

Chẩn đoán hư hỏng động cơ trên xe điện cỡ nhỏ bằng phương pháp mô phỏng

Đình Hùng Nguyễn*, Việt Thắng Vũ, Phúc Nguyễn Nguyễn



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

Trường Đại học Bách Khoa (HCMUT),
Đại học Quốc gia TP HCM
(VNU-HCMC), 268 Lý Thường Kiệt
Street, District 10, Ho Chi Minh City,
Vietnam

Liên hệ

Đình Hùng Nguyễn, Trường Đại học Bách Khoa (HCMUT), Đại học Quốc gia TP HCM (VNU-HCMC), 268 Lý Thường Kiệt Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam
Email: nguyendinhhung@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 10-10-2025
- Ngày sửa đổi: 12-12-2023
- Ngày chấp nhận: 17-10-2024
- Ngày đăng: 22-10-2025

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i4.1280>



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Nghiên cứu phương pháp chẩn đoán các hư hỏng có thể xảy ra trong động cơ một chiều không chổi than (Brushless Direct Current, BLDC) dùng trên xe điện cỡ nhỏ trong các trường hợp ngắn mạch, điện trở cao, hở mạch, ... là một trong những phương pháp xác định hư hỏng đang tồn tại làm cho cho động cơ tụt giảm công suất hoặc hoạt động không hiệu quả. Bằng các mô hình toán học được xây dựng dựa trên sơ đồ nguyên lý tương ứng của loại động cơ này có thể xây dựng mô hình chẩn đoán hư hỏng và mô tả diễn biến của từng lỗi mà động cơ đang xảy ra hư hỏng. Xây dựng mô hình chẩn đoán bằng phương pháp này có thể tìm ra các giá trị đáp ứng của động cơ khi hoạt động dòng điện các pha, momen điện từ và tốc độ trục rotor ứng với từng chế độ lỗi thu được trong môi trường Matlab Simulink. Phân tích kết quả mô phỏng, nhóm nghiên cứu tìm được biểu hiện của động cơ BLDC khi xảy ra các lỗi trong các trường hợp đã nêu và thêm các sự cố ngắn mạch và điện trở cao đều xuất hiện những dấu hiệu tương ứng với biểu hiện từng trường hợp lỗi này. Đây là phương pháp khá khó để nhận biết nếu không có các thiết bị đo và phương pháp chẩn đoán hợp lý trong thực tế, chính điều này gây ra sự hư hỏng nhanh chóng của động cơ nếu lỗi không được phát hiện sớm. Kết quả chẩn đoán trên mô hình này cung cấp một phương pháp thuận tiện và kinh tế để phân tích về các lỗi trong động cơ một chiều không chổi than cỡ nhỏ khi xây dựng các mô hình lỗi chẩn đoán trực tiếp trên các xe điện cỡ nhỏ (SBEV) hiện nay.

Từ khóa: phương pháp chẩn đoán động cơ điện, động cơ không chổi than, mô hình chẩn đoán, Ô tô điện

GIỚI THIỆU

Hiện nay, ô tô điện cỡ nhỏ (SBEV) đang được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ. Cụ thể, việc sử dụng động cơ điện một chiều không chổi than (BLDC) làm nguồn động lực chính đang dần phổ biến. Tuy nhiên, độ tin cậy và tính ổn định của loại động cơ này vẫn đặt ra nhiều vấn đề cần được giải quyết. Nghiên cứu động cơ BLDC được lựa chọn dùng cho ô tô điện cỡ nhỏ vì nhiều lý do có hiệu suất cao hơn và tiết kiệm năng lượng hơn so với động cơ DC¹ thông thường, tuổi thọ và độ tin cậy cao hơn, khả năng điều khiển chính xác, hoạt động êm ái, không gây tiếng ồn và rung động, phù hợp với các ứng dụng yêu cầu yếu tố yên tĩnh, kích thước nhỏ gọn thuận lợi cho việc tích hợp trong các thiết bị di động và không gian hạn chế.... Như vậy, động cơ BLDC đáp ứng nhiều yêu cầu khác nhau trên xe điện hiện nay.

Trong quá trình hoạt động động cơ BLDC xuất hiện nhiều hư hỏng có thể xảy ra. Phương pháp phân tích và đánh giá ảnh hưởng của lỗi FMEA¹ đã được thực hiện để đánh giá mức độ ảnh hưởng các lỗi này. Cụ thể đưa ra các lỗi được thể hiện trong Bảng 1.

Các nghiên cứu hiện nay cho thấy mô hình được đề xuất để phân tích động cơ BLDC, các mô hình này

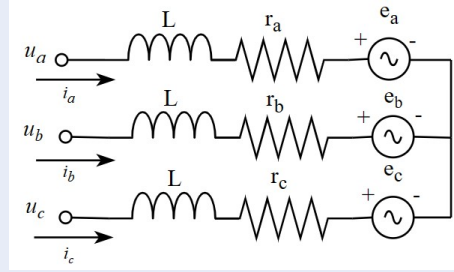
Bảng 1: Các lỗi thường gặp trong động cơ BLDC

Lỗi	Cụ thể
Ngắn	Ngắn mạch trong 1 pha
	Ngắn mạch giữa 2 pha
Hở mạch	Hở mạch 1 pha
	Hở mạch 2 và 3 pha
Điện trở cao	Điện trở cao trong 1 pha do hư hỏng dây (đứt không hoàn toàn)

dựa trên phương trình trạng thái, chuỗi Fourier và mô hình trục d-q^{2,3}. Tuy nhiên, một mô hình mô phỏng nâng cao cho động cơ BLDC được đề xuất⁴, trong đó đã đề cập đến mô hình toán học cơ bản của động cơ BLDC.

Nghiên cứu xây dựng mô hình chẩn đoán để diễn tả các lỗi có thể gặp trong cuộn dây stator của động cơ BLDC làm cơ sở các việc chẩn đoán dựa trên các dấu hiệu thu được. Cơ sở lý thuyết⁴ cho thấy tính khả thi của trong nhận dạng lỗi, bằng phương pháp xây dựng mô hình toán học tương ứng với từng chế độ lỗi cho động cơ BLDC.

Trích dẫn bài báo này: Nguyễn D H, Vũ V T, Nguyễn P N. Chẩn đoán hư hỏng động cơ trên xe điện cỡ nhỏ bằng phương pháp mô phỏng. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2025; 8(4):2670-2680.



