

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

С. М. Захарченко

О. Д. Азаров

О. М. Харьков

**САМОКАЛІБРОВАНІ АЦП ІЗ НАКОПИЧЕННЯМ ЗА-  
РЯДУ НА ОСНОВІ НАДЛИШКОВИХ ПОЗИЦІЙНИХ  
СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ**

Монографія

УНІВЕРСУМ – Вінниця

2005

УДК 681.335

3

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор Романов В.О.

доктор технічних наук, професор Кветний Р.Н.

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 26.05.2005 р.)

**Захарченко С.М., Азаров О.Д., Харьков О.М.,**

**3 Самокалібровані АЦП з накопиченням заряду на основі надлищкових позиційних систем числення.** Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – \_\_\_ с.

Під загальною редакцією д.т.н., проф. О.Д. Азарова

**ISBN**

У монографії детально розглянуто принципи підвищення точності АЦП із перерозподілом розряду та на базі генераторів експоненційних струмів, побудованих на неточних елементах, шляхом використання спеціальної процедури самокалібрування із уведенням вагової надлищковості. Запропоновано низку оригінальних рішень як на рівні структур та алгоритмів функціонування, так і на рівні реалізації окремих аналогових вузлів.

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

УДК 681.335

**ISBN**

© С. Захарченко, О. Азаров, О. Харьков, 2005

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО РІВНЯ ТЕХНІКИ АЦП ІЗ НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ.....	9
1.1 Огляд принципів побудови АЦП із накопиченням заряду...	9
1.2 Аналіз сучасних методів підвищення точності АЦП із накопиченням заряду.....	22
1.3 Аналіз шляхів підвищення точності АЦП із накопиченням заряду за рахунок уведення вагової надлишковості.....	39
2 МЕТОДИ ПОБУДОВИ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО ВРІВНОВАЖЕННЯ НА БАЗІ ГЕНЕРАТОРІВ ЕКСПОНЕНЦІЙНИХ СТРУМІВ.....	51
2.1 Математична модель аналого-цифрового перетворення АЦП із ГЕС.....	51
2.2 Аналіз статичних похибок АЦП із ГЕС.....	59
2.3 Структурні методи підвищення точності АЦП із ГЕС .....	76
3 МЕТОДИ ПОБУДОВИ АЦП ІЗ ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ЗАРЯДУ	84
3.1 Математична модель АЦП із перерозподілом заряду на базі ЦАП вагового типу.....	84
3.2 Аналіз принципів роботи АЦП із перерозподілом заряду на базі ЦАП драбинкового та комбінованого типу.....	96
3.3 Аналіз похибок АЦП із перерозподілом заряду.....	106
3.4 Динамічні характеристики АЦП із перерозподілом заряду .	115
4 ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО ВРІВНОВАЖЕННЯ З НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВАГОВОЇ НАДЛИШКОВОСТІ.....	125
4.1 Методи самокалібрування АЦП із перерозподілом заряду за стратегією "знизу-догори" .....	125
4.2 Методи самокалібрування АЦП із перерозподілом заряду за стратегією "згори-донизу" .....	133
4.3 Методики дослідження методичних похибок самокалібрування АЦП із накопиченням заряду.....	139
4.4 Методичні похибки самокалібрування АЦП із накопиченням заряду.....	148
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ САМОКАЛІБРОВАНИХ АЦП ІЗ НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ НА ОСНОВІ НПСЧ.....	163
5.1 Структури та алгоритми функціонування високоточних АЦП із перерозподілом заряду.....	163
5.2. Структури та алгоритми функціонування високоточних	

АЦП із ГЕС.....	173
5.3. Комутуючі елементи самокаліброваних АЦП із накопиченням заряду.....	183
5.4. Проектування схем порівняння для АЦП із накопиченням заряду.....	194
5.5. Проектування генераторів експоненційних струмів.....	203
ЛІТЕРАТУРА.....	223

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АК – аналоговий комутатор  
АЛП – арифметико-логічний пристрій  
АЦП на КК – АЦП на комутованих конденсаторах  
БВВС – блок врівноваження вхідного сигналу  
БДС – блок допоміжних сигналів  
БЕ – буферний елемент  
БКер – блок керування  
БЦАП – багатофункційний ЦАП  
ВС – відбивач струму  
ГП – генератор градуйованих імпульсів  
ГЕС – генератор експоненційного струму  
ГТІ – генератор тактових імпульсів  
ДЕС – джерело експоненційного струму  
ДНЛ – диференційна нелінійність  
ДОН – джерело опорної напруги  
ЗЗ – зворотний зв'язок  
ІС. – інтегральна схема  
КЕ – ключовий елемент  
КК – комутовані конденсатори  
КМОН – компліментарний метал-окисел напівпровідник  
МОН – метал-окисел напівпровідник  
НЗ – накопичення заряду  
НЗЗ – нелінійний зворотний зв'язок  
НПСЧ – надлишкові позиційні системи числення  
ОБП – обчислювальний пристрій  
ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій  
ОП – операційний підсилювач  
ПВЗ – пристрій вибірки-зберігання  
ПЕ – пороговий елемент  
ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій  
ПН – перетворювач напруги  
ПС – підсилювач струму  
ПФІ – перетворювачі форми інформації  
РПН – регістр послідовного наближення  
СД – струмове дзеркало  
СК – схема коригування  
СП – схема порівняння  
ТКЄ – температурний коефіцієнт ємності  
ЦОП – цифровий обчислювальний пристрій

