

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙ РУХОМИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Ю.І. Гижко,

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

Проведено експериментальні дослідження з застосуванням інформаційно-вимірювальної системи діагностики, що використовує бездротовий стандарт Bluetooth для передачі вимірної інформації. В результаті проведених досліджень отримано вібраційні сигнали, виміряні на рухомих вузлах електричної машини. Наведено основні математичні співвідношення, які покладено в основу алгоритмів визначення оцінок спектральної щільності досліджуваного сигналу. За допомогою пакету прикладних програм проведено спектральний аналіз отриманих сигналів та представлено графіки залежності спектральної потужності вимірюваного вібраційного сигналу від частоти. Бібл. 8, рис. 5.

Ключові слова: вібраційна діагностика, статистичні методи, електричні машини, інформаційно-вимірювальні системи.

Вступ. У процесі створення інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) діагностики важливим етапом є розробка програмних засобів аналізу вимірних даних та перевірка функціональності експериментального зразка створеної ІВС у реальних умовах.

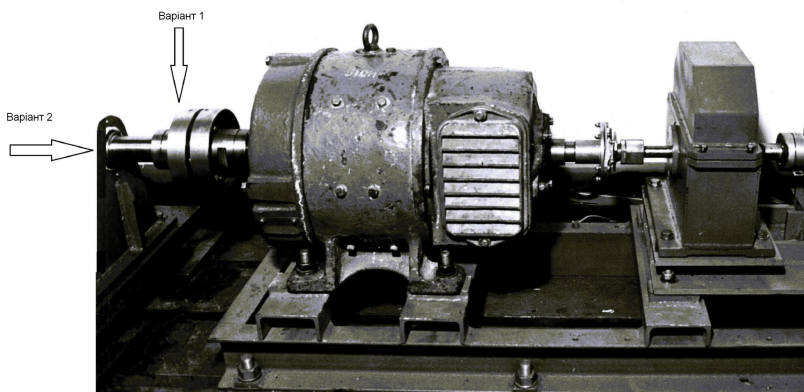
У роботах [1,2,4] розглянуто етапи побудови та практичного використання ІВС діагностики рухомих частин енергетичних машин з використанням бездротового каналу передачі інформації стандарту Bluetooth та доведено ефективність застосування цього каналу сумісно зі створеними програмними засобами ІВС. Згідно з [2], програмні засоби умовно можна розбити на три частини: програму управління вводом-виводом даних, програми, що реалізують статистичну обробку реалізацій вібрацій, які досліджуються, та програми побудови вирішуючих правил і класифікації можливих дефектів.

Постановка задачі та мета роботи. Головною метою даної роботи є аналіз вібраційних сигналів, що супроводжують роботу рухомих вузлів роторних електричних машин та виміряних за допомогою експериментального зразка ІВС. Для виміру, перетворення та передачі вимірних вібраційних сигналів використано бездротовий канал передачі даних. Для аналізу отриманих вібраційних сигналів використовується програма спектрального аналізу, що є одним з елементів програмних засобів ІВС.

Використання експериментального зразка ІВС діагностики для статистичної обробки вібраційних сигналів. Для отримання експериментальних даних, які планується аналізувати, було використано експериментальний зразок ІВС діагностики рухомих частин енергетичних машин, що передбачає застосування радіоканалу стандарту Bluetooth.

Як експериментальний матеріал застосовувалися вібраційні сигнали, що вимірювалися на вузлах електричної машини постійного струму типу П-51 (рис. 1) при розташуванні блока сенсорів на двох різних вузлах об'єкта діагностики: на вузлі з'єднувального фланця між валом електричної машини і валом вузла випробувань підшипників та на валу біля стійки з підшипників ковзання.

Проведення цих вимірювань було виконано з метою підтвердження ідентичності основних вібраційних складових вимірюваного з різ-



Розташування блоку сенсорів на електричній машині П-51.

Рис. 1

них вузлів сигналу, що залежать від параметрів роботи електричної машини під час досліджень та основних її характеристик.

Експериментальний зразок створеної ІВС діагностики складається з двох основних частин [2]: блока сенсорів, що розташовується безпосередньо на об'єкті діагностики (роторі електричної машини); блока приймання та обробки інформації – ПЕОМ, до якої за допомогою шини USB підключений Bluetooth приймач-передавач [8]. Основною частиною даного блока є програмне забезпечення, що використовується для обробки вимірних сигналів.

