

THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỖI THAN ỨNG DỤNG TRONG LĨNH VỰC XE ĐIỆN

DESIGN OF BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR APPLICATIONS IN ELECTRIC VEHICLES

Phan Hoài Nam, Trần Đức Chuyển

Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 08/ 9 /2025, chấp nhận đăng ngày 22/10/2025

Tóm tắt: Việc sử dụng động cơ điện một chiều không chổi than (BLDC) ngày càng trở nên cấp thiết do nhu cầu cao về hiệu suất, tiết kiệm năng lượng và khả năng ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như giao thông, xe điện, điện gia dụng và công nghiệp. Hiện nay, rất nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới đã tập trung vào việc thiết kế và tối ưu các động cơ BLDC nhằm nâng cao hiệu suất, độ tin cậy và giảm chi phí sản xuất. Nghiên cứu này nhằm thiết kế và mô phỏng một động cơ BLDC công suất nhỏ (320 W, 12 V) sử dụng nam châm NdFeB hiệu suất cao, thông qua phần mềm mô phỏng ANSYS Maxwell. Kết quả nghiên cứu đóng góp vào việc cung cấp các thông số kỹ thuật tối ưu và mô hình thiết kế cụ thể, đáp ứng được yêu cầu thực tiễn như công suất ổn định, hiệu suất cao và giảm thiểu tổn thất năng lượng, giúp định hướng ứng dụng rộng rãi hơn cho loại động cơ xe điện tại Việt Nam.

Từ khóa: Động cơ một chiều không chổi than, mô phỏng phần tử hữu hạn, ANSYS Maxwell, xe điện, năng lượng, nam châm vĩnh cửu.

Abstract: The use of Brushless DC (BLDC) motors has become increasingly critical due to the high demand for efficiency, energy savings, and extensive applicability across various fields, such as transportation, electric vehicles, household appliances, and industry. Currently, numerous researchers worldwide are focusing on designing and optimizing BLDC motors to enhance their efficiency and reliability while reducing manufacturing costs. This research aims to design and simulate a small-power BLDC motor (320 W, 12 V) employing high-performance NdFeB magnets, using ANSYS Maxwell simulation software. The study's outcomes contribute to providing optimal technical parameters and specific design models that meet practical requirements such as stable power output, high efficiency, and minimized energy losses, thereby facilitating broader applications of this type of motor in electric vehicles in Vietnam.

Keywords: Brushless DC motor, finite element analysis, ANSYS Maxwell, electric vehicles, energy, permanent magnet.

1. GIỚI THIỆU

Động cơ điện BLDC là một dạng máy điện quay đồng bộ sử dụng nam châm vĩnh cửu trên roto và hệ thống điều khiển bằng các van điện tử công suất thay cho bộ chổi than, góp của những động cơ một chiều truyền thống (rất thường xuyên bị hư hỏng). Nhờ loại

bỏ ma sát và tổn hao do chổi than, động cơ BLDC có nhiều ưu điểm như hiệu suất cao, mômen khởi động lớn, mật độ công suất và mômen trên trọng lượng cao, hoạt động êm ái và độ tin cậy cao [1-3]. Với những ưu điểm đó, BLDC hiện được ứng dụng rộng rãi trong các thiết bị điện dân dụng, công nghiệp và đặc

biệt là trong các phương tiện giao thông điện như xe điện, nơi yêu cầu hiệu suất và độ bền cao, đảm bảo tính kinh tế cũng như tính năng điều khiển tốt. Nhu cầu phát triển động cơ điện BLDC cho xe điện đạt hiệu suất cao ngày càng trở nên cấp thiết trong bối cảnh ô nhiễm khí thải, tiết kiệm năng lượng và sử dụng năng lượng sạch để bảo vệ môi trường, [2, 4, 5].

Khi đi phân tích với một số động cơ khác ta thấy sự khác biệt như sau:

Động cơ không đồng bộ (IM): có giá thành rẻ và bền nhưng lại hạn chế trong các ứng dụng cần điều chỉnh tốc độ, có hiệu suất không cao.

