

PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ HIỆU SUẤT CAO TRONG KHAI THÁC MỎ

Đỗ Như Ý
 Trường Đại học Mỏ - Địa chất
 Email: donhuy.hung@gmail.com

TÓM TẮT

Trong những năm vừa qua nhiều nghiên cứu đưa ra các giải pháp để nâng cao hiệu quả sử dụng điện năng cho các cơ cấu truyền động trong ngành khai thác mỏ, một trong các giải pháp mới đó là sử dụng động cơ hiệu suất cao thay thế cho động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc đang được sử dụng rộng rãi ở các mỏ. Để có thể áp dụng một cách hợp lý và hiệu quả nhất cần thiết phải có những phân tích về hiệu quả việc thay thế sử dụng các loại động cơ này về yếu tố kinh tế và kỹ thuật. Bài báo này phân tích hiệu quả sử dụng động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu hiệu suất cao thay thế cho động cơ không đồng bộ trong khai thác mỏ. Kết quả phân tích sẽ giúp ích đối với người quản lý và vận hành trong chiến lược tiết kiệm và sử dụng năng lượng hiệu quả trong ngành khai thác mỏ

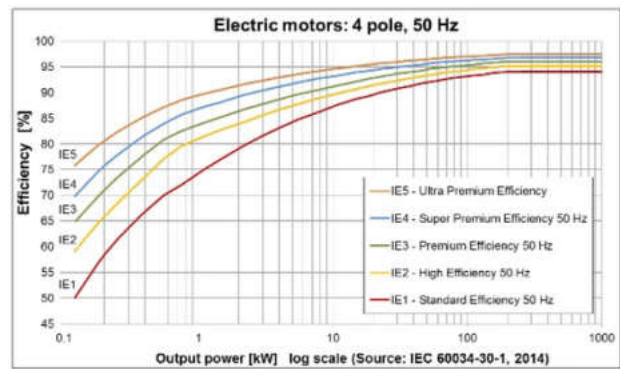
Từ khóa: động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, động cơ không đồng bộ, IM, LSPMSM.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay vấn đề tiết kiệm và sử dụng năng lượng hiệu quả là một trong những vấn đề cấp bách, quan trọng để phát triển bền vững trong ngành khai thác mỏ. Phần lớn điện năng tiêu thụ trong khai thác mỏ thuộc về các hệ truyền động điện. Động cơ điện là thiết bị động lực được dùng để tạo ra các truyền động cho các thiết bị khai thác mỏ. Trong công nghiệp thì hơn 70% năng lượng điện được tiêu thụ bởi các hệ truyền động, trong khai thác mỏ ở Việt Nam năng lượng điện được tiêu thụ bởi các hệ truyền động chiếm hơn 75% tổng điện năng tiêu thụ của mỏ.

Theo tiêu chuẩn IEC60034-30 hiệu suất động cơ được phân thành các cấp: IE₁ - động cơ hiệu suất tiêu chuẩn (IE₁-Standard Efficiency), IE₂-động cơ hiệu suất cao (IE₂- High Efficiency), IE₃- động cơ có hiệu suất cao cấp (IE₃-Premium Efficiency), IE₄-động cơ hiệu siêu cao (IE₄ -Super Premium Efficiency) và IE₅- động cơ hiệu suất cực cao (IE₅-Ultra Premium Efficiency). Theo tiêu chuẩn IEC60034-30 các mức hiệu suất từ IE₁ đến IE₅ của động cơ có đồ thị phụ thuộc như hình H.1.

Động cơ truyền thống sử dụng trong khai thác mỏ là các động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc (IM). Loại động cơ này có nhiều ưu điểm như: Cấu tạo đơn giản, độ bền cao, mômen khởi động lớn, giá thành rẻ...Tuy nhiên, nhược điểm lớn của các



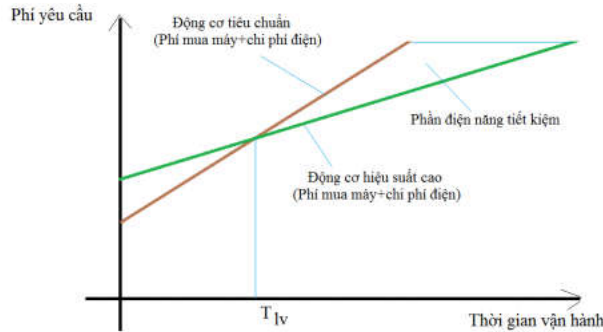
H.1. Quan hệ phụ thuộc giữa mức hiệu suất và công suất động cơ

loại động cơ này là khó có khả năng nâng cao được hiệu suất do vẫn tồn tại tổn thất điện năng trên rotor trong quá trình làm việc. Việc nâng cao hiệu suất động cơ IM lên mức IE₂, IE₃ theo tiêu chuẩn IEC60034-30 đang thực sự khó khăn [1].

Công trình nghiên cứu [7] chỉ ra rằng để nâng cao hiệu quả sử dụng điện năng của cơ cấu truyền động trong ngành khai thác mỏ ở Hoa Kỳ là sử dụng động cơ tiết kiệm năng lượng hiệu suất cao. Theo phân tích của các tác giả việc sử dụng các động cơ tiết kiệm năng lượng tuy có chi phí ban đầu tăng nhưng sẽ nhanh chóng thu hồi vốn nhờ tiết kiệm chi phí điện trong quá trình hoạt động. Theo sự phân tích của tạp chí Machinedesign nổi tiếng về thiết kế động cơ điện, đối với những khâu tiêu thụ năng lượng lớn có yêu cầu cao về hiệu

suất thì động cơ hiệu suất cao sẽ dần dần được thay cho các động cơ IM.

Việc đầu tư động cơ hiệu suất cao sẽ làm tăng chi phí ban đầu, tương quan chênh lệch giữa chi phí đầu tư mua động cơ và chi phí vận hành động cơ điện trong quá trình sử dụng lâu dài được thể hiện trên hình H.2 [1].



H.2. Hiệu quả giữa động cơ tiêu chuẩn và động cơ hiệu suất cao

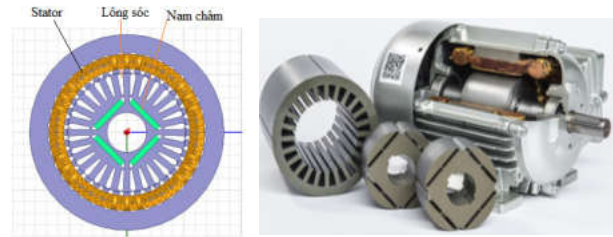
Từ H.1 thấy rằng, việc phải gánh thêm chi phí ban đầu thì trong khoảng thời gian sử dụng ngắn thì động cơ tiêu chuẩn có lợi hơn về mặt chi phí. Nhưng sau khoảng thời gian làm việc T_{iv} thì việc tiết kiệm được điện năng trong quá trình sử dụng động cơ hiệu suất cao sẽ có hiệu quả kinh tế cao hơn.

Theo nghiên cứu [4] một giải pháp thay thế cho động cơ IM là sử dụng động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp từ lưới (Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor) (LSPMSM) khởi động trực tiếp từ lưới là loại động cơ hiệu suất cao. Nội dung của bài báo này là phân tích hiệu quả sử dụng động cơ hiệu suất cao LSPMSM thay thế động cơ IM trong khai thác mỏ.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Khái quát về động cơ hiệu suất cao lspmsm

Động cơ LSPMSM có thể được ứng dụng ở nhiều khâu trong khai thác mỏ, nhất là các khâu mà có cơ cấu điện năng tiêu thụ lớn như: Thông gió, bơm nước, máy nén khí, vận tải, sàng tuyển và còn có thể được ứng dụng triển khai cho các phụ tải khác. Động cơ LSPMSM là một động cơ lai với dây quấn ba pha được phân bố trong các rãnh stator (tương tự động cơ IM), rotor của động cơ LSPMSM sử dụng lồng sóc với thanh nhôm và có gắn thêm nam châm vĩnh cửu, cấu trúc của động cơ được đưa ra như trên hình H.3.



H.3. Động cơ LSPMSM cấu trúc rotor L-shape [2]

Động cơ IM tổn hao trên rotor chiếm 20%, tuy nhiên với động cơ LSPMSM khi hoạt động ổn định làm việc ở chế độ đồng bộ nên không có tổn thất trên rotor động cơ. Ngoài ra tổn thất trên stator của động cơ LSPMSM được giảm đáng kể do giảm được dòng điện từ hóa của động cơ. Do vậy, động cơ LSPMSM có hiệu suất cao IE_3 và có thể lên tới hiệu suất siêu cao IE_4 . Động cơ LSPMSM thương mại với công suất từ 0,55kW đến 7,5kW đều đạt được hiệu suất IE_4 .

Động cơ LSPMSM có kết cấu rotor lồng sóc nên động cơ có thể khởi động trực tiếp khi kết nối lưới mà không cần sử dụng bộ điều khiển, sau khi động cơ khởi động sẽ làm việc với tốc độ đồng bộ với mômen cao, quán tính thấp [7].

2.2. Phân tích yếu tố kinh tế khi sử dụng động cơ hiệu suất cao LSPMSM

Động cơ IM sử dụng trong khai thác mỏ ở Việt Nam thường có hiệu suất đạt dưới ngưỡng IE_1 [1]. Giả sử hệ truyền động của các thiết bị khai thác mỏ được thay thế động cơ IM có hiệu suất IE_1 bằng sử dụng động cơ hiệu suất cao có hiệu suất IE_n (với $n=2, 3, 4$). Theo [3] chi phí vận hành tiết kiệm được mỗi năm khi sử dụng động cơ hiệu suất cao thay thế cho động cơ hiệu suất IE_1 được tính theo công thức.

$$S = P_{out} \cdot C \cdot T \left[\frac{100}{E_1} - \frac{100}{E_n} \right] \tag{1}$$

Trong đó: P_{out} - công suất động cơ (kW); C- là giá bán điện (đồng/kWh); T- số giờ làm việc mỗi năm (h); E_n, E_1 - lần lượt là hiệu suất động cơ theo chuẩn IE_n và IE_1 .

Chênh lệch chi phí ban đầu giữa hai động cơ hiệu suất cao IE_n và động cơ thông thường IE_1 được xác định theo công thức [5] [6]:

$$\Delta C = m \cdot Y \tag{2}$$

trong đó: m - Chênh lệch khối lượng, vật liệu; Y – chênh lệch đơn giá.

Thời gian thu hồi vốn:

$$T_c = \Delta C / S \quad (3)$$

Từ cơ sở lý thuyết trên, so sánh hiệu quả kinh tế thu được giả sử đối với quạt thông gió cục bộ trong mỏ hầm lò đang sử dụng động cơ IM 5,5kW có hiệu suất IE_1 thay bằng động cơ LSPMSM 5,5kW có hiệu suất cao IE_2 , các động cơ có thông số kỹ thuật như trong Bảng 1

Bảng 1. Thông số của động cơ IM và động LSPMSM

TT	Thông số động cơ	IM	LSPMSM
1	Công suất (kW)	5,5kW	5,5kW
2	Điện áp (V)	380/660	380/660
3	Tần số (Hz)	50	50
4	Tốc độ (v/phut)	1400	1400
5	Mômen (N.m)	48	48
6	Hiệu suất động cơ(%)	83 (IE_1)	86,5 (IE_2)

Theo tài liệu [5], khối lượng của nam châm điện cần dùng cho động cơ LSPMSM 5,5kW khoảng $m_{PM} = 0,65kg$, giá bán nam châm NdFeB431 là $P_{PM} = 200\$/kg$ tương đương 4,7triệu đồng/kg. Theo tài liệu [6] chênh lệch chi phí sử dụng lá thép mật độ từ thông cao cho động cơ LSPMSM 5,5kW là $m'_{PM} = 3,5kg$, giá bán chênh lệch $P'_{PM} = 10\$/kg$ tương đương khoảng 0,235 triệu đồng/kg.

Từ công thức (2) xác định chênh lệch chi phí ban đầu giữa động cơ hiệu suất cao LSPMSM và động cơ tiêu chuẩn IM là:

$$\Delta C = [m_{PM} \cdot P_{PM} + m'_{PM} \cdot P'_{PM}] = [0,65 \cdot 4,7 + 3,5 \cdot 0,235] = 3,88 \text{tr. đồng}$$

Chi phí vận hành tiết kiệm được mỗi năm khi thay thế động cơ LSPMSM 5,5kW cho động cơ IM 5,5kW theo công thức (1)

$$S = P_{out} \cdot C \cdot T \left[\frac{100}{E_2} - \frac{100}{E_1} \right] = 5.1600 \cdot 5000 \cdot \left[\frac{100}{83} - \frac{100}{86,5} \right] = 1,95 \text{tr. đồng}$$

Trong đó: Giá bán điện $C = 1.600 \text{đồng/kWh}$; xí nghiệp mỏ làm việc ba ca $T = 5.000 \text{h/năm}$

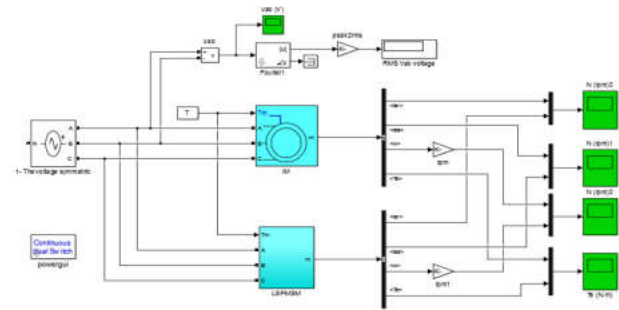
Thời gian thu hồi vốn khi thay thế động cơ LSPMSM 5,5kW cho động cơ IM 5,5kW của quạt thông gió cục bộ xác định theo công thức (1):

$$T_c = \Delta C / S = 3,88 / 1,95 = 2 \text{ năm}$$

2.3. Phân tích yếu tố kỹ thuật khi sử dụng động cơ hiệu suất cao LSPMSM

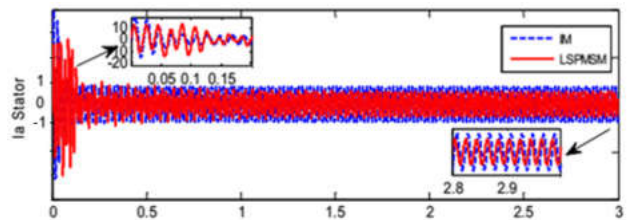
Ngoài tính hiệu quả về kinh tế, còn phải xét tới các yếu tố kỹ thuật của động cơ để đánh giá sự

phù hợp khi thay thế. Theo [2] đưa ra hình động cơ LSPMSM và xây dựng mô hình mô phỏng để đánh giá thông số kỹ thuật làm việc của hai loại động cơ được đưa ra trên hình H.4.

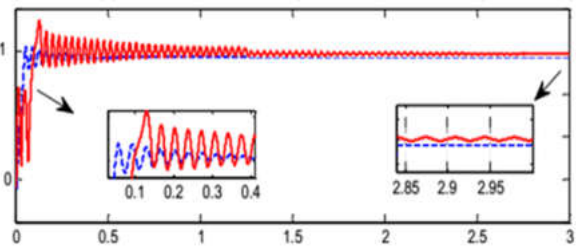


H.4. Mô hình đánh giá động cơ LSPMSM với động cơ IM

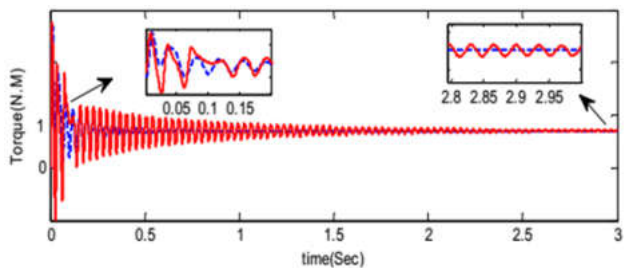
Trên mô hình mô phỏng gồm động cơ LSPMSM và động cơ IM có thông số trong Bảng 1. Hai động cơ được cung cấp cùng một nguồn điện, với cùng một hệ số mang tải. Kết quả khảo sát về dòng điện stator, tốc độ và mômen động cơ trên hệ tương đối (pu) cho kết quả trên hình H.5, hình H.6 và hình H.7.



H.5. Đặc tính dòng điện stator



H.6. Đặc tính tốc độ của động cơ



H.7. Đặc tính mômen của động cơ

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả từ phân tích kinh tế thấy rằng, do việc tiết kiệm điện năng trong quá trình sử dụng nên việc thay thế động cơ LSPMSM 5,5kW cho động cơ IM 5,5kW mang lại hiệu quả kinh tế cao. Sau khi so sánh giữa chi phí chênh lệch vốn đầu tư ban đầu và chi phí tiết kiệm được từ việc giảm điện năng tiêu thụ thì thời gian thu hồi vốn ngắn trong khoảng 2 năm. Ngoài ra việc thay thế động cơ LSPMSM hiệu suất cho động cơ IM còn chưa kể đến hiệu quả từ việc nâng cao hệ số công suất $\cos\phi$ do động cơ LSPMSM có hệ số công suất $\cos\phi$ từ 0,9 trở lên so với động cơ IM thường có hệ số $\cos\phi$ chỉ khoảng 0,85 từ đó giảm được tổn hao trên đường dây truyền tải.

