

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN KHẢ NĂNG KHỞI ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU KHỞI ĐỘNG TRỰC TIẾP 3 PHA, 2,2kW

TEMPERATURE EFFECT ON THE START UP CHARACTERISTICS OF LINE START PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS 3 PHASE 2.2kW

Lê Anh Tuấn*, Phạm Văn Cường,
Nguyễn Thị Minh Hiền, Vũ Thị Kim Nhi

TÓM TẮT

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp có hiệu suất cao đáp ứng các tiêu chuẩn đối với động cơ điện chắc chắn sẽ là giải pháp thế động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc trong tương lai. Nhưng khó khăn lớn nhất của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp vẫn là quá trình khởi động. Trong quá trình vận hành, đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp chịu ảnh hưởng của một số yếu tố như: Nhiệt độ, vật liệu chế tạo, loại tải,... Bài báo trình bày nghiên cứu và đánh giá khả năng khởi động của đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp 2,2kW tại dải nhiệt độ môi trường làm việc thông thường của động cơ. Từ kết quả thu được bài báo đề xuất một số giải pháp nâng cao chất lượng khởi động cho đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp trong thiết kế và vận hành.

Từ khóa: Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp, nam châm vĩnh cửu, động cơ đồng bộ, nhiệt độ.

ABSTRACT

Line start permanent magnet synchronous motors with high efficiency are one of alternative solutions to replace induction motors in the future. However, start-up capability of line start permanent magnet synchronous motors is still a key factor in design and operation of these motors. In operation, line start permanent magnet synchronous motors are influenced by some factors, such as temperature, material, kind of loads. In this paper, the start-up of a line start permanent magnet synchronous motor 2.2kW in various temperatures is in detail studied. Some recommendations for enhancing line start permanent magnet synchronous motors start-up characteristics in changing environmental temperature are proposed.

Keywords: Line-start permanent magnet synchronous motors, permanent magnet, synchronous motors, temperature.

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: leanhtuan0985@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/9/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 07/10/2019

Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2019

CHỮ VIẾT TẮT

LSPMSM	Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp
NCVC	Nam châm vĩnh cửu

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
V_{dsr}, V_{qs}	V	Điện áp dọc trục, ngang trục stato
L_{mdr}, L_{mq}	H	Điện cảm từ hóa dọc trục và ngang trục
L_{lsr}, L'_{lr}	H	Điện cảm tản dây quấn stato và rôto quy đổi
L_{dsr}, L_{qs}	H	Điện cảm đồng bộ dọc trục và ngang trục stato
L_{dr}, L_{qr}	H	Điện cảm đồng bộ dọc trục và ngang trục rôto

1. GIỚI THIỆU

Trong thời gian gần đây, LSPMSM được quan tâm nghiên cứu nhằm ứng dụng thay thế cho động cơ không đồng bộ do có ưu điểm lớn về hiệu suất trong vận hành. Một LSPMSM điển hình có cấu tạo stato giống động cơ không đồng bộ, rôto có lồng sóc, tuy nhiên rôto động cơ loại này có gắn thêm các thanh NCVC trên bề mặt hoặc gắn chìm trong lõi thép.

Tuy có ưu điểm về hiệu suất trong vận hành nhưng khả năng khởi động LSPMSM vẫn là nhược điểm lớn của động cơ. Giải quyết vấn đề khởi động LSPMSM được xem là then chốt trong việc quyết định sự phổ biến của dạng động cơ này.

Đối với LSPMSM, các thông số chính quyết định đến khả năng làm việc được xác định: Điện trở stato, rôto, điện cảm tản dây quấn stato, điện cảm tản rôto, điện cảm từ hóa dọc trục, ngang trục, cấu trúc rôto... [1, 3, 4]. Thông thường, trong các nghiên cứu giá trị điện trở của dây quấn được tính toán và quy đổi về giá trị nhiệt độ là 75°C [5]. Bên cạnh đó, các giá trị điện trở stato và rôto thường được xét là hằng số với giả thiết quá trình khởi động của động cơ là ngắn, không đủ thời gian gia nhiệt cho điện trở.

