

THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KHÔNG CHỖI THAN

● NGÔ TRỌNG TRÍ - PHAN VINH LỘC - NGUYỄN TƯỜNG LONG

TÓM TẮT:

Động cơ điện một chiều không chổi than (Brushless DC Motor - BLDC) được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng công nghiệp và dân dụng nhờ sở hữu hiệu suất cao, khả năng kiểm soát tốt hơn; đặc biệt với những ứng dụng mà ở đó không gian và khối lượng là những yếu tố quan trọng. Loại động cơ này rất đa dạng về thiết kế, trong đó cấu hình stator và rotor có ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động và hiệu suất động cơ. Bài báo này tập trung vào thiết kế động cơ điện một chiều không chổi than và đánh giá phương pháp giảm gợn mô men xoắn bằng cách tạo góc nghiêng nam châm dính trên rotor. Thiết kế được sử dụng trong bài báo là động cơ điện một chiều không chổi than rô to có gắn nam châm gắn trên bề mặt lõi W, 18 rãnh 12 cực ($S = 18, P = 12$). Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để phân tích, so sánh các giá trị không có góc nghiêng và có góc nghiêng cũng như giá trị cải thiện của nó đối với gợn mô men xoắn của rô to.

Từ khóa: bộ tản nhiệt động cơ ô tô, CAD và FEM, JMAG.

1. Đặt vấn đề

Động cơ điện một chiều không chổi than thường có đặc điểm có suất điện động ngược hình thang (EMF) và thường được điều khiển bởi dòng xung hình chữ nhật. Điều này dựa theo hoạt động của động cơ điện một chiều có chổi than. Từ góc độ này, cái tên "động cơ điện một chiều không chổi than" phù hợp mặc dù nó là động cơ xoay chiều. Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khác với động cơ điện một chiều không chổi than ở chỗ chúng thường có suất điện động ngược hình sin và được điều khiển bởi dòng điện hình sin [1].

Động cơ điện một chiều không chổi than (BLDC) được sử dụng rộng rãi vì chúng có các tính

năng vượt trội như nhỏ gọn, trọng lượng thấp, hiệu suất cao và dễ dàng trong kiểm soát [2].

Tất cả các động cơ điện đều vận hành giữa trên nguyên lý sự tương tác từ tính để tạo ra mô men xoắn khiến rô to quay. Có 2 loại mô men xoắn được tạo ra trong quá trình hoạt động của động cơ điện một chiều không chổi than như sau:

1) Mô men xoắn tương tác giữa nam châm vĩnh cửu và nam châm điện được tạo ra từ dòng điện chạy qua cuộn dây quấn quanh lõi thép stato, hay còn được gọi là mô men xoắn căn chỉnh.

2) Mô men xoắn ăn khớp phát sinh từ sự tương tác của nam châm vĩnh cửu và rãnh của lõi sắt kết cấu thép.

Phần lớn các ứng dụng đều yêu cầu thiết kế ít gợn mô men xoắn nhằm giảm bớt tạp âm, rung động, đảm bảo động cơ hoạt động trơn tru.

Mô men xoắn ăn khớp được cho là bằng không ở hai vị trí:

- 1) Khi nam châm rotor và răng lõi thép của stato đồng trục.
- 2) Khi nam châm rotor và rãnh của lõi thép stato đồng trục.

Gợn mô-men xoắn của động cơ có thể được cải thiện bằng cách làm giảm bớt mô-men xoắn ăn khớp. Dựa vào điều kiện năng lượng từ trường lưu trữ trong khe hở không khí bằng 0, mối quan hệ giữa chu kỳ mô-men xoắn ăn khớp và sự kết hợp của cực và khe có thể được tính toán, tạo tiền đề quan trọng cho các lý thuyết về giảm thiểu mô-men xoắn ăn khớp sau này. Các thông số thiết kế tối ưu chẳng hạn như sự kết hợp số lượng cực và khe, góc nghiêng của khe, hệ số vác của nam châm và độ mở khe stato,...

