

**ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ РУХОМИХ ВУЗЛІВ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З МЕТОЮ ЇХНЬОГО ЗАСТОСУВАННЯ
У СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ**

Ю.І.Гижко, канд.техн.наук, **М.В.Мислович**, докт.техн.наук, **Л.Б.Остапчук**, канд.техн.наук,
Р.М.Сисак, канд.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.
e-mail: yuriv.gyzhko@gmail.com

Проведено аналіз особливостей вібраційних процесів, що виникають при роботі рухомих вузлів енергетичного обладнання. Запропоновано використання класу лінійних періодичних випадкових процесів для побудови математичних моделей цих вібрацій. Розроблено математичну модель вібраційного процесу, яка враховує його періодичність та вплив на нього випадкових факторів різної фізичної природи та різної локалізації. Бібл. 5, рис. 1.

Ключові слова: моделювання, вібраційна діагностика, електричні машини, системи діагностування.

Вступ. Однією з ключових задач при створенні методів та засобів для визначення технічного стану вузлів електроенергетичного обладнання (ЕО) є побудова математичних моделей фізичних процесів, які супроводжують роботу цих вузлів. Очевидно, що для досягнення високої достовірності результатів діагностування ці математичні моделі повинні якомога точніше описувати фізичні процеси, на основі аналізу яких приймаються діагностичні рішення. Характерною особливістю фізичних процесів, які відбуваються під час роботи ЕО змінного струму, а також ЕО, що містить рухомі (оберткові) вузли, є, з одного боку, їхня циклічність (регулярність), а з іншого – вплив додаткових чинників випадкової природи, що виникають безпосередньо у вузлах працюючого обладнання. Так, шихтовані магнітопроводи трансформаторів піддаються дії змінного магнітного поля, викликаного періодичними струмами, що протікають в обмотках; підшипники електричних машин знаходяться під впливом циклічно змінних механічних сил, викликаних обертанням валів; тиск в циліндрах дизель-електричних агрегатів змінюється згідно робочого процесу двигуна тощо. При цьому значення таких процесів не повторюються точно (в математичному розумінні) в кожному циклі (періоді), а мають стохастичний характер. Отже, математична модель діагностичних процесів повинна враховувати одночасно як циклічність, так і стохастичність досліджуваних фізичних процесів.

На даний час широко використовуються, особливо у вібродіагностиці, математичні моделі на основі стаціонарних випадкових процесів. Але такі моделі не враховують циклічність досліджуваних процесів. Тому задача розробки нових математичних моделей, більш адекватних досліджуваним фізичним процесам, є актуальною. У даній роботі представлено результати, отримані у вказаному напрямку.

Головною метою даної роботи є розробка на базі класу лінійних випадкових процесів узагальненої математичної моделі вібраційних процесів, що супроводжують роботу рухомих вузлів ЕО, для подальшого використання цієї моделі при створенні нових методів та технічних засобів діагностування такого обладнання.

Побудова ймовірнісної моделі вібрацій рухомих вузлів ЕО. Для побудови стохастичних математичних моделей різних фізичних процесів, що супроводжують роботу вузлів ЕО, в ряді робіт було використано теорію лінійних випадкових процесів (ЛВП). Це дало можливість отримувати повні ймовірнісні характеристики досліджуваних процесів (наприклад, моменти будь-якого порядку) у загальному випадку [4]. У свою чергу, це дозволило встановити найбільш інформативні діагностичні ознаки і таким чином підвищити точність, надійність та достовірність діагностування технічного стану рухомих вузлів ЕО. Разом з тим, у більшості робіт досліджувалися стаціонарні ЛВП, що, внаслідок вищезазначеного, обмежує їхнє застосування при діагностиці оберткових вузлів ЕО.

У даній статті коротко розглянуто питання побудови та практичного використання математичних моделей лінійних періодичних випадкових процесів (ЛПВП) [3] для опису вібраційних процесів, що супроводжують роботу електричних машин (ЕМ). Використання цих моделей при дослідженні різних типів діагностичних сигналів дозволяє побудувати ефективні алгоритми їхнього аналізу та класифікації дефектів ЕМ.

