

УДК 581.341

Мислович Михайло ВолодимировичДоктор технічних наук, професор, orcid.org/0000-0002-6245-7917

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

Бондарчук Ольга ВячеславівнаКандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів, orcid.org/0000-0003-1893-1893

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Соболевська Тетяна ГригорівнаАсистент кафедри автоматизації технологічних процесів, orcid.org/0000-0003-4853-2367

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОМ СТАТИСТИЧНОЇ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ВІБРОДІАГНОСТИКИ

***Анотація.** З позиції статистичного підходу до вібродіагностики електротехнічного обладнання важливо визначити ряд параметрів вібраційних процесів, до яких належить математичне сподівання та дисперсія. Розроблено методику та наведено співвідношення для визначення параметрів перетворення та метрологічних характеристик лінійної моделі АЦП та вимірювального каналу (ВК). Методика ґрунтується на використанні методу статистичної лінеаризації, що дає можливість представити окремо параметри перетворення за математичним сподіванням та за дисперсією. Результатом такої обробки є діагностичне рішення про відсутність або наявності дефекту певного типу. Наведено результати експериментального визначення цих параметрів для плати введення-виведення даних типу Л-203 (з АЦП) та для ВК автоматизованої системи вібродіагностики (АСД).*

***Ключові слова:** вимірювальний канал; аналогово-цифровий перетворювач; автоматизовані системи вібродіагностики; плата введення-виведення даних типу Л-203; статистична лінеаризація*

Постановка проблеми

З позиції статистичного підходу до вібродіагностики електротехнічного обладнання важливо визначити ряд параметрів вібраційних процесів, до яких належить математичне сподівання та дисперсія. Для визначення цих параметрів використовується вимірювальний канал (ВК) системи діагностики (СД), в якому відбувається перетворення первинним перетворювачем вібраційного сигналу в аналоговий електричний сигнал, який після необхідної обробки перетворюється аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) у сигнал, дискретизований за часом та квантований за рівнем. Отриманий цифровий сигнал далі обробляється за допомогою ЕОМ. Результатом обробки є діагностичне рішення про відсутність чи наявності дефекту певного типу. Звісно, що достовірність діагностики значною мірою залежить від точності засобів вимірювання (ЗВ) та вимірювальних перетворювачів (ВП), які входять до складу ВК.

Мета статті

Розробка методики визначення похибок дискретизації АЦП та ЗВ, які мають нелінійну характеристику перетворення, і є основною метою даної роботи. Методика ґрунтується на використанні методу статистичної лінеаризації, що дає можливість отримати окремо параметри перетворення за математичним сподіванням та за дисперсією.

Крім самої методики в роботі наведені результати визначення з її допомогою метрологічних характеристик плати введення-виведення (ПВВ) інформації в ЕОМ типу Л-203 та параметри типового ВК системи вібродіагностики.

Викладення основного матеріалу

Один із основних нелінійних елементів ВК – це АЦП. Як відомо, АЦП – нелінійний вимірювальний перетворювач, характеристика перетворення (ХП) якого (тобто залежність між значеннями вхідного аналогового сигналу і вихідного коду) має ступінчастий вигляд. Це призводить до виникнення

в ідеального АЦП методичної похибки квантування. В реальних перетворювачів, на відміну від ідеальних, ширина всіх кодових комбінацій може бути різною, внаслідок такої невідповідності параметрів реальної ХП параметрам номінальної виникає інструментальна похибка.

В даній роботі розглядаються тільки складові похибки АЦП в статичному режимі роботи в нормальних умовах, тобто розглядаються основні, статичні складові похибки.

Як відомо, АЦП призначений для перетворення вхідного неперервного сигналу в дискретизований для подальшої обробки з допомогою ЕОМ. Ідеальним будемо вважати такий АЦП, який перетворює сигнал на вході x в дискретизований сигнал y_d за формулою:

$$y_d = \left[x/h \right], \quad 0 \leq x \leq U_{\max}, \quad (1)$$

де h – крок дискретизації в одиницях вхідного сигналу; $U_{\max}$ – максимально допустимий рівень вхідного сигналу; $[\cdot]$ – ціла частина.