## ВСТУП

Застосування комп'ютерів у різних галузях людської діяльності вимагає постійного вдосконалення, поліпшення характеристик існуючих та розробки нових типів аналого-цифрових та цифроаналогових перетворювачів (АЦП та ЦАП). Цей факт пояснюється тим важливим призначенням, яке виконують перетворювачі форми інформації (ПФІ) в інформаційно-вимірjuвальних системах, в автоматизованих системах керування, системах зв'язку комп'ютерів з об'єктами. АЦП та ЦАП виконують роль інтерфейсу між реальними аналоговими сигналами об'єктів та цифровими сигналами комп'ютерів. Адекватність відображення реальних аналогових процесів їх цифровими еквівалентами цілком залежить від якості аналого-цифрового перетворення [1, 2].

Основними вимогами, що висуваються до сучасних ПФІ, є підвищення швидкодії, точності та надійності. Крім того, ці пристрої повинні мати стабільні характеристики під час змінення зовнішніх чинників та протягом тривалого часу експлуатації. Ще одна обов'язкова вимога – можливість інтегрального виконання.

Більшості з вищезгаданих вимог на сьогоднішній день задовольняють ПФІ, побудовані на принципах накопичення і перерозподілу заряду. Головні переваги АЦП із накопиченням заряду (АЦП<sub>НЗ</sub>) пов'язані з можливістю їх реалізації за КМОН-технологією, яка на сьогоднішній день є найпоширенішою. Сучасний рівень розвитку КМОН-технології дозволяє забезпечити рівень деталізації  $0,18 \div 0,25$  мкм, при цьому товщина окислу між затвором і каналом дорівнює всього 25 атомів [3]. Крім того, слід враховувати фізичні обмеження аналого-цифрового перетворення [4, 5]

Технологія КМОН-структур дає можливість реалізувати конструктивні рішення з великою щільністю упаковки. Остання є результатом того, що, на відміну від біполярного, МОН-транзистор не потребує додаткової ізоляції. Типовий МОН-підсилювач приблизно в 3-5 разів займає меншу площу на кристалі за підсилювач, що виконаний за біполярною технологією.

Ще однією перевагою МОН-структур є те, що ця технологія дозволяє простим способом реалізувати конденсатор, який є одним з основних елементів АЦП<sub>НЗ</sub>. Крім того, точність виконання конденсаторів за КМОН-технологією значно краща за точність виконання резисторів. Відносна похибка під час реалізації конденсаторів у типових КМОН-технологіях менше 0,06%, а чутливість цього параметра до змін робочої температури дуже слабка [6].

Слід, також, відзначити, що завдяки особливостям функціонування АЦП<sub>НЗ</sub> вони не потребують використання пристроїв вибірки та

зберігання і споживають значно меншу потужність у порівнянні з іншими типами ПФІ.

До недоліків перетворювачів даного класу можна віднести дещо меншу швидкодію в порівнянні з біполярними пристроями. Наявність значної кількості комутуючих елементів у деяких випадках призводить до появи паразитних зарядів, що потрапляють через затвори ключових елементів.

Однак, на сьогоднішній день розроблено багато способів для зменшення впливу вказаних обмежень. Деякі з них базуються на покращенні технології виготовлення ІС. Тут, перш за все, слід відзначити біКМОН та GaAsMeП технології [7 - 9].

Серед АЦП<sub>НЗ</sub> найбільше поширення отримали АЦП порозрядного врівноваження (ПВ) із перерозподілом заряду (ПЗ) [10], сігма-дельта АЦП [11 - 15], циклічні АЦП [16 - 20], послідовно-паралельні або багатокрокові флеш-АЦП [21, 22]. Значна кількість продукції світових лідерів аналого-цифрової техніки фірм *Burr-Brown* та *Analog Devices* є пристроями, що реалізовані за технологією комутованих конденсаторів [23 - 27]. Питаннями створення АЦП<sub>НЗ</sub> займалися наукові школи В.М. Шляндина [17, 28, 29] (АЦП на основі генераторів градуйованих імпульсів), Б.І. Швецького [30 - 32] (АЦП на основі експоненційних струмів), А.І. Кондалєва [33 - 46]. Крім того, загальні принципи побудови та покращення характеристик АЦП досліджувались та розроблялись у наукових школах В.Б. Смолова [47 - 58], Е.І. Гітіса [59 - 62], П.П. Орнатського [63 - 67], М.В. Аліпова [68 - 70]. Однак, їх розробки не знайшли широкого розповсюдження через технологічні обмеження. Слід також відзначити роботи, присвячені побудові логарифмічних АЦП на комутованих конденсаторах [71-72].

