

XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU KHỞI ĐỘNG TRỰC TIẾP TỪ LƯỚI ĐIỆN

ThS. NGUYỄN VŨ THANH, PGS.TS. BÙI ĐÌNH TIẾU,
TS. PHẠM HÙNG PHI - Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Năm 1971, Bin đã đề xuất thiết kế máy điện đồng bộ sử dụng nam châm vĩnh cửu và vành khởi động tự khởi động trực tiếp từ lưới điện. Ngày nay động cơ này được gọi là động cơ đồng bộ ba pha nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp từ lưới điện (LSPMSM) [1]. Động cơ LSPMSM là sự kết hợp giữa hai loại động cơ không đồng bộ (IM) và động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM), với khả năng khởi động của lồng sóc động cơ IM và quay đồng bộ với mômen sinh ra từ nam châm vĩnh cửu động cơ PMSM. So với động cơ IM hiệu suất cao, động cơ LSPMSM còn có thể đạt được hiệu suất và hệ số công suất ($\cos\varphi$) cao hơn, từ đó có thể tiết kiệm được đáng kể năng lượng. Ngoài ra động cơ LSPMSM đặc biệt phù hợp với các loại phụ tải như quạt, bơm nước, máy nén khí và điều hòa không khí... sử dụng trong các ngành công nghiệp [2].

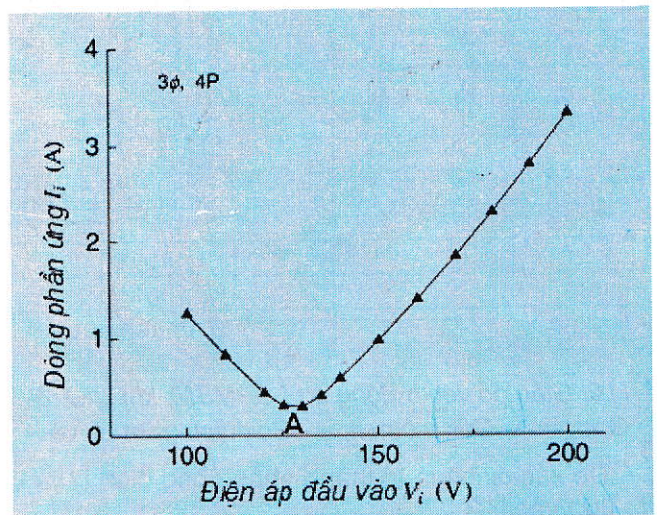
Đã có nhiều tác giả đưa ra các phương pháp nghiên cứu thiết kế động cơ LSPMSM khác nhau. Nghiên cứu chuyển đổi thiết kế từ máy điện IM sang máy điện PMSM, từ động cơ IM sang động cơ LSPMSM, khi giữ nguyên cấu trúc stator và thực hiện thay đổi phía rotor cho phù hợp với các phụ tải [3]. R.J. Wang [1] đã đề xuất sơ đồ khối trong từng khâu thiết kế stator, rotor, nam châm vĩnh cửu của động cơ LSPMSM. Tuy nhiên tác giả chỉ trình bày mang tính tổng quát. İlhan Tarimer [4] đã đưa ra phương pháp phân tích đồ thị vectơ và sử dụng RMxprt mô phỏng động cơ LSPMSM. Từ đó thấy được khả năng thiết kế động cơ LSPMSM đạt hiệu suất cao và hệ số $\cos\varphi=1$.

1. Đặt bài toán

Thông thường hiệu suất cao là lí do chính để lựa chọn động cơ LSPMSM thay cho động cơ IM. Khi hiệu suất động cơ cao người sử dụng sẽ được lợi vì giảm được chi phí điện năng. Và nếu hệ số

công suất thấp sẽ bất lợi cho người thiết kế do kích thước động cơ thiết kế sẽ lớn hơn. Nhà cung cấp điện cũng không mong muốn, do phải truyền tải thêm công suất vô công đến phụ tải và người tiêu dùng sẽ phải bỏ thêm chi phí, do phải bổ sung hệ thống bù $\cos\varphi$.

