

Література

1. Smith C.S. Piezoresistance effect in germanium and silicon// Phys. Rev. - 1954.- V.94, №1.- P.42.
2. Эрлер В., Вальтер Л. Электрические измерения неэлектрических величин полупроводниковыми тензорезисторами. -М.: Мир, 1974. -285 с.
3. Полупроводниковые тензодатчики/Под ред. М.Дина. -М.:Энергия, 1965. -213 с.
4. Физическая акустика/Под ред. У. Мезона. -М.: Мир, 1967.- Т.14. -362 с.
5. Грубант Л., Козак К. Использование пьезосопротивления кремния для измерения давлений при температурах от -70 до +300°С//Приборы и системы управления.- 1970.- №6.- С.24.
6. Заганяч Ю.И., Жилка В.А., Иващук Т.М. Высокотемпературный миниатюрный датчик давления типа ДДПТ//Приборы и системы управления.- 1981.- №1.- С.21.
7. Базжин Ю.М., Цывин А.А. Перспективы использования полупроводниковых тензорезисторных структур в датчиках давления//Динамические характеристики и колебания элементов энергетического оборудования. -М.: Наука, 1980.- С.109.
8. Полякова А.Л. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов. -М.: Энергия, 1979. -164 с.
9. Ваганов В.И. Интегральные тензопреобразователи. -М.:Энергоатомиздат, 1983. -136 с.
10. Вьюлин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. -М.: Радио и связь, 1990. -263с.
11. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник -М.: Радио и связь, 1991. -528 с.
12. Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и Pspice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ: В 4 выпусках. -Вып.3. Моделирование аналоговых устройств. -М.:Радио и связь, 1992. -120 с.

УДК 621.395

РОЗРОБКА САМОКАЛІБРОВАНОЇ СИСТЕМИ ЦИФРОВОЇ РЕЄСТРАЦІЇ АНАЛОГОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

О.Д.Азаров, О.С.Скрипник, О.В. Шапошніков

Вінницький державний технічний університет

Актуальність

Точність перетворення АЦП і ЦАП визначається значеннями похибок перетворення, що є складовою частиною метрологічних характеристик. Нормування метрологічних характеристик перетворювачів інформації і інформаційно-вимірювальних систем виконується на підставі вимог, що подаються нормативно-технічними і керівними документами. При цьому найважливішою метрологічною характеристикою є основна похибка, що поділяється на систематичну і випадкову. Незалежно від конкретного вигляду пристрою або системи існує три види систематичних похибок: постійного зміщення (адитивна), масштабу (мультиплікативна), лінійності. Слід відзначити, що принципи корекції перших двох видів похибок розроблені повно і детально [1, 2].

Процедура зменшення похибок лінійності є більш складною [1]. Характер похибки лінійності D_L в значній мірі залежить від засобу перетворення аналогових величин в цифрові і цифрових величин в аналогові. Так, для інтегруючих АЦП нелінійність характеристики перетворення має монотонний характер [3]. Для ЦАП паралельної дії [1], а також АЦП, побудованих з використанням даних АЦП, нелінійність має немонотонний скачкоподібний характер.

В залежності від необхідної швидкодії і точності використовуються різноманітні підходи до побудови системних перетворювачів інформації (СП). Проблема досягнення високої точності аналого-цифрового перетворення з наведеною відносною похибкою не більш 0.05% [4] і роздільною здатністю не менше 12 розрядів успішно вирішується для АЦП інтегруючого типу. Однак недоліком таких приладів традиційно є низька частота відліків ($f_{вдл}$), як правило, вона не перевищує десятки і сотні герц. Для отримання більш високої швидкодії перетворення використовуються АЦП порозрядного врівноваження і паралельно-последовні АЦП. При цьому перші мають середню ($f_{вдл} = 10^1 - 10^2$ кГц), а другі – високу швидкоддю ($f_{вдл} = 10^1 - 10^3$ кГц). Зі збільшенням швидкодії виникає проблема збереження низького рівня похибок означених приладів.