Як і для інших типів ПФІ, проблема підвищення точності та швидкодії АЦП<sub>НЗ</sub> є актуальною. Частково вона може бути вирішена за рахунок покращення технології (використання лазерного припасування елементів). Однак, цей підхід, крім суттєвого збільшення вартості виробництва, додатково призводить до погіршення температурних параметрів, зменшує надійність пристроїв. Інший шлях покращення точносних характеристик АЦП – це уведення надлишковості на різних рівнях проектування пристроїв: функціонально-алгоритмічному, інформаційному та структурно-схемотехнічному. Перший і третій напрямки широко використовуються, однак, використання цих підходів, як правило, не дозволяє вирішити проблему підвищення точності та швидкодії у комплексі.

Одним з перспективних методів комплексного вирішення проблеми підвищення точності та швидкодії АЦП<sub>НЗ</sub> є використання інформаційної надлишковості, зокрема, у вигляді надлишкових позицій-

них систем числення (НПСЧ) [73 - 77]. Використання НПСЧ у техніці АЦП та ЦАП почалося в Україні з кінця 70-х років і продовжується під керівництвом О.Д.Азарова [73, 78 – 89]. Значну кількість розроблених рішень було запатентовано ще в колишньому СРСР [90 - 98]. Проте і у теперішній час актуальність вказаного напрямку не зменшується, про що свідчать останні публікації, а з урахуванням деяких нових підходів з'являються можливості створення ПФІ з новою якістю. Водночас особливості функціонування АЦП із накопиченням заряду не дають можливості формально перенести відомі підходи підвищення точності та швидкодії АЦП за рахунок НПСЧ на пристрої згаданого класу і потребують додаткових детальних досліджень.

У монографії детально розглянуто принципи підвищення точності двох типів АЦП із накопиченням заряду – АЦП із перерозподілом розряду та на базі генераторів експоненційних струмів шляхом використання спеціальної процедури самокалібрування із уведенням вагової надлишковості. Запропоновано низку оригінальних рішень як на рівні структур та алгоритмів функціонування, так і на рівні реалізації окремих аналогових вузлів.

Автори будуть щиро вдячні за відгуки на монографію та сподіваються, що вона знайде своє коло читачів як серед студентів та аспірантів, так і серед досвідчених фахівців у даній галузі.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Гудинаф Ф. Новые области применения аналого-цифровых преобразователей с высоким разрешением // Электроника. – 1991. - №7. – С. 89-96.
2. Шахов Э.К. Преобразователи информации: классификация и динамические свойства // Датчики и системы. – 2000. - №8. – С.10-19.
3. 2012 год – конец транзисторной эры? // Компьютерное обозрение. – 1999. – №25. – С. 4.
4. Ризенман М. Проблемы и перспективы развития производства АЦП с высокой разрешающей способностью // Электроника. – 1988. - №1. – С. 34-38.
5. Джерри Хорн. Физические пределы аналого-цифрового преобразования // Инженерная микроэлектроника. – 2000. - №2. – С.32-41.
6. Мулявка Я. Схемы на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами: Пер. с пол. - М.: Мир, 1992. – 253 с.
7. Haigh D.G., Toumazou C. Fast-settling, high-gain GaAs operational amplifiers for switched-capacitor applications // Electron. Lett. – 1989, May. - Vol.25, №11. - P.734-736.
8. Larson L.E., Martin K.W., Temes G.C. GaAs switched -capacitor circuits for high-speed signal processing // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1987, Dec. - Vol.22, №6. - P.971- 981.
9. Scheinberg N. High-speed GaAs operational amplifier // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1987, Aug. - Vol.22, №4. - P.522-527.
10. McCreary 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.
11. Bernhard E. Boser, Bruce A. Wooley. The design of sigma-delta modulation analog-to-digital converters // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1988, Dec. - Vol.23, №6. – P.35-37.
12. Фрэнк Гудинаф. Интегральные аналого-цифровые преобразователи для диапазона звуковых частот // Электроника. - 1989. - №9. - С. 75-78.
13. Norsworthy S.R., Post I.G., Fetterman H.S. A 14-bit 80-kHz sigma-delta A/D converter modeling, design and performance evaluation // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1989, Apr. - Vol.24, №2. - P.256-266.
14. Hurst P., Levinson R. Delta-sigma ADC with Reduced Sensitivity to on AMP Noise and Gain // IEEE Int. Symp. Circuits and Syst. – 1989. – Vol. 1. – P. 34-39.
15. Гудинаф Ф. 20-разрядные дельта-сигма АЦП для измерительной аппаратуры // Электроника. – 1991. - №8. – С. 41-45.