Theo Mordey thì đường thay đổi của dòng điện phản ứng theo điện áp đầu vào ở chế độ không tải có dạng hình chữ "V", (xem,H.1).



H.1. Đường cong Mordey [5]

Đường cong này thể hiện động cơ thiết kế đạt hệ số công suất $\cos\varphi$ cực đại ($\cos\varphi=1$) tại điểm thấp nhất A, với dòng điện phản ứng là nhỏ nhất, tương ứng với điện áp đầu vào không tải nào đó. Tuy nhiên, khi động cơ LSPMSM làm việc với nguồn lưới có điện áp U_1 cố định và chạy xác lập ở tải định mức thì cần xác định điều kiện thiết kế cho các tham số động cơ LSPMSM sao cho hệ số công suất $\cos\varphi=1$.

2. Xác định điều kiện để động cơ LSPMSM có $\cos\varphi=1$

Theo [5], [6], phương trình cân bằng điện áp của động cơ LSPMSM như sau:

$$U_1 = (E_{nc} + I_1 R_1 + j I_d X_d + j I_q X_q) \quad (1)$$

$$U_1 = E_{nc} + I_d (R_1 + j X_d) + I_q (R_1 + j X_q) \quad (2)$$

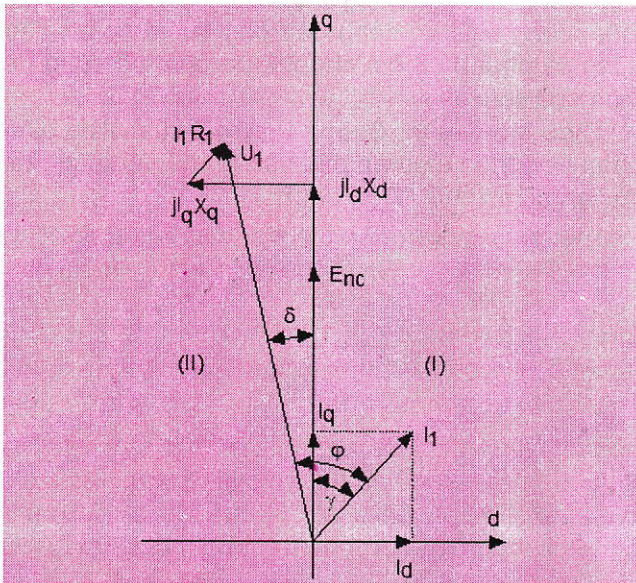
Trong đó:

$$X_d = (X_1 + X_{ad}) \quad (3)$$

$$X_q = (X_1 + X_{aq}) \quad (4)$$

Với: U_1 - Điện áp nguồn; E_{nc} - Sức phản điện động do nam châm vĩnh cửu gây ra; I_1 - Dòng điện phần ứng; I_d - Thành phần dòng điện trên trục d; I_q - Thành phần dòng điện trên trục q; X_d - Điện kháng đồng bộ trục d; X_q - Điện kháng đồng bộ trục q; X_1 - Điện kháng tản stator; X_{ad} - Điện kháng phản ứng phần ứng trục d; X_{aq} - Điện kháng phản ứng phần ứng trục q.

Từ phương trình (1) ta có giản đồ vectơ như mô tả trên H.2:



H.2. Giản đồ vectơ động cơ LSPMSM, khi $I_d > 0$, δ - Góc tải; γ - Góc mômen; φ - Góc lệch giữa U_1 và I_1

Để xác định giá trị thành phần dòng điện I_d và I_q ta dựa vào H.3.

$$U_1 \sin \delta = (I_q X_q - I_d R_1) \quad (5)$$

$$U_1 \cos \delta = (E_{nc} + I_d X_d + I_q R_1) \quad (6)$$

Từ (5) ta có:

$$I_q = \frac{(U_1 \sin \delta + I_d R_1)}{X_q} \quad (7)$$

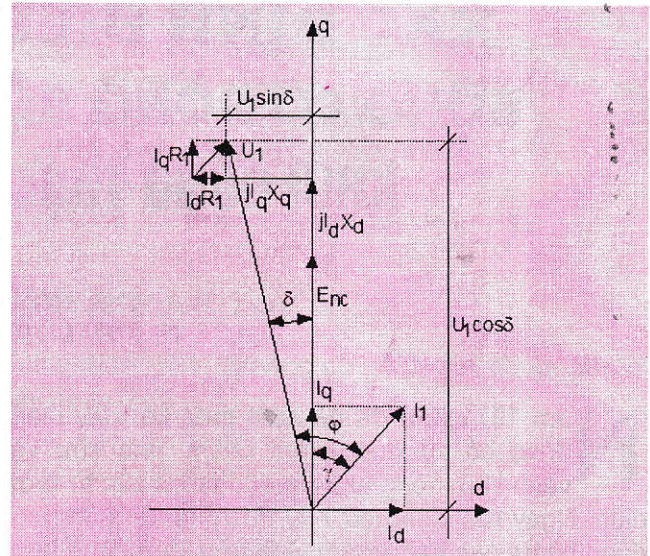
$$I_d = \frac{(I_q X_q - U_1 \sin \delta)}{R_1} \quad (8)$$

Thay (7) vào (6) thực hiện biến đổi ta được:

$$I_d = \frac{U_1 (X_q \cos \delta - R_1 \sin \delta) - (E_{nc} X_q)}{R_1^2 + X_d X_q} \quad (9)$$

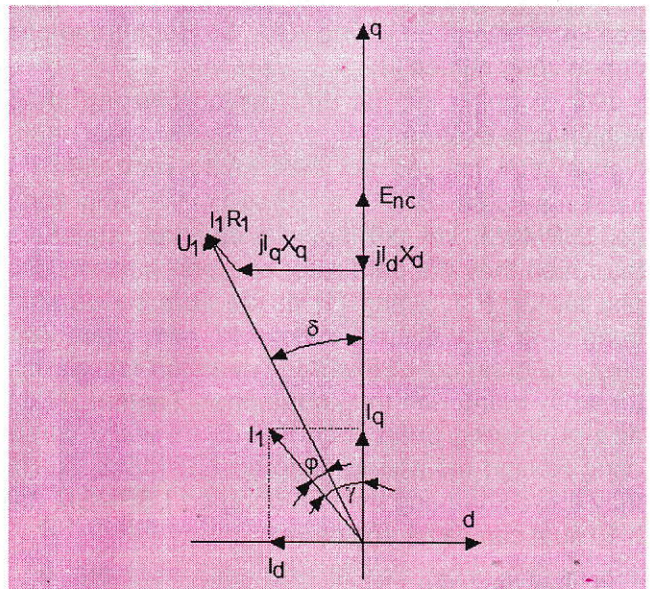
Thay (8) vào (6) thực hiện biến đổi ta được:

$$I_q = \frac{U_1 (X_q \cos \delta - R_1 \sin \delta) - (E_{nc} R_1)}{R_1^2 + X_d X_q} \quad (10)$$



H.3. Xác định $U_1 \cos \delta$ và $U_1 \sin \delta$

Trong quá trình khảo sát [5], [6], ở chế độ động cơ vectơ U_1 luôn nằm ở góc phần tư thứ (II) (xem H.2), ở chế độ máy phát thì ngược lại vectơ U_1 luôn nằm ở góc phần tư thứ (I). Từ H.2, nhận thấy để động cơ LSPMSM thiết kế ra có hệ số $\cos \varphi = 1$, thì vectơ dòng điện I_1 bắt buộc phải quay sang góc phần tư thứ (II) tương ứng với trường hợp thành phần dòng điện I_d âm ($I_d < 0$). Khi đó giản đồ vectơ điện áp của động cơ LSPMSM sẽ có dạng như trên H.4.