При цьому вимірюється в одиницях молодшого розряду (ОМР) і може приймати значення від 0 до N_k-1 , де N_k – кількість кодових комбінацій для даного типу АЦП. Величина N_k пов'язана з кількістю двійкових розрядів m_p , якими представляється дискретизований сигнал, співвідношенням $N_k = 2^{m_p}$. Результатом вимірювання (вихідним сигналом) будемо вважати величину $y = y_d \cdot h$, яка виражається в одиницях вхідного сигналу. При цьому, коли $x = k \cdot h$, $k = 0, 1, \dots, N_k - 1$, значення вихідного сигналу буде збігатися зі значенням вхідного. В усіх інших випадках буде відхилення, в результаті чого виникатиме похибка дискретизації. Як видно з виразу (1), ідеальний АЦП є нелінійною безінерційною системою з динамічною характеристикою (1).

Більшість сучасних АЦП характеризується великою кількістю розрядів, що дає змогу використати для їх аналізу лінійну модель [6; 9]:

$$y = k_1 x + k_0, \quad (2)$$

де x – вхідний, а y – вихідний сигнали; k_1 – коефіцієнт перетворення та k_0 – зміщення нуля.

Оскільки під час роботи будь-якого засобу вимірювання завжди виникають випадкові похибки, то величини k_0 і k_1 є випадковими. Будемо вважати, що вони розподілені за нормальним законом ймовірностей і незалежні. При цьому для характеристики величин k_0 і k_1 достатньо знати їх математичні сподівання і дисперсії. Ці параметри можуть бути визначені експериментально.

Таким чином, залежність, яка розглядається у виразі (2), носить випадковий характер навіть якщо вхідний сигнал є детермінованим. В такому випадку для визначення величин k_0 і k_1 природно використовувати статистичні методи, зокрема, лінійну регресію. Задача лінійної регресії полягає в побудові оцінок величин k_0 і k_1 , що входять до виразу (2), на основі незалежних спостережень значень y при заданих значеннях x . Будемо вважати, що для кожного фіксованого x_n , $n = \overline{1, N}$ отримано $K+1$ реалізацій y_{nj} , $j = \overline{0, K}$, причому, дисперсія величин y_{nj} однакова. Для знаходження оцінок $\hat{k}_0$ і $\hat{k}_1$ параметрів лінійної регресії використаємо метод найменших квадратів [5]. В нашому випадку згідно з цим методом необхідно мінімізувати суму

$$\sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - \hat{k}_0 - \hat{k}_1 x_n)^2,$$

де $\bar{y}_n = \frac{1}{K+1} \sum_{j=0}^K y_{nj}$ – середнє реалізацій y_{nj} при впливі вхідного сигналу зі значенням, що дорівнює x_n $n = \overline{1, N}$.

При цьому отримуємо такі вирази:

$$\hat{k}_1 = \frac{S_{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x - (\bar{x})^2}, \quad \hat{k}_0 = \bar{y} - \hat{k}_1 \bar{x}, \quad (3)$$

де $S_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \bar{y}_n$, $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n$, $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{y}_n$,

$$S_x = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2.$$

Дисперсії оцінок (3) можна визначити з виразів

$$D\{\hat{k}_0\} = \frac{D_{\bar{y}} \cdot S_x}{N(S_x - (\bar{x})^2)}, \quad D\{\hat{k}_1\} = \frac{D_{\bar{y}}}{N(S_x - (\bar{x})^2)}, \quad (4)$$

де $D_{\bar{y}}$ – дисперсія величин $\bar{y}_n$ (в зв'язку з припущенням, зробленим вище, дисперсія всіх $\bar{y}_n$ однакова).

Дисперсію $D_{\bar{y}}$ можна вирахувати за дисперсією вимірювань y_{nj} . Але в даному випадку вона невідома, тому можна знайти оцінки $\hat{D}_n$ дисперсій $\bar{y}_n$ для кожного n і в якості величини $D_{\bar{y}}$ взяти їх середнє значення $\hat{D}_{\bar{y}}$. Таким чином отримаємо

$$\hat{D}_n = \frac{1}{K} \sum_{j=0}^K (y_{nj} - \bar{y}_n)^2, \quad \hat{D}_{\bar{y}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \hat{D}_n \quad (5)$$

