

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСТОТ ОБЕРТАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ РОТОРНИХ МАШИН

Васілевський О.М., Поджаренко В.О.

Вінницький національний технічний університет

21021, Вінниця, Хмельницьке шосе 95, каф. метрології та промислової автоматики

тел. (0432) 44-06-72, E-mail: wasilevskiy@mail.ru

The structure of information-measuring system for the automatic control difference rotations of electromechanical systems, algorithm of definition of frequencies of rotation by measured vibrating parameters, by formation of cross-correlation functions and calculation of time of achievement of their maximum is considered.

Вступ. При побудові технологічних процесів досить часто виникає проблема синхронізації частот обертання роторних машин (перемотка полосових матеріалів, безперервні прокатні стани, обточка дорогоцінних каменів, тощо). Суть цієї проблеми полягає в забезпеченні відносної синхронності по частоті обертання, тобто узгоджене обертання кількох двигунів із шпинделями та одночасне діагностування при цьому їх технічного стану за допомогою вібросигналів (ВС), які вони збуджують.

Основна частина. Існуючі ІВС, як правило здійснюють вимірювання частот обертання за класичним методом, за допомогою тахометрів чи фотоелектричних сенсорів кутової швидкості та закріпленого на валу ротора модулятора. Безупинний ріст вимог до ефективності сучасного промислового виробництва обумовлює необхідність пошуків нових шляхів зниження затрат і, в першу чергу, пов'язаних з відмовою, аваріями і позаплановим простоєм обладнання. Широке впровадження вібродіагностики ЕМС, яке супроводжується високим рівнем вібрації, пов'язані з частотою обертання ротора і кратними до неї гармонійними складовими. Тому, в даній публікації пропонується вимірювати частоти обертання за допомогою ВС, які одержують через закріплені на основі шпинделів акселерометри, що дозволяє не тільки вимірювати частоти обертання роторних машин, без додаткового закріплення на вал модулятора, а й одночасно діагностувати технічний стан підшипникових вузлів. Структурна схема ІВС для синхронізації частот обертання та діагностування роторних машин за їх ВС зображена на рис. 1.

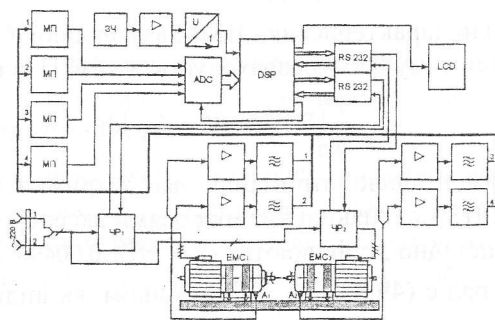


Рис. 1. Структурна схема ІВС для синхронізації частот обертання та діагностування роторних машин

ІВС повинна забезпечити синхронізацію частот обертання – автоматично відслідковувати частоту обертання головної електромеханічної системи (ЕМС₁) та підстроювати під нею допоміжну ЕМС₂.

Об'єктом дослідження (ОД) є дві ЕМС, до основи яких прикріплені акселерометри А₁ та А₂, з яких німають ВС для визначення частоти обертання ЕМС.

ВС (X₁, Y₁, X₂, Y₂) з акселерометрів надходять до схеми автоматичного контролю (САК), яка відслідковує частоту обертання кожної ЕМС і якщо різниця між частотами обертання ЕМС перевищує задану, то САК через послідовний інтерфейс RS-232 формує

сигнал U_2 для частотного регулятора (ЧР₂), який зменшує чи збільшує частоту обертання ЕМС₂. Тобто допоміжна ЕМС₂ за допомогою цифрового сигнального процесора (ЦСП) підстроюється під головну ЕМС₁. Здавачем частот (ЗЧ), через ЧР₁ задається частота обертання ЕМС, яка може змінюватись від 0 до 72 Гц.

