

Тенденції розвитку високоточних аналого-цифрових систем опрацювання низькочастотних сигналів

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасний стан та тенденції розвитку високоточних аналого-цифрових систем опрацювання низькочастотних сигналів. Наведено базові структурні рішення багатоканальних вимірювальних і моніторингових систем різних сфер застосування. Запропоновано комплексний підхід до розробки високоточних систем, ґрунтований на принципах самокалібрування й самокорекції не тільки АЦП-ЦАП, а й вимірювальних каналів у цілому.

Ключові слова: аналого-цифрова система; моніторинг сигналів; обробка сигналів; самокалібрування.

Abstract

The current state and trends in the development of high-precision analog-digital systems for processing low-frequency signals are considered. Basic structural solutions of multichannel measuring and monitoring systems of different fields of application are given. A comprehensive approach to the development of high-precision systems based on the principles of self-calibration and self-correction not only of the ADC-DAC, but also of measuring channels in general is proposed.

Keywords: analog-digital system; signal monitoring; signal processing; self-calibration.

До АЦ-систем вимірювання та обробки низькочастотних сигналів, які є предметом дослідження, можуть бути віднесені:

- моніторингові інформаційно-реєстраційні системи з цифровим записом з оперативною чи подальшою обробкою накопичених низькочастотних сигналів;
- вимірювальні системи з активним впливом на об'єкти вимірювання з фіксацією сигналів відповіді;
- системи вимірювання та обладнання та медичної діагностики;
- активні й пасивні системи акустичної локації й ідентифікації джерел сигналів на контрольованій місцевості.

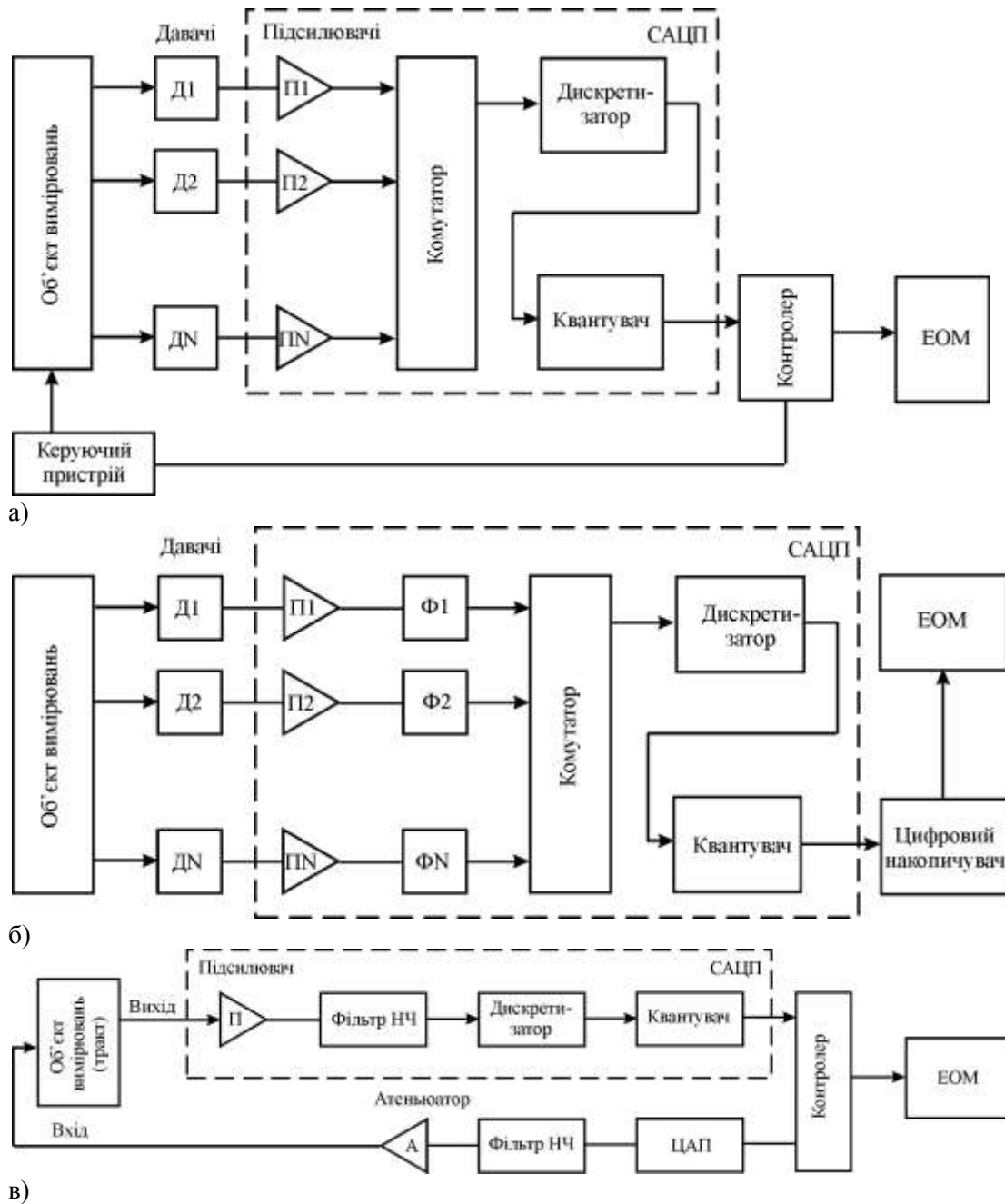
Структурні схеми цих АЦ-систем показані на рис. 1. Вимірювальна частина всіх цих систем включає: об'єкт вимірювань, давачі фізичних величин, нормуючі підсилювачі, фільтри низької частоти (ФНЧ), аналогові комутатори (АК), АЦП та ЦАП, контролери керування та інтерфейси передавання даних на зовнішню електронно-обчислювальну машину (ЕОМ).

