

СПОСІБ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПІДШИПНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

О.І. Титко¹, чл.-кор. НАН України, **М.С. Гуторова²**, аспірант

1,2 – Інститут електродинаміки НАН України
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Розглянуто можливість діагностики стану підшипників електричних машин за зміною магнітної індукції в повітряному зазорі без відключення їх від мережі живлення. Бібл. 6.

Ключові слова: електричні машини, ексцентриситет, контроль, діагностування, повітряний зазор, підшипник, несиметрія.

Для підвищення експлуатаційної надійності та терміну служби електричних машин (ЕМ) необхідне своєчасне виявлення (діагностика) дефектів ще до виникнення аварійної ситуації. Це значно знизить час та вартість ремонту. Вироблення підшипника ЕМ є дефектом, що найбільш часто виникає в практиці експлуатації асинхронних двигунів. Даний дефект призводить до нерівномірності повітряного зазору, а оскільки в електричній машині повітряний зазор відносно малий, то виникає ексцентриситет ротора, що призводить до підсилення вібрацій і прискорює подальше спрацювання підшипників.

Відомо, що в результаті появи значного ексцентриситету ротора погіршуються показники ЕМ. Коефіцієнт корисної дії електричної машини при цьому знижується до 3 %, максимальний та пусковий моменти зменшуються у межах 20 і 8 % відповідно, ковзання збільшується на 10 % [6]. У найбільш важких випадках можливе торкання ротора за внутрішню поверхню статора, що в свою чергу призводить до додаткового нагрівання в місці торкання та механічних пошкоджень поверхні ротора і статора. Пошкодження, що виникають при цьому, потребують проведення тривалого відновлювального ремонту ЕМ. Витрати в цьому випадку близькі до вартості нової машини.

До числа найбільш відомих методів контролю нерівномірності повітряного зазору в даний час можна віднести вібраційні методи [1, 2, 3], метод контролю за величиною синхронного індуктивного опору [4], а також метод контролю за величинами індуктивного опору короткого замикання та нульової послідовності [5]. До недоліків останніх вказаних методів слід віднести:

- вимогу відключення ЕМ від мережі живлення з попередньою підготовкою робочого місця;
- необхідність використання зовнішніх джерел постійного чи змінного струмів;
- значний час проведення діагностичного випробування (до 3...4 год).

Тому ці методи не знайшли широкого застосування в промисловості. Таким чином, задача створення більш ефективного методу контролю зношення підшипників залишається актуальною. У даній роботі авторами пропонується спосіб діагностики, який виключає вказані недоліки і простий у використанні.

Спосіб ґрунтується на такому фізичному явищі. При виробленні підшипника відбувається коливання ротора, що обумовлює нерівномірність повітряного зазору при роботі машини. Ця нерівномірність носить складний характер, який визначається видом дефекту (вироблення одного чи двох підшипників, нерівномірність вироблення підшипника і т. ін.) і обумовлюється цілим рядом факторів: дією інших сил, зокрема, відцентрових. Це є предметом окремого дослідження.

У даній роботі проведено дослідження способу визначення дефектів підшипника, який ґрунтується на появі при дефекті підшипника несиметрії магнітного поля в повітряному зазорі. При виробленні підшипника магнітне поле в зазорі по колу змінюється. Якщо у повіт-

ряному зазорі встановити датчики магнітної індукції, зміщені в просторі по колу на деякий кут, то при дефектах підшипника, що призводять до появи ексцентриситету, показання цих датчиків будуть відрізнятися за діючими та миттєвими значеннями індукції, які вимірюються в один і той же момент часу. Для дослідження даного способу було створено фізичний стенд на базі асинхронного двигуна.

На гладкій торцевій частині статора (близько до ротора) в горизонтальному і вертикальному напрямках було встановлено чотири датчики магнітного поля у вигляді індуктивних котушок. Досвід роботи (більш ніж 50 років) з цими датчиками підтверджує надійність їх показань.

Методику ідентифікації вироблення підшипника ЕМ було апробовано в лабораторії Ін-ту електродинаміки НАН України на основі експериментальних досліджень на АД з короткозамкненим ротором А62 - 12/8/6 з такими характеристиками: $P_n = 1,7$ кВт, $f = 50$ Гц, $U_n = 380$ В, $2p = 12$, $I_n = 6,2$ А, $\eta = 63$ %, $n = 460$ об / хв, $\cos \varphi = 0,66$, $M_n = 45$ Н·м, $m = 3$.

Вироблення підшипника моделювалося за допомогою двох спеціальних мідних прокладок (кожна товщиною 0,2 мм), які в нормальному стані були розміщені по колу в отворі між підшипником та підшипниковим щитом. При їх видаленні формувалася вказаний дефект, що моделювалося на одному з підшипників.

Під час проведення експериментальних досліджень з використанням шістнадцятиканального пристрою реєстрації параметрів режиму з чотирнадцятирозрядним АЦП (аналогоцифровий перетворювач) типу Е14-440 проводилося цифрове осцилографування магнітної індукції у повітряному зазорі. Дослідження проводилося за таких умов:

- амплітуда напруги живлення постійна, $U = \text{const}$;
- запис даних для усіх датчиків проводився з запізненням у часі, яке на декілька порядків менше за період;
- частота напруги живлення постійна, $f_c = \text{const}$;
- статичний момент постійний, $M_c = \text{const}$.

Реєстрація даних проводилася для таких варіантів: 1 – без дефектів, 2 – відсутня одна мідна прокладка, 3 – відсутні дві мідні прокладки. Було набрано необхідну кількість даних для проведення теоретичних узагальнень.

