

О. В. Осельський¹
В. В. Кухарчук¹

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ ВІБРОЗМІЩЕННЯ З ЄМНІСНИМ СЕНСОРОМ

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто важливість застосування вібромоніторингу як ефективного засобу діагностування стану електромеханічних систем і комплексів у виробничому середовищі. Наведено особливості діагностування, що виникають під час моніторингу електромеханічних систем які працюють на низьких обертах, а саме низька частота вібрацій, слабка амплітуда сигналів та вплив зовнішніх шумів. Проаналізовано істотні недоліки сенсорів низькочастотних віброзміщень, серед яких варто відзначити низьку надійність і не високу точність в смузі інфранизьких частот, складність монтажу, високу вартість. А застосування акселерометрів, основним параметром вимірювання яких є віброприскорення, призводить до виникнення значних похибок.

Оскільки віброзміщення є найефективнішим параметром вимірювання вібрації для машин з низькою частотою обертання, в цій роботі розглянуто застосування ємнісного сенсора вимірювального перетворення віброзміщення в часовий інтервал як основного інструмента вимірювання. Показано рівняння перетворення, структурну схему та часові діаграми його роботи.

Запропоновано мікропроцесорну схему вимірювального каналу віброзміщення з ємнісним сенсором час-імпульсного перетворення, що працює під керуванням мікроконтролера. Описано принцип дії цифрового вимірювального каналу віброзміщення в двійковий код, наведено рівняння перетворення. Оцінено статичні характеристики (графічне подання рівняння перетворення) цього вимірювального каналу віброзміщення (в діапазоні: $a = 20 \cdot 10^{-6} \dots 120 \cdot 10^{-6}$ м) з ємнісним сенсором. Оскільки в результаті квантування аналогової величини часового інтервалу t_a , що має нескінченну кількість значень, відбувається заміна обмеженою кількістю імпульсів N (періодів) T_0 , то така метрологічна процедура викликає появу похибки квантування. Тому наведено рівняння відносної похибки квантування для засобу вимірювання віброзміщення з ємнісним сенсором та графічну залежність зміни відносної похибки квантування від вимірюваного значення віброзміщення. Встановлено, що за малих значень віброзміщення похибка квантування мала, за великих значень — ця похибка зростає.

На основі теорії вимірювальної інформації обґрунтовано вибір розрядності n двійкового лічильника, що дозволяє на стадії розробки технічного завдання оцінити нижню межу вимірювання.

Встановлено, що верхня межа вимірювання віброзміщення обмежена нормованим значенням похибки квантування, а нижня межа — розрядністю двійкового лічильника. Показано відповідні графічні залежності.

Ключові слова: вимірювальний канал, віброзміщення, ємнісний сенсор, функція перетворення, вібромоніторинг.

Вступ

Вібромоніторинг є одним з найефективніших методів контролю і діагностики стану електромеханічних систем в умовах виробництва та експлуатації. Адже завдяки вібромоніторингу можна виявити переважну більшість несправностей машини не зупиняючи її та не перериваючи технологічний процес, що дозволяє передбачити аварійні ситуації, прогнозувати планові ремонти та заощаджувати кошти підприємства [1]. Особливого контролю потребують великогабаритні та вартісні системи, які застосовуються для надскладних задач, наприклад, гідрогенератори і гідрогенератори-двигуни, що встановлюються на ГЕС та ГАЕС.

До особливостей діагностування та прогнозування стану таких систем можна віднести такі:

- низька частота вібрацій, що суттєво ускладнює виявлення дефектів, оскільки тихохідні машини працюють на малих кутових швидкостях (від десятків до сотень об/хв);

– складність діагностики початкових дефектів, адже на низьких частотах обертання пошкодження елементів машини (наприклад підшипників, редукторів чи валів) розвиваються повільно, а їхні перші прояви можуть бути надто слабкими для виявлення.

- вплив фонових шумів оскільки вібрації, викликані навколишнім обладнанням або зовнішніми впливами (наприклад, вітром або рухом конструкцій), можуть маскувати слабкі сигнали дефектів;
- обмежена чутливість сенсорів до вимірювання вібрації;
- проблема застосування стандартних методів для обробки низькочастотного вібрації;
- питання нормування порогових значень вібросигналів.

