

QUY TRÌNH THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ TỪ TRỞ

SWITCHED RELUCTANCE MOTOR DESIGN PROCESS

Phí Hoàng Nhã^{1,2}, Đào Quang Thủy³, Phạm Hùng Phi¹

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; phihoangnha@gmail.com

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội; phihoangnha@haui.edu.vn

³Bộ Khoa học và Công nghệ; hvgn.98@gmail.com

Tóm tắt - Động cơ từ trở là động cơ có nhiều ưu điểm nổi bật, dần trở thành sự lựa chọn trong các hệ thống truyền động tốc độ cao. Chi phí chế tạo thấp do động cơ từ trở có cấu trúc đơn giản, rotor không có dây quấn và không có nam châm vĩnh cửu,... là yếu tố quan trọng được ưu tiên so với các loại động cơ khác. Do đó, động cơ từ trở đòi hỏi một quy trình thiết kế đầy đủ nhằm đáp ứng được yêu cầu chế tạo. Một quy trình thiết kế cho loại động cơ này được trình bày chi tiết trong bài báo. Các thông số thiết kế cho động cơ từ trở loại 6/4 theo quy trình đã được kiểm chứng, đánh giá dựa trên mô phỏng cấu trúc động cơ và phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Từ khóa - động cơ từ trở; SRM; quy trình thiết kế; phương pháp thiết kế; phần tử hữu hạn.

Abstract - Switched reluctance motor (SRM) with predominant advantages has become the choice in high speed transmission systems. The low cost of motor production due to simple structure, the permanent magnet and winding which are absent in the rotor, etc... are a priority factor compared to other motors. Therefore, switched reluctance motor requires a design method that meets the production requirements. A design process for this motor is presented in detail in the paper. The design parameters for switched reluctance motor with 6 stator poles and 4 rotor poles are verified based on the simulation of motor structure and analysis by finite element method.

Key words - switched reluctance motor; SRM; design process; design method; finite element method.

1. Giới thiệu

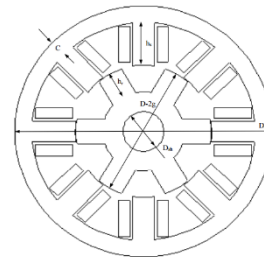
Với sự phát triển của công nghệ bán dẫn và điều khiển, động cơ từ trở (SRM) đang dần trở nên hấp dẫn đối với nhiều ứng dụng bởi các ưu điểm nổi trội như: cấu tạo đơn giản, độ bền cao, động cơ hoạt động ở vùng tốc độ lớn. Rotor không có nam châm vĩnh cửu, không có cuộn dây nên nhiệt độ cho phép của rotor cao hơn các loại động cơ khác. Mô men khởi động lớn, hiệu suất cao, không có tác động của dòng điện trong động cơ tại thời điểm khởi động. Mạch từ động cơ làm việc trong cả vùng tuyến tính và bão hòa của đường đặc tính từ B-H, sử dụng tối đa khả năng vật liệu sắt từ.

Hiện nay, việc nghiên cứu thiết kế động cơ từ trở đang là vấn đề thách thức đối với các nhà khoa học chuyên ngành điện. Các công trình ngoài nước [1], [2],... đưa ra phương pháp thiết kế SRM một cách tổng quát, chưa đưa ra được quy trình thiết kế chi tiết. Các nghiên cứu trong nước về động cơ từ trở còn nghèo nàn, chưa có công trình nào cung cấp phương pháp thiết kế cho loại động cơ này.

Vì vậy, bài báo cung cấp một quy trình thiết kế động cơ từ trở đầy đủ, chi tiết. Đồng thời, trang bị những kinh nghiệm thiết kế cho các kỹ sư, tạo cơ sở nền tảng cho thiết kế, chế tạo SRM trong nước. Phương pháp thiết kế bao gồm tính toán thiết kế kích thước sơ bộ cho stator, rotor, kích thước cuộn dây. Phương pháp phân tích phần tử hữu hạn cũng được đưa ra để xác minh cho quy trình thiết kế này.

