

NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU TỰ KHỞI ĐỘNG KHI XẢY RA SỰ CỐ QUÁ ĐIỆN ÁP TẠM THỜI

STUDYING OPERATING CHARACTERISTICS OF LINE-START PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS IN TEMPORARY OVER VOLTAGE TIME

Lê Anh Tuấn^{1,*}, Bùi Đức Hùng², Ninh Văn Nam¹,
Phạm Văn Tuấn³, Phạm Văn Nam¹

TÓM TẮT

Hiện nay, động cơ điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp được nghiên cứu và ứng dụng ngày càng nhiều để thay thế từng phần cho động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc hiện đang sử dụng phổ biến. Nguyên nhân là, động cơ này có nhiều ưu điểm như hiệu suất cao, không cần lấy công suất phản kháng từ lưới điện xoay chiều, vận hành với tốc độ ổn định, mật độ công suất nhỏ hơn động cơ không đồng bộ và khả năng tự khởi động. Tuy nhiên, trong thực tế không phải lúc nào động cơ cũng hoạt động với các điều kiện lý tưởng về điện áp, tần số, nhiệt độ môi trường hoạt động... Trong nội dung bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu tác động của một sự cố điển hình liên quan đến điện áp nguồn cấp rất hay gặp trong thực tế, đó là trường hợp quá điện áp tạm thời. Hai đặc tính tốc độ và dòng điện trong quá trình xuất hiện quá điện áp tạm thời được mô phỏng để đánh giá khả năng hoạt động của động cơ. Các kết quả nghiên cứu trong bài báo dựa trên cơ sở lý thuyết về mô hình toán của động cơ và phần mềm mô phỏng Matlab/Simulink.

Từ khóa: Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp; nam châm vĩnh cửu; động cơ đồng bộ; mô hình toán; quá điện áp tạm thời.

ABSTRACT

Nowadays, Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors are studied and become more and more popular in order to replace partly for Squirrel Cage Induction Motors due to high efficiency, no need to take reactive power from power supply, constant speed in operation, higher density power in comparison with the same power of squirrel cage induction motor and line start... However, in fact the motors may operate in non ideal conditions for example voltage, frequency, ambient temperature... In this paper, a typical failure of voltage of power supply, temporary over voltage, affecting on these motors is studied. Characteristics of speed and current of the motor in the failure time extracted from simulation is used for evaluating. The simulation results in this paper are based on the mathematical model of the motor and Matlab/Simulink software.

Keywords: Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors; Permanent Magnet; Synchronous Motors; modeling; temporary over voltage.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

³Khoa Điện, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vinh

*Email: leanhtuan0985@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/2/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/3/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/6/2022

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
V_{dsr}, V_{qs}	V	Điện áp dọc trục, ngang trục stator
V'_{dr}, V'_{qr}	V	Điện áp dọc trục, ngang trục rotor quy đổi
i_{dsr}, i_{qs}	A	Dòng điện đồng bộ dọc trục, ngang trục stator
r_s, r'_r	Ω	Điện trở stator và rotor quy đổi
L_{md}, L_{mq}	H	Điện kháng đồng bộ dọc trục và ngang trục stator
L_{ls}, L'_{lr}	H	Điện kháng tản stator và rotor quy đổi
Ψ_{dsr}, Ψ_{qs}	Wb	Từ thông dọc trục và ngang trục stator
Ψ'_{dsr}, Ψ'_{qs}	Wb	Từ thông dọc trục và ngang trục rotor quy đổi

CHỮ VIẾT TẮT

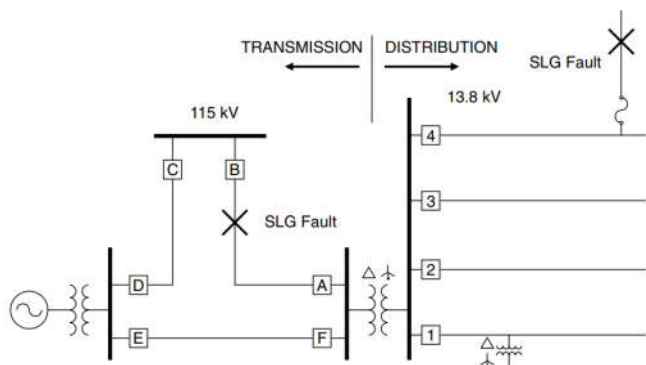
LSPMSM	Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor
NCVC	Nam châm vĩnh cửu
TOV	Quá điện áp tạm thời
SCIM	Động cơ không đồng bộ lồng sóc

