

Ітераційний Метод Самокалібрування Передатних Характеристик Вимірювальних Каналів Біомедичної Аналогово-Цифрової Системи

Леонід Крупельницький
кафедра обчислювальної техніки,
Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця, Україна,
krupost@gmail.com

Дмитро Куций
кафедра обчислювальної техніки,
Вінницький національний технічний університет
м. Вінниця, Україна,
dimakutsiy@gmail.com

Iterative Method of Self Calibrating Transfer Characteristic Measurement Channels of Biomedical Analog to Digital System

Leonid Krupelnyskyi
department of computer technology,
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine,
krupost@gmail.com

Dmytro Kutsyi
department of computer technology,
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine,
dimakutsiy@gmail.com

Анотація—Запропоновано ітераційний метод самокалібрування вимірювальних каналів багатоканальних аналого-цифрових систем опрацювання сигналів біомедичних сенсорів. Розглянуто структурну й алгоритмічну реалізацію процедур калібрування і корекції, що дозволяє зменшити похибки та підвищити ідентичність параметрів вимірювальних каналів.

Abstract—Iterative method of self calibrating measuring channel of multichannel analog to digital system for biomedical sensors is preposed. Structure and algorithm realization procedure for calibrating and correction, that can reduce errors and increase identity of measure channels are considered.

Ключові слова—аналого-цифрова система; вимірювальний канал, передатна характеристика; самокалібрування, коригування похибок.

Keywords—analog to digital system; measure channel; transfer characteristics, self calibrating; errors correction.

I. ВСТУП

Актуальність дослідження обумовлена підвищеними вимогами щодо точності і ідентичності вимірювальних каналів біомедичних аналого-цифрових систем (АЦ-систем) для узгодженого, одночасного багатоканального опрацювання сигналів акустичних і оптичних сенсорів. Вимірювальні канали цих АЦ-систем містять вхідні аналогові комутатори, програмовані підсилювачі струму і напруги, аналого-цифрові перетворювачі, схеми живлення резистивних і мостових сенсорів постійною чи імпульсною

напругою та струмом [1-3]. Пропонується ітераційний метод та алгоритм самокалібрування статичних (а відтак – і динамічних), передатних характеристик послідовності каналів з кроками «зверху-вниз» для різних коефіцієнтів підсилення.

II. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА САМОКАЛІБРОВАНОЇ АЦ-СИСТЕМИ

Розглянемо запропонований ітераційний метод самокалібрування на прикладі розробленої авторами самокаліброваної 4-канальної АЦ-системи для опрацювання сигналів біомедичних акустичних і оптичних сенсорів.

На рисунку 1 наведено функціональну схему системи. Вхідні вимірювальні канали складаються з аналогових комутаторів АК1-АК4, програмованих підсилювачів ПП1-ПП4, антиаліасінгових фільтрів низьких частот ФНЧ1 – ФНЧ4, аналого-цифрових перетворювачів АЦП1 – АЦП4. Вказані аналогові і аналого-цифрові компоненти мають реальні (дійсні) статичні та динамічні передатні характеристики, які можуть бути суттєво покращеними за рахунок калібрування та корекції.

Також функціональна схема містить джерела живлення активних акустичних та оптичних сенсорів постійною чи змінною напругою, формувачем якої є окремий 4-канальний ЦАП, характеристики якого також можна

калібрувати, оскільки його виходи підключені на окремі входи аналогових комутаторів. Для калібрування в функціональній схемі наявні додаткові компоненти:

джерело опорної напруги, калібрувальний перемножувальний ЦАП, шина «нуля».