16. Webb R.W., Cooper F.R., Randlet R.W. 12-bit A/D converter // ISSCC Dig. Tech. Papers. – 1980, Feb. - P.54-55.
17. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1981. - 335 с.
18. Lee C.C. A new switched-capacitor realization for cyclic analog-to-digital converter // Proc. ISCAS'83, Newport, CA. - 1983. - P.1261-1265.
19. Li P.W., Chin M., Gray P.R. A ratio independent algorithmic analog-digital conversion technique // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1984, Dec. -Vol.19. - P.828-836.
20. R. McCharles, D.A. Hodges. Charge circuits for analog LSI // IEEE Trans. Circuits Syst. - 1987. - Vol.25. - P.490-497.
21. Kerth D.A., Souch N.S., Swanson E.J. A 12-bit 1-MHz two-step flash ADC // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1989, Apr. - Vol.24, №2. - P.250-255.
22. Bang-Sup Song, Seung-Hoon Lee, Michael F. Tompset. A 10-bit 15-MHz CMOS recycling two-step A/D convtrter // IEEE J. Solid-State Circuits.-1990, Dec. - Vol.25, №6. - P.1328-1338.
23. Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа: Справочник / Под ред. А.В.Перебаскина. – М.: Изд-во Додэка, 1996. – 384 с.
24. Аналого-цифровые преобразователи. Информационный бюллетень фирмы Analog Devices // Электронные компоненты и системы. – 2000. - №7 (35). – С. 19-30.
25. Kester W. Analog-Digital Conversion – USA: Analog Devices, Inc, 2004.
26. Mixed Signal Products 1996/97, Burr-Brown Corporation.
27. Analog Devices. WorldWide Headquarters. - USA, Norwood, 1993. – 160 p.
28. Шляндин В.М. и др. Цифровые электронно-измерительные приборы. - М.: Энергия, 1972. – 400 с.
29. Шляндин В.М. Цифровые измерительные преобразователи и приборы. - М.: Высшая школа, 1973. - 280 с.
30. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. - К.: Техника, 1981. - 247 с.
31. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы - К.: Техника, 1991. - 191 с.
32. Швецкий Б.И. Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом. - К.: Техника, 1970. - 268 с.
33. Вопросы проектирования преобразователей информации / Под общ.ред. А.И. Кондалева. – К.: Наукова думка, 1977. – 242 с.

34. Преобразователи формы информации для малых ЭВМ / А.И. Кондалев, В.А. Багацкий, В.А. Романов, В.А. Фабричев – К: Наукова думка, 1982. – 312 с.
35. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / А.И. Кондалев, В.А. Багацкий, В.А. Романов, В.А. Фабричев – К: Наукова думка, 1987. – 280 с.
36. Романов В.А. Аналого-цифровые микропроцессоры в информационно-вычислительных и управляющих системах. – К: Знание, 1984. – 16 с.
37. Преобразователи формы информации с обработкой данных / Под общ. ред. д.т.н. А.И. Кондалева. – К.: Наукова думка, 1992. – 264 с.
38. Кондалев А.И., Клочан П.С., Лаврентьев В.Н. Преобразователи формы информации для контрольно-измерительных систем и вычислительных комплексов // Проблемы создания преобразователей формы информации. Ч.2. – К.: Наук. думка, 1980. – С. 12-20.
39. Кондалев А.И., Овчарук М.Е., Сиверский М.П. Комбинированный аналого-цифровой преобразователь // Устройства и элементы систем автоматизации научного эксперимента. – Новосибирск: Изд-во СибГУ, 1970. – С.331-335.
40. Кондалев А.И., Романов В.А., Багацкий В.А., Клочан П.С. Вклад Украины в развитие системных преобразователей формы информации // Труды Междунар. симпозиума “Компьютеры в Европе. Прошлое, настоящее и будущее”. – Киев: ИК НАН Украины. – 1998. – С.34-39.
41. Багацкий В.А. Современные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. – К.: О-во “Знание” УССР, 1980. – 21 с.
42. Вонятыцкий А.Ю., Кондалев А.И. Статистические модели ЦАП на источниках тока: Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики; 88-64. – К.: 1988. – 21 с.
43. Кондалев А.И. Преобразователи формы информации компьютерного типа: Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики; 90-19. – К.: 1990. – 45 с.
44. Багацкий В.А. Теория построения, проектирование 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. – 35 с.
45. 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. – 38 с.

46. 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. – 34 с.

47. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Смоллов В.Б. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 160 с.

48. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации. / В.Б. Смоллов, Е.П. Угрюмов, В.К. Шмидт и др. / Под ред. В.Б. Смоллова. - Л.: Энергия, 1976. - 336 с.

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

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

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

52. 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.

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

54. Угрюмов Е.П. Время-импульсные вычислительные устройства. – М.: Радио и связь, 1983. – 139 с.

