

БАГАТОКАНАЛЬНА ШВИДКОДІЮЧА СИСТЕМА АЦП-ЦАП НА БАЗІ ВИСОКОЛІНІЙНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СТРУМ- СТРУМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто метод структурно-функціональної організації багатоканальних швидкодіючих аналого-цифрових і цифро-аналогових систем на базі високолінійних перетворювачів струм-струм. Обґрунтована актуальність і практична доцільність застосування високолінійних перетворювачів струм-струм для отримання низької похибки лінійності та високої швидкодії.

Ключові слова: система, багатоканальний, швидкодіючий, високолінійний, перетворювач струм-струм, двотактний підсилювач постійного струму.

Abstract

The method of structural-functional organization of multichannel high-speed analog-digital and digital-analog systems on the basis of high-line current-to-current converters is considered. The relevance and practical feasibility of using high-line current-to-current converters to obtain low linearity error and high speed are substantiated.

Keywords: system, multichannel, high-speed, high-line, current-to-current converter, push-pull amplifier.

Вступ

У теперішній час перетворювачі форми інформації (ПФІ) є невід'ємною складовою сучасних електронних систем [1-4]. На особливу увагу заслуговують багатоканальні швидкодіючі системи, які, у більшості випадків, будуються на основі групового використання і кожному каналі аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів (АЦП і ЦАП) на кожен канал, що забезпечує максимальну швидкодію зі збереженням високої точності перетворення [5].

Водночас, використання групи декількох АЦП чи ЦАП у вищезгаданих системах створює ряд проблемних особливостей. По-перше, кожен із них має свої індивідуальні статичні похибки і в разі потреби їх калібрування, система, що його реалізує ускладнюється. По-друге, не зважаючи на можливість забезпечення високої швидкодії групою перетворювачів, це збільшує споживану потужність і вимагає додаткового, як аналогового, так і цифрового обладнання. По-третє, надійність таких систем знижується, через наявність великої кількості вузлів [2, 3, 6, 7].

Альтернативою такого підходу є застосування одного високолінійного швидкодіючого АЦП чи ЦАП, проте, це вимагає збільшення його швидкодії порівняно зі швидкістю будь-якого із групових АЦП чи ЦАП, а також забезпечення високої швидкодії багатоканального комутаторів вхідного й вихідного сигналу. Перспективним шляхом щодо виконання вказаних вимог є струмовий принцип у побудові згаданих пристроїв. Так, АЦП повинен бути виконаний за принципом перетворювача струм-код (ПСК), ЦАП — по принципу перетворювача код-струм (ПКС), вхідний нормуючий підсилювач (НП) та вихідний буфер (ВБ) — на основі перетворювача струм-струм (ПСС), а багатоканальний комутатор струмів (БКС) — на базі швидкодіючих діодних ключів.

Результат дослідження

Запропоновано структурно-функціональну схему аналого-цифрової і цифро-аналогової систем, які зображено на рисунках 1 і 2, відповідно.

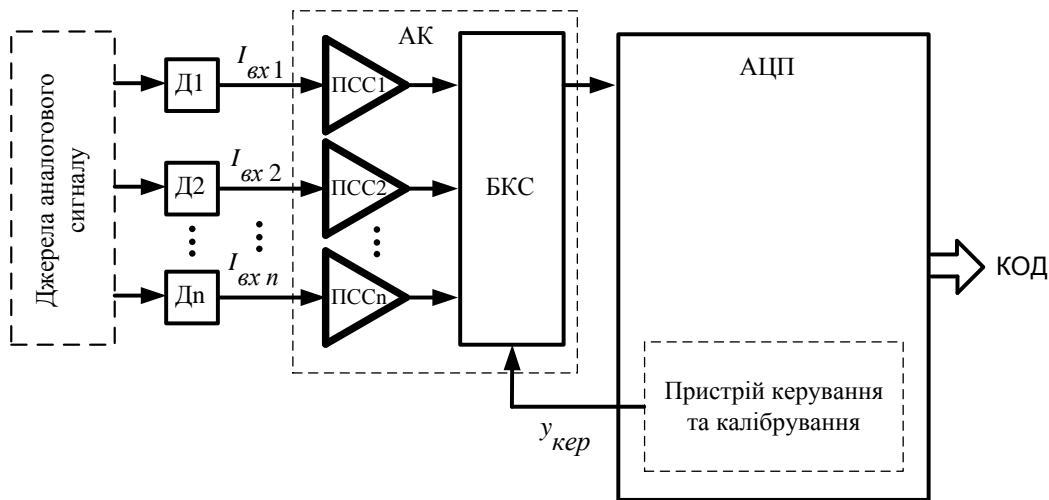


Рисунок 1 — Структурно-функціональна схема аналого-цифрової системи

Схема аналого-цифрової системи приймає на аналогові входи сигнал у вигляді струмів $I_{вх1}, I_{вх2}, \dots, I_{вхn}$, що надходять з давачів сигналу D_1, D_2, \dots, D_n . У випадку сигналів малої потужності необхідна постановка буферних каскадів, якщо ж сигнал у вигляді напруги — постановка перетворювачів напруга-струм, що забезпечить струмовий принцип роботи, який має переваги над принципом перетворення напруг. Детальний опис такого роду пристроїв описано в [2].