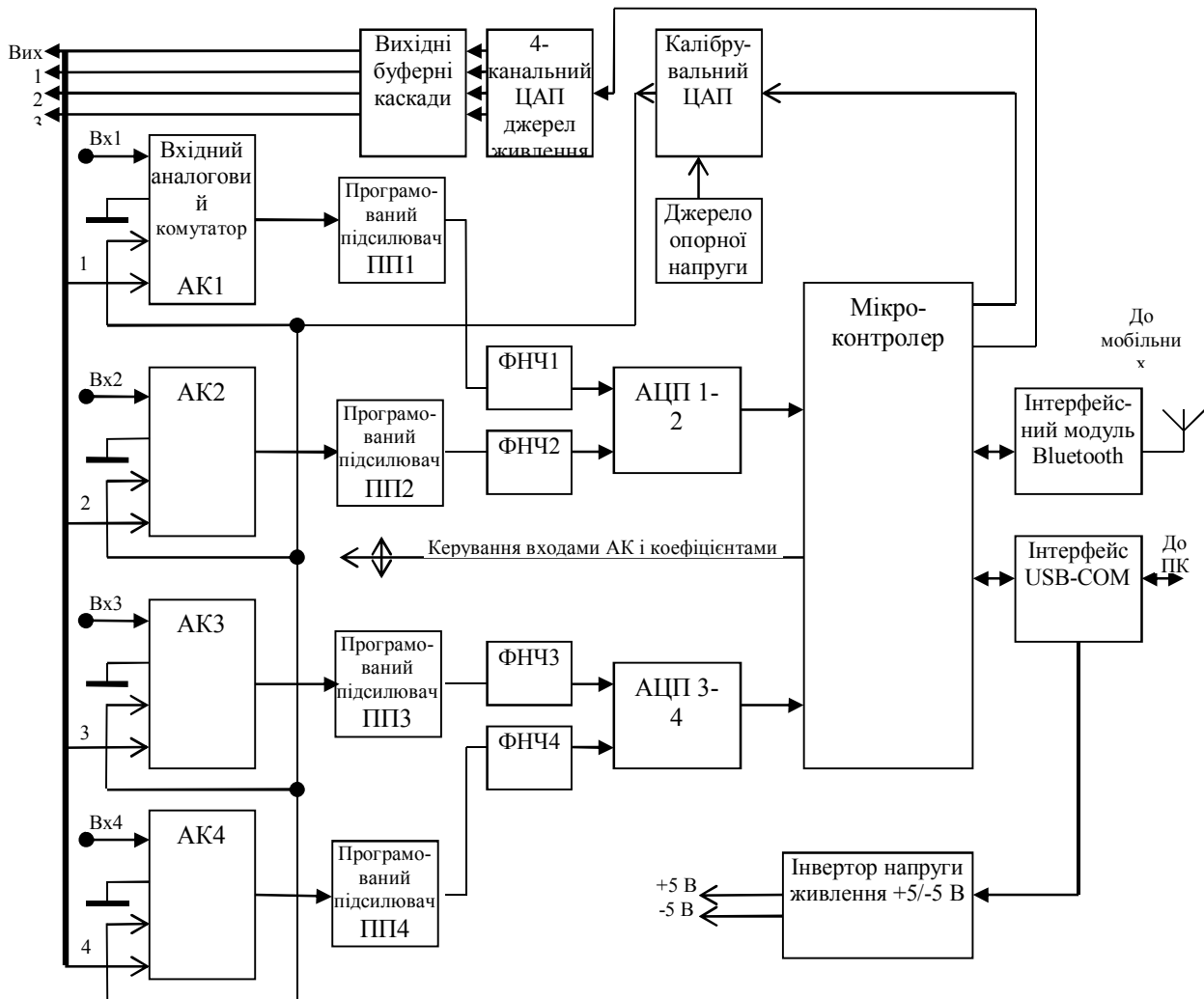


Рис. 1. Функціональна схема 4-канальної біомедичної самокаліброваної АЦ-системи.

