



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **116949** (13) **C2**
(51) МПК (2018.01)
Н03М 1/00
Н03М 1/10 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2016 13527</p> <p>(22) Дата подання заявки: 28.12.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.05.2018</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 12.06.2017, Бюл.№ 11</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.05.2018, Бюл.№ 10</p>	<p>(72) Винахідник(и): Кочан Роман Володимирович (UA), Кочан Орест Володимирович (UA), Саченко Анатолій Олексійович (UA), Яновський Максим Едуардович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Кочан Роман Володимирович, вул. Бандери, 28-а, каб. 901, м. Львів, 79013 (UA), Кочан Орест Володимирович, вул. Пулюя, 12, кв. 34, м. Львів, 79071 (UA), Саченко Анатолій Олексійович, вул. Загребельна, 42, м. Тернопіль, 46027 (UA), Яновський Максим Едуардович, просп. Московський, 308, кв. 218, м. Харків, 61003 (UA), Кочан Володимир Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 3, м. Тернопіль, 46020 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2520427 C2, 27.06.2014 RU 2507681 C2, 20.02.2014 RU 2399156 C2, 10.09.2010 US 6516290 B1, 04.02.2003 US 2007030189 A1, 08.02.2007 UA 97465 C2, 27.02.2012 UA 82313 C2, 10.04.2008 Метод корекції не лінійності дводіапазонних АЦП з ітераційним використанням багаторезисторного подільника напруги. / Роман Кочан, Галина Клим, Наталія Гоц. // Вимірювальна техніка та метеорологія: між від. Наук.-техн. Зб. / Міністерство науки і освіти України; відп. Ред.. Б.І. Стадник. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – С. 79-84.</p>
---	---

(54) СПОСІБ КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК ЦИФРО-АНАЛОГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У ВИМІРЮВАЛЬНО-КЕРУЮЧИХ МОДУЛЯХ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(57) Реферат:

Спосіб корекції похибок цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) у вимірювально-керуючих модулях (ВКМ), куди входить прецизійний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), що має корекцію адитивної, мультиплікативної та нелінійної складових похибки. Проводять корекцію похибок АЦП, потім, за допомогою додаткових каналів АЦП, вимірюють вихідні напруги ЦАП,

UA 116949 C2

обчислюють їх похибки та коригують їх вхідний код. Якщо ЦАП використані у ВКМ для керування об'єктом, то у ВКМ входять послідовно ввімкнені давач, комутатор, АЦП, мікроконтролер (МК), ЦАП, підсилувач потужності та виконавчий пристрій. До іншого входу комутатора підключено вихід пристрою корекції похибок (ПКП) АЦП. Тоді виходи підсилувачів потужності ЦАП підключають до додаткових входів комутатора. Якщо ЦАП використовується у ВКМ як складова частина швидкодіючого АЦП порозрядного зрівноваження, тобто куди входять послідовно ввімкнений давач, компаратор, МК та ЦАП, вихід якого підключено до другого входу компаратора, а також послідовно ввімкнений ПКП АЦП, комутатор та АЦП, вихід якого підключено до іншого входу МК, то до виходу ЦАП підключають вхід пристрою вибірки-запам'ятовування, вихід якого підключають до додаткового входу комутатора.



Фіг. 1

Винахід належить до вимірювальної та керуючої техніки і може підвищити точність і метрологічну надійність вимірювального-керуючих модулів (ВКМ), зокрема, у розподілених вимірювальних системах та мережах.

Від чисто вимірювальних модулів, структура яких описана у [1], ВКМ відрізняються наявністю керуючого каналу [2]. Таким чином, згідно з [2], у ВКМ входять послідовно ввімкнені первинний вимірювальний перетворювач (давач, сенсор), що перетворює у електричний сигнал фізичну величину об'єкта вимірювання-керування, комутатор, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікроконтролер, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), підсилювач потужності та виконавчий пристрій, який діє на фізичну величину керованого об'єкта. Слід відзначити, що фірми, зокрема Analog Devices [3], випускають мікроконвертори серії ADUC [4, 5], у склад яких входить переважна більшість перелічених вище вузлів.

У склад мікроконверторів серії ADUC [4, 5] входять АЦП двох типів - або повільні прецизійні інтегруючі [4, 6], або швидкодіючі порозрядного зрівноваження [5, 6]. Перші мають 24 розряди і високу чутливість, другі - 12 розрядів та малу випадкову похибку. Їх метрологічна надійність визначається імовірністю перевищення їх похибкою допустимого значення.

Відомі методи підвищення точності та метрологічної надійності АЦП за рахунок встановлення нуля та калібрування в процесі експлуатації [6], тобто корекції адитивної та мультиплікативної складових похибок. Однак, як показано у [7, 8], можливе перевищення похибкою АЦП допустимого значення за рахунок нелінійної складової похибки, при цьому нелінійність може бути викликана не самим АЦП, а, наприклад, блоком живлення. Тому в [7, 8] запропоновано методи контролю та корекції нелінійності АЦП, що характеризуються високою точністю та метрологічною надійністю, а також невисокою складністю.

