TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

KHOA CƠ – ĐIỆN



HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA

National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering

(MEAE2025)

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

KHOA CƠ – ĐIỆN

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ

CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA

National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering

(MEAE2025)

VỚI CHỦ ĐỀ :

"CÔNG NGHỆ VÀ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO"

MỤC LỤC

1. Năng lượng tái tạo - Thực trạng và định hướng tương lai 1
2. Ứng dụng phương pháp số mô phỏng cogging torque của LSPMSM có xét đến ảnh hưởng của rãnh nghiêng Stato 5
3. Tối ưu hóa tham số bộ điều khiển lực khoan trên máy CNC bằng thuật toán di truyền.....10
4. Tối ưu hóa tham số bộ điều khiển vị trí trên máy CNC bằng thuật toán di truyền 15
5. Giải pháp xử lý tự động quan trắc độ nghiêng lệch trụ điện gió trên bờ bằng máy toàn đạc không gương 20
6. Ảnh hưởng tổng trở sóng của cột tới quá điện áp sét trên đường dây truyền tải 220 kV ...27
7. Tối ưu hoá tham số thiết kế trong Ansys Mechanical 35
8. Lắp đặt chống sét van kết hợp với cải thiện hệ thống nối đất nâng cao hiệu quả chống sét cho đường dây trung áp trên không tại Việt Nam 39
9. Tối ưu hóa thông số bộ lọc sóng hài của bộ biến đổi nguồn năng lượng mặt trời công suất nhỏ kết nối với lưới điện hạ áp.....46
10. Phân tích ứng suất, biến dạng của lõi rèn trong quá trình rèn biên dạng rãnh xoắn.....52
11. Mạng nơ-ron tích hợp vật lý: tổng quan và ứng dụng trong công nghiệp năng lượng, quốc phòng và hàng không vũ trụ 55
12. Thiết kế bộ điều khiển lqr cho động cơ dc ứng dụng thuật toán tối ưu FA.....61
13. Nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày lớp đệm và lớp hấp thụ của pin mặt trời màng mỏng Cu_2ZnSNS_4 68
14. Phát hiện vật thể lạ trên băng tải bằng mô hình học máy 74
15. Nghiên cứu ảnh hưởng độ nghiêng của tấm pin 2 mặt kính đến hiệu suất hệ thống điện mặt trời.....81
16. Develop a LSTM model to forecast runoff flow in time series.....85
17. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng cắt giảm công suất phát đến lcoe của dự án điện gió.....91
18. Xây dựng phần mềm xây dựng kế hoạch phát điện bằng thuật toán quy hoạch động 97
19. Điều khiển tự động và nhận diện sản phẩm lỗi cho hệ thống chiết rót..... 104

20. Điều khiển Hybrid kết hợp Fuzzy Logic và PID ổn định mức nước bao hơi - công ty cổ phần nhiệt điện Quảng Ninh 111

21. Thiết kế xây dựng mô hình máy xét nghiệm sinh hóa ứng dụng quang phổ kế 119

22. Xây dựng hệ thống thu thập và phân tích dữ liệu động học của con lắc vật lý trong thời gian thực phục vụ giáo dục STEM 127

23. Đề xuất một dòng bộ biến đổi DC-DC mới cho các ứng dụng năng lượng tái tạo 131

24. Khử từ do nhiệt trong động cơ điện IPM: tổng quan nghiên cứu và mô phỏng điện – nhiệt 137

25. Thiết kế, chế tạo mạch đo và giám sát tự động điện trở cách điện mạng điện hỗn hợp mỏ hầm lò 142

26. Công nghệ nén H264 và H265 trong hệ thống thông tin vô tuyến 147

27. Điều khiển phân bổ công suất trong microgrid lai ghép DC/AC có tích hợp BESS 151

28. Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ xử lý từ nhiệt lên tích năng lượng từ cực đại $(BH)_{max}$ của hợp kim từ cứng ALNICUCO35TI5NB 161

29. Đánh giá độ chính xác hình học gia công bánh răng trụ răng thẳng bằng phương pháp cắt dây tia lửa điện EDM 170

