

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ЗАХАРЧЕНКО СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ



**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА САМОКАЛІБРОВАНИХ АЦП З  
НАКОПИЧЕННЯМ ЗАРЯДУ НА ОСНОВІ НАДЛИШКОВИХ  
ПОЗИЦІЙНИХ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ**

Спеціальність 05.13.08 - обчислювальні машини, системи  
та мережі, елементи і пристрої  
обчислювальної техніки та сис-  
тем керування.

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця - 1997

004.03

АВ 36.727

Дисертація ЛННБ України ім.В.Стефаніка

Робота виконана на кафедрі  
державного технічного університету.



00760929 (X)

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент  
Азаров Олександр Дмитрович.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Кондалев Андрій Іванович,  
кандидат технічних наук, доцент  
Капіцький Ярослав Іванович.

Провідна організація: Національний технічний університет  
України "Київський політехнічний  
інститут".

Захист відбудеться "28" 02 1997р. о "12" годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 10.01.03 в  
Вінницькому державному технічному університеті за адресою:  
286021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького державного технічного університету.

Автореферат розісланий "22" 01 1997р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Колодний В.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Серед сучасних перетворювачів форми інформації (ПФІ) можна виділити окремий клас пристроїв - перетворювачі з накопиченням заряду (НЗ). Характерною рисою даного класу приладів є наявність обов'язкової процедури накопичення заряду. Друга відмітна ознака вказаних пристроїв - їх схожа структурна реалізація. Практично всі ПФІ з НЗ будуються з використанням однакових елементарних блоків: конденсаторів, операційних підсилювачів та компараторів.

Поширене розповсюдження ПФІ з НЗ пояснюється перш за все тим, що вони легко реалізуються у вигляді інтегральних схем. На сьогоднішній день серед аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) із НЗ середньої та високої швидкодії найбільш розповсюдженими є АЦП з перерозподілом заряду, сігма-дельта АЦП, циклічні або алгоритмічні та багатокрокові флеш-АЦП. Обмежене використання інших перетворювачів цього класу, зокрема АЦП на основі послідовного ЦАП, пояснюється їх обмеженою точністю.

Один із перспективних методів підвищення точності ПФІ з НЗ базується на використанні інформаційної надлишковості, зокрема, у формі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ). Актуальність цього напрямку підтверджується позитивними практичними результатами як в Україні, так і за кордоном.

Метою досліджень є розробка методів підвищення точності АЦП із накопиченням заряду, зокрема, АЦП на базі генераторів експоненційних струмів (ГЕС) шляхом використання НПСЧ, інженерних рекомендацій по проектуванню високоточних АЦП із НЗ, а також аналогових вузлів вказаних перетворювачів інформації на перспективній елементній базі.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішуються такі задачі:

1. Аналіз і складення математичних моделей похибок АЦП із генератором експоненційних струмів.
2. Розробка методів зниження похибок аналого-цифрового перетворення в перетворювачах інформації з ГЕС шляхом введення інформаційної надлишковості.
3. Розробка алгоритмів самокалібрування ваг розрядів АЦП із ГЕС на основі НПСЧ.
4. Розробка моделюючих програм для дослідження похибок

високоточних самокаліброваних АЦП з ГЕС на основі НПСЧ.

5. Розробка практичних рекомендацій по проектуванню аналогових вузлів (генератора експоненційних струмів, пристрою вибірки та зберігання, комутаторів струмів) на перспективній елементній базі типу напівазовних ВІС для самокаліброваних АЦП із ГЕС.

6. Розробка структур високоточних самокаліброваних АЦП із генератором експоненційних струмів на основі НПСЧ.

Автор захищає:

1. Методи зниження статичних похибок АЦП із ГЕС, що базуються на введенні інформаційної надлишковості на рівні вибору системи числення.

2. Математичні моделі статичних похибок аналогових вузлів АЦП із генератором експоненційних струмів.

3. Алгоритми підвищення точності АЦП із ГЕС шляхом самокалібрування ваг розрядів.

4. Методику дослідження методичних похибок аналого-цифрового перетворення, що виникають у процесі самокалібрування ваг розрядів АЦП.

5. Інженерні рекомендації зі схемотехнічного проектування аналогових вузлів для високоточних самокаліброваних АЦП із ГЕС з реалізацією на перспективній елементній базі у вигляді напівазовних ВІС.