Довірчі інтервали, в які із заданою ймовірністю p потрапляють оцінки $\hat{k}_0$ і $\hat{k}_1$, будуються наступним чином [5]:

$$I_p^{(i)} = [\hat{k}_i - t_{p,N-2} Q_i, \hat{k}_i + t_{p,N-2} Q_i], \quad i = 0, 1, \quad (6)$$

де $t_{p,N-2}$ – квантиль рівня p t -розподілу Стьюдента з $N-2$ степенями вільності,

$$Q_0 = \sqrt{\frac{S_x q}{N(S_x - (\bar{x})^2)}}, \quad Q_1 = \sqrt{\frac{q}{N(S_x - (\bar{x})^2)}},$$

$$q = \frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - \hat{k}_1 x_n - \hat{k}_0)^2. \quad (7)$$

Вирази (3) – (7) дають всю необхідну інформацію про параметри моделі (1).

При дискретизації з допомогою АЦП випадкових сигналів може бути використаний метод статистичної лінеаризації [1; 7]. Суть його полягає в тому, що нелінійна система з несуттєвою нелінійністю, яку має в нашому випадку АЦП, замінюється такою лінійною системою, математичне сподівання та дисперсія сигналу на виході якої дорівнюють відповідним параметрам на виході системи, що розглядається.

Нехай на вхід АЦП надходить гаусів випадковий процес $\eta(t)$, стаціонарний в широкому розумінні. При цьому на його виході маємо дискретизований процес $\xi(t)$, який також буде гаусовим і стаціонарним. Представимо вхідний $\eta(t)$ та вихідний $\xi(t)$ процеси у вигляді:

$$\eta(t) = m_\eta + \eta^\circ(t), \quad \xi(t) = m_\xi + \xi^\circ(t),$$

де m_η і m_ξ – математичні сподівання відповідних процесів, а $\eta^\circ(t)$ і $\xi^\circ(t)$ – центровані випадкові процеси.

Сигнал на виході лінеаризованої системи $\xi_L(t)$ можна представити у вигляді [1]:

$$\xi_L(t) = a_0 + a_1 m_\eta + \varepsilon(t) + b \eta^\circ(t), \quad t \in [0, T], \quad (8)$$

де $\varepsilon(t)$ – стаціонарний гаусів центрований випадковий процес, статистично незалежний від $\eta(t)$; a_0, a_1, b – параметри, що характеризують АЦП; $[0, T]$ – інтервал спостереження.

Позначимо $m_L = M\{\xi_L(t)\}$, де $M\{\cdot\}$ – оператор математичного сподівання.

З виразу (8) отримаємо

$$m_L = a_0 + a_1 m_\eta, \quad (9)$$

$$D\{\xi_L(t)\} = D\{\varepsilon(t)\} + b^2 D\{\eta(t)\} = c_0 + c_1 D\{\eta(t)\}, \quad (10)$$

де $c_0 = D\{\varepsilon(t)\}$, $c_1 = b^2$, $D\{\cdot\}$ – оператор дисперсії.

Згідно методу статистичної лінеаризації вимагається виконання таких умов:

$$m_\xi = m_L = a_0 + a_1 m_\eta,$$

$$D\{\xi(t)\} = D\{\xi_L(t)\} = c_0 + c_1 D\{\eta(t)\}.$$

З виразів (9) і (10) видно, що в (8) фактично застосована лінійна модель (2) окремо за математичним сподіванням та дисперсією, тому параметри цих моделей треба знаходити окремо. Величину a_1 будемо називати коефіцієнтом перетворення АЦП за математичним сподіванням, а c_1 – за дисперсією. Параметр a_0 – це зміщення нуля, а c_0 – дисперсія власних шумів АЦП.

Для експериментального визначення коефіцієнтів a_0, a_1, c_0 та c_1 лінійних залежностей на вхід досліджуваної системи слід подавати тестові сигнали з відомими математичними сподіваннями та дисперсіями. Найкращим тестовим сигналом, звичайно, є випадковий процес з параметрами, що відповідають параметрам досліджуваних сигналів при роботі ІВС статистичної діагностики. В даному випадку це гаусів випадковий процес, який може бути отриманий, наприклад, з допомогою спеціального генератора Г2-57. Але параметри цього шуму досить важко визначити на практиці, що не дає змоги використовувати його для точних вимірювань.