Для побудови математичної моделі вібрацій необхідно виділити вузол або елемент, який діагностується. Основний інтерес представляють вібрації саме цього вузла, які мають розглядатись як діагностичний сигнал. Вібрації, що породжуються іншими збуджувачими силами, повинні розглядатись як завади. Припустимо, що необхідно провести визначення стану пресування шихтованого магнітопровода ротора ЕМ.

У відповідності з поставленою задачею вимірювання вібрацій здійснюється під час роботи ЕМ за допомогою акселерометра, що розташований у торцевій частині ротора ЕМ [1, 2]. У точці вимірювання з певною інтенсивністю спостерігаються вібрації, які зумовлені різними збуджувачими джерелами, що супровод-

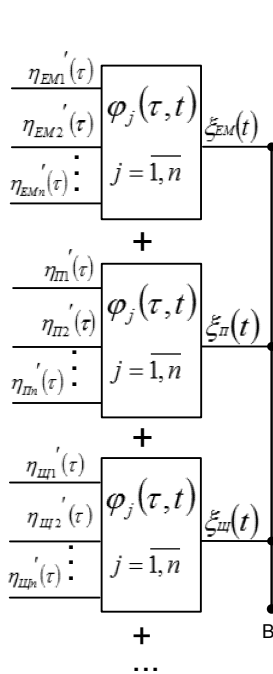
жують роботу ЕМ. Серед них можна виділити такі основні фактори [5]: $\xi_{EM}(t)$ – електромагнітні сили, $\xi_{II}(t)$ – підшипники кочення, $\xi_{Ш}(t)$ – щітково-колекторний вузол, $\xi_{AD}(t)$ – аеродинамічні сили, $\xi_{BB}(t)$ – шихтований магнітопровід. Вібраційні процеси, зумовлені цими збуджуючими джерелами, зароджуються у різних місцях досліджуваної ЕМ і поширюються в точку вимірювання різними шляхами, зазнаючи при цьому певних перетворень (внаслідок поглинання їхньої енергії в тілі досліджуваної ЕМ, часової затримки тощо). Акселерометр, що встановлений в точці вимірювання, фіксує сумарний вплив вібрацій від усіх факторів.

Розглянутий процес можна умовно зобразити схемою, що наведено на рисунку, де прямокутниками зображено багатовходові лінійні системи, які моделюють процеси проходження вібрацій від точок, у яких вони породжуються, до точки вимірювання «В».

Аналітично сигнал, що вимірюється акселерометром, можна представити співвідношенням

$$\xi(t) = \sum_{j=1}^n a_j \xi_{EMj}(t) + \sum_{j=1}^n a_j \xi_{IIj}(t) + \sum_{j=1}^n a_j \xi_{Шj}(t) + \sum_{j=1}^n a_j \xi_{ADj}(t) + \sum_{j=1}^n a_j \xi_{BBj}(t), \quad t \in (-\infty, \infty), \quad (1)$$

а n – деяке додатне число, яке визначається конструктивними, технологічними та експлуатаційними характеристиками вузла і задає число входів системи; a_j – вагові коефіцієнти, які враховують згасання у відповідному каналі, $a_j > 0$;



$$\xi_{EMj}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(\tau, t) d\eta_{EM}(\tau), \quad \xi_{IIj}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(\tau, t) d\eta_{II}(\tau), \quad \xi_{Шj}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(\tau, t) d\eta_{Ш}(\tau),$$

$$\xi_{ADj}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(\tau, t) d\eta_{AD}(\tau), \quad \xi_{BBj}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(\tau, t) d\eta_{BB}(\tau), \quad j = \overline{1, n},$$

де $\varphi_j(\tau, t)$, $j = \overline{1, n}$ – вектор імпульсних перехідних функцій системи, що розглядається, причому $\varphi(\tau, t) = \varphi(\tau, t + T)$, де T – деяке фіксоване число, період процесу $\xi(t)$; $\{\eta(\tau), P\{\eta(0) = 0\} = 1, \tau \in (-\infty, \infty)\}$ – процес з незалежними приростами і безмежно подільною характеристичною функцією (ХФ) приростів.