Використання перемножувального ЦАП в якості джерела калібрувальних сигналів обумовлено тим, що особливість його схемотехніки на основі $R - 2R$ матриці та КМОН-ключів забезпечує точне відтворення значення напруги зовнішнього опорного джерела. Отже, в верхній шкалі діапазону (код 111...1) напруга на виході ЦАП дорівнюватиме напрузі опорного джерела $U_{оп}$, а це дає можливість сформулювати калібрований за амплітудою опорний сигнал. Цей сигнал може бути постійним, імпульсним чи моногармонійним з заданою опорною частотою f_0 . Саме моногармонійний сигнал найкраще сумісний зі спектральними методами опрацювання, в яких просто визначається його амплітуда на заданій опорній частоті. Нелінійні спотворення калібрувального ЦАП через його обмежену розрядність (в експериментальному взірці - 12 двійкових розрядів) не впливають на

амплітудне значення сигналу. Зсув «нуля» ЦАП також не впливатиме на результат калібрування, оскільки визначення амплітуди результату АЦ-перетворення сигналу здійснюватиметься тільки за його спектральним значенням на опорній частоті f_0 . Крім того, загальний зсув «нуля» вимірювального каналу буде визначено та скориговано після підключення шини «нуля» до вхідного аналогового комутатора.

III. ІТЕРАЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ САМОКАЛІБРУВАННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Розглянемо узагальнену блок-схему алгоритму калібрування статичних передатних характеристик вимірювальних каналів, наведену на рис. 2.