1. GIỚI THIỆU

Trong thập kỷ gần đây, rất nhiều tác giả nghiên cứu ứng dụng của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp (LSPMSM-Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors) như là sự thay thế cho động cơ không đồng bộ. Động cơ LSPMSM là sự cải tiến động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, nói cách khác nó là động cơ lai giữa động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc (SCIM) và động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Đối với động cơ này người ta đặt các thanh nam châm vĩnh cửu (NCVC) vào rôto lồng sóc của động cơ không đồng bộ. Xuất hiện đầu tiên vào năm 1978 khi Binns [1] lần đầu đưa ra khái niệm về

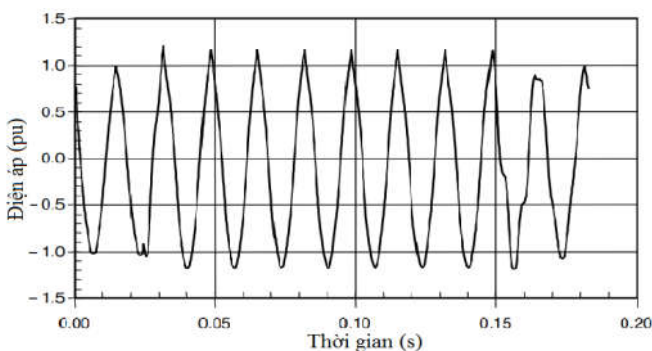
dòng động cơ mới, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp. Từ đó đến nay, nhiều hướng nghiên cứu và ứng dụng trong đó sử dụng mô hình toán để phân tích các đặc tính của động cơ này vẫn tiếp tục được đưa ra [2, 3, 4].

Trong thực tế vận hành, các tải tiêu thụ điện từ lưới điện phân phối không phải bao giờ cũng hoạt động ở điều kiện lý tưởng như điện áp nguồn cấp, tần số nguồn cấp, nhiệt độ môi trường, cách điện... Khi xảy ra sự cố thì các thông số điện áp nguồn cấp, tần số nguồn cấp thay đổi tùy thuộc vào từng trường hợp cụ thể [5].



Hình 1. Ví dụ về một sự cố gây quá điện áp tạm thời cho tải trên hệ thống cấp điện [5]

Ở hình 1 là một ví dụ điển hình minh họa về quá điện áp khi có sự cố trên hệ thống. Tải được cấp nguồn từ máy cắt 1, nếu có sự cố trên cùng lộ cấp thì khi máy cắt tác động, tải gặp phải quá điện áp trong thời gian này. Mặt khác nếu có sự cố tại lộ thứ 4 khi đó máy cắt 4 sẽ cắt thì tải tại lộ 1 cũng có khả năng bị quá điện áp. Trong các sự cố về điện áp thường gặp khi có sự cố thì quá điện áp tạm thời trong thời gian ngắn (TOV - Temporary overvoltages) là phổ biến nhất. Sự cố TOV trong thời gian ngắn nguyên nhân bởi sự cố trên cùng một lộ hoặc do sự cố tại lộ khác có cùng trạm phân phối trên hệ thống [5]. Bên cạnh đó, theo tiêu chuẩn IEEE Standard 1159-1995, sự cố TOV được định nghĩa là sự tăng biên độ điện áp trong khoảng 1,1 đến 1,8 lần giá trị định mức tại tần số công nghiệp (50Hz - 60Hz) và tồn tại trong khoảng thời gian từ 0,5 chu kỳ (10ms-50Hz) cho đến một phút [6, 7].



Hình 2. Quá điện áp tạm thời sinh ra bởi lỗi chạm đất một pha trên hệ thống [5]