Động cơ từ trở chuyển mạch (SRM) cho độ bền vượt trội nhưng bị hạn chế mạnh bởi tiếng ồn, rung và hệ thống điều khiển phức tạp.

Động cơ đồng bộ (PMSM/IPM) là tối ưu về hiệu suất nhất nhưng chi phí cao, cần thiết bị điều khiển phức tạp, thường dùng trong công nghiệp và trong máy móc gia công cơ khí.

Từ những hạn chế đó, động cơ BLDC là lựa chọn cân bằng tốt nhất cho các ứng dụng trên với ưu điểm hiệu suất cao (85-96%), mômen khởi động lớn, kích thước nhỏ gọn, trọng lượng nhẹ, phản hồi nhanh và chính xác, ít bảo trì do không dùng chổi than, hoạt động êm ái và ít ồn, vật liệu chế tạo phổ biến phù hợp sản xuất đại trà, [7, 8, 9]. Ngoài ra ở trong nước, hiện nay việc đi nghiên cứu mô phỏng, điều khiển, thiết kế động cơ BLDC chưa được quan tâm nghiên cứu nhiều, [10, 11]. Những nghiên cứu này, chưa nghiên cứu chuyên sâu về sử dụng phần mềm thiết kế chuyên dụng như Ansys Maxwell có độ chính xác cao sát với thực tế.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ

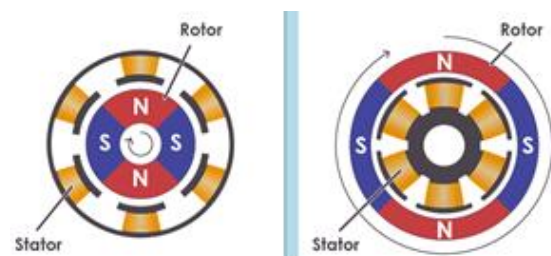
2.1. Cơ sở lý thuyết để thiết kế

Động cơ BLDC dần thay thế động cơ chổi than trong hầu hết thiết bị điện tử tiêu dùng và

công nghiệp: ổ cứng, ổ quạt, máy bay mô hình, xe điện, dụng cụ cầm tay, robot công nghiệp, thiết bị máy móc gia công kim loại CNC (Computer Numerical Control), máy giặt, thiết bị bơm/quạt công nghiệp, phương tiện giao thông cá nhân như xe điện, robot công nghiệp, các thiết bị y tế, thiết bị gia dụng thông minh (máy giặt gia đình), máy nén lạnh, HVAC (hệ thống sưởi ấm, thông gió và điều hoà không khí)...

Trong ngành công nghiệp, BLDC lý tưởng cho điều khiển chuyển động, robot trong công nghiệp, máy công cụ CNC, nhờ khả năng kiểm soát mômen chính xác, điều khiển được trực tiếp mômen trong quá trình điều khiển, động cơ BLDC làm việc với dải tốc độ rộng và chi phí bảo trì, bảo dưỡng thấp.

Động cơ BLDC được thiết kế có roto phía trong như Hình 1, cấu trúc loại này còn được gọi là “Inrunner”. Khi đó với thiết kế này, các nam châm vĩnh cửu được nằm phía trên roto ở bên trong, và roto này quay bên trong các cuộn dây của stator. Bên cạnh đó, cũng có một cấu hình phổ biến khác là “outrunner”, nơi cuộn dây stator nằm ở trung tâm và roto với nam châm vĩnh cửu quay xung quanh bên ngoài. Với cấu trúc loại này thường được sử dụng trong các động cơ Hub của xe điện.



