

A/D Converter Testing” *IEEE European Test*, pp. 149–154, 25–29 May 2008. 5. Jin L., He C., Chen D., Geiger R. “An So Ccompatible linearity test approach for precision ADCs using easy-to-generate sinusoidal stimuli” *IEEE Int. Symp. on Ckts and Sys. ISCAS*, vol.1, no., pp. 1- 928-3. – Vol. 1, 23–26 May 2004. 6. Saliga J., Michaeli L., Sakmar M., Busa J. “Processing of bidirectional exponential stimulus in ADC testing” *Measurement, Volume 43, Issue 8, IMEKO XIX World Congress Part 2 – Advances in Measurement of Electrical Quantities, October 2010* – P. 1061–1068. 7. Росоцук А.В. Метод визначення основи системи числення надлишкового АЦП за аналізом кодувальної характеристики / С.М. Захарченко, О.В. Бойко, А.В. Росоцук // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”: зб. наук. пр. – Донецьк: ДНТУ, 2012. – № 15. – С. 35–39. 8. Захарченко С.М., Захарченко М.Г., Бойко О.В. Метод калібрування циклічних АЦП із ваговою надлишковістю // Вісник ВПІ.–2011.– № 4. – С. 143–149 с.

УДК 621.375.024

О.Д. Азаров, О.І. Черняк

Вінницький національний технічний університет

АВТОМАТИЧНЕ КАЛІБРУВАННЯ ЛІНІЙНОСТІ АЦП З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ

Ї Азаров О.Д., Черняк О.І., 2014

Описано метод та структурну організацію автоматичного калібрування лінійності АЦП з ваговою надлишковістю на основі побітової арифметики.

Ключові слова: АЦП, самокалібрування, побітова арифметика, золота 1-пропорція.

The bit-serial arithmetic based method and structure organization of automatic linearity calibration for ADC with weight redundancy are described in this article. The calibration characteristics of ADC with order-by-order indemnification are used for defining the accuracy of an analog-to-digital signal conversion. This method was developed for ADC with self-calibration which works in gold 1-proportion numerical system. The method is based on comparison of results of two ADC, which converts the same signal. Various pipeline bit-serial arithmetic devices in this numerical system were developed by the authors, which was described in scientific publications and can be used for calculation of linearity deviation in such way.

Key words: DAC, self-calibration, bit-serial arithmetic, gold 1-proportion.

Вступ

Для забезпечення точності перетворення сигналів АЦП порозрядного врівноваження застосовується калібрування їх характеристик [1]. АЦП з самокалібруванням будуються на основі систем числення з ваговою надлишковістю (СЧВН) [2, 3], найвідомішою з яких є система числення золотої 1-пропорції. Існують приклади використання АЦП золотої 1-пропорції, в яких необхідно коригувати лише лінійність характеристики перетворення [4]. Однак відомі методи не дають змогу визначати момент включення режиму самокалібрування та потребують призупинення аналого-цифрового перетворення сигналу на час самокалібрування. Ліквідація цих недоліків є актуальним завданням, що дає змогу автоматизувати процес калібрування пристроїв АЦП і виконувати його паралельно з їх роботою. Автори розробили методи і пристрої побітового потокового виконання усіх арифметичних операцій на основі системи числення золотої 1-пропорції [5, 6]. Ці пристрої можуть використовуватись для обчислення похибок лінійності розрядів АЦП за запропонованим методом.

Мета роботи – забезпечити лінійність АЦП з ваговою надлишковістю шляхом автоматичного калібрування характеристики перетворення за рахунок побітової обробки кодів золотої пропорції.

Опис методу і структурної організації пристрою

Метод розроблено для АЦП з можливістю самокалібрування, побудованих на основі системи числення золотої 1-пропорції. Такі АЦП мають деяку кількість (m) молодших точних і $(n-m)$ старших неточних розрядів. У процесі перетворення аналогового сигналу здійснюється контроль лінійності кожного неточного розряду, починаючи з молодшого, і в разі виходу її за допустимий діапазон виконується самокалібрування АЦП.