6. Структури високолінійних самокаліброваних АЦП із ГЕС, що реалізують запропоновані алгоритми підвищення точності аналого-цифрового перетворення.

Методи досліджень базуються на математичному моделюванні процесів аналого-цифрового перетворення, теорії чисел, чисельних методах обчислювань, теорії інформації, теорії сигналів та машинному аналізі електронних схем.

Наукова новизна роботи полягає в тому що:

1. Складено класифікацію АЦП із накопиченням заряду.

2. Розроблені математичні моделі статичних похибок АЦП із ГЕС, проаналізовано вплив складових статичної похибки на точність перетворення.

3. Розроблені методи зниження статичних похибок АЦП із ГЕС шляхом використання інформаційної надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення.

4. Розроблені алгоритми підвищення точності аналого-циф-

рового перетворення за рахунок самокалібрування ваг розрядів АЦП із ГЕС.

5. Розроблено методику дослідження похибок аналого-цифрового перетворення шляхом комп'ютерного моделювання процесу самокалібрування ваг розрядів перетворювача.

6. Отримані математичні співвідношення, що характеризують процес накопичення методичних похибок при самокалібруванні ваг розрядів АЦП.

7. Розроблені структури високолінійних самокаліброваних перетворювачів інформації з генератором експоненційних струмів на базі НПСЧ, що реалізують запропоновані алгоритми підвищення точності.

8. Запропоновано та досліджено метод комплексного зниження складових похибки самокалібрування.

Практична цінність роботи полягає в тому що:

1. Розроблені рекомендації по проектуванню високоточних АЦП із генератором експоненційних струмів на базі НПСЧ, які забезпечують, зокрема, стабілізацію метрологічних характеристик перетворювачів при зміні умов навколишнього середовища, а також протягом тривалого терміну експлуатації.

2. Запропонована модель розрядної сітки самокаліброваного АЦП, що надає можливість на етапі проектування визначити необхідну кількість основних і додаткових розрядів перетворювача.

3. Розроблені інженерні рекомендації по схемотехнічному проектуванню аналогових вузлів самокаліброваних АЦП із ГЕС на перспективній елементній базі у вигляді напівзамовних ВІС.

4. Розроблено програмне забезпечення, що дає можливість на етапі проектування шляхом моделювання оцінити сумарну похибку АЦП при заданні різних параметрів та умов перетворення.

Реалізація результатів роботи полягає в проектуванні комплекту твердотільних напівзамовних ВІС аналогових вузлів високоточних АЦП і ЦАП (високолінійний швидкодіючий підсилювач постійного струму для пристрою вибірки та зберігання аналогових сигналів, схема погодження логічних рівнів, схема порівняння струмів).

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на VII -му міжнародному симпозіумі "Проблеми створення перетворювачів інформації" - Київ, 1992; науково-технічних конференціях країн СНД "Контроль та

керування в технічних системах" - Вінниця, 1992, 1995; науково-технічних конференціях із міжнародною участю "Приладобудування - 94" та "Приладобудування - 95" - Вінниця, Симферополь, Львів, 1994, 1995; науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників і студентів Вінницького державного технічного університету в 1991-1996 роках.

Публікації По матеріалам дисертаційної роботи опубліковано 7 робіт, та отримано 1 позитивне рішення на патент України.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається із вступу, чотирьох глав, висновку, списку використаних джерел та додатків. Дисертація має загальний обсяг 242 сторінки, з яких основний зміст міститься на 203 сторінках, включаючи рисунки та таблиці на 50 сторінках, список використаних джерел із 106 найменувань на 11 сторінках; додатки на 23 сторінках.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність досліджень. Охарактеризовано наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів, показано зв'язок задач, що розв'язуються, з плановими науковими дослідженнями. Приведено структуру та коротку анотацію дисертаційної роботи.

У першій главі проводиться огляд сучасного стану й аналізуються тенденції розвитку техніки аналого-цифрового перетворення із накопиченням заряду. Автором запропоновано класифікацію АЦП із НЗ. Згідно зі вказаною класифікацією розглянуті та проаналізовані структурні особливості, а також принципи функціонування кожного типу АЦП із НЗ. Вказані основні переваги та недоліки окремих перетворювачів інформації. Відзначається, що техніка накопичення заряду дає можливість реалізувати велике різноманіття структур АЦП послідовного врівноваження, які характеризуються простою структурною реалізацією і відносно високою швидкодією. Як свідчить огляд літературних джерел найбільше розповсюдження серед АЦП із НЗ, що реалізують алгоритм послідовного врівноваження, стримали АЦП із перерозподілом заряду та циклічні перетворювачі. Типовим представником АЦП із перерозподілом заряду є AD677 фірми Analog Devices.