30. Nghiên cứu lựa chọn thông số in và một số giải pháp nâng cao chất lượng sản phẩm trong máy in 3D FDM khổ rộng 175

31. Nghiên cứu các nguyên nhân gây ra rung động trong bơm ly tâm vận tải tro xỉ của nhà máy nhiệt điện và biện pháp khắc phục 180

32. Một số giải pháp cân bằng năng lượng cho tua bin gió có tốc độ gió phù hợp với tốc độ gió thấp tại Việt Nam 184

33. Nghiên cứu lực ma sát trong xy lanh khí nén không có cần piston 189

34. Đánh giá mức độ ảnh hưởng của tải trọng động đến khả năng làm việc của chi tiết máy dạng trục và xác định tần số dao động riêng của các chi tiết này 192

35. Phương pháp xác định vận tốc dòng khí sau quạt hướng trục 196

36. Tính toán, mô phỏng dòng chảy trong phần dẫn dòng máy bơm ly tâm cột nước thấp chạy bằng sức gió, phục vụ bơm nước biển cho sản xuất muối 202

37. Thiết kế điều khiển chuyển động đa hướng cho robot tớ sử dụng bánh mecanum trong hệ robot song phương 208

38. Nghiên cứu thiết kế bộ bộ theo dõi sức khỏe dựa trên iot và kết hợp dự báo béo phì sử dụng mô hình ANN 217

39. Quản lý bãi đỗ xe thông minh ứng dụng trí tuệ nhân tạo 226

40. Tính toán thiết kế giàn chống vượt trước tại khu vực lò chợ cơ giới hóa trong mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh 233

41. Cơ sở lý thuyết và quy trình tính toán thiết kế rổ của máy tách nước ly tâm phục vụ cho dây chuyền sàng tuyển than 239

42. Ứng dụng bộ lọc Kalman Filter để nâng cao độ chính xác trong giám sát vật thể trên băng tải công nghiệp bằng thị giác máy tính 244

43. Lựa chọn thông số chế độ cắt hợp lý khi gia công rotor bơm roots bằng phương pháp cắt dây EDM 250

44. Ảnh hưởng của độ cứng đến ổn định hệ truyền động Servo thủy cơ trong hệ thống lái trợ lực thủy lực 257

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ MÔ PHỎNG COGGING TORQUE CỦA LSPMSM CÓ XÉT ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA RÃNH NGHIÊNG STATO

Đỗ Như Ý [1], Lê Anh Tuấn [2,*], Nguyễn Ngọc Quý [3], Đoàn Đức Thắng [4]

[1] *Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam, donhuy@humg.edu.vn;*
[2] *Trường Điện-Điện tử, Đại học Công nghiệp Hà Nội, tuanla1@haui.edu.vn;*
[3] *Trường Điện-Điện tử, Đại học Công nghiệp Hà Nội, quydhcn@gmail.vn;*
[4] *Trường Điện-Điện tử, Đại học Công nghiệp Hà Nội, doanducthanghaui@gmail.com;*

TÓM TẮT

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp với hiệu suất và hệ số công suất cao là một giải pháp thay thế từng phần cho động cơ không đồng bộ lồng sóc. Về cấu tạo, động cơ có sử dụng nam châm vĩnh cửu, các thanh nam châm này được gắn trên bề mặt hoặc gắn chìm trong lõi thép rôto. Hiện nay, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp được sản xuất thương mại và chứng minh được ưu điểm về hiệu suất, hệ số công suất cao, mật độ năng lượng lớn nhưng động cơ có sử dụng nam châm vĩnh cửu. Tuy nhiên, động cơ này có nhược điểm của động cơ sử dung nam châm vĩnh cửu là luôn có mômen răng rãnh (cogging torque-CT). Mômen này gây ra độ ồn âm thanh, độ rung về cơ khí, … Do vậy người ta luôn mong muốn hạn chế mômen này trong vận hành. Vì vậy, bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của nghiêng rãnh stato để hạn chế CT khi thiết kế động cơ. Bài báo áp dụng cho một LSPMSM 2.2kW, 2p=4, cấu hình stato được làm nghiêng. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu quả của sử dụng cấu hình nghiêng stato đối CT của LSPMSM.