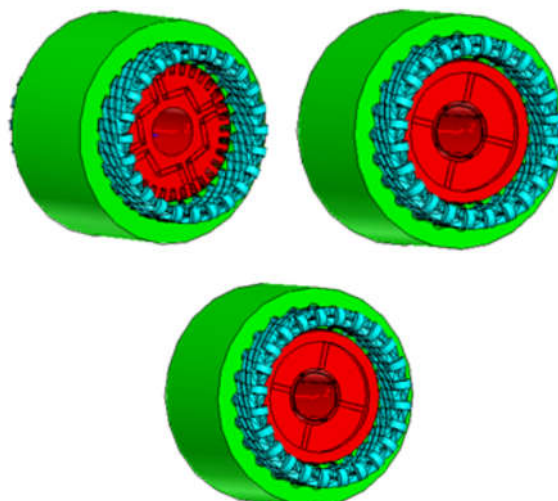
Để nghiên cứu ảnh hưởng của sự cố TOV đến quá trình vận hành LSPMSM, trong nội dung, bài báo ứng dụng mô

hình toán để khảo sát một số đặc tính làm việc, từ đó có những đánh giá và kết luận về ảnh hưởng này. Bài báo áp dụng mô hình toán LSPMSM do Honsinger đề xuất [8] đồng thời sử dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng một số đặc tính làm việc của LSPMSM dưới tác động của sự cố TOV. Qua mô phỏng, các đặc tính làm việc được phân tích để đánh giá khả năng hoạt động của LSPMSM. Các đặc tính chính được quan tâm trong nội dung nghiên cứu là: Tốc độ và dòng điện của động cơ trong thời gian xảy quá điện áp tạm thời. Trong nghiên cứu, bài báo thử nghiệm mô phỏng với một LSPMSM 3 pha, 4 cực, 380V, 2,2kW, tốc độ 1500 vòng/phút.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Một số cấu hình rôto LSMPSM

Đến thời điểm hiện tại, về cơ bản stator động cơ LSPMSM có cấu tạo giống động cơ không đồng bộ, tuy nhiên trong lõi thép rôto có đặt các thanh NCV. Một số cấu hình rôto điển hình của LSPMSM phổ biến hiện nay như hình 3.



Hình 3. Một số cấu tạo rôto LSPMSM với NCV gắn chìm [9]

2.2. Mô hình toán động cơ LSPMSM

Trong khi nghiên cứu LSPMSM, các tác giả Takahashi, Aliabad, Kwang Hee Kim... [2, 3, 4] ứng dụng mô hình toán LSPMSM do Honsinger đã đề xuất để nghiên cứu đặc tính làm việc của động cơ. Ứng dụng định luật Kirchoff 2, mô hình toán của LSPMSM bao gồm các hệ phương trình vi phân điện áp stator, rôto; từ trường stator, rôto được biểu diễn dưới dạng biến đổi theo trục tọa độ dq. Tổng hợp lại, mô hình toán của LSPMSM được thể hiện dưới dạng các hệ phương trình vi phân như sau:

Phương trình điện áp:

Điện áp stator

$$\begin{cases} v_{ds} = r_s \cdot i_{ds} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} - \omega_m \cdot \psi_{qs} \\ v_{qs} = r_s \cdot i_{qs} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} + \omega_m \cdot \psi_{ds} \end{cases} \quad (1)$$

Điện áp rôto

$$\begin{cases} \dot{v}_{dr} = r'_{dr} \cdot i'_{dr} + \frac{d\psi'_{dr}}{dt} = 0 \\ \dot{v}_{qr} = r'_{qr} \cdot i'_{qr} + \frac{d\psi'_{qr}}{dt} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình từ thông:

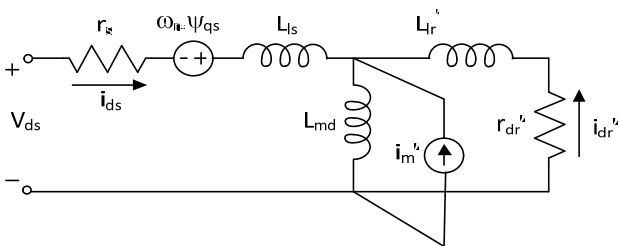
Từ thông stato

$$\begin{cases} \psi_{ds} = (L_{ls} + L_{md}) \cdot i_{ds} + L_{md} \cdot i'_{dr} + \psi'_m \\ \psi_{qs} = (L_{ls} + L_{mq}) \cdot i_{qs} + L_{mq} \cdot i'_{qr} \end{cases} \quad (3)$$

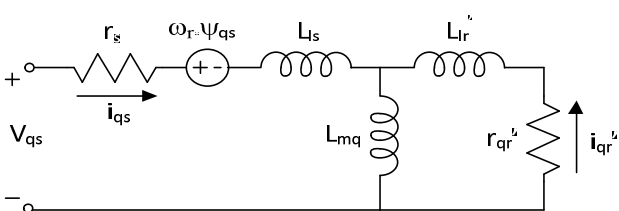
Từ thông rôto

$$\begin{cases} \psi'_{dr} = L'_{lr} \cdot i'_{dr} + L_{md} \cdot (i_{ds} + i'_{dr}) + \psi'_m \\ \psi'_{qr} = L'_{lr} \cdot i'_{qr} + L_{mq} \cdot (i_{qs} + i'_{qr}) \end{cases}$$