Hình 1: Sơ đồ nguyên lý cuộn dây stator của động cơ BLDC

Trong bài báo này, tạp trung lập các sơ đồ nguyên lý và phương trình toán học trong Hình 1 tương ứng với các lỗi (mức độ lỗi phụ thuộc vào các tỉ số đặc trưng - tỉ số này thể hiện nguyên nhân gây ra lỗi) được nêu trong Bảng 1. Trong môi trường Matlab/Simulink, các mô hình toán học thu được các đặc tính hoạt động. Từ đó, thu thập các kết quả mô phỏng là dòng điện, momen điện từ và tốc độ của động cơ đáp ứng với từng chế độ lỗi, đưa ra các biểu hiện của động cơ BLDC khi gặp các lỗi tương ứng.

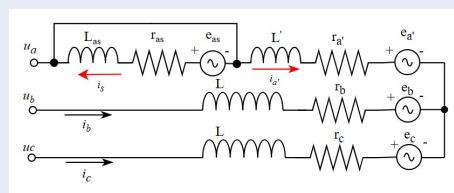
PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Lỗi ngắn mạch

Ngắn mạch phần ứng stator, đây là một loại sự cố xảy ra trong hệ thống điện do hiện tượng chạm chập giữa các vòng dây trong cùng một cuộn dây hoặc giữa các pha với nhau trong cuộn dây stator động cơ điện.

Lỗi ngắn mạch trong một pha

Cuộn dây stator ba pha của động cơ BLDC đấu kiểu hình sao (chữ Y), khi sự cố ngắn mạch trong cuộn dây của pha A xảy ra sẽ hình thành dòng điện trong vòng kín ngắn mạch và sự mất đối xứng giữa các pha, được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2: Sơ đồ nguyên lý của lỗi ngắn mạch trong pha A⁴

Giả thiết đặt ra trong bài báo này, dòng điện đi vào điểm trung tính là được quy ước là chiều dương; bỏ qua tổn thất dòng điện xoáy và trễ; mạch từ không

bảo hòa và thiết bị chuyển mạch nguồn lí tưởng thì phương trình cân bằng điện áp với lỗi ngắn mạch trong cuộn dây của pha A có dạng như phương trình (1).

$$U = RI + Q \frac{dI}{dt} + E \quad (1)$$

Trong đó:

$$U = \begin{bmatrix} u'_a \\ u_b \\ u_c \\ 0 \end{bmatrix}; I = \begin{bmatrix} i'_a \\ i_b \\ i_c \\ i_s \end{bmatrix}; E = \begin{bmatrix} e'_a \\ e_b \\ e_c \\ e_s \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} r'_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_s \end{bmatrix};$$

$$Q = \begin{bmatrix} L_{a'} & M_{a'b} & M_{a'c} & M_{a's} \\ M_{a'b} & L_b & M_{bc} & M_{bs} \\ M_{a'c} & M_{cb} & L_c & M_{cs} \\ M_{a's} & M_{bs} & M_{cs} & L_{as} \end{bmatrix}$$

với r, L, J và e lần lượt là điện trở, điện cảm, quán tính của rotor và suất điện động cảm ứng của pha bình thường; các tham số U, I, E là ma trận biến theo pha của điện áp, dòng điện và suất điện động. R là ma trận đường chéo; Q là ma trận điện cảm; các biến có chỉ số a' và s bên dưới là chỉ phần dây còn lại và các phần dây bị ngắn của pha A; L' và L_{as} lần lượt là điện cảm của phần dây còn lại và phần dây bị ngắn trong pha A; M là hồ cảm và chỉ số của nó tương ứng với từng cặp cuộn dây tạo ra nó ($M_{bc} = M_{cs}$; $M_{a'b} = M_{a'c}$).
đặt tỉ số giữa số vòng dây bị ngắn (N_f) và tổng số vòng dây (N) là s , ta có:

$$S = \frac{N_f}{N} \quad (2)$$

Điện trở cuộn dây và hằng số EMF tỷ lệ nghịch với số vòng dây stator nên giá trị của hai thành phần này cũng thay đổi phụ thuộc vào tỉ số s . Bên cạnh đó, áp dụng phương pháp tính toán điện cảm từ dựa trên phân tích dạng sóng của cường độ cảm ứng từ⁵. Các thành phần điện trở, hằng số EMF, điện cảm và hồ cảm có giá trị như trong Bảng 2.

trong trường hợp mô men điện từ xuất hiện thêm thành phần dòng điện và sức phản điện động của phần dây bị ngắn mạch thì mô men điện từ được xác định theo phương trình (3).

$$T_e = \frac{1}{\omega_n} (e_a i_{a'} + e_b i_b + e_c i_c + e_{as} i_{as}) \quad (3)$$

để đánh giá tổng quát về động cơ BDLC cần phải xét mối quan hệ giữa các mô men tải và mô men điện từ, các đại lượng gồm quán tính của rotor J , hệ số ma sát động C_v và C_0 là hệ số ma sát tĩnh, mô men tải T_L và mô men điện từ T_e trong hai trường hợp sau:

Trường hợp 1: động cơ chưa chuyển động tương ứng với ma sát tĩnh C_0 .

$$J \frac{d\omega_n}{dt} = T_e - T_L - C_0 \quad (4)$$

Trường hợp 2: động cơ chuyển động ứng với ma sát động C_v .

$$J \frac{d\omega_n}{dt} = T_e - T_L - C_v \omega_n \quad (5)$$

Bảng 2: Giá trị cuộn dây pha a khi ngắn mạch

Tên gọi	Giá trị
Điện trở	$r_{a'} = (1 - s)r$ $r_{as} = s.r$
Hằng số EMF	$K_{e_{a'}} = (1 - s)K_e$ $K_{e_{as}} = s.K_e$
Điện cảm	$L_{a'} = (1 - s)^2L$ $L_s = s^2L$ $L_b = L_c = L$
Hỗ cảm	$M_{a'b} = M_{a'c} = -\frac{1}{3}(1 - s)L$ $M_{bs} = M_{cs} = -\frac{1}{3}sL$ $M_{a's} = s(1 - s)L$ $M_{bc} = -\frac{1}{3}L$

$$R = \begin{bmatrix} r_a' & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_b' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_{as} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_{bs} \end{bmatrix}$$

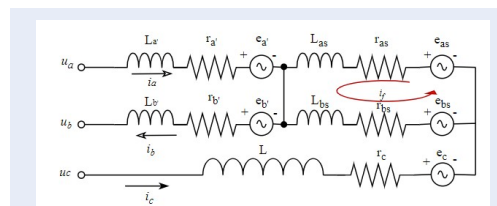
$$Q = \begin{bmatrix} L_{a'} & M_{a'b'} & M_{a'c'} & M_{a'as} & M_{a'bs} \\ M_{a'b'} & L_{a'} & M_{b'c} & M_{a'as} & M_{a'bs} \\ M_{a'c'} & M_{b'c} & L_c & M_{cas} & M_{cbs} \\ M_{a'as} & M_{b'as} & M_{cas} & L_{as} & M_{asbs} \\ M_{a'bs} & M_{b'bs} & M_{cbs} & M_{asbs} & L_{bs} \end{bmatrix}$$

các chỉ số dưới a', b', a_s, b_s biểu thị cho phần dây còn lại và phần dây ngắn ở pha A và pha B. Các chỉ số của M là một cặp cuộn dây tạo ra hỗ cảm tương ứng. Nếu đặt tỉ số giữa số vòng dây bị ngắn (N_f) và tổng số vòng dây (N) trong pha A và pha B lần lượt là:

$$S_a = \frac{N_{af}}{N_a}; S_b = \frac{N_{bf}}{N_b} \quad (7)$$

Các thành phần của véc-tơ và ma trận có giá trị trong Bảng 3.