На шляху досягнення високої точності за рахунок вдосконалення характеристик елементної бази стоять фундаментальні обмеження, зумовлені як можливостями технології виготовлення, так і властивостями матеріалів, що застосовуються. Притаманні перетворювачам інформації відхилення ваг розрядів від необхідних значень звичайно коригують шляхом лазерної підгонки резисторів ЦАП паралельної дії, що використовується в процесі виробництва.

Більш перспективним є підхід, що використовує корекцію загальної похибки або калібрування ваг окремих розрядів ЦАП і АЦП без фізичного впливу на елементи схеми.

Постановка задач розробки

Метою даної роботи є визначення підходів щодо розробки систем цифрової реєстрації аналогової інформації з можливостями самокалібрування та самокорекції. До можливостей самокалібрування і самокоригування відноситься визначення статичних похибок зміщення нуля (по входах і по виходах), масштабування, похибок вагових розрядів АЦП та їх компенсація при відновлюванні сигналів.

Розроблювана система за своїм призначенням може використовуватися при високоякісному цифровому звукозаписі і відновлюванні звуку, цифровому телебаченні і в інших галузях, де необхідно покращувати параметри аналогових сигналів за допомогою їх оцифрування і подальшого відновлювання в реальному часі. Тому найпріоритетнішим для цієї розробки є висока швидкість перетворення і його точність. Як уже було зазначено, на метрологічні характеристики системи в цілому значно впливають характеристики використовуваних у ній перетворювачів інформації, а саме, АЦП і ЦАП. Із зробленого огляду найперспективнішими вибрані перетворювачі на основі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ). Їх використання дає значні переваги щодо підвищення точності та надійності системи при незмінних характеристиках елементної бази. До того ж, це значно спрощує технологію виготовлення розробки і знижує її вартість.

Проектування систем цифрової реєстрації аналогової інформації

АЦП і ЦАП є невід'ємною частиною систем цифрової реєстрації (СЦР) аналогової інформації. Параметри цих приладів в сукупності з параметрами інших аналогових вузлів визначають метрологічні характеристики системи в цілому. В залежності від вимог до похибок перетворення аналог-код і код-аналог СЦР можна поділити на системи з низькими і високими вимогами до стабільності характеристик, а також системи реєстрації вимірювальної інформації. СЦР першого типу необхідні для роботи, коли умови зовнішнього середовища змінюються незначно, або коли наявність складових інструментальної похибки, зокрема, зміщення нуля $\Delta A_{см}$ і масштабу ΔM не грає особливої ролі. В СЦР з високими вимогами до стабільності характеристик у випадку зміни умов зовнішнього середовища періодично здійснюється самокалібрування і самокоригування похибок [5, 6]. Причому для виконання цих процедур не вимагається використання спеціальних зразкових мір.

В СЦР вимірювальних аналогових сигналів періодично здійснюється самокалібрування і самокоригування похибок лінійності і $\Delta A_{см}$, а також автокорекція ΔM . Сумарна наведена до входу похибка Δc в такій системі слабо залежить від зміни умов зовнішнього середовища.

Різноманітний рівень вимог щодо параметрів визначає набір приладів і вузлів в структурі системи, а також алгоритм її функціонування.