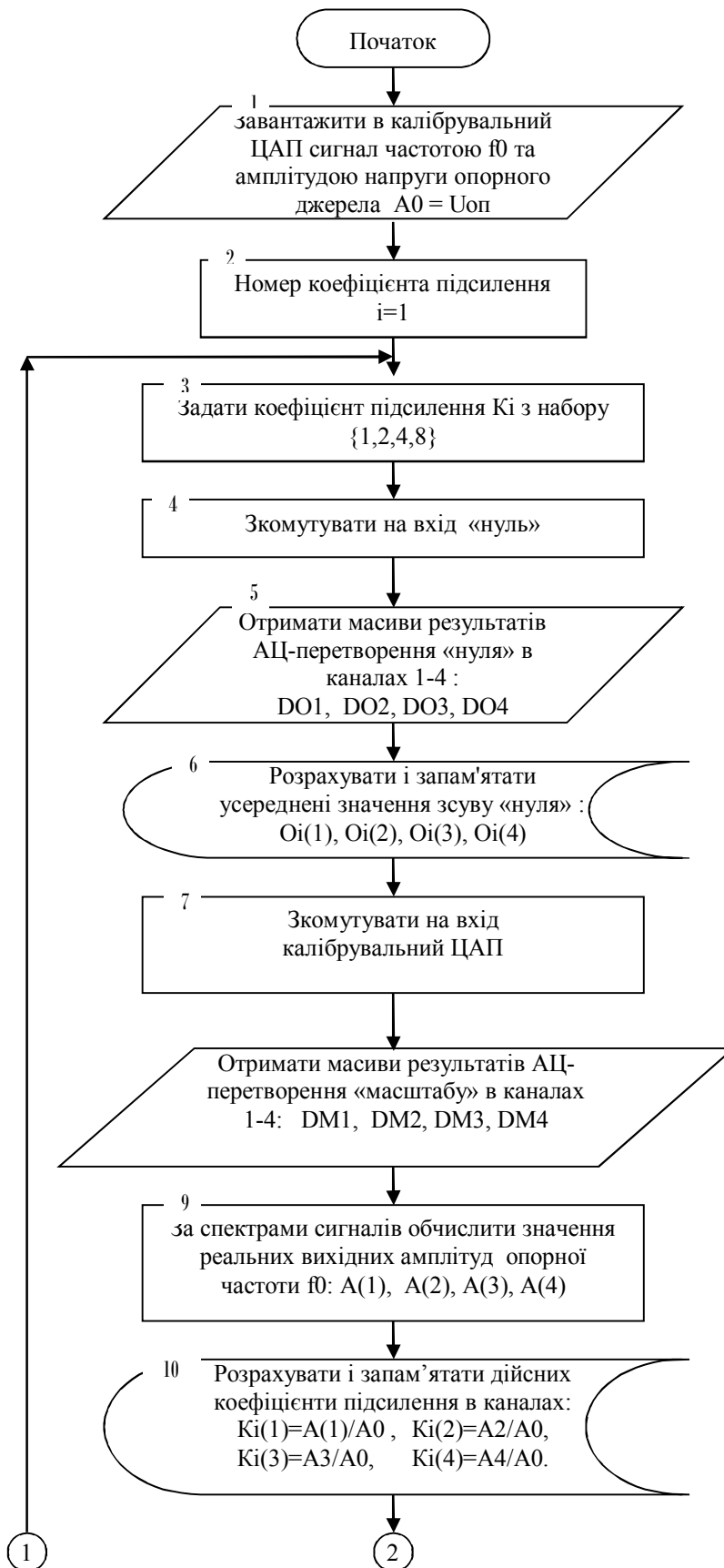
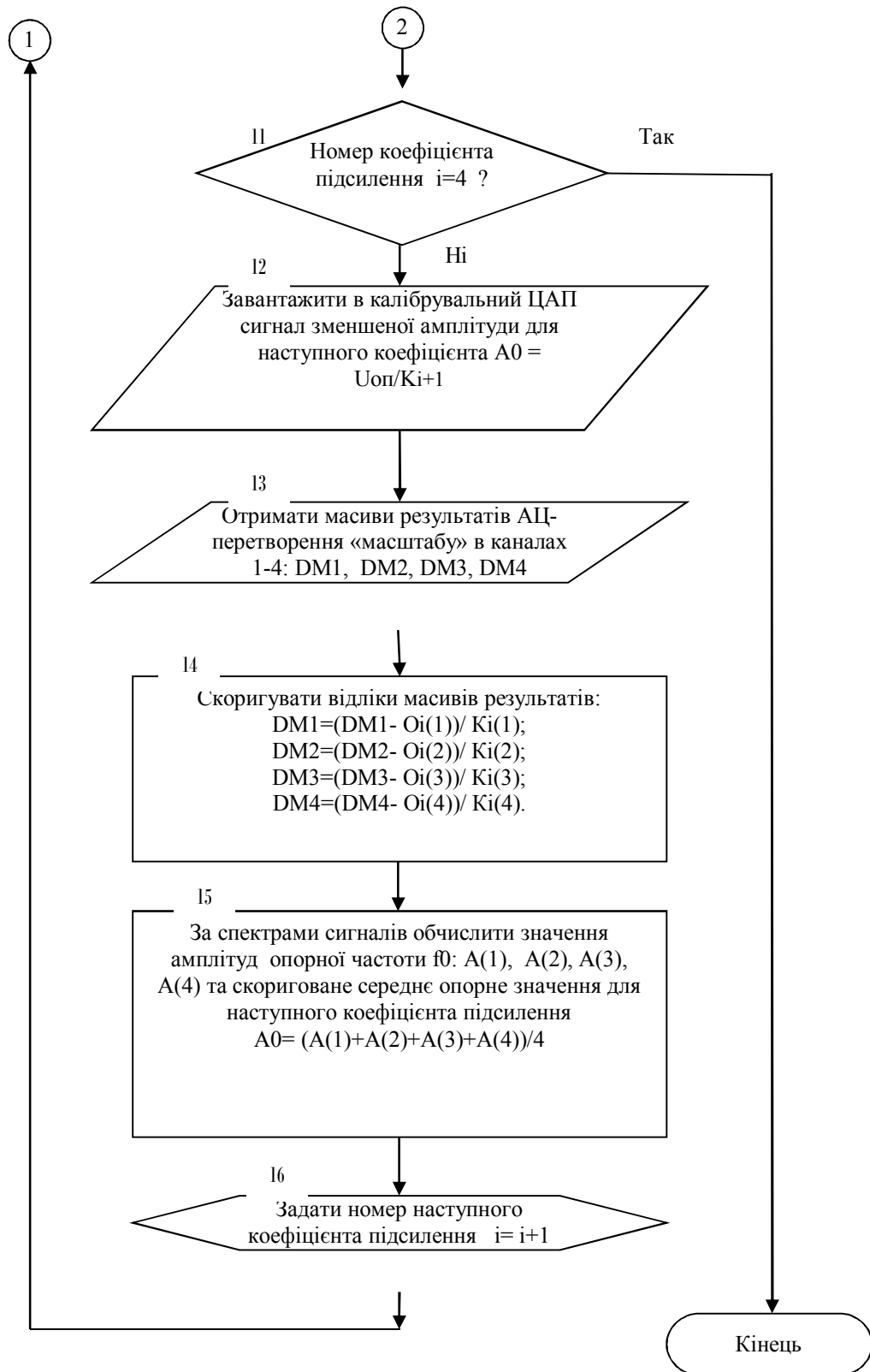