Наведені АЦ-системи, в першу, чергу поєднують спільні вимоги до точності та діапазону частот використовуваних АЦП. Як правило, вимоги до точності відповідають (16-24) бітам вихідного двійкового коду в частотному спектрі вхідного сигналу від 0 Гц до 100 кГц. Отже, необхідно забезпечити високоточне перетворення й опрацювання постійних і низькочастотних сигналів, які перекривають спектр інфразвукових, звукових та надзвукових частот. Розробка АЦП та вимірювальних АЦ-систем на їх основі з такими характеристиками є одним із пріоритетних напрямів досліджень у нашій країні та за кордоном [1-6]. Значна частина таких АЦ-систем створюється на базі АЦП і ЦАП, що самокалібруються та самокоригуються (САЦП, СЦАП).

Розглянуті АЦ-системи також включають комп'ютер, який контролює вимірювання, обробку та відображення інформації. Тому, згідно загальній ідеології сучасних комп'ютерних систем, АЦП та ЦАП разом із високими метрологічними властивостями повинні виконувати й системні функції [1]:

- сумісність з цифровим обладнанням для обробки інформації;
- вбудований контроль працездатності та автоматичне калібрування метрологічних параметрів;

- можливість попередньої обробки інформації;
- структурна та конструктивна єдність аналогової та цифрової частин;
- технологічна елементна база - великі та надвеликі інтегральні схеми (ІС).



- а) багатоканальна вимірювально-інформаційна система;
- б) моніторингова система збирання і опрацювання даних;
- в) вимірювальна система з активним впливом на об'єкт вимірювання.

Рисунок 1 – Базові структури АЦ-систем для опрацювання низькочастотних сигналів

Досягнення в галузі сучасних високоточних АЦП і ЦАП пов'язані як з новими технологічними можливостями в мікроелектроніці, так і з широким використанням нових структурних і схемних рішень. Серед технологічних досягнень: вдосконалення технології лінійних аналогових ІС, розробка нанотехнологій КМОН-ВІС, БІКМОН-технологій, збільшення можливостей гібридних модульних технологій.

Однак структурні рішення продовжують відігравати вирішальну роль у розробці високоточних АЦ-систем. Водночас здійснюються розробки нових методів та алгоритмів корегування, автокалібрування та попередньої обробки інформації.