При вимірюванні частот обертання ЕМС за допомогою концентрично розташованих сенсорів вібрації було використано наступний алгоритм визначення взаємо-кореляційної функції (ВКФ) в ЦСП із затриманих в часі параметрів ВС $X(t)$ та $Y(t+T)$. Виміряні значення ВС піддали кореляції, в результаті чого утворилися ВКФ $R_{XY}(\tau)$, які виражають ступінь кореляції між ВС в залежності від їхнього взаємного зсуву (часу затримки τ) у часовій області. Час, при якому досягається максимум ВКФ, відображає час затримки τ , за яким визначаються частоти обертання ЕМС. Отримані експериментальним шляхом ВКФ (рис. 2), на номінальних частотах обертання (50 Гц) розраховувались програмно в ЦСП за формулою:

$$R_{XY}(T) = \sum_{v=1}^n S_{Xv} S_{Yv} \cdot \cos(\Psi_v - v \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot \tau), \quad (1)$$

де S_X , і S_Y – експериментальне середнє квадратичне значення ВС $X(t)$ та $Y(t)$; Ψ_v - фазовий зсув між v -ми гармоніками досліджуваних сигналів ($\pi/2$); v - кількість виміряних параметрів; f_0 – частота дискретизації вхідної напруги; τ – час затримки між ВС $X(t)$ та $Y(t)$, який потрібно визначити; n – кількість відліків (вибірка).

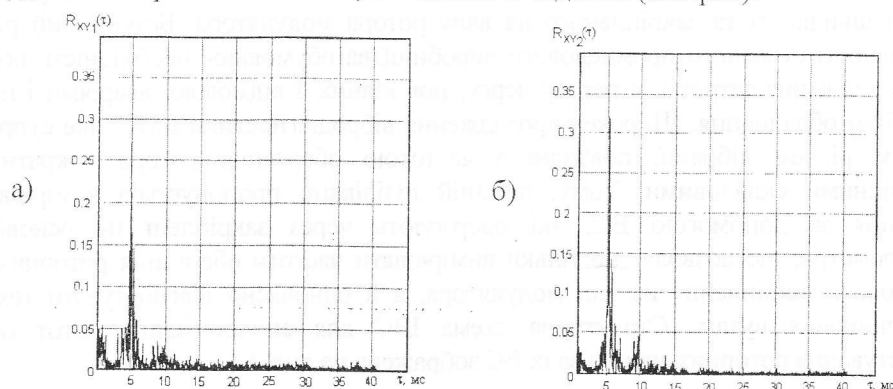


Рис. 2. Експериментальні характеристики ВКФ: а) головної, б) допоміжної ЕМС.

Час досягнення максимуму ВКФ розраховується в ЦСП із виразу:

$$\tau = \frac{1}{n} \int_0^n R_{XY}(\tau) / (S_X \cdot S_Y) dt. \quad (2)$$

Згідно (2), експериментально отриманий час затримки головної ЕМС складає 4,997 мс, а допоміжної – 5,013 мс. Знаючи кут між осями акселерометрів та час затримки, кутові швидкості ЕМС відповідно дорівнюють: $\omega_1 = \pi / (2 \cdot 0,004997) \approx 314,2$ рад/с (50,03 Гц) і $\omega_2 = \pi / (2 \cdot 0,005013) \approx 313,2$ рад/с (49,87 Гц). Таким чином, як видно із експериментально визначених частот, відносна похибка несинхронності обертання ЕМС на номінальній частоті не перевищує 0,35 %, що свідчить про високу точність синхронізації частот обертання та підтверджує адекватність розроблених рівнянь для вимірювання частот обертання роторних машин за допомогою ВС.

Оскільки в даній ІВС використовуються акселерометри, які вимірюють вібропереміщення, то доцільно разом із визначенням частот обертання одночасно діагностувати технічний стан ЕМС, що дозволяє ремонтувати їх за фактичною потребою.

Попередньо проведені дослідження показали, що серед найбільш вживаних діагностичних (ДО) технічного стану різноманітних машин і механізмів може бути вибрана авто-кореляційна функція (АКФ) вібраційного процесу. За ДО було прийнято логарифмічний декремент затухання (ЛДЗ) АКФ сигналу вібрації. Такий вибір є правомірним, оскільки ЛДЗ уже використовувався для оцінки технічного стану ЕМС, обумовлених їх зносними дефектами.