В якості сигналів з відомими математичними сподіваннями для визначення коефіцієнтів a_0 та a_1 на вхід АЦП можна подавати постійні детерміновані сигнали, $U_n(t) = x_n$, $x_n \in [-U_{\max}, U_{\max}]$, $n = 1, N$, де $[-U_{\max}, U_{\max}]$ – робочий вхідний діапазон системи. Для кожного n необхідно вимірювати кілька реалізацій і знаходити за ними оцінки математичного сподівання y_{nj} , $j = 0, K$, які можна вважати незалежними випадковими величинами (розподіл Гауса) з однаковою дисперсією [8].

Для знаходження оцінок $\bar{a}_0$ і $\bar{a}_1$, параметрів a_0 і a_1 використаємо метод найменших квадратів [5]. При цьому отримаємо такі вирази:

$$\bar{a}_1 = \frac{S_{xy} - \bar{x}\bar{y}}{S_x^2 - (\bar{x})^2}, \quad \bar{a}_0 = \bar{y} - \bar{a}_1 \bar{x}, \quad (11)$$

$$\text{де } \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{y}_n, \quad \bar{y}_n = \frac{1}{K+1} \sum_{j=0}^K y_{nj},$$

$$S_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \bar{y}_n, \quad S_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2.$$

Дисперсії оцінок (11) можна знайти з виразів

$$D\{\bar{a}_0\} = \frac{D_y \cdot S_x^2}{N(S_x^2 - (\bar{x})^2)}, \quad D\{\bar{a}_1\} = \frac{D_y}{N(S_x^2 - (\bar{x})^2)},$$

де D_y – дисперсія величин $\bar{y}_n$.

В даному випадку значення D_y невідоме, тому замість нього використовується оцінка $\hat{D}_y$ знайдена за співвідношенням

$$\hat{D}_y = \frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - \bar{a}_1 x_n - \bar{a}_0)^2.$$

Довірчі інтервали, які із заданою ймовірністю p накривають параметри a_0 і a_1 , будуються таким чином [5]:

$$I_{\bar{p}}^{\bar{a}_i} = \left[\bar{a}_i - t_{p,N-2} \sqrt{D\{\bar{a}_i\}}, \bar{a}_i + t_{p,N-2} \sqrt{D\{\bar{a}_i\}} \right], \quad i=0,1, \quad (12)$$

де $t_{p,N-2}$ – квантиль розподілу Стюдента з $N-2$ степенями вільності рівня p .

Для визначення коефіцієнтів c_0 і c_1 необхідно подавати на вхід системи синусоїдальні детерміновані сигнали

$U_n(t) = A_n \sin(2\pi f_0 t + \varphi)$, $A_n \in [0, U_{\max}]$, $n = \overline{1, N}$. Частоту f_0 всіх тестових сигналів виберемо однаковою. Початкова фаза φ буде випадковим чином змінюватися при кожному вимірюванні. В результаті цього вхідний сигнал можна розглядати як стаціонарний випадковий процес [4; 9]. Математичне сподівання такого процесу дорівнює нулеві, а дисперсія $A_n^2 / 2$.

Під час проведення експерименту записується кілька реалізацій $U_{nj}[r]$, $n = \overline{1, N}$, $j = \overline{0, K}$, $j = \overline{0, R}$, причому крок дискретизації за часом Δt вибирається так, щоб на один період вхідного сигналу припадало ціле число відліків і реалізація містила цілу кількість періодів. Потім для кожного рівня вхідного сигналу знаходиться $k+1$ величин

$$y_{nj} = \frac{1}{R} \sum_{r=0}^R U_{nj}^2[r], \quad n = \overline{1, N}, \quad j = \overline{0, K},$$

які є оцінками дисперсії вхідного тестового сигналу.