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

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

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

58. Чернявский Е.А., Чье Ен Ун. Аналого-цифровые измерительно-вычислительные преобразователи. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 139 с.

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

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

61. Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 360 с.
62. 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.
63. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – К.: Вища школа, 1973. – 395 с.
64. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Вища школа, 1976. – 418 с.
65. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – К.: Вища школа, 1980. – 560 с.
66. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Вища школа, 1983. – 455 с.
67. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. – К.: Вища школа, 1986. – 504 с.
68. Орнатский П.П., Пономаренко Н.Ф. Измерительный эксперимент: Учебное пособие. – Киев: КПИ, 1979. – 112 с.
69. 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.
70. 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.
71. Мичуда З.Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі – АЦП майбутнього. – Львів: “Простір”, 2002. – 242 с.
72. Дудикевич В.Б., Мичуда З.Р., Мичуда Л.З. Аналогові функціональні перетворювачі на основі перерозподілу заряду // Міжвідомчий наук.-техн. збірник “Вимірювальна техніка і метрологія”.-Л.: Вища школа, 1996, вип. 52, с. 78-82
73. Азаров А.Д. Разработка теории аналого-цифрового преобразования на основе избыточных позиционных систем счисления: Автореф. дис... д-ра техн.наук: 05.11.16 / - Винницкий политехнический институт. - Винница, 1994. - 44 с.
74. Захарченко С.М., Біліченко Н.О., Азаров О.Д. Нові методи цифрового самокаібрування для АЦП з перерозподілом заряду // Зб. праць міжнародної науково-технічної конференції “Приборостроение - 2000” – Симеіз. – 2000. – С. 233-237.

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

76. Стахов А.П. Избыточные двоичные позиционные системы счисления // Однородные цифровые вычислительные и интегрирующие структуры. - 1974. - №2. - С. 5-41.

77. Захарченко С.М., Біліченко Н.О. Високоточні АЦП з перерозподілом заряду для систем контролю та керування // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000 - №4. – С. 65 – 67.

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

79. 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.

80. 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.

81. 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.

82. 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.

83. 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.

84. Ракитянська Г.Б. Моделювання та оптимізація швидкодії та алгоритмічної надійності надлишкових АЦП порозрядного врівноваження: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / Винниц. гос. техн. ун-т. – Винница, 1998. – 16 с.

85. 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.

86. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. Аналого-цифровые преобразователи на основе избыточных систем счисления // Помехоустойчивые коды. – М.: Знание, 1989. – С. 40-48.

87. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления: Учеб. пособие / Стахов А.П., Азаров А.Д., Марценюк В.П., Моисеев В.И., Стейскал В.Я. / Под общ. ред. А.П. Стахова. – К.: УМК ВО, 1988. – 180 с.

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

89. Азаров О.Д., Архипчук О.А. Захарченко С.М., Високолінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю, побудовані на неточних елементах, для систем цифрової реєстрації і оброблення аналогових сигналів. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. - 125 с.

90. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1277396 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.Д. Азаров, А.П. Стахов, В.П. Волков (СССР) - № 3883962/24; Заявлено 15.04.85; Оpubл. 15.12.86, Бюл. №46. – 5 с.

91. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1197079 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.Д. Азаров, А.П. Стахов, В.П. Волков (СССР) - № 3745021/24; Заявлено 18.04.84; Оpubл. 07.12.85, Бюл. №45. – 4 с.

92. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 750721 СССР, МКИ Н 03 К 13/02. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, М.Е. Бородинский (СССР). - №2573391/24; Заявлено 31.01.78; Оpubл. 23.07.80, Бюл. №27. – 4 с. ил.

93. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 928832 СССР, МКИ Н 03 К 13/02. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, Ю.А. Петросюк (СССР). - №2971246/24; Заявлено 04.08.80; Оpubл. 15.05.82, Бюл. №18. – 5 с. ил.

94. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 947956 СССР, МКИ Н 03 К 13/02. / А.П. Стахов, А.Д. Азаров, В.А. Лужецкий (СССР). - №2716506/24; Заявлено 22.01.79; Оpubл. 30.07.82, Бюл. №28. – 4 с. ил.

95. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1221750 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.П.Стахов, В.И.Моисеев, А.Д.Азаров, В.Я.Стейскал, Т.Н.Васильева (СССР). - №1221750/24; Заявлено 15.08.84; Оpubл. 30.03.86, Бюл. №12. – 10 с. ил.

96. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1231609 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.Я.Стейскал, О.В.Конючевский (СССР). - №3790665/24; Заявлено 18.09.84; Оpubл. 15.05.86, Бюл. №18. – 6 с. ил.

97. Устройство для аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования: А.с. 1474824 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.Д.Азаров, В.П.Марценюк, В.И.Моисеев, В.Я.Стейскал, Н.И.Коваль (СССР). -

№4178341/24; Заявлено 09.01.87; Оpubл. 23.04.89, Бюл. №15. – 18 с. ил.