2. Quy trình thiết kế

Trong thiết kế động cơ, dữ liệu quan trọng đầu tiên được xem xét là công suất, tốc độ, dòng điện và điện áp định mức. Từ những số liệu ban đầu đó, các kích thước cho stator và rotor được xác định. Khác với các động cơ thông thường khác, động cơ từ trở có nhiều kích thước ràng buộc, được xác định thông qua nhau, theo quy trình một chiều. Bảng 1 biểu diễn ký hiệu kích thước trong cấu trúc động cơ từ trở. Quy trình thiết kế được trình bày trong Hình 2.



Hình 1. Cấu trúc động cơ từ trở

Các kích thước chính trong tính toán thiết kế động cơ từ trở được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Ký hiệu các kích thước trong SRM

D _o : đường kính ngoài stator	D: đường kính trong stator	D _r : đường kính ngoài rotor
D _{sh} : đường kính trục	y _s (c): độ dày gông stator	h _s : chiều cao cực stator
g: khe hở không khí giữa	h _r : chiều cao cực rotor	y _r : độ dày gông rotor
t _s : độ rộng cực stator	t _r : độ rộng cực rotor	l: chiều dài động cơ

3. Lựa chọn các kích thước

3.1. Xác định kích thước chính

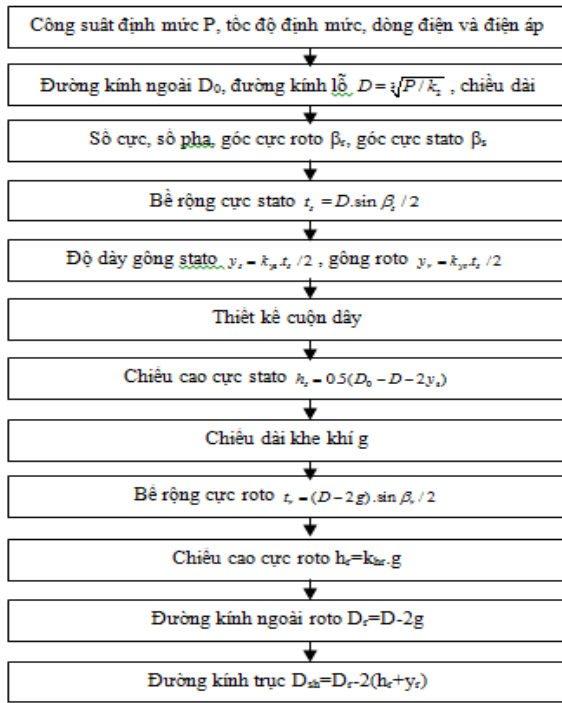
Khi thiết kế động cơ, dữ liệu cần biết đầu tiên đó là công suất định mức của động cơ cần thiết kế; tốc độ động cơ; dòng điện định mức và điện áp nguồn cung cấp. Với tốc độ và công suất cố định, ta có mô men định mức của động cơ:

$$T = \frac{P}{2\pi n} \quad (1)$$

trong đó T: mô men định mức (Nm);

P: công suất định mức (W);

n: tốc độ định mức (vòng/phút).



Hình 2. Quy trình thiết kế động cơ từ trở

3.1.1. Đường kính ngoài stator

Trong thiết kế, nếu kích thước máy quá lớn hay quá nhỏ, kích thước khung khác nhau có thể được dùng. Việc lựa chọn sơ bộ kích thước khung sẽ tự chỉnh đường kính ngoài của stator. Thực tế, đường kính ngoài của stator được tính toán theo công thức như sau:

$$D_0 = (\text{kích thước khung} - 3) \times 2 \quad (2)$$

với kích thước khung được đưa ra theo tiêu chuẩn IEC [3].

3.1.2. Đường kính trong stator và chiều dài động cơ

Kích thước của phần hoạt động trong máy điện phụ thuộc vào hai yếu tố là yêu cầu mô men và hiệu quả của hệ thống làm mát. Kích thước máy có thể được giảm bằng cách cải thiện hệ thống làm mát. Nhưng việc cải thiện hệ thống làm mát sẽ làm tăng chi phí sản xuất. Điều đó nghĩa là làm mát phải tương ứng với chi phí chế tạo. Do đó, tham số duy nhất quyết định đến kích thước động cơ là độ lớn mô men. Nói chung, các máy điện đều thiết kế từ phương trình đầu ra, mà liên quan tới đường kính trong stator D , chiều dài máy l , tốc độ n , từ trường và tải điện. Theo công thức tính công suất trong tài liệu [4], ta có thể đơn giản hóa phương trình tính công suất như sau:

$$\frac{P}{n} = T = a \cdot D \cdot l \quad (4)$$

trong đó a là hệ số tính toán.