Bài báo này tập trung phân tích về gợn mô-men xoắn và sự thay đổi của gợn mô-men xoắn trong động cơ đối với các góc độ được làm xiên của nam châm trên stato.

Quá trình mô hình hóa động cơ điện một chiều không chổi than và tính toán các giá trị thuộc tính thì dùng tổ hợp các công cụ của CAD-Computer-Aided Design và FEM-Finite Element Method.

2. Thiết kế động cơ BLDC

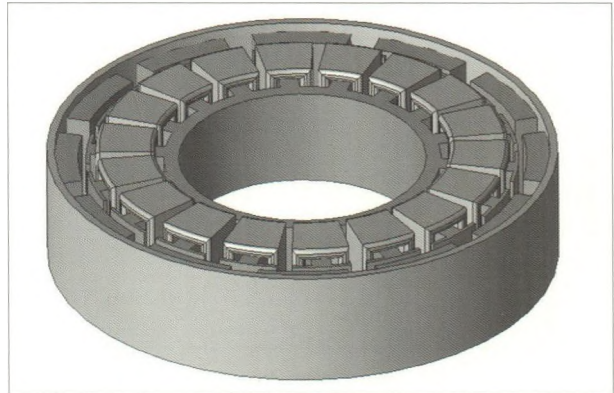
Nam châm rô to được lựa chọn sử dụng vật liệu nam châm Neodymium (ndfeb). Đây là một loại nam châm vĩnh cửu đất hiếm được làm từ hợp kim Neodymim, sắt và Bo, có ưu điểm là trọng lượng nhẹ, nhỏ nhưng lại có lực từ vô cùng lớn. (Hình 1)

Các thông số cơ bản của động cơ được thể hiện như Bảng 1.

Như đa phần các động cơ điện một chiều không chổi than khác, do đặc trưng về hình dạng suất điện động ngược hình thang, động cơ cũng được chuyển mạch bằng hệ thống chuyển mạch 6 bước. (Hình 2)

Với mức điện áp $V=10V$, $A=40A$, mô men xoắn trên rô to bằng $1.05Nm$ ở vận tốc $3100rpm$, hiệu suất của động cơ đạt khoảng 85.21% . (Hình 3)

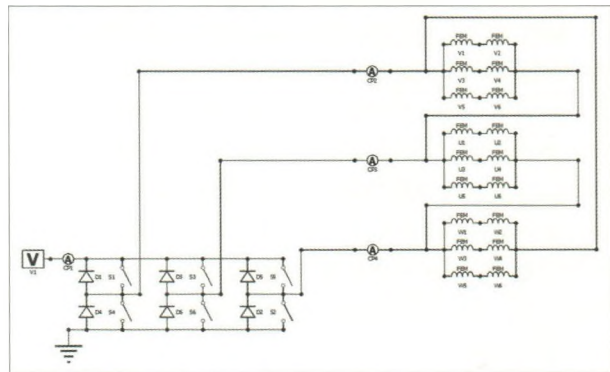
Hình 1: Mô hình BLDC S=18, P=12



Bảng 1. Thông số của động cơ

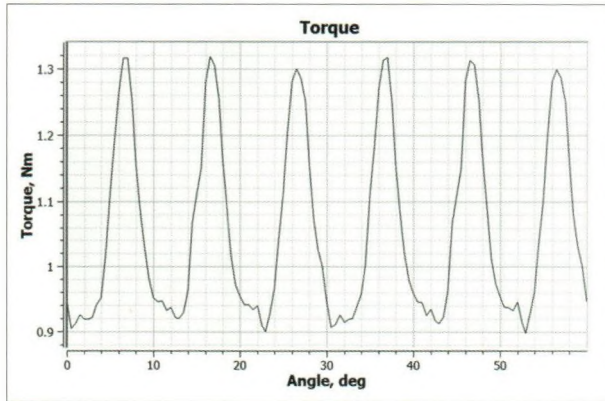
STT	Thuộc tính	Giá trị
1	Đường kính ngoài rô to	130mm
2	Đường kính trong rô to	126mm
3	Đường kính ngoài stato	110mm
4	Đường kính trong stato	63mm
5	Mô-men xoắn định mức	1.05Nm
6	Tốc độ	3100rpm
7	Số rãnh	18
8	Số cực	12
9	Độ dày nam châm	6mm
10	Số vòng quấn mỗi cuộn	19.5