Метод ґрунтується на порівнянні результатів кодування одного і того самого аналогового сигналу двома АЦП (АЦП1 і АЦП2), кожен з яких може переходити у режим перетворення або у режим самокалібрування. У режимі перетворення на i -му циклі кодування АЦП1 і АЦП2 видають паралельні коди $A1D_0^{n_3-1}(i)$ і $A2D_0^{n-1}(i)$ у двійковій системі числення. Крім того, вони видають цифрові послідовні коди золотої пропорції $A1_0^{n_3-1}(i)$ і $A2_0^{n-1}(i)$, які утворюються на виходах компараторів, починаючи зі старших розрядів. Обидва АЦП працюють синхронно, тому за відсутності похибок $|A1_0^{n-1}(i) - A2_0^{n-1}(i)| \leq 1$. Кожен АЦП у процесі самокалібрування може заборонити вмикання заданого розряду. Завдяки надлишковості системи числення золотої 1-пропорції це не призводить до спотворення результату кодування для деяких форм кодів. У режимі перетворення АЦП1 і АЦП2 контролюють один одного. Кожен АЦП стає по черзі контролюючим або контрольованим. Результатом аналого-цифрового перетворення у цьому методі є код на виході контрольованого АЦП, а контролюючий АЦП слугує для визначення похибки лінійності контрольованого.

Запропонований метод дає змогу у процесі перетворення для обох АЦП контролювати похибку лінійності кожного неточного розряду, починаючи з молодших. Очевидно, що під час контролю k -го розряду в обох АЦП розряди від 0-го до $(k-1)$ -го є точними. На деякому i -му циклі кодування аналогового сигналу з цифровим еквівалентом $A(i)$ утворюється код $A_0^k(i)$ (1). Нехай контрольованим є АЦП1, а контролюючим – АЦП2. АЦП1 вмикає k -й розряд, а АЦП2 не вмикає його. Тому в АЦП1 буде похибка лінійності, а в АЦП2 її не буде. Суть контролю полягає у тому, що на основі відмінності кодів з обох АЦП визнається абсолютне значення похибки лінійності $|\Delta L1k|$ цього розряду АЦП1, яке порівнюється з допустимим значенням. Визначення $|\Delta L1k|$ потребує вилучення з показань обох АЦП похибки масштабу та зміщення нуля. Для цього спочатку АЦП1 кодує сигнали без заборони включення k -го розряду, а АЦП2 – із заборонаю його включення.

Якщо значення $|\Delta L1k|$ або $|\Delta L2k|$ більше від допустимої похибки для даного розряду, яку генерує блок контролю, то спочатку АЦП1, а потім АЦП2 переводяться у режим самокалібрування. При цьому на вихід пристрою подається код того АЦП, який на цей момент знаходиться у режимі перетворення. Якщо ж абсолютні значення похибок лінійності k -го розряду АЦП1 і АЦП2 не перевищують допустимої похибки для цього розряду, то визначаються похибки лінійності $(k+1)$ -го розряду тощо.

На рис. 1 показано структурну організацію пристрою, що реалізує запропонований метод автоматичного калібрування лінійності АЦП на основі побітового потокового обчислення похибки лінійності.

Пристрій містить блок нормалізації (БН) аналогового сигналу, блок дискретизації (БД), два аналого-цифрових перетворювачі (АЦП1 і АЦП2) на основі систем числення золотої пропорції, блок керування, мультиплексор MS1, блок обчислення похибки (БОП), а також блок побітового порівняння (БП) обчисленої і заданої похибок. Крім того, на рис. 1 позначено: послідовний код обчисленої похибки лінійності ($ОПЛ=|\Delta Lk|$), що обчислюється у БОП; послідовний код допустимої похибки лінійності (ДПЛ) розряду, що генерується у БК; послідовні коди золотої пропорції ($A1_0^{n-1}$ і $A2_0^{n-1}$) та паралельні двійкові коди ($A1D_0^{n-1}$ і $A2D_0^{n-1}$) з виходів АЦП1 і АЦП2; сигнали керування Y1 та Y2, що переводять у режим самоконтролю відповідно АЦП1 і АЦП2; сигнали керування Y3

та Y_4 , що переводять у режим заборони включення заданих розрядів відповідно АЦП1 і АЦП2; сигнал керування Y_5 , що подається у БОП для комутації послідовних кодів з АЦП1 і АЦП2; сигнали керування Y_6 та Y_7 , що подаються у БОП для запам'ятовування кодів; сигнал керування Y_8 , що встановлює MS1 у режим пропускання кодів з виходу АЦП1 або АЦП2.

