

CHUẨN ĐOÁN NHỮNG HƯ HỎNG THƯỜNG GẶP CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA

● NGUYỄN NGỌC TIỀN

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày việc phát hiện các lỗi vỡ thanh rotor và lỗi vòng bi trong một động cơ điện không đồng sử dụng phân tích tín hiệu dòng điện stator (MCSA). Gần đây, động cơ điện đã trở nên rất phổ biến vì giá cả và độ tin cậy. Chúng đã được sử dụng trong nhiều ứng dụng điều khiển quan trọng như các nhà máy cán, máy nén biến tần, máy bơm, và máy quạt. Theo dõi tình trạng của động cơ có thể làm giảm đáng kể chi phí bảo trì trong việc phát hiện sớm các lỗi. Trong nghiên cứu này, MCSA được áp dụng cho động cơ điện để phát hiện lỗi thanh rotor và vòng bi bị hỏng. Việc chẩn đoán một lỗi thanh rotor và vòng bi bị hỏng trong các động cơ cảm ứng lồng sóc, đã được nghiên cứu trong điều kiện đầy đủ tải và đã được tiến hành thử nghiệm bằng cách phân tích mật độ phổ công suất của dòng điện stator sử dụng card thu thập dữ liệu Arduino và công cụ xử lý tín hiệu trong phần mềm LabView [1].

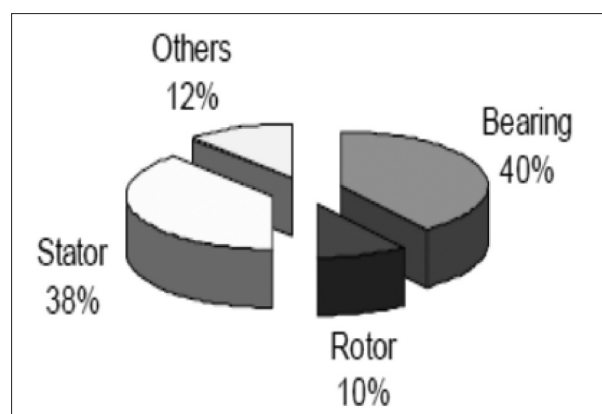
Từ khóa: giám sát tình trạng, mật độ phổ công suất, lỗi rôto, công suất truyền động, MCSA, FFT.

1. Đặt vấn đề

Động cơ điện không đồng bộ thường được sử dụng trong ngành công nghiệp và trong nhiều ứng dụng vì chúng có cấu trúc đơn giản, chi phí ít tốn kém và sự ổn định. Có 2 loại động cơ cảm ứng được sử dụng trong ngành công nghiệp là động cơ rotor lồng sóc và rotor dây quấn. Động cơ cảm ứng lồng sóc đã được sử dụng thường xuyên trong các ứng dụng công nghiệp do giá thấp, sức mạnh của chúng, cấu trúc đơn giản, và bảo trì dễ dàng. Gần đây, động cơ rotor lồng sóc ngày càng được sử dụng trong nhiều ứng dụng công nghiệp như máy cán, máy nén biến tần, máy bơm, và máy quạt. Phát hiện sớm các bất thường trong hệ thống truyền động động cơ rất quan trọng cho các hoạt động an toàn, kinh tế và không bị gián đoạn.

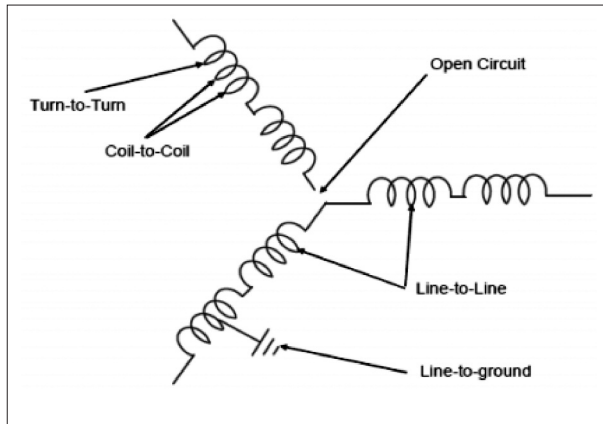
Có rất nhiều lỗi có thể xảy ra trong các máy điện. Tỷ lệ hư hỏng động cơ cảm ứng được chỉ ra trong Hình 1. [7]