Проведення експериментальних досліджень. При проведенні першого варіанту експерименту блок сенсорів був розташований, як показано на рис. 1, у положенні «Варіант 1». Електрична машина працювала у режимі холостого ходу. Вимірювання вібрацій з вузла проводилися при різних частотах обертання вала двигуна [3]. Під час роботи ІВС виміряне за допомогою акселерометрів віброприскорення в цифровому вигляді через радіоканал передається до блока приймання та обробки інформації [2]. Під час проведення другого варіанту експерименту блок сенсорів розташовувався у положенні «Варіант 2» (рис. 1). Режим роботи електричної машини задавалися аналогічно режимам першого варіанту експерименту. При проведенні вимірювань використовувалася лише одна вісь акселерометра, що є складовою частиною блока сенсорів, внаслідок чого амплітуди вібраційних сигналів, отримані при проведенні обох варіантів експерименту, мають різну просторову орієнтацію. Миттєві вектори вібрацій в одиничний інтервал вимірювання паралельні лініям символів, що вказують місце розташування блоків сенсорів при різних варіантах експерименту. Результати вимірювання вібраційного сигналу (реалізації) представляються у вигляді графіків залежності амплітуди вібрацій від часу.

Використання програмних засобів ІВС для обробки вимірюного сигналу. Програми статистичного аналізу виконують перевірку оцифрованого сигналу на стаціонарність і статистичний аналіз вібрацій об'єкта, що діагностується. Ці програми базуються на методах кореляційного, спектрального або гістограмного аналізу вібрацій і реалізовані у вигляді пакету як одного з основних елементів блока приймання та обробки інформації.

Даний пакет програм дозволяє визначити оцінки початкових і центральних моментів до четвертого включно, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, інтервалу варіювання, будувати гістограми і згладжувати їх по системі кривих Пірсона, а також одержувати згладжені оцінки спектрів потужності і взаємних амплітудних спектрів з оцінкою дисперсії отриманих оцінок спектрів.

Коротко зупинимось на основних співвідношеннях, які покладено в основу алгоритмів визначення оцінок спектральної щільності досліджуваного сигналу $x(t)$, оскільки за допомогою програм з використанням цих алгоритмів у подальшому визначаються оцінки діагностичних ознак.

Перетворення Фур'є дійсної функції $x(t)$, яка задана на нескінченному інтервалі, представляє собою комплекснозначну функцію [6,7]

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt. \quad (1)$$

Виконавши математичні перетворення [2], ітераційне перетворення Фур'є можна записати наступним чином [5,7]:

$$S(k) = A_p(k_0, k_1, \dots, k_{p-1}) = \sum_{n_0=0}^1 A_{p-1}(k_0, k_1, \dots, k_{p-2}, n_0) T(k_0, k_1, \dots, k_{p-2}) \exp(-i\pi k_{p-1} n). \quad (2)$$

Використавши представлення Ейлера для комплексних чисел, отримаємо

$$S(k) = \text{Mod}[S(k)] e^{i \text{Arg}[S(k)]}, \quad (3)$$

де $\text{Mod}[\dots]$ та $\text{Arg}[\dots]$ – відповідно модуль і фаза комплексного спектра $S(k)$.

Функції $Mod[S(k)]$ і $Arg[S(k)]$ є амплітудним та фазовим спектрами процесу $x(t)$. Саме ці функції і обчислюються програмою спектрального аналізу.

Для побудови згладжених оцінок спектральних щільностей $\tilde{S}_k(f)$ сигналу, який досліджується, використовується метод спектрального вікна [6].

У програмі передбачено вибір одного із трьох типів вікон згладжування [6]:

вікно Бартлетта

$$v(S) = \begin{cases} 1 - \frac{|S|}{I}, & S \leq I, \\ 0, & S > I; \end{cases}$$

вікно Тьюки

$$v(S) = \begin{cases} 0,5 \left(1 + \cos \frac{\pi S}{I} \right), & S \leq I, \\ 0, & S > I; \end{cases}$$

вікно Парзена

$$v(S) = \begin{cases} 1 - 6 \left(\frac{S}{I} \right)^2 + 6 \left(\frac{S}{I} \right)^3, & S \leq \frac{I}{2}, \\ 2 \left(1 - \frac{S}{I} \right)^3, & \frac{I}{2} < S \leq I, \\ 0, & S > I. \end{cases}$$

(4,5,6)

За допомогою програми спектрального аналізу було побудовано графіки залежності спектральної щільності потужності виміряного вібраційного сигналу від частоти з використанням логарифмічної шкали на осях абсцис та ординат. З вигляду спектрограм, що показані на рис. 2–5, можна зробити висновки про наявність одного явно вираженого максимуму, частота якого збільшується при збільшенні частоти обертання валу електричної машини П-51.

