

TỔNG QUAN VÀ XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỘNG CƠ ĐIỆN TRONG XE ĐIỆN

Nguyễn Thị Trang^{1,*}

¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

*Email: trang.edu84@qui.edu.vn

TÓM TẮT

Khi nhu cầu về xe điện (EV) tiếp tục tăng mạnh, việc cải thiện hệ thống động cơ điện trở nên cấp thiết nhằm nâng cao hiệu quả, hiệu suất và tính bền vững của các phương tiện này. Bài báo này cung cấp một tổng quan toàn diện về các loại động cơ điện hiện đang được sử dụng trong xe điện, bao gồm động cơ từ trở chuyển mạch (SRM), động cơ không đồng bộ (KĐB), động cơ một chiều (DCM) và động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM). Đồng thời, bài báo cũng phân tích các xu hướng mới trong phát triển động cơ truyền động xe điện, chẳng hạn như công nghệ quấn dây tiên tiến, vật liệu mới và các giải pháp điều khiển tối ưu. Qua đó, người đọc sẽ có được cái nhìn bao quát về tầm quan trọng của động cơ điện trong xe điện cũng như những tiến bộ khoa học trong lĩnh vực này.

Từ khóa: Động cơ không đồng bộ (KĐB), động cơ nam châm vĩnh cửu (PMSM), động cơ từ trở chuyển mạch (SRM), xe điện (EV), động cơ một chiều (DCM).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với sự phát triển công nghệ hiện nay, mối quan tâm đến xe điện (EV) ngày càng gia tăng [1]. Nhiều nghiên cứu và so sánh về các cấu trúc truyền động của xe điện lai (HEV) đã được thực hiện một cách rộng rãi [2]. Theo cấu trúc truyền động, phương tiện được phân thành ba nhóm chính: xe động cơ đốt trong (ICEV), xe EV và xe HEV [1]. Trong khi xe ICEV sử dụng động cơ đốt trong (ICE) làm nguồn dẫn động chính, xe EV được dẫn động bởi một hoặc nhiều động cơ điện. Mặt khác, Xe HEV sử dụng cả động cơ điện và động cơ đốt trong để vận hành. Trong quá trình di chuyển, các phương tiện cần cung cấp công suất không đổi để đáp ứng các yêu cầu như khả năng tăng tốc và vượt dốc. Tuy nhiên, động cơ đốt trong trong xe ICEV không tối ưu cho việc tạo ra mô-men xoắn và tốc độ đáp ứng những yêu cầu này. Với thiết kế và cấu hình động cơ phù hợp, một số hạn chế có thể được khắc phục để đạt hiệu suất tối ưu hơn.

Các bộ truyền động sử dụng cho xe EV cần đáp ứng một số tính năng mong muốn như mật độ công suất cao, phản ứng mô-men xoắn nhanh, công suất tức thời lớn, khả năng vận hành trong các vùng mô-men xoắn không đổi và

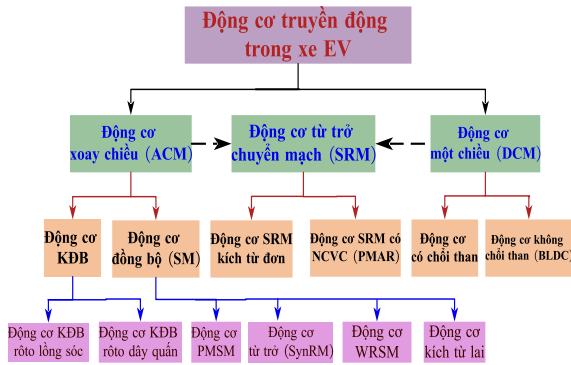
công suất không đổi, chi phí thấp, độ bền, hiệu suất cao trên dải tốc độ rộng, mô-men xoắn cao ở tốc độ thấp để hỗ trợ tăng tốc ban đầu và khả năng leo dốc, cùng với độ tin cậy vượt trội. So với bộ truyền động động cơ một chiều (DCM), bộ truyền động động cơ xoay chiều (ACM) sở hữu nhiều ưu điểm vượt trội như hiệu suất cao hơn, yêu cầu bảo trì thấp, độ bền và độ tin cậy cao, mật độ công suất lớn hơn và khả năng phanh tái tạo hiệu quả. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu và so sánh các loại động cơ được sử dụng trong xe EV, đồng thời đưa ra các xu hướng phát triển cho động cơ điện nhằm đáp ứng các yêu cầu ngày càng cao trong lĩnh vực xe EV.

2. TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN TRONG XE ĐIỆN

Các loại động cơ truyền động chính được sử dụng trong xe EV bao gồm động cơ DCM, động cơ ACM và động cơ từ trở chuyển mạch (SRM) và được phân loại như trong Hình 1 [3].

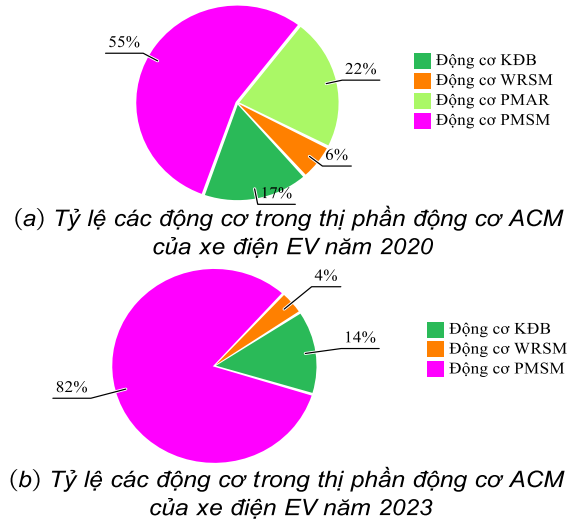
Xe EV ban đầu chủ yếu sử dụng động cơ DCM vì các động cơ này có đường cong hiệu suất mô-men xoắn so với tốc độ hợp lý, mô-men xoắn cực đại ở tốc độ thấp, phạm vi điều chỉnh

tốc độ trong vùng công suất không đổi rộng và khả năng điều khiển dễ dàng.



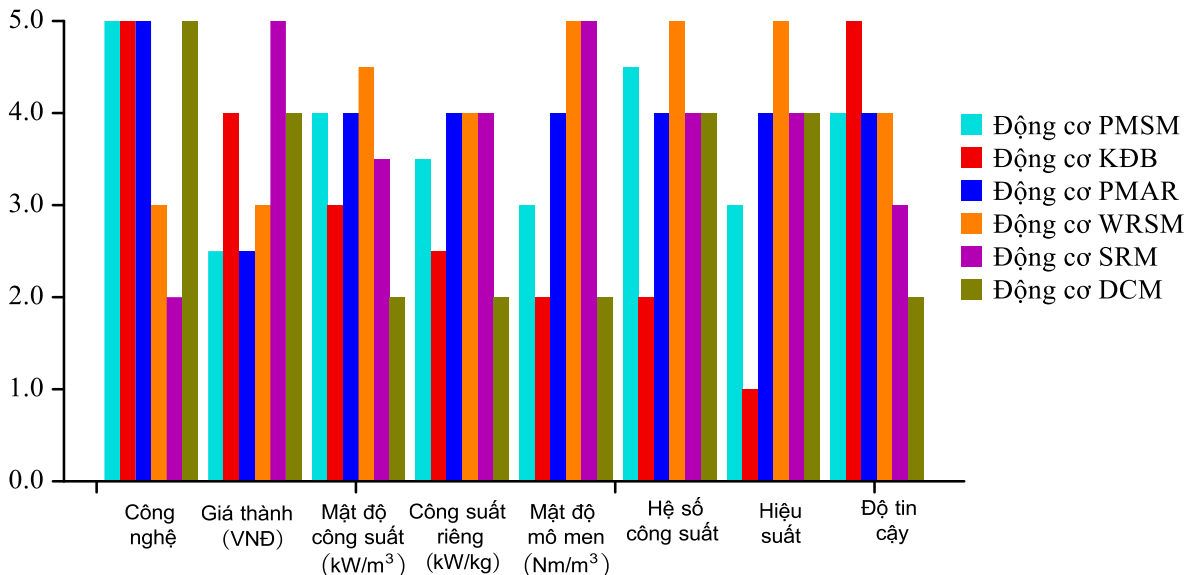
Hình 1. Phân loại động cơ điện sử dụng trong xe EV.

