

# ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU KHỞI ĐỘNG TRỰC TIẾP: HƯỚNG ĐI MỚI NÂNG CAO HỆ SỐ CÔNG SUẤT VÀ TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TRONG CÔNG NGHIỆP KHAI THÁC KHOÁNG SẢN

*ThS. Vũ Hữu Quảng, ThS. Phạm Anh Mai – Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh  
ThS. Trần Thanh Tuyền, ThS. Đỗ Văn Vang –  
School of Automation, Central South University, Changsha 410083, China*

**Tóm tắt:** Trên thế giới, các động cơ ứng dụng vật liệu mật độ từ cảm cao và nam châm vĩnh cửu (NCVC) 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 đã được nghiên cứu chế tạo thành công với rất nhiều sản phẩm với dải công suất từ vài W đến hàng trăm kW, nhằm giảm tổn hao sắt từ, giảm trọng lượng, nâng cao hiệu suất, hệ số công suất và chất lượng điều khiển trong hệ thống truyền động điện. Do đặc thù công nghệ khai thác than trong mỏ hầm lò, các động cơ không đồng bộ (KĐB) với tải bơm, băng tải và quạt gió luôn phải làm việc trong những điều kiện liên tục và nặng nhọc so với điều kiện làm việc của thiết bị ở các môi trường khác. Việc ứng dụng động cơ LSPMSM trong công nghiệp khai thác khoáng sản giúp các công ty khai thác nâng cao được hệ số công suất, đồng thời tiết kiệm được năng lượng trong quá trình sản xuất, từ đó tiết kiệm được chi phí đầu vào. Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả đưa ra các nghiên cứu và ứng dụng của động cơ LSPMSM trong sản xuất ở Trung Quốc và kết quả mô phỏng một động cơ LSPMSM tương ứng về thông số.

**Từ khóa:** Công nghiệp Than - Khoáng sản; động cơ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp; hệ số công suất; tiết kiệm năng lượng.

## 1 Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, đã có nhiều văn bản quy định về tiết kiệm năng lượng điện cho động cơ điện được hình thành ở Việt Nam. Các chỉ tiêu chủ yếu liên quan đến cấp hiệu suất của động cơ điện có công suất ra tối đa đến xấp xỉ 200 kW, vì các động cơ loại này được lắp đặt với số lượng lớn và hầu hết các bộ phận của chúng được sản xuất hàng loạt. Tiêu chuẩn 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 quy trình thử nghiệm:

- IE1: Hiệu suất tiêu chuẩn;
- IE2: Hiệu suất cao;
- IE3: Hiệu suất đặc biệt cao;
- IE4: Hiệu suất siêu cao.

Đối với các động cơ cấp điện qua bộ biến tần sẽ được đưa vào tiêu chuẩn IEC 60034-2-3. Các động cơ điện do Việt Nam sản xuất thường chỉ đạt hiệu suất cấp IE1 do cạnh tranh với các động

ơ điện của Trung Quốc cũng hiệu suất IE1 nhưng giá rất rẻ. Để sản xuất động cơ giá thành rẻ thì phải giảm bớt chất lượng vật liệu, nguyên công sản xuất để giảm giá thành. Do đó, những động cơ KĐB ba pha này thường có hiệu suất và hệ số công suất ở mức tối thiểu [2].

Từ năm 2017, Thủ tướng Chính phủ đã ban hành “Đề án đổi mới hiện đại hóa công nghệ ngành công nghiệp khai khoáng” theo Quyết định 259/QĐ-TTg ngày 22/7/2017 [3]. Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam đã có những hành động cụ thể, chỉ đạo các đơn vị phải coi “Tiết kiệm năng lượng” là vấn đề cấp bách và nhiệm vụ quan trọng hàng đầu. Các đơn vị sản xuất trong Tập đoàn đã triển khai hàng loạt các giải pháp tổ chức cũng như đầu tư các thiết bị tiết kiệm năng lượng. Hiện nay, các quạt thông gió sử dụng trong các mỏ than hầm lò thường được nhập khẩu từ các nước: Trung Quốc, Liên bang Nga, Ba Lan... hoặc chế tạo nguyên mẫu theo

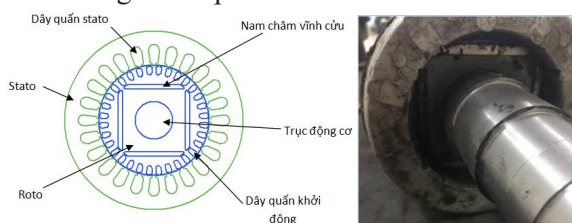
công nghệ và giải pháp cũ nên hiệu suất làm việc thấp, các quạt thông thường làm việc với hiệu suất đạt IE (tiêu chuẩn hiệu suất về sự chuyển hóa năng lượng từ điện năng sang cơ năng cho động cơ KĐB ba pha điện áp thấp trong dải công suất từ 0,75 đến 375 kW) hoặc cao nữa cũng chỉ đạt mức tiêu chuẩn IE1. Việc nghiên cứu sử dụng động cơ điện 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 các tiêu chuẩn quốc gia thì thông số kỹ thuật động cơ xoay chiều ba pha không nêu rõ động cơ đồng bộ NCVC hay động cơ KĐB. Tiêu chuẩn hiệu suất IEC/EN 60034-30-1 [1] chỉ quy định là động cơ khởi động trực tiếp từ nguồn điện xoay chiều ba pha không dùng biến tần, khởi động mềm hay các thiết bị điện tử công suất. Do vậy, việc nghiên cứu xây dựng các chỉ tiêu hiệu suất động cơ đồng bộ NCVC hoàn toàn có thể sử dụng các tiêu chuẩn áp dụng cho động cơ KĐB thông thường.

## 2 Cơ sở lý thuyết

### 2.1 Cấu trúc của động cơ LSPMSM

Động cơ LSPMSM là dạng động cơ lai giữa động cơ KĐB và động cơ đồng bộ NCVC chìm (IPM), có cấu tạo stator giống động cơ KĐB, rotor dạng lồng sóc, tuy nhiên rotor được gắn thêm các thanh NCVC trên bề mặt hoặc gắn chìm trong lõi thép.



Hình 1: Cấu trúc động cơ LSPMSM 3 pha 4 cực

### 2.2 Mô hình toán động cơ LSPMSM

Hiện nay trên thế giới, nhiều nhà nghiên cứu

không chỉ nghiên cứu tổng quát động cơ đồng bộ và KĐB [10] mà còn đi sâu xây dựng những mô hình cụ thể về động cơ LSPMSM [7-9]. Nhóm tác giả tổng hợp lại mô hình toán dưới đây:

Phương trình điện áp stator:

$$\begin{cases} u_{qs} = r_s i_{qs} + w \Psi_{ds} + \frac{d(\Psi_{qs})}{dt} & (1) \\ u_{ds} = r_s i_{ds} - w \Psi_{qs} + \frac{d(\Psi_{ds})}{dt} & (2) \end{cases}$$

Phương trình điện áp rotor:

$$\begin{cases} u'_{qr} = r_r i'_{qr} + (w - w_r) \Psi'_{dr} + \frac{d(\Psi'_{qr})}{dt} & (3) \\ u'_{dr} = r_r i'_{dr} - (w - w_r) \Psi'_{qr} + \frac{d(\Psi'_{dr})}{dt} & (4) \end{cases}$$

Phương trình từ thông của stator và rotor:

$$\begin{cases} \Psi_{ds} = (L_{ds} + L_{md}) i_{ds} + L_{md} i'_{dr} + \Psi'_m & (5) \\ \Psi_{qs} = (L_{qs} + L_{mq}) i_{qs} + L_{mq} i'_{qr} & (6) \\ \Psi'_{dr} = (L'_{dr} + L_{md}) i'_{dr} + L_{md} i_{ds} + \Psi'_m & (7) \\ \Psi'_{qr} = (L'_{qr} + L_{mq}) i'_{qr} + L_{mq} i_{qs} & (8) \end{cases}$$

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

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

$$M_{dt} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\Psi_{ds} i_{qs} - \Psi_{qs} i_{ds}) \quad (9)$$

Thay (5), (6) vào (9) ta có:

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

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

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

Trong đó:  $L_d = L_{ds} + L_{md}$  – điện cảm dây quấn stato dọc trục;  $L_q = L_{qs} + L_{mq}$  – điện cảm dây quấn stato ngang trục.

Ta có phương trình:

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

$$= \frac{3 P}{2 \cdot 2} (M_{kdb} + M_{kt} + M_{ttr}) \quad (10)$$

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 (10) có thể thấy mô men điện từ LSPMSM phức tạp hơn nhiều so với động cơ KĐB và động cơ đồng bộ NCVC. Thực tế  $M_{kt}$  và  $M_{ttr}$  là các 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.

Phương trình cân bằng mô men:

$$M_{dt} = M_c + Fw_r + J \frac{dw_r}{dt} \quad (11)$$

Do đó tốc độ roto được xác định theo công thức sau:

$$w_r = \int \left( \frac{M_{dt} - M_c - Fw_r}{J} \right) dt \quad (12)$$

Khi làm việc ở chế độ định mức, nguyên lý hoạt động của động cơ LSPMSM giống động cơ đồng bộ nên xác định hiệu suất của động cơ tương tự như của động cơ đồng bộ:

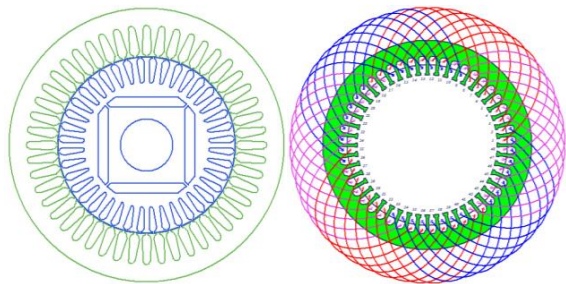
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + p_{Fe} + p_{Cu}}$$

$$= \frac{M_{dt} w_r}{M_{dt} w_r + p_{Fe} + p_{Cu}} \quad (13)$$

Trong đó:  $p_{Fe}$ ,  $p_{Cu}$  – tương ứng là các tổn hao sắt từ và tổn hao dây quấn của động cơ.

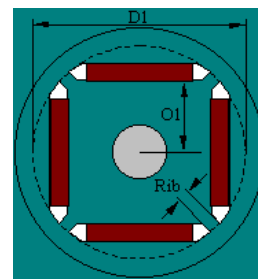
### 3 Mô hình mô phỏng và kết quả

Ansys Maxwell [6] 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 LSPMSM 11 kW 4 cực, điện áp định mức 220/380 V và tần số 50 Hz đấu sao. Hình 2 là cấu trúc mặt cắt ngang của động cơ LSPMSM thiết kế trên phần mềm Ansys Maxwell.



Hình 2: Mô hình mặt cắt động cơ LSPMSM trên phần mềm Ansys Maxwell

Có nhiều cách bố trí vị trí NCVC, ở đây nhóm tác giả chọn cách bố trí như hình 3. Với cách bố trí này giúp tối ưu được các thông số của động cơ LSPMSM.



Hình 3: Mặt cắt và các thông số kích thước của NCVC trong động cơ LSPMSM

#### 3.1 Thông số hình học của động cơ LSPMSM

Các thông số thiết lập trên stato đã được thiết kế tính toán giải tích dựa trên tài liệu [5].

**Bảng 1: Thông số mô phỏng của động cơ LSPMSM 4 cực**

Thông số	Giá trị
Đường kính ngoài stato $D_n$ (mm)	272
Đường kính trong stato $D$ (mm)	177
Chiều dài lõi thép $l_s$ (mm)	105
Số rãnh stato $Z_1$	48
Hệ số ép chặt $k_c$	0,95
Vật liệu chế tạo lõi thép	Steel_1008
Số lớp dây quấn stato	2
Số đôi mạch nhánh song song	1
Số thanh dẫn trong 1 rãnh	24
Bước dây quấn (bước ngắn)	10
Số sợi ghép quấn $n$	2
Đường kính dây quấn $d_{cd}$ (mm)	1,828
Số rãnh roto $Z_2$	40
Khe hở không khí $\delta$ (mm)	0,1
Đường kính ngoài roto $D'$ (mm)	176
Đường kính trục động cơ $D_t$ (mm)	53
Vật liệu dây quấn roto	Aluminum
Chiều cao vòng ngắn mạch roto (mm)	22
Chiều rộng vòng ngắn mạch roto (mm)	24
Điện áp cung cấp $U_{lưới}$ (V)	400
<i>Kích thước và vật liệu NCVC</i>	
$D1$ (mm)	115
$O1$ (mm)	38
Rib (mm)	2
Loại vật liệu NCVC	NdFe35
Chiều rộng của NCVC (mm)	60
Độ dày của NCVC (mm)	10
<i>Kích thước rãnh stato</i>	
$Hs0$ (mm)	0,4
$Hs2$ (mm)	22,5
$Bs0$ (mm)	3
$Bs1$ (mm)	9,5
$Bs2$ (mm)	7
<i>Kích thước rãnh roto</i>	
$Hs0$ (mm)	1
$Hs1$ (mm)	0
$Hs2$ (mm)	20
$Bs0$ (mm)	1,5
$Bs1$ (mm)	7,8
$Bs2$ (mm)	3

**3.2 Thông số kết quả của động cơ LSPMSM**

Kết quả mô phỏng động cơ LSPMSM 11 kW được đưa ra trong bảng 2.

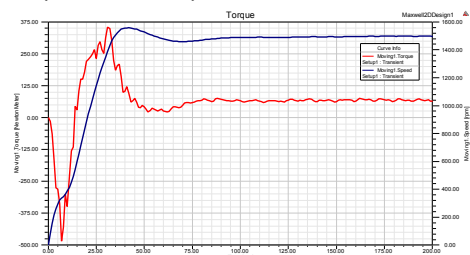
**Bảng 2: Kết quả thông số động cơ LSPMSM 4 cực**

Thông số	Động cơ LSPMSM	Tiêu chuẩn ISO 9001:2000 [2]
Hiệu suất động cơ (%)	97,1378	87,5
Hệ số công suất	0,990198	0,87
Mô men định mức (Nm)	70,0369	
Tốc độ định mức (vg/ph)	1500	1460
Dòng điện định mức (A)	16,5093	22
Hệ số trượt định mức	-	0,0267
Hệ số mô men cực đại	2,92699	2,2

Kết quả cho thấy, so với động cơ KĐB ba pha rotor lồng sóc có công suất tương ứng, động cơ LSPMSM có hiệu suất lớn hơn 1,11 lần (97,1378% so với 87,5%), hệ số công suất lớn hơn 1,14 lần (0,990198 so với 0,87).

**3.3 Đồ thị đặc tính cơ của động cơ LSPMSM**

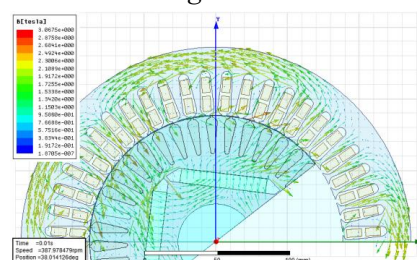
**3.3.1 Đặc tính tốc độ và mô men**



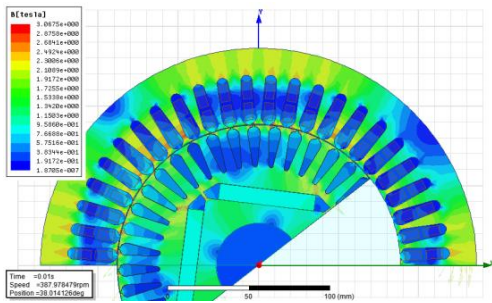
*Hình 4: Mặt cắt và các thông số kích thước của NCVC trong động cơ LSPMSM*

Dựa vào hình 4 có thể thấy quá trình khởi động của động cơ LSPMSM không quá 0,1 s, tốc độ của động cơ tăng dần và khá tuyến tính ở giai đoạn đầu, ít dao động khi đạt giá trị định mức, nhưng mô men khi khởi động bị sụt do ảnh hưởng của NCVC gây ra.

**3.3.2 Phân bố từ thông**



*Hình 5: Mô hình phân bố từ thông (dạng véc tơ) của động cơ LSPMSM khi khởi động tại thời gian 0,01 s*

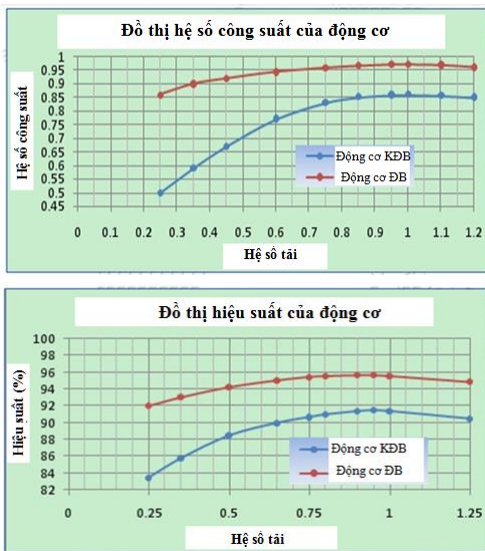


Hình 6: Mô hình phân bố từ thông của động cơ LSPMSM khi khởi động tại thời gian 0,01 s

Qua hình 5, 6, ta thấy mật độ từ trường và phân bố từ thông của động cơ LSPMSM khá đồng đều khi khởi động, điều đó giúp động cơ dễ dàng khởi động hơn.

#### 4 Đánh giá và ứng dụng thực tế động cơ LSPMSM tại Trung Quốc

Hiện nay, Trung quốc là quốc gia đi đầu trong lĩnh vực ứng dụng động cơ LSPMSM trong ngành công nghiệp khai khoáng [4]. Một số nguyên cứu đánh giá của nhà sản xuất so sánh động cơ đồng bộ với động cơ KĐB [4].

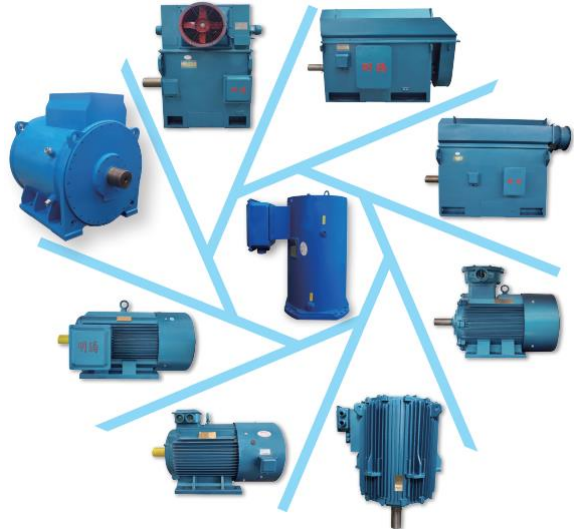


Hình 7: So sánh một số thông số kỹ thuật của động cơ đồng bộ và KĐB

Dựa vào hình 7 có thể thấy: Động cơ KĐB thông thường ở hệ số tải < 50% có hiệu suất và hệ số công suất giảm đáng kể; động cơ đồng bộ ở hệ số tải 25-120% có hiệu suất và hệ số công suất không thay đổi nhiều và hiệu suất động cơ

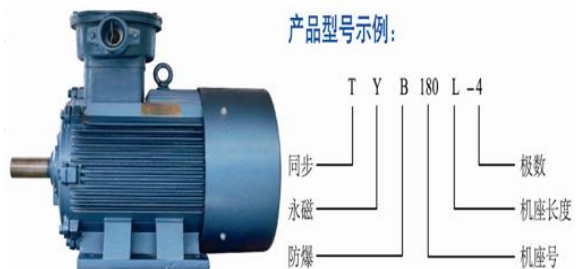
luôn luôn lớn hơn 90%, hệ số công suất > 0,85, hiệu quả tiết kiệm năng lượng đáng kể. Điều này đúng với kết quả phân tích mô phỏng ở phần trên.

Đối với dòng động cơ đồng bộ NCVC trên thế giới có nhiều loại, nhưng LSPMSM vẫn là loại động cơ được đánh giá có ưu điểm do khắc phục được cả nhược điểm của động cơ KĐB và động cơ đồng bộ NCVC.



Hình 8: Các loại động cơ LSPMSM dùng trong các ứng dụng khác nhau

Tại Trung Quốc, nơi hiện nay các dòng động cơ LSPMSM dần dần thay thế các động cơ KĐB với khả năng cải thiện được hệ số công suất, tiết kiệm năng lượng (hình 8). Trong thực tế, động cơ LSPMSM được chia làm hai loại là loại dùng trong công nghiệp và loại phòng nổ (hình 9).



Hình 9: Dòng động cơ LSPMSM ba pha hiệu suất cực cao điện áp thấp phòng nổ loại TYB (380V, 660 V, 1140 V, chiều cao tâm trục 132-355) do tập đoàn Anhui Mingteng sản xuất [4]

**Bảng 3. Thông số động cơ LSPMSM ba pha phòng nổ loại TYB**

型号	额定功率 (kW)	额定电流 (A)		同步转速 (r/min)	额定转矩 (N·m)	额定效率 (%)	额定功率因数	牵入转矩倍数	失步转矩倍数	堵转转矩倍数	堵转电流倍数	重量 (kg)
		380V	660V 1140V									
TYB132S-4	5.5	9.5	5.4 3.2	1500	35.0	92.1	0.96	1.2	1.6	2.3	9	93
TYB132M-4	7.5	12.8	7.4 4.3	1500	47.8	92.6	0.96	1.2	1.6	2.3	9	106
TYB160M-4	11	18.6	10.7 6.2	1500	70.0	93.6	0.96	1.2	1.6	2.2	9	136
TYB160L-4	15	25.3	14.5 8.4	1500	95.5	94.0	0.96	1.2	1.6	2.2	9	146
TYB180M-4	18.5	31.0	17.9 10.3	1500	117.8	94.3	0.96	1.2	1.6	2.2	9	185
TYB180L-4	22	36.8	21.2 12.3	1500	140.1	94.7	0.96	1.2	1.6	2.2	9	215
TYB200L-4	30	50.0	28.8 16.7	1500	191.0	95.0	0.96	1.2	1.6	2.2	9	269
TYB225S-4	37	61.4	35.4 20.5	1500	235.6	95.3	0.96	1.2	1.6	2.2	9	366
TYB225M-4	45	74.5	42.9 24.8	1500	286.5	95.6	0.96	1.2	1.6	2.2	9	385
TYB250L-4	55	90.9	52.3 30.3	1500	350.2	95.8	0.96	1.2	1.6	2.2	9	445

