

В.М. ЛИСОГОР  
Вінницький національний аграрний університет  
А.В. СНИГУР, Р.М. ВІКУЛОВ  
Вінницький національний технічний університет

## КОРИГОВАНІ І НЕКОРИГОВАНІ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ІВС ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ СТИБКОПОДІБНИХ СИГНАЛІВ

*В статті проведеной аналіз коригованих і некоригованих похибок вимірювального каналу ІВС для опрацювання стрибкоподібних сигналів. На основі проведеного аналізу сформовані рекомендації щодо підвищення загальної точності вимірювання показників біологічно активних точок.*

*Ключові слова: стрибкоподібні сигнали, біологічно-активна точка, похибки, інформаційно-вимірювальна система.*

V. M. LISOGOR  
Vinnytsia National Agrarian University  
A. V. SNIGUR, R. M. VIKULOV  
Vinnytsia National Technical University

### CORRECTED AND UNCORRECTED ERRORS OF MEASURING CHANNEL IMS FOR WORKING OF SALTATORY SIGNALS

*Abstract – In the article the analysis of the corrected and uncorrected errors of measuring channel of YVS is conducted for working of saltatory signals. On the basis of the conducted analysis formed recommendation in relation to the increase of general exactness of measuring of indexes of biologically active points.*

*Keywords: saltatory signals, biologically-active point, errors, informatively-measuring system.*

#### Вступ

Підвищення загальної точності вимірювання параметрів стрибкоподібних сигналів у акустичних дослідженнях, сейсмозвідці та при діагностуванні стану здоров'я людини за допомогою біологічно-активних точок (БАТ) в значній мірі залежить від врахування похибок вимірювальних каналів (ВК) ІВС. Існуючі методи отримання параметрів перерахованих сигналів як правило враховують окремі складові загальної похибки, зокрема вплив шуму або погодинну активність меридіанів для БАТ. У той же час вирішення питання зменшення впливу похибок не здійснюється комплексно із врахуванням недоліків існуючих методів [1–5]. Отже, актуальною проблемою є комплексне врахування складових похибок ВК ІВС опрацювання стрибкоподібних сигналів.

#### Мета публікації

Метою публікації є аналіз статичних коригованих і некоригованих похибок ВК ІВС опрацювання стрибкоподібних сигналів та формування рекомендацій щодо підвищення загальної точності вимірювання параметрів сигналів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі: здійснити аналіз процесу формування загального результату вимірювання рівня струму (напруги) стрибкоподібного сигналу; розглянути похибки складових елементів ВК ІВС; сформулювати рекомендації щодо підвищення загальної точності вимірювання параметрів сигналів.

#### Основний результат дослідження

Процес вимірювання параметрів стрибкоподібних сигналів у ВК ІВС зазнає впливу статичних похибок. Така обставина вимагає дотримання певних вимог щодо забезпечення метрологічних характеристик системи. Зменшення статичних похибок дозволяє здійснювати більш точні вимірювання у багатоканальних системах у сейсмозвідці, акустиці та у напрямку спостереження за точками акупунктури людини.

У загальному випадку похибку ІВС для опрацювання стрибкоподібних сигналів визначають похибки складових елементів її ВК. Вплив таких похибок на кінцевий результат вимірювання сигналів може виражатися у значному спотворенні їх форми, що в подальшому, наприклад, ускладнює пошук корисних копалин. Нижче наведений рисунок (рис. 1) із зазначеними спотвореннями.

Розглянемо, як формується загальний результат вимірювання у ІВС (рис. 2) рівня струму (напруги) стрибкоподібного сигналу (рис. 1). Тут  $k$  – кількість каналів, знаком плюс позначений суматор,  $K_1$ ,  $K_2$  – комутатори, ПВЗ – пристрій вибірки і зберігання, СЦОП – спеціалізований цифровий обчислювальний пристрій, ЦАП – калібрувальний ЦАП, БК – блок керування,  $y_i$  – сигнали керування,  $\Phi$  – фільтри, АЦП із с/к – АЦП із самокалібруванням.