Ta có quan hệ tỉ lệ giữa đường kính trong stator D và chiều dài động cơ l , ở đó chiều dài l được coi là bội hoặc ước của đường kính trong stator D :

$$l = k \times D \quad (5)$$

Thay thế l trong phương trình (4), kết quả là: $P_d \approx k_2 \times D^3$. Tại các điểm hoạt động: $0,65 < k_2 < 0,75$.

Từ đây, đường kính trong stator được xác định:

$$D = \sqrt[3]{\frac{P}{k_2}} \quad (6)$$

Tỷ lệ k trong $l = k \times D$ được quyết định bởi bản chất các ứng dụng và những ràng buộc nhất định. Đối với các ứng dụng không trợ lực (không secvo) dải k có thể: $0,25 < k < 0,7$; và cho các ứng dụng secvo thường là: $1 < k < 3$.

3.1.3. Lựa chọn số cực

Thông thường, các nhà thiết kế xác định số cực stator (N_s) và số cực rotor (N_r) theo một tỷ lệ và đảm bảo tỷ lệ đó không phải là số nguyên. Bằng phương pháp thực nghiệm, các kết hợp phổ biến số cực stator và rotor trong thiết kế được đưa ra:

N_s	4	6	8	10	12	12
N_r	2	4	6	8	8	10

Số cực stator, rotor sẽ quyết định đến số lượng van bán dẫn trong bộ điều khiển. Vì vậy, nếu số cực trong động cơ từ trở tăng làm chi phí sản xuất tăng, đồng thời, các cực rotor tăng làm tần số stator tăng theo, kết quả là tổn hao lõi tăng. Tuy nhiên, việc tăng số cực làm độ lớn của mô men đập mạch giảm đáng kể do nhiều pha dẫn chồng chéo nhau hơn, dẫn đến tiếng ồn động cơ giảm.

3.1.4. Lựa chọn số pha

Số lượng pha thường được xác định bởi các yếu tố như khả năng khởi động, khả năng định hướng, độ bền, chi phí, mật độ công suất hay hiệu suất hoạt động ở tốc độ cao. Lưu ý rằng, việc lựa chọn số cực, số pha được phân tích đánh giá trên cơ sở ưu, nhược điểm. Tuy nhiên, số cực, số pha được chọn theo mặc định như: động cơ 8/6 - 3 pha; động cơ 12/8 - 4 pha.

3.1.5. Lựa chọn góc cực rotor (β_r) và góc cực stator (β_s)

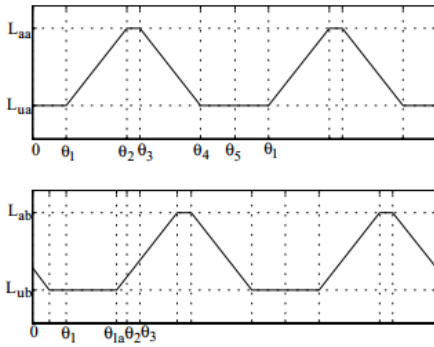
Việc lựa chọn góc cực stator và rotor là một phần quan trọng trong thiết kế. Sự lựa chọn góc cực phụ thuộc vào hai tiêu chí cơ bản gồm yêu cầu tự khởi động và sự hình thành đặc tính mô men tĩnh với vị trí rotor. Những yêu cầu này có thể được đưa vào thiết kế động cơ bằng việc tính toán góc cực stator và rotor tối thiểu để đạt được khả năng tự khởi động. Ba điều kiện để đảm bảo những yêu cầu trên gồm: $\beta_s > \theta_{rs}$; $\beta_r \geq \beta_s$; $\beta_r < \beta_s + \theta_{fr}$.

với θ_{rs} là góc điện: $\theta_{rs} = \frac{\theta_{rp}}{q} = \frac{2\pi}{q \cdot N_r}$ (rad), trong đó q là số

pha: $q = \frac{N_s}{2}$ và θ_{fr} là góc sụt giảm dòng điện tại điều kiện hoạt động định mức.