Логарифмічний декремент затухання визначимо за формулою:

$$\alpha = \ln \left[\frac{R(t)}{R(t+T)} \right] = \beta \cdot T, \quad (3)$$

де $R(t) = R(0)e^{-\beta t}$ – амплітуда затухаючих коливань; T – період затухаючих коливань; β – коефіцієнт затухання.

Алгоритм авто-кореляційної обробки за ВС, які вимірюються по осям X та Y однієї ЕМС має наступний вигляд:

$$R = \frac{K_{ВП}}{t_B} \int_0^{t_B} S_X(t) S_Y(t-T) dt, \quad (4)$$

де $K_{ВП}$ – коефіцієнт передачі вимірювального каналу (ВК) вібрації; S_X, S_Y – СКЗ вимірних параметрів ВС відповідно по осі X та Y ; t_B – час вимірювання.

При цифровій обробці ВС для створення АКФ рівняння (2) приймає вигляд:

$$R(T) = K_{ВП} \sum_{v=1}^n S_X^2 \cos(v\omega_0 T). \quad (5)$$

Характеристики зміни АКФ (5) для вібраційного процесу в ЕМС, яка експлуатувалась місяць та вісім місяців зображені на рис. 3.

Як видно із проведених експериментів, АКФ має вигляд затухаючих модульованих коливань, причому характер модуляції та ступінь затухання змінюються з напрацюванням ЕМС. Так, для АКФ на рис. 3,б затухання є помітно більшими (АКФ різко спадає до 0.2-0.3 від початкового значення), що свідчить про значну ступінь зносу ЕМС.

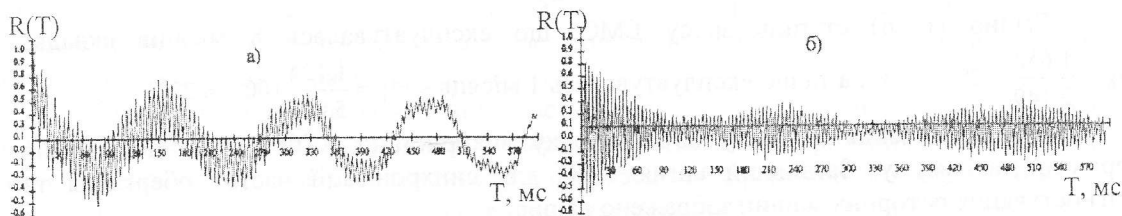


Рис. 3. АКФ для вібраційного процесу ЕМС, яка експлуатувалась на протязі: одного місяця (нова) – (а), восьми місяців (зношена) – (б)

Оскільки для сигналу такої форми досить складно визначити період затухаючих коливань, при розробці програмного забезпечення було використано алгоритм визначення ЛДЗ, який передбачає знаходження спадаючої послідовності максимумів АКФ з наступною апроксимацією цієї послідовності показниковою функцією: $ae^{(-bt)} + c$. Значення ЛДЗ приймається рівним коефіцієнту b , який знаходиться шляхом оцінки параметрів відповідної лінійної регресії моделі за методом найменших квадратів. Отримане значення не залежить від періоду коливань, тобто відповідає коефіцієнту затухання β у формулі (3).

Експериментальні дослідження, свідчать про те, що зміна математичного очікування є випадковою величиною і обумовлена дрейфом нуля. А зміна дисперсії виявляє певну залежність від фази періоду качань. Тобто, дисперсія ВС має нестационарний процес, вона зростає при розгоні (пуску) та зупинці (гальмуванні) ЕМС. Причиною підвищення віброактивності в ці моменти часу є інерційні навантаження ЕМС при різкій зміні напрямку її руху. Дисперсія при гальмуванні, починаючи з подання сигналу зупинки, приймає більші значення і змінюється за іншим законом, ніж при пуску, за рахунок різного напрямку сил тертя та демпфуючого впливу.

При розгоні та гальмуванні було побудовано АКФ та обчислено ЛДЗ (рис. 4). Розраховані за рівнянням (3) значення ЛДЗ зношеної ЕМС при пуску дорівнює $\alpha_p = 1.652$, а при гальмуванні – $\alpha_z = 2.149$.

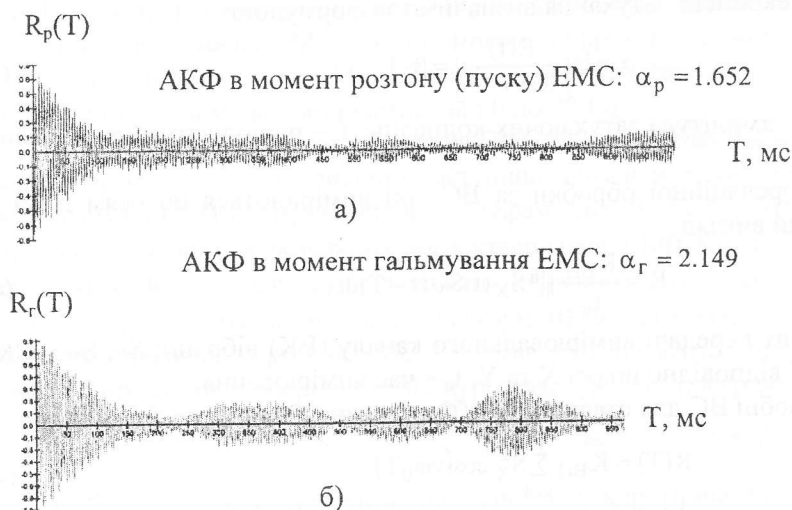


Рис. 4. АКФ і ЛДЗ для інтервалів розгону – (а) та гальмування – (б)

З метою отримання єдиної ДО технічного стану Θ , яка враховує обидва показники прийемо наступне відношення:

$$\Theta = \frac{\alpha_p}{\alpha_2} 100\% . \quad (6)$$

Згідно із (6) ступінь зносу ЕМС, що експлуатувалась 8 місяців складає $\Theta_8 = \frac{1.652}{2.149} 100\% \approx 77\%$, а та що експлуатувалась 1 місяць - $\Theta_1 = \frac{1.124}{5.038} 100\% \approx 22\%$.

Для визначення моменту початку руху використано ВКФ та час досягнення першого максимуму. Загальний вигляд ІВС для синхронізації частот обертання та діагностування роторних машин зображено на рис. 5.

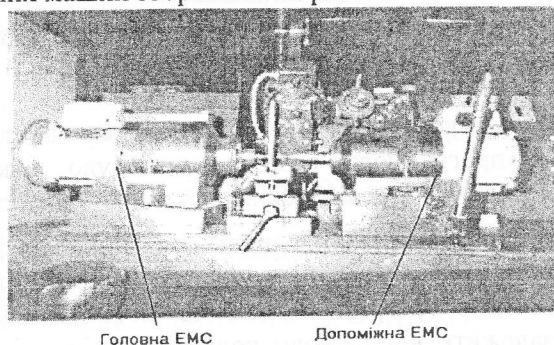


Рис. 5. Вигляд ІВС для синхронізації частот обертання та діагностування роторних машин

Висновки. Досліджено та розроблено ІВС і новий метод вимірювання частот обертання роторних машин за ВС, що дозволяє позбутися необхідності закріплення модулятора на вал ротора, який інколи неможливо закріпити. Використання акселерометрів для визначення частот обертання дозволяє одночасно діагностувати технічний стан роторних машин та ремонтувати їх за фактичною потребою.

Формування ДО технічного стану за допомогою ЛДЗ проводиться за параметром Θ , який є відношенням ЛДЗ АКФ ВС на інтервалах розгону та гальмування. Дана ознака адекватно відображає технічний стан роторної машини і дозволяє оцінити ступінь зносу.