

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG CẢI TẠO ĐỘNG CƠ QUẠT CỤC BỘ YBT-52-2 THÀNH ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU KHỞI ĐỘNG TRỰC TIẾP

Trần Hữu Phúc^{1,*}, Trần Thanh Tuyền², Trần Hữu Phan³

¹Trường Đại học Công nghệ Đông Á

²Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

³Công ty TNHH MTV Phan Quang Quảng Ninh

*Email: tranhuuphuc.qui@gmail.com

TÓM TẮT

Trong công nghiệp khai thác mỏ than hầm lò có rất nhiều phụ tải điện sử dụng động cơ điện dị bộ rotor lồng sóc làm động cơ lai như quạt cục bộ, bơm nước, băng tải,... Các động cơ loại này thường được nhập từ các nước Nga, Trung quốc, Ba Lan,... và hiện nay được chế tạo ở trong nước. Các động cơ này được chế tạo theo Tiêu chuẩn và có hiệu suất nằm trong dãy IE1, tức là có hiệu suất cỡ 70% trở lên. Do đó, nhu cầu sản xuất loại động cơ thay thế khác có hiệu suất cao hơn càng trở nên cấp bách.

Trên thế giới, người ta đã ứng dụng vật liệu mật độ từ cảm cao và nam châm vĩnh cửu (NCVC) để chế tạo động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp (LSPMSM) từ lưới tiết kiệm điện và hiệu suất cao nằm trong dãy hiệu suất IE2 và IE3 với dải công suất từ vài W đến hàng trăm kW. Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả đưa ra kết quả đánh giá so sánh giữa 2 động cơ LSPMSM và KĐB 11kW quạt cục bộ YBT-52-2 có cùng thông số thiết kế từ đó đưa ra cái nhìn khách quan cho người đọc.

Từ khóa: Động cơ không đồng bộ, động cơ, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp, phần mềm Ansys Maxwell, quạt thông gió phòng nổ.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay đã có nhiều văn bản quy định về tiết kiệm năng lượng điện cho động cơ điện được đưa ra ở Việt Nam. Các chỉ tiêu chủ yếu liên quan đến cấp hiệu suất của động cơ điện có công suất ra tối đa xấp xỉ 200 kW bởi vì các động cơ thuộc cỡ này được lắp đặt với số lượng lớn và hầu hết các bộ phận của động cơ được sản xuất hàng loạt. TCVN 6627-30 (IEC 60034-30) [1] đã định nghĩa cấp hiệu suất IE đối với động cơ điện roto lồng sóc một tốc độ và quy định qui trình thử nghiệm: IE1: Hiệu suất tiêu chuẩn; IE2: Hiệu suất cao; IE3: Hiệu suất đặc biệt cao; IE4: Hiệu suất siêu cao.

Thông gió mỏ đóng một vai trò quan trọng trong khai thác hầm lò, đặc biệt là những mỏ khai thác ở những độ sâu lớn. Hiện nay các quạt thông gió sử dụng trong các mỏ than hầm lò thường được nhập khẩu từ các nước: Trung Quốc, LB Nga, Ba Lan... hoặc chế tạo nguyên mẫu theo công nghệ và giải pháp cũ nên hiệu

suất làm việc thấp, các quạt thông thường làm việc với hiệu suất đạt IE (là tiêu chuẩn hiệu suất về sự chuyển hóa năng lượng từ điện năng sang cơ năng cho động cơ không đồng bộ ba pha điện áp thấp trong dải công suất từ 0,75kW đến 375kW) hoặc cao nữa cũng chỉ đạt mức tiêu chuẩn IE1. Việc nghiên cứu sử dụng quạt thông gió mỏ tiết kiệm năng lượng có hiệu suất cao đạt mức tiêu chuẩn IE2 (tiêu chuẩn tiết kiệm điện năng và bảo vệ môi trường đã được xử lý ở công nghệ cao cấp) trong nước hướng đến mục tiêu giảm tiêu hao năng lượng điện làm chủ công nghệ, nâng cao năng suất và giảm chi phí đầu tư, chi phí vận hành là hết sức cần thiết và cấp bách.