Описуються різні шляхи поліпшення характеристик АЦП із НЗ. Технологічний підхід передбачає, зокрема, підвищення точності виготовлення інтегральних конденсаторів. Для цього конденсатори великої ємності виготовляються шляхом запаралелюван-

ня конденсаторів малої ємності з використанням загальноцентрованої геометрії.

Відзначається також, що для поліпшення характеристик перетворювачів використовуються різноманітні структурні та структурно-алгоритмічні методи, спрямовані на зменшення впливу "неідеальностей" операційних підсилювачів (обмежений коефіцієнт підсилювання з розірваною петлею зворотнього зв'язку, асув нуля, тощо). Відзначається широке використання методів підвищення точності шляхом самокалібрування ваг розрядів. Це насамперед стосується АЦП з перерозподілом заряду. Найбільше розповсюдження отримали алгоритми самокалібрування "знизу-догори" та "згори-донизу", а також різні комбінації вказаних алгоритмів. При використанні двійкової системи числення самокалібрування виконується у цифроаналоговій формі, що означає: а) необхідність використання додаткових калібруючих ЦАП по числу розрядів що калібруються; б) додаткові витрати часу в режимі основного перетворення для формування коригуючих аналогових сигналів.

Звертається увага на те, що з кінця 70-х років для поліпшення характеристик ПЛІ починають використовувати інформаційну надлишковість у формі НПСЧ. Першим серійним виробом, в якому застосовано цей підхід був АЦП моделі ICL-7115 фірми "Intersil". У 80-х роках під керівництвом проф. Азарова О.Д. були створені перші зразки високоточних швидкодіючих АЦП на основі НПСЧ. Розповсюдження принципу підвищення точності за рахунок використання НПСЧ на АЦП із накопиченням заряду, що містять послідовний ЦАП, є основною метою даної дисертаційної роботи. Визначені напрямки досліджень.

У другій главі розглянуто принципи побудови АЦП з генератором експоненційних струмів. Отримані базові співвідношення, що характеризують роботу вказаного пристрою, а також побудовані математичні моделі його похибок.

Структурна схема АЦП із ГЕС та діаграми врівноваження вхідної напруги наведені на рис.1,а,б. Побудована математична модель аналого-цифрового перетворення, в рамках якої отримані співвідношення, що задають значення основи робочої системи числення, часу та діапазону перетворення відповідно:

$$\alpha = \exp(t_T/\tau),$$

(1)

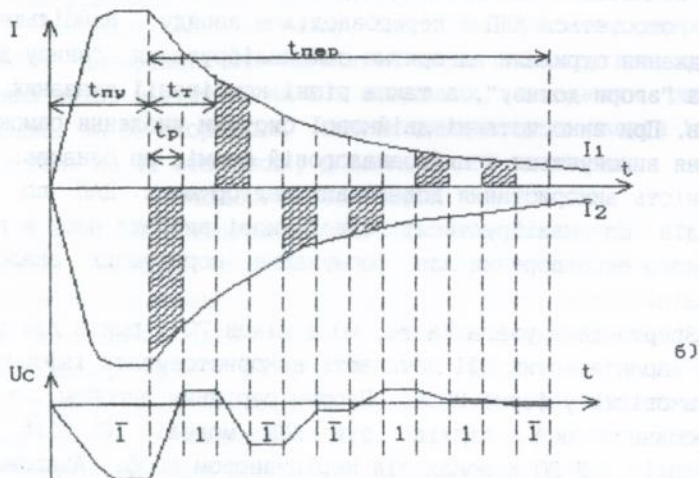
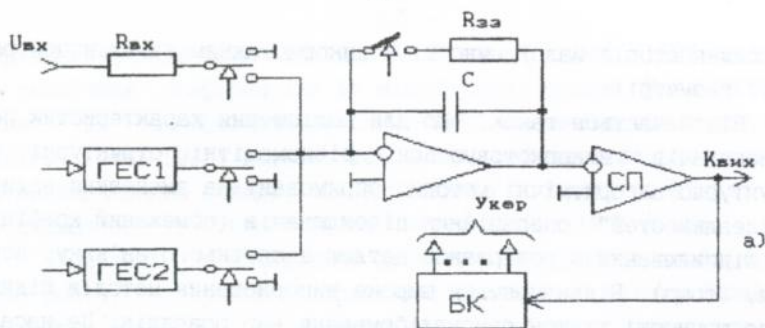