Оцінки $\bar{a}_0$ і $\bar{a}_1$ параметрів c_0 і c_1 також знайдемо за методом найменших квадратів. Але в цьому випадку слід врахувати, що дисперсія D_n величин y_{nj} стала при кожному j , але залежить від n , тобто від амплітуди вхідного синусоїдального сигналу. Тому, згідно [5], введемо деякі вагові коефіцієнти p_n , так щоб виконувалися умови

$$D_n p_n = \sigma^2 = \text{const}, \quad n = \overline{1, N}, \quad j = \overline{0, K}. \quad (13)$$

Конкретні значення цих коефіцієнтів знайдемо пізніше. Отже, отримаємо такі вирази:

$$\bar{c}_1 = \frac{S_{xy} \bar{p} - \bar{x} \bar{y}}{S_x^2 \bar{p} - (\bar{x})^2}, \quad c_0 = \frac{1}{\bar{p}} (\bar{y} - \bar{c}_1 \bar{x}) \quad (14)$$

$$\text{де } \bar{p} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N p_n, \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n p_n;$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n p_n, \quad \bar{y}_n = \frac{1}{K+1} \sum_{j=0}^K y_{nj};$$

$$S_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \bar{y}_n p_n, \quad S_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2 p_n.$$

Дисперсії оцінок (14) можна знайти з виразів

$$D\{\bar{c}_0\} = \frac{\bar{D}_y S_x^2}{N(S_x^2 \bar{p} - (\bar{x})^2)}, \quad D\{\bar{c}_1\} = \frac{\bar{D}_y \bar{p}}{N(S_x^2 \bar{p} - (\bar{x})^2)}. \quad (15)$$

Аналіз співвідношень (14) і (15) показує, що значення обчислених за ними величин не зміняться, якщо всі p_n помножити на одне й те ж число. Тому вибір константи σ^2 в (14) може бути довільний. Для спрощення візьмемо $\sigma^2 = 1$, тоді

$$p_n = \frac{1}{D_n}, \quad n = \overline{1, N}.$$

Замість D_n скористаємося її оцінкою $\bar{D}_n$:

$$\bar{D}_n = \frac{1}{K} \sum_{j=0}^K (y_{nj} - \bar{y}_n)^2.$$

Довірчі інтервали з ймовірністю p для оцінок $\bar{c}_0$ і $\bar{c}_1$ мають вигляд:

$$I_{\bar{p}}^{\bar{a}_i} = \left[\bar{a}_i - t_{p,N-2} \sqrt{D\{\bar{a}_i\}}, \bar{a}_i + t_{p,N-2} \sqrt{D\{\bar{a}_i\}} \right], \quad i = 0,1 \quad (16)$$

$t_{p,N-2}$ – квантиль розподілу Стюдента з $N-2$ степенями вільності рівня p .

Слід зазначити, що запропонований підхід до визначення МХ системи з АЦП має ряд переваг порівняно з відомими.

По-перше, він дає можливість аналізувати точність роботи системи в цілому при вимірюванні моментів випадкових процесів.

По-друге, при його використанні зникає необхідність розглядати «внутрішні» параметри АЦП, такі як кількість розрядів, диференціальна та інтегральна нелінійності тощо.

Для практичної реалізації розробленої методики було створено спеціальну експериментальну установку, структурна схема якої представлена на рис. 1. До складу установки входять: СПД – генератор сигналів з постійною дисперсією; СПМ – джерело сигналів з постійним математичним сподіванням; ПВВ – пристрій вводу-виводу; В – вольтметр; БПО – блок попередньої обробки; ФНЧ – фільтр нижніх частот; ФВЧ – фільтр верхніх частот; ВП – вторинний підсилювач; ЕОМ – електронно-обчислювальна машина.

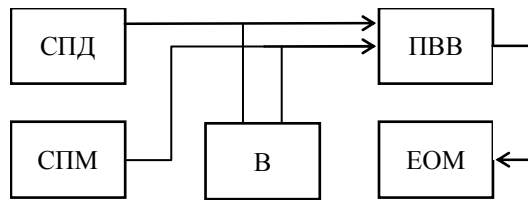


Рисунок 1 – Структурна схема експериментальної установки

Згідно з викладеною вище методикою було визначено метрологічні характеристики плати пристрою введення-виведення (ПВВ) інформації в ЕОМ та ВК системи діагностики. Використовувався ПВВ типу Л-203, до складу якого входить АЦП типу К1108КВ2 та нормуючий підсилювач. ППВ входив також до складу вимірювального каналу.