Từ khóa: *Động cơ, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trục tiếp, nam châm vĩnh cửu, cogging torque, stato rãnh nghiêng.*

1. Giới thiệu chung

Trong thời gian gần đây, LSPMSM được nghiên cứu và phổ biến trong sản xuất thương mại xuất phát từ nhu cầu của người sử dụng về động cơ có hiệu suất cao, hệ số công suất làm việc lớn [1]. Cấu tạo động cơ LSPMSM tương tự động cơ không đồng bộ (IM) phần rôto có chứa thêm nam châm vĩnh cửu (PM) đây là sự lai tạo giữa động cơ IM và động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM). Do vậy, LSPMSM ngoài sở hữu ưu điểm của PMSM có hiệu suất làm việc cao, nó còn có ưu điểm của động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc SCIM là khả năng khởi động trực tiếp khi cấp nguồn [2], [3]. Tuy nhiên LSPMSM cũng có các nhược điểm cần phải khắc phục như khó khởi động [4]. Bên cạnh đó cũng giống như PMSM, LPSMSM trong vận hành luôn tồn tại mômen răng rãnh (cogging torque-CT) [5]. CT là được sinh ra bởi sự tương tác giữa PM trên rôto với răng của stato [6]. Mômen này thường ảnh hưởng tiêu cực đến vận hành của động cơ PSMSM như gây ra rung động cơ khí, ồn âm thanh trong vận hành, làm tổn hao tăng cơ. Vì vậy người ta muốn hạn chế mômen này để khắc phục các nhược điểm trên [7].

Để làm giảm giá trị CT người ta thường tập trung vào giải pháp chính là thiết kế và điều khiển động cơ. Đối với lĩnh vực thiết kế, Behbahanifard [8] đề xuất giải pháp thiết kế nam châm là sử dụng a magnet shifting method để giảm CT cho động cơ LSPMSM 4 cực. Kết quả mô phỏng bằng FEA và thực nghiệm cho thấy the magnet shifting method là một biện pháp rất hiệu quả trong việc giảm CT của LSPMSM, ngoài ra kết quả cũng cho thấy phương pháp đề xuất làm tăng tổn hao lõi sắt rất nhỏ, hiệu suất LSPMSM không thay đổi. Jing [9] đã chỉ ra ảnh hưởng của số cực và rãnh đến CT và đề xuất một phương pháp giải tích trong đó mô hình hóa rôto động cơ như là một equivalent magnetic motive force (MMF) phân bố trong khe hở không khí để tránh ảnh hưởng của răng, rãnh rôto. Thêm vào đó, tính toán cho thấy rằng CT có thể được làm giảm bằng cách thay đổi số lượng rãnh stato. Dajaku [10] đề xuất giải pháp thiết kế stato mới với các khe mở dịch chuyển bên phải và bên trái để giảm CT and

Torque Ripples của động cơ PMSM. Để chứng minh hiệu quả cho phương pháp đề xuất, bài báo áp dụng phương pháp khi thiết kế và tối ưu cho hai máy điện PM khác nhau sử dụng trong các steering and also for traction applications. Kết quả mô phỏng cho thấy, đối với động cơ lái (steering motor) CT đạt được thấp hơn 70mNm với thiết kế stato mới.

Đối với giải pháp điều khiển một số nghiên cứu như sau: Sumega M [11] nghiên cứu hai phương pháp khác nhau để xác định CT của PMSM ba pha. Từ kết quả của hai phương pháp này, bản đồ CT được xây dựng từ đó được sử dụng trong thuật toán Điều khiển Hướng trường (FOC) để giảm thiểu độ gợn sóng trong tốc độ và mô-men xoắn. Bên cạnh đó, hiệu quả của thuật toán đề xuất giảm CT được xác minh qua thực nghiệm. Pierpaolo [12] đề xuất ứng dụng một mô hình không sử dụng cảm biến dựa trên bộ quan sát Kalman mở rộng và hệ thống điều khiển phân tích phản hồi để giảm thiểu vấn đề nội tại của PMSM là CT. Kết quả cho thấy, mô hình đề xuất không sử dụng cảm biến chỉ với các phép đo về đại lượng cơ bản của máy vẫn có thể cho thấy hiệu quả trong việc giảm thiểu CT.