H.4. Giản đồ vectơ động cơ LSPMSM, khi $I_d < 0$

Từ H.4 nhận thấy tổ hợp điều kiện để động cơ LSPMSM thiết kế ra có hệ số công suất $\cos \varphi = 1$, như sau:

$$\begin{cases} I_d < 0 & (11) \\ \delta = \gamma & (12) \end{cases}$$

Kết hợp điều kiện (11) với biểu thức (9), ta được

$$\frac{U_1(X_q \cdot \cos\delta - R_1 \cdot \sin\delta) - (E_{nc} \cdot X_q)}{R_1^2 + X_d X_q} < 0$$

Thành phần dưới mẫu số $R_1^2 + X_d \cdot X_q$ luôn có giá trị dương, nên:

$$U_1(X_q \cos\delta - R_1 \sin\delta) - (E_{nc} X_q) < 0$$

$$U_1(X_q \cos\delta - R_1 \sin\delta) < (E_{nc} X_q) \quad (13)$$

Với điều kiện (12), ta có thể lấy tương đương:

$$\cos\delta = \cos\gamma \quad (14)$$

Từ H.2, ta có:

$$\cos\gamma = \frac{I_q}{I_1} = \frac{I_q}{\sqrt{I_q^2 + I_d^2}} \quad (15)$$

Từ phương trình (6), ta có:

$$\cos\delta = \frac{E_{nc} + I_d \cdot X_d + I_q \cdot R_1}{U_1} \quad (16)$$

Kết hợp các phương trình (14), (15) và (16), ta được:

$$\frac{E_{nc} + I_d \cdot X_d + I_q \cdot R_1}{U_1} = \frac{I_q}{\sqrt{I_q^2 + I_d^2}} \quad (17)$$

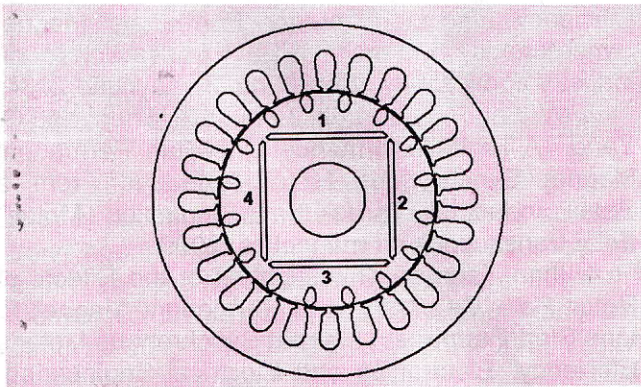
Như vậy, để đạt $\cos\varphi=1$ trong quá trình thiết kế động cơ LSPMSM cần thỏa mãn tổ hợp điều kiện sau:

$$\begin{cases} U_1(X_q \cdot \cos\delta - R_1 \cdot \sin\delta) < (E_{nc} \cdot X_q) \\ \frac{E_{nc} + I_d \cdot X_d + I_q \cdot R_1}{U_1} = \frac{I_q}{\sqrt{I_q^2 + I_d^2}} \end{cases} \quad (18)$$

3. Kiểm tra thiết kế

Khảo sát động cơ LSPMSM có các thông số đầu vào như sau: $P_{dm}=550$ W, $n_{dm}=1500$ v/ph, điện áp pha $U_1=220$ V, $f=50$ Hz, số rãnh stato $Z_1=24$, số rãnh rotor $Z_2=16$, $2p=4$, động cơ có cấu trúc rotor như mô tả trên H.5, yêu cầu động cơ thiết kế có $\cos\varphi_{dm} \approx 1$, và $\eta_{dm} > 90$ %.

Động cơ thiết kế có kết cấu như sau (Bảng 1).

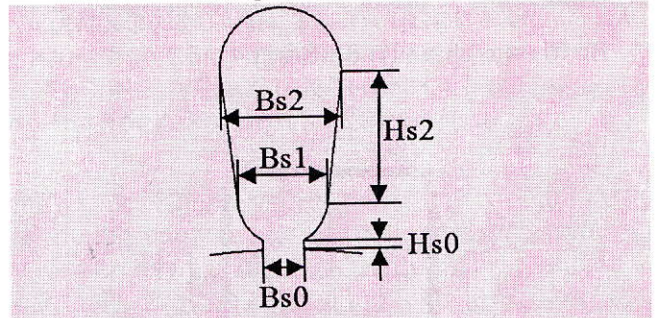


H.5. Cấu trúc động cơ LSPMSM với nam châm vĩnh cửu (1, 2, 3, 4) gắn chìm

Bảng 1.