Варто зауважити також, що сенсори низькочастотних віброзміщень мають низку недоліків, один з основних — це низька надійність і невисока точність в смузі інфранизких частот, а також складність монтажу та висока вартість. Тому для вимірювання низькочастотних вібрацій використовують акселерометри, що перетворюють віброприскорення в електричний сигнал. Проте для тихохідних машин нормується не віброприскорення, а віброзміщення. Для того, щоб отримати числове значення віброзміщення необхідно додатково здійснити дві операції числового інтегрування вихідного сигналу акселерометра. Але операція інтегрування експериментальних даних зашумлених випадковою складовою похибки квантування вносить надто велику похибку. Отже можна зробити висновок, що вібромоніторинг тихохідних машин має свої особливості які вимагають відповідних технічних рішень.

Мета дослідження — підвищення точності вібромоніторингу тихохідних машин за рахунок безпосереднього вимірювання параметра віброзміщення шляхом вилучення методичної похибки від інтегрування.

Для досягнення поставленої мети постає задача розробки (вибору відомого) сенсора вібрації, в якому вихідна величина буде пропорційною віброзміщенню. В такому випадку варто зазначити запропонований авторами ємнісний сенсор вимірювального перетворення віброзміщення в часовий інтервал, функція перетворення якого має такий вигляд [4]:

$$\tau_a = kR_0 \frac{\xi \xi_0 S}{a}, \quad (1)$$

де $R_0 = 5600$ — активний опір, Ом; $\xi \approx 1$ — діелектрична проникність повітря, Ф/м; $\xi_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ — електрична постійна, Ф/м; $S = 0,791 \cdot 10^{-3}$ — площа пластин конденсатора, м²; a — переміщення пластин під дією вібрації (віброзміщення), м; k — кількість пластин конденсатора.

Схема та часові діаграми ємнісного сенсора перетворення віброзміщення в часовий інтервал показано на рис. 1.

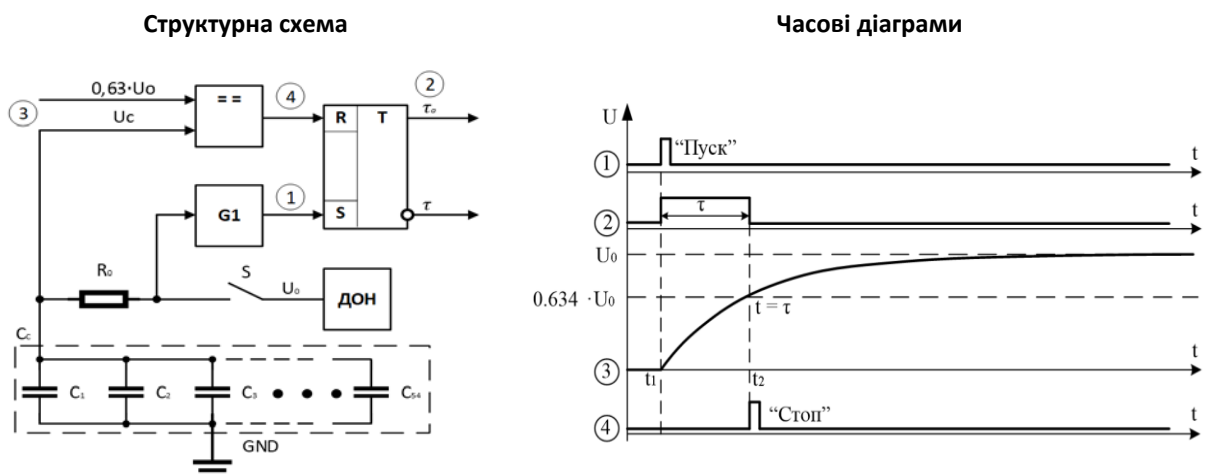


Рис. 1. Схема та часові діаграми перетворення віброзміщення ємнісного сенсора в часовий інтервал [4]