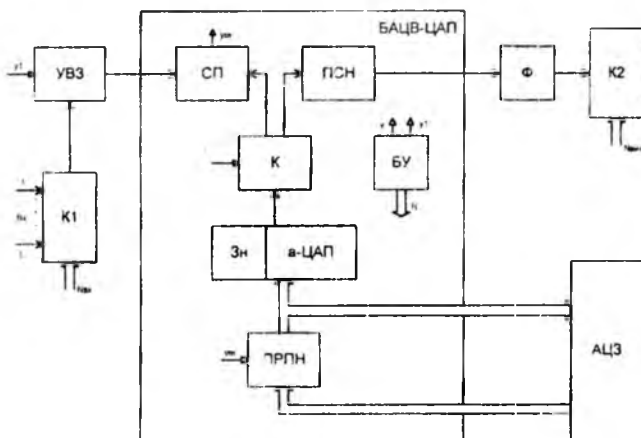


Рис.1. Структурна схема системи цифрової реєстрації аналогової інформації

Однак, незважаючи на відмінності, в структурах всіх систем можна виділити ядро СПІ – блок аналого-цифрового врівноваження і цифро-аналогового перетворення (БАЦВ-ЦАП), що має незмінний склад вузлів і приладів. Структурна схема системи цифрової реєстрації аналогової інформації зображена на рис.1. Тут К1 – комутатор (L положень) вхідних аналогових сигналів і прилад вибірки-зберігання ПВЗ утворюють дискретизатор. До входів К1 під'єднані виходи первинних перетворювачів, в тому числі вимірювальних перетворювачів. БАЦВ-ЦАП служить для квантування, а в сукупності із фільтром – і відновлення інформації. Перемикання каналів передачі відновлених сигналів здійснюється комутатором (на l положень) К2. Зберігання кодів дискретизованих аналогових сигналів відбувається в апараті цифрового запису (АЦЗ), наприклад, цифрового магнітного запису (АЦМЗ). В склад БАЦВ-ЦАП входять: схема порівняння (СП); ЦАП на основі НПСЧ (а-ЦАП); перетворювач струм-напруга (ПТН); комутатор (К); прискорений регістр послідовного наближення (ПРПН), що поряд з основною функцією, додатково виконує формування кодів форсуючих сигналів; блок управління (БУ) однорозрядних мікрокоманд (y , y_1) і кодів мікрокоманд $N_{вх}$ і $N_{вих}$, що забезпечують в сукупності взаємне

цьому на вхід пристрою послідовно подаються аналогові сигнали, значення яких близькі до ваг контрольованих розрядів.

З допомогою ЦАП_{КОР} виробляється спочатку врівноваження кожного i -го розряду, що входить в групу "неточних". Після цього

i -й розряд вимикається і врівноважується сумою ваг усіх молодших розрядів плюс додатково вага молодшого (нульового) розряду. Різниця кодів ЦАП_{КОР} першого і другого кодувань дасть код відхилення ваги i -го розряду. Аналогічно здійснюється визначення кодів відхилень інших розрядів, що фіксуються в пам'яті ЦОП.

В основному режимі на вхід АЦП подається перетворений сигнал $A_{вх}$, що врівноважується компенсуючим сигналом $A_k = A_{осн} + \Delta A_k$, де: $A_{осн}$ - сигнал з виходу ЦАП_{ОСН}, а ΔA_k - коригуюча поправка. Причому значення ΔA_k розраховується ЦОП на кожному такті, коли включаються неточні розряди. Час перетворення в режимі з корекцією визначається виразом:

$$T_{пр} = nt + mt_{кор},$$

де n - число тактів врівноваження; t - тривалість такту зрівноваження; m - число розрядів, що корегуються; $t_{кор}$ - час розрахунку коригуючої поправки.

Вдосконалення вказаних характеристик аналого-цифрового перетворення є суперечливою проблемою. В більшості випадків традиційно покращання одного показника, наприклад, точності, призводило до погіршення швидкодії. Зменшення кількості обладнання, спрощення пристрою погіршувало точність або швидкість і т.п. Введення в прилади, що розробляються, інформаційної надлишковості у вигляді НПСЧ дозволяє частково вирішувати проблеми комплексного вдосконалення водночас декількох

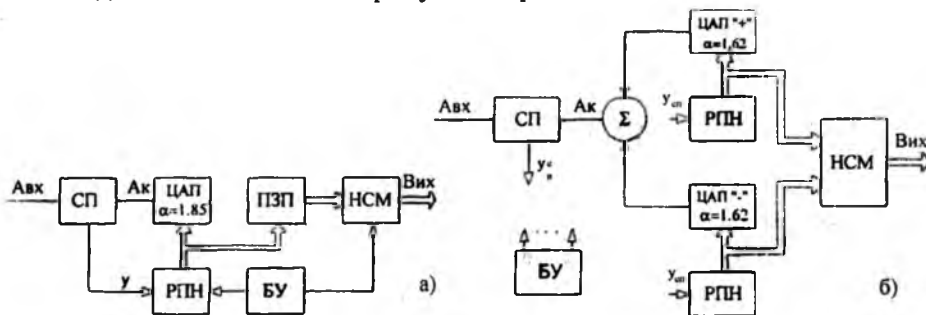


Рис. 5. Структурні схеми швидкодіючих АЦП на основі НПСЧ: а) програмно-

коригований АЦП; б) самокалібрований і самокоригований АЦП на основі НПСЧ (1, 1)