Lỗi ngắn mạch giữa hai pha



Hình 3: Sơ đồ nguyên lý của lỗi ngắn mạch giữa pha A và B⁴

khi xuất hiện lỗi ngắn mạch xảy ra giữa pha A và pha B, dòng ngắn mạch i_f hình thành trong vòng kín, như Hình 3. Khi pha A và pha B nối với nhau, dòng điện i_f được tạo ra bởi suất điện động cảm ứng trong cuộn dây bị ngắn mạch. Khi đó, dòng điện chạy qua phần dây ngắn pha A và B có biên độ bằng nhau nhưng ngược chiều. Tuy nhiên, trong trường hợp dòng điện chạy qua pha C và được nối với một trong hai pha còn lại thì giá trị i_f trong pha A và pha B khi đó sẽ không bằng nhau. Vì vậy, cần chia dòng điện này thành 2 thành phần i_{as} và i_{bs} . Tương tự lỗi ngắn mạch trong một pha. Phương trình cân bằng điện áp với lỗi ngắn mạch giữa hai cuộn dây của pha A và pha B có dạng như sau:

$$U = RI + Q \frac{dI}{dt} + E \quad (6)$$

Trong đó:

$$U = \begin{bmatrix} u_a' \\ u_b' \\ u_c \\ u_{as} \\ u_{bs} \end{bmatrix}; I = \begin{bmatrix} i_a' \\ i_b' \\ i_c \\ i_{as} \\ i_{bs} \end{bmatrix}; E = \begin{bmatrix} e_a' \\ e_b' \\ e_c \\ e_{as} \\ e_{bs} \end{bmatrix}$$

Bảng 3: Giá trị giữa cuộn dây pha a và b khi ngắn mạch

Tên gọi	Giá trị
Điện trở	$r_{as} = s_a.r$ $r_{bs} = s_b.r$ $r_{a'} = (1 - s_a)r$ $r_{b'} = (1 - s_b)r$
Hằng số EMF	$K_{e_{as}} = s_a.K_e$ $K_{e_{bs}} = s_b.K_e$ $K_{e_{a'}} = (1 - s_a)K_e$ $K_{e_{b'}} = (1 - s_b)K_e$
Điện cảm	$L_{a'} = (1 - s_a)^2L$ $L_{as} = s_a^2L$ $L_{b'} = (1 - s_b)^2L$ $L_{bs} = s_b^2L$ $L_c = L$
Hỗ cảm	$M_{a'b'} = -\frac{1}{3}s_b(1 - s_a)L$ $M_{a'bs} = -\frac{1}{3}s_b(1 - s_a)L$ $M_{b'as} = -\frac{1}{3}s_a(1 - s_b)L$ $M_{a'c} = -\frac{1}{3}(1 - s_a)L$ $M_{cas} = -\frac{1}{3}s_aL$ $M_{b'c} = -\frac{1}{3}(1 - s_b)L$ $M_{cbs} = -\frac{1}{3}s_bL$

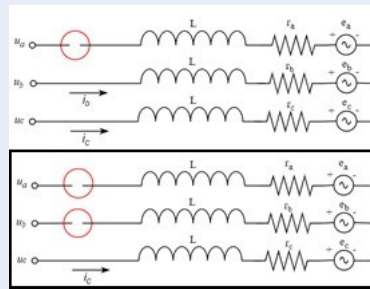
Phương trình thể hiện mô men điện từ được viết lại theo phương trình (8). Đồng thời phương trình cơ

học không thay đổi so với lỗi ngắn mạch trong pha A được thể hiện trong phương trình (4) và (5).

$$T_e = \frac{1}{\omega} (e_a i_{a'} + e_b i_{b'} + e_c i_c + e_{as} i_{as} + e_{bs} i_{bs}) \quad (8)$$

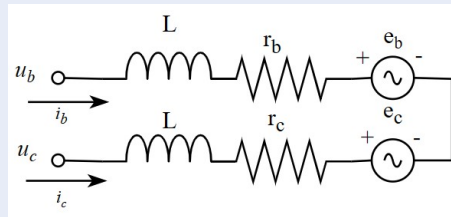
Lỗi hở mạch

Lỗi hở mạch có thể xảy ra khi cuộn dây của stator bị hỏng. Các cuộn dây bị hỏng, dòng điện sẽ không chạy qua pha bị hỏng, mất khả năng tạo ra mô men điện từ. Hở mạch trong cuộn dây stator là một lỗi rất phổ biến Hình 4, nó thường xảy ra do những nguyên nhân sau đây: cuộn dây bị đứt do căng dây không đúng cách, tác động cơ học mạnh, quá tải hoặc lão hóa theo thời gian.



Hình 4: (a) Sơ đồ nguyên lý của lỗi hở mạch trong pha A, (b) Sơ đồ nguyên lý của lỗi hở mạch trong 2 pha A và B⁴

Trong trường hợp bị hở mạch, tùy vào mức độ hở mạch mà động cơ có thể có một hoặc nhiều triệu chứng khác nhau. Một trong những triệu chứng rõ ràng nhất của lỗi hở mạch là động cơ không khởi động hoặc không hoạt động khi được cung cấp điện. Khi hở mạch pha A, cuộn dây pha A không xét đến. Mạch tương đương như Hình 5.



Hình 5: Sơ đồ tương đương lỗi hở mạch pha A⁴

Theo định luật Ohm, ta có phương trình sau cân bằng điện áp như sau:

$$u_b - u_c = (r_b + r_c) i_b + [(L - M) + (L - M)] \frac{di_b}{dt} + e_b - e_c \quad (9)$$

Do 2 pha B và C khi đó mắc nối tiếp nên:

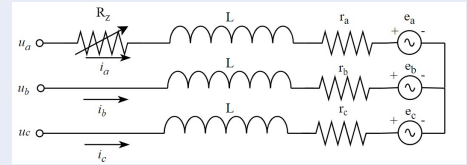
$$i_c = -i_b \quad (10)$$

Khi đó, mô men điện từ có giá trị là:

$$T_e = \frac{1}{\omega_n} (e_b i_b + e_c i_c) \quad (11)$$

Lỗi điện trở cao

Lỗi này có thể xảy ra do kết nối kém như đầu nối bị lỏng, ăn mòn, siết không chặt... làm cho điện trở tăng trong các pha khác nhau. Trong bài báo chủ yếu nghiên cứu điện trở cao trong một pha ở các mức tăng điện trở khác nhau, điện trở cao sẽ được mô phỏng và phân tích sơ bộ. Ngoài ra, các loại lỗi điện trở cao khác nhau sẽ có tác động giống nhau đối với mạch mô phỏng nên sẽ phân tích điển hình nguyên nhân do đứt dây.