Động cơ DCM thường được sử dụng trong các phương tiện giao thông như xe đạp, xe gắn máy, xe ba bánh và các loại xe công suất thấp khác (lên đến 10-30 kW) [4]. Tuy nhiên, động cơ này có một số hạn chế về tốc độ tối đa do bộ phận chuyển mạch và động cơ DCM thường có hiệu suất và mật độ công suất thấp hơn ở tốc độ cao. Hơn nữa, tiếp xúc giữa chổi than và cổ góp trong động cơ DCM gây ra vấn đề mài mòn và ma sát. Ở tốc độ cao, việc duy trì tiếp xúc giữa chổi than và cổ góp trở nên khó khăn, dẫn đến khả năng nảy ra của chổi than, gây tia lửa và nguy cơ quá nhiệt hoặc làm tan chảy cổ góp.



Hình 2. Tỷ lệ các loại động cơ trong thị phần động cơ ACM của xe EV năm 2020 và năm 2023 [5].

Ngược lại, động cơ không chổi than mang lại độ tin cậy và hiệu suất cao hơn. Vì những lý do này, ngày nay động cơ ACM được ưa chuộng cho các ứng dụng hiệu suất cao và công suất lớn. Các lựa chọn phổ biến trong danh mục động cơ ACM cho xe EV bao gồm động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM), động cơ không đồng bộ (KĐB) và động cơ đồng bộ rôto dây quấn (WRSRM). Thị phần của các loại động cơ này trong xe EV được thể hiện ở Hình 2 [5].



Hình 3. So sánh các thông số kỹ thuật và chỉ số kinh tế của một số động cơ truyền động trong xe EV [5].

Trong Hình 3, tác giả cung cấp một so sánh định tính về các loại động cơ truyền động khác nhau để sử dụng trong ô tô. Mục tiêu của so sánh này là đánh giá và lựa chọn cấu trúc động

cơ phù hợp cho từng ứng dụng động cơ truyền động. Các thuộc tính được đánh giá bằng cách sử dụng thang điểm từ 1 đến 5 (1 = Thấp, 5 = Cao). Lưu ý rằng so sánh định tính này không

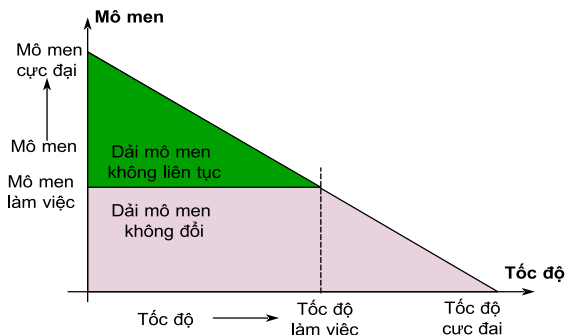
bao gồm tất cả các yếu tố cần thiết cho các ứng dụng cụ thể.