Hình 2: Hệ thống chuyển mạch



Thông qua mô phỏng FEM, mô-men xoắn do lực điện từ tác dụng lên rô to trong một chu kỳ chuyển mạch từ 0 đến 60 độ (góc quay của rô to) được thể hiện như Hình 3. Ta thấy hiệu suất của động cơ đạt ở mức tốt, nhưng gợn mô-men xoắn

Hình 3: Biểu đồ mô-men xoắn



vẫn còn rất cao ở mức 39%, với công thức tỉ lệ gợn mô-men xoắn được cho như sau:

$$T_{ripple} = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{avg}} \cdot 100$$

Nếu cuộn dây pha có N vòng, tức là có 2N dây dẫn cắt qua từ trường, thì suất điện động tổng trong cuộn dây là:

$$E = 2NBlv = 2NBlr\omega_m$$

Trong đó, B: mật độ từ trường do nam châm tạo ra, l: chiều dài mỗi dây dẫn, v: vận tốc dài dây dẫn khi cắt qua từ trường, r: bán kính rô to, ω_m : vận tốc góc rô to.

Giá trị của suất điện động ngược trong động cơ có thể được tính toán trong phần mềm sử dụng cơ sở FEM bằng chế độ không tải. (Hình 4, Hình 5)

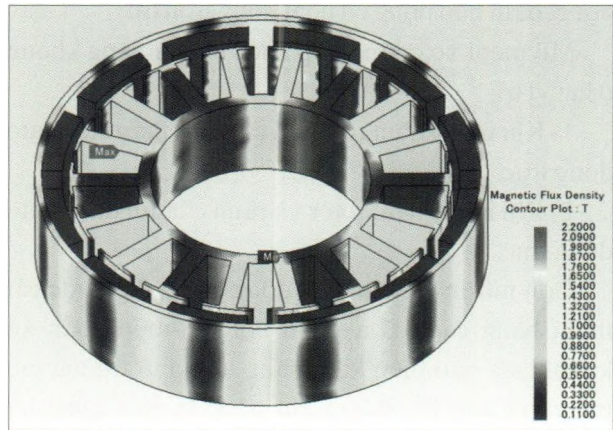
3. Thiết kế góc nghiêng cho nam châm

Một trong những phương pháp phổ biến nhất để tăng chất lượng mô-men xoắn là làm xiên stato hoặc rô to. Tuy nhiên, việc sử dụng góc nghiêng cho stato thực tế rất khó khăn do bề mặt hình học phức tạp của lõi thép đồng thời gây khó khăn trong việc quấn dây và thiết kế máy quấn dây phù hợp. Do đó, sử dụng rô to hoặc nam châm được làm xiên vẫn là một phương pháp phổ biến hơn cả. (Hình 6)

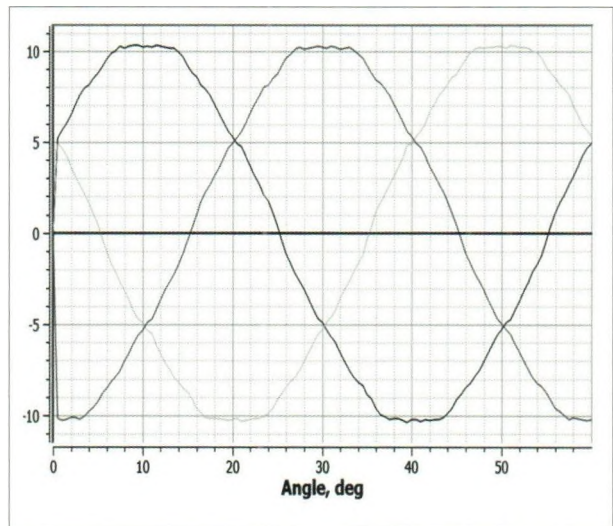
Các góc nghiêng được sử dụng cho việc phân tích và mô phỏng lần lượt là 5° và 10°, được thể hiện như trong Hình 7.

