

УДК 621.391:519.22

Р.М. Юзефович^{1,2}, д.т.н., проф.; І.М. Яворський^{1,3}, д.ф.-м.н., проф.; Б.Р. Комарницький¹, аспірант; В.О. Кобрин², магістр

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

² Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

³ Бидгоська політехніка, Бидгощ, Польща

ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІЙ КОГЕРЕНТНОСТІ У ВІБРОДІАГНОСТИЦІ

R.M. Yuzefovych^{1,2}, Dr. Sci., Prof.; I.M. Javorskyj^{1,3}, Dr. Sci., Prof.; B.R. Komarnytskyi¹, Ph. D. student; V.O. Kobryn², MS degree

¹ Karpenko Physico-mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

² Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

³ University of Sciences and Technology, Bydgoszcz, Poland

COHERENCE FUNCTIONS USAGE IN VIBRODIAGNOSTIC

При розв'язуванні задач вібродіагностики часто також виникає потреба аналізу взаємозв'язків між сигналами, які відібрані в різних точках механічної системи. Вібраційний сигнал, що є носієм інформації про певні дефекти системи, має властивості як повторюваності, так і стохастичності. Ці його властивості дають можливість описати і дослідити математичну модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП) [1]. Імовірнісні характеристики ПКВП відображають модуляційну взаємодію стохастичної і детермінованої складових вібрацій, яка виникає в разі появи дефектів. І власне останні з використанням цих характеристик вдається виявляти вже на ранніх стадіях їх розвитку [1]. Взаємний ПКВП-аналіз вібросигналів, відібраних у різних точках, може суттєво полегшити визначення типу дефектів, а також є необхідним для їх розрізнення та локалізації. З цього погляду важливим є визначення основних властивостей взаємокореляційних характеристик пов'язаних між собою ПКВП.

Задачу взаємного аналізу, для спрощення, розглянемо тільки для двох ПКВП-сигналів $\xi(t)$ і $\eta(t)$. Їх математичні сподівання і кореляційні функції є періодичними функціями часу

$$m_{\xi}(t) = E\xi(t) = m_{\xi}(t+T), \quad b_{\xi}(t, u) = E\dot{\xi}(t)\dot{\xi}(t+T) = b_{\xi}(t+T, u), \quad \dot{\xi}(t) = \xi(t) - m_{\xi}(t),$$

$$m_{\eta}(t) = E\eta(t) = m_{\eta}(t+T), \quad b_{\eta}(t, u) = E\dot{\eta}(t)\dot{\eta}(t+T) = b_{\eta}(t+T, u), \quad \dot{\eta}(t) = \eta(t) - m_{\eta}(t),$$

і можуть бути подані рядами Фур'є:

$$m_{\xi}(t) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} m_k^{(\xi)} e^{ik\omega_0 t}, \quad b_{\xi}(t, u) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} B_k^{(\xi)}(u) e^{ik\omega_0 t},$$
$$m_{\eta}(t) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} m_k^{(\eta)} e^{ik\omega_0 t}, \quad b_{\eta}(t, u) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} B_k^{(\eta)}(u) e^{ik\omega_0 t}.$$

Для опису стохастичних зв'язків стаціонарних випадкових сигналів у частотній області широко використовується функція когерентності, яка визначається виразом [2]:

$$\gamma_{\xi\eta}(\omega) = \frac{|f_{\xi\eta}(\omega)|^2}{f_{\xi}(\omega)f_{\eta}(\omega)}, \quad (1)$$

де $f_{\xi\eta}(\omega)$ – взаємна спектральна густина двох стаціонарних стаціонарно зв'язаних сигналів, а $f_{\xi}(\omega)$ і $f_{\eta}(\omega)$ – їх спектральні густини потужності. Оскільки [6]

$$|f_{\xi\eta}(\omega)|^2 \leq f_{\xi}(\omega) f_{\eta}(\omega),$$

то для функції (1) завжди виконується умова: $0 \leq \gamma_{\xi\eta}(\omega) \leq 1$. Для незалежних сигналів $\gamma_{\xi\eta}(\omega) = 0$ для всіх $\omega \in R$. Якщо сигнали $\xi(t)$ і $\eta(t)$ є результатом лінійних перетворень одного й того ж процесу, то $\gamma_{\xi\eta}(\omega) = 1$. Якщо функція когерентності менша від одиниці, то це є показником того, що має місце одна з трьох ситуацій: на один з сигналів впливає зовнішній шум, один з сигналів зазнав нелінійних перетворень, один з досліджуваних сигналів зазнав впливу інших. При аналізі лінійних систем функція когерентності дає можливість виділити ту частину випадкового сигналу $\eta(t)$, яка на частоті ω визначається процесом $\xi(t)$. З другого боку, різниця $1 - \gamma_{\xi\eta}(\omega)$ характеризує ту частину, яка не корелює з $\xi(t)$.

Також для визначення технічного стану механізмів циклічної дії використовують функцію когерентності, яка характеризує взаємозв'язок окремих модулюючих процесів $\xi_k(t)$ і $\eta_l(t)$. Цю функцію когерентності визначають на основі їх авто- і взаємоспектральних густин, а саме

$$\gamma_{kl}^{(\xi\eta)}(\omega) = \frac{|f_{kl}^{(\xi\eta)}(\omega)|}{\left[f_{kk}^{(\xi)}(\omega) f_{ll}^{(\eta)}(\omega) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

і називають покомпонентною, а різницю між номерами стаціонарних компонентів k і l – її порядком. У [3, 4] показано, що функції (1) і (2) не змінюються при лінійних перетвореннях, а також показано доцільність їх використання при розв'язанні задач вібродіагностики.

Література

1. Яворський І. М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань / І. М. Яворський – Львів : ФМІ НАН України, 2013. – 804 с.
2. Яворський І. М. Визначення покомпонентної функції когерентності взаємозв'язаних періодично нестаціонарних випадкових сигналів / І. М. Яворський, Р. М. Юзефович, І. Й. Мацько, П. О. Семенов // Відбір і обробка інформації. – 2016. – № 44 (120). – С. 17–28.
3. І. Яворський. Функція когерентності взаємопов'язаних періодично нестаціонарних випадкових процесів / І. Яворський, Р. Юзефович, І. Мацько, З. Закжевський // Вісті вузів. Радіоелектроніка. – 2016. – 59 (3). – С. 40–51.
4. І. Яворський. Покомпонентна функція когерентності взаємопов'язаних періодично нестаціонарних випадкових процесів / І. Яворський, Р. Юзефович, І. Мацько, З. Закжевські // Вісті вузів. Радіоелектроніка. – 2017. – 60 (1). – С. 37–49.

УДК 004.75:681.5.015:629.735

І.С. Дідич, доктор філософії; Б.М. Зозуляк; А.А. Микитишин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

РОЗПОДІЛЕНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНИКІВ У СКЛАДНИХ МІСЬКИХ УМОВАХ

Анотація. У роботі розглядаються питання застосування розподілених систем керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) в умовах складної міської забудови. Проаналізовано особливості взаємодії безпілотників у розподілених мережах, запропоновано модель керування, що забезпечує автономність прийняття рішень та ефективне уникнення перешкод. Наведено переваги розподілених алгоритмів перед централізованими, зокрема в