3. CÁC LOẠI ĐỘNG CƠ ĐIỆN TRONG XE ĐIỆN

3.1. Động cơ một chiều DCM

Động cơ DCM là một trong những loại động cơ được sử dụng trong các ứng dụng xe EV. Trước khi có những tiến bộ trong điện tử công suất, các động cơ này thường được sử dụng trong các ứng dụng có tốc độ thay đổi. Động cơ DCM [6] được ưa chuộng trong xe EV nhờ khả năng điều khiển đơn giản và mạnh mẽ. Động cơ DCM được chia thành hai loại: động cơ DCM có chổi than và động cơ một chiều không chổi than (BLDC).

Động cơ DCM có chổi than cung cấp mô-men xoắn cao ở tốc độ thấp và có đặc tính mô-men xoắn-tốc độ phù hợp. Tuy nhiên, loại động cơ này cũng có một số nhược điểm, bao gồm cấu trúc lớn, hiệu suất thấp, độ tin cậy kém và yêu cầu bảo trì tốn kém do các thành phần chổi than và cổ góp. Hơn nữa, ma sát giữa chổi than và cổ góp giới hạn tốc độ tối đa của động cơ.



Hình 4. Đặc tính cơ của động cơ BLDC.

Động cơ BLDC nổi bật với hiệu suất cao, kích thước nhỏ gọn và khả năng hoạt động êm ái nhờ loại bỏ chổi than. Động cơ này có độ bền cao, ít cần bảo dưỡng và giảm tiếng ồn đáng kể so với động cơ DCM truyền thống. Tuy nhiên, BLDC có chi phí sản xuất cao hơn do sử dụng nam châm vĩnh cửu (NCVC), đồng thời yêu cầu hệ thống điều khiển phức tạp, làm tăng chi phí và khó khăn trong thiết kế và bảo trì. Đặc tính cơ của động cơ BLDC được thể hiện trong Hình 4.

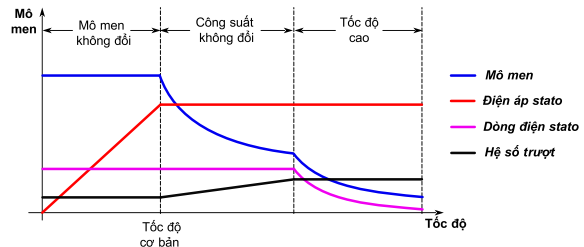
Hiện nay, động cơ DCM vẫn được sử dụng, tuy nhiên, động cơ này không phù hợp với các

ứng dụng xe EV có tốc độ cao. Nó chủ yếu được sử dụng trong các xe EV tốc độ thấp, chẳng hạn như các xe điện vận chuyển hàng hóa trong nhà xưởng hoặc các xe buýt hoạt động trong các khu vực du lịch.

3.3. Động cơ không đồng bộ KĐB

Động cơ KĐB rôto lồng sóc [7] thường được sử dụng trong các ứng dụng xe EV nhờ vào cấu trúc đơn giản, độ tin cậy cao, độ bền tốt, yêu cầu bảo trì ít, chi phí thấp và khả năng hoạt động trong các điều kiện môi trường khắc nghiệt. Các đặc tính khác nhau của động cơ KĐB đã được thể hiện trong Hình 5.

Kiểm soát mô-men xoắn và từ trường trong động cơ KĐB có thể được thực hiện thông qua các phương pháp kiểm soát véc tơ. Phạm vi tốc độ của động cơ có thể được mở rộng bằng cách làm suy yếu từ trường trong vùng công suất không đổi. Tuy nhiên, động cơ KĐB cũng có một số nhược điểm, như hiệu suất thấp so với động cơ sử dụng nam châm vĩnh cửu (NCVC), tổn thất năng lượng cao và hệ số công suất thấp. Để khắc phục những vấn đề này, hiện nay động cơ KĐB thường được kết hợp với biến tần trong hệ truyền động, mở rộng phạm vi công suất sử dụng và giảm tổn thất rôto.



Hình 5. Các đặc tính khác nhau của động cơ KĐB.