Từ mô hình toán động cơ, sơ đồ mạch điện thay thế của động cơ LSPMSM được thể hiện như hình 4.



a) Sơ đồ mạch điện thay thế dọc trục

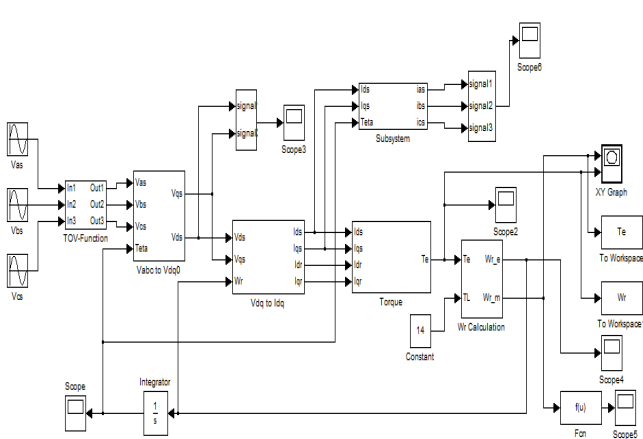


b) Sơ đồ mạch điện thay thế ngang trục

Hình 4. Sơ đồ mạch điện thay thế của LSPMSM theo hệ tọa độ d-q

2.3 Mô phỏng ảnh hưởng của quá điện áp tạm thời đến LSPMSM với Matlab/Simulink

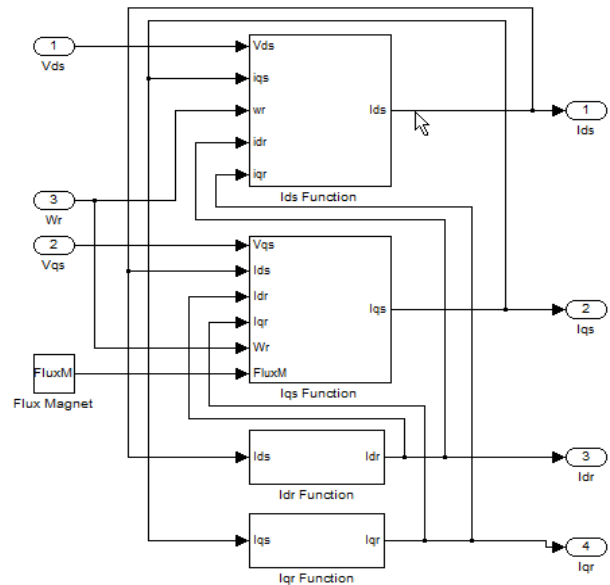
2.3.1. Mô phỏng mô hình toán LSPMSM



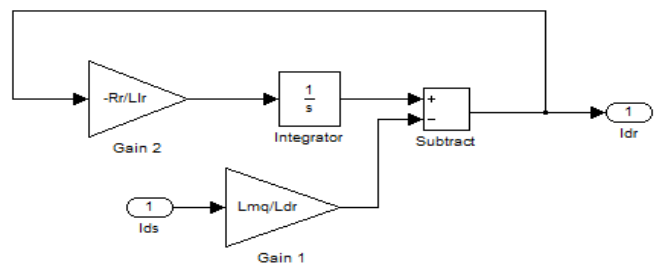
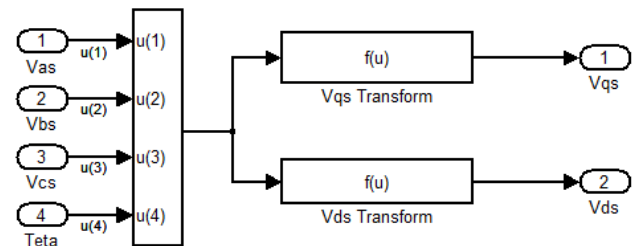
Hình 5. Sơ đồ mạch điện thay thế của LSPMSM theo hệ tọa độ d-q

Bài báo ứng dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng các đặc tính làm việc của LSPMSM từ mô hình toán của động cơ tại mục 2.2 trên. Các khối sơ đồ mô phỏng động cơ dưới tác động của sự cố TOV như hình 5, 6, 7, 8.