Нові технології дають можливість реалізувати більшість типів системних перетворювачів та їх компонентів у вигляді інтегральних схем з різним ступенем інтеграції. Незважаючи на високі технічні властивості ІС закордонних АЦП, питання їх використання в вимірювальних системах все ще актуальні, зокрема, через необхідність додаткових вхідних і вихідних пристроїв.

Так, одні з найпоширеніших АЦП послідовного наближення містять вбудовані підсилювачі вибірки-зберігання для фіксації рівня сигналів на час перетворення. При роботі в складі систем вимірювання додатково необхідні також нормуючі підсилювачі, фільтри низької частоти, комутатори. Для роботи з дельта-сигма-перетворювачами не потрібні складні аналогові фільтри, оскільки відбувається надлишкова дискретизація з наступною фільтрацією й децимацією вихідного сигналу. Однак такі АЦП не можуть працювати в системах з комутацією вхідних сигналів, а фазові характеристики цифрового фільтра можуть суттєво змінювати форму імпульсних сигналів.

На точність також суттєво впливають такі фактори, як тип і реалізація інтерфейсу даних, гальванічна розв'язка, джерело живлення та електромагнітна сумісність. Без повного врахування цих та інших факторів АЦ-системи, розроблені навіть на основі сучасних ІС прецизійних перетворювачів, матимуть метрологічні властивості, які на порядок нижче потенційних. Насправді мікросхеми АЦ не можна розглядати як готову продукцію, а слід розглядати як основу для побудови конкретних пристроїв, пристроїв та систем перетворення інформації.

Як уже зазначалося, майже всі сучасні високоточні перетворювачі містять елементи самокалібрування та коригування. Враховуючи вищевикладене, перспективний напрямок їх розвитку слід розглядати як розширення принципів адаптації до інших аналогових пристроїв АЦ-систем, що беруть участь у перетворенні сигналів. Ефективність цього напряму підтверджується тим фактом, що реалізації АЦП і ЦАП на основі вітчизняних елементів при використанні принципів самокоригування, не поступаються за своїми характеристиками кращим закордонним зразкам [2]. Це стосується й розглянутих самокаліброваних АЦП для систем точного вимірювання та обробки низькочастотних сигналів.

Дамо визначення АЦП та ЦАП, що самокалібруються (САЦП, СЦАП). Це перетворювачі, високі метрологічні властивості яких досягаються за допомогою автоматичного цифрового виправлення помилок в аналогових пристроях. Структурні рішення таких АЦП і ЦАП відрізняються наявністю зворотного зв'язку, який використовується для визначення реальних параметрів аналогових пристроїв у спеціальному режимі, званому самокалібруванням (автокалібрування, самокоригування, самотестування). Результати перетворення коригуються під контролем спеціального обчислювального та контрольного блоку САЦП і СЦАП - контролера. Характерною особливістю є також наявність певної апаратної, часової або кодової надлишковості.

Перевагою САЦП є можливість забезпечення високих технічних параметрів при знижених вимогах до елементної бази й технології виготовлення. Специфіка аналогових пристроїв перетворювачів полягає в можливості корегування ряду їхніх похибок, що спрощують ці прилади. Так, можливість корегувати статистичні похибки дозволяє застосовувати схемотехнічні рішення, що забезпечують більш високу швидкість. Наявність вбудованого обчислювально-керуючого блоку дозволяє не тільки виконувати самокалібрування, але й здійснювати попередню обробку інформації, що значно розширює функціональні можливості.

З іншого боку, високий рівень точності, досягнутий за допомогою самокалібрування, може забезпечуватися лише при низькому рівні невикорисованих помилок та з урахуванням особливостей системного застосування САЦП. А це вимагає такого підходу до проектування, при якому, крім конструктивних рішень, для підтримки високої точності та швидкості поєднуються спеціальні схеми та методи проектування. Тому САЦП та їх аналогові пристрої мають низку функцій, що дозволяють виділити їх в самостійну сферу досліджень.