Stator		
Đường kính ngoài (D _n)	120	mm
Đường kính trong (D)	75	mm
Chiều dài lõi stato (L _s)	65	Mm
Kiểu thép B50-A800		

Rãnh stator có dạng hình quả lê dạng 1 (H.6) (Bảng 2).

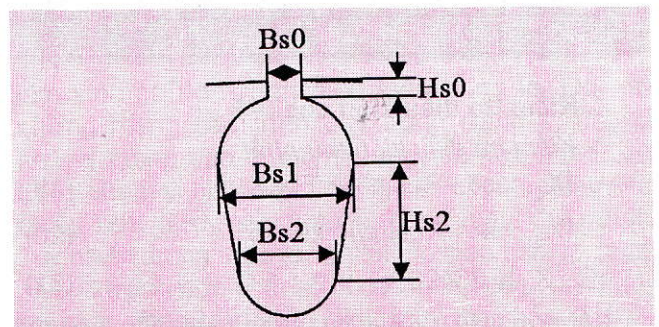


H.6. Rãnh stator có dạng hình quả lê dạng 1.

Bảng 2.

Kết cấu rãnh:		
Độ mở miệng rãnh (Bs0)	2,5	mm
Chiều cao miệng rãnh (Hs0)	0,5	mm
Phần thẳng rãnh (Hs2)	8,2	mm
Đường kính bé (Bs1)	5,6	mm
Đường kính lớn (Bs2)	7,6	mm
Dây quấn 2 lớp:		
Bước dây quấn	5	Rãnh
Số mạch nhánh	1	
Số thanh dẫn trong 1 rãnh	130	thanh
Đường kính dây	0,573	mm
Bề dày cánh điện rãnh	0,3	mm
Bề dày cách điện lớp	0,3	mm
Rotor:		
Đường kính ngoài	74	mm
Đường kính trục	26	mm
Kiểu thép B50-A800		

Kiểu rãnh rotor có dạng quả lê dạng 2 (H.7) (Bảng 3).

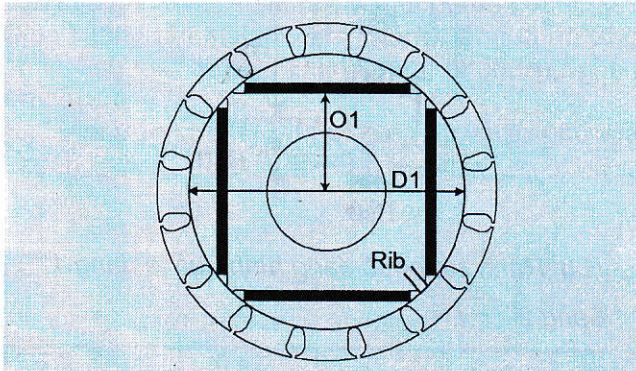


H.7. Rãnh rotor có dạng hình quả lê dạng 2.

Bảng 3.

Kết cấu rãnh		
Độ mở miệng rãnh (Bs0)	1	mm
Chiều cao miệng rãnh (Hs0)	0,5	mm
Phần thẳng rãnh (Hs2)	3	mm
Đường kính lớn (Bs1)	4	mm
Đường kính nhỏ (Bs2)	3	mm
Rãnh hở (Hs01)	0	mm

Bố trí nam châm (H.8) (Bảng 4).



H.8. Sơ đồ bố trí nam châm.

Bảng 4.

Đường kính ngoài (D ₁)	60	mm
Khoảng cách (O ₁)	21,5	mm
Khoảng cách (Rib)	2	mm
Nam châm NdFeB45		

Khảo sát kết quả thiết kế động cơ bằng công cụ RMxprt của phần mềm Ansoft Maxwell, ta được các kết quả tính toán như sau (Bảng 5).

Bảng 5.