Система містить блок аналогового комутатора (АК), який складається з n ПСС та БКС, високолінійного швидкісного АЦП, що містить пристрій керування і калібрування та забезпечує режим роботи АК, а також формує вихідний цифровий код.

Запропонована система може працювати у двох режимах. Перший режим — калібрування — визначення похибок зсуву нуля пристроїв каналу перетворення. Для цього на входи, в обхід давачів сигналу, подається $I_{вх1}, I_{вх2}, \dots, I_{вхn} = 0$. Далі, по чергово здійснюється комутація кожного з n каналів і визначення кодового еквіваленту похибки, що записується в пам'ять системи у вигляді таблиці поправок, та враховується в режимі основного перетворення. На цьому перший режим завершено і система готова до виконання основної функції.

Другий режим — основне перетворення. За командою пристрою керування вибирається n -й номер потрібного каналу, який підключається на вхід високолінійного швидкодіючого багаторозрядного АЦП, де й відбувається основне перетворення аналог-код. Процес повторюється для кожного з каналів багатоканальної системи.

Схема цифро-аналогової системи приймає на вхідну шину цифровий код. Вона також працює у двох режимах. Перший режим — калібрування — визначення похибок зсуву нуля пристроїв каналу перетворення. Для цього на вхід подається нульовий код та по чергово здійснюється комутація кожного з k каналів, що дозволяє визначити значення струму зсуву нуля на кожному з виходів $I_{вих1}, I_{вих2}, \dots, I_{вихk}$. Для системи ЦАП визначаються кодові еквіваленти зсувів нуля із врахуванням похибок лінійності тракту перетворення так, щоб $I_{вих1}, I_{вих2}, \dots, I_{вихk} = 0$. Кодові поправки кожного з

каналів враховуються в режимі основного перетворення. На цьому перший режим завершено і система готова до виконання основної функції.

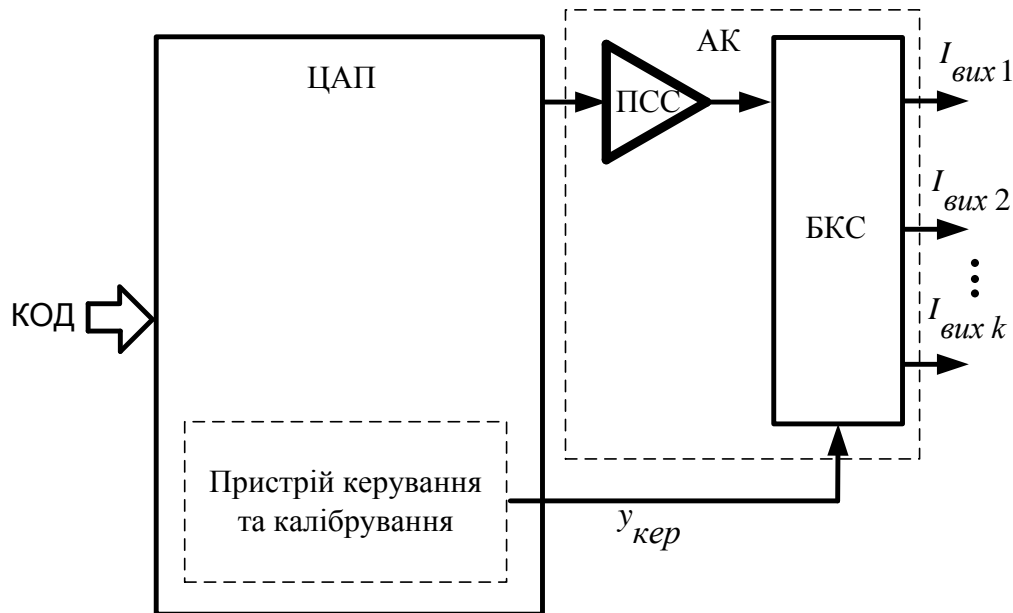


Рисунок 2 — Структурно-функціональна схема цифро-аналогової системи

Другий режим — основне перетворення. За командою пристрою керування вибирається потрібний канал, а на входи внутрішнього суматора високолінійного швидкодіючого ЦАП подається перетворений код з вхідної шини і код поправки зсуву нуля, який отримано в режимі калібрування. З виходу ЦАП сумарний код надходить на вхід ПСС і перетворюється у відповідну аналогову величину — струм, який, залежно від обраного каналу пристроєм керування, подається на необхідний вихід $I_{вих1}, I_{вих2}, \dots, I_{вихk}$.