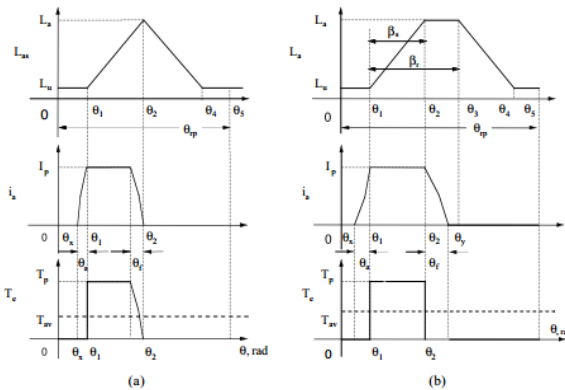
Điều kiện $\beta_s > \theta_{rs}$ được giải thích như sau: Nếu $\beta_s < \theta_{rs}$ có thể có một số vị trí mà máy không thể khởi động. Các điện cảm được lặp lại ở mỗi $2\pi/N_r$ (rad). Việc kiểm tra điện cảm hai pha liên tiếp có thể cung cấp góc nhìn sâu hơn về sự hình thành mô men, Hình 3. Nếu $\beta_s > \theta_{rs}$, khi $\theta_2 > \theta_{1a}$, trong đó hàm ý rằng pha b tăng điện cảm trước khi pha a đạt giá trị lớn nhất và sẽ không có vấn đề trong quá trình khởi động, một trong những pha có biên dạng điện cảm tăng. Nếu $\beta_s < \theta_{rs}$, khi đó $\theta_2 < \theta_{1a}$, trong đó hàm ý rằng pha b có điện cảm tăng chỉ sau khi pha a đạt giá trị lớn nhất và sẽ có vị trí rotor nhất định khi không có pha nào có biên

dạng điện cảm tăng, điều này có thể gây ra vấn đề trong quá trình khởi động. Do đó, yêu cầu $\beta_r > \theta_{rs}$ là điều hợp lý.



Hình 3. Điện cảm với vị trí rotor của hai pha liên tiếp [5]

Điều kiện $\beta_r \geq \beta_s$ được giải thích như sau: Trong thực tế, $\beta_r \geq \beta_s$ được ưu tiên vì nó cung cấp một vùng điện cảm lớn hơn một chút mà không bị mất đi điện cảm thẳng hàng. Các tài liệu chỉ ra rằng việc tăng góc cực rotor là nguyên nhân thay đổi mô men tối đa với vị trí rotor và ảnh hưởng độ rộng của xung mô men. Mặt khác, nó phải được xem xét từ khía cạnh cơ khí mà cực stator hẹp có thể dễ dàng kích thích dao động, đây là nguyên nhân gây tiếng ồn. Làm rộng góc cực có thể tránh được những vấn đề này nhưng khi đó khu vực khe nhỏ và tổn hao đồng cao. Khi $\beta_r > \beta_s$ có nhiều tác động tích cực trong việc điều khiển góc. Với cực rotor rộng, lực sinh ra lúc khởi động sớm nhưng cũng kết thúc sớm vì vùng chông chéo của cực stator, rotor rộng và tại đó $dL/d\theta = 0$ xung quanh vị trí thẳng hàng. Vì vậy, không có mô men được sinh ra ngay cả khi có dòng điện.



Hình 4. Ảnh hưởng của góc cực tới việc sinh mô men [4]

Một ưu điểm nổi bật khi $\beta_r > \beta_s$ đó là sự loại bỏ mô men âm. Bằng việc điều chỉnh góc mở dòng điện, dòng điện đỉnh có thể được duy trì trong toàn bộ khu vực sinh ra mô men dương. Điều này sẽ làm mô men trung bình tăng nhiều hơn so với khi $\beta_r = \beta_s$. Đây là lợi thế rất tốt ở cả điều kiện hoạt động tức thời và định mức. Hiệu quả được minh họa trong Hình 4, trong đó vùng sinh ra mô men và dòng điện đỉnh các pha được giả định là bằng nhau trong mỗi trường hợp. Loại bỏ các mô men âm sinh ra làm giảm mô men đập mạch và do đó giảm tiếng ồn.