Mô-men xoắn ăn khớp có thể được có thể được tính toán thông qua năng lượng được lưu trữ trong khe hở không khí [3].

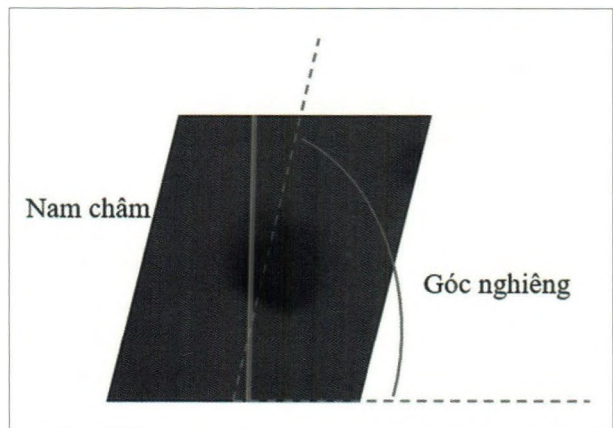
Hình 4: Phân bố thông lượng từ thông qua bề mặt động cơ



Hình 5: Suất điện động ngược trong cuộn dây

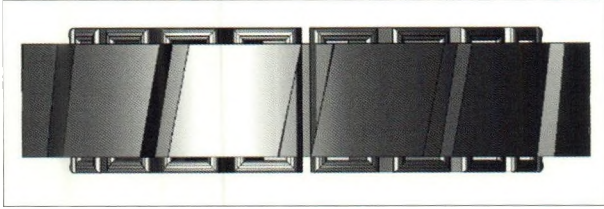


Hình 6: Góc nghiêng của nam châm

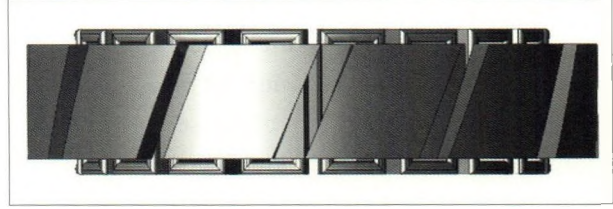


Hình 7: Góc nghiêng của nam châm (a) 5° và (b) 10°

(a)



(b)



$$T_c = \frac{dW}{d\theta}$$

Với, T_c : mô-men xoắn ăn khớp, $\partial\theta$: góc quay của rô to, ∂W : năng lượng lưu trữ trong khe hở không khí.

Vì độ lớn và chu kỳ mô-men xoắn là độc lập so với hướng quay của rô to, mối quan hệ giữa góc cân bằng và tổ hợp của số cực kèm số rãnh có thể được thể hiện như sau [4]:

$$\theta = \text{Min} \left| k \frac{2\pi}{N_s} - m \frac{2\pi}{N_p} \right|, k, m \in N_+$$

N_s là số rãnh, N_p là số cực của rô to, $\theta \neq 0$. Do đó, khi rô-to quay hết một vòng, số chu kỳ của mô-men xoắn ăn khớp là [4]:

$$N_c = \frac{2\pi}{\theta} = \text{LCM}(N_s, N_p)$$

Trong đó, LCM đại diện cho bội chung nhỏ nhất của N_s và N_p .