Вимірювальний канал віброзміщення ємнісним сенсором час-імпульсного перетворення

Мікропроцесорну реалізацію вимірювального каналу віброзміщення можна здійснити апаратно, програмно і апаратно-програмно. Апаратна схемотехніка на сьогодні не є актуальною, оскільки в основу її філософії покладено «жорстку» логіку. Такі структури не є гнучкими і тому малоефективні. Програмній інженерії притаманні мінімум апаратних затрат, але вони дещо

поступаються за швидкодією апаратному підходу. Необхідно зауважити, що сучасні мікропроцесори мають достатню швидкодію для квантування й вимірювання часового інтервалу. У цій прикладній задачі на першому місці є не швидкодія, а точність, яку програмними засобами досягти проблематично. Враховуючи це, практичну реалізацію вимірювального каналу віброзміщення час-імпульсного перетворення, подамо як взаємодію апаратно-програмних засобів.

В ємнісному сенсорі аналогова величина віброзміщення a перетворюється в часовий інтервал τ_a , який після квантування і лічби в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) подається у двійковому коді N з подальшою його передачею, запам'ятовуванням і обчисленням в мікропроцесорній системі (МПС).

Структурна схема мікропроцесорного вимірювального каналу віброзміщення з ємнісним сенсором час-імпульсного перетворення показана на рис. 2.

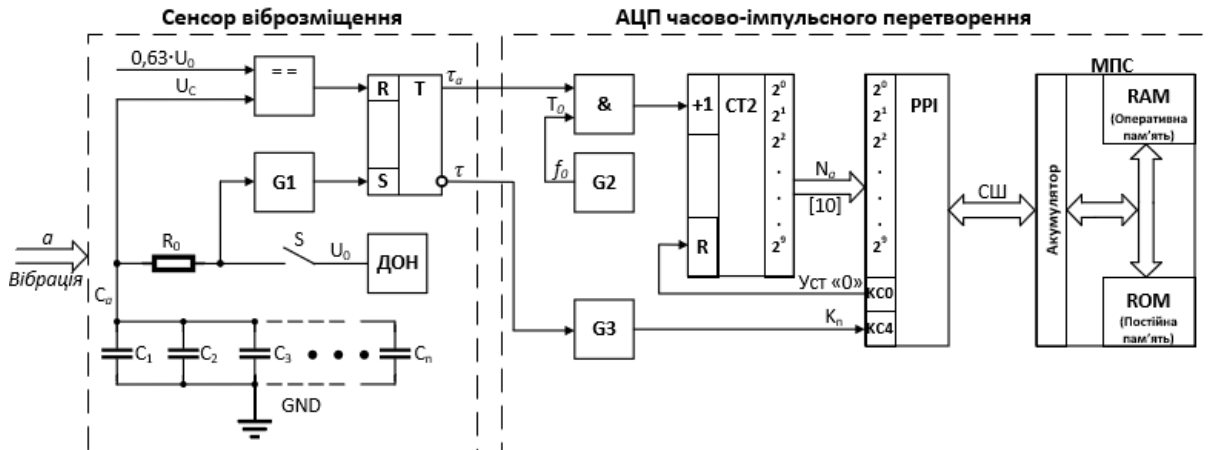


Рис. 2. Схема вимірювального каналу віброзміщення з ємнісним сенсором час-імпульсного перетворення: сенсор віброзміщення — це ємнісний сенсор перетворення віброзміщення в часовий інтервал [4]; G2 — генератор зразкової частоти f_0 ; G3 — одновібратор; & — схема логічного «І»; CT2 — 10-розрядний двійковий лічильник $[2^0 \dots 2^9]$; PPI — паралельний програмований інтерфейс; МПС — мікропроцесорна система

Теорія і практична реалізація сенсора віброзміщення детально розглянута в роботі [4].

Тому основну увагу приділено принципу дії власне цифрового вимірювального каналу віброзміщення.

Часовий інтервал τ_a , який формується на виході сенсора віброзміщення квантується в логічній схемі «2-І» періодами T_0 зразкової частоти f_0 , що надходять на її другий вхід з генератора зразкової частоти G2.