Розглянемо завдання, пов'язані з проектуванням АЦП на системному рівні. Оцінка ефективності АЦ-систем та АЦП, що використовуються в них, є основою для прийняття проектних рішень. На сьогодні, однак, не запропоновано жодних індивідуальних критеріїв ефективності та відповідних оптимальних алгоритмів проектування. Існуючі узагальнені критерії ефективності АЦП [3,5] в координатах "точність", "швидкість", "вартість" не повністю відображають специфіку використання АЦП в конкретних системах. Тому, при практичному проектуванні АЦ-систем, іноді існує

спрощений підхід до визначення характеристик АЦП через розрядність і частоту дискретизації. Таким чином, не враховується весь набір їхніх метрологічних властивостей, а точність і швидкість оцінюються лише кількістю біт і часом перетворення. Однак, слід аналізувати всю сукупність метрологічних характеристик АЦП, які стосуються як конкретної галузі застосування, так і принципу роботи самих перетворювачів. Завдання врахування критеріїв ефективності та метрологічних особливостей при розробці високоточного АЦП є особливо актуальним.

Як вже відзначалося, АЦП у складі АЦ-систем застосовуються не самостійно, а в комплексі з іншими аналоговими пристроями (підсилювачами, комутаторами, фільтрами, дискретизаторами тощо.). Підхід, при якому ці пристрої розглядаються й розробляються незалежно один від одного, не можна вважати правильним. З іншого боку, у АЦП, що самокалібруються, є можливість включення в контур корегування не тільки власне перетворювача аналог-код, але й вхідних пристроїв. Тому АЦП розглядається не як одиночний квантувач аналогової величини, а як сукупність вхідного пристрою, дискретизатора й квантувача з відповідними взаємозв'язками між ними.

Моделювання процесів обробки та перетворення інформації в АЦП має багаторівневий характер - від структурно-функціонального до схеми технічного й конструктивного. Однак, при моделюванні часто не враховуються співвідношення на рівні метрологічних характеристик, що мають найбільше значення для оцінки системної ефективності АЦП. Тому важливо створити моделі, які пов'язують метрологічні властивості АЦП та їх пристроїв із критеріями ефективності розробленої АЦ-системи.

Беручи до уваги особливі особливості систем для вимірювання та обробки низькочастотних сигналів, робимо висновок, що для їх побудови повинна бути забезпечена точністю як самих АЦП, так і інших аналогових пристроїв. Аналіз сучасних закордонних прецизійних АЦП показує, що їх властивості значною мірою досягаються структурними методами. Для досягнення високих метрологічних властивостей АЦ-систем необхідно враховувати та виправляти похибки всіх компонентів, що належать до вимірювальних каналів.

Під час проектування АЦ-систем для обробки низькочастотних сигналів виникають питання оцінки ефективності, досягнення ряду метрологічних параметрів, математичного моделювання та проектування схем АЦ-систем в цілому та їх окремих аналогових пристроїв. Поява сучасних закордонних мікросхем високоточних АЦП та ЦАП не тільки не зменшує актуальність вищезазначених проблем, а навпаки, збільшує їх значення для повноцінного професійного використання нових можливостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Крупельницький Л.В., Азаров О.Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів: Монографія / Під заг. ред. О.Д. Азарова. - УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. - 167 с.
2. AD systems for processing of low frequency signals based on self calibrate ADC and DAC with weight redundancy / Azarov O. D., Krupelnitskyi L. V., Vinnytsa National Technical University (Ukraine); Komada P., Ławicki, T., Lublin University of Technology (Poland); Askarova N., Sagymbekova A., Kazakh National Research Technical University (Kazakhstan) // Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – Volume R. 93.– № 5. – P. 125-128.
3. A to D and D to A Converter ICs [Електронний ресурс] /Edited by Laroy Davis. – 2010. – Режим доступу: http://www.interfacebus.com/Analog_DAC.html.
4. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів: Навчальний посібник / В.Г. Абакумов, З.Ю. Готра, С.М. Злепко, С.В. Павлов та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 352 с.
5. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом Додэка-XXI, 2005, 528 с.
6. Stakhov A.P. The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science / International Publisher «World Scientific» (New Jersey, London, Singapore, Beijing, Shanghai, Hong Kong, Taipei, Chennai), 2009. - 748 p.

Крупельницький Леонід Віталійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, krupost@gmail.com.

Krupelnitskyi, Leonid V. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Computer Techniques Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, krupost@gmail.com.