Hình 1. Các kiểu động cơ BLDC

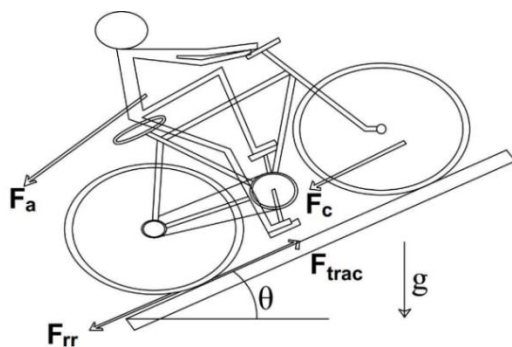
Động cơ thiết kế như Hình 2.

Việc đi nghiên cứu động cơ BLDC cho xe điện là một lĩnh vực quan trọng và đang phát triển mạnh mẽ: tối ưu hóa cấu trúc stato và

roto để giảm trọng lượng, kích thước nhưng vẫn đảm bảo hiệu suất. Lựa chọn các vật liệu chất lượng cao cho cuộn dây (đồng, nhôm), nam châm vĩnh cửu (Neodymium - NdFeB) và lõi thép từ (laminated steel) để giảm tổn thất năng lượng và tăng hiệu suất. Vấn đề điều khiển với sức điện động hình thang để tối ưu hóa mômen xoắn, giảm tiếng ồn và tăng hiệu quả năng lượng, dùng cho xe điện và xe đạp điện Hình 3.



Hình 2. Động cơ BLDC roto ngoài



Hình 3. Tổng hợp lực tác dụng lên phương tiện

Trên Hình 3 này thể hiện các lực tác động lên một phương tiện khi di chuyển trên dốc với F_a là lực cản khí động học, F_{rr} lực cản lăn, F_c lực leo dốc, F_{trac} lực kéo tổng, g gia tốc trọng trường, θ góc nghiêng của dốc. Phương tiện tham chiếu là xe hai bánh với các thông số như Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số chính

Ký hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị
m	Khối lượng toàn bộ	250	kg
g	Gia tốc trọng trường	9,81	m/s^2
μ_{rr}	Hệ số cản lăn	0,004	-

Ký hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị
r_{wheel}	Bán kính bánh xe	0,1125	m
δ	Mật độ không khí	1,23	kg/m^3
C_d	Hệ số cản không khí	0,88	-
v	Vận tốc	19,1	km/h
θ	Độ dốc	0	độ

2.2. Tính toán thiết kế động cơ BLDC trong lĩnh vực xe điện

Quá trình nghiên cứu nghiên cứu tính toán BLDC là một quá trình phức tạp bao gồm nhiều bước, từ việc xác định các yêu cầu kỹ thuật đến mô phỏng và kiểm tra thực tế:

Mômen định mức được thể hiện qua công suất P_o và tốc độ góc ω , [3]:

$$T = \frac{P_o}{\omega} \quad (1)$$

Các công thức tiếp theo tác giả tham khảo ở tài liệu [4]. Vận tốc góc cơ khí:

$$\omega_m = \frac{T}{\omega} \quad (2)$$

Vận tốc góc đồng bộ của động cơ:

$$\omega_e = \frac{N_m}{2} \cdot \omega_m \quad (3)$$

Trong đó, N_m là số cực nam châm.

Tần số điện cơ bản:

$$f_e = \frac{\omega_e}{2\pi} \quad (4)$$

Số rãnh Stator

$$N_s = N_{sp} \cdot N_{ph} \quad (5)$$

Trong đó, thành phần $N_{sp} = \frac{N_s}{N_{ph}} \geq N_m$ là số rãnh trên một pha. Số pha $N_{ph} = 3$.

Số rãnh trên một pha dưới một cực:

$$N_{spp} = \frac{N_{sp}}{N_m} \quad (6)$$

Với N_m là số cực nam châm điện.

