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

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

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

6. Стахов А. П., Азаров А. Д., Рубин А. Г. О возможности создания надежных преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями // Управляющие системы и машины, №4, 1980.-С. 49-53.

7. Азаров А.Д. Эффективность применения избыточных измерительных кодов в высокопроизводительных преобразователях информации IV поколения//Сб.ст.Всесоюз.конф.:Новые методы и средства вычислительной техники / Тбилиси.:Сабчота Сакартвело, 1985.-С.48-54.

8. Азаров А.Д. Интеллектуальные преобразователи формы информации на основе избыточных систем счисления // Матер. Всесоюз. конф.: Функциональная оптоэлектроника в вычислительной технике и устройствах управления/Тбилиси.:Сабчота Сакартвело,1986.-С.279-283.

9. Азаров А. Д. О возможности повышения линейности АЦП и ЦАП на основе кодов с иррациональными основаниями // IV Всесоюз. симпозиум: Проблемы создания преобразователей формы информации : Тез. докл. - К., 1980.-С. 7-10.

10. Азаров А.Д. Выбор оптимального основания избыточного кода для высокопроизводительных АЦП // V Всесоюз. симпозиум: Проблемы создания преобразователей формы информации: Тез. докл. - К., 1984.-С.56-58;

11. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. и др. Аналого-цифровые преобразователи на основе избыточных систем счисления // Помехоустойчивые коды. - М.: Знание, 1989. - 64с. Сер. Радиоволлектроника и связь. №9.

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

13. Азаров А.Д. Высокопроизводительные стабильные преобразователи формы информации на основе избыточных измерительных кодов // VII Всесоюз. конф. ИИС-85. Тез. докл. - Винница, 1985.-С.193-194.

14. Азаров А.Д. Моделирование быстродействующих алгоритмов аналого-цифрового преобразования на основе избыточных систем счисления // Н.тех. конф. стран СНГ: Контроль и управление в технических системах: Тез. докл. Винниц. политех. ин-т., 1992.-С.148-149.

15. Азаров А.Д. Проектирование самокорректирующихся быстродействующих преобразователей информации на основе оптимальных избыточных систем счисления // Тез. докл. VII Международного симпозиума: Проблемы создания преобразователей форм

мы информации / Киев, 1992.-С.9-10.

16. Азаров А.Д. Разработка отказоустойчивых быстродействующих АЦП на основе избыточных позиционных систем счисления // Респ.конф. Вопросы проектирования и практического использования ПФИ в управляющих и вычислительных комплексах: Тез. докл.Одесса.,1990.-С.140-142.

17. Марценюк В.П., Азаров А.Д. Некоторые свойства модифицированных позиционных кодов и особенности их использования в технике АЦ и ЦА-преобразования // Межвуз.сб.н.тр-в.: Автоматизация измерений/Рязанск.радиотехн.ин-т.,1982.-С.46-52.

18.Марценюк В.П., Азаров А.Д., Коваль О.В. Метод снижения динамической погрешности АЦП // Межвуз.сб.н.тр-в:Обработка сложных сигналов на базе устройств функциональной электроники и цифровой техники / Рязанск. радиотехн. ин-т, 1985.-С.33-37.

19. Стахов А.П., Азаров А.Д. Перспективы создания высокопроизводительных АЦП и ЦАП на основе избыточных измерительных кодов// V Всесоюз.симпозиум: Проблемы создания преобразователей формы информации: Тез. докл.-К.,1984.-С.54-56.

20. Стахов А.П., Азаров А.Д., Мойсеев В.И. Избыточные измерительные коды и их использование для построения АЦП и ЦАП // Всесоюз.конф.ИИС-81: Тез.докл.-Львов,1982.-С.88-93.

21. Азаров А.Д., Мойсеев В.И., Марценюк В.П. Методы контроля преобразователей формы информации на основе избыточных измерительных кодов // Межвуз.сб.н.тр-в: Автоматизация обработки первичных данных / Пенз. политехн. ин-т., 1984.-С.107-108.

22. Азаров А.Д., Марценюк В.П., Стейскал В.Я. и др.

Применение оптоэлектронных элементов в АЦП на основе избыточных кодов Фибоначчи // Матер. II Всесоюз.н-техн. конф. по функциональной оптоэлектронике. / Выпущена - Тбилиси, 1987.-С.382-386.

23. Марценюк В.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. Анализ схем сравнения токов на основе преобразователя "ток-напряжение". // Гибридные вычислительные машины и комплексы, вып.6., 1983.-С.69-75.

24. Стахов А.П., Азаров А.Д., Марценюк В.П. и др. Параметры и схемотехника высокопроизводительных АЦП и ЦАП //Зарубежная радиоэлектроника,№2,1984.-С.79-90.

25. Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стёйскал В.Я. Высокоточный АЦП с повышенной эффективностью функционирования // Методы и микроэлектронные средства преобразования и обработки сигналов.Ч.I. Ин-т электроники и выч. техники. Рига, 1983.-С.49-52.

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

27. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. и др. Семнадцатиразрядный самокорректирующийся АЦП // Приборы и системы управления №1,1985.-С.17-18.

28. Марценюк В.П., Азаров А.Д. Анализ температурных погрешностей ПКТ // Математические методы и измерительно-вычислительные средства обработки изображений.:Сабчота Сакартвело, Тбилиси,1987.-С.267-272.