На основі описаного вище, розглянемо похибки складових елементів ВК ІВС (рис. 3). Проходячи через давач Д ВК, сигнал зазнає впливу похибки зміщення нуля  $\Delta_{0d}$  давача та похибки лінійності його передатної характеристики, в результаті на виході отримується напруга  $U_d$ . Потім сигнал проходить через підсилювач П, тут впливають похибки: зміщення нуля підсилювача  $\Delta_{0n}$ , масштабу  $\Delta_{mn}$ , лінійності  $\Delta_{ln}$ , в результаті на виході П отримується напруга  $U_n$ . Після проходження П, сигнал поступає на комутатор К, де зазнає впливу похибок  $b_i$  – прямого проходження сигналу через закриті ключі, в результаті на виході К

отримується напруга  $U_k$ . У АЦП сигнал врівноважуються, однак тут впливають похибки: зміщення нуля  $\Delta_0$ , масштабу  $\Delta_m$ , лінійності  $\Delta_l$ , в результаті перетворення на виході АЦП формується вихідний код  $N_{вих}$ , який подається у цифрову частину ІВС.

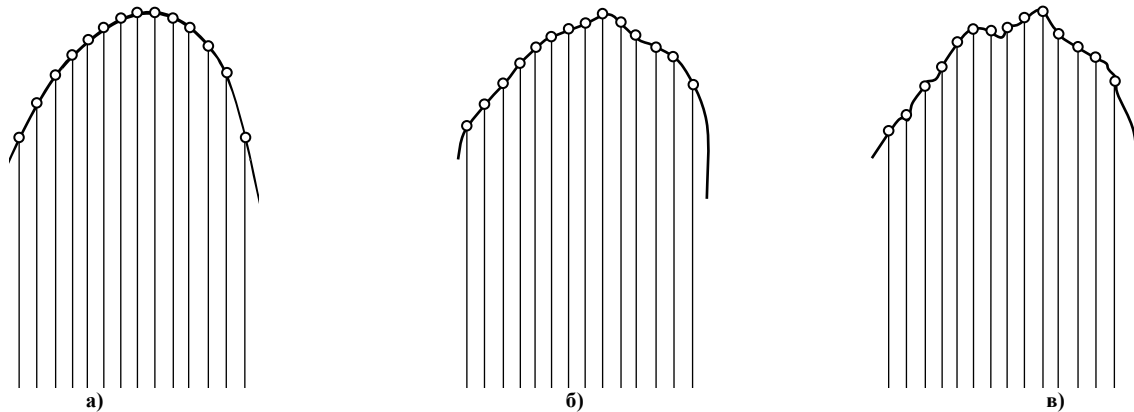


Рис.1. Спотворення квантованого сейсмосигналу за умови впливу похибок масштабу та нуля:  
а – ідеальне квантування; б – вплив похибок масштабу; в – вплив похибок нуля та масштабу

Розглянемо рекомендації щодо зменшення статичних похибок. Статичні похибки ВК у значній мірі можна зменшити шляхом калібрування його передатної характеристики, зокрема шляхом коригування похибок зміщення нуля і похибок масштабу. У будь-якому ВК мають місце інструментальні похибки: давачів, підсилювачів, комутатора, АЦП. Враховуючи, що підсилювач, який використовується у системі, може мати відносно великий коефіцієнт підсилення та відповідно вносити велику похибку у канал, то спочатку розглянемо даний елемент. Статична передатна характеристика підсилювача у складі ВК може бути апроксимована виразом [6]

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

де  $a_0$  – адитивна складова похибки (відповідає похибці зсуву “нуля”),  $a_1$  – мультиплікативна складова (коефіцієнт підсилення),  $a_i$  – коефіцієнти, які характеризують відхилення форми статичної передатної характеристики від прямої лінії (як правило в розрахунках обмежуються  $i \leq 5$ ).