Như vậy có thể thấy, hai phương pháp phổ biến trong hạn chế CT là thiết kế và điều khiển thích hợp. Trong nội dung nghiên cứu, bài báo ứng dụng phương pháp số để khảo sát CT của LSPMSM có xét đến ảnh hưởng của rãnh nghiêng stato. Đối tượng thực nghiệm là LSPMSM 3 pha, 2p, công suất 2,2 kW. Bước nghiêng của stato được lựa chọn trong khoảng 2 bước răng rãnh. Từ kết quả đạt được, bài báo sẽ đánh giá và rút ra một số kết luận trong thiết kế cũng như vận hành để hạn chế tối đa CT.

2. Phương pháp số trong mô phỏng các bài toán điện từ trường

Có nhiều phương pháp số ứng dụng trong tính toán các bài toán liên quan đến trường điện từ của máy điện. Các phương pháp phổ biến nhất hiện nay là phương pháp sai phân hữu hạn (FDM-Finite Difference Method), phương pháp thành phần biên (BEM-Boundary Element Method), phương pháp phần tử hữu hạn (FEM-Finite Difference Method), phương pháp rời rạc (Discrete Element Method). Các phương pháp này cho phép giải gần đúng các bài toán phương trình vi phân riêng, ví dụ như bốn phương trình Maxwell mô tả các định luật điện từ trường [13].

Định luật Faraday về cảm ứng điện từ:

$$\nabla xE = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

Định luật Ampere về dòng điện chạy trong dây dẫn:

$$\nabla xH = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2)$$

Định luật Gauss cho từ trường:

$$\nabla \bullet B = 0 \quad (3)$$

Định luận Gauss cho điện trường:

$$\nabla \bullet D = \rho \quad (4)$$

Trong các phương pháp số, phương pháp phần tử hữu hạn FEM đã được khẳng định có độ chính xác cao khi ứng dụng mô phỏng các bài toán điện từ trường. Vì vậy, trong nghiên cứu bài báo sử dụng phần mềm ứng dụng FEM mô phỏng khảo sát các đặc tính của LSPMSM.

3. Phân tích CT của LSPMSM

CT được gây ra bởi sự tương tác giữa các NCVC gắn trên rôto và tính dị hướng từ trường do các rãnh stato. Bởi vì sự dị hướng này, năng lượng từ trường thay đổi trong quá trình rôto quay và CT được sinh ra, có thể được biểu diễn như sau [14]:

$$T_{cog} = -\frac{\partial W(\alpha)}{\partial \alpha} \quad (5)$$

trong đó W là năng lượng trường điện từ của LSPMSM, α là góc giữa vị trí trung tâm của NCVC và của một răng stato.

Tổng CT trong LSPMSM có thể được xác định như sau:

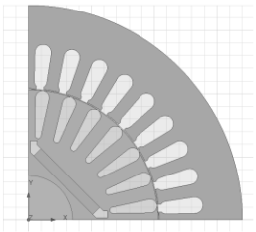
$$T_{cog} = \frac{\pi \mu_0 Z_1 L_a}{4}(R_1^2 - R_2^2) \times \sum_{n=1}^{\infty} nG_n F_{\frac{nZ_1}{2p}} \sin(nQ_1\alpha) \quad (6)$$

trong đó, L_a là chiều dài hướng trục của động cơ; R_1, R_2 là bán kính bán kính trong stato và bán kính ngoài rôto; Z_1 là số răng stato; p là số đôi cực động cơ; n là bậc của sóng hài.

4. Mô phỏng CT của LSPMSM với phương pháp số

4.1 Cấu hình và mô hình mô phỏng số của LSPMSM thực nghiệm

Để mô phỏng CT của LSPMSM có xét đến ảnh hưởng của rãnh nghiêng stato, một LSPMSM 2,2kW thực nghiệm được sử dụng trong mô phỏng. Cấu hình và thông số cấu tạo của LSPMSM như hình 1 và bảng 1 bên dưới.