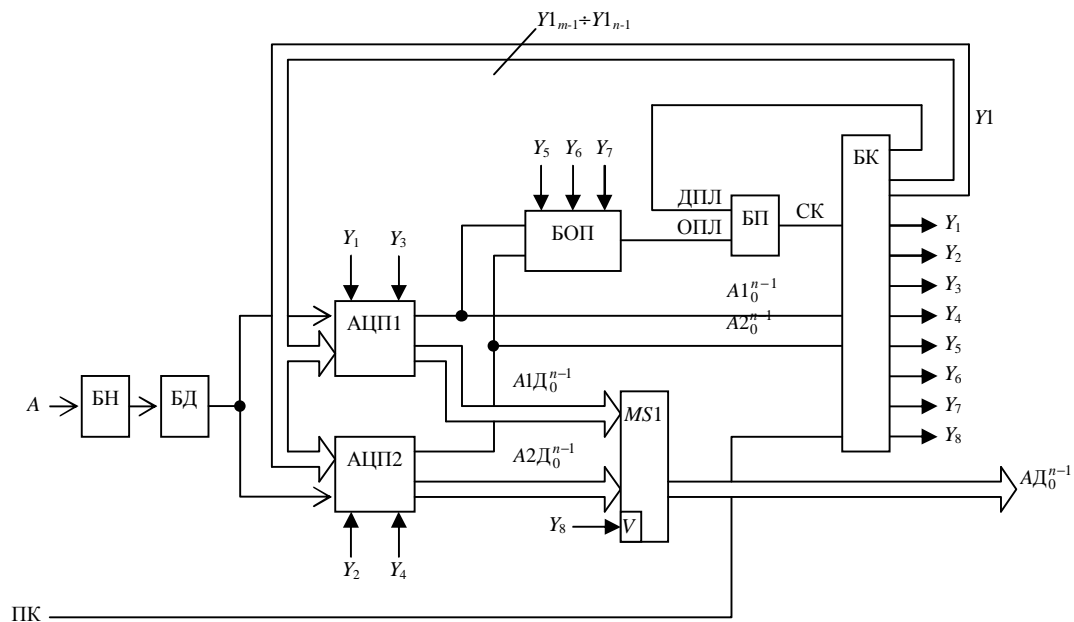


Рис. 1. Структурна організація пристрою аналого-цифрового перетворення з автоматичним калібруванням лінійності

На рис. 2 показано структурну організацію блока обчислення похибки БОП за рахунок побітового потокового віднімання, множення і ділення кодів золоті 1-пропорції.

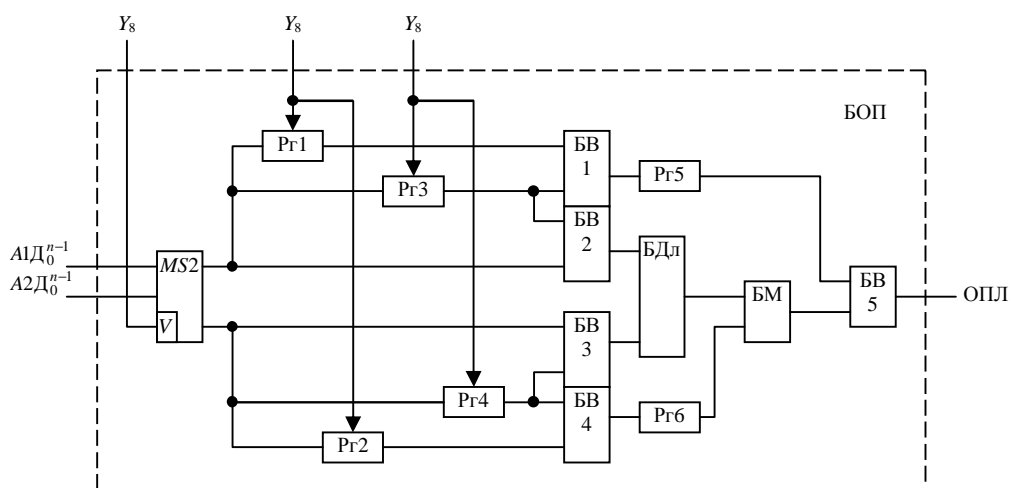


Рис. 2. Структурна організація блока обчислення похибки

Блок містить мультиплексор MS2, чотири регістри циклічного зсуву з послідовним входом і виходом (Pr1, Pr2, Pr3 і Pr4), чотири блоки побітового віднімання кодів золоті пропорції (BB1, BB2, BB3 і BB4), блок побітового ділення кодів золоті пропорції (БДл), блок побітового множення кодів золоті пропорції (БМ), блок побітового віднімання кодів золоті пропорції (BB5) та два послідовні регістри зсуву (Pr5, Pr6).