Trong sơ đồ khối trên có sử dụng một số khối hàm trong mô phỏng như hình 6, 7.

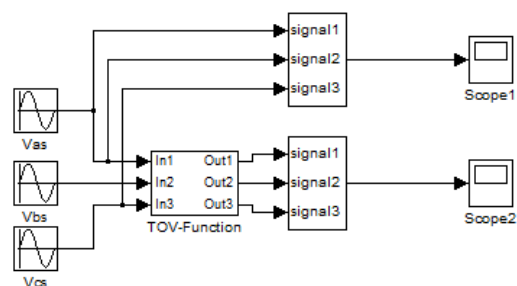


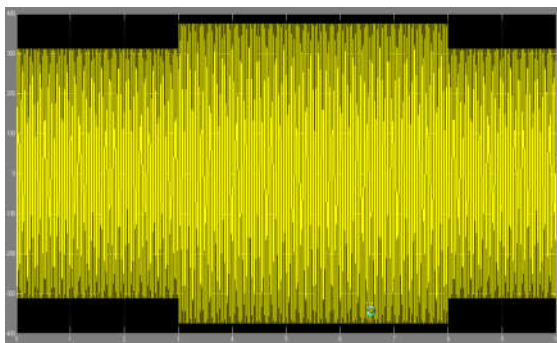
Hình 6. Khối tính toán dòng điện trục d-q



Hình 7. Khối biến đổi Park và biến đổi dòng điện

Khối sơ đồ mô phỏng quá điện áp tạm thời như hình 8.

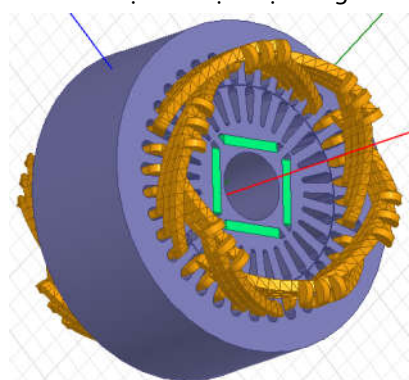




Hình 8. Sơ đồ khối mô phỏng và quá điện áp tạm thời sử dụng trong mô phỏng

2.3.2. Ứng dụng mô phỏng với LSPMSM thử nghiệm

Bài báo ứng dụng mô phỏng với một LSPMSM thử nghiệm với công suất 2,2kW, 1500 vòng/phút, động cơ này được cải tiến từ một SCIM của nhà máy chế tạo điện cơ Hà Nội. Các thông số của LSPMSM 2,2kW thử nghiệm (điện cảm tản stato, điện cảm tản rôto quy đổi, điện cảm đồng bộ từ hóa ngang trục, dọc trục,...) được tính toán dựa trên các cấu hình stato, rôto, kích thước và vị trí đặt các thanh NCVC. Tổng kết lại, các thông số LSPMSM 2,2kW thử nghiệm như hình 9 được xác định tại bảng 1.



Hình 9. Cấu tạo rôto LSPMSM thử nghiệm

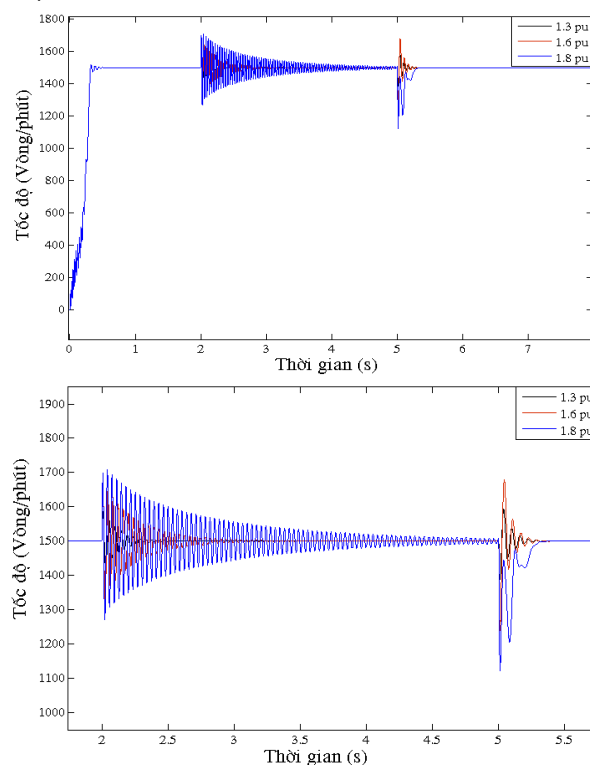
Bảng 1. Các thông số của LSPMSM thử nghiệm