Số rãnh trên một cực được tính:

$$N_{sm} = N_{spp} \cdot N_{ph} \quad (7)$$

Hệ số bước:

$$\alpha_{cp} = \frac{\text{int}(N_{sm})}{N_{sm}} = \frac{\tau_c}{\tau_p} \quad (8)$$

Góc bước cực:

$$\theta_p = \frac{2\pi}{N_m} \quad (9)$$

Góc bước rãnh:

$$\theta_s = \frac{2\pi}{N_s} \quad (10)$$

Góc điện, bước rãnh:

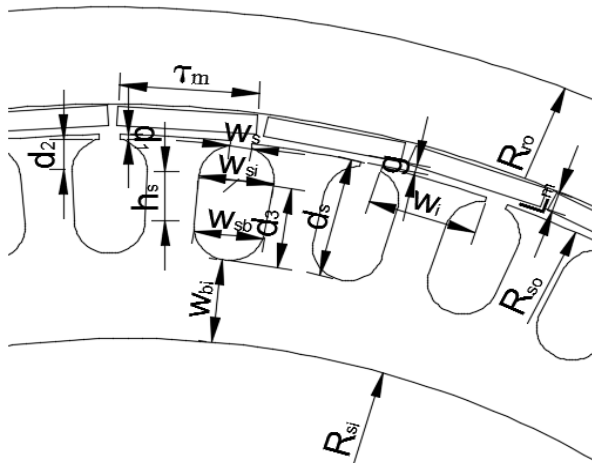
$$\theta_{se} = \frac{\pi}{N_{sm}} \quad (11)$$

Bước cực stator:

$$\tau_p = R_{os} \cdot \theta_p \quad (12)$$

Bước dây quấn:

$$\tau_c = \alpha_{cp} \cdot \tau_p \quad (13)$$



Hình 4. Kích thước của động cơ

Hình 4 thể hiện các kích thước của động cơ xe điện với d_1 là chiều cao cổ rãnh, thành phần w_{si} , w_{sb} , bề rộng thân trên và dưới, h_s là chiều cao của rãnh,... Dưới đây là cách xác định các kích thước của động cơ BLDC đi nghiên cứu được viết:

$$d_2 = \frac{w_{si}}{2} \quad (14)$$

$$d_3 = \frac{w_{sb}}{2} + h_s \quad (15)$$

$$w_t = \tau_c - w_s \quad (16)$$

Bán kính trong của stator:

$$R_{si} = R_{so} - d_s - w_{bi} \quad (17)$$

Trong đó, d_s bán kính ngoài của rotor:

$$d_s = d_1 + d_2 + d_3 \quad (18)$$

Bán kính trong của rotor R_{ri} là:

$$R_{ri} = R_{so} + L_m + g \quad (19)$$

Hệ số phân phối:

$$k_{d1} = \frac{\sin\left(\frac{N_{spp} \cdot \theta_{se}}{2}\right)}{N_{spp} \cdot \sin\left(\frac{\theta_{se}}{2}\right)} \quad (20)$$

Hệ số bước:

$$k_p = \alpha_{cp} \quad (21)$$

Hệ số nghiêng:

$$k_s = 1 - \frac{\theta_{se}}{2\pi} \quad (22)$$

Hệ số nồng độ thông lượng

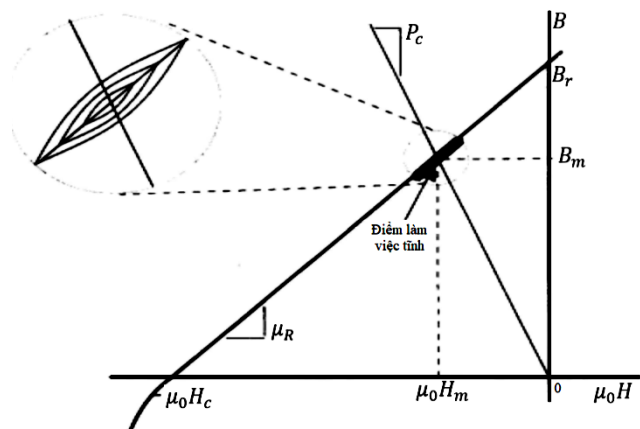
$$C_\phi = \frac{2 \cdot \alpha_m}{1 + \alpha_m} \quad (23)$$

Trong đó, $\alpha_m = \frac{\tau_m}{\tau_p}$ hệ số phân số nam châm, τ_m là chiều rộng nam châm.