98. Аналого-цифровой преобразователь: А.с. 1513619 СССР, МКИ Н 03 М 1/26. / А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев, В.П.Марценюк, В.Я.Стейскал, Ю.П.Орлович, В.В.Лісюк, Т.Н.Васильева, А.Е.Рафалюк (СССР). - №4257835/24; Заявлено 07.05.87; Оpubл. 07.10.89, Бюл. №37. – 12 с. ил.

99. Lefas C.C. A serial charge redistribution logarithmic A/D converter // Circuit Theory Appl.- 1989.-Jan.-Vol.17, N1.- pp. 47-54.

100. Kondoh K., Watanabe K. An autoranging switched -capacitor analog-to-digital converter // IEEE Trans. Instrum. Meas.-1987.-Dec.-N4.- pp. 879-882.

101. Схемотехника интегральных ЦАП-АЦП на основе цепей с переключаемыми конденсаторами //Отчет о НИР N У68453.- 1984

102. Singh S.P., Prabhakar A., Bhattachary A.B. C-2C ladder voltage dividers for application in all-MOS A/D converters // Electronics Letters. - 1982. - Vol.18, №12. - P.537- 538.

103. Самофалов К.Г., Романкевич А.М., Валуйский В.Н., Каневский Ю.С., Пиневиц М.М. Прикладная теория цифровых автоматов.- Вища школа Головное изд-во, 1987.- 375 с.

104. Maloberti F., Montecchi F. A new type of successive approximation A/D converter with switched capacitors // Alto Freguenza.- 1982.- N2.- pp. 93-95.

105. Yee Y.S., Terman L.M., Heller L.G. A two-stage weighted capacitor network for D/A, A/D conversion // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1979.- Vol.14, N4.- pp.778-781

106. Henry T.Yung, Kwong S.Chao. An error compensation A/D conversion technique // IEEE Transaction on circuits and systems.- 1991.- Feb.- VOL.38, N2.- pp 187-192

107. Yuh-Min Lin, Beomsup Kim, Paul R.Gray. A 13-bit 2.5-MHz self-calibrated pipelined A/D converter in 3-я7мя0m CMOS // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1991.-Apr.- Vol.26, N4.- pp. 628-636.

108. Song B.S., Tompset M.F., Lakshmikumar K.R. A 12-bit 1-Msample/s capacitor error averaging pipelined A/D converter // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1988.-Dec.- Vol.23, N6.- pp. 1324-1333.

109. Sehat Sutarja, Paul R. Gray. A pipelined 13-bit, 250-ks/s, 5-V Analog-to-digital Converter // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1988.- Dec.-Vol.23, N6.-pp.1316-1323.

110. Маньжов Б.Н. Способ определения нелинейности ЦАП // Датчики и системы. – 2000. - №8. – С. 34-41.



111. McCreary J.L. Matching properties, and voltage and temperature dependens of MOS capacitors // IEEE J. Solid-State Circuits. - 1981. - Dec. - Vol.16. - P. 608-616.
112. R.Singh et al., Matching properties of linear MOS capacitors // Solid-State Electron. - 1989. - Apr. - Vol.32, №4. - P. 299-306.
113. Fischer J.H. et al. Line receiver interface circuit for high speed voiceband modems // ISSCC Dig. Tech. Papers. – 1987, Feb.25. - P.298-299.
114. Khen-Sang Tan, Sami Kiriaki, Michiel de Wit. Error correction techniques for high-performance differential A/D Converters // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1990, Dec. - Vol.25, №6. - P.1318-1327.
115. Tan K.S. On board self-calibration of analog-to-digital and digital-to-analog converters // U.S. Patent 4399426. - 1983. - Aug.16. – P.21-25.
116. Hae-Seung Lee, David A.Hodges. Self-calibration technique for A/D converters // IEEE Transactions on circuits and systems. – 1983, March. - Vol.30, №3. - P.188-190.
117. Hae-Seung Lee, David A.Hodges, Paul R. Gray. A Self-calibrating 15-bit CMOS A/D Converter // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1984, Dec. - Vol.19, №6. - P.813-817
118. C. Kaya et al., Polyside/metal capacitors for high precision A/D converters // IEDM Tech. Dig. (San Francisco, CA). - 1988. - P.782-785.
119. Harward S., Harward D. Gate array ties 16-bit DAC into MP based system // Electronic Design. - 1984. – Vol.32. №5. – P.25-30.
120. Nailor J.R. A complete high speed voltage output monolith DAC // IEEE Journal of solid state circuits. – 1983. – Vol.CS-18. - P.729-735.
121. Алиев Т.М., Сейдель Т.Р. Автоматическая коррекция погрешностей цифровых измерительных приборов. – М.: Энергия, 1975. – 109 с.
122. Кромьер Р.Е., Оппенгейм Л.В. Анализ линейных цифровых цепей: ТИИЭР. – Т.63. №4. – С. 45-61.
123. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. / Под ред. Г.Д. Бахтиарова. - М.: Советское радио, 1980. - 280 с.
124. Richard K.Hester, Kheng-Sang Tan, Michiel de Wit. Fully differential ADC with rail-to-rail common-mode range and nonlinear capacitor compensation // IEEE J. Solid-State Circuits. – 1990, Feb. - Vol.25, №1. – P.173-183.
125. Cheng-Chung Shih, Paul R. Gray. Reference refreshing cyclic analog-to-digital and digital-to-analog converters // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1986.- Aug.- Vol.21, N4.- pp. 544-553.
126. Jespers P.G.A. Integrated D/A and A/D converters // Microelectronics Journal.- 1988.- Vol.19, N4.- pp. 13-24.