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Đường kính trong stato	D_{in}	104	mm
Số rãnh stato		36	
Số rãnh rôto		28	
Chiều dài khe hở không khí	δ	0,5	mm
Tần số nguồn	F	50	Hz
Điện trở stato	R_s	3,6	Ω
Điện trở rôto	R_r	3	Ω
Điện cảm tản stato	L_{ls}	13	mH
Điện cảm tản lồng sóc rôto quy đổi	L_{lr}	13,2	mH
Điện cảm từ hóa đồng bộ dọc trục	L_{md}	28,4	mH
Điện cảm từ hóa đồng bộ ngang trục	L_{mq}	131	mH
Mật độ từ thông dư NCVC	Br	1,1	T
Mômen quán tính rôto động cơ	J	0,03	Kg.m ²
Mômen tải định mức	M_{dm}	14	N.m

2.3.3. Mô phỏng quá điện áp tạm thời tác động lên LSPMSM với MATLAB/Simulink

Bài báo ứng dụng MATLAB/Simulink với các sơ đồ khối được lập trình từ mục 2.3.1 trên để mô phỏng LSPMSM 2,2kW thử nghiệm. Các thông số của LSPMSM thử nghiệm được xác định ở bảng 1. Thông qua kết quả mô phỏng là các đặc tính làm việc cho phép đánh giá các ảnh hưởng của sự cố TOV lên động cơ. Trong nghiên cứu, nhóm tác giả thực hiện đối với các cấp TOV khác nhau ứng với các giá trị 1,3 : 1,6 : 1,8pu, thời gian duy trì quá điện áp là 3s. Như vậy đối với ba cấp điện áp được sử dụng khác nhau thì đều nằm trong tiêu chuẩn IEEE Standard 1159-1995 quy định và phản ánh tổng quát dải điện áp TOV. Đối với thời gian mô phỏng, thì 3s nằm trong dải thời gian quy định của tiêu chuẩn IEEE Standard 1159-1995, bên cạnh đó thời gian này đủ để quan sát phản ứng của động cơ đối với sự cố TOV.

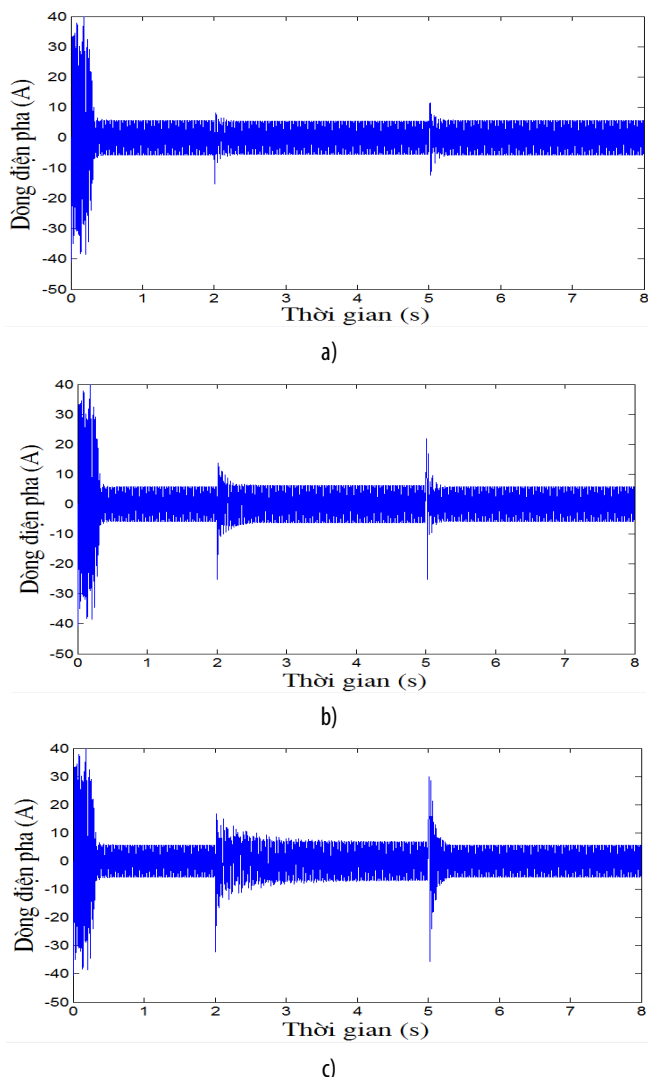
Kết quả mô phỏng đường đặc tính tốc độ được thể hiện như tại hình 10.



Hình 10. Đặc tính tốc độ LSPMSM mô phỏng với các quá điện áp tạm thời khác nhau

Từ hình 10 có thể nhận thấy, sự cố TOV có tác động nhiều đến đặc tính tốc độ của động cơ. Khi xuất hiện TOV xảy ra quá độ đối với quá trình biến đổi điện từ trường trong động cơ. Ở thời điểm này tốc độ dao động, tuy nhiên động cơ sẽ dần trở về trạng thái ổn định mới với điện áp làm việc mới. Thời gian ổn định này phụ thuộc vào giá trị điện áp mới và các thông số của động cơ. Trong các bài toán liên quan đến điều khiển, điều này phải được tính đến để điều khiển ổn định tốc độ. Đối với trường hợp quá điện áp có biên độ $\leq 1,6pu$ thì khi bắt đầu xuất hiện quá điện áp tốc độ động cơ dao động với biên độ khoảng $\pm 11\%$ (tốc độ

lớn nhất: 1656 vòng/phút, tốc độ nhỏ nhất: 1334 vòng/phút). Sau khoảng thời gian khoảng 1,5s tốc độ động cơ đi vào ổn định với tốc độ đồng bộ và không còn dao động. Đối với sự cố TOV có biên độ 1,8pu, khi xuất hiện quá điện áp, động cơ bị dao động rất mạnh, biên độ dao động $\pm 14\%$ (tốc độ lớn nhất: 1710 vòng/phút tốc độ nhỏ nhất: 1272 vòng/phút). Bên cạnh đó sau 3s, tốc độ của động cơ vẫn không ổn định mà vẫn dao động quanh tốc độ đồng bộ. Như vậy rõ ràng là đối với sự cố TOV với biên độ 1,8pu động cơ có đặc tính tốc độ xấu, khó đồng bộ, khi xuất hiện quá điện áp tốc độ động cơ rung lắc mạnh. Bên cạnh đó trong suốt quá trình diễn ra quá điện áp động cơ vận hành ổn do tốc độ không ổn định mà dao động xung quanh tốc độ đồng bộ. Khi kết thúc sự cố TOV, và phục hồi lại điện áp định mức, với trường hợp quá điện áp 1,8 pu động cơ bị giảm tốc độ rất lớn (tốc độ nhỏ nhất lúc này là 1122 vòng/phút tương ứng với -25% tốc độ đồng bộ), nguyên nhân này một lần nữa gây ra rung lắc mạnh ở động cơ. Còn đối với hai trường hợp còn lại, đặc tính tốc độ dao động với biên độ nhỏ hơn, động cơ ít bị rung lắc mạnh hơn.



Hình 11. Đặc tính dòng điện pha LSPMSM mô phỏng với các quá điện áp tạm thời khác nhau a) 1,3pu; b) 1,6pu; c) 1,8pu