З допомогою створеної установки на вхід системи, що досліджується, можуть подаватися такі тестові сигнали:

- постійна напруга заданого рівня (в межах від -15 до $+15$ В) з виходу лабораторного стабілізатора ТЕС 7М;
- синусоїдальна напруга із заданим середньоквадратичним значенням (в межах від 0 до 1 В при плавному регулюванні та від 10 мкВ до $0,1$ В при дискретному регулюванні) з виходу генератора ГЗ-101.

Введення дискретних даних в ЕОМ здійснювалося за допомогою стандартної програми цифрового осцилографа L-card Scanner, яка поставляється разом з платою Л-203. Дані записувалися на диск у вигляді текстових файлів, після чого оброблялися згідно з формулами (11) – (16). Для цього була написана спеціальна програма.

При проведенні експериментів з визначення МХ плати Л-203, на якій крім АЦП розміщені підсилювачі, частота дискретизації становила 100 кГц. Значення постійних тестових сигналів: (В) $\pm 0,50$; $\pm 1,00$; $\pm 1,50$; $\pm 2,00$; $\pm 2,50$; $\pm 3,00$; $\pm 3,50$; $\pm 4,00$; $\pm 4,50$; $\pm 5,00$. На кожному рівні записувалося по 3 файли довжиною 10000 значень. Результати обробки даних такі:

$$\bar{a}_0 = 2,514 \cdot 10^{-3} \text{ В}; D\{\bar{a}_0\} = 2,304 \cdot 10^{-6} \text{ В}^2;$$

$$\bar{a}_1 = 1,015944; D\{\bar{a}_1\} = 2,394 \cdot 10^{-7}.$$

Для довірчої ймовірності $p=0,95$, кількості рівнів $N=10$ квантиль розподілу Стюдента $t_{p,N-2} = 2,306$ [2]. Тоді для оцінок $\bar{a}_0$ і $\bar{a}_1$ отримаємо такі довірчі інтервали:

$$a_0 \in (-0,986 \cdot 10^{-3} \text{ В}, 6,014 \cdot 10^{-3} \text{ В});$$

$$a_1 \in (1,014814, 1,017074).$$

Для визначення оцінок параметрів C_0 і C_1 на вхід плати Л-203 подавалися синусоїдальні сигнали

з середньоквадратичними значеннями (В): $0,003$; $0,005$; $0,008$; $0,01$; $0,03$; $0,05$; $0,08$; $0,1$; $0,5$; $0,8$; 1 . Частота тестових сигналів становила 5 кГц, а частота дискретизації – 100 кГц. На кожному рівні записувалося по 5 файлів довжиною 10000 відліків. Отримані такі результати:

$$\bar{c}_0 = 0,423 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2; D\{\bar{c}_0\} = 8,657 \cdot 10^{-8} \text{ В}^4;$$

$$\bar{c}_1 = 0,775316; D\{\bar{c}_1\} = 6,468 \cdot 10^{-7}.$$

Для довірчої ймовірності $p=0,95$, кількості рівнів $N=11$ квантиль розподілу Стюдента $t_{p,N-2} = 2,262$ [2]. Тоді для c_0 і c_1 отримаємо такі довірчі інтервали:

$$c_0 \in (-0,243 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2, 1,089 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2);$$

$$c_1 \in (0,773, 0,777).$$

Крім визначення похибок ППВ з АЦП визначались похибки ВК системи діагностики. При цьому використовувалась структурна схема (рис. 2).

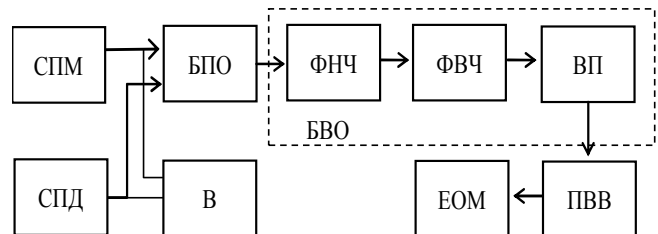


Рисунок 2 – Структурна схема системи діагностики

До складу вимірювального каналу входили: блок попередньої обробки (БПО), блок вторинної обробки (БВО), ППВ Л203. До складу БПО входить попередній підсилювач (з незмінним коефіцієнтом підсилення рівним $K_{ПП} = 7$ дБ) та блок живлення. До складу БВО входили набір фільтрів низької частоти (ФНЧ) з частотами зрізу $f_3 = 2,4,5,10$ кГц, набір фільтрів високої частоти (ФВЧ) з частотами зрізу $f_3 = 0,5;1;5;10$ кГц, та вторинний підсилювач (ВП), коефіцієнт підсилення якого $K_{ПВ}$ приймає ряд значень – $-10, 0, 10, 15, 20, 30$ дБ. При визначенні похибок були підключені ФНЧ ($f_3 = 10$ кГц), ФВЧ ($f_3 = 1$ кГц) та ВП з $K_{ВП} = 15$ дБ.