Tuy nhiên trong thực tế, động cơ không chỉ khởi động từ trạng thái nhiệt độ môi trường (khởi động lạnh) mà trong nhiều trường hợp bắt buộc khởi động trong tình trạng đã có sự phát nóng khi làm việc (ví dụ mất điện đột ngột trong thời gian ngắn hoặc dừng sản xuất tạm thời) [3].

Như vậy động cơ sẽ phải khởi động lại khi nhiệt độ dây quấn đã thay đổi (khởi động nóng). Để nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ, nhóm tác giả phân tích các đặc tính khởi động LSPMSM 2,2kW 4 cực, 3 pha, tốc độ 1.500 vòng/phút, rôto được cải tạo từ SCIM 3 pha, 2,2kW, kiểu 3K-112-S4, cách điện cấp F của Công ty Cổ phần chế tạo điện cơ Hà Nội tại một số nhiệt độ khác nhau. Từ kết quả thu được, bài báo sẽ phân tích và đề xuất một số giải pháp tăng cường mômen khởi động cho LSPMSM.

2. ĐIỆN TRỞ DÂY QUẤN, MÔ HÌNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH KHỞI ĐỘNG CỦA LSPMSM

2.1. Điện trở dây quấn

- Điện trở của dây dẫn được tính như sau [5]:

$$r = \rho \cdot \frac{l}{S} \tag{1}$$

Trong đó, l là chiều dài dây dẫn (m), ρ là điện trở suất (Ω.m²/m), S là tiết diện dây dẫn (m²).

- Điện trở suất ở một nhiệt độ bất kỳ được tính toán

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} [1 + \alpha(\theta - 20)] \tag{2}$$

Trong đó, ρ₂₀ là điện trở suất của dây dẫn ở 20°C (nhiệt độ phòng thí nghiệm), θ là nhiệt độ dây dẫn, α là hệ số nhiệt điện trở dây dẫn. Điện trở suất của đồng và nhôm ở các nhiệt độ được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Điện trở suất ρ, Ω.mm²/m-nguồn [5]

Vật liệu dây dẫn	Nhiệt độ tính toán: °C		
	20	75	115
Đồng	1/56	1/46	1/41
Nhôm đúc (rôto lồng sóc)	1/28	1/23	1/20,5

Từ công thức (1) cho thấy điện trở tỷ lệ thuận với điện trở suất, như vậy điện trở của dây dẫn phụ thuộc nhiệt độ.

2.2. Mô hình toán của LSPMSM

Để nghiên cứu và mô phỏng đặc tính khởi động, ta xét đến mô hình toán của LSPMSM. Mô hình toán LSPMSM do Honsinger [6] đề xuất có dạng như sau như sau:

Phương trình điện từ:

$$\begin{cases} V_{ds} = r_s \cdot i_{ds} + p(L_{ds} \cdot i_{ds} + L_{md} \cdot i_{dr}) - \omega_r \cdot (L_{qs} \cdot i_{qs} + L_{mq} \cdot i_{qr}) \\ V_{qs} = r_s \cdot i_{qs} + p(L_{qs} \cdot i_{qs} + L_{mq} \cdot i_{qr}) + \omega_r \cdot (L_{ds} \cdot i_{ds} + L_{md} \cdot i_{dr} + \psi'_m) \\ V_{dr} = r_r \cdot i_{dr} + p(L_{dr} \cdot i_{dr} + L_{md} \cdot i_{ds}) \\ V_{qr} = r_r \cdot i_{qr} + p(L_{qr} \cdot i_{qr} + L_{mq} \cdot i_{qs}) \end{cases} \tag{3}$$

Phương trình điện cơ:

$$\begin{cases} M_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{p}{2} \cdot [(L_{md} \cdot i_{dr} \cdot i_{ds} - L_{mq} \cdot i_{qr} \cdot i_{qs}) + \psi'_m \cdot i_{qs} + (L_{md} - L_{mq}) \cdot i_{ds} \cdot i_{qs}] \\ p \cdot \omega_r = \frac{P}{2J} (M_e - M_c - \omega_r \cdot *F) \end{cases} \tag{4}$$

Từ mô hình toán, bài báo ứng dụng phần mềm MATLAB/Simulink để mô phỏng các đặc tính của LSPMSM.