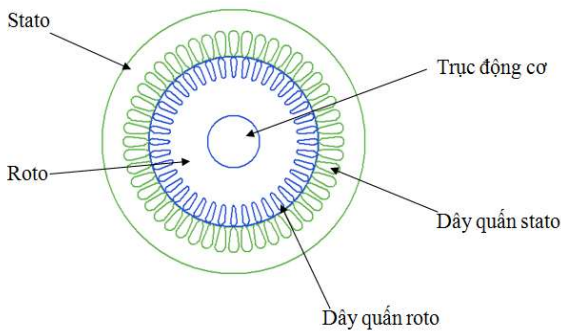
Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả tính toán thông số cụ thể động cơ KĐB 11kW của quạt cục bộ YBT-52-2 với các thông số phù hợp với tiêu chuẩn [2], sau đó nghiên cứu các thông số khởi động, tổn hao thông qua mô phỏng các đặc tính khởi động, tổn hao bằng phần mềm Ansys

Maxwell dùng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Từ đó đánh giá khả năng ứng dụng của động cơ LSPMSM đối với quạt gió trong các mô hình.

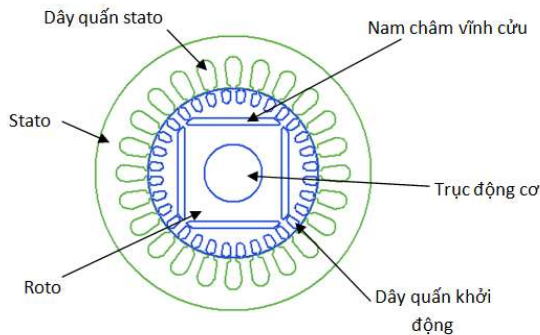
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Cấu trúc động cơ không đồng bộ và đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp.

Cấu trúc của động cơ KĐB 3 pha được biểu diễn trên hình 1. Cấu trúc của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp được biểu diễn trên hình 2.



Hình 1. Cấu trúc của động cơ không đồng bộ 3 pha 4 cực



Hình 2. Cấu trúc của động cơ LSPMSM 3 pha 4 cực

Động cơ LSPMSM có cấu tạo stator giống động cơ KĐB, rotor có dạng lồng sóc, tuy nhiên rotor động cơ được gắn thêm các thanh NCVC trên bề mặt hoặc gắn chìm trong lõi thép.

2.2. Mô hình toán của động cơ

2.2.1. Động cơ không đồng bộ

Mô hình tính toán động cơ điện KĐB được mô tả chi tiết trong các tài liệu [4].[6].[7]. Qua đây nhóm tác giả có thể tổng hợp các phương trình lý thuyết cơ bản như sau:

Phương trình điện áp stato:

Hệ phương trình tính toán dòng điện trên rotor và stato:

$$\frac{di_{qs}}{dt} = \frac{1}{L_s} \left(v_{ds} - i_{qs}r_s - L_m \frac{di_{qr}}{dt} - \omega L_s i_{ds} - \omega L_m i_{dr} \right) \quad (1)$$

$$\frac{di_{ds}}{dt} = \frac{1}{L_s} \left(v_{qs} - i_{ds}r_s - L_m \frac{di_{dr}}{dt} + \omega L_s i_{qs} + \omega L_m i_{qr} \right) \quad (2)$$

$$\frac{di_{qr}}{dt} = \frac{1}{L_r} \left(v_{qr} - i_{qr}r_r - L_m \frac{di_{qs}}{dt} - \omega L_r i_{dr} - \omega L_m i_{ds} \right) \quad (3)$$

$$\frac{di_{dr}}{dt} = \frac{1}{L_r} \left(v_{qr} - i_{dr}r_r - L_m \frac{di_{ds}}{dt} + \omega L_r i_{qr} + \omega L_m i_{qs} \right) \quad (4)$$

Trong đó: ω_r , ω tương ứng là tốc độ góc rotor và tốc độ từ trường stato. Ψ'_m , Ψ'_{dr} , Ψ'_{qr} tương ứng là từ thông móc vòng stato do NCVC sinh ra, từ thông móc vòng rotor quy đổi dọc trục và ngang trục. Ψ_{ds} , Ψ_{qs} tương ứng là từ thông móc vòng stato dọc trục và ngang trục. L_s , L_{md} , L_{mq} lần lượt là điện cảm tản dây quấn stato, điện cảm từ hóa đồng bộ dọc trục và ngang trục. L'_r là điện cảm tản rotor quy đổi. i_{ds} , i_{qs} là thành phần dòng điện stato dọc trục và ngang trục. i'_{dr} , i'_{qr} là thành phần dòng điện rotor quy đổi dọc trục và ngang trục. r_s , r_r là tương ứng điện trở của dây quấn stato và rotor.