Hình 6: Sơ đồ nguyên lý lỗi điện trở cao trên pha A⁴

khi một số sợi của dây lão hóa điện tích ruột dẫn sẽ bị giảm và do đó điện trở sẽ tăng lên Hình 6. Lỗi này được xem như mắc nối tiếp một điện trở phụ vào pha bị lỗi. với z là tỷ lệ số sợi bị đứt. Điện trở thêm vào được tính như sau:

$$R_z = \left(\frac{1}{1-z} - 1 \right) R \quad (12)$$

Khi đó, ma trận R sẽ thay đổi như sau:

$$R = \begin{bmatrix} r_a + R_z & 0 & 0 \\ 0 & r_b & 0 \\ 0 & 0 & r_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

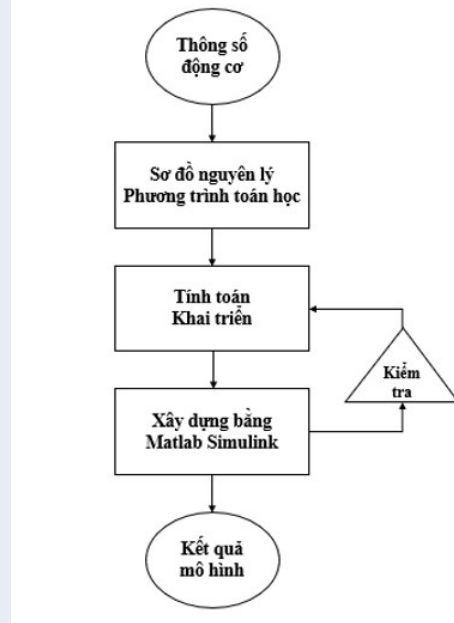
XÂY DỰNG MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Xây dựng mô hình nghiên cứu theo quy trình Hình 7 dựa trên cơ sở lý thuyết xây dựng mô hình chẩn đoán Hình 9 và 12 cho mô hình toán học dùng cho chẩn đoán pha Hình 8, 9, 11, 12 và 13. Điều này sẽ giúp xác định tính lỗi trên các pha theo phương trình tính toán dòng điện trên các pha Hình 14 và 15.

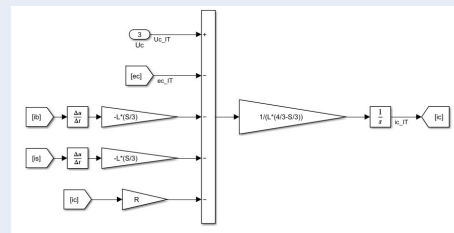
Mô hình nghiên cứu mô phỏng động cơ nhóm nghiên cứu tính toán trong các trường hợp lỗi như lỗi ngắn mạch một pha, lỗi ngắn mạch hai pha, lỗi hở mạch, lỗi điện trở cao Hình 14 và 15, dùng để chẩn đoán được tác động và khả năng ứng phó của động cơ trong các tình huống lỗi khác nhau.

THẢO LUẬN KẾT QUẢ

Động cơ nghiên cứu có mã 48V1000W Bảng 4. Động cơ BLDC được sử dụng trong các ô tô cỡ nhỏ có hiệu suất cao, độ tin cậy và có tuổi thọ làm việc tốt.



Hình 7: Quy trình xây dựng mô hình



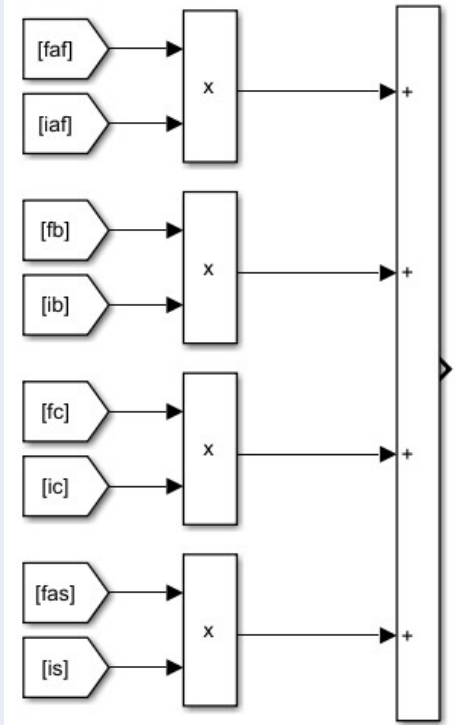
Hình 8: Tính toán dòng điện ngắn mạch trong một pha

bên cạnh đó khi tiến hành mô phỏng, kết hợp phương pháp điều khiển PID để duy trì tốc độ động cơ ở giá trị đặt 3500 vòng/phút để tiến hành thu thập các thông số dòng điện, tốc độ và momen điện từ. Ngoài ra, một số thiết lập điều kiện khác cho mô hình như: động cơ chạy không tải, các giá trị điện áp, dòng điện và tốc độ ban đầu đều bằng 0.

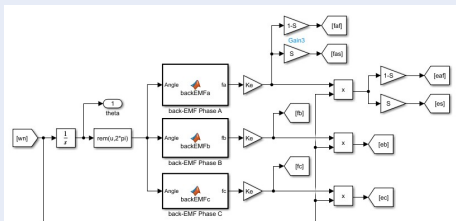
Lỗi ngắn mạch trong một pha

Tiến hành mô phỏng ở các mức độ lỗi (tỉ lệ ngắn mạch) lần lượt là $S = 0\%$ (bình thường), $S = 5,56\%$ và $S = 16,67\%$, ta thu được các kết quả Hình 16.

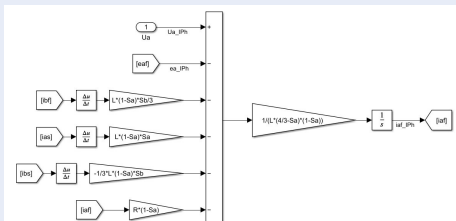
Bảng 5 tổng hợp kết quả giá trị dòng điện ba pha A, B, C, tốc độ và mô men điện từ của động cơ BLDC ở trạng thái bình thường, khi bị ngắn mạch pha A với tỉ lệ ngắn mạch $S = 5,56\%$ và $S = 16,67\%$.