127. Cheng-Chung Shin, Ping Wai Li, Gray P. Ratio independent cyclic A/D and D/A conversion using a recirculating reference approach // IEEE Trans. on Circuits and Systems.- 1983.-Oct.- Vol.30, N10.- pp. 772-774.

128. Harlan Ohara, Hung W.Ngo, Armstrong M.J. A CMOS programmable self-calibrating 13-bit eight-channel data acquisition peripheral // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1987.-Dec.-Vol.22, N6.- pp. 930-938.

129. Hidetoshi Onodera, Tetsuo Tateishi and Keikichi Tamaru. A cyclic A/D converter that does not require ratio-matched components // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1988.-Feb.-Vol.23, N1.- pp. 152-158.

130. Ginetti B., Vandemculebroecke A., Jespers P. RSD cyclic analogue-to-digital converter // Proceedings of Symposium on VLSI Circuits, Tokyo, August 1988.

131. Ginetti B., Vandemculebroecke A., Jespers P. A CMOS 13-bit cyclic RSD A/D Converter // IEEE J. Solid-State Circuits.- 1992.-July.-Vol.27, N7.- pp. 957-965.

132. Нормирование и определение динамических характеристик аналого-цифровых преобразователей мгновенного электрического напряжения и тока. Методические указания РД 50-148-79. —М.: Изд-во стандартов, 1980. — 16 с.

133. Методика проверки цифровых вольтметров, аналого-цифровых преобразователей напряжения и комбинированных (универсальных) цифровых приборов постоянного и переменного тока. МИ 118-77. — М.: Изд-во стандартов, 1978. — 15 с.

134. Bergman G.A. Number system with an irrational base // Mathematics Magazine. - 1957. - №3. - P.98-119.

135. Стахов А.П. Коды золотой пропорции. - М.: Радио и связь, 1984. - 155 с.

136. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи. - М.: Наука, 1978. — 342 с.

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

138. Стахов А.П. Алгоритмическая теория измерений и основания компьютерной арифметики // Измерение, контроль, автоматизация. - 1988. - №2. — С. 64-89

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

140. Стахов А.П., Азаров А.Д., Марценюк В.П. Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления - К.: УМКВО, 1988. — С. 42-50.

141. Azarov A.D., Bilichenko N.A., Zakharchenko S.M. Improvement of the Characteristics of Analog-to-Digital Converters of Methods of Information Redundancy // Зб.наук.пр. міжнародної науково-технічної конференції "Development and Application Systems DAS-2000". – Румунія, 2000 – С. 47-51.

142. Азаров А.Д., Моисеев В.И., Марценюк В.П. Семнадцатирядный самокорректирующийся АЦП // Приборы и системы управления. - 1986.- №1. – С. 34-42.

143. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. Высокоточный АЦП, сопряженный с микро-ЭВМ // Управляющие системы и машины. - 1985. - №5. – С. 56-63.

144. Стахов А.П., Моисеев В.И., Стейскал В.Я. Высокоточный самокорректирующийся микропроцессорный преобразователь САЦП-МКЗ // Информационный листок №88-006 о научно-техническом достижении. - Винницкий МТЦНТИ, 1988. – С. 3-6.

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

146. Азаров О.Д. Прискорення аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення // Вісник ВПІ. – 1993. - №1. – С. 22-27.

147. Азаров О.Д., Шапошников О.В. Підвищення точності швидкодіючих АЦП конвеєрного типу методом інформаційної надлишковості // Вісник ВПІ. – 2001. – № 5. – С. 68 - 73.

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

149. Азаров А.Д., Захарченко С.М. Разработка высокоточного самокорректирующегося конденсаторного АЦП // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 7-го симпозиума.- Киев, 1992.-С.97.

150. Азаров А.Д., Захарченко С.М. Высокоточный самокорректирующийся конденсаторный АЦП для систем контроля и измерений // Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-технической конф. стран СНГ. - Винница, 1992.-С.56.

151. Азаров О.Д., Захарченко С.М. Аналіз статичних похибок АЦП зі зрівноваженням зарядів // Вісник ВПІ.-1995.-№2.- С.5-12.

152. Справочник по аналоговой вычислительной технике // Под ред. Г.Е. Пухова. - К.: Техника, 1975. - 432 с.