Phương trình xác định mô men điện từ của động cơ KĐB:

$$M_{dt} = \frac{p}{2} L_m (i_{qs}i_{dr} - i_{ds}i_{qr}) \quad (5)$$

trong đó: p là số đôi cực của rotor.

Phương trình cân bằng mô men của động cơ:

$$M_{dt} = M_c + J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (6)$$

trong đó: M_c là mô men cản, J là quán tính của rotor. ω_r tốc độ góc của rotor.

Từ (6) ta có thể tính được tốc độ góc cơ ω_r của rotor:

$$\omega_r = \int \left(\frac{M_{dt} - M_c}{J} \right) dt \quad (7)$$

2.2.2. Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp

Hiện nay trên thế giới có nhiều nhà nghiên

cứu không chỉ nghiên cứu tổng quát động cơ đồng bộ và KĐB [6], mà còn đi sâu xây dựng những mô hình cụ thể về động cơ LSPMSM [3].[4].[5]. Thông qua đó nhóm tác giả tổng hợp lại mô hình toán dưới đây:

Đầu tiên phương trình điện áp stato và roto của động cơ LSPMSM tương tự như phương trình của stato và roto của động cơ không đồng bộ. Điều này có thể thấy được do cấu tạo phần stato và roto của động cơ LSPMSM với động cơ KĐB tương đối giống nhau (hình 1,2)

Phương trình từ thông của stato và roto:

$$\Psi_{ds} = (L_{ds} + L_{md})i_{ds} + L_{md}i'_{dr} + \Psi'_m \quad (8)$$

$$\Psi_{qs} = (L_{qs} + L_{mq})i_{qs} + L_{mq}i'_{qr} \quad (9)$$

$$\Psi'_{dr} = (L'_{dr} + L_{md})i'_{dr} + L_{md}i_{ds} + \Psi'_m \quad (10)$$

$$\Psi'_{qr} = (L'_{qr} + L_{mq})i'_{qr} + L_{mq}i_{qs} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} M_{dt} &= \frac{3P}{2} \left(((L_{ds} + L_{md})i_{ds} + L_{md}i'_{dr} + \Psi'_m)i_{qs} - ((L_{qs} + L_{mq})i_{qs} + L_{mq}i'_{qr})i_{ds} \right) \\ \Leftrightarrow M_{dt} &= \frac{3P}{2} \left((L_{ds} + L_{md})i_{ds}i_{qs} + L_{md}i'_{dr}i_{qs} + \Psi'_m i_{qs} - (L_{qs} + L_{mq})i_{qs}i_{ds} - L_{mq}i'_{qr}i_{ds} \right) \\ \Leftrightarrow M_{dt} &= \frac{3P}{2} \left((L_{ds} + L_{md} - L_{qs} - L_{mq})i_{ds}i_{qs} + \Psi'_m i_{qs} + L_{md}i'_{dr}i_{qs} - L_{mq}i'_{qr}i_{ds} \right) \end{aligned}$$

với $L_d = L_{ds} + L_{md}$: Điện cảm dây quấn stato dọc trục. $L_q = L_{qs} + L_{mq}$: Điện cảm dây quấn stato ngang trục. Ta có phương trình:

$$M_{dt} = \frac{3P}{2} \left((L_d - L_q)i_{ds}i_{qs} + \Psi'_m i_{qs} + (L_{md}i'_{dr}i_{qs} - L_{mq}i'_{qr}i_{ds}) \right) \quad (13)$$

hay:

$$M_{dt} = \frac{3P}{2} (M_{kdb} + M_{kt} + M_{ttr}) \quad (14)$$

Như vậy mô men của động cơ LSPMSM bao gồm 3 thành phần:

- M_{kdb} : Thành phần mô men KĐB;
- M_{kt} : Thành phần mô men kích từ;
- M_{ttr} : Thành phần mô men từ trở;

Từ phương trình (13) ta có thể thấy mô men điện từ LSPMSM phức tạp hơn nhiều so với động cơ KĐB và động cơ đồng bộ NCVC.