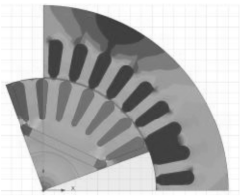
Hình 1. Cấu hình động cơ LSPMSM 2,2 kW

Thông số của LSPSM 2,2 kW thực nghiệm như ở bảng 1 bên dưới

Bảng 1. *Các thông số cơ bản của LSPMSM 15kW*

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Đường kính ngoài stato	D_n	170	mm
Đường kính trong stato	D	104	mm
Đường kính ngoài rôto	D’	103	mm
Đường kính trục rôto	D_t	25	mm
Vật liệu thép stato	M800-50A		
Số rãnh stato	Z_1	36	Rãnh
Số rãnh rôto	Z_2	28	Rãnh
Chiều dài khe hở không khí	g	0,5	mm
Điện áp nguồn cấp Y/Δ	$U_{đm}$	380/220	V
Tần số nguồn cấp	f	50	Hz
Vật liệu NCVC	NdFeBr	N40	
Kích thước NCVC Dài x Rộng x Cao (l_M x w_M x h_M)		70 x 34 x 4	mm

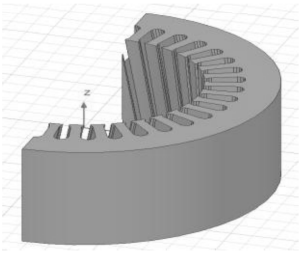
Từ cấu hình của LSPMSM 3pha, 15kW, 2p ta dựng được mô hình mô phỏng số của động cơ với phần mềm Ansys/Maxwell như hình 2 bên dưới



Hình 2. Mật độ từ trường khi mô phỏng LSPMSM 2,2 kW

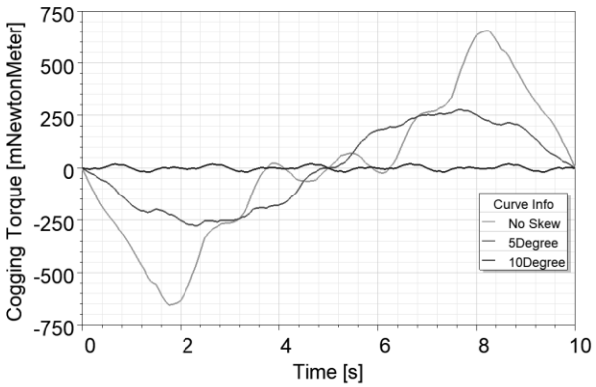
4.2 Mô phỏng số để khảo sát đặc tính CT có xét đến ảnh hưởng rãnh nghiêng stato

Để khảo sát ảnh hưởng của rãnh nghiêng đến đặc tính CT, stato được làm nghiêng rãnh trong mô phỏng. Trong nội dung bài báo bước nghiêng rãnh được khảo sát ở 3 kịch bản: Không nghiêng, nghiêng nửa bước (5^0) và nghiêng một bước rãnh stato (10^0).



Hình 3. Stato LSPMSM 2,2 kW với kết cấu rãnh nghiêng 1 bước rãnh trong mô phỏng

Với 3 kịch bản bước răng mô phỏng như trên đặc tính CT mô phỏng được thể hiện như hình 4 bên dưới



Hình 4. Đặc tính CT mô phỏng với các kịch bản nghiêng rãnh khác nhau

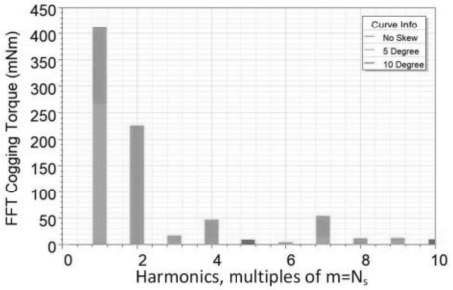
Tổng hợp các giá trị $T_{cogging\_max}$ với các kịch bản mô phỏng để so sánh và đánh giá. Bảng tổng hợp như bảng 2 bên dưới:

Bảng 2. $T_{cogging\_max}$ với các kịch bản mô phỏng

Kịch bản	Hình thức nghiêng rãnh stato	Giá trị	Đơn vị
1	Không nghiêng	656	mNm
2	Nghiêng nửa bước	279	mNm
3	Nghiêng một bước	20	mNm

Từ hình 4 và bảng 2 có thể nhận thấy rằng, khi làm nghiêng rãnh giá trị đỉnh của đặc tính CT đã được cải thiện. Với bước nghiêng một bước rãnh thì giá trị biên độ đỉnh của CT đã được hạn chế đáng kể, lúc này $T_{cogging\_max}$ bằng 20 mNm. So với $T_{cogging\_max}$ không làm nghiêng rãnh, thì ở trường hợp nghiêng một bước rãnh, $T_{cogging\_max}$ đã giảm đi hơn 30 lần. Qua đây khẳng định hiệu quả của việc làm nghiêng rãnh stato để hạn chế CT trong vận hành.

Bên cạnh đó, có thể thấy đặc tính của dạng sóng CT là tuần hoàn với chu kỳ 1 bước rãnh stato. Phân tích dạng sóng của CT thành các dạng sóng hài như hình 5 bên dưới.



Hình 5. Phân tích FFT dạng sóng CT

Từ hình 5 có thể thấy rằng, khi phân tích FFT dạng sóng CT tồn tại các bậc khác nhau, bao gồm cả bậc chẵn. Đối với trường hợp không nghiêng thì biên độ sóng cơ bản, sóng bậc 2, bậc 4 tương đối lớn. Khi nghiêng nửa bước rãnh thì biên độ sóng cơ bản còn lớn, tuy nhiên các dạng sóng còn lại rất nhỏ, các bậc chẵn không còn xuất hiện. Khi nghiêng 1 bước rãnh, dạng sóng cơ bản không còn, chỉ xuất hiện sóng bậc 5 và bậc 10 với biên độ nhỏ.

5. Kết luận

LSPMSM được khẳng định là động cơ có hiệu suất cao, hệ số công suất làm việc lớn, bên cạnh đó còn có khả năng tự khởi động khi cấp nguồn. Tuy nhiên động cơ này có nhược điểm cố hữu của PMSM là có CT trong vận hành. Mômen này gây ra bất lợi về rung động cơ khí, ồn âm thanh, giảm hiệu suất làm việc động cơ. Vì vậy, hạn chế mômen này là góp phần phổ biến động cơ. Trong nội dung bài báo nghiên cứu ứng dụng phương pháp số để khảo sát đặc tính của CT. Bên cạnh đó, để giảm thiểu CT trong bài báo có xét đến ảnh hưởng của rãnh nghiêng stato. Kết quả cho thấy hiệu quả đáng kể khi ứng dụng phương pháp này trong thiết kế để làm giảm CT trong vận hành. Vì vậy, có thể kết luận rằng, đối với LSPMSM khuyến cáo nên ứng dụng phương pháp nghiêng rãnh stato để làm giảm CT.

Tài liệu tham khảo

[1] Le Anh, T., Bien, T.T., Xuan, C.N., Do Anh, T. and Do Nhu, Y., (2024). Analysis of permanent magnet demagnetization during the starting process of a line-start permanent magnet synchronous motor. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *14*(6), pp.17900-17905. doi.org/10.48084/etasr.8576

[2] Pecho, J. and Hofmann, W., (2019). Analysis of the effects of parameter variations on the start-up characteristics of LSPMSM. In *2019 21st European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'19 ECCE Europe)* (pp. P-1). IEEE. doi.org/10.23919/EPE.2019.8914800

[3] Thuy, T.B., Cuong, N.X. and Do Nhu, Y. (2023). Effect of Permanent Magnet Structure on Working Characteristics of LSPMSM 3000 rpm. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1275 (1)*, 012049. doi.org/10.1088/1755-1315/1275/1/012049

[4] Lin, M., Li, D., Zhao, Y., Ren, X. and Qu, R., (2020). Improvement of starting performance for line-start permanent magnet motors by winding reconfiguration. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *56*(3), pp.2441-2450. doi.org/10.1109/TIA.2020.2968277

[5]Behbahanifard, H., Sadoughi, A., (2016). Cogging torque reduction in line start permanent magnet synchronous motor. *Journal of Electrical Engineering and Technology, 11(4), pp.878-888*. doi.org/10.5370/JEET.2016.11.4.878.

[6] Wang, X., Ding, T., Yang, Y., Zhu, C.Q. and Wang, D.H., (2005). Study of cogging torque in

line-start permanent magnet synchronous motors. *PROCEEDINGS-CHINESE SOCIETY OF ELECTRICAL ENGINEERING*, *25*(18), p.167.

[7] Zhao, Y., Li, D., Lin, M. and Qu, R., (2019). A novel dual stator line-start permanent magnet synchronous machine. In *2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)* (pp. 1526-1531). IEEE doi.org/10.1109/IEMDC.2019.8785230.

[8] Behbahanifard, H. and Sadoughi, A., (2016). Cogging torque reduction in line start permanent magnet synchronous motor. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, *11*(4), pp.878-888. doi.org/10.5370/JEET.2016.11.4.878

[9] Jing, L., Gong, J. and Lin, Y., (2019). Analysis and reduction of cogging torque of line-start permanent magnet motors. *Progress In Electromagnetics Research M*, *78*, pp.115-124. doi.org/10.2528/PIERM18120902

[10] Dajaku, G. and Gerling, D., (2014). New methods for reducing the cogging torque and torque ripples of PMSM. In *2014 4th International Electric Drives Production Conference (EDPC)* (pp. 1-7). IEEE. doi.org/10.1109/EDPC.2014.6984396

[11] Sumega, M., Rafajdus, P., Scelba, G. and Stulrajter, M., (2019). Control strategies for the identification and reduction of cogging torque in PM motors. In *2019 International Conference on Electrical Drives & Power Electronics (EDPE)* (pp. 74-80). IEEE. doi.org/10.1109/EDPE.2019.8883892

[12] Pierpaolo, D. and Saponara, S., (2019). Control system design for cogging torque reduction based on sensor-less architecture. In *International Conference on Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society (pp. 309-321). Cham: Springer International Publishing*. doi.org/10.1007/978-3-030-37277-4_36

[13] Elistratova, V. (2016). *Optimal Design of Line-Start Internal Permanent Magnet Synchronous Motor of High Efficiency*, HAL, France,170 pages.

[14] Jing, L., Gong, J. and Lin, Y., (2019). Analysis and reduction of cogging torque of line-start permanent magnet motors. Progress In Electromagnetics Research M, 78, pp.115-124. doi.org/10.2528/PIERM18120902

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI
Số 8 Tăng Bạt Hổ, phường Cửa Nam, TP. Hà Nội
ĐT: 024.39424620 - 39423346 * Fax: 024.38224784
Website: www.nxbgtvt.vn * Email: nxbgtvt@fpt.vn

CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN, NỘI DUNG:
Giám đốc - Tổng Biên tập: **Nguyễn Minh Nhật**

BIÊN TẬP: **Dương Hồng Hạnh**
THIẾT KẾ: **Phương Linh**

Đối tác liên kết: Trường Đại học Mỏ - Địa chất
Địa chỉ: Số 18 phố Viên, phường Đông Ngạc, TP. Hà Nội

In 500 cuốn khổ 19 x 27cm, tại Công ty cổ phần in và thương mại Ngọc Hưng
Địa chỉ: 296 đường Phúc Diễn, TDP số 1, phường Xuân Phương, TP. Hà Nội.
Số xác nhận đăng ký xuất bản: 5321-2025/CXBIPH/2-110/GTVT.
Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-3274-9.
Quyết định xuất bản số: 114 LK/QĐ-XBGT ngày 18/12/2025.
In xong và nộp lưu chiểu năm 2025.