Động cơ LSPMSM có vỏ kín, làm mát bằng băng quạt có thể lắp trên trục động cơ hoặc cưỡng bức bằng quạt ngoài. Vỏ có cấp cách điện F, IP55 đối với động cơ công nghiệp và vỏ phòng nổ đối với động cơ làm việc trong môi trường hầm lò, có cảm biến đo nhiệt độ dây quấn stato. Các mức điện áp thường dùng là 380 V, 660 V, 1140 V, 6 kV và 10 kV với tần số 50 Hz. Loại động cơ này hoàn toàn có thể thay thế các động cơ KĐB tương ứng, đồng thời tăng được công suất cũng như giảm kích thước thiết kế lắp đặt tối ưu. Các động cơ LSPMSM hiện nay tại Trung Quốc thường được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp hóa dầu, sản xuất điện, khai thác khoáng sản, dệt may... Ứng dụng chủ yếu là dùng trong các quạt gió, bơm nước, máy nén, băng tải và các máy móc khác (các hình 10-13).



Hình 10: Động cơ LSPMSM của quạt tản nhiệt hệ thống phát điện Nhà máy Xi măng Pingliang Qilianshan (2019)



Hình 11. Động cơ LSPMSM của quạt tản nhiệt Nhà máy Xi măng Pingliang Qilianshan - Trung Quốc (2019)



Hình 12. Động cơ LSPMSM kéo băng tải mỏ than Jinshen Ciyagou - Trung Quốc (2019)



Hình 13. Động cơ LSPMSM của thiết bị hỗ trợ băng tải tuyến nổi mỏ kẽm chì Changba, Tập đoàn Baiyin Nonferrous Metals - Trung Quốc (2015)

## 5 Kết luận

Động cơ LSPMSM với cấu tạo tương tự như động cơ KĐB giúp tận dụng được ưu thế trong quá trình bảo dưỡng, vận hành và sửa chữa, đồng thời lại là động cơ đồng bộ nên có ưu điểm khi làm việc ở chế độ định mức có hệ số công suất cao và tiết kiệm năng lượng. Hiện nay tại

Việt Nam, động cơ LSPMSM còn đang được sử dụng hạn chế, nên cần có thêm nhiều nghiên cứu sâu hơn về loại động cơ này để có thể ứng dụng rộng rãi hơn trong thực tế, đồng thời dần dần tiếp cận làm chủ công nghệ và thay thế động cơ KĐB ở một số hệ thống điều khiển như quạt gió, bơm nước, máy nén...

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6627-30:2011 (IEC 60034-30:2008) Máy điện quay - Phần 30: Cấp hiệu suất của động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha một tốc độ (mã IE). *Bộ Khoa học và Công nghệ, 2011.*
2. Hệ thống quản lý chất lượng ISO 9001:2008 Động cơ điện KĐB ba pha roto lồng sóc 50Hz”.
3. **Thủ tướng Chính phủ.** Quyết định số 259/QĐ-TTg về Đề án đổi mới hiện đại hóa công nghệ ngành công nghiệp khai khoáng, 22/7/2017.
4. Anhui Mingteng Permanent – Magnetic machinery & Electrical Equipment Co. Ltd. Catalog 2022. [www.ahmingteng.com](http://www.ahmingteng.com).
5. **Trần Khánh Hà, Nguyễn Hồng Thanh.** Thiết kế máy điện. *NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.*
6. **Stolarski T.A., Nakasone Y.** Engineering Analysis with ANSYS Software. *Elsevier, 2006.*
7. **Xu Tang, Xiuhe Wang.** Calculation of Magnets’ Average Operating Point during the Starting Process of Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor. *17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Oct. 22-25, 2014, Hangzhou, China.*
8. **Khalid I. Baradie, Zakariya Al-Hamouz.** 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.*
9. **Ibrahim Hussein, Zakariya Al-Hamouz, Abido M.A., Abdulaziz Milhem.** On the Mathematical Modeling of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors under Static Eccentricity. *Energies 2018.11.197. https://doi.org/10.3390/en11010197.*
10. **Phạm Văn Bình.** Máy điện tổng quát. *NXB Giáo dục Việt Nam, 2011.*