Giới hạn trên của góc cực rotor là: $\beta_r = \beta_s + \theta_{fr}$, ở đó θ_{fr} là góc sụt giảm dòng điện tại điều kiện hoạt động định mức. Góc sụt giảm dòng điện có thể cho điều kiện định mức, giả thiết rằng dòng điện đỉnh stator, tốc độ, điện áp cung cấp là

ở giá trị định mức. Dựa trên đặc tính từ trường tuyến tính, góc sụt giảm dòng điện được tính theo [4] như sau:

$$\theta_{fr} = \tan \gamma \cdot \ln \left[1 + \frac{R_{sn} \cdot I_{pn}}{V_{dcn}} \right] \quad (7)$$

Nếu như việc tính toán θ_{fr} khó khăn, ta có thể sử dụng điều kiện sau: Đó là góc giữa góc cực rotor liền kề phải lớn hơn góc cực stator hoặc có sự trùng lặp giữa cực stator và rotor ở vị trí không thẳng hàng. Điều kiện này được biểu

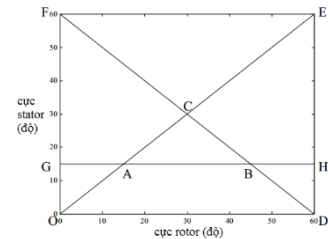
diễn: $\beta_r < \frac{2\pi}{N_r} - \beta_s$. Nếu trong tính toán, thiết kế không

tuân theo điều kiện này sẽ làm máy khởi động ở biên dạng điện cảm dương trước khi đạt giá trị nhỏ nhất, dẫn đến giá trị điện cảm không thẳng hàng cao hơn, dẫn tới mô men sinh ra thấp.

Một hướng dẫn tốt cho sự lựa chọn phù hợp góc rotor và góc stator là tiền đề tam giác khả thi Lawrenson. Ba điều

kiện gồm $\beta_r > \theta_{rs}$, $\beta_r > \beta_s$, $\beta_r < \frac{2\pi}{N_r} - \beta_s$ có thể biểu diễn trong

một hình vẽ để mô tả một tam giác có tính khả thi này (xét trong trường hợp SRM 8/6). Nó là cần thiết để góc cực rotor và góc cực stator nằm trong tam giác này, Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ khối của việc lựa chọn góc stator và rotor [5]

Các khu vực bên dưới OE là khu vực đại diện cho điều kiện 1. Khu vực trên GH là khu vực đại diện cho điều kiện 2. Khu vực dưới DF là đại diện cho điều kiện 3. Nếu $\beta_s < 20^\circ \rightarrow 20^\circ < \beta_r < 40^\circ$.

3.2. Thiết kế lõi sắt stator

3.2.1. Bề rộng cực stator

Sau khi xác định được β_s , ta tính được bề rộng cực stator theo công thức:

$$t_s = D \cdot \sin \frac{\beta_s}{2} \quad (8)$$

3.2.2. Độ dày gông từ stator

Độ dày gông từ stator y_s được xác định trên cơ sở của mật độ từ thông lớn nhất trong nó và được bổ sung điều kiện khác như giảm độ rung và giảm tiếng ồn âm thanh. Mật độ từ thông trên gông từ stator được xấp xỉ bằng một nửa mật độ từ thông trên cực stator. Điều đáng nói là khu vực của gông từ được chia sẻ giữa các pha khác nhau mà có thể bị chông chéo, nó là đề xuất cho chọn độ dày gông từ stator khoảng $20\% \div 40\% y_s$. Trong đó, gông từ y_s phải có tối thiểu là $0,5t_s$. Do cân nhắc về độ bền cơ học và giảm độ rung, y_s có thể có giá trị trong dải:

$$0,5t_s \leq y_s \leq t_s \quad (9)$$

Nên chọn giá trị cao hơn cho giá trị y_s so với mức tối thiểu của nó. Tài liệu [5] đề xuất:

$$y_s = k_{ys} \cdot \frac{t_s}{2} \quad (1, 1 < k_{ys} < 1,3) \quad (10)$$

Tuy nhiên, sự lựa chọn trên với giả thiết mật độ từ thông trong gông stator bằng 1/2 mật độ từ thông trên cực stator sinh ra, mà bỏ qua sự rò rỉ từ thông sang các cực khác.