Визначення параметрів перетворення ВК з використанням постійного тестового сигналу не проводилось, тому що БПО, який розглядався в даній роботі, не передає постійної складової вхідного сигналу. Значення тестових сигналів з постійною дисперсією брались такі ж, як і при визначенні похибок ПВВ Л203. Була вибрана частота тестового синусоїдального сигналу $f_c = 5$ кГц, частота дискретизації $f_d = 100$ кГц, час вимірювання $0,1$ с. На кожному рівні записувалося по 5 файлів довжиною 10000 відліків.

В результаті розрахунків отримано такі результати:

$$\bar{c}_0 = 9,035 \times 10^{-3} \text{ В}^2; D\{\bar{c}_0\} = 1,295 \cdot 10^{-4} \text{ В}^4;$$

$$\bar{c}_1 = 2,290 \times 10^4; D\{\bar{c}_1\} = 9,087 \cdot 10^3.$$

Для довірчої ймовірності $p=0,95$, кількості рівнів $N=13$ квантиль розподілу Стюдента $t_{p,N-2} = 2,201$ [2]. Тоді для c_0 і c_1 отримаємо довірчі інтервали:

$$c_0 \in (-1,012 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2, 34,082 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2);$$

$$c_1 \in (22690, 23110).$$

Висновки

Запропонована методика експериментального визначення МХ ВК системи вібродіагностики з АЦП, що ґрунтується на використанні методу статистичної лінеаризції. Ця методика була практично застосована для визначення МХ ПВВ типу Л-203 та типового ВК ІВС вібродіагностики. Наведені співвідношення справедливі не лише для АЦП, а також і для широкого класу ВК з несуттєвими нелінійностями.

Список літератури

1. Бідний М.С., Фриз М.С. Метрологічні характеристики аналого-цифрового перетворення випадкових процесів // Технічна електродинаміка. – 2000. – С. 69 – 71.
2. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
3. Казаков И.Е. Доступов Б.Г. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 332с.
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
5. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. – М.: Физматгиз, 1962. – 352 с.
6. Сисак Р.М. Установка для натурного моделювання на основі АЦП при дослідженнях метрологічних характеристик ІВС // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. Т.2. Науковий редактор проф. В.І. Моссаковский: збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: навчальна книга. – 1999. – С. 128 – 134.
7. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике // Под ред. В.С. Королюка. – К.: Наукова думка, 1978. – 584 с.
8. Келин Ю.М. Типовые элементы систем автоматизированного управления. – М.: Форум, 2002.
9. Цюцюра В.Д., Цюцюра С.В. Метрологія та основи вимірювань. Навч. посіб.- К.: Знання-Прес, 2003. – 180 с.
10. Бабак В.П., Бабак С.В., Ерменко В.С. и др.; под ред. Чл.-корр. НАН Украины В.П. Бабака / Теоретические основы информационно – измерительных систем: Учебник. – К.: «София – А», 2014. – 832 с.

Стаття надійшла до редколегії 15.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.І. Мазуренко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Мыслович Михаил Владимирович

Доктор технических наук, профессор, заведующий научным отделом
Институт электродинамики НАН Украины, Киев

Бондарчук Ольга Вячеславовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Соболевская Татьяна Григорьевна

Ассистент кафедры автоматизации технологических процессов,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Аннотация. При статистическом подходе к вибродиагностике электротехнического оборудования важно определить ряд параметров вибрационных процессов, к которым относится математическое ожидание и дисперсия. Разработана методика и приведены соотношения для определения параметров преобразования и метрологических характеристик линейной модели АЦП и измерительного канала (ИК) в автоматизированных системах диагностики. Методика основана на использовании метода статистической линейаризации, что дает возможность представить отдельно параметры преобразования по математическому ожиданию и по дисперсии. Результатом такой обработки является диагностическое решение об отсутствии или наличии дефекта определенного типа. Приведены результаты экспериментального определения этих параметров для платы ввода-вывода данных типа Л-203 (с АЦП) и для ИК автоматизированной системы вибродиагностики (АСД).