характеристик аналого-цифрового перетворення. Такий підхід дасть можливість при подовженні розрядної сітки приладу (це призводить до збільшення кількості тактів при порозрядному зрівноваженні), з одного боку, підвищувати точність АЦП середньої і високої швидкодії, що

реалізувалися на грубих аналогових вузлах, а з іншого боку, підвищувати швидкість високоточних АЦП, що використовують аналогову елементну базу середньої швидкодії.

В кінці 70-х і у 80-х роках для підвищення швидкодії при порозрядному аналого-цифровому перетворенні починають застосовуватися надлишкові позиційні системи числення. Структурна схема приладу, виготовленого по КМОП-технології, наведена на рис.5а.

Тут: СП - схема порівняння, РПН - регістр послідовного наближення, НСМ - накопичуючий суматор, БУ - блок управління. Особливістю є застосування надлишкового (по відношенню до двійкового) 17-разрядного ЦАП з відношенням ваг $a=1,85$. Це дозволило виконати автоматичну компенсацію динамічних похибок, що виникають в процесі врівноваження, і досягнути часу перетворення 40 мкс. Діапазон перетворення ICL7115 на 18% ширший, ніж у двійкового при значно меншій точності виготовлення резисторів ЦАП. Відхилення ваг розрядів від ідеальних значень визначаються після виготовлення кристалу і штучного його старіння, після цього у вигляді двійкових еквівалентів заносяться в ПЗП. Вихідний 14-разрядний двійковий код $K_{вих}$ по ходу врівноваження послідовно формується в НСМ.

Цифровий еквівалент $K_{вих}$ відображає компенсуючу величину A_k , значення якої пропорційне

$$K_{вих} = \sum_0^{16} a_i K_i, \text{ де } a_i = \{0,1\} - \text{двійковий коефіцієнт } i\text{-го розряду надлишкового ЦАП; } K_i - \text{цифровий}$$

двійковий еквівалент реальної ваги i -го розряду. Однак в цьому випадку вираш, що досягається по швидкодії, невисокий (біля двох разів) внаслідок низького рівня введеної надлишковості. Крім того, програмна корекція статичних похибок є неефективною при зміні умов зовнішнього середовища.

Структурна схема швидкодіючого самокаліброваного і самокоригованого АЦП на основі знакорозрядної НПСЧ приведена на рис. 5б, містить два цифроаналогових перетворювача: додатний (ЦАП "+") і від'ємний (ЦАП "-"); регістри послідовного наближення (РПН), суматор аналогових сигналів (Σ); цифровий обчислювальний пристрій (ЦОП), блок пам'яті (БП), схему порівняння (СП) і блок управління (БУ). АЦП працює в двох режимах: самокалібрування і основного перетворення. В процесі самокалібрування визначаються коди реальних ваг розрядів ЦАП "+", і ЦАП "-" і $\Delta A_{зм}$, які фіксуються в БП. В режимі основного перетворення прискорене аналого-цифрове зрівноваження здійснюється за рахунок

автокомпенсації динамічних похибок. При цьому мінімально припустима тривалість такту перетворення визначається рівнем надлишковості, що використовується в НПСЧ. В розроблених приладах відношення ваг розрядів НПСЧ $a=1,62$ (золота пропорція), що дозволяє підвищити швидкість у порівнянні з двійковим АЦП в 5-8 разів.

Розробка самокаліброваної системи цифрової реєстрації аналогових сигналів

При роботі системи, коли змінюються умови зовнішнього середовища, необхідно застосовувати засоби для коригування похибок, що виникають при цьому.