Hằng số từ môi:

$$P_c = \frac{l_m}{g \cdot C_\phi} \quad (24)$$

Với, l_m là chiều dài nam châm.



Hình 5. Đường cong khử từ của nam châm

Trên Hình 5, trục B là giá trị mật độ từ thông trong lõi thép, và trục $\mu_0 H$ là giá trị mật độ từ thông trong không khí, với các giá trị B_r là

cảm ứng từ dư, B_m giá trị từ thông cực đại, μ_r μ_0 độ từ thẩm của lõi thép và độ từ thẩm của không khí, H_c là cường độ từ kháng, H_m cường độ từ trường cực đại.

Tiết diện khe hở không khí:

$$A_g = \frac{\tau_p \cdot L \cdot (1 + \alpha_m)}{2} \quad (25)$$

Mật độ từ thông khe hở không khí sơ bộ:

$$B_g = \frac{C_\phi}{1 + \frac{\mu_r \cdot k_c \cdot k_{ml}}{P_c}} \cdot B_r \quad (26)$$

Trong đó, B_r là mật độ từ dư.

Từ thông khe hở không khí:

$$\Phi_g = B_g \cdot A_g \quad (27)$$

Chiều rộng gông sơ bộ:

$$\omega_{bi} = \frac{\Phi_g}{2 \cdot B_{max} \cdot k_{st} \cdot L} \quad (28)$$

Hệ số ép chặt $K_{st} = 0,95$. Thành phần B_{max} mật độ từ thông cho phép ở trong gông $B_{max} = 1,45$ T.

Chiều rộng răng sơ bộ:

$$\omega_{tb} = \frac{2}{N_{sm}} \cdot \omega_{bi} \quad (29)$$

Tiết diện rãnh chứa dây quấn sơ bộ:

$$A_s = h_s \cdot \left[\theta_s \cdot \left(R_{so} - d_1 - \frac{h_s}{2} - d_2 \right) - \omega_{tb} \right] + \pi \cdot \frac{\omega_{sb}^2}{4} \quad (30)$$

Sức phản điện động lớn nhất:

$$e_{max} = N_m \cdot k_d \cdot k_p \cdot k_s \cdot B_g \cdot L \cdot R_{ro} \cdot N_{spp} \cdot n_s \cdot \omega_m$$

Dòng điện rãnh đỉnh:

$$I_s = \frac{T \cdot \omega_m}{e_{max}} \quad (31)$$

Dòng điện pha sơ bộ:

$$I_{ph} = \frac{I_s}{N_{ph} \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}} \quad (32)$$

Mật độ dòng điện dây quấn đỉnh:

$$J_c = \frac{I_s}{k_{cp} \cdot A_s} \quad (33)$$

Số sợi trong 1 rãnh:

$$u_r = \frac{1000000 \cdot 4 \cdot A_s}{\pi \cdot d \cdot n_s} \quad (34)$$

Từ các biểu thức tính toán phân tích ở trên, ta tiến hành nghiên cứu mô phỏng ra kết quả ở phần ba như sau.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Việc áp dụng các phương pháp tính toán và thiết kế máy phát điện, đặc biệt là phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), đã chứng minh được độ tin cậy cao trong mô phỏng động cơ điện. Phần mềm Ansys Maxwell là một công cụ chuyên dụng cho việc mô phỏng máy điện, sử dụng kỹ thuật phân tích phần tử hữu hạn dựa trên các phương trình Maxwell để đánh giá và phân tích đặc tính điện từ của thiết bị.