Рис.1 АШП з генератором експоненційних струмів:  
а) структурна схема; б) часові діаграми функціонування

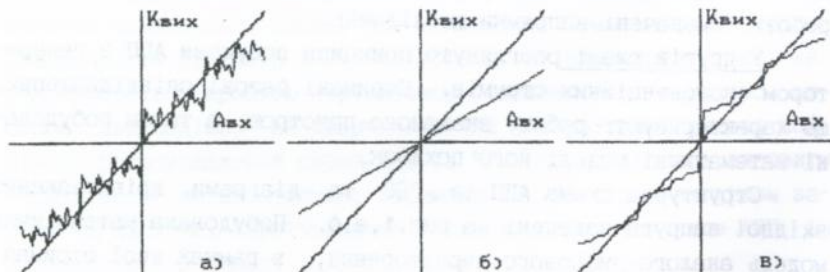


Рис.2 Передатні характеристики АШП з ГЕС при наявності похибок: а) першої, б) другої, в) третьої групи.

$$t_{\text{пер}} = n \cdot \tau \cdot \ln \alpha, \quad (2)$$

$$D = \frac{I_0 \cdot \tau}{C} \cdot \left( e^{-t_p/\tau} - 1 \right) \cdot \frac{(\alpha^{-n} - 1)}{(\alpha^{-1} - 1)}, \quad (3)$$

де:  $t_T$  - тривалість одного такту врівноваження,  $\tau$  - постійна часу ГЕС,  $I_0$  - початкове значення струму ГЕС,  $C$  - ємність інтегратора,  $t_p$  - тривалість активної фази врівноваження.

З отриманих виразів випливає що: а) основа робочої системи числення задається довжиною такту врівноваження, що дає можливість змінювати  $\alpha$  на алгоритмічному рівні; б) час аналого-цифрового перетворення для заданого діапазону вхідного сигналу не залежить від основи системи числення (при зменшенні  $\alpha$  збільшується  $n$ ).

Похибка перетворення в АЦП із ГЕС обумовлена неточним формуванням компенсуючої напруги. Значення компенсуючої напруги на  $i$ -му такті врівноваження задається виразом:

$$U_i = \frac{I_0 \cdot \tau}{C} \cdot e^{-t_T \cdot i / \tau} \cdot (1 - e^{-t_p / \tau}), \quad (4)$$

Похибка формування компенсуючого сигналу обумовлена: "неідеальністю" інтегратора, похибками формування експоненційних струмів та тактових інтервалів, проходженням керуючого сигналу крізь паразитні ємності комутаторів струмів.

Були отримані співвідношення для кожної складової похибки формування компенсуючого сигналу. Оскільки у загальному випадку вищезгадані складові є випадковими та некорельованими, сумарна похибка описується виразом:

$$\delta U_{\text{сум}} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \delta U_j^2} = \sqrt{\delta U_1^2 \cdot \alpha^{2i} + \delta U_2^2 + \delta U_3^2 \cdot i^2}, \quad (5)$$

де

$$\delta U_1^2 = \frac{(\delta I_B^2 + \delta I_N^2) \cdot \ln^2 \alpha}{(1 - \alpha^{-1})^2} + \delta U_K^2; \quad \delta U_2^2 = \delta I_0^2 \cdot \delta C^2 + \left( \frac{\alpha^{-1} \cdot (1 - \alpha^{-\delta t_p})^2}{1 - \alpha^{-1}} \right)^2;$$

$$\delta U_3^2 = \delta \tau^2 + \delta t_T^2,$$

де  $\delta I_B$  - відносне значення вхідного струму підсилювача,  $\delta I_N$  - відносне значення постійної складової струму ГЕС,  $\delta U_K$  - відносне значення напруги, обумовленої проходженням керуючого сигналу,  $\delta I_0$  - похибка задання початкового значення струму

ГЕС,  $\delta C$  - похибка задання номіналу ємності інтегратора,  $\delta t_p$  - похибка задання тривалості активної фази,  $\delta t$  - похибка задання постійної часу ГЕС,  $\delta t_T$  - похибка задання тривалості такту.

Аналіз останнього виразу дає можливість виділити три групи похибок одного порядку. До складу першої групи ( $\delta U_1$ ) входять  $\delta I_B$ ,  $\delta I_H$  та  $\delta U_K$ . Внесок похибок даної групи до сумарної похибки визначається номером такту врівноваження і та зростає пропорційно  $\alpha^1$ . Друга група ( $\delta U_2$ ) містить  $\delta I_O$ ,  $\delta C$  та  $\delta t_p$ , її вплив на сумарну похибку не залежить від номера такту врівноваження. Третя група похибок ( $\delta U_3$ ) містить  $\delta t$  та  $\delta t_T$ , її внесок зростає пропорційно  $i$ . Передатні характеристики АЦП при наявності  $\delta U_1 - \delta U_3$  показані відповідно на рис.2,а,б,в.

Слід відзначити, що інструментальні похибки першої та третьої групи є специфічними, оскільки призводять до появи похибки нелінійності. Автором запропоновані структурні методи зниження впливу вказаних похибок. Перший із них полягає у побудові ГЕС у вигляді кількох сегментів, що з'єднуються між собою за допомогою ємнісних дільників. Другий підхід передбачає використання двох інтеграторів та одного ГЕС.

Третя глава присвячена розробці та дослідженню високолінійних самокаліброваних АЦП із ГЕС на основі НПСЧ. Запропоновано алгоритми самокалібрування АЦП із ГЕС "знизу-догори", що базуються на одноразовому та дворазовому врівноваженні допоміжного сигналу. При роботі АЦП в системі числення з розрядними коефіцієнтами  $\{1, \bar{1}\}$  (рис.1,б), слід калібрувати як "додатні" так і "від'ємні" ваги розрядів. При використанні алгоритму дворазового врівноваження похибка калібрування ваги  $k$ -го "додатнього" розряду дорівнюватиме:

$$\epsilon_k^+ - Q_k^+ + \sum_{i=0}^{k-1} (a_i^{+-} - a_i^{+}) \cdot Q_i^* + \sum_{j=1}^{k-1} (\epsilon_j^*(a_j^{+-}) - \epsilon_j^*(a_j^{+})), \quad (6)$$

де  $Q_k^+$  - реальна вага  $k$ -го "додатнього" розряду,  $a_i^{+-}$ ,  $a_i^{+}$  - розрядні коефіцієнти при першому та другому врівноваженні відповідно,  $l$  - кількість "точних" ваг розрядів;

$$Q_i^* = \begin{cases} Q_i^+ & \text{если } a_i = 1; \\ Q_i^- & \text{если } a_i = \bar{1}, \end{cases} \quad \epsilon_j^*(a_j) = \begin{cases} \epsilon_j^+, & \text{если } a_j = 1; \\ \epsilon_j^-, & \text{если } a_j = \bar{1}. \end{cases}$$

Аналогічно визначається похибка калібрування ваги  $k$ -го "від'ємного"

емного" розряду. Значення допоміжного аналогового сигналу  $a_d$  в явному вигляді не присутнє у виразі (6), однак значення  $\epsilon_k$  суттєво залежить від  $a_d$  (рис.3).

Наявність методичної похибки самокалібрування призводить до появи похибки нелінійності, масштабу та зсуву нуля на передатній характеристиці перетворювача. Дослідження показали, що похибка нуля визначається здебільше відхиленнями ваг розрядів  $\delta Q$  від ідеальних значень і є мінімальною при умові  $\delta Q_i^+ - \delta Q_i^-$ ,  $i = \overline{1, n-1}$ , де  $\delta Q_i^+$ ,  $\delta Q_i^-$  відносні відхилення ваг розрядів  $i$ -го "додатнього", та  $i$ -го "від'ємного" відповідно. Значення похибок масштабу та нелінійності насамперед визначаються кількістю розрядів, що калібруються ( $n-1$ ), та основою системи числення (рис.4). Слід відзначити, що характер залежностей  $\Delta_n(n-1, \alpha)$  та  $K_M(n-1, \alpha)$  принципово не змінюється для різних векторів відхилень ваг розрядів.

Відомо, що методична похибка самокалібрування може бути знижена шляхом використання додаткових розрядів, ваги яких дорівнюють  $\alpha^{-1}$ ,  $\alpha^{-2}$ ...  $\alpha^{-d}$ . В результаті моделювання було встановлено, що необхідна кількість додаткових розрядів в основному визначається кількістю розрядів, що калібруються та їх відхиленнями від ідеальних значень. При цьому мінімальна кількість додаткових розрядів потрібна у випадку  $\delta Q_1^+ - \delta Q_{1+1}^+ - \dots - \delta Q_{n-1}^+ - \delta Q_1^- - \delta Q_{1+1}^- - \dots - \delta Q_{n-1}^-$ , тобто коли відносні відхилення всіх розрядів, що калібруються є однаковими. У даному разі необхідна кількість додаткових розрядів може бути визначена як  $d \geq (n-1)/2.5$ . Якщо відносні відхилення ваг розрядів, що калібруються, є випадковими, то необхідна кількість додаткових розрядів визначається нерівністю  $d \geq (n-1)/1.5$ .

Із рис.3 видно, що значення  $\epsilon_k$  залежать від  $a_d$  і в діапазоні  $a_{d\min} + a_{d\max}$  вони приймають як від'ємні, так і додатні значення. Таким чином, якщо калібрування кожного розряду виконувати при різних значеннях  $a_d$ , а результат осереднювати, то похибку самокалібрування можна значно зменшити. Інший шлях зменшення похибки самокалібрування передбачає вибір  $a_d$  при якому значення  $\epsilon_k$  є мінімальним. Із рис.3 видно, що мінімуми та максимуми функції  $\epsilon_k(a_d)$  при  $k \geq 1+2$  досягаються при приблизно однакових значеннях  $a_d$ . Таким чином, якщо калібрування починати не з 1-го, а, наприклад, 1-3-го розряду (при умові що ваги 1-3, 1-2 та 1-1 "точних" розрядів відомі), можна спрогнозу-

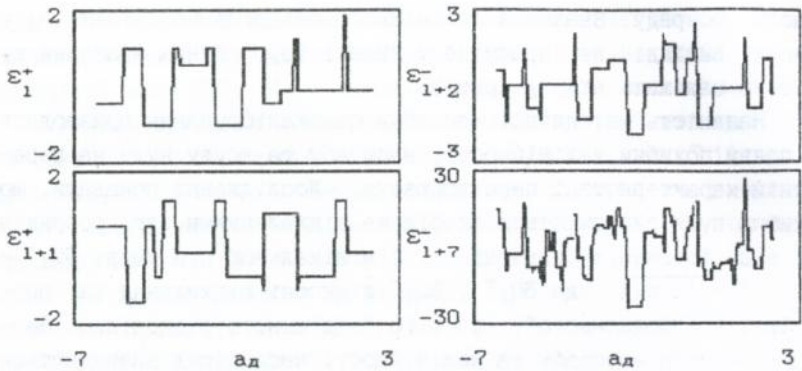


Рис. 3 Залежність  $\epsilon_k(\text{ад})$

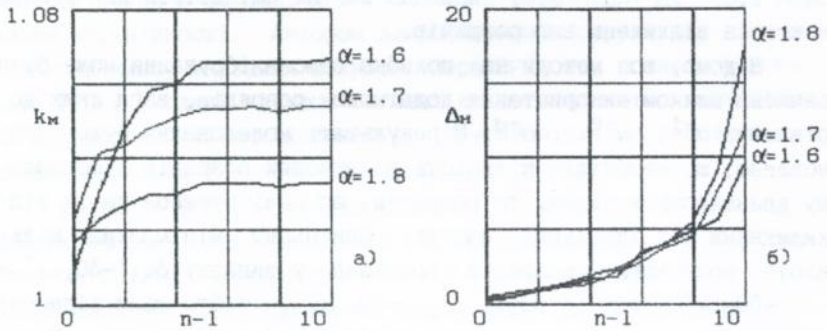


Рис. 4 Залежності: а)  $k_n(n-1)$  та б)  $\Delta_n(n-1)$ .

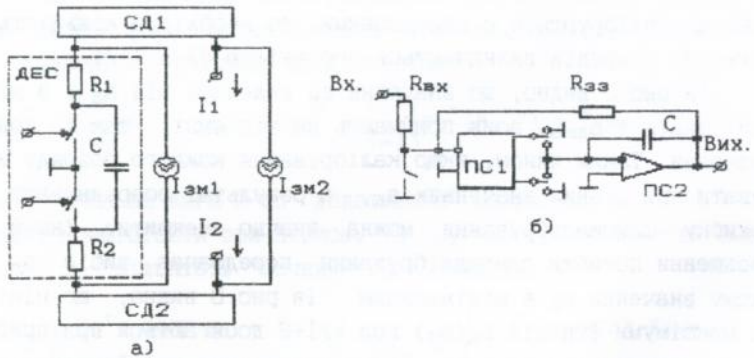


Рис. 5 Структурні схеми: а) генератора експоненційних струмів, б) пристрою вибірки та зберігання

вати мінімуми та максимуми функції  $\epsilon_k(a_d)$  і вибрати відповідне значення  $a_d$ . Слід відзначити, що запропоновані підходи дають можливість значно скоротити кількість додаткових розрядів, до яких ставляться вимоги високої температурної та часової стабільності. Розглянуті методи підвищення точності самокалібрування можуть бути використані не тільки в АЦП із накопиченням заряду, а і в будь-якому іншому самокаліброваному АЦП, що побудований на базі НПСЧ.

Четверта глава присвячена розробці рекомендацій по проектуванню аналогових вузлів високоточних самокаліброваних АЦП із ГЕС, а саме генераторів експоненційних струмів, пристрою вибірки та зберігання, комутаторів струмів.

Запропонована структура ГЕС, яка містить давач експоненційного струму ДЕС і струмові дзеркала СД1 та СД2 (рис.5,а). Така структура дає можливість отримати вихідні експоненційні струми різного напрямку (втікаючий та витікаючий), які характеризуються однаковими параметрами, зокрема мають однакові значення постійної часу та початкового значення струму ГЕС. ДЕС реалізовано у вигляді комутованого R-C ланцюга. Для поліпшення характеристик ДЕС слід забезпечити мінімальне змінення напруги, що прикладається до давача під час формування експоненційних струмів. Для цього використовуються струми зміщення (рис.5,а) та спеціальна схема стабілізації напруги на ДЕС.

Головними вимогами, що пред'являються до СД у складі ГЕС є стабільність коефіцієнта відбиття  $K_v$  для широкого діапазону струмів та незалежність  $K_v$  від  $\beta$  транзисторів (оскільки  $\beta$  інтегральних n-p-n та p-n-p транзисторів суттєво відрізняється). Цим вимогам найбільш задовольняє струмове дзеркало Уілсона.

Для реалізації пристрою вибірки та зберігання (ПВЗ) у складі АЦП із ГЕС запропонована структура, що показана на рис.5,б. Використання допоміжного підсилювача дає можливість значно прискорити вибірку вхідного сигналу, а комутація вхідного сигналу на загальну шину під час зберігання значно зменшує його проходження на ємність у цьому режимі. З метою підвищення лінійності ПВЗ базові підсилювачі доцільно реалізовувати по двотактній симетричній схемі. На основі розроблених рекомендацій спроектовані та реалізовані в мікроелектронному виконанні на напівзавомних ВІС у вигляді базових матричних кристалів типу "Фархад-2" високолінійний швидкісний підсилювач пос-

тійного струму для ПЕЗ, схема погодження логічних рівнів, схема порівняння струмів.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Запропонована класифікація аналого-цифрових перетворювачів із накопиченням заряду. Проаналізовані сучасні методи підвищення точності вказаних пристроїв. Показано, що характеристики АЦП із НЗ можуть бути значно поліпшені завдяки використанню методів інформаційної надлишковості.

2. Розроблені методи підвищення точності АЦП із НЗ шляхом самокалібрування при умові введення інформаційної надлишковості у вигляді НПСЧ. Отримані математичні співвідношення, які підтверджують, що запропонований підхід дозволяє суттєво зменшити похибки самокаліброваних аналого-цифрових перетворювачів у порівнянні з первинними похибками аналогових вузлів.

3. Розроблені математичні моделі інструментальних похибок аналогових вузлів, що входять до складу АЦП із ГЕС. Проведена систематизація цих похибок, а також виявлено їх зв'язок зі складовими загальною похибки аналого-цифрового перетворення.

4. Запропоновані та проаналізовані алгоритми самокалібрування ваг розрядів АЦП із ГЕС на основі НПСЧ  $\{1, \bar{1}\}$ . Виявлено, що алгоритм самокалібрування, який базується на дворазовому врівноваженні допоміжного сигналу, забезпечує більш високу точність у порівнянні з алгоритмом одноразового врівноваження.

5. Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для імітаційного моделювання роботи АЦП із ГЕС на основі НПСЧ. Розроблена також методика дослідження похибок самокалібрування, що базується на комп'ютерному моделюванні.

6. Запропоновано метод комплексного зменшення складових похибки самокалібрування передатної характеристики АЦП із ГЕС. Це дає можливість суттєво зменшити кількість додаткових розрядів, а також знизити вимоги щодо метрологічних параметрів ряду аналогових вузлів. Показано, що вказаний метод підвищення точності самокалібрування може бути використано в будь-якому самокаліброваному АЦП, що побудований на основі НПСЧ.

7. Розроблені інженерні рекомендації по схемотехнічному проектуванню і розробці самокаліброваних АЦП із ГЕС на основі НПСЧ, а також аналогових вузлів до них. Доказана можливість реалізації розроблених вузлів, зокрема пристрою вибірки та зберігання аналогових сигналів, генератора експоненційних

струмів, комутаторів струмів на перспективній елементній базі у вигляді напівзамовних ВІС типу базових матричних кристалів.

8. На основі запропонованих рекомендацій створені твердо-тільні напівзамовні ВІС високолінійного пристрою вибірки та зберігання аналогових сигналів, схеми погодження логічних рівнів та схеми порівняння струмів на базових матричних кристалах типу "Фархад-2".

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ВІДОВРАЖЕНО В ТАКИХ РОБОТАХ

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

2. 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.

3. 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.

4. Позитивне рішення на видачу патенту України по заявці N 93007329 від 16.07.1996, МПК Н03 К5/24. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів.(Азаров О.Д., Стахов О.П., Степайко Ю.М., Захарченко С.М.). Заявлено 28.10.93.

5. Захарченко С.М. Разработка высокоточных самокорректирующихся конденсаторных АЦП для измерительных комплексов // Приборостроение-94. Тез. докл. конф.-Винница, 1994.-С.134.

6. 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.

7. Захарченко С.М. Математическое моделирование характеристик конденсаторных АЦП, ЦАП для устройств измерения и контроля //Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-технической конф. - Винница, 1995.-С.299.

8. Захарченко С.М. Повышение точности самокалибровки АЦП, построенных на основе ИПСС // Приборостроение - 95. Тез. докл. научно-технической конференции с международным участием.- Винница-Львов - 95.

Особистий внесок автора в роботах, що опубліковані у спі-

вавторстві: [1]-склав моделі статичних похибок аналогових вузлів АЦП із ГЕС; [2]-розробив структуру та промодельовав її роботу на ПЕОМ; [3]-розробив структуру самокаліброваного конденсаторного АЦП; [4]-запропонував схему компенсації зсуву нуля.

Захарченко С.М. Исследование и разработка самокалибрующихся АЦП с накоплением заряда на основе избыточных позиционных систем счисления.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - вычислительные машины, комплексы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Винницкий государственный технический университет. Винница, 1997. Защищается 8 научных работ, содержащих исследования по введению информационной избыточности в АЦП с накоплением заряда. Доказано, что предложенный подход позволяет повысить точность аналого-цифровых преобразователей, построенных на низкоточной элементной базе и сохранить метрологические характеристики в течение длительных сроков эксплуатации. Освоено промышленное внедрение выполненных разработок.

Zakharchenko S.M. The investigation and design of selfcalibrating ADC with charge accumulation on the basis of redundant position number system.

The dissertation for the submission for the award of Doctorrate degree in Engineering Sciences on speciality 05.13.08 - computers, complexes and networks, units and devices of computers and control systems. Vinnitsa State Tecnical University, 1997. Submitted for the defence are 8 scientific works that contains researches in introduction of information redundancy in ADC with charge accumulation. The suggested approach is supposed to make possible of increasing accurancy of analog-to-digital convection in ADC that is built on low-accurate elements and to keep metrological characteristics during the long time of exploitation. The working out has applied industry.

Ключові слова: аналого-цифрові перетворювачі з накопиченням заряду, надлишкові позиційні системи числення, самокалібрування, генератор експоненційного струму.

Підписано до друку 16.01.1997 р.  
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького державного технічного університету.  
Наклад 100 примірників.



570274

441019

AB 36.727