Двійковий лічильник CT2 підраховує кількість N періодів T_0 зразкової частоти f_0 , які надходять на його лічильний вхід протягом часового інтервалу τ_a , пропорційного вимірюваному віброзміщенню a

$$N = \tau_a \cdot f_0. \quad (2)$$

Одновібратор G3 за заданим фронтом сигналу τ_a з інверсного виходу тригера T формує сигнал кінець перетворення K_p для запису двійкового коду N_a з виходів двійкового лічильника CT2 в буферні регістри (порти) програмованого інтерфейсу PPI.

Отримані значення, що зберігаються в буферних регістрах PPI, надходять через системну шину (СШ) в акумулятор мікропроцесорної системи МПС для подальшої обробки.

В акумуляторі МПС із двійкового коду N_a отримують числове значення віброзміщення a з одиницею вимірювання [мкм].

Якщо в (2) підставити значення τ_a з функції перетворення ємності в часовий інтервал (1), то остаточне рівняння перетворення вимірювального каналу буде мати такий вигляд:

$$N = k \cdot R_0 \cdot f_0 \cdot \frac{\xi \xi_0 S}{a}. \quad (3)$$

З рівняння перетворення (3) отримують остаточний результат вимірювання

$$a = k \cdot R_0 \cdot f_0 \cdot \frac{\xi \xi_0 S}{N}, \text{ мкм}. \quad (4)$$

Статична характеристика (графічне подання рівняння перетворення) вимірювального каналу віброзміщення (в діапазоні: $a = 20 \cdot 10^{-6} \dots 120 \cdot 10^{-6}$ м) з ємнісним сенсором показана на рис. 3.

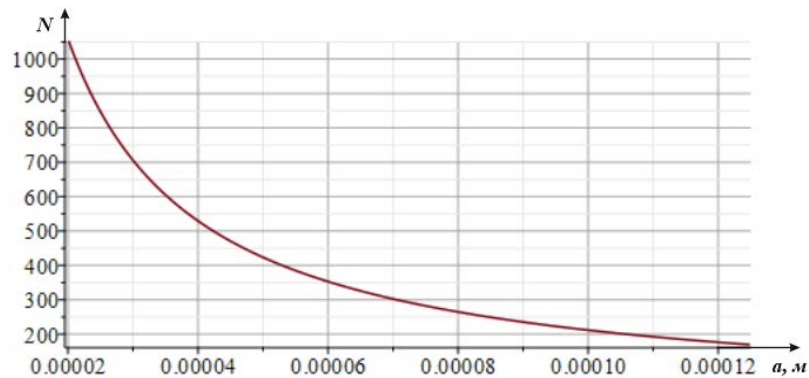


Рис. 3. Статична характеристика вимірювального каналу віброзміщення

Основні статичні метрологічні характеристики вимірювального каналу

В результаті квантування аналогової величини часового інтервалу τ_a , що має нескінченну кількість значень, відбувається її заміна обмеженою кількістю імпульсів N (періодів) T_0 . Така метрологічна процедура викликає появу похибки квантування.

Рівняння відносної похибки квантування для засобу вимірювання віброзміщення з ємнісним сенсором матиме такий вигляд:

$$\delta_k = \frac{1}{N} \cdot 100\% = \frac{a}{kR_0 f_0 \xi \xi_0 S} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Залежність (рис. 4) зміни відносної похибки квантування від вимірюваного значення віброзміщення є лінійною. Тому за малих значень віброзміщення похибка квантування мала, за великих значень — ця похибка зростає.

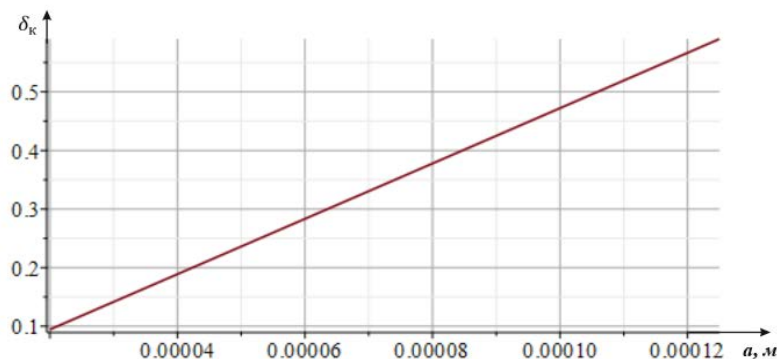


Рис. 4. Графік залежності похибки квантування від значення віброзміщення

Враховуючи це дійшли висновку, що верхня межа вимірювання віброзміщення пропонується вимірювальним каналом з ємнісним сенсором обмежена нормованим значенням (класом точності) похибки квантування $\delta_{\text{кн}}$

$$\delta_{\text{кн}} = \frac{a_{\text{max}}}{R_0 f_0 \xi_0 \xi S} \cdot 100\%. \quad (6)$$

З (6) отримаємо рівняння для оцінювання верхньої межі вимірювання віброзміщення

$$a_{\text{max}} = \frac{R_0 f_0 \xi_0 \xi S \delta_{\text{кн}}}{100\%}. \quad (7)$$

Графік залежності верхньої межі вимірювання віброзміщення від нормованого значення похибки квантування подано на рис. 5.

Ця залежність є лінійною і дозволяє вже на стадії розробки технічного завдання визначитися з верхньою межею вимірювання і класом точності вимірювального каналу.

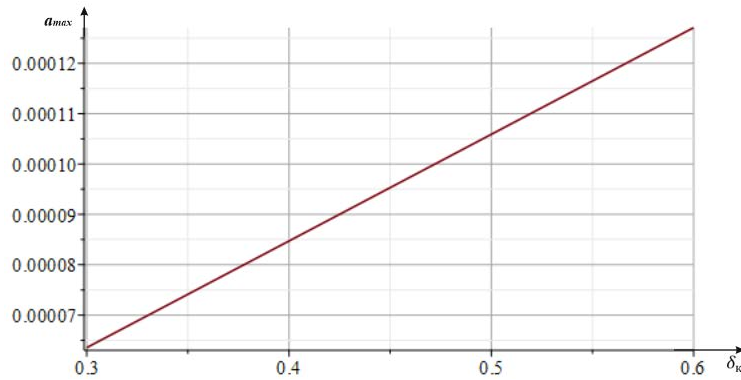


Рис. 5. Графік залежності верхньої межі вимірювання віброзміщення від нормованої похибки квантування

Нижня межа вимірювання обмежена максимальною ємністю двійкового лічильника СТ2

$$N_{\max} = 2^n, \quad (8)$$

де n — розрядність двійкового лічильника.

Тому для її оцінювання необхідно спочатку встановити, якої розрядності має бути двійковий лічильник СТ2.

Інформацію, яку отримують під час вимірювань віброзміщення, кількісно оцінюють [5] зменшенням ентропії $H(a)$, що характеризує невизначеність фізичної величини перед вимірюванням, до значення ентропії $H(a/\Delta)$, яке залишається невизначеною після отримання результату вимірювання:

$$I = H(a) - H(a/\Delta). \quad (9)$$

Ці оцінки невизначеності у вигляді ентропії до і після вимірювань оцінюють на підставі 16-ї теореми К. Шеннона, яка описується функціоналом

$$H(a) = - \int_{-\infty}^{\infty} P(a) \log_2 P(a) da. \quad (10)$$

До вимірювання — *апріорна ентропія*. Для вимірювання віброзміщення використано вимірювальний канал (рис. 2), в якого діапазон вимірювання характеризується нижньою $a_{\min}$ і верхньою $a_{\max}$ межами вимірювання.

Тоді ймовірності отримати результат вимірювання в області зміни a від $-\infty$ до $a_{\min}$ і від $a_{\max}$ до $+\infty$ дорівнюють нулю.

Отже, результат вимірювання фізичної величини a необхідно очікувати (рис. 2) в діапазоні вимірювання від $a_{\min}$ до $a_{\max}$.

Припустимо, що результат вимірювання з рівною ймовірністю може потрапити в будь-яку частину цього діапазону. Тому

$$P(a) = \frac{1}{a_{\max} - a_{\min}}, \text{ коли } a_{\min} \leq a \leq a_{\max}; \quad (11)$$

$$P(a) = 0, \text{ коли } a_{\min} > a > a_{\max}. \quad (12)$$

З урахуванням останнього, апріорна ентропія до вимірювання визначається так:

$$H(a) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{a_{\max} - a_{\min}} \log_2 \frac{1}{a_{\max} - a_{\min}} da. \quad (13)$$

Після вимірювання — *апостеріорна ентропія*. Після виконання вимірювання ентропія не може бути зменшена до нуля, тому що завжди залишається невизначеність, яку вносить похибка.

Визначимо диференційну залишкову ентропію для випадку, коли похибка вимірювання розподілена за нормальним законом а її середнє квадратичне відхилення дорівнює σ

$$P(a/\Delta) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \left(\frac{\Delta}{2\sigma} \right)^2 \right). \quad (14)$$

Тоді апостеріорна ентропія (після) вимірювань, визначається

$$H(a/\Delta) = - \int_{-\infty}^{\infty} P(a/\Delta) \log_2 P(a/\Delta) da = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\left(\frac{\Delta}{2\sigma}\right)^2\right) \log_2 \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\left(\frac{\Delta}{2\sigma}\right)^2\right) da. \quad (15)$$

Розв'язок останнього рівняння отримано К. Шенноном і має такий остаточний вигляд:

$$H(a/\Delta) = -\log_2(\sigma\sqrt{2\pi} \cdot e). \quad (16)$$

Визначимо яку кількість інформації отримує МПС під час перетворення віброзміщення a в двійковий код N цифровим вимірювальним каналом (рис. 2) з такими метрологічними характеристиками:

- нижня межа вимірювання $a_{\min} = 10$ мкм;
- верхня межа вимірювання $a_{\max} = 150$ мкм;
- середнє квадратичне відхилення похибки $\sigma \in 0,05 \dots 0,5$ мкм.

$$I = -\frac{1}{150-10} \cdot \log_2\left(\frac{1}{150-10}\right)(150-10) - \log_2(\sigma\sqrt{2\pi} \cdot 2,73) = 10 \text{ біт}. \quad (17)$$

Залежність кількості інформації від середнього квадратичного відхилення показана на рис. 6.

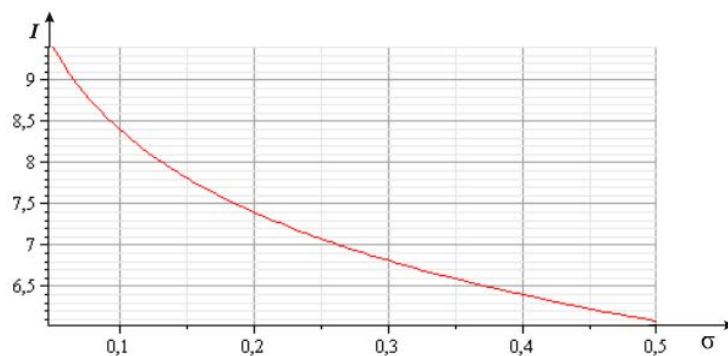


Рис. 6. До питання визначення кількості інформації

З рис. 6 можна зробити такий висновок: 10-розрядний цифровий вимірювальний канал повною мірою забезпечує визначення віброзміщення a в діапазоні від 10 мкм до 150 мкм.

З урахуванням цього, рівняння для оцінювання значення нижньої межі вимірювання віброзміщення, яка обмежена розрядністю двійкового лічильника ($n = 9 \dots 10$) матиме такий вигляд:

$$a_{\min} = \frac{R_0 f_0 \xi_0 \xi_S}{2^n}. \quad (18)$$

Графік залежності нижньої межі вимірювання віброзміщення від кількості n розрядів двійкового лічильника показано на рис. 7.

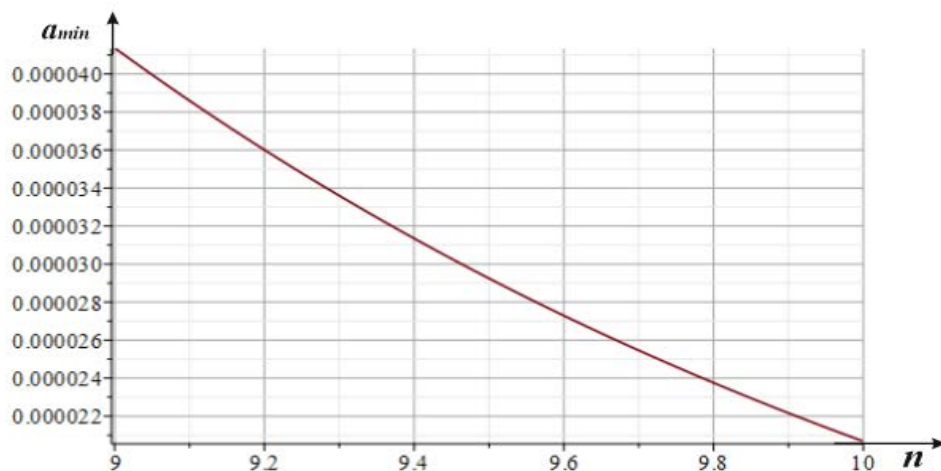


Рис. 7. Графік залежності нижньої межі вимірювання віброзміщення від розрядності двійкового лічильника

Висновки

Вібромоніторинг є одним з найефективніших методів контролю й діагностики стану електро-механічних систем в умовах виробництва та в процесі експлуатації, до яких відносять гідроенергетичні і гідроенергетично-двигуни. Особливістю таких електромеханічних систем є невисока частота обертання їхнього ротора і як наслідок — низька частота віброзміщень. Сенсори низькочастотних віброзміщень мають низку недоліків, один з основних — це низька надійність і не висока точність в смузі інфранизьких частот. Тому для вимірювання низькочастотних вібрацій використовують акселерометри, що перетворюють віброприскорення в електричний сигнал. Для того, щоб отримати числове значення віброзміщення здійснюють дві операції числового інтегрування вихідного сигналу акселерометра. Але операція інтегрування експериментальних даних зашумлених випадковою складовою похибки квантування вносить надто велику похибку.

Авторами запропоновано мікропроцесорний вимірювальний канал віброзміщення з ємнісним параметричним сенсором, в якому результат вимірювання отримують безпосередньо у вигляді числових значень віброзміщень, що дозволили виключити надто великі похибки від подвійного інтегрування результатів вимірювання з виходу акселерометра.

Розроблено математичну модель, в якій вхідна неелектрична величина віброзміщення однозначно пов'язана з вихідною величиною у вигляді двійкового коду, реалізація якої в мікропроцесорному виконанні дозволяє підвищити точність вимірювання низькочастотних коливань (одиниці Гц) таких електромеханічних систем, як гідроенергетичні.

Обґрунтовано область можливої зміни віброзміщення, обмеженої нижньою і верхньою межами вимірювання, в якій вимірювальний канал забезпечує нормоване значення похибки квантування ($\delta_k \leq \delta_{\text{кн}}$). Встановлено, що верхня межа вимірювання a_{max} обмежена нормованим значенням $\delta_{\text{кн}}$, а нижня межа — розрядністю двійкового лічильника. Отримано адекватні математичні моделі для оцінювання меж вимірювання вже на стадії проектування вимірювальних каналів низькочастотних віброзміщень.

На основі теорії вимірювальної інформації обґрунтовано вибір розрядності n двійкового лічильника, що дозволяє на стадії розробки технічного завдання оцінити нижню межу вимірювання.

В результаті математичного моделювання встановлено, що верхня межа вимірювання віброзміщення ємнісним сенсором з мікропроцесорним вимірювальним каналом з нормованим значенням похибки квантування $\delta_{\text{кн}} \leq 0,6\%$ становить $a_{\text{max}} = 120 \cdot 10^{-6}$ м, а нижня межа з розрядністю $n = 10$ двійкового лічильника — $a_{\text{min}} = 20 \cdot 10^{-6}$ м. Такі характеристики повною мірою задовольняють метрологічні характеристики сучасних систем вібромоніторингу гідроенергетичних ГЕС і генераторів-двигунів ГАЕС та створюють передумови для впровадження таких вимірювальних каналів в електроенергетику України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. В. Осельський, і В. В. Кухарчук, «Засоби вимірювання вібросигналів електромеханічних систем і комплексів в умовах виробництва», у Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024), зб. доп. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/viewFile/19942/16604>.
- [2] О. В. Осельський, «Застосування ємнісного сенсору перетворення віброзміщення в часовий інтервал для вібромоніторингу тихохідних машин в умовах виробництва», у Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025), зб. доп. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/allvntu/>.
- [3] M. H. M. Ghazali, and W. Rahiman, “Vibration Analysis for Machine Monitoring and Diagnosis: A Systematic Review,” *Hindawi, Shock and Vibration*, vol. 2021, Article ID 9469318, 25 p., <https://doi.org/10.1155/2021/9469318>.
- [4] О. В. Осельський, і В. В. Кухарчук, «Математична модель вимірювального перетворення віброзміщення ємнісним сенсором в часовий інтервал», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2 (173), с. 6-13, 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-173-2-6-13>.
- [5] V. V. Kukharchuk, et al. “Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors,” *Sensors*, no. 22, p. 271, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.

Рекомендована кафедрою комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 18.04.2025

Осельський Олександр В'ячеславович — аспірант кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету; провідний інженер з автоматизованих

систем керування виробництвом, ТОВ «КСК-Автоматизація» Вінницька філія, м. Вінниця, e-mail: oselskyi.ov@gmail.com ;

Кухарчук Василь Васильович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Oselskyi¹
V. V. Kukharchuk¹

Vibration Displacement Measurement Channel with Capacitive Sensor

¹Vinnytsia National Technical University

The article considers the importance of using vibration monitoring as an effective means of diagnosing the condition of electromechanical systems and complexes in a production environment. The features that arise during monitoring of electromechanical systems operating at low speeds are presented, namely, low vibration frequency, weak signal amplitude and the influence of external noise. The significant disadvantages of low-frequency vibration displacement sensors are analyzed, among which it is worth noting — low reliability and low accuracy in the infra-low frequency band, installation complexity, high cost. The use of accelerometers, the main measurement parameter of which is vibration acceleration, leads to significant errors.

Since vibration displacement is the most effective vibration measurement parameter for machines with low rotational speed, this paper considers the use of a capacitive sensor for measuring vibration displacement conversion into a time interval as the main measurement tool. The conversion equation, structural diagram and timing diagrams of its operation are shown.

Microprocessor circuit of a vibration displacement measuring channel with a capacitive sensor of time-pulse conversion, operating under the control of a microcontroller, is proposed. The principle of operation of a digital vibration displacement measuring channel in binary code is described, the conversion equation is given. The static characteristics (graphical representation of the conversion equation) of this vibration displacement measuring channel (in the range: $a = 20 \cdot 10^{-6} \dots 120 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) with a capacitive sensor are estimated. Since as a result of quantization of the analog value of the time interval τ_a , which has an infinite number of values, is replaced by a limited number of pulses N (periods) T_0 , such a metrological procedure leads to the appearance of a quantization error. Therefore, the equation of the relative quantization error for a vibration displacement measuring device with a capacitive sensor and the graphical dependence of the change in the relative quantization error on the measured vibration displacement value are given. It was established that at small values of vibration displacement the quantization error is small, at large values — this error increases.

Based on the theory of measurement information, the choice of the bitness n of the binary counter is justified, which allows at the stage of developing the technical task to estimate the lower limit of measurement.

It was established that the upper limit of measurement of the upper limit of vibration displacement measurement is limited by the normalized value of the quantization error, and the lower limit — by the bitness of the binary counter. The corresponding graphical dependencies are presented.

Keywords: measuring channel, vibration displacement, capacitive sensor, conversion function, vibration monitoring.

Oselskyi Oleksandr V. — Post-Graduate Student of the Chair of Computerized Electromechanical Systems and Complexes; Leading Engineer for Automated Production Control Systems, “CSC-Automation” Ltd Vinnytsia branch, Vinnytsia, e-mail: oselskyi.ov@gmail.com ;

Kukharchuk Vasyl V. — Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Computerized Electromechanical Systems and Complexes