153. Alan B.Grebene. Bipolar and MOS analog integrated circuit design. - A Wiley-Interscience Publication, 1984. – P.496-503.

154. John Sylvan. Build Precise S/H amps for fast 12-bit ADCs// Electronic Design.- 1990.- Jan. 25.

155. Захарченко С.М. Повышение точности конденсаторных АЦП с источниками экспоненциальных токов // Приборостроение-94. Тез. докл. научно-технической конференции с международным участием.- Винница-Симферополь, 1994.-С.115.

156. Tsividis Y., Fang S.C. Properties and analysis of switched-capacitor networks // Proc. ECCTD'83, Stuttgart. - September, 1983. - P.233-235.

157. Tsividis Y. Principles of operation and analysis of switched-capacitor circuits // Proc. of IEEE. - 1971, August. - №8, - P.926-940.

158. R.E.Suarez, P.R.Gray, D.A.Hodges. An all MOS charge-redistribution A/D conversion technique. // ISSCC Dig. Tech. Papers. - Feb., 1974. - P.194-195.

159. McCreary J.L., Gray P.R. All-MOS charge redistribution analog-to-digital conversion techniques - Part 2 // IEEE J. Solid-State Circuits. - 1975. - Vol.10. - P.379 -385.

160. Аладьев В.З., Гершгорн Н.А. Вычислительные задачи на персональном компьютере. - К.: Техника, 1991. - 127 с.

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

162. Біліченко Н.О. Дослідження динамічних характеристик АЦП з перерозподілом заряду // Реєстрація, зберігання та обробка інформації. - 1999. - т.1, №6 - С. 78-83.

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

164. Біліченко Н.О., Захарченко С.М., Азаров О.Д. Самокалібрування надлишкових АЦП з перерозподілом заряду // Реєстрація, зберігання та обробка інформації. - 2000. - т.2, №1 - С. 67-74.

165. Біліченко Н.О., Захарченко С.М., Азаров О.Д. Дослідження похибок самокаліброваних АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення // Вісник ВПІ. - 2000. - №1. - С. 59-63.

166. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (Pspice). - М.: СК Пресс, 1996. - 272 с.

167. McCalla W.J. Fundamentals of computer-aided circuit simulation. - Kluwer Academic, 1988. - P.1315-1329.

168. Blume, Wolfram. Computer circuit simulation // Byte. - 1986. - Vol.11. - №7. - P.165.

169. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования MICRO-CAP V. - М.: Солон, 1997. - 273 с.

170. Antognetti P., Massobrio G. Semiconductor device modeling with SPICE. - New York, McGraw-Hill. Inc., 1988. - 391 p.

171. Чахмахсазян Е.А. Математическое моделирование и макро-моделирование биполярных элементов электронных схем. – М.: Радио и связь, 1985. – 144 с.
172. Разевиг В.Д. Применение программ *P-CAD* и *PSpice* для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. Выпуск 2. – М.: Радио и связь, 1992. – 72 с.
173. Разевиг В.Д. OrCAD 9.2. – М.: Солон-Р, 2003. – 528с.
174. В. Разевиг. Система сквозного проектирования Dr.Spice + ACCEL EDA // Компьютерная неделя. – 1997. - №44 (118). – С. 8-14.
175. Баталов Б.В., Егоров Ю.Б., Русаков С.Г. Основы математического моделирования больших интегральных схем на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1982. – 168 с.
176. Frohman-Bentchkowsky D., Grove A.S. Conductance of MOS transistors in saturation // IEEE trans. Electron Devices, 1969. – ED-16. - №1. – P.108-113.
177. Shichman H., Hodges D.F. Modeling and simulation of insulated-gate field-effect transistor switching circuits // IEEE J. Solid-State Circuits. - 1968, Sept. - Vol. SG-3. - P.285.
178. Shen B.J., Scharfetter D.L., Ko P.-K., Jeng M. BSIM: Berkeley short-channel IGFET model for MOS transistors // IEEE J. Solid-State Circuits. - 1987, Aug. - Vol.SC-22.- P.558-566.
179. Резисторные и конденсаторные микросборки / Ю.В. Зайцев, А.Т. Самсонов и др. – М.: Радио и связь, 1991. – 200 с.
180. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 583 с.
181. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
182. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – С. 82-84.
183. Входное устройство схемы сравнения токов: А.С. 1450098 СССР, МКИ Н 03 К 5/24, G 05 В 1/01. / А.Д. Азаров, В.Я. Стейскал, Ю.М. Степайко (СССР). - №4204509; Заявлено 02.03.87; Опубл. 07.01.89, Бюл. №1. – 4 с.
184. Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС: Руководство по анализу и расчету. М.: Мир, 1992.- 560 с.
185. Степаненко И.П. Основы транзисторов и транзисторных схем. М.: Энергия, 1967.
186. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. М.: Высшая школа, 1987.- 479 с