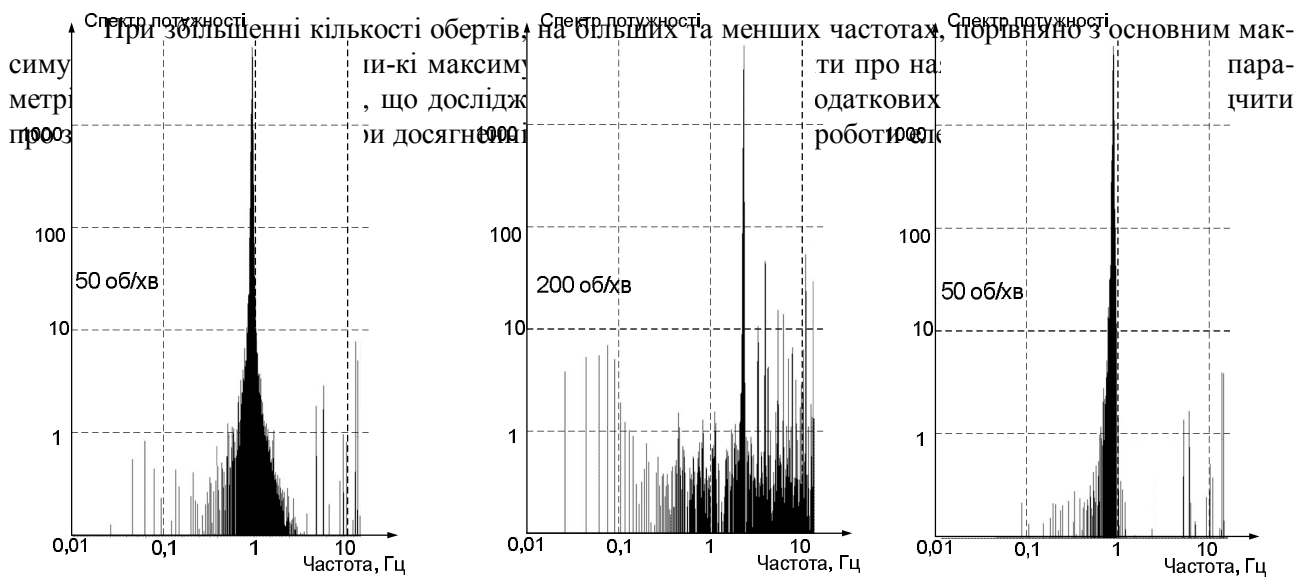


Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

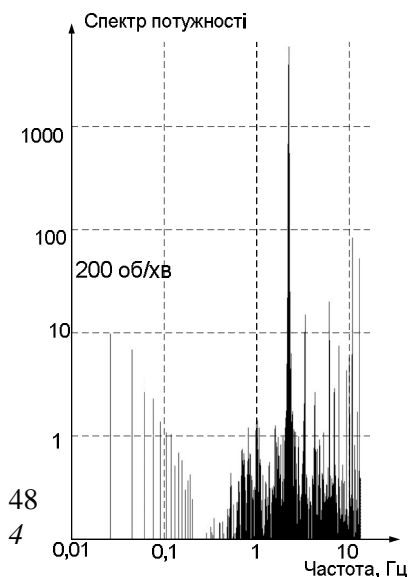


Рис. 5

Результати проведеного аналізу вібраційних сигналів, отриманих з об'єкта діагностики при проведенні варіантів експерименту №1 (рис. 2,3) та №2 (рис. 4,5), показали аналогічні результати з поправками на додаткові вібраційні сигнали, вплив яких на графіках інтерпретується у вигляді додаткових максимумів, виникнення та різниці в яких у різних варіантах експерименту пов'язані зі зміною місця розташування блока сенсорів.

Кореляційний аналіз вібрацій не дає більшої за об'ємом інформації у порівнянні зі спектральним, оскільки кореляційна функція і спектральна щільність пов'язані між собою перетворенням Фур'є. Вони відрізняються лише формою представлення результатів: кореляційний аналіз – у часовій області, а спектральний – у частотній.

Висновки. Результати експериментальних досліджень з використанням створеного зразка ІВС діагностики, що базується на радіоканалі стандарту Bluetooth для передачі вимірних вібраційних сигналів, довели ефективність цього зразка для діагностики рухомих вузлів електричних машин.