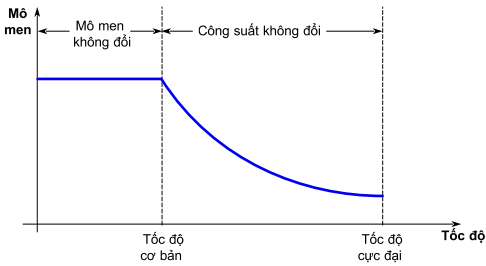
Tuy nhiên, do hệ thống điều khiển phức tạp và hiệu suất cũng như mật độ công suất của động cơ KĐB tương đối thấp so với các động cơ khác, thị phần của động cơ này trên toàn cầu đang ngày càng giảm.

3.3. Động cơ từ trở chuyển mạch SRM

Stato và rôto của động cơ SRM được cấu tạo từ các tấm thép kỹ thuật điện và thường được thiết kế với các cực lồi. Rôto không có cuộn dây, vành trượt hoặc NCVC mà chỉ có các cuộn dây quấn kiểu dây quấn tập trung đơn giản được lắp trên stato. Cấu trúc rôto như vậy giúp động cơ

SRM vận hành đơn giản, mạnh mẽ, chi phí thấp và đạt tốc độ cao. Đặc tính cơ của động cơ SRM đã được mô tả như Hình 6.

Hiệu suất cao và khả năng điều khiển đơn giản là những ưu điểm nổi bật của động cơ SRM [8]. Tuy nhiên, sự dao động mô-men xoắn, tiếng ồn và độ rung là những yếu tố nghiêm trọng, làm giảm sự phổ biến và ứng dụng của động cơ này trong các phương tiện điện (NEV).

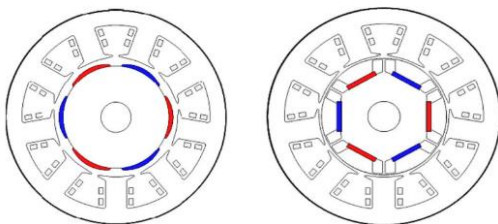


Hình 6. Đặc tính cơ của động cơ SRM.

3.4. Động cơ nam châm vĩnh cửu PM

3.4.1. Động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu

Động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu (PM-DCM) [9] có cuộn dây phản ứng và cực từ được thay thế bằng NCVC. Động cơ PM-DCM mang lại mật độ công suất và hiệu suất cao hơn, tuy nhiên, nó yêu cầu bảo dưỡng nhiều hơn và có tuổi thọ thấp hơn. Bên cạnh đó, sự dao động mô-men xoắn do hệ thống chổi than và bộ chuyển mạch vẫn là những vấn đề cần được giải quyết đối với các ứng dụng xe EV.



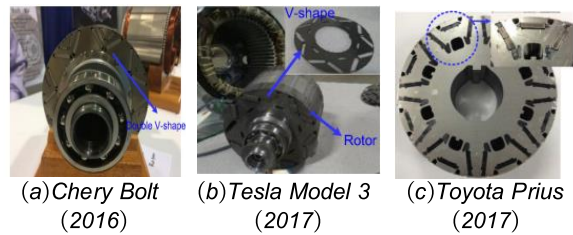
(a) Động cơ SPM (b) Động cơ IPM

Hình 7. Các dạng kết cấu của động cơ PMSM [10].

3.4.2. Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Trong động cơ PMSM [10], stato với các cuộn dây ba pha của động cơ tương tự như stato của động cơ KĐB và NCVC thay thế cuộn dây kích thích của động cơ đồng bộ truyền thống. Tùy theo vị trí của NCVC trên hoặc trong rôto, động cơ PMSM có thể được chia thành hai loại: loại thứ nhất là loại có NCVC gắn trên bề mặt (SPM) và loại thứ hai là loại có NCVC gắn bên trong (IPM) (Hình 7).