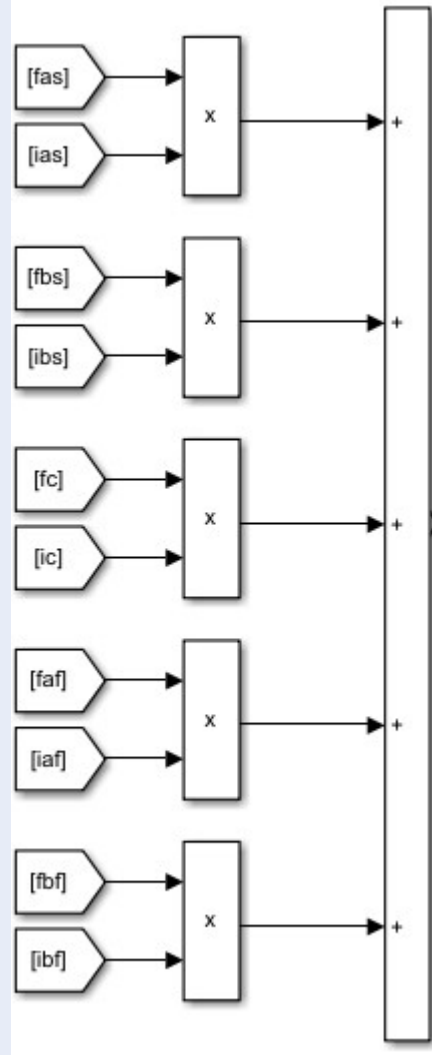
Hình 9: Tính toán mô men điện từ ngắn mạch trong một pha



Hình 10: Tính toán suất điện động ngắn mạch trong một pha



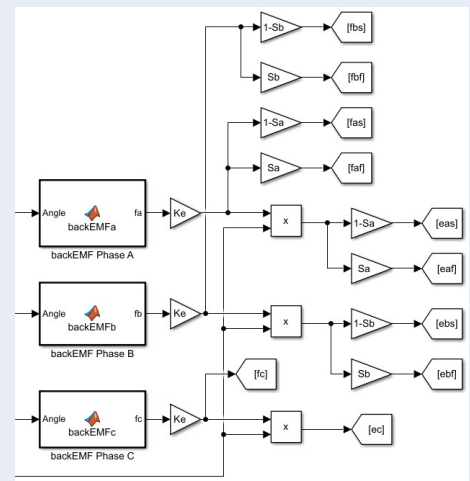
Hình 11: Tính toán dòng điện ba pha khi ngắn mạch pha A và B.



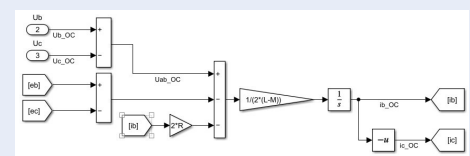
Hình 12: Tính toán mô men điện từ khi ngắn mạch pha A và B

để kiểm tính đúng đắn của kết quả trên, nhóm nghiên cứu so sánh kết quả nghiên cứu trước^{1,6}. So sánh xu hướng thay đổi của tốc độ và dòng điện trên động cơ BLDC khi tỉ lệ ngắn mạch ngày càng tăng trong kết quả thực nghiệm cho thấy kết quả mô phỏng Hình 16 của mô hình nghiên cứu trong bài báo này có sự tương đồng giữa mô hình số và mô hình thực nghiệm các nghiên cứu trước. Điều này chứng tỏ, kết quả mô phỏng của nhóm có tính đúng đắn cao và khả thi. Phân tích kết quả thu được có thể đưa ra nhận xét các nhận xét sau, nếu xảy ra lỗi ngắn mạch trong một pha của động cơ BLDC thì đối với:

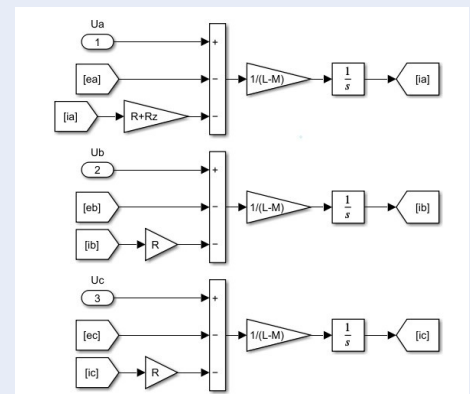
- Dòng điện: Giá trị lớn nhất trong pha bị lỗi tăng cao và có sự tăng nhẹ ở hai pha còn lại, độ chênh lệch giữa các pha tăng.



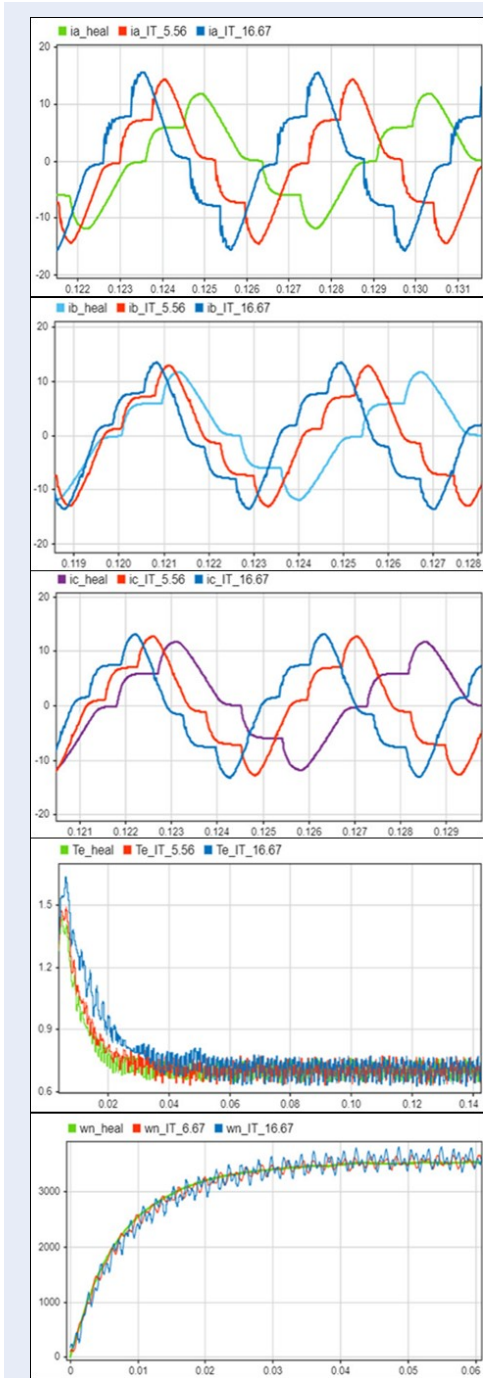
Hình 13: Tính toán suất điện động khi động cơ ngắn mạch giữa pha A và B



Hình 14: Tính toán dòng điện cho động cơ bị hở mạch pha A



Hình 15: Tính toán dòng điện cho động cơ bị điện trở cao.