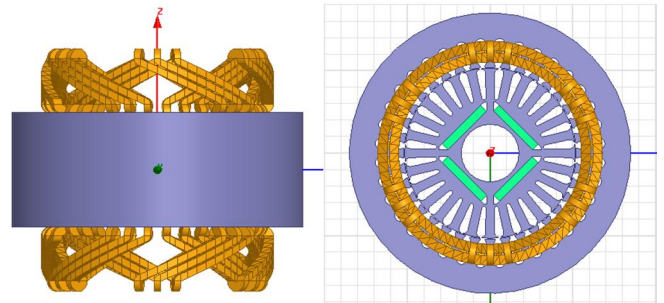
2.3. Mô phỏng đặc tính khởi động của LSPMSM

Để phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình khởi động, nghiên cứu sử dụng LSPMSM thí nghiệm mẫu

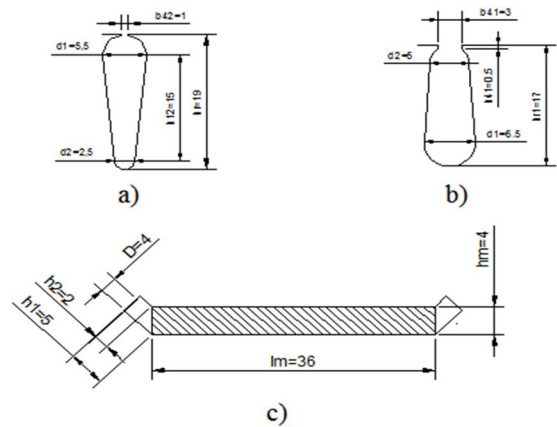
2,2kW. Động cơ mẫu có các kích thước cơ bản được thể hiện ở hình 1 và 2. Bên cạnh đó, trong nghiên cứu một số giả thiết đặt ra như sau:

- Không xét đến hiệu ứng mặt ngoài và bão hòa mạch từ tản.
- Phụ tải là tải hằng số trong quá trình khởi động.
- Trong phạm vi xét, nhiệt độ không ảnh hưởng đến đặc tính từ hóa của vật liệu NCVC.

Cấu tạo và các tham số tính toán LSPMSM 2,2kW thí nghiệm như trong bảng 2.



Hình 1. Cấu tạo của LSPMSM thí nghiệm

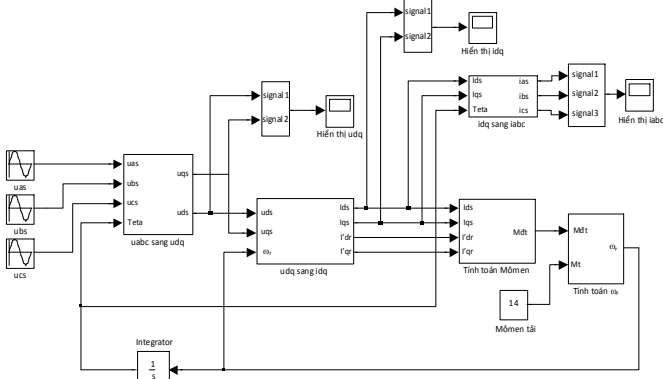


Hình 2. Các kích thước chủ yếu của LSPMSM
a) Rãnh stato b) Rãnh rôto, c) Kích thước NCVC