Sức phản điện động (E _{nc})	195,6	V
Góc mômen định mức (δ)	39,9	độ
Điện trở pha ở 75°C (R ₁)	12,68	Ω
Điện kháng (X _{ad})	56,14	Ω
Điện kháng (X _{aq})	180,9	Ω
Điện kháng (X ₁)	5,74	Ω
Điện kháng (X _d)	61,88	Ω
Điện kháng (X _q)	186,6	Ω

4. Kiểm tra điều kiện cosφ=1

❖ Kiểm tra điều kiện thứ nhất:

$$U_1(X_q \cdot \cos\delta - R_1 \cdot \sin\delta) < (E_{nc} \cdot X_q) \quad (19)$$

$$U_1(X_q \cdot \cos\delta - R_1 \cdot \sin\delta) = 29715 \quad (20)$$

$$(E_{nc} \cdot X_q) = 36498. \quad (21)$$

Kết hợp (19), (20), (21), nhận thấy điều kiện thứ nhất đã được thỏa mãn.

❖ Kiểm tra điều kiện thứ hai:

$$\frac{E_{nc} + I_d \cdot X_d + I_q \cdot R_1}{U_1} = \frac{I_q}{\sqrt{I_q^2 + I_d^2}} \quad (22)$$

Với các giá trị tính được ở trên, ta xác định được: theo công thức (9) I_d=-0,579 A; theo công thức (10) I_q=0,716 A. Thay các giá trị I_d và I_q vào biểu thức dưới đây, ta được:

$$I_1 = \sqrt{I_q^2 + I_d^2} = 0,921 \text{ A.} \quad (23)$$

Vế trái:

$$\frac{E_{nc} + I_d \cdot X_d + I_q \cdot R_1 \cdot I_q}{U_1} = 0,767$$

Vế phải:

$$\frac{I_q}{\sqrt{I_q^2 + I_d^2}} = 0,777$$

Giá trị ở hai vế gần xấp xỉ bằng nhau, nên cosφ≈1. Tính giá trị cosφ. Từ hình H.2 ta có:

$$\text{tg}\gamma = \frac{I_d}{I_q} = \frac{-0,579}{0,716} = -0,8086$$

→ γ=-38,959°. Mặt khác:

$$\varphi = \delta + \gamma = 39,9^\circ - 38,959^\circ = 0,94^\circ \rightarrow \cos\varphi = 0,99986.$$

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã đưa ra được tổ hợp điều kiện để xác định cosφ=1 đối với động cơ LSPMSM. Từ các điều kiện này, trong quá trình thiết kế động cơ LSPMSM, các nhà chế tạo có thể điều chỉnh sau thiết kế các thông số điện kháng và điện trở một cách hợp lý để có được hệ số cosφ=1.□

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A.J Sorgdrager, A.J Grobler and R.J Wang, "Design procedure of a line start permanent magnet synchronous machine", Proceedings of the 22nd South African Universities Power Engineering Conference, 2014.

2. Kazumi Kurihara and M. Azizur "High Efficiency Line-Start Interior Permanent Magnet Synchronous Motors" IEEE transactions on industry applications, vol. 40, no. 3, may/june 2004

3. W. Fei, P. C. K. Luk, J.Ma, J. X. Shen, and G. Yang, "A High-Performance Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor Amended From a Small Industrial Three-Phase Induction Motor", IEEE transactions on magnetics, 2009.

4. Ihan Tarimer, "Investigation of the Effects of Rotor Pole Geometry and Permanent Magnet to Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor's Efficiency" Electronics and Electrical Engineering, issn 1392 - 1215, 2009. No. 2(90).

(Xem tiếp trang 41)

Việc di chuyển dàn chống trong thực tế không thực hiện bằng từ trạm điều khiển trung tâm mà phải thực hiện di chuyển theo từng đoạn lò chợ (từ 10÷15 m) bằng các tay điều khiển tại các dàn chống chính, dẫn đến thời gian khấu chống một chu kỳ kéo dài. Thông thường mỗi ngày đêm khấu chống được một chu kỳ với tiến độ 0,63 m, có những thời điểm thuận lợi có thể khấu chống được 2÷3 chu kỳ. Công tác chống giữ lò thượng thông gió giữ hậu thực hiện chậm, lý do: Đá vách trực tiếp, than trên nóc lò dễ tụt lở, việc lên xà cho lò thượng hậu phải tiến hành từ công tác khấu gương lò chợ. Mặt khác, các lò thượng tháo than, thượng thông gió bị lở, nén phải củng cố, chống xén nhiều nên ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ tiến gương lò chợ.