Hình 16: Kết quả mô phỏng lỗi ngắn mạch pha A với $S = 0\%$ (bình thường), $S = 5,56\%$ và $S = 16,67\%$:
a. Dòng điện pha A (A) theo thời gian (s)
b. Dòng điện pha B (A) theo thời gian (s)
c. Dòng điện pha C (A) theo thời gian (s)
d. Momen điện từ (Nm) theo thời gian (s)
e. Tốc độ động cơ (vòng/phút) theo thời gian (s)

Bảng 4: Thông số kỹ thuật động cơ 48v1000w

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Loại động cơ	BLDC	
2	Điện áp định mức (V_d)	48	V
3	Dòng điện định mức	2,78	A
4	Công suất định mức	1000	W
5	Tốc độ tính toán	3500	vòng/phút
6	Điện trở (R)	1,1	Ohm
7	Điện cảm (L)	$0,864.10^{-3}$	Henry
8	Quán tính (J)	1210.10^{-7}	Kg.m ²
9	Số cặp cực (P)	4	
10	Hằng số sức điện động (K_e)	0,114	V/rad.s ⁻¹
11	Momen ma sát tĩnh (C_o)	$0,746.10^{-3}$	Nm
12	Momen ma sát động (C_v)	$3,695.10^{-7}$	Nm/rad ⁻¹

Bảng 5: Kết quả mô phỏng lỗi ngắn mạch pha A

Chế độ lỗi		S=0%	S=5,56%	S=16,67%
Dòng điện pha (A)	i_{Amax}	11,8	14,2	15,6
	i_{Bmax}	11,8	12,9	13,5
	i_{Cmax}	11,8	12,7	13,1
Tốc độ (vòng/phút)	ω_{nmax}	3523	3601	3661
	ω_{nmin}	3487	3452	3404
	$\overline{\omega_n}$	3505	3526	3532
Mô men điện từ (Nm)	T_{emax}	0,732	0,756	0,777
	T_{emin}	0,667	0,651	0,645
	$\overline{T_e}$	0,69	0,703	0,711

- Mô men điện từ: Do ảnh hưởng bởi dòng điện pha, độ dao động của momen điện từ cũng tăng theo, tuy nhiên giá trị trung bình chỉ tăng nhẹ do có sự tăng và giảm tương ứng ở giá trị lớn nhất và nhỏ nhất.
- Tốc độ rotor: Động cơ vẫn duy trì tốc độ trung bình xấp xỉ với tốc độ đặt (nhờ có bộ điều khiển); tuy nhiên độ dao động lại rất cao bởi sự tăng cao của giá trị lớn nhất và giảm mạnh của giá trị nhỏ nhất.

Lỗi ngắn mạch giữa hai pha

Tiếp tục tiến hành mô phỏng ngắn mạch hai pha trong điều kiện tương tự trong các trường hợp là trường hợp 1: pha A và pha B ngắn mạch với cùng tỉ lệ 5.56%; trường hợp 2: Pha A là 5.56%, còn pha B là 16.67%. Kết quả mô phỏng thu được như sau:

Bảng 6: Kết quả lỗi ngắn mạch giữa pha A và B

Chế độ lỗi		S=0%	Sa=5,56%	Sa=5,56% Sb=5,56%	Sb=16,67%
Dòng điện pha (A)	i_{Amax}	11,8	15,4	16	
	i_{Bmax}	11,8	15,7	17,7	
	i_{Cmax}	11,8	14,4	15,2	
Tốc độ (vòng/phút)	ω_{nmax}	3523	3625	3742	
	ω_{nmin}	3487	3448	3477	
	$\overline{\omega_n}$	3505	3536.5	3609.5	
Mô men điện từ (Nm)	T_{emax}	0,732	0,768	0,793	
	T_{emin}	0,667	0,639	0,618	
	$\overline{T_e}$	0,69	0,703	0,705	

Kết quả thu được Bảng 6 cho thấy, nếu xảy ra lỗi ngắn mạch ở hai pha trong động cơ BLDC:

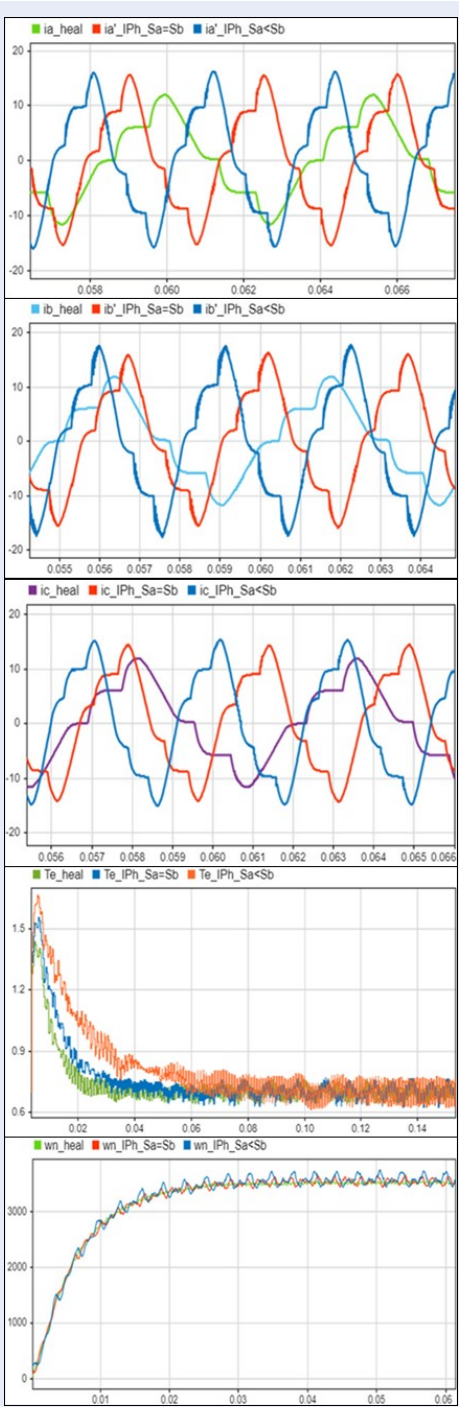
- Dòng điện: Giá trị lớn nhất trong hai pha lỗi đều tăng (nhưng phụ thuộc vào tỉ số ngắn mạch của mỗi pha); pha còn lại cũng tăng do ảnh hưởng của hai pha bị lỗi; chênh lệch giữa các pha tăng.
- Mô men điện từ: Giá trị lớn nhất và giá trị trung bình tăng lên; tuy nhiên giá trị nhỏ nhất lại giảm mạnh dẫn đến độ dao động tăng theo tỉ lệ ngắn mạch.
- Tốc độ rotor: Tương tự mô men điện từ, giá trị tốc độ lớn nhất và trung bình tăng cao, nhưng giá trị nhỏ nhất lại giảm dẫn đến độ dao động lớn.