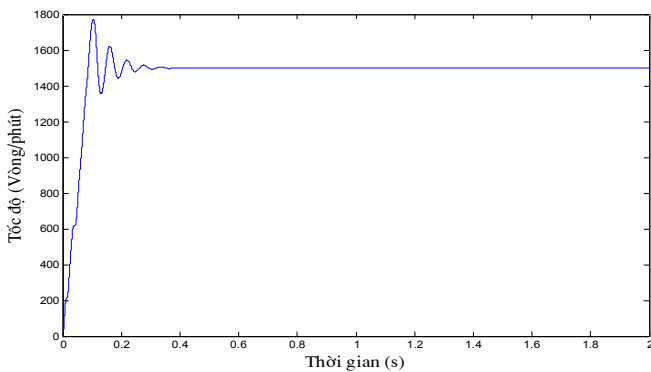
Bảng 2. Các thông số LSPMSM

Thông 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 cảm tản dây quấn stato	L _s	13	mH
Điện cảm tản rôto quy đổi	L _{lr}	13,2	mH
Điện cảm từ hóa dọc trục	L _{md}	28,4	mH
Điện cảm từ hóa ngang trục	L _{mq}	131	mH
Từ thông NCVC	ψ' _m	0,59	Wb
Mật độ từ dư NCVC	B _r	1,1	T
Mômen quán tính rôto	J _R	0,03	Kg.m ²
Mômen tải định mức	T _l	14	N.m

Từ mô hình toán, ứng dụng MATLAB/Simulink mô phỏng các đặc tính khởi động của LSPMSM (tốc độ, mômen, dòng,...) tại hình 3. Tuy nhiên, trong các đặc tính trên thì đặc tính tốc độ khởi động là quan trọng nhất. Với đặc tính này có thể đánh giá được khả năng khởi động của động cơ, vì thế lựa chọn đặc tính tốc độ để đánh giá trong khi mô phỏng LSPMSM. Với LSPMSM 2,2kW đặc tính tốc độ khởi động của LSPMSM được mô phỏng ở hình 4, trong đó các thông số của LSPMSM 2,2kW được tính toán và tổng hợp tại bảng 2, điện trở được tính toán ở nhiệt độ 75°C.



Hình 3. Mô hình LSPMSM được mô phỏng với MATLAB/Simulink



Hình 4. Đặc tính tốc độ khởi động mô phỏng của LSPMSM khi không tải

3. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ TỚI ĐẶC TÍNH KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ

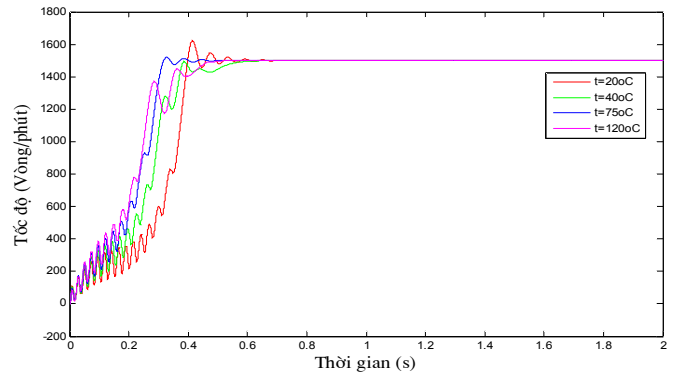
Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ, nghiên cứu khảo sát đặc tính khởi động của LSPMSM 2,2kW trong một dải nhiệt độ phù hợp với điều kiện vận hành thực tế. Dải nhiệt độ được khảo sát từ 20°C (nhiệt độ phòng thí nghiệm) đến 120°C (nhiệt độ môi trường trung bình làm việc động cơ cấp cách điện F-Nhiệt độ tối đa là 155°C). Khi nhiệt độ thay đổi, giá trị tính toán điện trở stato, rôto được xác định tại bảng 3.

Bảng 3. Giá trị điện trở stato, rôto theo nhiệt độ

Nhiệt độ (°C)	20	40	75	120
Điện trở stato (Ω)	2,96	3,18	3,6	4,11
Điện trở rôto (Ω)	1,73	1,87	2,11	2,41

Mô phỏng đặc tính khởi động của LSPMSM với thông số tính toán cho tại bảng 2 và các giá trị điện trở stato, rôto trong dải nhiệt độ khảo sát tại bảng 3. Đặc tính khởi động

LSPMSM sau khi mô phỏng ở dải nhiệt độ 20°C ÷ 120°C được thể hiện ở hình 5.