Trong đó: w_r , w tương ứng là tốc độ góc roto và tốc độ từ trường stato. Ψ'_m , Ψ'_{dr} , Ψ'_{qr} tương ứng là từ thông móc vòng stato do NCVC sinh ra, từ thông móc vòng roto quy đổi dọc trục và ngang trục. Ψ_{ds} , Ψ_{qs} tương ứng là từ thông móc vòng stato dọc trục và ngang trục. L_s , L_{md} , L_{mq} lần lượt là điện cảm tản dây quấn stato, điện cảm từ hóa đồng bộ dọc trục và ngang trục. L'_r là điện cảm tản roto quy đổi. i_{ds} , i_{qs} là thành phần dòng điện stato dọc trục và ngang trục. i'_{dr} , i'_{qr} là thành phần dòng điện roto quy đổi dọc trục và ngang trục. r_s , r_r là tương ứng điện trở của dây quấn stato và roto.

Phương trình mô men điện từ của động cơ LSPMSM được xác định như sau:

$$M_{dt} = \frac{3P}{2} (\Psi_{ds}i_{qs} - \Psi_{qs}i_{ds}) \quad (12)$$

Thay (8), (9) vào (12) ta có:

Thực tế các thành phần M_{kt} và M_{ttr} là thành phần tương ứng động cơ đồng bộ NCVC còn thành phần M_{kdb} tương ứng động cơ KĐB và thành phần M_{kdb} cũng đóng vai trò quyết định đến khả năng khởi động của động cơ LSPMSM.

Về phương trình tính toán mô men điện từ và tốc độ đầu ra của động cơ LSPMSM thì cũng tương tự như của động cơ KĐB đã mô tả phần trên.

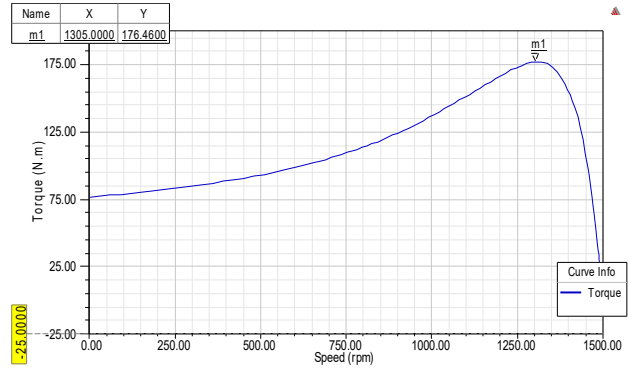
3. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

Phần mềm Ansys Maxwell [7] là phần mềm ứng dụng phương pháp FEM để mô phỏng và mô hình hóa rất mạnh mẽ giúp tác giả mô phỏng và hiệu chỉnh các thông số đã tính toán. Trong phần mô phỏng, nhóm tác giả đã tính toán ra thông số của động cơ KĐB 11kW 4 cực, điện áp định mức 380V/660V và tần số 50Hz đấu sao lai cho quạt cục bộ YBT-52-2 với động cơ LSPMSM có thông số stato và roto tương ứng dựa trên tính toán từ động cơ KĐB và được tính toán và lắp thêm 2 cặp nam châm vĩnh cửu.

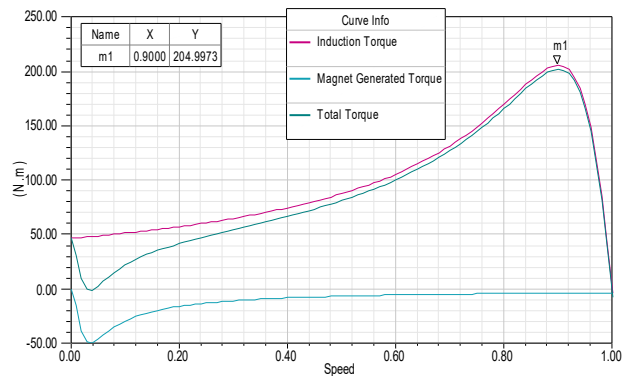
Bảng 3.1. Kết quả tính toán thông số cơ bản của động cơ KĐB

TT	Thông số	Giá trị mô phỏng		Giá trị theo tiêu chuẩn ISO 9001 : 2000 [2]
		ĐC KĐB	ĐC LSPMSM	
1	Hiệu suất động cơ, (%)	92,2185	97,9378	87,5
2	Hệ số công suất	0,868056	0,990198	0,87
3	Mô men định mức, (Nm)	71,4775	70,0369	-
4	Tốc độ định mức, (vòng/phút)	1469,44	1500	1475
5	Dòng điện định mức, (A)	19,5984	16,5093	22
6	Dòng điện khởi động, (A)	73,0195	-	152
7	Hệ số trượt định mức	0,0203735	-	0,016
8	Mô men cực đại, (Nm)	176,46	204,9973	-
9	Hệ số mô men cực đại	2,46975	2,92699	7
10	Mô men khởi động, (Nm)	-	46,4057	-

- Đặc tính cơ của động cơ ở tải định mức:

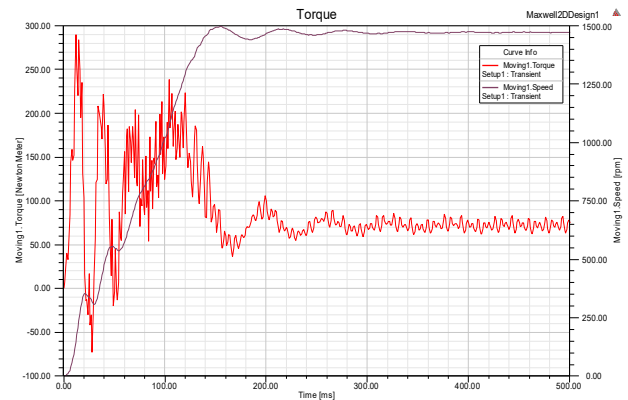


Hình 3a. Đặc tính cơ động cơ KĐB

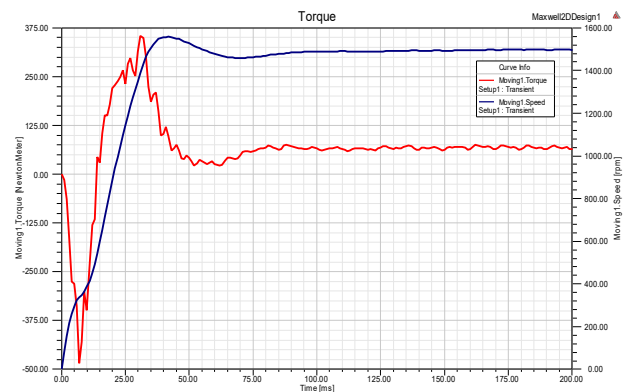


Hình 3b. Đặc tính cơ động cơ LSPMSM

- Tốc độ và mô men theo thời gian khởi động:

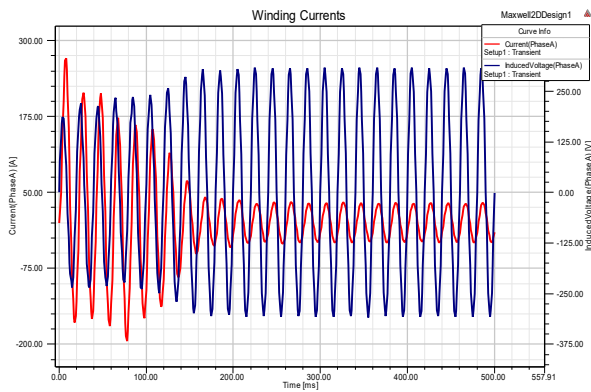


Hình 4a. Động cơ KĐB

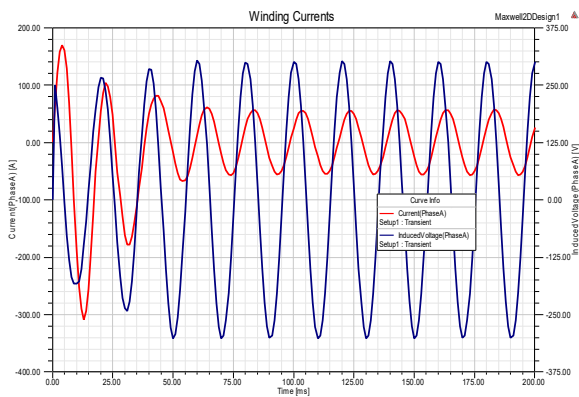


Hình 4b. Động cơ LSPMSM

- Dòng điện dây quấn stato của động cơ:

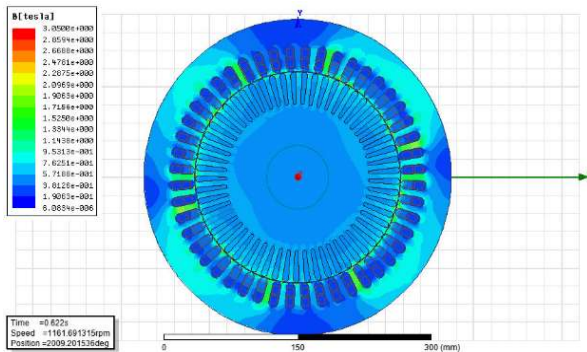


Hình 5a. Động cơ KĐB

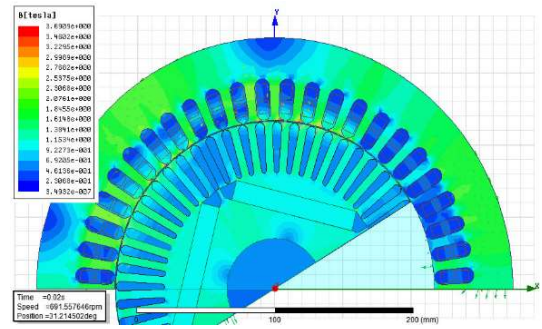


Hình 5b. Động cơ LSPMSM

- Phân bố từ trường quay của động cơ ở chế độ định mức



Hình 6a. Động cơ KĐB



Hình 6b. Động cơ LSPMSM

4. KẾT LUẬN

Qua kết quả mô phỏng chúng ta có thể rút ra được các kết luận sau:

- Động cơ LSPMSM có hiệu suất lớn hơn so với động cơ KĐB có công suất tương ứng ($97,1378 > 92,2185$).
- Động cơ LSPMSM có hệ số công suất lớn hơn so với động cơ KĐB có công suất tương ứng ($0,990198 > 0,868056$).
- Tốc độ động cơ ổn định với giá trị 1500 vg/phút so với 1469,44 vg/phút của động cơ KĐB
- Giá trị dòng điện định mức và bội số momen cực đại của động cơ LSPMSM nhỏ thua động cơ KĐB.

Với những ưu điểm và đặc điểm trên chúng ta có thể sử dụng động cơ LSPMSM để thay thế cho các động cơ KĐB hiện nay đang sử dụng với các tải có bội số momen mở máy không cần lớn như quạt gió, băng tải trong mỏ sẽ mang lại hiệu quả về tiết kiệm điện năng lớn.

Phương án cải tạo động cơ không đồng bộ roto lồng sóc trở thành động cơ LSPMSM được thực hiện bằng cách cài thêm 04 thanh nam châm vĩnh cửu vào trong roto lồng sóc sao cho đảm bảo cân bằng động và sự phân bố từ trường cần thiết trong lõi thép của roto.

Việc tính toán thiết kế, cải tạo động cơ KĐB thành động cơ LSPMSM có cùng công suất sẽ được tác giả cũng như các nhóm nghiên cứu khác tiếp tục thực hiện tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tiêu chuẩn quốc gia (2011), “Tiêu chuẩn TCVN 6627-30:2011 (IEC 60034-30:2008)”, Bộ Khoa học và Công nghệ.
2. Hệ thống quản lý chất lượng ISO 9001 : 2000, “Động cơ điện KĐB ba pha roto lồng sóc – 50Hz”