Lỗi hở mạch

Dựa vào đồ thị Hình 18, ta có thể thấy dòng điện pha A bị mất hoàn toàn do hở mạch, dòng điện pha B và pha C vẫn còn tồn tại và ngược chiều nhau. Tuy nhiên, tại điểm giao nhau của pha B và pha C thì dòng điện ở hay pha này bằng nhau và bằng 0.

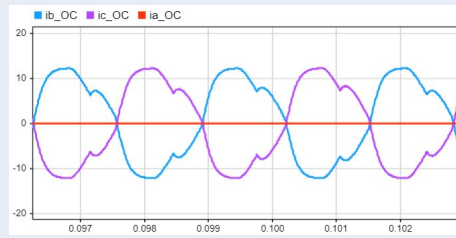
Trong trường hợp hở mạch một pha: tại thời điểm $i_b = i_c = 0$ thì mô men điện từ của động cơ cũng có giá trị bằng 0 dẫn đến động cơ mất công suất, tốc độ giảm đột ngột sau đó lại tăng lên và động cơ không thể hoạt động trong trạng thái này.

Trong trường hợp hở mạch hai pha hoặc ba pha: Theo nguyên lý động cơ BLDC, bộ điều khiển cấp điện áp cùng lúc cho hai pha trong một sector, tạo thành mạch kín và sinh ra dòng điện chạy trong hai pha đó. Do



Hình 17: Kết quả mô phỏng lỗi ngắn mạch pha A với $S_a=S_b=0\%$ (bình thường), $S_a=S_b=5,56\%$ và $S_a=5,56\% S_b=16,67\%$:

- a. Dòng điện pha A (A) theo thời gian (s)
- b. Dòng điện pha B (A) theo thời gian (s)
- c. Dòng điện pha C (A) theo thời gian (s)
- d. Momen điện từ (Nm) theo thời gian (s)
- e. Tốc độ động cơ (vòng/phút) theo thời gian (s)



Hình 18: Dòng điện ba pha của động cơ BLDC ở trạng thái hở mạch pha A

Bảng 7: Kết quả mô phỏng lỗi điện trở pha A cao

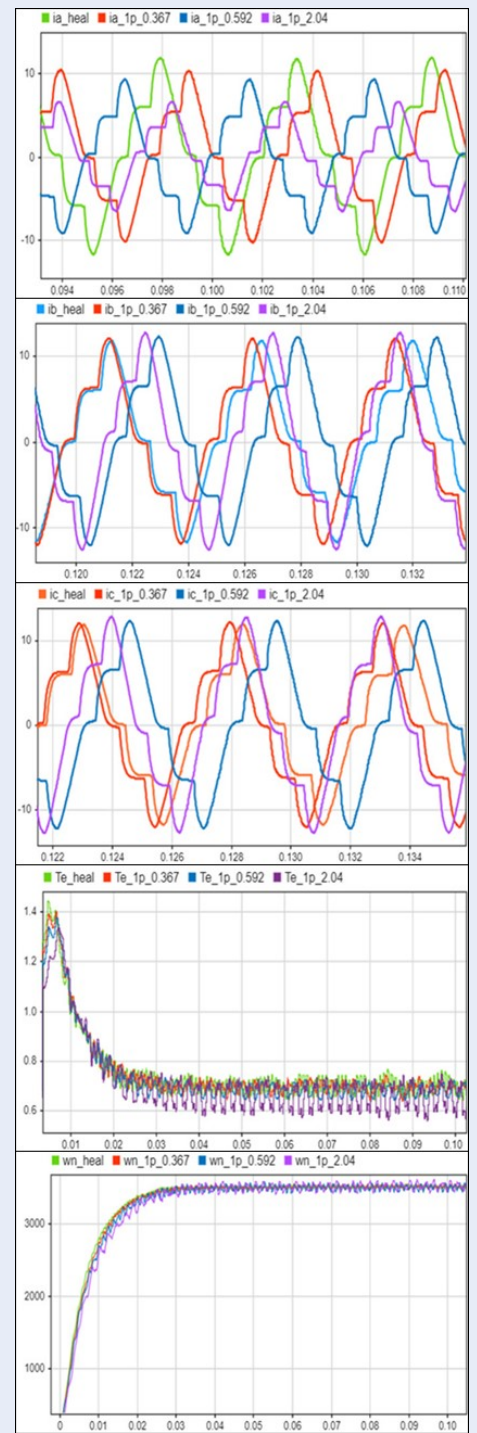
Tỉ lệ số sợi đứt (%)		z = 20	z = 35	z = 65
Điện trở tăng (Ohm)		$R_z = 0,367$	$R_z = 0,592$	$R_z = 2,04$
Dòng điện pha (A)	i_{Amax}	10,3	9,2	6,5
	i_{Bmax}	12	12,3	12,7
	i_{Cmax}	12,1	12,3	12,8
Tốc độ (vòng/phút)	ω_{nmax}	3544	3559	3575
	ω_{nmin}	3455	3413	3394
	$\overline{\omega_n}$	3499,5	3486	3484
Mô men điện từ (Nm)	T_{emax}	0,74	0,741	0,75
	T_{emin}	0,63	0,606	0,54
	$\overline{T_e}$	0,685	0,6705	0,645

đó, khi hai trong ba pha bị hở mạch, sẽ không có dòng điện chạy trong pha còn lại, động cơ không hoạt động. Phân tích kết quả mô phỏng cho thấy, nếu xảy ra lỗi hở mạch (một hoặc nhiều pha) thì động cơ đều không thể hoạt động. Mặc dù trong trường hợp hở mạch một pha, vẫn có thể có dòng điện đi qua hai pha còn lại, tuy nhiên momen điện từ mà hai dòng này tạo ra hoàn toàn không thể đáp ứng để rotor có thể quay đủ một vòng.