Що стосується ЦАП, то їх метрологічну надійність забезпечують лише конструктивно-технологічні методи [6], тому вона є значно нижчою від АЦП, у яких використано перелічені структурно-алгоритмічні методи підвищення точності та метрологічної надійності.

Відомі також ВКМ високої швидкодії, у склад яких входять АЦП порозрядного зрівноваження [5, 6]. Такі АЦП переважно складаються із ЦАП, компаратора та пристрою керування. Корекцію похибки таких АЦП у [9] запропоновано виконувати за рахунок ввімкнення паралельно до їх входу прецизійного інтегруючого АЦП. Результати перетворення прецизійного інтегруючого АЦП у переважній більшості ігноруються через те, що напруга на його вході змінюється. Але, якщо вимірювана величина залишається постійною протягом часу, достатнього для отримання результату перетворення прецизійного інтегруючого АЦП, цей результат запам'ятовується і служить у подальшому для корекції похибок АЦП порозрядного зрівноваження. Але такий метод підвищення метрологічної надійності характеризується значною нерівномірністю процесу та невідомим результатом для тих ділянок діапазону перетворення, де постійного сигналу давно не було.

Задачею винаходу є підвищення точності та метрологічної надійності ЦАП у складі ВКМ різного типу.

Основною ідеєю винаходу є - якщо у складі ВКМ є прецизійний АЦП з високою метрологічною надійністю за рахунок контролю та корекції адитивної, мультиплікативної та нелінійної складових похибки АЦП, то його доцільно використати для корекції похибок ЦАП.

Суть способу корекції похибок ЦАП у ВКМ, у склад яких входить багатоканальний прецизійний АЦП, оснащений підсистемою корекції адитивної, мультиплікативної та нелінійної складових похибки, полягає у тому, що спочатку проводять корекцію перелічених похибок АЦП, а потім, за допомогою додаткових каналів АЦП, вимірюють вихідні напруги ЦАП, та проводять корекцію похибки ЦАП, тобто обчислюють їх похибки та зменшують їх вхідний код на значення отриманої похибки.

Для реалізації пропонованого способу корекції похибок ЦАП у ВКМ, у склад яких входять послідовно ввімкнені давач, комутатор, прецизійний інтегруючий АЦП, мікроконтролер, ЦАП, підсилювач потужності та виконавчий пристрій, причому до іншого входу комутатора підключено вихід пристрою корекції похибок АЦП, виходи підсилювачів потужності ЦАП підключено до додаткових входів комутатора.

Для реалізації пропонованого способу корекції похибок ЦАП у ВКМ, у склад яких входить швидкодіючий АЦП порозрядного зрівноваження у складі послідовно ввімкненого давача, компаратора, мікроконтролера та ЦАП, вихід якого підключено до другого входу компаратора, а також послідовно ввімкнених пристрою корекції похибок інтегруючого АЦП, комутатора та самого інтегруючого АЦП, вихід якого підключено до іншого входу мікроконтролера, до виходу цифро-аналогового перетворювача підключено вхід пристрою вибірки-запам'ятовування, вихід якого підключено до додаткового входу комутатора.

Якщо у склад ВКМ входять ЦАП обох типів (який керує об'єктом та який входить у склад АЦП порозрядного зрівноваження), то корекція похибок ЦАП кожного типу здійснюється відповідно до описаних вище структур.

На фіг. 1 подано структурну схему пристрою корекції похибок ЦАП у ВКМ, коли ЦАП використано для керування об'єктом. Вимірювана фізична величина (наприклад, температура) надходить на давачі (наприклад, термопари) і далі, через комутатор (наприклад, на герконових реле [10]), на прецизійний інтегруючий ІАЦП (наприклад, що входить у склад ADUC834 [4]), який перетворює її в код та забезпечує відповідну завадостійкість. Код, через інтерфейс (на фіг. 1 не показаний), надходить на мікроконтролер МК (наприклад, 89С52, що входить у склад ADUC834), який проводить обробку результатів аналого-цифрового перетворення (наприклад, цензурування вибірки) та формує код керуючої дії (наприклад, згідно з пропорційним законом регулювання), який, через інтерфейс (на фіг. 1 не показаний), надходить на ЦАП (наприклад, що входить у склад ADUC834). Зазвичай вихід ЦАП малопотужний, тому він підключений до підсилювача потужності (наприклад, симетричного емітерного повторювача на потужних транзисторах), вихід якого безпосередньо керує виконавчим пристроєм (наприклад, двигуном, який через редуктор керує заслінкою подачі теплоносія). В схему фіг. 1 входить також пристрій корекції похибки АЦП, виконаний, наприклад, згідно з [7, 8]. МК керує комутатором, періодично підключаючи до входу АЦП виходи пристрою корекції похибок АЦП, давача та вихід підсилювача потужності. При цьому спочатку коригують похибки АЦП, потім перетворюють у код вихідний сигнал давача, проводять корекцію похибки АЦП, обчислюють керуючу дію, а потім контролюють вихідну напругу ЦАП (точніше підсилювача потужності). За результатами порівняння дійсної вихідної напруги з потрібним (обчисленим) значенням визначають абсолютну похибку ЦАП та підсилювача потужності. Далі коригують похибку ЦАП - зменшують вхідний код ЦАП на значення похибки.