Так, використання блока АЦП-ЦАП на основі НПСЧ дасть можливість коригувати статичні похибки не тільки внутрішніх аналогових вузлів, що входять в цей блок, але і "зовнішніх". Здійснюється це з допомогою спеціалізованого обчислювального влаштування (СОЦП). Структурна схема системи цифрової реєстрації аналогової інформації з підвищеною стабільністю метрологічних характеристик наведена на рис.6. Тут ПВЗ використовується не тільки для

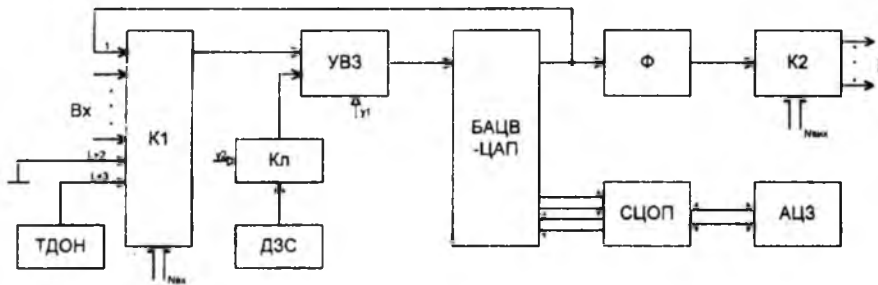


Рис. 6. Структурна схема системи цифрової реєстрації аналогової інформації з підвищеною стабільністю метрологічних характеристик

з б е р і г а н н я дискретизованих рівнів $A_{вх}(t)$, але і формування допоміжних аналогових сигналів A_i . Ці сигнали змінюються в ході процедури самокалібрування для визначення кодів реальних значень ваг розрядів а-ЦАП. Для формування A_i ПВЗ перемикається в режим зберігання, після чого на другий його вхід (вхід інтегратора) через ключ K_1 під'єднується вихід джерела зарядного струму (ДЗС). При цьому час заряду $t_{зар}$ задається таким, щоб значення напруги на виході інтегратора $U_{інт}$ приблизно відповідало вазі розряду, який калібрується. Значення $u_2=0$ відповідає при цьому від'єднанню ДЗС від інтегратора, а $u_2=1$ – під'єднанню. Формування рівня $U_{інт,i}$ здійснюється автоматично шляхом аналого-цифрового врівноваження ваги Q_{n-1-i} будь-якого "неточного" (нестабільного) розряду ЦАП (струму $(n-1-i)$ -го розряду струмового а-ЦАП), що компенсують сигналом з виходу ПВЗ. В системі також здійснюється визначення кодів зміщення нуля по входу K ($\Delta A_{см}$) і по виходу K ($\Delta A^*_{см}$). Всі вищезазначені операції входять в процедуру цифрового самокалібрування. Введений термін "самокалібрування" підкреслює, що при визначенні кодів ваг розрядів а-ЦАП не вимагається використання спеціальних зразкових сигналів. Вимоги щодо точності формування A_i є невисокими.

Наведена структура може бути використана і при побудові систем цифрової реєстрації вимірювальної інформації. В цьому випадку, окрім самокалібрування, визначається реальне значення масштабного коефіцієнта M^* . Для цього в склад системи вводиться прецизійне термостатичне джерело опорної напруги (ТДОН) або струму (ТДОС). При використанні ТДОН значення опорної напруги $U_{оп}$ вимірюється з високою точністю і код $K(U_{оп})$ заноситься в пам'ять СЦОП. При цьому абсолютне значення відхилення масштабу DM визначається після самокалібрування. Для цього здійснюється перетворення аналог-код $U_{оп}$, що подається на $(L+3)$ -й вхід $K1$. Отриманий результат застосовується для обчислення реального значення масштабного коефіцієнта по формулі $M^* = (U_{оп} - DU_{оп}) / U_{оп}$, де $DU_{оп}$ - різниця між точним значенням $U_{оп}$ і отриманим в результаті перетворення аналог-код. Код $K(M^*)$ також фіксується в пам'яті СЦОП і використовується для уточнення результатів самокалібрування.

За приведеною структурною схемою нами було розроблено принципову схему мікропроцесорної системи цифрової реєстрації аналогової інформації і програмне забезпечення до неї.

Висновки

В даній роботі було проаналізовано основні принципи реалізації систем цифрової реєстрації аналогової інформації та методи організації самокалібрування похибок перетворення, наведено варіанти функціональних схем розроблених систем.