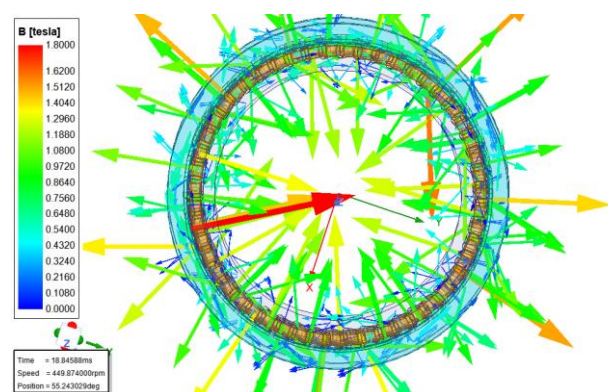
Định luật cảm ứng Faraday: $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$

Định luật Gauss về từ trường: $\nabla \cdot B = 0$

Định luật Ampere: $\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$

Định luật Gauss về điện trường: $\nabla \cdot D = \rho$

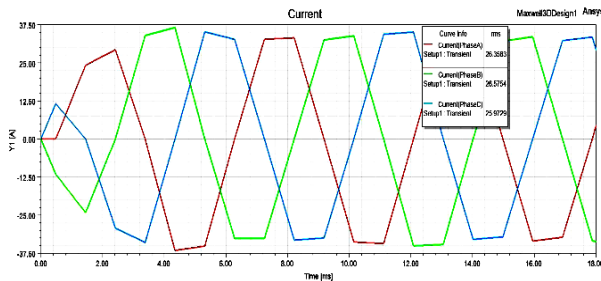
Ta có kết quả mô phỏng như sau:



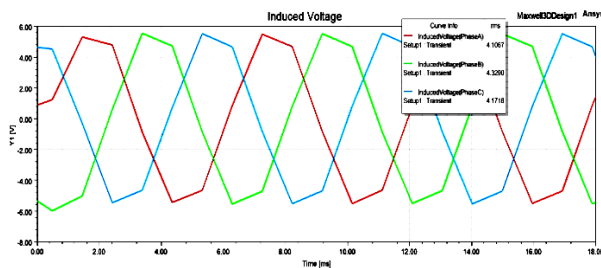
Hình 6. Mật độ từ thông

Nhìn vào kết quả mô phỏng của hình 6 ta thấy: mật độ từ thông là một yếu tố then chốt, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất, luôn tạo ra

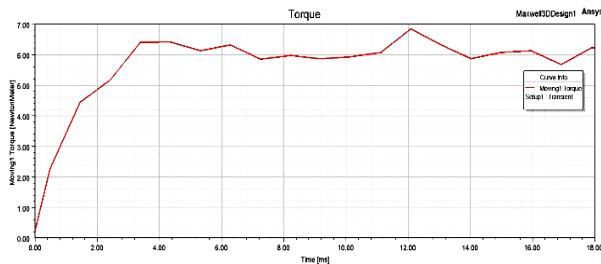
mômen xoắn quán tính (trong quá trình điều khiển và làm việc - đảm bảo mômen), tính tối ưu trong quá trình làm việc đạt được chất lượng cao trong quá trình vận hành của động cơ.



Hình 7. Dòng điện stato



Hình 8. Điện áp stato



Hình 9. Đáp ứng mômen

Từ Hình 7 và Hình 8, ta có công suất phát được thực hiện theo tính toán:

$$S_{\text{phát}} = 3 \cdot S_a = 3 \cdot 4,1 \cdot 26 = 319,8 \text{ W} \quad (35)$$

$$P_{\text{phát}} = S_{\text{phát}} \cdot \cos\varphi = 319,8 \cdot 1 = 319,8 \text{ kW} \quad (36)$$

Từ Hình 9, công suất đầu trục là:

$$P_{\text{trục}} = \frac{T \cdot n}{9,55} = \frac{6,3 \cdot 450}{9,55} \approx 293,33 \text{ W} \quad (37)$$

Trong đó, thành phần n là tốc độ quay động cơ.