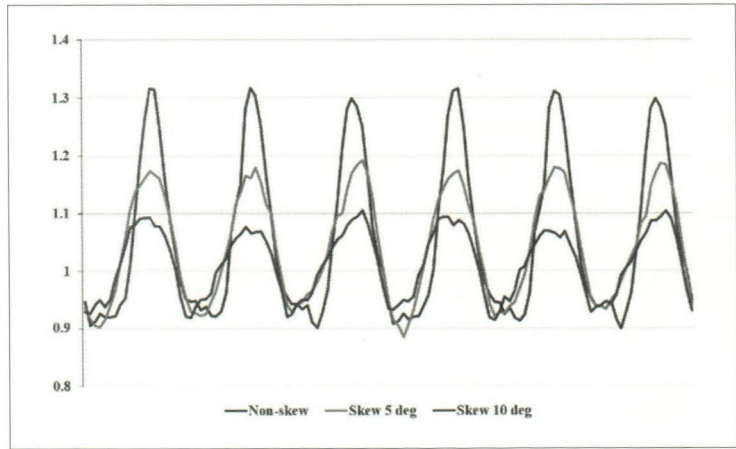
Mô-men xoắn có tính tuần hoàn xuyên suốt khe hở không khí. Dựa theo tính chất này và phép biến đổi Fourier, ta có:

$$T_{stepskew}(\alpha) = \sum_{k=1}^{\infty} T_{kj} \cdot \text{Sin}(kjN_c\alpha)$$

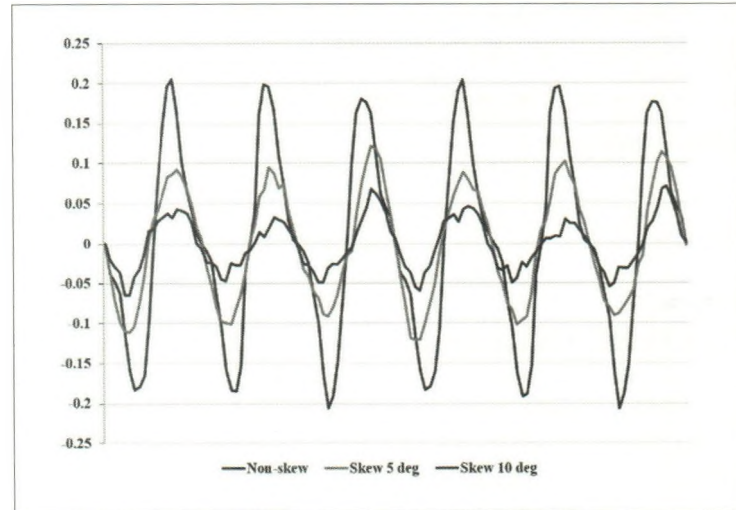
Với, j là số đoạn chia của nam châm. Khi số đoạn chia tiến đến vô cùng, như trường hợp góc nghiêng trong Hình 7, công thức tính mô-men xoắn ăn khớp có thể được biểu diễn thành:

$$T_{stepskew}(\alpha) = \lim_{j \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{\infty} T_{kj} \cdot \text{Sin}(kjN_c\alpha)$$

Hình 8: Mô-men xoắn trên rô-to



Hình 9: Sự cải thiện mô-men xoắn ăn khớp



Mô phỏng sự ảnh hưởng của góc nghiêng nam châm đối với mô-men xoắn ăn khớp

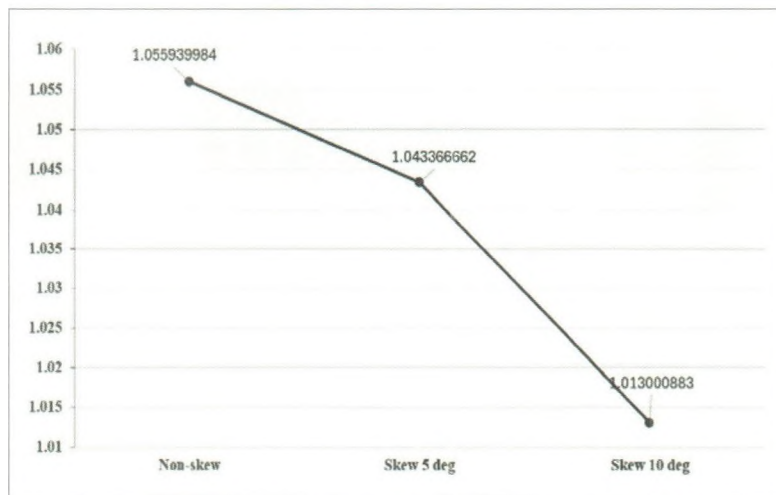
Tính toán và mô phỏng động cơ điện một chiều không chổi than được thực hiện theo phương pháp phần tử hữu hạn, thông qua phần mềm JMAG.