Ключевые слова: измерительный канал; аналогово-цифровой преобразователь; автоматизированные

Myslovych Mykhaylo

Doctor of technical sciences, professor, head of scientific department
Electrodynamics Institute NAS Ukraine, Kiev

Bondarchuk Olga

Candidat of technical sciences, Department of Process Automation
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

Sobolevskaya Tatyana

Assistant, Department of Process Automation
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

CALCULATION OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS FOR AUTOMATED SYSTEMS OF VIBRODIAGNOSTICS BY METHOD OF STATISTICAL LINEARIZATION

Abstract. In a statistical approach to vibration diagnostics of electrical equipment it is important to determine the number of parameters of vibration processes, among which are the mathematical expectation and dispersion. For determining these parameters, measuring channel (infrared) of a diagnostic system (DS) is used, which converts the signal from the primary vibration transducer into an analog electrical signal. The technique has been developed and relations are presented to determine the transformation parameters and the metrological characteristics of a linear model of an analog-to-digital converter (ADC) with measurement channel (MC) in automated systems of diagnostics. The technique is based on the method of statistical linearization, as the result of which we get presentation of conversion parameters, based on mathematical expectation and dispersion separately. Final result is a diagnostic decision about presence or absence of a certain defect type. The results of experimental determination of the parameters for the input-output board type L-203 (with ADC) and for the MC of Automated System of Vibrodiagnostics (ASV).

Keywords: measurement channel; analog-to-digital converter; automated systems of vibrodiagnostics; input-output board type L-203; statistical linearization

References

1. Bidny M.S., Friz M.E. Metrological characteristics of analog to digital conversion of random processes // Technical electrodynamics, 2000, 69 – 71.
2. Bolshev L.N., Smirnov N. V. Tables of mathematical statistics. – Moscow: SCIENCE, 1983. – 416 p.
3. Kazakov I.E. Dostupov B.G. Statistical dynamics of non-linear automatic systems. – Moscow: State publishing house of mathematical and physical literature, 1962.-332p.
4. Levin B.R. Theoretical bases of statistical radiotechnics. – Moscow: Radio and communications, 1989. – 656 p.
5. Linnik U.B. Least-squares method and basics of statistical theory of signal processing of observations. – Moscow: Phisimatgiz, 1962. – 352 p.
6. Sysak R.M. Installation for natural simulation, using ADC, for metrological research of IBC characteristics // Actual problems of automation and information technology. Edited by prof. V.I. Mosakovskij Collection of scientific articles. – Dnipropetrovsk: Textbook. – 1999 p. – p. 128 – 134.
7. Koroluk V.S., Portenko N.I., Skorohod A.V., Turbin A.F. Reference book on theory of probability and mathematical statistics // Edited by. V.S. Koroluk. – Kiev: Naukovadumka, 1978. – 584 p.
8. Kelin U.M. Typical elements of automated control systems. – Moscow: Forum, 2002.
9. Tsutsura V.D., Tsutsura S.V. Metrology and measurement fundamentals. Tutorial. – Kiev: «Znannya – Pres», 2003.
10. Babak V.P., Babak S.V., Jeremenko V.S. and others; edited by Correspondent member of NAS of Ukraine V.P.Babak/ Theoretical bases of information measurement systems. Manual. – Kiev: «Sophia – A», 2014. – 832 p.

Посилання на публікацію

- APA Myslovych Mykhaylo, Bondarchuk Olga, & Sobolevskaya Tatyana (2016). Calculation of metrological characteristics for automated systems of vibrodiagnostics by method of statistical linearization, Management of Development of Complex Systems, 26, 194 – 200.
- ГОСТ Мислович М. В. Визначення метрологічних характеристик методом статистичної лінеаризації в автоматизованих системах вібродіагностики [Текст] / М.В. Мислович, О.В. Бондарчук, Т.Г. Соболевська // Управление развитием сложных систем. – 2016. – № 26. – С. 194 – 200.