На фіг. 2 подано структурну схему пристрою корекції похибок ЦАП у ВКМ, коли ЦАП використано у складі швидкодіючого АЦП порозрядного зрівноваження. У склад АЦП порозрядного зрівноваження входять компаратор, пристрій керування (наприклад, мікроконтролер МК) та ЦАП [6]. До другого входу компаратора підключено вихід давача, якому необхідна висока швидкодія аналого-цифрового перетворення. Коло корекції похибки такого ЦАП складається з пристрою корекції похибки АЦП, комутатора, самого прецизійного інтегруючого АЦП, вихід якого підключено до іншого входу МК. Вихід ЦАП підключено також до входу пристрою вибірки-запам'ятовування, вихід якого підключено до додаткового входу компаратора.

Вихідний сигнал давача перетворюється у код за допомогою швидкодіючого АЦП порозрядного зрівноваження, при цьому на виході ЦАП під час перетворення формуються напруги, що відповідають як окремим розрядам, так і їх комбінаціям. Ці напруги надходять на пристрій вибірки-запам'ятовування. Аналогічно, як і попередній схемі, МК керує пристроєм вибірки-запам'ятовування та комутатором, періодично підключаючи до входу АЦП виходи пристрою корекції похибок АЦП, за допомогою якого коригують похибки АЦП, та пристрою вибірки-запам'ятовування, за результатами перетворення вихідної напруги якого визначають абсолютні похибки ЦАП. За цими похибками та відповідними кодами можна побудувати математичну модель похибки ЦАП і коригувати результати цифро-аналогового перетворення як в процесі обчислення керуючої дії, так і в процесі перетворення.

Таким чином, запропонований спосіб корекції похибок ЦАП у ВКМ і пристрої для його реалізації є доволі простими, але дають змогу забезпечити високу точність і метрологічну надійність ЦАП без використання особливих конструктивно-технологічних методів.

Джерела інформації:

1. Новопашенный Г.Н. Информационно-измерительные системы. Москва, Высшая школа. 1977.
2. Войтович І.Д., Корсунський В.М. Інтелектуальні сенсори. Київ, 2007.
3. <http://www.analog.com/en/index.html>.
4. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADUC834.pdf>.
5. http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADUC841_842_843.pdf.
6. W. Kester, Analog-Digital Conversion, Analog Devices, 2004.
7. Пат. № 97465, Україна, МПК 7H01H51/00. Пристрій визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів / Кочан Р.В., Кочан О.В.
8. Пат. № 200805621, Україна, МПК 7H01H51/00. Спосіб перевірки аналого-цифрових перетворювачів на місці експлуатації / Кочан Р.В., Кочан О.В.
9. Larsson A. A Background Calibration Scheme for Pipelined ADCs Including Non-linear Operational Amplifier Gain and Reference Error Correction / A. Larsson, S. Sonkusale // Proceedings

of IEEE International System-on-Chip conference / A. Larsson, S. Sonkusale. - Santa Clara, California, 2004. - С. 37-40.

10. Пат. № 82313 Україна, МПКН01Н 51/00. Комутатор сигналів низького рівня / Р.В. Кочан, В.В. Кочан.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб корекції похибок цифро-аналогових перетворювачів у вимірювальних і керуючих модулях, у яких передбачено корекцію адитивної, мультиплікативної та нелінійної складових похибки багатоканального прецизійного аналого-цифрового перетворювача, який **відрізняється** тим, що проводять корекцію перелічених похибок аналого-цифрового перетворювача, потім, за допомогою додаткових каналів аналого-цифрового перетворювача, вимірюють вихідні напруги цифро-аналогових перетворювачів, обчислюють їх похибки та зменшують їх вхідний код на значення отриманої похибки.
- 15 2. Пристрій корекції похибок цифро-аналогових перетворювачів у вимірювально-керуючих модулях, що містить послідовно ввімкнені датчик, комутатор, прецизійний інтегруючий аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер, цифро-аналоговий перетворювач, підсилювач потужності та виконавчий пристрій, причому до другого входу комутатора підключено вихід пристрою корекції похибок інтегруючого аналого-цифрового перетворювача, який **відрізняється** тим, що до додаткових входів комутатора підключено виходи підсилювачів потужності цифро-аналогових перетворювачів.
- 20 3. Пристрій корекції похибок цифро-аналогових перетворювачів у вимірювальних модулях, виконаний на базі швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача порозрядного зрівноваження, що містить послідовно ввімкнені датчик, компаратор, мікроконтролер та цифро-аналоговий перетворювач, вихід якого підключено до другого входу компаратора, а також послідовно ввімкнених пристрою корекції похибок аналого-цифрового перетворювача, комутатора та інтегруючого аналого-цифрового перетворювача, вихід якого підключено до іншого входу мікроконтролера, який **відрізняється** тим, що до додаткового входу комутатора підключено вихід пристрою вибірки-запам'ятовування, вхід якого підключено до виходу цифро-аналогового перетворювача.
- 25 30



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601