Ta có thể thấy gợn mô-men xoắn được cải thiện tỉ lệ thuận với góc nghiêng của nam châm trên rô-to. Tuy nhiên, khi góc nghiêng của nam châm càng lớn, mô men xoắn trung bình của động cơ cũng sẽ giảm theo, cũng như càng khó khăn trong việc chế tạo và lắp ráp trong thực tế. (Hình 8, Hình 9, Hình 10)

5. Kết luận

Bài báo trình bày thiết kế động cơ điện một chiều không chổi than với 18 cực và 12 rãnh. Thiết kế được tính toán bằng phương pháp giải tích và sự hỗ trợ của phần mềm mô phỏng dựa trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn. Trong đó, các kết quả đạt được bao gồm mô-men xoắn, suất điện động ngược và hiệu suất của

Hình 10: Mô-men xoắn trung bình



động cơ. Các lý thuyết về tạo góc nghiêng cho nam châm trên rô-to được sử dụng để làm giảm bớt gợn mô-men xoắn trên động cơ ■

Lời cảm ơn:

❖ *Bản quyền phần mềm autocad2020 và Inventor2020 được hỗ trợ bởi Công ty TNHH ONECAD VIET NAM.*

❖ *Bản quyền phần mềm ANsys Release 17.2 Academic Research được hỗ trợ bởi Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP. Hồ Chí Minh.*

❖ *Cảm ơn Công ty Dongjin Việt Nam đã hỗ trợ công cụ nghiên cứu ứng dụng Động cơ điện một chiều không chổi than.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Sandeep Kumar Chawrasia, Aakash Das, Chandan Kumar Chanda (2020). Design and Analysis of Electric bike Hub-Motor using Motor-CAD. 2020 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies.
2. Duane C. Hanselman, (2003). Brushless permanent magnet motor design 2nd edition.
3. A. Ahmed, D. D. Bhutia, (2015). Propulsion System Design and Sizing of an Electric Vehicle. International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Volume 3, No. 1.
4. Sizhan Hua, Xueyi Zhang, Jun Zhang, Chenglong Yu, Fanxi Meng, Wei Wang, Kai Geng and Wenjing Hu, (2024). Improved Skew Method in Permanent Magnet Motor with Segmented Rotors for Reducing Cogging Torque.s

Ngày nhận bài: 2/8/2024

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 5/9/2024

Ngày chấp nhận đăng bài: 15/9/2024

Thông tin tác giả:

1. NGÔ TRỌNG TRÍ¹

2. ThS. PHAN VĨNH LỘC¹

3. TS. NGUYỄN TƯỜNG LONG¹

¹Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP. Hồ Chí Minh

DESIGNING AND SIMULATING A BRUSHLESS DC MOTOR

● NGO TRONG TRI¹

● Master. PHAN VINH LOC¹

● Ph.D NGUYEN TUONG LONG¹

¹Ho Chi Minh City University of Technology,
Vietnam National University - Ho Chi Minh City

ABSTRACT:

This study investigated the design and optimization of a brushless DC motor (BLDC) to mitigate torque ripple. BLDC motors, renowned for their efficiency and controllability, are widely employed in various applications. However, torque ripple can degrade performance and generate undesirable vibrations. To address this issue, this study proposed a design modification involving the introduction of a tilt angle to the surface-mounted permanent magnets on the rotor. A finite element analysis (FEA) is conducted to compare the performance of the BLDC motor with and without the tilt angle. The results demonstrated a significant reduction in torque ripple, leading to improved motor performance and smoother operation.

Keywords: car engine radiator, CAD and FEM, JMAG.