3. Khalid I Baradie, Zakariya Al-Hamouz (2018), "Modelling and Simulation of Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors with Broken Bars", J Electr Electron Syst 2018, 7:2 DOI: 10.4172/2332-0796.1000259.
4. Ibrahim Hussein, Zakariya Al-Hamouz, M. A. Abido, Abdulaziz Milhem (2017), "On the Mathematical Modeling of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors under Static Eccentricity", Energies 2018, 11, 197. <https://doi.org/10.3390/en11010197>.
5. Phạm Văn Bình (2011), "Máy điện tổng quát", Nhà xuất bản giáo dục Việt Nam.
6. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh (2001), "Các phương pháp hiện đại trong nghiên cứu tính toán thiết kế kỹ thuật điện", Nhà xuất bản KHKT.
7. T.A. Stolarski, Y. Nakasone, (2006), "Engineering Analysis with ANSYS Software", Elsevier.

Thông tin của tác giả:**TS. Trần Hữu Phúc**

Trưởng Bộ môn Điện - Điện tử, Trường Đại học Công nghệ Đồng Á
Điện thoại: +(84).968.801.620 - Email: tranhuuphuc.qui@gmail.com

ThS. Trần Thanh Tuyền

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Điện thoại: +(84).977.386.134 - Email: tuyenttbk48@gmail.com

KS. Trần Hữu Phan

Công ty TNHH MTV Phan Quang Quảng Ninh
Điện thoại: +(84).356.617.886 - Email: tran.huuphan95@gmail.com

STUDY ON THE POSSIBILITY OF CONVERTING THE YBT-52-2 LOCAL FAN MOTOR INTO A DIRECT-START PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

Information about authors:

Tran Huu Phuc, Ph.D., Head of Department of Electrical and Electronics Engineering, Dong A University of Technology. Email: tranhuuphuc.qui@gmail.com

Tran Thanh Tuyen, M.Eng, Department of Electrical, Quang Ninh University of Industry. PhD Student at Central South University, Changsha, Hunan 410083, China

Tran Huu Phan, Engineer, Phan Quang Quang Ninh One Member Co., Ltd.

ABSTRACT

In the underground coal mining industry, there are many electrical loads that use squirrel cage rotor synchronous electric motors as hybrid motors such as local fans, water pumps, conveyors, etc. These motors are usually imported from Russia, China, Poland ... and currently manufactured in the country. These motors are built to the Standard and have an efficiency within the IE1 range, i.e. an efficiency of about 70% or more. Therefore, the need to produce an alternative type of engine with higher efficiency becomes more and more urgent.

In the world, people have applied high inductance and permanent magnet density materials (NCVC) to make direct-start permanent-magnet synchronous motors (LSPMSM) from the grid to save electricity and high efficiency. high in the IE2 and IE3 efficiency ranges with power ranges from a few W to hundreds of kW. In the content of the article, the authors present comparative evaluation results

between 2 motors LSPMSM and KDB 11kW local fan YBT-52-2 with the same design parameters, thereby giving an objective view to readers.

Keywords: Asynchronous motors, Line - Start Permanent Magnet Synchronous Motor, Ansys maxwell, Explosion proof ventilation fan, LSPMSM.

REFERENCES

1. National Standard (2011), "Standard TCVN 6627-30:2011 (IEC 60034-30:2008)", Ministry of Science and Technology. Quality management system ISO 9001: 2000, "Electricity motor three-phase squirrel cage rotor – 50Hz"
3. Khalid I Baradie, Zakariya Al-Hamouz (2018), "Modelling and Simulation of Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors with Broken Bars", J Electr Electron Syst 2018, 7:2 DOI: 10.4172/2332-0796.1000259.
4. Ibrahim Hussein, Zakariya Al-Hamouz, M. A. Abido, Abdulaziz Milhem (2017), "On the Mathematical Modeling of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors under Static Eccentricity", Energies 2018, 11, 197. <https://doi.org/10.3390/en11010197>.
5. Pham Van Binh (2011), "General Electrical Machines", Vietnam Education Publishing House.
6. Dang Van Dao, Le Van Doanh (2001), "Modern methods in the study of electrical engineering design calculations", Science and Technology Publishing House.
7. T.A. Stolarski, Y. Nakasone, (2006), "Engineering Analysis with ANSYS Software", Elsevier.

Ngày nhận bài: 30/5/2023;

Ngày gửi phản biện: 04/6/2023;

Ngày nhận phản biện: 30/6/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 28/6/2023.