ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ У РАЗІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА ВИДІЛЕННЯ КОМБІНАЦІЙНИХ СКЛАДОВИХ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ЧАСТОТОЮ ОБЕРТІВ РОТОРА

С. В. Ємельянов

Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
emelianov@op.edu.ua

Розглянуто особливості використання методу аналізу комбінаційних складових, пов'язаних з регулярними складовими, з використанням синхронної обробки даних у сигналах віброакустичних машин, які мають ротор. Визначено особливості аналізу спектра сигналу та зв'язок між відомими видами активності та їх відображення у спектрі.

Ключові слова: віброакустичні машини, ротор, спектр сигналу, синхронна обробка даних.

У разі порушення технічного стану машин, які мають ротор, в сигналах їхньої віброакустичної активності виникають комбінаційні складові. Вони формуються в результаті взаємодії регулярної складової (гармоніки), пов'язаної з частотою обертів ротора, та інших складових, наприклад іншими коливальними процесами, які виникають у машині [1]. Нестаціонарність регулярної складової, коли значення обертів змінюються, не дозволяє зробити достовірну оцінку параметрів комбінаційних складових з використанням спектральних методів аналізу сигналів [2]. У роботі [3] запропоновано метод виконання синхронної обробки даних, який дозволяє визначати склад комбінаційних складових пов'язаних з окремою регулярною складовою.

Метою цієї роботи є визначення особливостей відображення спектра сигналу, отриманого за результатами синхронної обробки даних, за наявності відомих складових віброакустичної активності, що виникає в процесі роботи машин, які мають ротор.

Складова, пов'язана з k-ю гармонікою частоти обертів ротора, може бути представлена як

$$x(t) = A(t) \cdot \cos(k \int_0^t \omega_p(t)\, dt + \varphi(t)), \tag{1}$$

де $A(t)$ — амплітуда складової; $\omega_p(t)$ — закон зміни частоти обертання ротора; $\varphi(t)$ — початкова фаза; k — номер регулярної складової.

У разі одержання інформації про фазову швидкість обертання ротора із використанням датчика, який формує синхроімпульси в моменти часу, коли ротор повертається на кут $\Delta\varphi$ (вважаємо, що кількість інтервалів $\Delta\varphi$ дорівнює N за один оберт ротора), маємо такі значення часу оберт ротора:

$$t_{\Delta\varphi} = \{t_1, t_2, \ldots, t_N\}. \tag{2}$$

Тоді можна виконувати синхронне детектування з прив'язкою до цих же моментів часу:

$$\dot{A}(t_{\Delta\varphi}[i]) = x(t_{\Delta\varphi}[i]) \cdot (\sin(k \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot (i \cdot \bmod N)) + j \cdot \cos(k \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot (i \cdot \bmod N))), \tag{3}$$

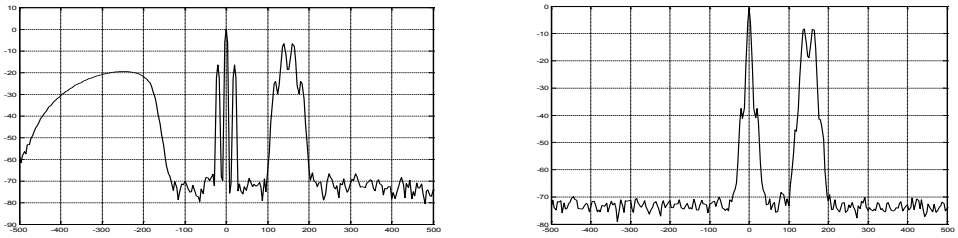
де i — поточний номер значень часу, коли виконувалась фіксація значення рівня сигналу.

Отримані згідно з рівнянням (3) значення $\dot{A}(t_{\Delta\varphi}[\mathrm{i}])$ за допомогою інтерполяції можна перетворити до постійної частоти дискретизації та побудувати спектр.

Було сформовано декілька складних комбінованих сигналів у вигляді послідовностей значень моментів часу (2) і відповідних їм значень віброакустичного сигналу (3). Прийнято такі початкові параметри синтезованого сигналу: кількість імпульсів за оберт ротора — 60, номер синтезованої гармоніки — $1f_p$, $20f_p$ та $21f_p$ (де f_p — поточне значення частоти обертів ротора), частота обертання ротора — 9000 об/хв або змінюється за гармонійним законом з частотою девіації від 500 до 2000 об/хв за

секунду. Додатково синтезований сигнал доповнювався адитивними складовими з частотами 200 Гц, 1 кГц та 5 кГц, амплітудною та фазовою модуляцією роторної складової з частотами 30 або 300 Гц, крутильними коливаннями ротора з частотами 20 або 300 Гц, додатковими роторними складовими та часовою затримкою між послідовностями значень моментів часу (3) і віброакустичним сигналом для імітування затримки розповсюдження сигналу.

Складова, пов'язана з *k*-ю гармонікою частоти обертів ротора, не змінюється за наявності зміни частоти обертів ротора або крутильних коливань, а інші мають зміни у вигляді розширення їхнього спектра або проявлення додаткових складових. Ще було визначено, що розширення інших складових можуть призводити також до їх змішування з роторними складовими. Крім того, одночасний аналіз одразу декількох роторних складових неможливий, наприклад, присутня складова $21f_{p,}$, що присутня справа від $20f_p$, має додаткову модуляцію (рис. 1, *а*) у вигляді розширення спектра складової.



а) б)

Рис. 1. Спектр комплексної обвідної складного комбінованого сигналу в області $20f_p$: *а* — за наявності девіації у 1000 об/хв за секунду; *б* — за наявності крутильних коливань з частотою 20 Гц в умовах часової затримки 1 мс

Тимчасова затримка між послідовностями значень моментів часу (2) і відповідних значень рівня сигналу (3) при більших значеннях девіації частоти обертів ротора, наприклад 2000 об/хв за секунду, або наявності крутильних коливань буде призводити до розширення форми складової у спектрі на величину більш ніж 5 Гц, що відповідає зворотному значенню часу відставання сигналу при його поширенні та різниці між поточним значенням частоти обертів ротора та послідовністю значень моментів часу (2) з датчика обертів ротора (рис. 1, *б*).

В результаті проведених досліджень показано, що для визначення складу регулярної складової, пов'язаної з частотою обертів ротора, можна використовувати метод синхронної обробки даних. Визначено, що можна розрізняти складові, які мають зв'язок з регулярною складовою і які його не мають. Також визначено особливості відображення спектра обвідної сигналу в умовах зміни частоти обертів ротора за наявності крутильних коливань ротора та затримки в розповсюдженні сигналів, що виникають при роботі машин, які мають ротор.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Костюков В.Н., Науменко А.П. *Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования* Омск, Изд-во ОмГТУ, 2002, 108 с.

2. Randall R. B. *Vibration-based condition monitoring: industrial, aerospace and automotive applications*, 2011, 289 p.

3. Емельянов С.В. Ямпольский Ю.С. Методика анализа составляющих виброакустической активности роторной машины. *Труды 12-й МНПК «Современные информационные и электронные технологии»*, Украина, Одесса, 2012, т. 1, с. 63.

S. V. Yemelianov

Features of the analysis of vibroacoustic activity signals in the case of applying the method of selection of combination components associated with the rotation frequency of the rotor

The author considers the particular aspects of using the method of analyzing the combination components associated with regular components, using synchronous data processing in the signals of vibration caps with a rotor. The study determines the features of the spectrum analysis and the relationship between the known types of activity and their display in the spectrum.

Keywords: vibroacoustic machines, rotor, signal spectrum, synchronous data processing.