Động cơ IPM, khi được thiết kế tốt, có đặc điểm là mô-men xoắn từ trở cao, hiệu suất cao, hệ số công suất cao, tổn thất nhiệt thấp, cấu trúc đơn giản, nhỏ gọn và tiếng ồn thấp. Với sự phát triển của chiến lược điều khiển điện tử công suất, động cơ IPM đã trở nên phổ biến và thống trị trong các ứng dụng động cơ truyền động (Hình 8). Ngoài ra, nhờ vào cấu trúc hoàn toàn kín, động cơ IPM không cần bảo dưỡng, cho thấy tổn thất ma sát gió thấp và tiếng ồn gió thấp.



Hình 8. Các động cơ điện IPM do một số hãng xe EV sản xuất [11].

3.4.3. Động cơ một chiều không chổi than nam châm vĩnh cửu

Động cơ một chiều không chổi than nam châm vĩnh cửu (PM-BLDCM) [12] là một loại động cơ PMSM đặc biệt về mặt cấu trúc và lý thuyết, nhưng các cuộn dây của động cơ được quấn theo kiểu tập trung và dạng sóng dòng điện stato là hình thang, thay vì hình sin như trong động cơ SPM. Động cơ PM-BLDCM không có hệ thống chổi than và cổ góp. Tuy nhiên, động cơ này vẫn gặp phải một số vấn đề, như gợn mô-men xoắn và tiếng ồn trong quá trình chuyển mạch điện, đồng thời khó đạt được tốc độ tối đa vượt quá gấp đôi tốc độ cơ bản của động cơ.

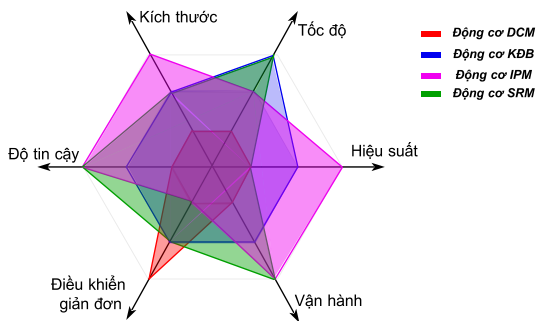
3.4.4. Động cơ kích từ lai nam châm vĩnh cửu

Động cơ kích từ lai nam châm vĩnh cửu (PM-HEM) [13] là loại động cơ kết hợp cả NCVC và các cuộn dây kích thích, tạo thành một động cơ kích từ lai. Động cơ này có ưu điểm là từ thông rò thấp, mật độ từ thông cao trong khe hở không khí, mật độ công suất cao và đặc tính mô-men xoắn-tốc độ tốt. Tuy nhiên, cấu trúc và điều khiển của động cơ PM-HEM tương đối phức tạp do có hai hệ thống kích thích riêng biệt.

Để đánh giá đặc điểm của các loại động cơ này, tác giả đã mô tả trên Hình 9, trong đó động

cơ có diện tích lớn hơn sẽ có các ưu điểm vượt trội hơn.

Từ kết quả đánh giá, có thể thấy rằng động cơ IPM là động cơ có ưu thế nhất khi sử dụng trong hệ thống truyền động của xe EV. Tiếp theo là động cơ KĐB và động cơ SRM. Trong khi đó, động cơ DCM là loại động cơ có nhiều hạn chế nhất khi sử dụng trong truyền động của xe EV.



Hình 9. So sánh thông số của các loại động cơ truyền động trong xe EV.