Dựa trên cơ sở các kinh nghiệm xử lý sự cố trong khai thác lò chợ và khả năng khai thác lò chợ thực tế, kết hợp với chiều dài lò chợ hoàn thiện là 40 m; báo cáo xây dựng biểu đồ tổ chức sản xuất lò chợ như sau: một chu kỳ sản xuất khai thác lò chợ sử dụng tổ hợp 2ANSH, bao gồm các công việc chính: khấu, di chuyển dàn chống giữ gương lò chợ; chống giữ thượng thông gió phía sau lò chợ; bảo dưỡng tổ hợp thiết bị.

Bố trí sản xuất 3 ca thực hiện xong một chu kỳ khai thác: hai ca thực hiện công tác khấu gương, di chuyển dàn chống. Trong mỗi ca khai thác bố trí khấu hai luồng lò chợ, tiến độ một luồng 0,63 m. Ca thứ ba chống giữ lò thượng thông gió, bảo dưỡng thiết bị dàn chống, loại bỏ và củng cố thượng tháo than. Biểu đồ tổ chức sản xuất và bố trí nhân lực hoàn thiện xem Bảng 1, Bảng 2.

4. Kết luận

Từ các kết quả đánh giá và nghiên cứu hoàn thiện, đề tài đã xây dựng biểu đồ tổ chức sản xuất, bố trí nhân lực và tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật cho phù hợp với điều kiện thực tế khai thác vỉa 12 khu Tràng Khê với công suất lò chợ là: 100.000 tấn/năm (khi sử dụng hai tổ hợp: một tổ hợp khai thác và một tổ hợp chuẩn bị). Tuy công suất lò chợ chưa cao, song đối với điều kiện vỉa dốc đứng thì việc áp dụng công nghệ này là chấp nhận được. Trong quá trình khai thác lò chợ cơ giới hóa sử dụng tổ hợp 2ANSH tại vỉa 12 khu Tràng Khê, cần xem xét cụ thể hơn mức độ ảnh hưởng của các yếu tố điều kiện địa chất-kỹ thuật mỏ (cấu tạo vỉa, chiều dày vỉa, đặc điểm và tính chất của đá vách trực tiếp,...) thường xảy ra tình trạng lò chợ bị rỗng nóc lở gương, dàn chống di chuyển chậm hoặc khó di chuyển dàn chống chính, hoặc cũng do đá vách yếu khi di chuyển dàn chống sang luồng mới đá vách, than dễ bị tụt lở gây khó khăn cho công tác lên xà tạm của lò thượng giữ hậu... □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Như Hùng (2000). Nguyên lý thiết kế mỏ hầm lò. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. Hà Nội.
2. Trần Văn Thanh, (2003). Bài giảng Công nghệ khai thác tiên tiến. Bài giảng dành cho học viên sau đại học. Hà Nội.
3. Sổ tay tóm tắt của cán bộ kỹ thuật mỏ. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. 1974. Hà Nội.
4. Trần Văn Thanh, Vũ Đình Tiến (2005). Công nghệ khai thác than hầm lò. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. Hà Nội.

Người biên tập: Võ Trọng Hùng

SUMMARY

Hồng Thái Coal Company had been investment and developing mechanization technology in coal seam thin, steep of the 12 coal seam in Tràng Khê area since the end of 2008. Improving on the organization of longwall production by using 2ANSH complex is suitable to the fact of the 12 coal seam. It has significantly meaning in the reality and also has scientific value in raising output and ensuring safety in underground mining.

XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN...

(Tiếp theo trang 34)

5. Juha Pyrhonen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcova, "Design of rotating electrical machines", John Wiley & Sons, 2008.
6. J.R. Hendershot và TJE Miller, "Design of brushless permanent magnet motors", Magna physics publishing, 2010.

Người biên tập: Đào Đắc Tạo

SUMMARY

It is possible to design a line start permanent magnet synchronous motors (LSPMSM) with a high $\cos\phi$ coefficient and efficiency factors. Therefore, nowadays the LSPMSMs are widely used in industry and in many areas. The paper identifies a combination of conditions in order to obtain the mention about power factors. The research results are verified by the RMxprt tool in Ansoft Maxwell software.