До ПСС висуваються такі вимоги, як: високі лінійність, швидкодія та значний вихідний опір, а також широка смуга пропускання. Це обумовлено специфікою роботи струмових ключових елементів. На рисунку 3 наведено структурну схему АК, що містить ПСС і БКС. Причому ПСС доцільно реалізовувати у вигляді високолінійного двотактного підсилювача постійного струму (ДППС), наприклад [8].

Для забезпечення високого вихідного опору $R_{вих}$ у ДППС використано від'ємний зворотний зв'язок із способом знімання за струмом. У процесі функціонування вхідний струм $I_{вх}$ подається на вхідний двотактний каскад (ВДК) на виходах якого маємо розгалужені складові I' і I'' , які у свою чергу подаються на блок балансування і підсилення струмів (БПС), де вони підсилюються і додатково розгалужуються на парафазні складові KI' , KI'' , відповідно. Ці складові надходять на входи відбивачів струму (ВС) ВС2 і ВС3. Причому перші виходи ВС2 і ВС3 із сигналами $I'_{вих}$ і $I''_{вих}$ об'єднуються через діоди Д1 і Д2 у сигнал $I_{вих}$, що подається на вихідну шину схеми. Водночас другі виходи ВС2 і ВС3 із сигналами I'_1 і I''_1 підключено до входів відбивачів ВС1 і ВС4, виходи яких також об'єднуються та утворюють шину зворотного зв'язку (ЗЗ) із сигналом $I_{ЗЗ}$.

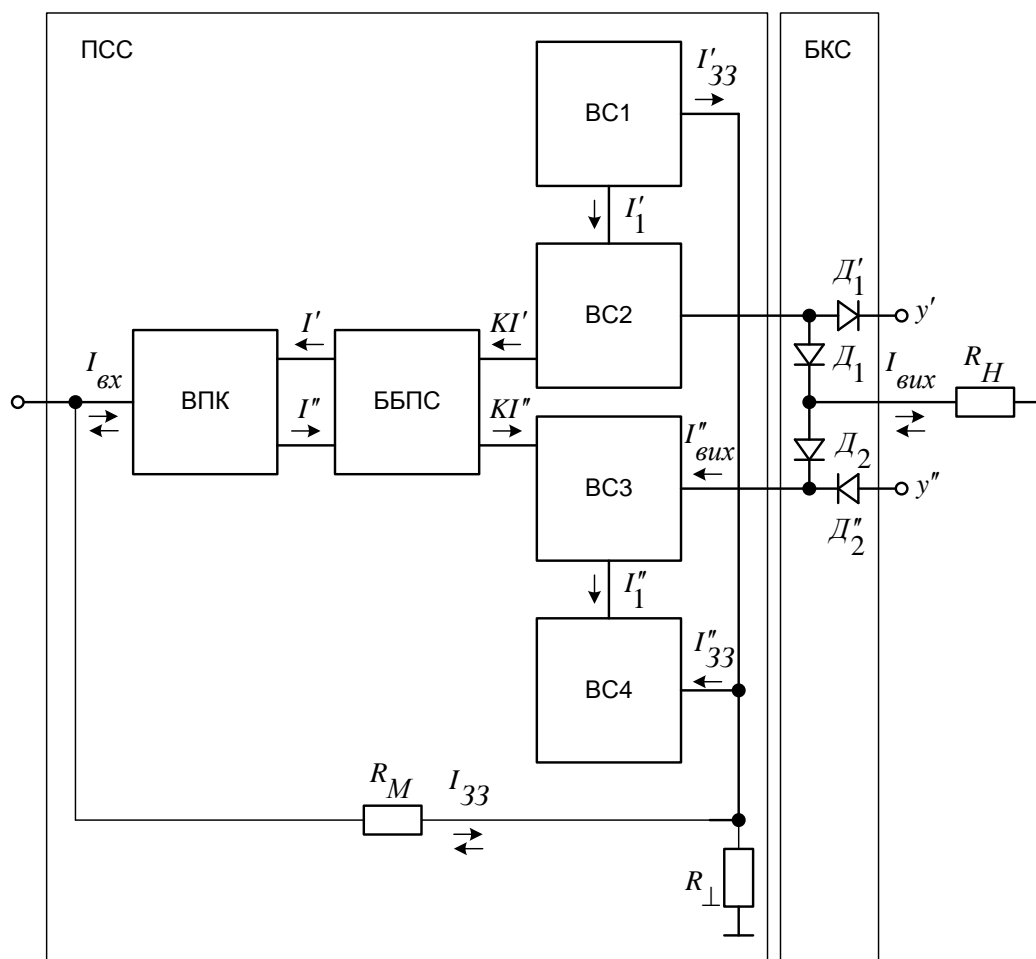


Рисунок 3 — Структурна схема АК на базі ППС і БКС

Вихід ПСС підключено до блоку комутації струмів, який побудовано на діодних ключах (ДК) D_1, D'_1, D_2, D'_2 , верхнього і нижнього каналів відповідно. При реалізації інтегральних схем доцільним є використання транзисторних структур у діодному вмиканні [9].