Hình 1: Tỷ lệ hư hỏng động cơ điện



Hư hỏng động cơ có 2 loại: hư hỏng về điện và hư hỏng về cơ khí. Những hư hỏng về điện được chỉ ra trong Hình 2 [7]. Các hư hỏng về cơ khí như: lỗi rotor, vòng bi, rotor mất cân bằng, lỗi về khe hở không khí giữa stator và rotor (Hình 2).

Hình 2: Các hư hỏng cuộn dây stator



2. Tổng quan nghiên cứu

Các nghiên cứu về chuẩn đoán gồm có kiểm soát mômen và lực trên trục động cơ kiểm soát tiến ồn, đo độ rung, kiểm soát dựa trên các đại lượng dòng điện và điện áp.

Các phương pháp này kiểm soát dòng của stator để phát hiện nhiều lỗi của động cơ và biến tần,... Việc chuẩn đoán dựa trên dòng điện trên không cần cảm biến.

Các phương pháp trên cũng phân tích lỗi của động cơ dựa trên việc phân tích phổ nhưng chưa có dấu hiệu đặc trưng của triệu chứng lỗi trong từng tình huống cụ thể.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Nguyên nhân lỗi rotor

Một số nguyên nhân gây ra lỗi như sau:

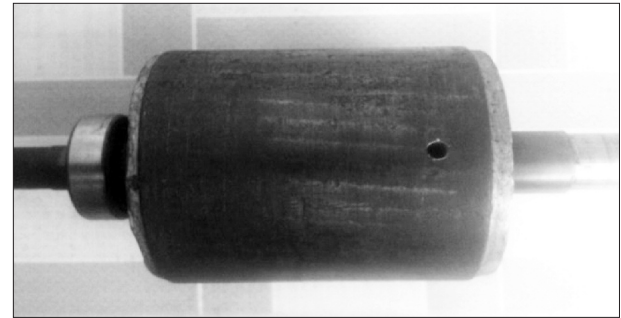
- Vật liệu làm rotor không đồng đều
- Trong quá trình hoạt động rotor sinh ra nhiệt
- Độ ẩm môi trường

Lỗi Rotor bắt đầu là điện trở rotor tăng cao, gây ra nhiệt độ cao và sau đó tiến triển như nứt hoặc lỗ nhỏ trên thanh rotor. (Hình 3)

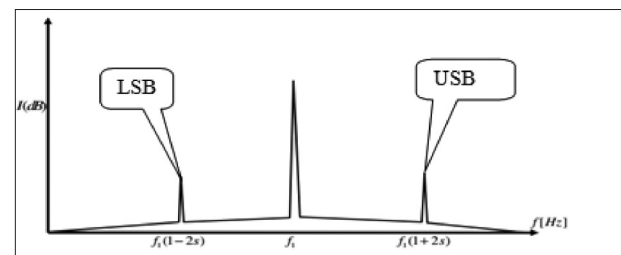
Dạng phổ lỗi rotor. (Hình 4)

Khi rotor bị lỗi, sẽ xuất hiện phổ lỗi tại đó biên độ cao bất thường, đó là LSB và USB, công thức tính tần số lỗi này như sau [5].