29. Патент Франции №2500971,МКИ Н 03 К.Аналого-цифровой преобразователь / А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.А.Лужецкий (СССР).- 16с.:ил.

30. Патент Англии №2091507, МКИ Н 03 К. Аналого-цифровой преобразователь / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. А. Лужешский (СССР). - 18с.:ил.

31. Патент Франции №2428031, МКИ Н 03 К. Преобразователь р-кодов в аналоговую величину / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Мойсеев и др. (СССР). - 16с.:ил.

32. Патент Канады №1658889, МКИ Н 03 К. Преобразователь р-кодов в аналоговую величину / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Мойсеев и др. (СССР). - 16с.:ил.

33. Патент Англии №2090490, МКИ Н 03 К. Преобразователь р-кодов в аналоговую величину / А. П. Стахов, А. Д. Азаров, В. И. Мойсеев и др. (СССР). - 16с.:ил.

34. Способ аналого-цифрового преобразования: А. с. 1304172 СССР Н 03 М 1/26 / А. П. Стахов, А. Д. Азаров., В. Я. Стейскал и др. (СССР). - 3с.:ил.

35. Аналого-цифровой преобразователь: А. с. 1223368 СССР Н 03 М 1/26 / А. П. Стахов, А. Д. Азаров., В. Я. Стейскал и др. (СССР). - 8с.:ил.

36. Аналого-цифровой преобразователь: А. с. 1226664 СССР Н 03 М 1/26 / А. П. Стахов, А. Д. Азаров., В. Я. Стейскал и др. (СССР). - 8с.:ил.

37. Устройство аналого-цифрового преобразования А. с. 1288914 СССР Н 03 М 1/26 / А. П. Стахов, А. Д. Азаров., В. И. Мойсеев и др. (СССР). - 12с.:ил.

38. Входное устройство схемы сравнения токов: А. с. 1450098 СССР Н 03 К 5/24, G 05 / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, П. М. Степайко и др. (СССР). - 4с.:ил.

39. Двухтактный усилитель мощности: А. с. 1491713 СССР Н 03 Р 3/26 / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, В. П. Марценки

и др. (СССР). - 3с.: ил.

40. Устройство для аналого-цифрового и цифрованалогового преобразования: А.с.1474824 СССР Н ОЗ М 1/02/А.Д.Азаров., В.П.Марценкк, В.И.Моисеев и др. (СССР).-14с.:ил.

41. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1495993 СССР Н ОЗ М 1/26/ А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев и др. (СССР).-7с.:ил.

42. Преобразователь код-ток: А.с. 1499498 СССР Н ОЗ М 1/26/ А.Д.Азаров, В.Я.Стейскал, Д. М. Степайко и др. (СССР). - 4с.: ил.

43. Аналого-цифровой преобразователь: А. с. 1513619 СССР Н ОЗ М 1/2Б / А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев и др. (СССР) .-7с. :ил.

44. Входное устройство схемы сравнения токов: А. с. 1529434 СССР Н ОЗ К 5/24 / А.Д.Азаров , В.Я.Стейскал, Д. М. Степайко и др. (СССР). - 5с.: ил.

45. Стабилизатор постоянного тока: А.с. 1534440 СССР G 05 P 1/56/А.Д. Азаров, В.Я.Стейскал, В.П.Волков (СССР).-3с.:ил.

46. Усилитель тока: А.с. 1548841 СССР Н ОЗ P 3/26 / А.Д. Азаров, В.Я. Стейскал, Д.М. Степайко (СССР).-3с.:ил.

47. Аналоговое запоминающее устройство : А.с. 1552231 СССР G 11 С 27/00 /А. Д. Азаров, В.Я.Стейскал, А.П. Голубев и др. (СССР). - 4с.: ил.

48. Усилитель тока: А. с. 1739476 СССР Н ОЗ P 3/26 /А. Д. Азаров, В.Я.Стейскал, Е.М. Арапова и др. (СССР). - 3с.: ил.

Azarov A.D. The design of analog-to-digital conversion theory on the basis of redundant position number system. Thesis submitted to earn the degree of Doctor of Engineering Science in speciality 05.11.16 - information measuring systems (in science and industry), Vinnitsa State Technical University, Vinnitsa 1994 year. Submitted for the defence are 35 scientific works, 5 abroad claimed patents and 63 author's invention certificates that contains researches in introduction of information redundancy in ADS and DAS systems. The suggested approach is supposed to make possible a complex solution of increasing accuracy and speed of ADC conversion of high resolution problem. The working out has applied industry.

Азаров А. Д. Разработка теории аналого-цифрового преобразования на основе избыточных позиционных систем счисления. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.16 - информационно-измерительные системы (в науке и промышленности), Винницкий государственный технический университет, Винница, 1994 г. Защищается 35 научных работ, 5 зарубежных патентов и 63 авторских свидетельства на изобретение, которые содержат исследования по введению информации избыточности в системные АЦП и ЦАП. Установлено, что предлагаемый подход позволяет в комплексе решать проблемы повышения точности и скорости аналого-цифрового преобразования высокого разрешения. Освоено промышленное внедрение выполненных разработок.

Ключові слова: аналого-цифрові перетворювачі, надлишкові позиційні системи числення.

Azarov