Процес $\eta(\tau)$, ймовірнісні характеристики якого в значній мірі обумовлені технічним станом вузла, що досліджується, може бути заданий за допомогою ХФ. При цьому відомі з [3, 4] співвідношення дозволяють отримати вираз для n -вимірної ХФ значень процесу $\xi(t)$, а також його моментів. Таким чином, можна отримати аналітичні вирази для всіх ймовірнісних характеристик вібраційного процесу, що дозволяє створювати ефективні методи вібродіагностики досліджуваного ЕО.

Висновок. Створено узагальнену математичну модель вібрацій, що супроводжують роботу рухомих вузлів ЕМ, яка враховує як періодичність вібраційного процесу, так і вплив на нього окремих джерел вібрації, що мають різну фізичну природу і просторову локалізацію. Розробка на основі створеної моделі систем

технічного діагностування вузлів ЕМ надасть можливість проводити діагностування рухомих вузлів ЕМ з заданими точністю і достовірністю.

1. Гижко Ю.І., Мислович М.В. Деякі питання практичної реалізації та застосування інформаційно-вимірювальних систем діагностики обертових частин роторних енергетичних машин // Технічна електродинаміка. Тем. випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2008. – Ч. 4. – С. 53–58

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

3. Марченко Б.Г. Лінійні періодичні процеси // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Електротехніка. – 1999. – С. 172 – 185.

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

5. Шубов И.Г. Шум и вибрация электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОДВИЖНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Ю.И.Гижко, канд.техн.наук., **М.В.Мыслович**, докт.техн.наук., **Л.Б.Остапчук**, канд.техн.наук,
Р.М.Сысак, канд.техн.наук
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.
e-mail: yuriy.gyzhko@gmail.com

Проведен анализ основных особенностей вибрационных процессов, возникающих при работе подвижных узлов энергетического оборудования. На основе проведенного анализа предложено использование класса линейных периодических случайных процессов для построения математических моделей этих вибраций. Разработана математическая модель вибрационного процесса, которая учитывает как его периодичность, так и влияние на него источников вибраций различной физической природы и различной локализации. Полученная математическая модель позволяет аналитически исследовать вероятностные свойства вибрационных процессов в подвижных узлах энергетических машин, обосновывать наиболее информативные диагностические признаки для выявления и классификации определенных дефектов этих узлов, строить эффективные решающие правила по их диагностике. Библ. 5, рис. 1.

Ключевые слова: моделирование, вибрационная диагностика, электрические машины, системы диагностики

PECULIARITIES OF MODELING OF VIBRATION PROCESSES IN MOVING PARTS OF POWER ELECTRICAL EQUIPMENT FOR THEIR USAGE IN THE SYSTEMS FOR TECHNICAL VIBRATIONAL DIAGNOSTICS

Y.I.Gyzhko, M.V.Myslovich, L.B.Ostapchuk, R.M.Sysak
Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.
e-mail: yuriy.gyzhko@gmail.com

The paper analyzed the main peculiarities of vibration processes arising during the operation of moving parts of power electrical equipment. Based on the analysis, authors proposed to use the class of linear periodic stochastic processes to elaborate the mathematical model of those vibrations. Following that approach authors developed new mathematical model of the vibrations which takes into account both the periodicity of the process and the impact of vibration sources of different physical nature and different localization. The model allows analytical investigation of probabilistic characteristics of vibrations in the moving parts of the power electrical equipment, the substantiation of most informative diagnostic parameters for detection and classification of defined failures of those parts, construction of the efficient decision rules for their diagnostics. References 5, figure 1.

Keywords: modeling, vibration diagnostics, electrical machinery, diagnostic systems

1. Gyzhko Y.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. Tematychniy vypusk "Problemy Suchasnoi elektrotekhniki"*. – 2008. – Chastyna 4. – Pp. 53 – 58. (Ukr)
2. Gyzhko Y.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). – Pp. 107 – 115. (Ukr)
3. Marchenko B.H. Linear Periodic Processes // *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. Elektrotekhnika*. – 1999. – Pp. 172 – 185. (Ukr)
4. Marchenko B.H., Myslovich M.V. Vibrodiagnostics bearing units of electric machines. – Kyiv: Naukova Dumka, 1992. – 195 p. (Rus)
5. Shubov I.G. Noise and vibration of electrical machines. – Leningrad: Energoatomizdat, 1986. – 208 p. (Rus)

Надійшла 17.02.2014