Hình 3: Lỗi một thanh rotor



Hình 4: Phổ rotor hư



$$\text{➢ } f_{\text{LSB}} = f_1 (1 - 2ks) \quad (1)$$

$$\text{➢ } f_{\text{USB}} = f_1 (1 + 2ks) \quad (2)$$

Với: f_1 : tần số nguồn điện 50Hz

s : hệ số trượt

k : số tự nhiên $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

$$\text{➢ Tốc độ từ trường: } n1 = 120f1/p \quad (3)$$

Với p : số cực của động cơ

$$\text{➢ Hệ số trượt } s: s = (n1 - n)/n1 \quad (4)$$

Với n : tốc độ rotor (rpm)

3.2. Nguyên nhân lỗi vòng bi

Những nguyên nhân gây lỗi vòng bi:

- Môi trường bụi bẩn
- Chất bôi trơn
- Nhiệt độ
- Tháo lắp không đúng cách

Hư hỏng bắt đầu từ một vết trầy nhỏ bên trong vòng bi, lâu ngày sẽ lan ra mặt trong (inner race) hoặc mặt ngoài (outer race) vòng bi tạo thành một lỗ nhỏ [3]. (Hình 5, 6)

Công thức tính lỗi vòng bi như sau:

$$f_{\text{bearing}} = |f1 \pm m.f_i.o| \quad (5)$$

Với: m là số tự nhiên $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots$; f_i là tần số inner race; f_o là tần số outer race.

$$f_{i,o} = \frac{N_b}{2} \text{ fr } \left(1 \pm \frac{D_b}{D_c} \cos \beta \right)$$

Hình 5: Lỗi inner race



Hình 6: Lỗi outer race



Với: N_b là số viên bi của vòng bi; f_r là tần số rotor đơn vị Hz; D_b là đường kính viên bi; D_c là khoảng cách giữa 2 tâm viên bi; β là góc quay viên bi.

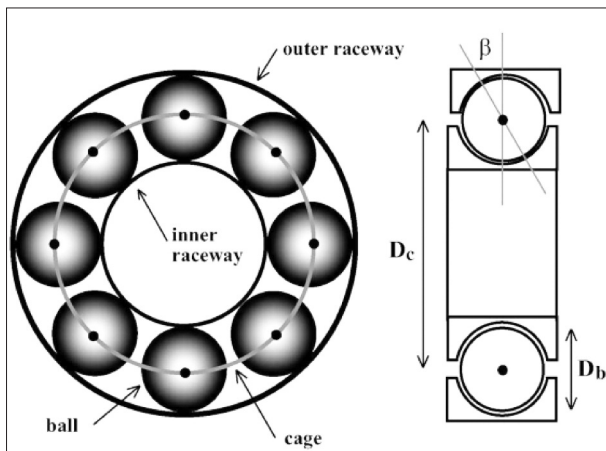
Tuy nhiên, nếu số viên bi từ 6 đến 12 thì công thức (5) xấp xỉ như sau:

$$f_o = 0,4 N_b f_r \quad (6)$$

$$f_i = 0,6 N_b f_r \quad (7)$$

Cấu tạo vòng bi được cho bởi Hình 7.

Hình 7: Cấu tạo vòng bi



3.3. Mật độ phổ công suất (PSD)

FFT của một tín hiệu là chuyển một tín hiệu từ miền thời gian sang miền tần số. Cửa sổ lọc được sử dụng là cửa sổ Hanning.

$$wsi(f) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} wsi(n) e^{-j2\pi n \frac{1}{M}} \quad (8)$$

Với M là số mẫu thu thập

Mật độ phổ công suất được tính từ FFT như sau:

$$PSD(f) = \frac{1}{M} wsi(f) \times wsi^*(f) \quad (9)$$

3.4. Công cụ tính PSD trên labview (Hình 8)

3.5. Code Labview (Hình 9)

4. Kết quả

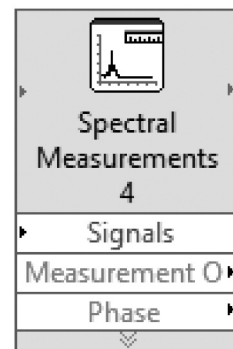
4.1. Mô hình chẩn đoán hư hỏng động cơ điện Rotor lồng sóc (Hình 10)

Thông số động cơ và card thu thập dữ liệu như Bảng 1, 2

Bảng 1. Thông số động cơ được chẩn đoán

Pha	1
Cực	4
Điện áp	110V/220V
Dòng điện	24A/12A
Tốc độ	1500 không tải
Công suất	1.5 KW
Tần số	50Hz

Hình 8: Khối tính PSD

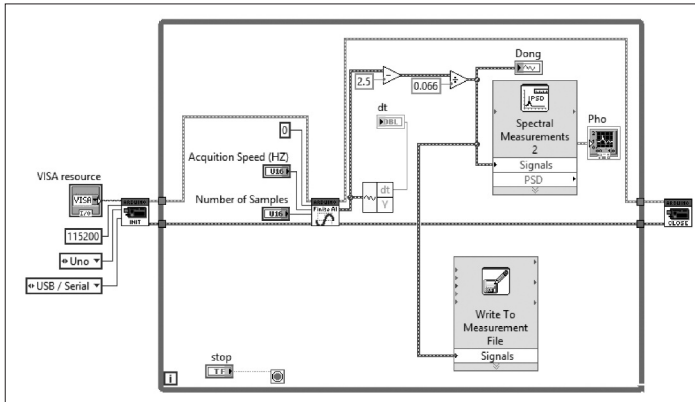


Dòng điện stator của động cơ được thu thập qua cảm biến dòng ACS 712-30A, sau đó qua bộ chuyển đổi A/D tốc độ lấy mẫu 860 S/s đưa về máy tính. Sử dụng công cụ xử lý tín hiệu của phần mềm labview để phân tích phổ tín hiệu này, cuối cùng đem so sánh phổ vừa tính toán được với phổ của động cơ trong tình trạng bình thường để kết luận động cơ có lỗi hay không lỗi [3] .

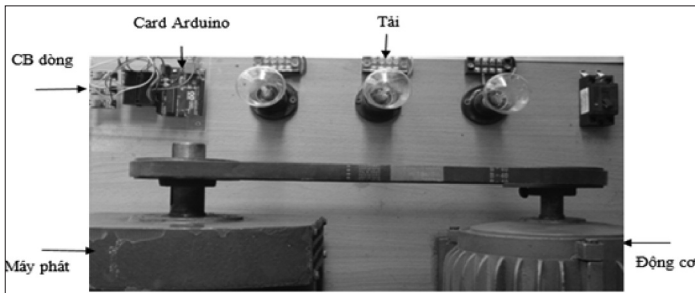
4.2. Lỗi rotor (Bảng 3, Hình 11, Hình 12)

Tính toán tần số hư.

Hình 9: Code phân tích phổ bằng labview



Hình 10: Mô hình chẩn đoán



Bảng 2. Thông số card thu thập dữ liệu Arduino

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40mA
DC Current for 3.3V Pin	50mA
Flash Memory	32KB (ATmega328) of which 0.5KB used by bootloader
SRAM	2KB (ATmega328)
EEPROM	1KB (ATmega328)
Clock Speed	16MHz

Tốc độ động cơ: 1478v/p

$$S = \frac{1500 - 1478}{1500} = 0.015$$

$$LSB = (1 - 2 \cdot S) \cdot 50 = 49 \text{ Hz}$$

$$USB = (1 + 2 \cdot S) \cdot 50 = 51 \text{ Hz}$$

Bảng 3. Tần số lỗi Rotor

Tốc độ	Hệ số trượt	k = 1	
		LSB	USB
1485 rpm	S=0.01	49Hz	51Hz

4.3. Lỗi vòng bi

4.3.1. Lỗi inner race (Bảng 4, Hình 13, Hình 14)

Động cơ chẩn đoán inner race lỗ 2mm.
Số viên bi là 8 ($N_b = 8$)

$$f_{\text{bearing}} = |f_1 \pm m \cdot f_i|$$

$$f_i = 0,6 N_b f_r = 0,6 \times 8 \times 1485/60$$

$$= 118,24 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{bearing}} = |f_1 \pm m f_i| = |50 \pm 118,24|$$

$$= 68,8 \text{ Hz} \quad (m = 1)$$

Bảng 4. Tần số lỗi vòng bi inner race

Tốc độ	Hệ số trượt	k = 1
		LSB
1485 rpm	S=0.01	68.8 Hz

4.3.2. Outer race (Bảng 5, Hình 15, Hình 16)

Động cơ chẩn đoán outer race lỗ 2mm.
Số viên bi là 7 ($N_b = 7$)

$$f_{\text{bearing}} = |f_1 \pm m \cdot f_o|$$

$$f_o = 0,4 N_b f_r = 0,4 \times 7 \times 1485/60 = 69,3 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{bearing}} = |f_1 \pm m f_o| = |50 \pm 2 \cdot 69,3|$$

$$= 88,6 \text{ Hz} \quad (m = 2)$$

$$f_{\text{bearing}} = |f_1 \pm m f_o| = |50 \pm 2 \cdot 69,3|$$

$$= 188,6 \text{ Hz} \quad (m = 2)$$

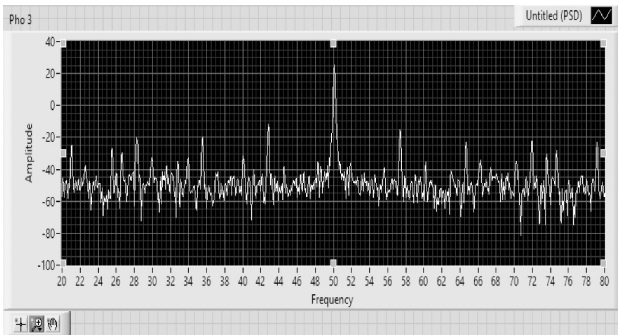
Bảng 5. Tần số lỗi vòng bi outer race

Tốc độ	Hệ số trượt	m = 1	
		LSB	USB
1485 rpm	S=0.01	88.6Hz	188.6Hz

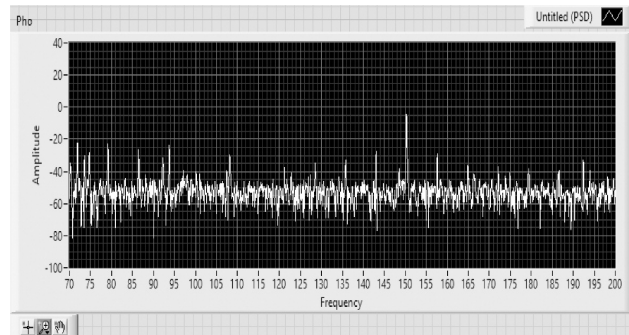
4.3.3. Lỗi hỗn hợp (Bảng 6, Hình 17, Hình 18)

Động cơ được chẩn đoán vừa bị lỗi rotor và lỗi inner race. Do đó, tần số xuất hiện lỗi là 49 Hz, 51Hz và 68.8Hz (Bảng 6).

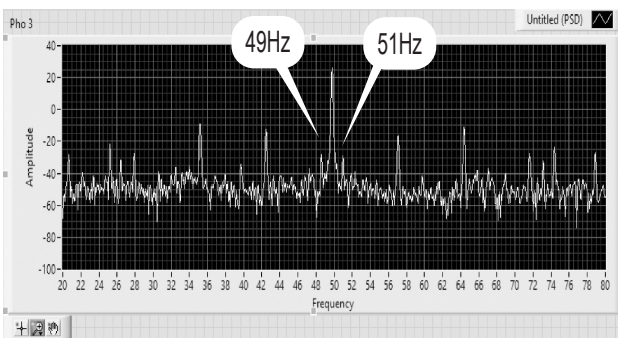
Hình 11: Phổ động cơ bình thường có tải



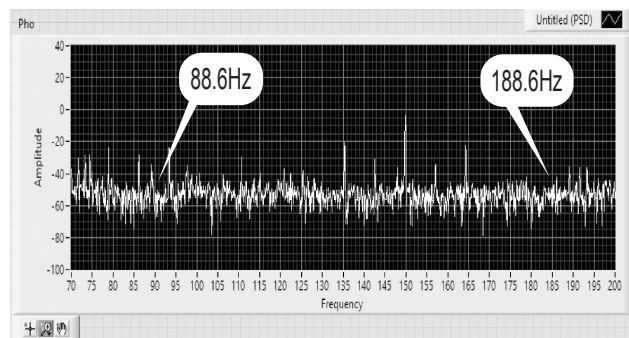
Hình 15: Phổ DC bình thường khi có tải



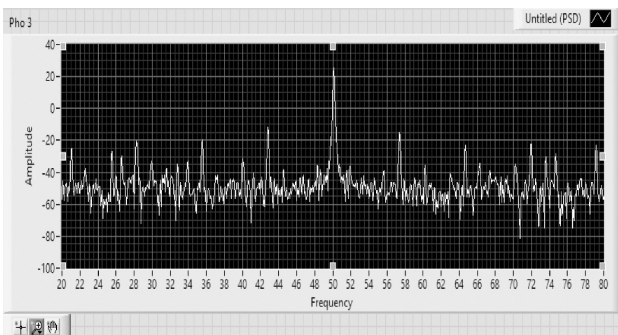
Hình 12: Phổ động cơ bị vỡ một thanh rotor khi có tải



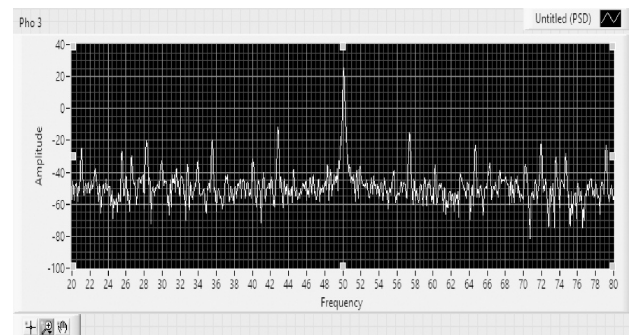
Hình 16: Phổ DC lỗi Outer race khi có tải



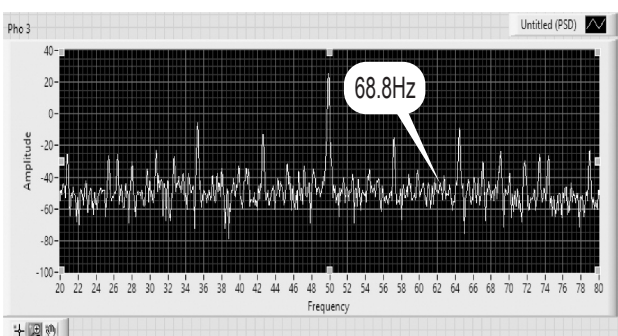
Hình 13: Phổ DC bình thường khi có tải



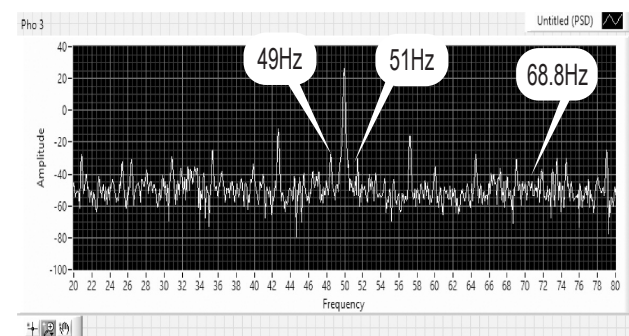
Hình 17: DC bình thường có tải



Hình 14: Phổ DC lỗi Inner race khi có tải



Hình 18: DC bị lỗi hỗn hợp rotor và inner race



Bảng 6. Tần số lỗi rotor và vòng bi inner race

Tốc độ	Hệ số trượt	k = 1		m = 1
		LSB	USB	LSB
1485 rpm	s = 0.01	49Hz	51 Hz	68.6Hz

5. Giải pháp đề xuất**❖ Thiết kế/giải pháp nghiên cứu**

- Sử dụng card thu thập dữ liệu Arduino và công cụ xử lý tín hiệu trong phần mềm LabView. Kết quả thực hiện cho thấy phương pháp này rất hiệu quả và hữu ích cho việc chẩn đoán các lỗi rotor và vòng bi.

