

Калібрування нелінійності біомедичних оптичних сенсорів в АЦ-системах

Володимир Гарнага, Леонід Крупельницький, Євгеній Стогнушко
кафедра обчислювальної техніки,
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
garnaga.v@gmail.com

The calibration of nonlinearities of biomedical optical sensors in AD systems

Volodymyr Harnaha, Leonid Krupelnytskyi, Yevhenii Stohnushko
Department of Computer Technique
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine,
garnaga.v@gmail.com

Анотація – Запропоновано метод оцінювання та запропоновано шлях для проведення калібрування нелінійності біомедичних оптичних сенсорів. Проаналізовано використання оптичного сенсора для побудови спеціалізованої АЦ-системи.

Abstract– The method of estimation is proposed and the way to calibrate the nonlinearity of biomedical optical sensors is proposed. The use of an optical sensor for the construction of a specialized AD-system has been analyzed.

Ключові слова — оптичний сенсор, ОП, аналого-цифрова система, калібрування, пульсовий сенсор

Keywords — Optical sensor, OP, analog-digital system, calibration, pulse sensor

I ВСТУП

З розвитком мікропроцесорної техніки стало можливим використовувати достатньо потужні периферійні пристрої, зокрема, для виконання процедур самокалібрування та самокоригування у складі АЦ-систем. Використовуючи такі підходи до підвищення точності системи перетворення інформації можливо вимірювати досить малі значення фізичних величин. Так, наприклад, використовуючи оптичні сенсори стало можливим вимірювати пульс та здійснювати аналіз крові людини без необхідності забору зразків крові. Такі нові підходи до розв'язання актуальних задач дозволяють надати більше інформації для лікаря і завдати менше дискомфорту для пацієнта. Крім цього системи збору даних такого класу можуть бути повністю мобільними, виконані у розмірі близькому до мобільного телефону і протягом певного часу накопичувати необхідну інформацію про змінення певних факторів, що

відслідковуються. Це на відміну від лабораторних тестів, процедур чи аналізів дозволяє отримати не так звані «миттєві» показники, а бачити їх змінення протягом доби або навіть тижня. Аналіз накопичених даних такою біомедичною системою дозволить отримати більш точну інформацію про діапазони та характер змінення досліджуваних показників, що у свою чергу дозволить лікарю краще зрозуміти і більш достовірно виявити проблеми пов'язані зі здоров'ям пацієнта.

II ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Розглянемо типову структурну схему біомедичної високолінійної аналого-цифрової системи [1-3], що самокоригується на рис. 1.

Тут ОД – оптичний датчик, НП – нормалізуючий підсилювач, ФНЧ – фільтр низьких частот, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, МП – мікропроцесор, ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач, ГОР – генератор опорних рівнів. Таким чином змінення вхідного сигналу приходить у вигляді світлових хвиль і за допомогою світлочутливого давача перетворюється у змінення напруги на вході нормалізуючого підсилювача. Прикладом такого давача може бути APDS-9008.

Метод самокалібрування передбачає, що в аналоговій частині сигнальних перетворювачів оптимізуються лише окремі, некориговані параметри (шум, лінійність, швидкодія). Частина інших параметрів (зсув, коефіцієнт підсилення, форма АФЧХ та інш.) - може бути визначена та відкалібрована в цифровому вигляді.

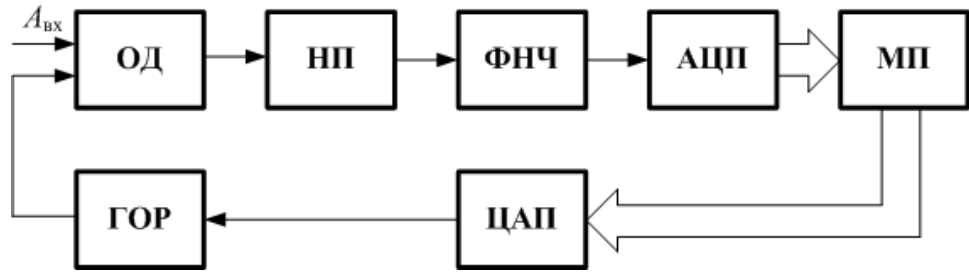


Рисунок 1 – Структурна схема АЦ системи

Оцінимо можливості коригування похибок статичної передатної характеристики тракту АЦП, що самокоригуються. Очевидно, що для зменшення адитивної і мультиплікативної похибки застосовні методи автокалібрування шляхом підключень на вхід нульової й опорної напруг із визначенням і наступним урахуванням зсуву "нуля" і змінення коефіцієнта підсилення:

$$\tilde{\Delta}_0 = U_{\text{вих}}(0); \quad (1)$$

$$\tilde{a}_1 = \frac{U_{\text{вих}}(U_{\text{дон}}) - U_{\text{вих}}(0)}{U_{\text{дон}}}, \quad (2)$$

де $U_{\text{дон}}$ – напруга ДОН.