Từ (36) và (37), ta có hiệu suất của động cơ:

$$\eta = \frac{P_{\text{trục}}}{P_{\text{phát}}} = \frac{293,33}{319,8} \approx 92,7 \% \quad (38)$$

Từ các kết quả nghiên cứu ở Hình 7, Hình 8 thể hiện giá trị điện áp và giá trị dòng điện stato của động cơ theo tham số nghiên cứu thiết kế, từ đó ta thấy đường đặc tính đúng bản chất, tính năng có thể ứng dụng vào trong quá trình làm việc và điều khiển của động cơ BLDC trong lĩnh vực xe điện hiện nay. Ở Hình 9 ta thấy đáp ứng mômen của động cơ trong mô phỏng luôn bám sát với thực tế khi làm việc của động cơ BLDC trong thực tế. Vấn đề này khi động cơ làm việc thì luôn luôn cần có sự tăng giảm tốc độ, sự thay đổi mômen, điều khiển được trực tiếp mômen tại bất kỳ thời điểm nào, luôn trùng với sự thay đổi tốc độ, phù hợp (trong tổng thời gian 18 ms) của đáp ứng, với điện áp, dòng điện và mômen của động cơ BLDC.

Nhìn chung khi phân tích kết quả Hình 6, Hình 7, Hình 8, mật độ từ thông phân bố đều, dạng điện áp, dòng điện có dạng tương đối hình thang. Khi đó ta thấy ở Hình 9 đáp ứng mômen khá ổn định và xác lập ở $T = 6,3 \text{ N.m}$. Các kết quả tổng hợp việc nghiên cứu và thử nghiệm được tác giả đưa ra chi tiết ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả mô phỏng, thử nghiệm BLDC

Ký hiệu	Thông số	Nghiên cứu	Thử nghiệm BLDC-D5BLD 300-12	Đơn vị
P_o	Công suất định mức	320	300	W
N_{dm}	Tốc độ quay định mức	450	400	rpm
T	Momen định mức	6,3	5,8	N.m
$E_{PM} = U$	Điện áp cảm ứng	4,1	4	V
I	Dòng điện định mức	26	21,25	A

Ký hiệu	Thông số	Nghiên cứu	Thử nghiệm BLDC-D5BLD 300-12	Đơn vị
L	Chiều dài lõi sắt	24,2	-	mm
u_r	Số lượng sợi dây trong một rãnh	4	-	-
N_s	Số lượng rãnh stato	51	-	
B_r	Từ dư của nam châm	1,1	-	T
R_{so}	Bán kính ngoài stato	99,5	-	mm
R_{si}	Bán kính trong stato	81,5	-	mm
R_{ro}	Bán kính ngoài roto	112,5	-	mm
R_{ri}	Bán kính trong stato	99,85	-	mm
h_{PM}	Chiều dày nam châm	2	-	mm
p	Số cặp cực	23	-	-
η	Hiệu suất	92,7	-	%

5. KẾT LUẬN

Bài báo này đã nghiên cứu thiết kế thành công một động cơ BLDC hiệu suất cao với tiềm

năng ứng dụng lớn, đặc biệt trong lĩnh vực sản xuất xe điện. Các kết quả chính cho thấy động cơ đạt được những ưu điểm nổi bật, bao gồm: Hiệu suất và vận hành ổn định và đạt hiệu suất cao, lên đến 92,7%. Khả năng tạo ra mômen khởi động lớn, ổn định (đạt 6,3 N.m trong mô phỏng), ít cần bảo trì và vận hành êm ái, vấn đề này cho thấy chất lượng vận hành tốt, đáp ứng các yêu cầu về thiết kế mới. Ngoài ra tối ưu hóa vật liệu và chi phí sản xuất: Việc sử dụng nam châm NdFeB hiệu suất cao không chỉ nâng cao hiệu suất mà còn giúp giảm giá thành sản phẩm, mở ra cơ hội thương mại hóa rộng rãi. Ứng dụng được vào trong thực tiễn: Thiết kế này được tối ưu cho các phương tiện giao thông xanh như xe đạp điện, xe điện, ô tô điện. Vai trò của mô phỏng: Ứng dụng phần mềm ANSYS Maxwell và phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) đã chứng minh độ tin cậy của thiết kế.