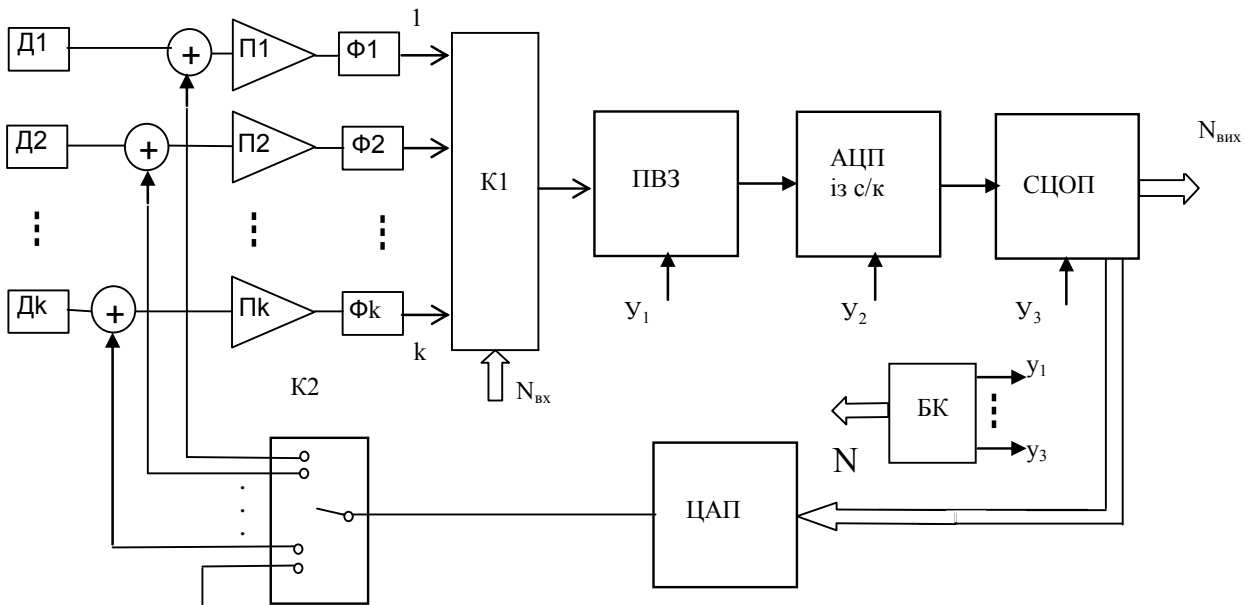


Рис. 2. ІВС із самокалібруванням

Відхилення  $a_0, a_1, a_i$  від ідеальних значень  $a_{0и}, a_{1и}, a_{ии}$  визначають похибки:

адитивну  $\Delta_0 = a_{0и} - a_0,$

мультиплікативну  $\Delta_m = a_1 / a_{1и},$

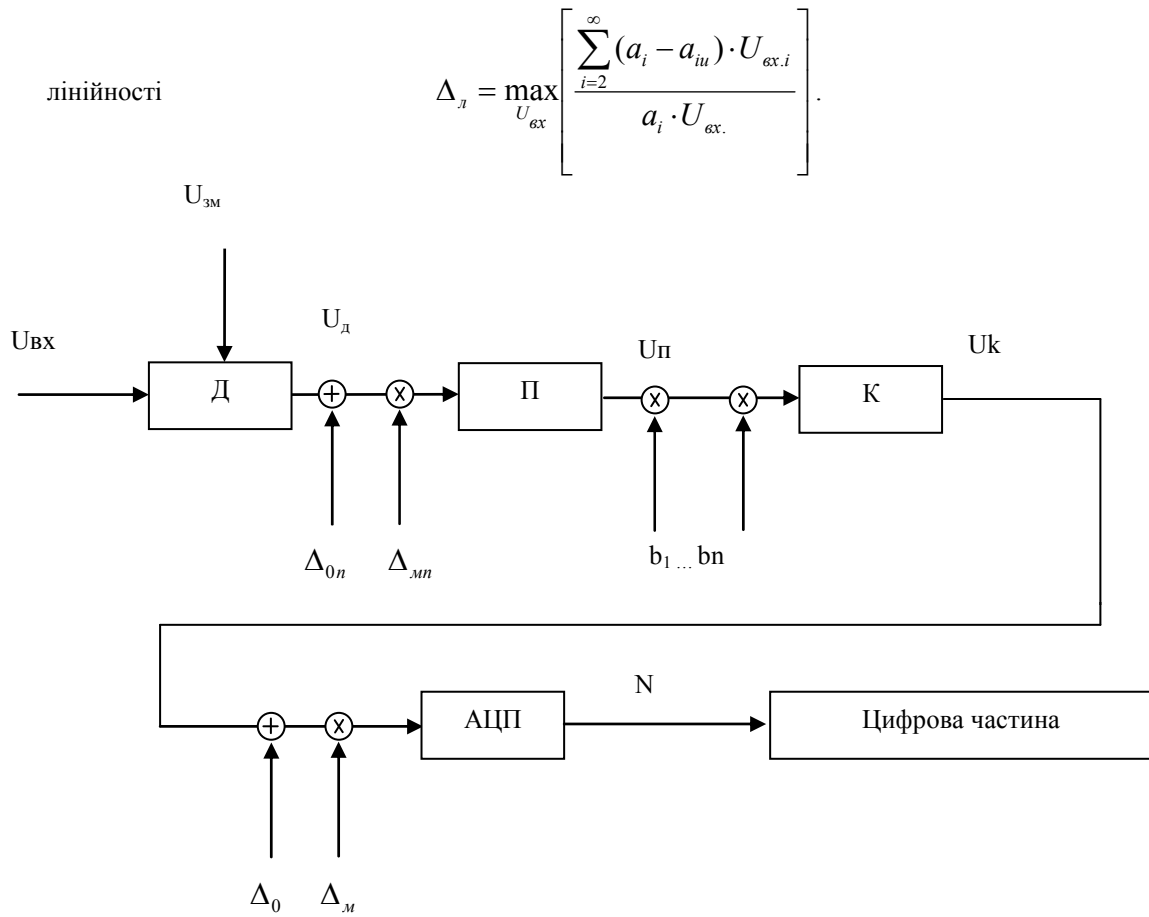


Рис. 3. Модель складових інструментальних похибок аналогової частини ВК

Коригування даних похибок можна здійснювати при вмиканні ІВС та після змінення температури навколишнього середовища.

Характерною особливістю сучасних ІВС опрацювання стрибкоподібних сигналів є наявність у складі їх ВК АЦП на основі звичайної двійкової системи числення [2–7]. Взагалі у всіх зазначених ПІ в процесі експлуатації під дією різних зовнішніх факторів (наприклад температури, природного процесу старіння елементів) змінюються метрологічні характеристики, що може призводити до отримання помилкових значень вимірювальних параметрів сигналів.

Застосування НПСЧ у АЦП дає можливість покращити характеристики як АЦП так і каналу в цілому шляхом здійснення процедури самокалібрування. Під самокалібруванням розуміється коригування похибок ВК із перериванням основного режиму роботи системи (вимірювання). Багатозначність представлення чисел у надлишковій системі дає можливість усунути розриви у характеристиці передачі АЦП, здійснювати періодично самокалібрування пристрою, наприклад при зміні температури навколишнього середовища, порівняно із двійковими, та додатково підвищити швидкодію та точність перетворення внаслідок компенсації динамічних похибок першого та другого роду. Окрім цього такі перетворювачі можна будувати на неточній елементній базі – за спрощеною технологією без використання лазерного припасування із максимально допустимою відносною інструментальною похибкою формування ваг розрядів  $\delta Q_{i \max}$ .

Комутатор у складі ВК ІВС характеризується похибкою прямого проходження сигналів через закриті ключі. Коригування даних похибок можливе при введенні у структуру ІВС додаткового ЦАП для подачі тестових сигналів. Якщо подати однакову тестову напругу  $U_{\text{вх.ком}}$  одночасно на всі входи К (тільки один ключ розімкнений), то на основі (2.3) для відкритого першого входу (розімкнений ключ) отримаємо таке рівняння

$$U_{\text{вих.ком.1}} = U_{\text{вх.ком.1}} + b_{1,2} U_{\text{вх.ком.2}} + b_{1,3} U_{\text{вх.ком.3}} + \dots + b_{1,n} U_{\text{вх.ком.n}}$$

де  $b_{i,n}$  – похибки від неповного замикання  $i$ -го ключа,  $n$  – кількість входів комутатора.

Подаючи однакові  $U_{\text{вх.ком}}$  на розімкнуті по черзі  $n$  входів К, можна отримати систему з  $n$  рівнянь та  $n$  невідомих  $b_i$ . Розв'язуючи дану систему відносно  $b_i$  та записуючи обчислені значення у пам'ять СЦОП каналу, можна в подальшому враховувати похибки від неповного замикання шляхом обчислення вхідних напруг для кожного з входів на основі зазначеної системи. Щодо характеристик давачів, то в даній роботі розглядається похибка зміщення нуля.

Основні похибки елементів ВК ІВС наведені у таблиці 1. Зменшення впливу перелічених похибок можливо здійснювати шляхом їх послідовного виключення із кінцевого результату вимірювання. Проте

існує можливість калібрування похибок зміщення нуля та масштабу каналу у цілому за допомогою АЦП на основі НПСЧ.