Рис. 2. Блок-схема алгоритму калібрування зсувів «нуля» і коефіцієнтів підсилення в каналах.



Продовження рис. 2.

Передбачається визначення зсувів «нуля» та дійсних коефіцієнтів підсилення в кожному з чотирьох каналів та

на кожному з чотирьох коефіцієнтів підсилення K_i з набору $\{1,2,4,8\}$.

Алгоритм калібрування коефіцієнтів підсилення реалізовано за процедурою «зверху вниз». Спочатку на калібрувальний ЦАП подається гармонійний сигнал амплітуда повної шкали A_0 , яка дорівнює напрузі опорного джерела. Для коефіцієнта підсилення $K_i=1$ визначаються поточні цифрові значення результатів АЦ-перетворення «нуля» O_1 та опорного сигналу A .

Дійсний коефіцієнт підсилення в режимі калібрування коригується в кожному з каналів за виразом: $K_1 = A/A_0$. В режимі безпосереднього АЦ-перетворення вхідних відліків сигналів S на першому коефіцієнті підсилення відбувається наступне коригування: $S^* = (S - O_1) * K_1$.

Після закінчення калібрування на першому коефіцієнті підсилення, отримані значення O_1 і K_1 використовуються для визначення точного значення напруги опорного сигналу для наступного коефіцієнта K_2 . Для цього опорний сигнал калібрувального ЦАП зменшується в K_2/K_1 раз та подається на вимірювальні канали, в яких встановлено попередній коефіцієнт підсилення K_1 . Після застосування відкаліброваних значень зсуву «нуля» O_1 і коефіцієнта підсилення K_1 визначається дійсне значення опорного сигналу A_0 , яке і буде використовуватись під час калібрування O_2 і K_2 на другому коефіцієнті підсилення. Описана процедура повторюється також для коефіцієнтів K_3 і K_4 .

На рисунку 2 наведено основні операційні блоки алгоритму запропонованого методу калібрування. На початку із зовнішнього комп'ютера здійснюється завантаження в калібрувальний ЦАП максимального за амплітудою опорного моногармонійного сигналу частотою f_0 (блок 1). При цьому амплітуда циклічно відтворюваного сигналу буде дорівнювати напрузі опорного джерела живлення $A_0=U_0$. Для використаної мікросхеми ADR03 ця напруга складає $(2,5 \pm 0,005)$ В, а її значення залишається стабільним в широкому діапазоні температур експлуатації.