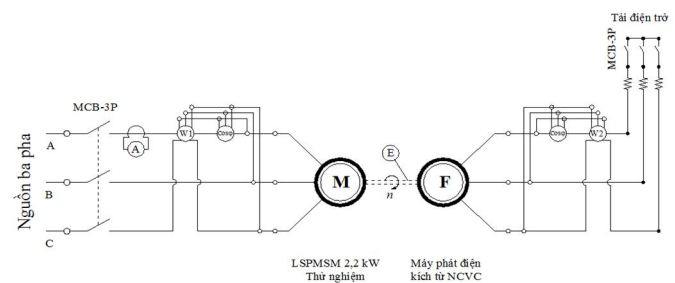


Hình 5. Đặc tính tốc độ khởi động của LSPMSM tại dải nhiệt độ 20°C ÷ 120°C

Từ kết quả mô phỏng đặc tính khởi động LSPMSM 2,2kW trong ở dải nhiệt độ 20°C ÷ 120°C có thể thấy nhiệt độ ảnh hưởng đáng kể đến quá trình khởi động. Nhiệt độ môi trường càng cao thì chất lượng khởi động của LSPMSM càng tốt. Việc cải thiện đặc tính khởi động chủ yếu do nhiệt độ môi trường làm việc tăng, điện trở rôto tăng tương ứng dẫn đến trong quá trình khởi động mômen kéo (mômen không đồng bộ) tăng, LSPMSM sẽ có mômen khởi động tốt hơn. Nhưng khi nhiệt độ tăng hơn 75°C thì mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ lên đặc tính khởi động rất nhỏ và không đáng kể.

4. MÔ HÌNH THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ LSPMSM

Để đánh giá thử nghiệm LSPMSM, nhóm nghiên cứu thực hiện chế tạo và lắp đặt mô hình LSPMSM 2,2kW được cải tạo từ động cơ không đồng bộ 3 pha 3K112-S4 của Công ty Cổ phần chế tạo điện cơ Hà Nội. Với mô hình trên, ngoài đánh giá đặc tính khởi động, mô hình còn cho phép đánh giá hiệu suất động cơ để chứng minh ưu điểm của LSPMSM so với động cơ không đồng bộ. Cấu hình được dùng thử nghiệm LSPMSM như hình 6.



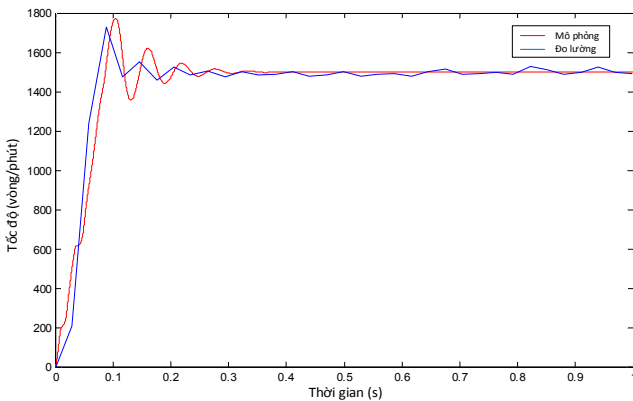
Hình 6. Cấu hình thử nghiệm LSPMSM

Hệ thống thực nghiệm bao gồm một LSPMSM thử nghiệm, động cơ được nối trực với máy phát điện xoay chiều ba pha kích từ NCVC. Máy phát điện được nối với tải trở (bóng đèn sợi đốt) cho phép điều chỉnh mức độ tải đặt vào hệ thống. Nhóm nghiên cứu tiến hành thực hiện một số thực nghiệm:

* Đặc tính khởi động khi không tải:

Đặc tính nhiệt độ không tải ứng với nhiệt độ phòng thí nghiệm được so sánh với kết quả mô phỏng từ mô hình

toán của LSPMSM. Đặc tính khởi động (tốc độ khởi động) của LSPMSM thực nghiệm được đo lường thông qua một Encoder. Encoder được kết nối với trục của hệ động cơ-máy phát. Kết quả thực nghiệm như hình 7.



Hình 7. Đặc tính tốc độ khởi động LSPMSM

Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy sự tương đồng của đặc tính tốc độ khởi động. Như vậy, kết quả mô phỏng từ mô hình toán của LSPMSM là phù hợp với thực tế.