Реалізований варіант розробленої нами системи на базі мікроконтролера 80C51 (Philips) дозволив виконувати цифрову реєстрацію аналогових сигналів з 10 каналів, самокалібрування цифро-аналогового перетворювача та самокоригування похибок перетворення.

Література

1. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи/Под ред. В.Б. Смолова и Н.А. Смирнова - Л: Энергия, 1987. -312 с.
2. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. - К.:Техника, 1991. -191 с.
3. Алиев Т.М., Сейдель Т.Р. Автоматическая коррекция погрешностей цифровых измерительных приборов. -М.: Энергия, 1985. - 216 с.
4. Analog Devices. WorldWide headqurters. -USA, Norwood, 1993. -160p.
5. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. Аналого-цифровые преобразователи на основе избыточных систем счисления. - М.:Знание, 1989. -64с.
6. А.с. 1790030 СССР. Н ОЗ М 1/66. Цифроаналоговый преобразователь/А.Д. Азаров, Е.А. Коваленко, В.Я. Стейскал.
7. Грушвицкий Р.И. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. -160с
8. Сентурия С., Уэдлок Б. Электронные схемы и их применение. - М.: Мир, 1987, -434 с.

УДК 621.317.083.92

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИЧНИХ ПОХИБОК АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧНОЇ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ

М.Є.Фриз

Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя

Використання аналого-цифрового перетворювача (АЦП) в інформаційно-вимірювальній системі призводить до появи похибок результатів вимірювань, обумовлених в основному дискретизацією вхідного сигналу по часу та квантуванням його по рівню [1], причому джерелами цих похибок є як метод перетворення вхідного сигналу (дискретизація та квантування), так і неідеальність елементів технічної реалізації АЦП (джерело інструментальних похибок). Для експериментального визначення інструментальних похибок АЦП використовуються різні методи, починаючи від найпростіших, в яких наявність квантування досліджуваного сигналу по рівню не береться до уваги (тобто АЦП розглядається як лінійний перетворювач), та закінчуючи досить складними, що вимагають застосування автоматизованих засобів повірки та враховують нелінійність АЦП в повній мірі (порівняльний аналіз основних методів експериментального визначення метрологічних характеристик АЦП здійснено, наприклад, в [1]).

Варто, однак, виходити з того, що призначенням АЦП (нелінійного перетворювача) є лінійне перетворення вхідних сигналів, тому при досить великій кількості рівнів квантування його можна моделювати як перетворювач з лінеаризованою залежністю між входом та виходом, застосовуючи при цьому різні методи лінеаризації для різних класів вхідних сигналів.

Для аналізу точності аналого-цифрового перетворення випадкових процесів в [2] запропоновано використовувати метод статистичної лінеаризації Б.Г.Доступова та І.С.Казакова. На його основі в [2] розроблено методику метрологічного контролю АЦП в розумній перевірці його основних метрологічних характеристик (коефіцієнтів перетворення, зміщення нульового рівня) на предмет належності їх до певних допустимих діапазонів значень.

Однак в [2] не розглядаються та не враховуються методичні похибки експериментального визначення метрологічних характеристик АЦП із застосуванням статистичної лінеаризації. Тому в даній роботі, використовуючи метод статистичної лінеаризації, ми з'ясуємо властивості методичної похибки квантування випадкового процесу. Знання цих властивостей має важливе значення як для розуміння особливостей квантування випадкових процесів взагалі, так і, зокрема, для підвищення точності проведення метрологічного контролю АЦП за методикою [2].

Будемо вважати, що для АЦП, характеристики якого досліджуються, задана одновимірна щільність розподілу $p_\eta(x)$ стаціонарного вхідного процесу $\{\eta(t), t \in [0, \infty)\}$ та динамічна характеристика АЦП у вигляді:

$$G(x) = \begin{cases} q \sum_{n=N_1}^{N_2} nI(x, n), & x \in [x_1, x_2], \\ G(x_1), & x \in (-\infty, x_1), \\ G(x_2), & x \in (x_2, +\infty). \end{cases} \quad (1)$$