Далі виконується описаний вище ітераційний алгоритм «зверху вниз» калібрування «нуля» і коефіцієнтів підсилення в кожному з чотирьох вимірювальних каналів. Номер діапазону підсилення $i = \{1,2,3,4\}$ визначає одне із чотирьох значень коефіцієнта підсилення K_i з набору $i = \{1,2,3,4\}$ (блоки 2,3). Після комутації «нуля» на вхід аналогових комутаторів проводиться отримання проміжних масивів цифрових даних результатів АЦ-перетворення в каналах 1 - 4: $D_{01}, D_{02}, D_{03}, D_{04}$ (блоки 4, 5). Кожний із масивів розмірністю 256 – 1024 відліків усереднюється для знаходження значення зсувів «нуля» для кожному i -ого коефіцієнта підсилення (блок 6): $O_i(1), O_i(2), O_i(3), O_i(4)$.

Визначення дійсних коефіцієнтів підсилення в каналах здійснюється після подачі сигналу калібрувального ЦАП на входи вимірювальних каналів (блок 7) та отримання проміжних масивів результатів АЦ-перетворення в каналах 1 - 4 (блок 8): DM_1, DM_2, DM_3, DM_4 . Кожний з масивів даних, розмірністю 256 – 1024 відліків передається на зовнішній комп'ютер, де відбувається спектральний аналіз сигналів методом швидкого перетворення Фур'є.

Здійснюється виділення спектральних складових $A(1), A(2), A(3), A(4)$ на опорній частоті f_0 (блок 9). Відношення цих амплітуд до амплітуди опорного сигналу визначає дійсні коефіцієнти підсилення в каналах (блок 10):

$$K_i(1) = A_1 / A_0, K_i(2) = A_2 / A_0,$$

$$K_i(3) = A_3 / A_0, K_i(4) = A_4 / A_0.$$

Наступним кроком калібрування є завантаження і точне вимірювання сигналу калібрувального ЦАП для наступного $(i + 1)$ -го діапазону підсилення, але з використанням відкоригованих значень на i -ому діапазоні (блоки 11 -15). Ця процедура також передбачає отримання проміжних масивів даних DM_1, DM_2, DM_3, DM_4 (блок 13), їх попереднє коригування з урахуванням раніше отриманих зсуву «нуля» та дійсних значень коефіцієнтів підсилення K_i (блок 14).

Безпосереднє визначення амплітуди сигналу калібрувального ЦАП для $(i + 1)$ діапазону підсилення також здійснюється за спектрами сигналів в кожному із чотирьох каналів та з наступним отриманням скоригованого середнього значення A_0 (блок 15). Описані операції калібрування і корекції виконуються послідовно для всіх чотирьох діапазонів підсилення в циклі, організованому по номеру діапазону i (блоки 1,11,16).

Описаний алгоритм калібрування реалізовано в розробленій авторами 4-канальній самокалібруваній АЦ-системі опрацювання біомедичних сигналів SADS-4. Початкові значення приведених до діапазонів вимірювань похибки та неідентичності статичних передатних характеристик вимірювальних каналів зменшується в результаті коригування від 3 до 10 раз, до рівня 0.03% в діапазоні робочих температур $0...+50$ °С..

IV. ВИСНОВКИ

Запропоновано ітераційний метод самокалібрування передатних характеристик багатоканальних АЦ-систем з програмованими діапазонами підсилення. Наведено структурну і алгоритмічну реалізацію методу калібрування і корекції. Застосування запропонованого методу калібрування дозволяє суттєво зменшити похибки та підвищити ідентичність вимірювальних каналів розробленої АЦ-системи для опрацювання акустичних і оптичних біомедичних сигналів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Л.В. Крупельницький, О. Д. Азаров. 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] О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, А. В. Снігур, О. О. Решетнік, В. А. Гарнага. Коригування статичних похибок вимірювального каналу ІВС, який містить АЦП із ваговою надлишковістю // Проблеми інформатизації та управління. – 2007. – №2. – С. 5 – 9.
- [3] Л.В. Крупельницький. Характеристики і структури багатоканальних АЦ-систем, що самокорегуються, для аналізу аудіо сигналів / Л.В.Крупельницький // Тези доповідей П'ятої Міжнародної науково-практичної конференції "Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації". Україна, Вінниця, 19-21 квітня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С.129-133.