Hướng phát triển: Nghiên cứu đã tạo nền tảng vững chắc cho các bước tiếp theo, bao gồm việc tối ưu hóa thiết kế bằng các thuật toán hiện đại và nghiên cứu ứng dụng động cơ cho các lĩnh vực điều khiển tự động, đặc biệt là trong xe điện. Nhìn chung, nghiên cứu này đã cung cấp một thiết kế động cơ BLDC khả thi và hiệu quả, chứng minh được tiềm năng ứng dụng mạnh mẽ trong tương lai, đặc biệt là trong lĩnh vực giao thông xanh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A., Kerem, "Design, implementation and speed estimation of three-phase 2 kW out-runner permanent magnet BLDC motor for ultralight electric vehicles". 2021. Electrical Engineering. Volume 103, pp. 2547-2559, doi: 10.1007/s00202-021-01279-5.
- [2] B. Guguloth, P. Shravani and T. S. Siva Surya Prakash, "ANSYS Maxwell Simulation for a 2 kW BLDC Motor Design", 2024 IEEE International Conference on Intelligent Systems, Smart and Green Technologies (ICISSGT), Visakhapatnam, India, 2024, pp. 18-23, doi: 10.1109/ICISSGT58904.2024.00014.
- [3] Bansal, R., Marwaha, S. & Verma, C. "Cogging Torque Minimization of PMBLDC Motor for Application in

- Battery Electric Vehicle". J. Electr. Eng. Technol. 18, 1733–1743 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42835-022-01322-w>.
- [4] Hanselman, Duane C., "Brushless Permanent Magnet Motor Design". Faculty and Staff Monograph Publications. 231. 2003. pp:130-158.
- [5] Rauth, Sheshadri & Samanta, Banshidhari. "Comparative Analysis of IM/BLDC/PMSM Drives for Electric Vehicle Traction Applications Using ANN-Based FOC". Publisher by IEEE Xplore: 05 February 2021; pp:1-8 ,doi: 10.1109/INDICON49873.2020.9342237 2020.
- [6] Yi-Chang Wu and Bo-Wei Lin, "Computer-Aided Design of a Brushless DC Motor with Exterior-Rotor Configuration", Computer-Aided Design & Applications, 9(4), 2012, pp. 457-469; © 2012 CAD Solutions, LLC, Doi: <http://www.cadanda.com>
- [7] U.K. Potnuru, "Design Optimization of a Permanent Magnet Brushless DC motor for Power Density Enhancement for a Particular Application", August 2020 International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering 9(4):5748-5755. DOI:10.30534/ijatcse/2020/230942020.
- [8] Jaydip A., Nirav C, "Different Design Considerations for Designing of High Speed Permanent Magnet Motors", Conference: 2020; 05 February 2021; National Power Systems Conference; DOI:10.1109/NPSC49263.2020.9331903.
- [9] C. Liu, S. Wang, J. Yang, "Thresholding of Polarimetric SAR Images of Coastal Zones Based on Three-Component Decomposition and Likelihood Ratio", IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, VOL. 21, 4011105, 2024.
- [10] Đ.M. Quân, Đ.Q. Khanh, "Nghiên cứu mô phỏng điều khiển động cơ không chổi than BLDC bằng công cụ Matlab - Simulink", Tạp chí Khoa học Công nghệ; Trường Đại học Hàng hải Việt Nam; Số 03; tr. 93-97, 2022.
- [11] N.T. Trí, P.V. Lộc, N.T. Long, "Thiết kế và mô phỏng động cơ điện một chiều không chổi than", Tạp chí Công Thương - Các kết quả nghiên cứu khoa học và ứng dụng công nghệ, Số 21 tháng 10 năm 2024; <https://tapchicongthuong.vn/thiet-ke-va-mo-phong-dong-co-dien-mot-chieu-khong-choi-than-130311.htm>

Thông tin liên hệ: **Trần Đức Chuyển**

Điện thoại: 0915311662 - Email: tdchuyen@uneti.edu.vn

Khoa Điện - Tự động hóa; Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.