Зазначений спосіб автокалібрування найпростіший, але водночас оцінки $\tilde{\Delta}_0$ й \tilde{a}_1 , визначаються з похибкою лінійності статичної характеристики в точках $U_{\text{вх}}=0$ і $U_{\text{вх}}=U_{\text{дон}}$ відповідно. Статична передатна характеристика може бути апроксимована багаточленом:

$$U_k(U_x) = \sum_{j=0}^n U_{\text{дон},j} \frac{(U_x - U_0)(U_x - U_1) \dots (U_x - U_{j-1})(U_x - U_{j+1}) \dots (U_x - U_n)}{(U_j - U_0)(U_j - U_1) \dots (U_j - U_{j-1})(U_j - U_{j+1}) \dots (U_j - U_n)}, \quad (3)$$

де $U_{\text{дон},j}$, $j=0 \dots n$ -вузлові напруги ДОН, U_i , $i=0 \dots n$ -вхідні напруги, що відповідають $U_{\text{дон},j}$, U_x – вихідна напруга в довільній точці діапазону, $U_k(U_x)$ – відкориговане значення U_x .

Поліном Лагранжа (3) для безпосереднього обчислення у ОКБ АЦП досить складний, крім того, апаратурні витрати на побудову ДОН з рівнями опорної напруги можуть бути істотними. Зменшення числа обчислень при незначному зниженні точності може бути досягнуто методом кусочно-лінійної інтерполяції, коли враховуються тільки сусідні відліки статичної характеристики:

$$U_{\text{вихен}}(U_{\text{вх}}) = a_0 + a_1 \cdot U_{\text{вх}} + \sum_{i=2}^{\infty} a_i \cdot U_{\text{вх}}^i,$$

де a_0 - адитивна складова (зсув "нуля");

a_1 - мультиплікативна складова (коефіцієнт підсилення);

a_i - нелінійні коефіцієнти, що характеризують відхилення форми статичної передатної характеристики від прямої лінії. Як правило, у розрахунках обмежуються $i \leq 5$.

Коригування похибки лінійності є складнішим, тому, що вимагає для визначення складових нелінійності i -го порядку відповідного числа вхідних вузлових відліків опорної напруги. При цьому може бути виконана інтерполяція статичної передатної характеристики поліномом Лагранжа [70]:

$$U_k(U_x) = \frac{U_{\text{дон},j}(U_x - U_{j-1}) - U_{\text{дон},j}(U_x - U_j)}{(U_x - U_{j+1})}$$

для $U_j \leq U_x \leq U_{j+1}$; $j=0, n-1$.

Апаратурні ж витрати на побудову ДОН значно скорочуються, якщо ґрунтуватися не на абсолютних значеннях опорних напруг, а на співвідношеннях між ними:

$$\left. \begin{array}{l} U_0/U_1 = b_1 \\ U_0/U_2 = b_2 \\ \vdots \\ U_0/U_j = b_j \\ \vdots \\ U_0/U_n = b_n \end{array} \right\} . \quad (4)$$

Коефіцієнти $b_1...b_n$ у системі рівнянь (4) визначаються або на етапі виготовлення ДОН, або, як це запропоновано в [1], безпосередньо при самокоригування АЦП після коригування лінійності квантувача.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано узагальнену структуру біомедичної системи АЦ-перетворення та визначено її складові, що впливають на її характеристику перетворення.

Запропоновано метод до калібрування лінійності характеристики тракту із оптичним датчиком у складі перетворювача форми інформації та запропоновано аналітичні вирази для оцінювання похибок, що виникають в такого типу системах.

Запропонований метод є ефективним при коригуванні нелінійності швидкодіючих або гальванічно розв'язаних підсилювачів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [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. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005 - 167 с.
- [2] Азаров О. Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових систем числення з ваговою надлишковістю: монографія. – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010.- 232 с.
- [3] Азаров О. Д. Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокалібруються: монографія / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага. – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011.- 156
- [4] Нечіткі експертні оптико-електронні системи для аналізу біомедичних зображень (наприклад, діагностики глаукоми) / С. В. Павлов, О. Д. Азаров, Й. Р. Салдан [та ін.] // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія.* - 2013. - № 1.
- [5] Азаров О. Д. Застосування оптико-електронних технологій для оброблення біомедичних зображень шляхом формування інформаційних ознак / С. В. Павлов, О. Д. Азаров, Д. В. Вовкотруб, Н. П. Бабюк // *Проблеми інформатизації та управління* – Київ, НАУ, 2013 №1 (41). С.81-87
- [6] Азаров О. Д., Крупельницький Л. В., Богомолів С. В. Високоточні аналого-цифрові системи опрацювання біомедичних сигналів // *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах. Тези доповіді другої Міжнародної науково-практичної конференції.* м. Вінниця, 29-31 жовтня 2013 року. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С.280-281.