❖ Mô hình áp dụng

Động cơ không đồng bộ và phần mềm LabView.

❖ Công cụ nghiên cứu

Phân tích phổ trên phần mềm LabView đưa ra kết luận.

6. Kết quả và thảo luận

Nghiên cứu này nhằm phát hiện lỗi tiềm ẩn về rotor và vòng bi của rotor lồng sóc bằng cách sử dụng PSD để phân tích một tín hiệu dòng điện stator. Trong điều kiện tải đầy đủ thì phương pháp này phát hiện được lỗi, nhưng trong điều kiện non tải hoặc không tải thì rất khó phát hiện, dễ gây nhầm lẫn trong việc đánh giá tình trạng hoạt động của động cơ.

7. Kết luận và khuyến nghị

Nghiên cứu này nhằm phát hiện lỗi tiềm ẩn về rotor và vòng bi của rotor lồng sóc bằng cách sử dụng PSD để phân tích một tín hiệu dòng điện stator. Trong điều kiện tải đầy đủ thì phương pháp này phát hiện được lỗi, nhưng trong điều kiện non tải hoặc không tải thì rất khó phát hiện, dễ gây nhầm lẫn trong việc đánh giá tình trạng hoạt động của động cơ ■

Lời cảm ơn:

Tác giả chân thành cảm ơn các đồng nghiệp, cùng với quý thầy cô giáo bộ môn Điện - Điện tử, Trường Đại học Trà Vinh đã có những đóng góp quý báu để góp phần cho tôi hoàn thành bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Đỗ Đức Tuấn, Đỗ Việt Dũng (2000). *Phương pháp xây dựng và phân tích mô hình chẩn đoán trạng thái kỹ thuật máy điện kéo trên đầu máy diesel*. Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị khoa học công nghệ Trường Đại học Giao thông Vận tải.
2. Lê Lăng Vân (2011). *Chẩn đoán trạng thái kỹ thuật và đánh giá độ tin cậy của động cơ diesel trên đầu máy vận dụng tại Việt Nam*. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Giao thông Vận tải.
3. Lê Mạnh Việt (2007). *Chẩn đoán trạng thái cách điện máy điện một chiều trên cơ sở đặc tính tần số của phản ứng*. Tạp chí Giao thông Vận tải.
4. Đinh Thành Việt, Nguyễn Quốc Tuấn, Nguyễn Văn Lê (2005). *Ứng dụng mạng nơron chẩn đoán sự cố tiềm ẩn trong máy biến áp lực*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng.
5. Lê Hoài Đức (2011). *Ứng dụng tập mờ trong chẩn đoán kỹ thuật động cơ diesel*. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Giao thông Vận tải.

Ngày nhận bài: 13/1/2022

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 13/2/2022

Ngày chấp nhận đăng bài: 23/2/2022

Thông tin tác giả:

ThS. NGUYỄN NGỌC TIỀN

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ

Trường Đại học Trà Vinh

DIAGNOSING COMMON FAILURES OF 3-PHASE ASYNCHRONOUS MOTORS

● Master. **NGUYEN NGOC TIEN**

Faculty of Engineering and Technology
Tra Vinh University

ABSTRACT:

This paper presents the detection of rotor bar and bearing failures in an induction motor using stator current signal analysis (MCSA). Recently, electric motors have become very popular thanks to their reasonable price and reliability. They have been used in many critical control applications such as rolling mills, inverter compressors, pumps, and blowers. Monitoring engine performance can significantly reduce maintenance costs in early detection of faults. In this study, MCSA is applied to electric motors to detect defective rotor bar and bearing failures. Diagnosis of a defective rotor bar and bearing failure in squirrel cage induction motors was studied under full load condition and was tested by power spectral density analysis of stator current using Arduino data acquisition card and signal processing tool in LabView software. The results show that this method is very effective and useful for diagnosing rotor and bearing failures.

Keywords: condition monitoring, power spectral density, rotor fault, driving power, MCSA, FFT.