Відповідно, як показано на рисунку 3, керування ДК здійснюється цифровими сигналами y', y'' відповідно. Слід зазначити що для забезпечення функціонування ДК потрібно, щоб значення їх робочих струмів були би дещо більше, ніж $I'_{вих}$. Якщо рівні робочих струмів будуть на рівні одиниць міліампер, то опори ДК — десятки Омів

Водночас, необхідно враховувати фундаментальні обмеження точності припасування пар ДК, які можна врахувати у вигляді поправок, занесених у вигляді кодів самокалібрування та самокоригування в системи ПКС і ПСК. Доцільно також враховувати похибку зсуву нуля, що виникає на вході ПСС.

Варто також зазначити, що застосування принципу підсилення струмів дозволяє досягати максимальної швидкодії комутатора, що визначається граничними частотами підсилення біполярних транзисторів. Так ширина смуги одиничного підсилення ДППС при $R_H = 100 \text{ Ом}$ досягає $\sim 1.6 \text{ ГГц}$.

Враховувати необхідно також і різновид та тип джерела вхідного сигналу і навантаження ППС і ДК. Для збереження високої швидкодії і мінімальних похибок лінійності бажано, щоб вихідні опори джерел сигналу були високими, а вхідні опори навантаження були б низькими. Цього легко досягти шляхом застосування перетворювачів напруга-струм, буферних каскадів та перетворювачів струм-напруга, побудованих на ДППС [2, 4].

Висновки

1. Запропоновано метод структурно-функціональної організації багатоканальних швидкодіючих аналого-цифрових і цифро-аналогових систем, у яких, на відміну від відомих, використовується лише один перетворювач код-струм із застосуванням одного перетворювача струм-струм. Це дозволяє при заданій точності зекономити на аналоговому обладнанні системи.

2. Проаналізовано запропонований принцип побудови перетворювача струм-струм у вигляді високолінійного двотактного підсилювача постійного струму. Показано, що цей пристрій має високий вихідний опір і широку смугу пропускання.

3. Запропоновано і проаналізовано схему швидкодіючого багатоканального комутатора струмів на базі високолінійного перетворювача струм-струм, що дозволяє реалізовувати багатоканальний режим аналого-цифрових і цифро-аналогових систем всього з одним комутатором.

4. Запропоновано перетворення інформації виконувати з сигналами у вигляді струму, що має переваги по швидкодії і точності над перетворенням сигналів у вигляді напруги, а комутуючі кола реалізувати на основі діодних ключів, оскільки струм витікання, а водночас, і похибка лінійності, для діодів, є найменшою із всіх можливих.

5. Надано практичні рекомендації й умови практичного застосування розглянутих багатоканальних швидкодіючих аналого-цифрових та цифро-аналогових системи на базі високолінійних перетворювачів струм-струм для різного типу вхідних і вихідних пристроїв, що виконують роль генераторів вхідного сигналу та навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Азаров О. Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення : монографія / Азаров О.Д. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 257 с.
2. Азаров О. Д. Основи теорії високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних підсилювальних схем : монографія / О.Д. Азаров, С.В. Богомолів. - УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2013.-142 с.
3. Крупельницький Л. В. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 167 с.
4. Азаров О.Д. Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокалібруються : монографія / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 156 с.
5. Walt Kesler. ANALOG-DIGITAL CONVERSION / Walt Kesler – ADI Central Application Department, March 2004. – 1127 p.
6. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. ДМК Пресс. – М. : ДМК Пресс, 2008. – Т. 1. – 832 с.
7. Grebene A. B. Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design / A. B. Grebene. – New York : WileyInterscience, 2003. – 912 с.
8. Азаров О.Д. Високолінійний двотактний підсилювач-масштабатор струму на біполярних транзисторах із заземленим навантаженням / О. Д. Азаров, Є.С. Генеральницький. — Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 5, с. 55-61, Жов 2019.
9. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие для вузов. [2-е изд. перераб. и доп.] / Степаненко И. П. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с., ил.

Азаров Олексій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Богомолів Сергій Віталійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.

Стахов Олексій Ярославович – аспірант кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету.