УДК 62-83:621.8:681.5

Олександр ОСЕЛЬСЬКИЙ

ЗАСТОСУВАННЯ ЄМНІСНОГО СЕНСОРУ ПЕРТВОРЕННЯ ВІБРОЗМІЩЕННЯ В ЧАСОВИЙ ІНТЕРВАЛ ДЛЯ ВІБРОМОНІТОРИНГУ ТИХОХІДНИХ МАШИН В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА

[1]Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто особливості вібромоніторингу машин різних типів, зокрема тихохідних, середньошвидкісних і високошвидкісних. Особливу увагу приділено проблемам контролю вібрації тихохідних машин. Визначено, що найбільш ефективним параметром вимірювання для тихохідних машин є віброзміщення, оскільки воно точно відображає великі амплітудні зміщення при низькочастотних коливаннях. Однак традиційні сенсори віброзміщення мають низку недоліків: складність монтажу, високу вартість та значні похибки через тривале перетворення сигналу.

Запропоновано використання ємнісного сенсора перетворення віброзміщення в часовий інтервал, який працює за принципом зміни ємності та затримки електричного сигналу. Такий підхід дозволяє підвищити точність вимірювань та швидкодію системи. Визначено необхідність розробки відповідного вимірювального каналу, який забезпечить ефективне оброблення сигналу від ємнісного сенсора віброзміщення.

Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації віброконтролю тихохідних машин у промисловості та підвищення ефективності діагностичних систем.

Ключові слова: вібромоніторинг, віброзміщення, сенсор вібрації, вимірювальний канал, вібросигнал, часовий інтервал.

Abstract

The article considers the features of vibration monitoring of machines of various types, in particular low-speed, medium-speed and high-speed. Particular attention is paid to the problems of vibration control of low-speed machines. It was determined that the most effective measurement parameter for low-speed machines is vibration displacement, since it accurately reflects large amplitude displacements at low-frequency oscillations. However, traditional vibration displacement sensors have a number of disadvantages: complexity of installation, high cost and significant errors due to long signal conversion.

The use of a capacitive sensor for converting vibration displacement into a time interval, which works on the principle of changing the capacitance and delaying the electrical signal, is proposed. This approach allows to increase the accuracy of measurements and the speed of the system. The need to develop an appropriate measuring channel that will ensure effective signal processing from a capacitive vibration displacement sensor has been identified.

The results of the study can be used to optimize vibration control of low-speed machines in industry and increase the efficiency of diagnostic systems.

Keywords: vibration monitoring, vibration positioning, vibration sensor, measurement channel, vibration signal, time interval..

Вступ

Вібромоніторинг вже давно зарекомендував себе як один з найефективніших методів діагностування стану електромехіначних систем і комплексів в умовах виробництва. 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].

На сьогоднішній день апаратне та програмне забезпечення для здійснення вібромоніторингу досить різноманітне. Аналіз вібрації для моніторингу та діагностики машин став доступнішим і дешевшим завдяки новітнім технологіям, а також завдяки розвитку процесу збору даних та методів обробки сигналів.

Вибір вимірювального параметра вібрації (віброзміщення, віброшвидкість, віброприскорення) напряму залежить від характеристики машини, яку необхідно контролювати. У вібромоніторингу машини класифікують за швидкістю обертання, оскільки це суттєво впливає на характеристики вібраційних сигналів, методи їхньої обробки та виявлення дефектів. Зазвичай виділяють такі основні категорії:

- тихохідні машини (до 600 об/хв, але частіше <300 об/хв) – наприклад великі редуктори, гідротурбіни, вітрогенератори і т.д.;
- середньошвидкісні машини (600–3000 об/хв) – наприклад насоси, вентилятори і т.д.;
- високошвидкісні машини (>3000 об/хв, інколи >10 000 об/хв) – наприклад турбіни, авіаційні двигуни, турбокомпресори і т.д.

Кожен з вищевказаних типів машин має свої особливості з точки зору контролю вібрації та діагностування дефектів. Найпростішими для віброконтролю є середньошвидкісні машини, оскільки існує велика кількість стандартних методів для їх аналізу, до того ж такі машини є найпоширенішими. Високошвидкісні машини – вимагають дуже точного контролю та швидкого реагування, але і застосування їх в промисловості не таке велике як в попередніх. Тихохідних машин найменше і вони складні для віброконтролю через слабкі сигнали та повільний розвиток дефектів. Але такі машини, як правило, є великогабаритними та дороговартісними і застосовуються для надскладних задач, наприклад в гідроелектростанціях (гідротурбіни), металургії (доменні печі, прокатні стани), суднобудуванні (гребні вали), тому їх віброконтроль надзвичайно важливий.

Вібромоніторинг тихохідних машин має низку специфічних проблем, які ускладнюють ефективне діагностування та прогнозування їхнього стану. До однієї з перших проблем можна віднести низьку частоту вібрацій, адже тихохідні машини працюють на низьких обертах (від кількох до сотень об/хв), що призводить до низькочастотних коливань, а це суттєво ускладнює виявлення дефектів. Іншою серйозною проблемою є вплив фонових шумів оскільки вібрації, викликані навколишнім обладнанням або зовнішніми впливами (наприклад, вітром або рухом конструкцій), можуть маскувати слабкі сигнали дефектів, тому спотворення сигналу особливо критичне при низьких частотах, коли потрібна висока роздільна здатність. Ще однією проблемою є обмежена чутливість датчиків вимірювання вібрації. Стандартні датчики та аналізатори часто розраховані на середньо- і високочастотні коливання, тому в даному випадку можуть бути неефективними через низький рівень сигналу, тож доводиться використовувати високочутливі датчики переміщення або швидкості, які набагато складніші в монтажі та експлуатації. Під час обробки низькочастотного вібрацій виникає проблема застосування стандартних методів, алгоритми аналізу (наприклад, Фур'є-перетворення) часто неефективні оскільки потребують довгих часових вікон та високої роздільної здатності, тому можуть знадобитися спеціальні методи, такі як хвильковий аналіз або спектрографія, що підвищує складність обробки даних. Також під час аналізу вібрації тихохідних машин постає питання стандартизації порогових значень, адже багатьох високошвидкісних механізмів існують нормативи щодо рівня вібрації, але для тихохідних машин таких стандартів менше або вони недостатньо обґрунтовані. Кожна машина може потребувати індивідуального підходу до визначення порогових значень вібрації. Варто відмітити і складність діагностики початкових дефектів. На низьких швидкостях пошкодження елементів машини (наприклад підшипників, редукторів чи валів) розвиваються повільно, а їхні перші прояви можуть бути надто слабкими для детектування, тому доводиться застосовувати методи аналізу обвідної вібрації, демодуляцію сигналів або спеціальні методики контролю крутного моменту.

Метою даної статті є підвищення точності засобів вимірювання вібросигналів тихохідних машин за рахунок застосування сенсорів вихідна величина яких буде пропорційною віброзміщенню.

Основна частина

Найбільш ефективним параметром вібрації для тихохідних машин є віброзміщення. Віброшвидкість та віброприскорення залежать від частоти коливань, а в тихохідних машинах вона дуже низька. Віброзміщення добре фіксує великі амплітудні зміщення, які характерні для низькочастотних процесів. Але, як вже зазначалося вище, для вимірювання саме цього параметру необхідно застосовувати високочутливі датчики які є досить складними в монтажі та експлуатації, дороговартісними, чутливими до умов середовища та складні в налаштуванні.

В переважній більшості сенсори віброзміщення перетворюють механічне зміщення в електричний сигнал, зазвичай у напругу (В) або струм (мА), залежно від типу датчика. Недоліком таких сенсорів є

довге коло вимірювального перетворення неелектричної величини віброзміщення в електричну, що призводить до значної похибки.

Деякі сенсори, зокрема оптичні, лазерні та ємнісні, можуть перетворювати віброзміщення не тільки у напругу (В) чи струм (мА), а й у часовий інтервал (с, мкс, нс). Принцип роботи такого сенсора базується на часових затримках сигналу, які змінюються залежно від зміщення вимірюваної поверхні. Найпростішим в реалізації є нещодавно розроблений ємнісний сенсор перетворення віброзміщення в часовий інтервал [2], який працює за наступним принципом: коливання відстані між пластинами змінює ємність, що впливає на затримку проходження електричного сигналу, ця затримка сигналу перетворюється в часовий інтервал, який можна виміряти. Даний сенсор має високу точність вимірювання та високу швидкодію.

Функція перетворення ємності в часовий інтервал має наступний вигляд [2]:

$$\tau = R_0 \cdot \frac{\xi\xi_0 S}{a}, \tag{1}$$

Структурну схему ємнісного сенсора перетворення віброзміщення в часовий інтервал показано на рис. 1.

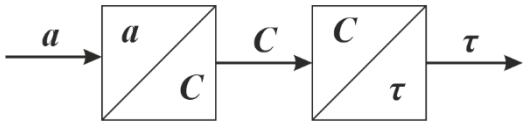


Рис. 1. Структурна схема ємнісного сенсора перетворення віброзміщення в часовий інтервал [2].

Для прийому та обробки високоточного сигналу вібрації отриманого від ємнісного сенсора перетворення віброзміщення в часовий інтервал необхідно мати відповідний вимірювальний канал. Тому наступною задачею стоїть розробка вимірювального каналу перетворення віброзміщення ємнісним сенсором в часовий інтервал.

Запропоновану спрощену структурну схему вимірювального каналу перетворення віброзміщення ємнісним сенсором в часовий інтервал показано на рис. 2.

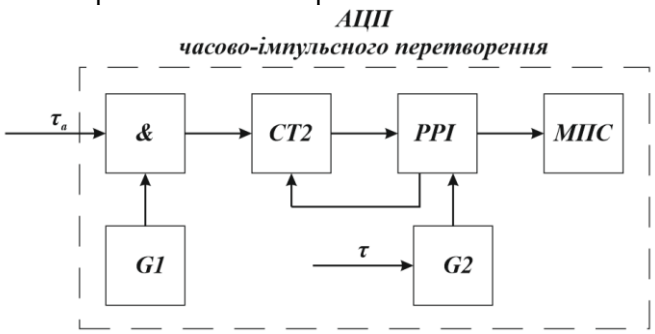


Рис. 2. Структурна схема вимірювального каналу перетворення віброзміщення ємнісним сенсором в часовий інтервал.

Де:

G1 – генератор зразкової частоти f0;

G2 – одновібратор;

& - логічне «І»;

CT2 - двійковий лічильник;

PPI – блок програмного інтерфейсу;

МПС – мікропроцесорна система.

Такий вимірювальний канал забезпечить ефективне оброблення сигналу від ємнісного сенсора віброзміщення для подальшої обробки.

Висновки

Аналіз методів та засобів вібродіагностування машин показав, що вибір вимірювального параметра вібрації (віброзміщення, віброшвидкість, віброприскорення) напряму залежить від характеристики машини, яку необхідно контролювати. Оскільки швидкість обертання суттєво впливає на

характеристики вібраційних сигналів, то класифікацію машин для систем вібромоніторингу проводять саме за нею. Тихохідні машини є дуже важливими для промисловості, але через слабкі сигнали та низьку частоту вібрацій важко піддаються вібромоніторингу. Найефективнішим параметром вібрації для таких машин є віброзміщення, оскільки воно краще відображає низькочастотні процеси, однак для його вимірювання необхідні високочутливі датчики, які є дорогими, складними в монтажі та експлуатації.

Альтернативним рішенням для вимірювання вібрації на тихохідних машинах є сенсори, які перетворюють віброзміщення в часовий інтервал, що дозволяє зменшити похибки та підвищити швидкість аналізу.

Запропоновано спрощену структурну схему вимірювального каналу перетворення віброзміщення ємнісним сенсором в часовий інтервал.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.В. Осельський, В.В. Кухарчук, «Засоби вимірювання вібросигналів електромеханічних систем і комплексів в умовах виробництва», Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024) : збірник доповідей [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – (PDF, 2774 с.).

2. О.В. Осельський, В.В. Кухарчук, "Математична модель вимірювального перетворення віброзміщення ємнісним сенсором в часовий інтервал ", Фахове видання МОНУ Вісник Вінницького політехнічного інституту, №2 (173), с. 6-13, 2024. Doi*: 10.31649/1997-9266-2024-173-2-6-13

Осельський Олександр В'ячеславович – аспірант кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; провідний інженер з автоматизованих систем керування виробництвом, ТОВ «КСК-Автоматизація» Вінницька філія, м. Вінниця, e-mail: oselskyi.ov@gmail.com

Науковий керівник: ***Василь Васильович Кухарчук*** - професор, д.т.н., професор кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Oselskyi Oleksandr V – postgraduate Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia; leading engineer for automated production control systems, «CSC-Automation» Ltd Vinnytsia branch, Vinnytsya, e-mail: oselskyi.ov@gmail.com

Supervisor: ***Vasyl V Kukharchuk*** - Professor, Dr Sc. (Eng.), Professor of the Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.