Таблиця 1

## Похибки елементів ВК системи

Елементи ВК	Похибки	Можливо коригувати
Давачі	зсув “нуля” $\Delta_{0d}$ , масштабу $\Delta_{md}$	$\Delta_{0d}$ , $\Delta_{md}$
Підсилювачі	зсув “нуля” $\Delta_{0n}$ , масштабу $\Delta_{mn}$ , лінійності $\Delta_{ln}$	$\Delta_{0n}$ , $\Delta_{mn}$ , $\Delta_{ln}$
Комутатор	Міжканальні завади	не коригуються
	Рівень струму на виході при замкнених ключах $b$ , зсув нуля $\Delta_{0k}$	$b$ , $\Delta_0$
ПВЗ	зсув “нуля” $\Delta_{0nv}$ , масштабу $\Delta_{mv}$	$\Delta_{0nv}$ , $\Delta_{mv}$
АЦП	зсув “нуля” $\Delta_0$ , масштабу $\Delta_m$ , лінійності $\Delta_l$	$\Delta_0$ , $\Delta_m$ , $\Delta_l$

Застосування АЦП із ваговою надлишковістю у структурі ВК системи дозволяє послідовно включати у його коло калібрування елементи каналу, калібрувати характеристики каналу в цілому та зменшувати вплив похибок його складових елементів на кінцевий результат вимірювання стрибкоподібних сигналів.

## Висновки

Проаналізовано процес формування загального результату вимірювання рівня струму (напруги) стрибкоподібного сигналу, що дало змогу виявити статичні похибки ВК ІВС.

На основі проведеного аналізу сформовані рекомендації, що дозволять підвищити загальну точність вимірювання параметрів стрибкоподібних сигналів на основі калібрування характеристик ВК системи.

## Література

1. Азаров О. Д. Вимірювальна система для оцінювання активності точок акупунктури людини у стаціонарних та нестаціонарних умовах / О. Д. Азаров, А. В. Снігур // Вісник ВПІ. – Вінниця, 2006. – № 1. – С. 62–77.
2. Роїк О.М. Інваріантні перетворення параметрів елементів складних об'єктів : монографія / Роїк О.М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 152 с.
3. Колесников А. Е. Акустические измерения / Колесников А. Е. – Л.: “Судостроение”, 1983. – 240 с.
4. Ando Y. Concert hall acoustics. Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo, Springer-Verlag, 2005.
5. Основи метрології та вимірювальної техніки / [ М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик ] ; за ред. Б. Стадника. – Львів : Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. – 655 с.
6. Крупельницький Л. В. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров ; під заг. ред. О. Д. Азарова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 167 с.
7. Пат. 23748 Україна, МПК А 61 Н 39/00. Пристрій для електропунктури / О.Є. Орел, В.В. Фролов, К.Ю. Нальотов ; заявник патенту, власник патенту – Закрите товариство «Асоціація ТЕМП». – № 97031416; заявл. 26.03.97 ; опубл. 28.02.2000, Бюл. № 1. 13 с.

## References

1. Azarov O. D., Snigur A. V. Vимiryvalna sistema dlya otsinyuvannya aktivnosti tochk akupunkturi lyudini u statsionarnih ta nestatsionarnih umovah // Visnik VPI. – Vinnitsya; 2006. – N1. – S 62 – 77.
2. RoYik O.M. Invariantni peretvorenniya parametriv elementiv skladnih ob'ektiv. Monografiya. – Vinnitsya: UNIVERSUM-Vinnitsya, 2001. – 152 s. Il.
3. Kolesnikov A. E. Akusticheskie izmereniya. – L.: “Sudostroenie”, 1983. – 240 s.
4. Ando Y. Concert hall acoustics. – Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo, Springer-Verlag, 2005.
5. Osnovi metrologiyi ta vimiryvalnoyi tehniky / [ M. Dorozhovets, V. Motalo, B. Stadnik, V. Vasilyuk, R. Borek, A. Kovalchik ]; za red. B. Stadnika. – Lviv: Vidavnistvo Natsionalnogo unversitetu “Lvivska politehnika”, 2005. – 655s.
6. Krupelnitskiy L. V., Azarov O. D. Analogo-tsifrovI pristroyi sistem, scho samokoriguyutsya, dlya vimiryuvan I obroblyannya nizkochastotnih signaliv: Monografiya. / PId zag. red. O. D. Azarova. – VInnitsya: UNIVERSUM-VInnitsya, 2005 – 167 s.
7. Pat. 23748 UkraYina, MPK A 61 N 39/00 PristrIy dlya elektropunkturi/ O.E. Orel, V.V. Frolov, K.Yu. Nalotov, zayavniki patentu, vlasnik patentu – Zakrite tovaristvo «AsotislatsIya TEMP» - № 97031416; zayavl. 26.03.97; opubl. 28.02.2000, Byul. №1. – 13 s.

Рецензія/Peer review : 12.2.2015 р.

Надрукована/Printed :25.1.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Перевозніков С. І.