3.2.3. Chiều cao cực stator

Chiều cao cực stator h_s càng lớn càng tốt để tối đa hóa khu vực dây quấn. Chiều cao cực stator tối thiểu xấp xỉ bằng chiều cao dây quấn, nhưng các cuộn dây cần khoảng không gian và cần một khoảng trống đủ nhỏ được yêu cầu gần mặt cực. Vị trí các cuộn dây ở góc cực thường không khít, do đó, một vài khoảng trống bổ sung bị mất phải được tính toán để tính chiều cao cực stator. Xem xét tất cả các yếu tố này và sự cần thiết giới hạn chiều dài cực, chiều cao cực trong điều kiện chiều cao dây quấn h_c là:

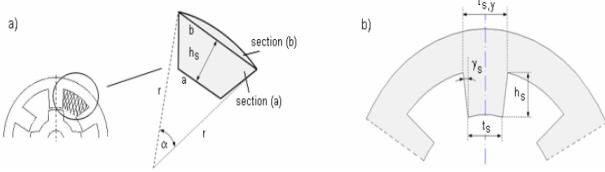
$$h_c < h_s < 1,4h_c \quad (11)$$

Mặt khác, khi đường kính ngoài stator D_0 , đường kính trong stator D đã biết, ta có:

$$h_s = \frac{1}{2}(D_0 - D - 2y_s) \quad (12)$$

3.3. Thiết kế cuộn dây

Kích thước chiều cao cực stator liên quan tới kích thước dây quấn trên cực stator, nên tác giả tính toán thiết kế dây quấn stator như sau: các rãnh có thể được tính toán bằng cách phân chia các rãnh stator thành hai phần như Hình 8.



Hình 6. Tính toán diện tích khe stator [2]

Mặt cắt ngang của phần hình thang A (a) có thể được tính bằng:

$$A(a) = \frac{1}{2}(a + b) \cdot h_s \quad (13)$$

Mặt cắt ngang của phần đoạn vòng tròn B(b) trong khe stator được tính toán với góc α , đó là góc mô tả không gian tự do giữa hai cực stator tại gông tương ứng bán kính gông stator là r :

$$A(b) = \frac{r^2}{2}(\alpha - \sin \alpha) \quad (14)$$

Tổng diện tích khe:

$$A_{\text{slot}} = A(a) + A(b) = \frac{1}{2}(a + b) \cdot h_s + \frac{r^2}{2}(\alpha - \sin \alpha) \quad (15)$$

Số vòng mỗi cực:

$$N_p = \frac{V_s \cdot \theta_d}{\omega} = \frac{1}{2p \cdot B_{sp} \cdot I_{stk} \cdot t_s} \quad (16)$$

Số vòng mỗi pha:

$$N_{ph} = 2p \cdot N_p = \frac{V_s \cdot \theta_d}{\omega \cdot B_{sp} \cdot I_{stk} \cdot t_s} \quad (17)$$

3.4. Khe hở không khí

Để lựa chọn được chiều dài khe hở không khí, cần đánh giá được chính xác mức độ ảnh hưởng của khe hở không khí tới mô men. Ảnh hưởng của chiều dài khe hở không khí tới mô men điện từ có nguồn gốc [4] như sau:

$$T_e = \left[\frac{1}{8} k_1 \mu_0 \right] \left[\frac{T_{ph}^2 D l}{g} \right] i^2 \quad (18)$$

Theo (18) ta thấy rằng khe hở không khí nhỏ sẽ sinh ra mô men lớn (với các kích thước khác không đổi). Hơn nữa, cần lưu ý rằng trong thực tế các điện cảm thẳng hàng tỷ lệ nghịch với chiều dài khe hở không khí. Do đó, bất kỳ sự giảm xuống của khe hở không khí dẫn đến sự gia tăng điện cảm thẳng hàng.

Sai số sản xuất và khoảng cách khe hở không khí tối thiểu có thể chế tạo được là hai yếu tố quan trọng thúc đẩy việc xác định chiều dài khe hở không khí tối thiểu. Các sai số lần lượt ảnh hưởng đến độ lệch tâm tối đa trong khoảng cách khe hở không khí phát sinh giữa các cực đối nghịch. Điều này quyết định độ lớn của lực từ không đồng đều trong rotor, dẫn đến sự hao mòn trong vòng bi rotor và tuổi thọ của chúng. Hơn nữa, điều này góp phần gây ra tiếng ồn.