Lỗi điện trở cao

Mô phỏng lỗi này, kết quả thu được như Hình 19 và Bảng 7. Có thể thấy, khi xảy ra lỗi điện trở cao, tốc độ vẫn dao động quanh giá trị của tốc độ đặt là 3500 vòng/phút do tác dụng của bộ điều khiển PID. Khi tỉ lệ số sợi dây bị đứt lần lượt $z = 20\%$, 35% và 65% , động cơ có thể đạt tốc độ max đến 3544, 3559 và 3575 vòng/phút. Tuy nhiên dựa vào Bảng 7 thì ta thấy được giá trị trung bình tốc độ của động cơ BLDC lại giảm khi tỉ lệ số vòng dây bị đứt tăng lên (lỗi điện trở cao càng nặng hơn).

Từ kết quả Bảng 7 cho thấy, nếu xảy ra lỗi điện trở cao trên một pha lớn:



Hình 19: Kết quả mô phỏng lỗi ngắn mạch pha A với với điện trở tăng thêm $R_z = 0$, $R_z = 0.367$, $R_z = 0.592$ và $R_z = 2.04$:

- Dòng điện pha A (A) theo thời gian (s)
- Dòng điện pha B (A) theo thời gian (s)
- Dòng điện pha C (A) theo thời gian (s)
- Momen điện từ (Nm) theo thời gian (s)
- Tốc độ động cơ (vòng/phút) theo thời gian (s)

- Dòng điện: Giá trị lớn nhất trong pha lỗi giảm dần; hai pha còn lại có sự tăng nhẹ; chênh lệch giữa các pha tăng.
- Mo-men điện từ: Giá trị lớn nhất và độ dao động đều tăng; tuy nhiên, giá trị trung bình giảm.
- Tốc độ rotor: Giá trị lớn nhất và độ dao động đều tăng; tuy nhiên, giá trị trung bình giảm.

KẾT LUẬN

Bằng phương pháp mô phỏng trạng thái hư hỏng trên mô hình. Kết quả cho thấy, các biểu hiện đặc trưng chẩn đoán động cơ điện không chổi than 'TCZY 48V1000W' khi rơi vào tình trạng lỗi có thể dựa trên tham số hoạt động dòng điện, mô men điện từ và tốc độ quay của rotor khi động cơ hoạt động để xác định trạng thái hoạt động của loại động cơ này. Tuy nhiên, cần tiến hành thêm một số trường hợp tương hỗ để tìm thêm được mối quan hệ giữa giá trị lỗi và giá trị biểu hiện tương ứng. Bằng phương pháp này xây dựng được chuỗi logic cho hệ thống tự chẩn đoán trên các ô tô điện làm tăng khả năng kinh tế, sớm phát hiện các hư hỏng có thể xảy ra làm tăng khả năng hoạt động cho hệ thống truyền lực trên ô tô. Từ mô hình này, có thể phát triển các thuật toán phát hiện lỗi sớm thông qua các biểu hiện này nhằm đảm bảo hiệu suất và tính ổn định của loại động cơ này.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

BLDC: động cơ điện không chổi than.
SBEVs: xe điện cỡ nhỏ
SC: ngắn mạch
ITSC: ngắn mạch trong một pha
IPSC: ngắn mạch giữa hai pha

HR: điện trở cao
OC: hở mạch
SC: cuộn dây stator

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Nguyễn Đình Hùng lên ý tưởng, phân tích số liệu và viết bài báo.

Vũ Việt Thắng thiết lập mô hình tính toán.

Nguyễn Phúc Nguyên chạy mô hình tính toán thu thập số liệu.

Cám ơn

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn trường Đại học bách khoa TP HCM - Đại học quốc gia đã hỗ trợ thiết bị để chúng tôi thực hiện đề tài này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Liao Y. Analysis of fault conditions in permanent magnet in-wheel motors. Degree project in Electrical Engineering, Master of Science, Stockholm, Sweden Stockholm. 2011;014.
2. Pillay P, Krishnan R. Modelling, simulation, and analysis of permanent-magnet motor drives. part II: the brushless DC motor drive, IEEE Trans on Industry Applications. 1989;25(2):274–279.
3. Evans PD, Brown D. Simulation of brushless DC drives. Proc of the IEE. 1990;137(5):299–308.
4. Lee BK, Ehsani M. Advanced Simulation Model for Brushless DC Motor Drives. Electric Power Components and Systems. 2003;31(9):841–868.
5. Ruiqing M, Weiguo L, En X. Simulation and test of position servo system based on dual-redundancy BLDCM. Proc CSEE. 2008;28(18):98–103.
6. Park JK, Jeong CL, Lee ST, Hur J. Early Detection Technique for Stator Winding Interturn Fault in BLDC Motor using Input Impedance. IEEE. 2015;51(1):240–247.

Fault Diagnostics Motor Using On an Electric Vehicle Using By Simulation Method

Dinh Hung Nguyen^{*}, Viet Thang Vu, Phuc Nguyen Nguyen



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC), National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC)

Correspondence

Dinh Hung Nguyen, National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC), National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC)

Email: nguyendinhhung@hcmut.edu.vn

History

- Received: 10-10-2025
- Revised: 12-12-2023
- Accepted: 17-10-2024
- Published Online: 22-10-2025

DOI :

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i4.1280>



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Research diagnostics of possible damage in brushless direct current motors (BLDC) used on small battery electric vehicles (SBEV) in the case of short circuits, high resistance, and open circuits is one of the methods to determine the existing damage that causes the motor to reduce power and operate inefficiently. By developing mathematical models based on the corresponding schematic diagrams of this motor type, it is possible to construct a fault diagnosis model and describe the progression of each fault occurring in the motor. Implementing this diagnostic model enables the determination of the motor's response values, including phase currents, electromagnetic torque, and rotor speed, corresponding to each fault mode, as obtained in the simulation environment. By developing mathematical models based on the corresponding schematic diagrams of this motor type, it is possible to construct a fault diagnosis model and describe the progression of each fault occurring in the motor. Implementing this diagnostic model enables the determination of the motor's response values, including phase currents, electromagnetic torque, and rotor speed, corresponding to each fault mode, as obtained in the simulation environment. Through the analysis of simulation results, the research team identified the behavior of the BLDC motor under the specified fault conditions, as well as additional short-circuit and high-resistance issues, each exhibiting distinct symptoms associated with specific fault scenarios. This method is challenging to apply without appropriate measurement equipment and rational diagnostic techniques in practice, which can lead to rapid motor deterioration if faults are not detected early. The diagnostic results of the simulation model contribute to providing a convenient and economical method for analysing possible faults in brushless direct current motors to build a fault model self-diagnosis using artificial intelligence on today's small electric vehicles.

Key words: diagnostic motor method, brushless direct current, diagnostic model, electric vehicles

Cite this article : Nguyen D H, Vu V T, Nguyen P N. **Fault Diagnostics Motor Using On an Electric Vehicle Using By Simulation Method.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2025; 8(4):2670-2680.