Từ hình 11 cho thấy tương tự như đặc tính tốc độ, khi xuất hiện TOV xảy ra quá độ đối với quá trình biến đổi điện từ trường trong động cơ. Ở thời điểm này dòng điện stato dao động, tuy nhiên động cơ sẽ dần trở về trạng thái ổn định mới với điện áp làm việc mới. Bên cạnh đó, từ hình 11 cho thấy, đối với quá điện áp có biên độ $\leq 1,6pu$ khi xuất hiện giá trị tuyệt đối dòng điện quá độ lớn nhất là 25,5A, như vậy giá trị này gấp 4,6 lần giá trị dòng điện định mức ($I_{đmđc} = 5,5A$), tuy nhiên dòng điện nhanh chóng đạt đến dòng xác lập ở trạng thái ổn định mới sau khoảng thời gian 0,4s. Đối với quá điện áp bằng 1,8pu, trị tuyệt đối dòng điện đỉnh lớn nhất 32,2A gấp 5,8 lần giá trị dòng điện định mức. Tuy nhiên ở trường hợp này thì sau 3s dòng điện vẫn chưa đạt được đến chế độ xác lập. Khi kết thúc sự cố TOV và phục hồi lại điện áp định mức, ở trường hợp quá điện áp 1,8pu động cơ điện áp đỉnh là 36,7A và giá trị này xấp xỉ với giá trị dòng điện đỉnh khi khởi động hoặc ngắn mạch của động cơ (khoảng 40A). Như vậy trong trường hợp này nếu không có các biện pháp cần thiết thì máy cắt cấp nguồn có thể tác động cắt động cơ ra khỏi lưới để bảo vệ động cơ.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã sử dụng mô hình toán và mô phỏng LSPMSM với MATLAB/Simulink để đánh giá ảnh hưởng của quá điện áp tạm thời (TOV). Trong bài báo, một LSPMSM 2,2kW thử nghiệm được mô phỏng ở các điều kiện xảy ra sự cố ngắn mạch tạm thời với ba cấp điện áp nằm trong dải điện áp quy định theo tiêu chuẩn IEEE Standard 1159-1995. Hai đặc tính tốc độ và đặc tính dòng điện quá độ được sử dụng để đánh giá phản ứng của động cơ khi nguồn cấp xảy ra sự cố này. Kết quả cho thấy, khi biên độ quá điện áp lớn, đặc tính LSPMSM về tốc độ và dòng điện là rất xấu. Đối với đặc tính tốc độ, khi biên độ quá điện áp bằng 1,8 pu, động cơ hoạt động rung lắc mạnh khi xuất hiện sự cố và còn nghiêm trọng hơn là khi kết thúc sự cố (do tốc độ thay đổi tới...). Bên cạnh đó trong thời gian duy trì sự cố, động cơ hoạt động với tốc độ không ổn định mà dao động quanh tốc độ đồng bộ, điều này tất yếu sinh ra rung, ồn. Đối với đặc tính dòng điện, với biên độ quá điện áp lớn (1,8pu), nghiêm trọng nhất là khi kết thúc sự cố để chuyển về trạng thái định mức. Lúc này trị số dòng điện đỉnh quá độ tăng vọt gần bằng với dòng khởi động hoặc ngắn mạch của động cơ. Ở trường hợp này nếu không có biện pháp xử lý thì rất có thể máy cắt cấp nguồn tác động để bảo vệ động cơ. Vì vậy đối với trường hợp này người sử dụng cần có các biện pháp bảo vệ cần thiết như dừng hoạt động hoặc có biện pháp làm giảm biên độ điện áp quá áp đặt vào động cơ đồng thời cần có biện pháp để tránh máy cắt tác động khi khôi phục lại điện áp định mức

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Binns K.J, Barnard W. R., Jabbar M. A., 1978. *Hybrid Permanent-magnet Synchronous Motors*. Proc. Inst. Elect., England.

[2]. Akeshi Takahashi, Satoshi Kikuchi, Hiroyuki Mikami, Kazumasa Ide, Andreas Binder, 2012. *D-q Space Vector Analysis for Line-Starting Permanent Magnet Synchronous Motors*. International Conference on Electrical Machines, pp. 136-142.

[3]. A. D. Aliabad, M. Mirsalim, 2012. *Analytic modelling and dynamic analysis of pole-changing line-start permanent-magnet motors*. IET Electr. Power Applications, vol. 6, Iss. 3, pp. 149-155.

[4]. Kwang Hee Kim, Jian Li, Jin Hak Jang, Yun Hyun Cho, 2012. *A Study on Line-Start Permanent Magnet Machine with Improved Saliency Ratio*. International Conference on Electromagnetic Field Problems and Applications, pp. 1-4, Dalian, Liaoning.

[5]. By Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, 2012, *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill, Manhattan, New York City.

[6]. IEEE Standard 1159-1995. *Recommended Practice on Monitoring Electric Power*.

[7]. IEC TR 60071-4:2004. *Insulation co-ordination - Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks*.

[8]. V. B. Honsinger, 1980. *Permanent Magnet Machines: Asynchronous Operation*. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99, no. 4.

[9]. A. Nekoubin, 2011. *Design a Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor and Analysis Effect of the Rotor Structure on the Efficiency*. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol:5, No:9, pp. 1179-1183.

AUTHORS INFORMATION

**Le Anh Tuan¹, Bui Duc Hung², Ninh Van Nam¹,
Pham Van Tuan³, Pham Van Nam¹**

¹Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry

²School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology

³Faculty of Electrical Engineering, Vinh University of Technology Education