Như vậy, để duy trì sự cân bằng dòng điện pha và tiếng ồn nhỏ, SRM cần có khe hở không khí tròn đều. Động cơ này cũng đòi hỏi khe hở không khí nhỏ để tối đa hóa mô men. Khe hở không khí nhỏ sẽ làm giảm từ trở ở khu vực chông chéo của các cực rotor, stator và do đó làm tăng mô men. Tuy nhiên, độ cong của trục và độ phồng ra của vật liệu với nhiệt độ tăng phải được xem xét trong quá trình thiết kế trong điều kiện sai số sản xuất. Cũng vì thế mà khe hở không khí nên được lựa chọn theo cách như vậy để máy làm việc đáng tin cậy trong điều kiện hoạt động ở tất cả các điểm làm việc.

Trong thực tiễn, giá trị đặc trưng của chiều dài khe hở không khí thường chọn trong khoảng: $0,2 \leq g \leq 0,6$ (mm) tùy thuộc vào kích thước ứng dụng.

3.5. Thiết kế lõi sắt rotor

3.5.1. Bề rộng cực rotor

Sau khi xác định được β_r , ta dễ dàng tính được bề rộng cực rotor theo công thức:

$$t_r = (D - 2g) \cdot \sin \frac{\beta_r}{2} \quad (19)$$

3.5.2. Chiều cao cực rotor

Chiều cao cực rotor ngăn dẫn đến một tỷ lệ điện cảm L_a / L_u nhỏ nhưng cho phép cực stator dài hơn nếu kích thước của lõi từ không thay đổi, do đó có nhiều không gian hơn cho cuộn dây stator. Một cực rotor lớn hơn tăng bán kính khe khí r_g , nhưng đồng thời các cực stator phải ngắn hơn. Do đó ít không gian hơn cho cuộn dây stator. Như vậy, cần tồn tại một giá trị tối ưu cho chiều cao cực rotor về tỷ lệ cảm ứng và khả năng sản xuất mô men xoắn. Do đó, [5] đề xuất một tỷ lệ chiều cao cực rotor với khoảng cách giữa các rotor giữa 0,55 và 0,75. Nếu đường kính D vẫn không thay đổi, chiều cao cực rotor bị hạn chế bởi sự cần thiết phải làm cho gông rotor đủ dày để mạng dòng từ thông mà không bão hòa, và cũng theo yêu cầu để làm cho đường

kính trục càng lớn càng tốt. Để có độ tự cảm cao, chiều cao của rotor phải ít nhất bằng 20 - 30 lần chiều dài khe khí, như được khuyến cáo trong [1]. K. Bienkowski [6] đề xuất chiều cao cực rotor được tính toán theo công thức sau:

$$h_r = k_{hr} \cdot g \quad \text{với } (15 < k_{hr} < 35) \quad (20)$$

3.5.3. Độ dày gông từ rotor

Độ dày gông từ rotor y_r được xác định bởi sự cần thiết của độ cứng cơ học và hoạt động mật độ từ thông. Trong SRM với rotor hai cực mô hình từ thông được chia thành hai phần bằng nhau khi nó rời khỏi cực rotor và đi vào gông rotor. Vì vậy, y_r không cần phải càng dày càng tốt mà nên có ít nhất 1/2 chiều rộng cực stator để mang từ thông đỉnh rotor mà không bão hòa. Phạm vi giá trị được chọn từ tính toán khe hở không khí giữa hai cực để cung cấp tỷ số cao giữa điện cảm thẳng hàng và không thẳng hàng (L_a/L_u). Nhưng đồng thời, nó cũng mong muốn có cực rotor ngắn hơn để tạo độ rung nhỏ nhất trong rotor. Về thực tế, các phần của gông rotor được chia sẻ giữa dòng khác nhau mà có thể bị chồng chéo, tài liệu [2] đưa ra công thức chọn y_r :

$$y_r = k_{yr} \cdot \frac{t_s}{2} \quad \text{với } (1,1 < k_{yr} < 1,3) \quad (21)$$

Theo [4] thường chọn: $0,5t_s < y_r < 0,75t_s$ và theo [5] thường chọn: $0,5t_s < y_r < 0,8t_s$

3.5.4. Đường kính ngoài rotor

$$D_r = D - 2g \quad (22)$$

3.5.5. Đường kính trục

Để tối đa hóa độ cứng, đường kính trục D_{sh} lớn là thuận lợi. Điều này góp phần vào việc giảm tiếng ồn và làm tăng tốc độ đầu tiên. Nếu chiều cao và chiều rộng các cực rotor, độ dày gông từ rotor là cố định, đường kính trục D_{sh} có thể thu được với đường kính ngoài rotor D_r như sau:

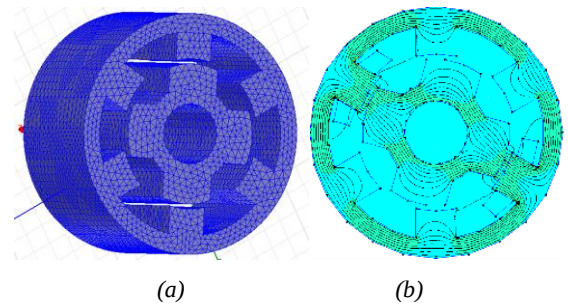
$$D_{sh} = D_r - 2(h_r + y_r) \quad (23)$$

Lưu ý khi lựa chọn đường kính trục D_{sh} cần đảm bảo trục đủ cứng và đủ lớn bởi: Ngoài việc phải chịu toàn bộ trọng lượng của rotor, trục còn chịu mô men xoắn và mô men uốn trong quá trình truyền động tải. Trục còn chịu lực hướng trục, thường là lực kéo như ở các máy kiểu trục đứng. Ngoài những tải trên còn phải chú ý đến lực từ một phía do khe hở không đều sinh ra. Cuối cùng, trục còn phải chịu lực do cân bằng động không tốt gây nên, nhất là khi quá tốc độ giới hạn.

4. Kiểm chứng thiết kế và đánh giá

Quy trình thiết kế được thử nghiệm cho thiết kế động cơ từ trở loại 6/4, các kích thước chính được cho trong Bảng 2. Các kích thước động cơ được thực hiện theo quy trình thiết kế trên và được mô phỏng phân tử hữu hạn. Kết quả cho thấy, SRM được thiết kế theo quy trình đảm bảo về kết cấu, đường thông lượng đối xứng, cân bằng được biểu diễn như Hình 7. Kết quả của nhóm tác giả công bố là

kết quả đánh giá bước đầu, để chế tạo và thử nghiệm động cơ từ trở 6/4 đòi hỏi cơ sở thiết bị lớn và nhiều thời gian, nên các kết quả chế tạo và thử nghiệm cụ thể sẽ được nhóm tác giả công bố trong các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 7. Cấu trúc động cơ từ trở 6/4
(a) Chia lưới phần tử hữu hạn, (b) Đường thông lượng phân bố trong SRM

Bảng 2. Thông số kích thước động cơ từ trở

N_s/N_r	6/4	β_s/β_r (độ)	20/24	g (mm)	0,3
D_0 (mm)	190	D (mm)	89,7	D_r (mm)	100
D_{sh} (mm)	28	y_s, y_r (mm)	12,5	l (mm)	114
h_s (mm)	77,2	h_r (mm)	59,5	Vật liệu	Silic

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày tổng thể quy trình thiết kế cho động cơ từ trở và kiểm chứng bằng phần mềm. Các giá trị kích thước của động cơ được lựa chọn, xác định chi tiết và đầy đủ. Phương pháp phân tử hữu hạn được sử dụng để kiểm chứng thiết kế và đánh giá khả năng hoạt động của SRM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Miller T.J.E, *Switched Reluctance Motors and their control*, Magna Physics Publishing, Hillsboro, 1993.
- [2] Torsten Wichert, *Design and Construction Modifications of Switched Reluctance Machines*, Ph.D. Thesis, Warsaw University of Technology, 2008.
- [3] International Electrotechnical Commission, *Dimensions and output ratings for rotating electrical machines – Frame numbers 56 to 400 and flange numbers F55 to F1080*, Publication 72, Geneva, Switzerland, 1971.
- [4] R. Krishnan, *Switched Reluctance Motor Drives*, Industrial Electronics Series, 2001.
- [5] Praveen Vijayraghavan, *Design of Switched Reluctance Motors and Development of a Universal Controller for Switched Reluctance and Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives*, Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute, 2001.
- [6] Bienkowski, K., Szczypior, J., Bucki, B., Biernat, A., Rogalski, "Influence of geometrical parameters of Switched Reluctance Motor on electromagnetic torque", *Berichte und Infomationen HTW Dresden*, ISSN 1433-4135, 1/2002.