*** Hiệu suất LSPMSM**

Công suất tác dụng đầu ra của LSPMSM (công suất đầu trục) được tính toán thông qua công suất của máy phát kích từ NCVC với các tải khác nhau. Công suất tiêu thụ đầu vào LSPMSM được đo trực tiếp thông qua Oát kế W_1 . Công suất tác dụng đầu ra LSPMSM được đo gián tiếp thông qua Oát kế W_2 . Hiệu suất LSPMSM được tính toán thông qua tỷ lệ giá trị công suất đầu ra và công suất đầu vào. Do máy phát điện kích từ NCVC có hiệu suất cao và công suất tổn hao nối trục (động cơ-máy phát) nhỏ nên kết quả tính toán hiệu suất LSPMSM từ cấu hình thử nghiệm là chấp nhận được. Mô hình triển khai đo lường thực tế như hình 8.



Hình 8. Mô hình thử nghiệm LSPMSM

Hiệu suất LSPMSM 2,2kW thực nghiệm và hiệu suất động cơ không đồng bộ 2,2kW 3K112-S4 của Công ty Cổ phần chế tạo điện cơ Hà Nội được cho ở bảng 4.

Kết quả thực nghiệm LSPMSM trên cho thấy ưu điểm vượt trội về mặt hiệu suất cũng như hệ số công suất (gần bằng 1) của LSPMSM so với động cơ không đồng bộ. Ưu điểm này có được do khi vận hành ổn định với tốc độ đồng

bộ, LSPMSM không còn tổn hao do điện trở roto gây ra. Bên cạnh đó, LSPMSM thực nghiệm vẫn đảm bảo khả năng khởi động với tải định mức.

Bảng 4. Hiệu suất và hệ số công suất của LSPMSM thực nghiệm

Động cơ	Tải định mức (2,2kW)	Hiệu suất	Hệ số công suất (cosφ)
LSPMSM	Khởi động được	93%	0,95
SCIM 3K112-S4	Khởi động được	80%	0,83

5. KẾT LUẬN

Qua mô phỏng các đặc tính khởi động LSPMSM 2,2kW ở dải nhiệt độ 20°C ÷ 120°C, có thể rút ra kết luận sau:

- Nhiệt độ ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính khởi động của LSPMSM. Nhiệt độ càng cao đặc tính khởi động LSPMSM càng tốt.
- Khi thiết kế, cần tính toán để LSPMSM có thể khởi động tốt ở nhiệt độ môi trường mà động cơ vận hành.
- Đối với LSPMSM khởi động khó khăn, vì thế khi vận hành người sử dụng cũng cần chú ý đến nhiệt độ để đảm bảo khả năng khởi động của LSPMSM. Khi nhiệt độ môi trường làm việc của LSPMSM thấp (thấp hơn nhiệt độ khuyến cáo từ nhà sản xuất), người sử dụng cần có những biện pháp gia nhiệt động cơ trước khi khởi động.
- LSPMSM là động cơ ưu điểm về hiệu suất, hệ số công suất khi so sánh với động cơ không đồng bộ, bên cạnh đó nó vẫn giữ được khả năng khởi động trực tiếp từ lưới cho nên động cơ này sẽ thay thế từng phần cho động cơ không đồng bộ trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. H. Isfahani, S. V. Zadeh, 2009. *Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors: Challenges and Opportunities*. ScienceDirect, Energy, Vol. 34, Iss. 11, November 2009, pp. 1755-1763.

[2]. Bùi Đức Hùng, 1998. *Nghiên cứu quá trình khởi động động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

[3]. D. Stoia., O. Chirilă, M. Cernat, K. Hameyer, D. Ban, 2010. *The Behavior of The LSPMSM in Asynchronous Operation*. Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), pp. T4-45 - T4-50.

[4]. M. A. Rahman, A. M. Oisheiba, T. S. Radwan, 1997. *Synchronization Process of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors*. Electric Machines and Power Systems, Taylor & Francis.

[5]. Trần Khánh Hà, Nguyễn Hồng Thanh, 2002. *Thiết kế máy điện*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.

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

AUTHORS INFORMATION

Le Anh Tuan, Pham Van Cuong, Nguyen Thi Minh Hien, Vu Thi Kim Nhi
Faculty of Electrical Engineering Technology, Hanoi University of Industry