Результати експериментів показали, що при наявності дефекту підшипника магнітне поле в зазорі машини, як і поле, витиснене із зазору на торці машини, тобто в місці установки датчиків, змінюється. Величина магнітної індукції у двох протилежних датчиках у зв'язку з горизонтальним положенням машини та симетричним виробленням підшипника істотно змінюється. Зверху індукція магнітного поля буде збільшуватись, а знизу – зменшуватись.

У табл. 1 наведено амплітудні величини магнітної індукції, що знімаються з датчиків. Дані підтверджують висновок щодо зміни поля по колу при виробленні підшипника.

Таблиця 1

Ступінь дефекту АД	Амплітудні значення магнітної індукції			
	Верхній датчик $B_{\delta 1}$	Нижній датчик $B_{\delta 2}$	Лівий датчик $B_{\delta 3}$	Правий датчик $B_{\delta 4}$
Умовно справний	8,76	8,6	8,5	7,1
Відсутня одна мідна прокладка	10,2	7,9	9,4	7,87
Відсутні дві мідні прокладки	10,95	7,2	9,4	7,87

Для підвищення чутливості діагностичного параметра необхідно знайти коефіцієнти співвідношення амплітудних значень магнітної індукції протилежних датчиків. Отримані дані наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Ступінь дефекту АД	Коефіцієнт співвідношення амплітудних значень магнітної індукції

	$B_{\delta 1} / B_{\delta 2}$	$B_{\delta 3} / B_{\delta 4}$
Умовно справний	1,01	1,19
Відсутня одна мідна прокладка	1,3	1,19
Відсутні дві мідні прокладки	1,52	1,19

Аналізуючи наведені в табл. 2 дані, бачимо, що при збільшенні ступеня дефекту підшипника зростає коефіцієнт співвідношення амплітудних значень магнітної індукції, що дає можливість раннього виявлення даного дефекту. Магнітна індукція знизу змінюється прямо пропорційно зміні повітряного зазору за рахунок вироблення підшипника.

У табл. 3 наведено миттєві значення індукції магнітного поля в один із моментів часу. Дані підтверджують зроблені раніше висновки.

Таблиця 3

Ступінь дефекту АД	Миттєві значення магнітної індукції			
	Верхній датчик $B_{\delta 1}$	Нижній датчик $B_{\delta 2}$	Лівий датчик $B_{\delta 3}$	Правий датчик $B_{\delta 4}$
Умовно справний	7	6,88	6,8	5,68
Відсутня одна мідна прокладка	8,16	6,32	7,52	6,3
Відсутні дві мідні прокладки	8,76	5,76	7,52	6,3

В табл. 4 наведено діючі значення магнітної індукції в місцях встановлення по вертикальній осі двох датчиків залежно від ступеня вироблення підшипника. Ці дані є базою знань для використання в системі діагностування електричних машин.

Таблиця 4

Ступінь дефекту АД	Діючі значення магнітної індукції	
	Верхній датчик $B_{\delta 1}$	Нижній датчик $B_{\delta 2}$
Умовно справний	4,6	4,47
Відсутня одна мідна прокладка	5,3	4,1
Відсутні дві мідні прокладки	5,7	3,74

Таким чином, запропонованому способу властивий достатній для практичного застосування ступінь достовірності діагностування. Спосіб є економічним при реалізації та дає можливість діагностування стану підшипників під час роботи електричної машини без відключення її від мережі живлення. Застосування способу разом з іншими відомими способами суттєво підвищить достовірність діагностування електричних машин.

1. *Никиян Н.Г., Сурков Д.В.* Освоение и оценка методов электромагнитной диагностики эксцентриситета ротора асинхронных двигателей // Вестн. ОГУ. – 2005. – № 2.
2. *Барков А.В., Баркова Н.А.* Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации // Тр. Санкт-Петербургского энергетич. ин-та повышения квалификации Минтопэнерго Российской Федерации и Ин-та вибрации США. – 1999. – Вып. 9.
3. *Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю.* Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: Рекомендации для пользователей систем диагностики. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГМТУ, 2000.
4. *Рогозин Г.Г.* Контроль равномерности воздушного зазора асинхронной машины по значению синхронного индуктивного сопротивления // Электричество. – 1981. – № 5. – С. 44–46.
5. *Рогозин Г.Г., Лапина Н.С.* Косвенный контроль неравномерности воздушного зазора асинхронных машин // Электротехника. – 1980. – № 3.
6. *Барков А.В., Никитин В.С.* Современные возможности вибродиагностики машин и оборудования: Обзор. – <http://www.vibrotek.com>

УДК 621.313

А.И. Титко¹, чл.-корр. НАН Украины, **М.С. Гуторова²**, аспирант
1,2 – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Способ электромагнитной диагностики состояния подшипников электрических машин

Рассмотрена возможность диагностики состояния подшипников электрических машин по изменению магнитной индукции в воздушном зазоре без отключения их от сети питания. Библ. 6.

Ключевые слова: электрические машины, эксцентриситет, контроль, диагностирование, воздушный зазор, подшипник, несимметрия.

О.І. Титко¹, **М.С. Гуторова²**

1, 2 – Institute of electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Way of electromagnetic diagnostics of a condition of bearings of electric machines

The opportunity of diagnostics of a condition of electric machines bearings on change of a magnetic induction in an air backlash without their switching-off from a power line is considered. References 6.

Key words: electric machines, centering error, the control, diagnostics, an air backlash, the bearing, asymmetry.

Надійшла 23.07.2010

Received 23.07.2010