Пристрій працює так. Аналоговий сигнал з давача після нормалізації і дискретизації поступає на входи АЦП1 і АЦП2. З виходу контрольованого АЦП паралельні коди у двійковій системі числення через MS1 поступають на вихід пристрою. Послідовні коди золоті пропорції з обох АЦП

поступають у БОП і у БК. Нехай контролюється лінійність k -го розряду АЦП1. БК видає одиничний сигнал Y_5 , що поступає на вхід керування V мультиплектора MS . MS встановлюється у режим, в якому він на свій вихід пропускає паралельний код з виходу АЦП1. БК за допомогою сигналів Y_1 та Y_2 встановлює режим перетворення в обох АЦП, за допомогою сигналу Y_3 уможливує включення усіх розрядів АЦП1, а за допомогою сигналу Y_4 забороняє включення k -го розряду в АЦП2. У процесі перетворення БК отримує і перевіряє послідовні коди золотої пропорції коди з обох АЦП. На кожному циклі перетворення БОП обчислює чергову похибку лінійності ОПЛ. Обчислення похибок виконуються побітовими потоковими арифметичними операціями над послідовними кодами золотої 1-пропорції без врахування їх знаків, що дає можливість отримувати абсолютні значення результатів. БП порівнює ОПЛ і допустиму похибку лінійності ДПЛ для цього розряду та виробляє сигнал контролю СК, одиничне значення якого означає, що $ОПЛ > ДПЛ$. БК виявляє цю ситуацію і запускає режим самокалібрування лінійності спочатку одного, а потім іншого АЦП за допомогою сигналів керування Y_1 та Y_2 . Після завершення перевірки усіх розрядів процес повторюється спочатку.

Аналіз розрядності

Усі арифметичні блоки цього пристрою виконують побітову обробку з фіксованою крапкою. Через можливість переповнення таку обробку використовують лише для діапазону чисел, обмеженого розрядністю представлення кодів. Покажемо, що у цьому методі діапазон чисел не виходить за допустимий. Значення кодів з виходів АЦП знаходяться у діапазоні, заданому розрядністю. Враховуючи, що вказані коди мають один знак, абсолютні значення різниць цих кодів також не виходять за цей діапазон. Оскільки різниці у кожному АЦП мають приблизно однакові значення, то результати їх ділення теж приблизно дорівнюють одиниці, що також знаходиться у межах заданої розрядності. Враховуючи одиничне значення частки, добуток приблизно дорівнює різниці. Відхилення частки від одиниці спричинено відмінністю похибок масштабу та зміщенням нуля в АЦП1 і АЦП2. Під час обчислення похибки лінійності старшого $n-1$ -го розряду у деяких випадках значення частки може сягати максимального значення з кодом 01110101010... При цьому можливе переповнення добутку у знаковий розряд. Проте під час обчислення абсолютних значень знаковий розряд не використовується, тому це не призводить до спотворення результату. Нарешті значення похибки лінійності k -го розряду обчислюється як різниця між добутком та різницею і тому також знаходиться у межах заданого діапазону. Отже, у цьому методі може бути використана побітова обробка кодів золотої 1-пропорції з фіксованою крапкою.

Висновки:

1. Вперше розроблено метод і пристрій автоматичного калібрування лінійності АЦП з ваговою надлишковістю, що використовує обчислення похибки лінійності розрядів у процесі перетворення.
2. Для розробленого пристрою показана можливість побітової обробки з фіксованою крапкою у системі числення золотої 1-пропорції.

1. Алиев Т.М. Автоматическая коррекция погрешностей цифровых измерительных приборов: монография / Т.М. Алиев, Л.П. Сейдель. – М.: Энергия, 1975. – 216 с. 2. Азаров О.Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю: монографія / О.Д. Азаров – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 232 с. 3. Азаров О.Д. Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов: монографія / О.Д. Азаров, О.В. Кадук. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 150 с. 4. Азаров О.Д. Високолінійні порозрядні АЦП і ЦАП з ваговою надлишковістю для систем реєстрації і оброблення сигналів: монографія / О.Д. Азаров, О.А. Архипчук, С.М. Захарченко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с. 5. Азаров О.Д. Алгоритмічні основи побітової обробки кодів золотої пропорції / О.Д. Азаров, О.І. Черняк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 2(6). – С. 28–43. 6. Азаров А.Д. Полнофункциональная побитовая обработка результатов аналого-цифрового преобразования / А.Д. Азаров, А.И. Черняк // Методи та засоби кодування, захисту й уцілювання інформації: Третя Міжнародна наук.-практ. конф., 20–22 квітня 2011 р.: тези доп. – Вінниця, 2011. – С. 208–209.