Từ kết quả khảo sát về dòng điện stator, tốc độ và mômen động cơ trên hệ tương đối (pu) cho kết quả trên hình H.5, H.6 và H.7, thấy rằng về cơ bản thông số kỹ thuật của hai động cơ là tương đương nhau. Trên hình H.5 dòng điện stator của động cơ IM có giá trị lớn hơn dòng điện stator của động cơ LSPMSM, cộng thêm với việc không có

tổn hao trên rotor điều này giải thích lý do động cơ LSPMSM có hiệu suất cao hơn động cơ IM. Về tốc độ và mômen trên hình H.6 và H.7 cho thấy hai loại động cơ là tương tự nhau, tuy nhiên thời gian dao động, độ đập mạch của động cơ LSPMSM sẽ lớn hơn động cơ IM dẫn tới khi làm việc động cơ LSPMSM sẽ gây ra rung động lớn hơn và lâu ổn định hơn động cơ IM.

4. KẾT LUẬN

Từ sự phân tích kinh tế và kỹ thuật kể trên nhận thấy rằng, việc ứng dụng động cơ hiệu suất cao LSPMSM trong khai thác mỏ mang lại hiệu quả kinh tế trong việc tiết kiệm năng lượng. Tuy nhiên về đặc tính kỹ thuật khi sử dụng động cơ LSPMSM dẫn tới quá trình quá độ diễn ra dài hơn, độ rung động xảy ra lớn hơn. Do đó, để áp dụng có hiệu quả động cơ hiệu suất cao LSPMSM trong khai thác mỏ cần phải phân tích lựa chọn thay thế cho các khâu khai thác phù hợp với đặc tính kỹ thuật của động cơ, như các thiết bị có chế độ làm việc không thường xuyên phải khởi động, các thiết bị có yêu cầu về mức độ rung động không cao □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Minh Định (2016). Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo động cơ điện tiết kiệm năng lượng sử dụng vật liệu có mật độ từ cảm cao. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Quốc gia, KC-05.
2. Lê Anh Tuấn, Phạm Văn Cường, Nguyễn Thị Minh Hiền, Vũ Thị Kim Nhị (2019). 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. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, số 55.
3. Hiroaki Toda, Kunihiro Senda, Shigeo Morimoto, Tatsuhiko Hiratani (2013). Influence of Various Non-Oriented Electrical Steels on Motor Efficiency and Iron Loss in Switched Reluctance Motor. IEEE Journals & Magazines, Volume: 49, Issue:7.
4. Michael J. Melfi Stephen D. Umans Judith E. Atem (2014) Viability of highly efficient multi-horsepower line-start permanent-magnet motors. Petroleum and Chemical Industry Technical Conference, Record of Conference Papers Industry Applications Society 60th Annual IEEE, pp. 1-10
5. M. A. Rahman (2014). Status Review of Advances in Hybrid Electric Vehicles Professor M. A. Rahman Memorial. Memorial University of Newfoundland
6. Ramesh Ugale, Gaurav Singh, Srinivas Baka, B.N. Chaudhari (2009). Effective energy conservation for the agricultural sector using line start permanent magnet synchronous motors. Conference: TENCON-IEEE Region 10 Conference.
7. Riyaz Papar, P.E, Andrew Szady, P.E, William D. Huffer, Vern Martin, P.E, Aimee McKane (1999). Increasing Energy Efficiency of Mine Ventilation Systems. Conference: 8th US Mine Ventilation Symposium, Rolla, MO (United States).

ANALYSIS OF EFFECTIVELY USING HIGH PERFORMANCE ELECTRIC MOTORS IN MINING

Do Nhu Y

ABSTRACT

In recent years, the studies have provided solutions to improve the power efficiency in mining. One of the new solutions is the use high efficiency motors to replace the cage rotor asynchronous motor widely used in mines. For effective application, it is necessary to have an analysis for the effectiveness of the replacement of these motors. The content of this article analyzes the efficiency of using line start permanent magnet synchronous motor instead of asynchronous one in mining. The analysis results will help managers and operators save and use energy efficiently in mining industry.

Keywords: Line start permanent magnet synchronous motor, asynchronous motor, IM, LSPMSM.

Ngày nhận bài: 8/6/2021;

Ngày gửi phản biện: 10/6/2021;

Ngày nhận phản biện: 28/6/2021;

Ngày chấp nhận đăng: 18/7/2021

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.