Графічне представлення результатів обробки вимірних вібраційних сигналів у вигляді спектральної щільності потужності надає можливість ефективно діагностувати дефекти рухомих частин електричних машин, що залежать від швидкісного режиму їхньої роботи (наприклад, механічний або тепловий дисбаланс).

1. *Гижко Ю.І., Мислович М.В.* Особливості побудови інформаційно-вимірювальних систем діагностики рухомих частин електротехнічного обладнання // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2007. – №2(17). – С. 107–115.

Gyzhko Yu.I., Myslovych M.V. Features of construction of information-measuring systems diagnostics of moving parts of electrical equipment // Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2007. – № 2 (17). – P. 107–115. (Ukr.)

2. *Гижко Ю.І., Мислович М.В.* Деякі питання практичної реалізації та застосування інформаційно-вимірювальних систем діагностики обертових частин роторних енергетичних машин // Техн. електродинаміка. Тем. випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2008. – Част. 4. – С. 53–58.

Gyzhko Yu.I., Myslovych M.V. Some questions of practical implementation and application of information-measuring systems for diagnosis of rotating parts of the rotary power machines // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk «Problemy suchasnoi elektrotekhniki». – 2008. – Vol.4. – P. 53–58. (Ukr.)

3. *Гижко Ю.І., Мислович М.В.* Особливості формування навчаючих сукупностей при проведенні вібродіагностики вузлів рухомих частин енергетичних машин // Вісник НУ «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2009. – №654. – С. 35–40.

Gyzhko Yu.I., Myslovych M.V. Features of formation of teaching sets during vibrodiagnostics of nodes moving parts of power machines // Visnyk Natsionalnogo universytetu «Lvivska politekhnika». Elektroenerhetychni ta elektromekhanichni systemy. – 2009. – № 654. – P. 35–40. (Ukr.)

4. *Марченко Б.Г., Мислович М.В.* Вибродіагностика подшипниковых узлов электрических машин. – Київ: Наукова думка, 1992. – 195 с.

Marchenko B.H., Myslovich M.V. Vibrodiagnostics bearing units of electric machines. – Kyiv: Naukova dumka, 1992. – 195 с. (Rus.)

5. *Отнес Р., Эноксон Л.* Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. – Москва: Мир, 1982. – 428 с.

Otnes R., Enokson L. Applied time series analysis. Basic methods. – Moskva: Mir, 1982. – 428 p. (Rus.)

6. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. – Москва: Радио и связь, 1982. – 624 с.

Tikhonov V.I. Statistical radiotechnics. – Moskva: Radio i sviaz, 1982. – 624 p. (Rus.)

7. *Cooley T.W., Tukey T.V.* An Algorithm for Machine Calculation of Complex Fourier Series / Mathematics of Computation. – 1965. – №90. – С. 297–301.

8. *Specification of the Bluetooth System, Bluetooth SIG, Internet-site: <http://www.bluetooth.com>*

УДК 621.314: 621.391

**Ю.І. Гижко, Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.**

Результати спектрального аналізу вібрацій рухомих частин електричних машин

Проведені експериментальні дослідження з використанням інформаційно-вимірювальної системи діагностики, що базується на радіоканалі стандарту Bluetooth для передачі вимірних вібраційних сигналів, довели ефективність цього зразка для діагностики рухомих вузлів електричних машин. Графічне представлення результатів обробки вимірних вібраційних сигналів у вигляді спектральної щільності потужності надає можливість ефективно діагностувати дефекти рухомих частин електричних машин, що залежать від швидкісного режиму їхньої роботи (наприклад, механічний або тепловий дисбаланс).

ISSN 1607-7970. Техн. електродинаміка. 2011. № 4

исследуемого сигнала. С помощью пакета прикладных программ проведен спектральный анализ полученных сигналов и показаны графики зависимости спектральной мощности измеренного вибрационного сигнала от частоты. Библ. 8, рис. 5.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, статистические методы, электрические машины, информационно-измерительные системы.

**Yu.I. Gyzhko, Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.**

Spectral analysis results of vibrations moving parts of electric machines

Experimental research using information-measuring system of diagnosis that uses Bluetooth wireless standard to transmit the measured data. This research received vibration signals measured on moving nodes of the electric machine. The basic mathematical relations underlying the algorithms for determining estimates of the spectral density of the signal. Using the software package performed the spectral analysis of received signals and given plots of spectral power of the measured vibration signal on the frequency. References 8, figures 5.

Key words: vibration diagnostics, statistical methods, electrical machines, information-measuring systems.

Надійшла 12.01.2011

Received 12.01.2011