4. XU HƯỚNG NGHIÊN CỨU ĐỘNG CƠ PMSM TRONG XE ĐIỆN

Các công nghệ tương lai của động cơ truyền động cho xe EV sẽ tập trung vào các yếu tố chính như hiệu suất cao, tốc độ cao, mật độ công suất cao, độ rung và tiếng ồn thấp, khả năng tương thích điện tử tốt hơn và chi phí thấp. Trong lộ trình phát triển động cơ truyền động cho xe EV [11], [14] mục tiêu đến năm 2025 là đạt hiệu suất cao (97%), mật độ công suất cao (tỷ lệ công suất trên thể tích) (35 - 50 kW/L) và chi phí thấp (3,3 USD/kW), hoặc công suất riêng (tỷ lệ công suất trên khối lượng) là 5,0 kW/kg. Để đạt được các mục tiêu này, các nhà cung cấp động cơ truyền động cho xe EV trên toàn cầu và các viện nghiên cứu đang hợp tác nhằm cải thiện chuỗi đổi mới và chuỗi nhà cung cấp, bao gồm tối ưu hóa thiết kế và vật liệu chế tạo.

4.1. Nâng hệ số lấp đầy rãnh bằng công nghệ quấn dây

Bằng cách áp dụng các cuộn dây có tỷ lệ khe cao với dây dẹt/hình chữ nhật hoặc cuộn dây hairpin [15], quá trình cuộn dây tăng nhiệt có thể giảm đáng kể và tỷ lệ sử dụng cuộn dây bằng đồng có thể tăng từ 15% đến 20%. Đây là phương pháp chính để cải thiện mật độ mô-men xoắn, mật độ công suất và hiệu suất của động cơ. Ví dụ, mật độ công suất đạt được là 4,6

kW/kg thông qua việc sử dụng các cuộn dây hairpin, như được minh họa trong Hình 10.

4.2. Công nghệ động cơ tốc độ cao

Kích thước động cơ tỷ lệ thuận với mô-men xoắn. Đối với động cơ có yêu cầu công suất nhất định, công suất của động cơ này được tính bằng mô-men xoắn nhân với tốc độ. Bằng cách tăng tốc độ vận hành, yêu cầu mô-men xoắn cho động cơ có thể giảm xuống, từ đó giảm thể tích, trọng lượng và mật độ công suất của động cơ sẽ tăng lên theo tốc độ. Ví dụ, động cơ truyền động của xe điện Tesla có tốc độ là 17.900 vòng/phút và trong lộ trình công nghệ xe điện năng lượng mới NEV 2.0 của Trung Quốc [11], mục tiêu là đạt được tốc độ động cơ lên đến 25.000 vòng/phút vào năm 2035 [14].



(a) Dây quấn với bố dây mềm



(b) Dây quấn với bố dây cánh hairpin

Hình 10. Công nghệ quấn dây động cơ truyền động

4.3. Công nghệ giám sát nhiệt độ động cơ

Làm mát bằng cách kết hợp dầu và nước, cùng với các cấu trúc làm mát mới, được sử dụng để cải thiện công nghệ làm mát và truyền nhiệt của động cơ truyền động, từ đó nâng cao mật độ công suất của động cơ. Động cơ PMSM trong xe điện đã đạt được tiến bộ liên tục trên toàn cầu về mật độ công suất, tích hợp hệ thống, hiệu suất, tốc độ làm việc tối đa, quy trình sản xuất cuộn dây và công nghệ làm mát. Các chỉ số kỹ thuật của các sản phẩm động cơ tiêu biểu được thể hiện trong Bảng 1 [3].

4.4. Công nghệ đổi mới vật liệu cốt lõi trong động cơ truyền động

Trong hệ thống truyền động điện, sự phát triển của vật liệu đất hiếm chế tạo NCVC đã

đóng góp quan trọng vào sự phát triển của động cơ PMSM. Các đặc tính hiệu suất của nam châm đã được cải thiện đáng kể, chẳng hạn như tích năng lượng từ, độ lệch từ, từ hóa hình sin, tách và liên kết khối nam châm, sử dụng nguyên tố đất hiếm nhẹ, lớp phủ bề mặt và đo

NCVC. Khi NCVC sử dụng vật liệu N50UH Nd-Fe-B được sản xuất hàng loạt, từ tính còn lại của NCVC gần bằng 90% giới hạn lý thuyết của hợp chất Nd₂Fe₁₄B. Tuy nhiên, lực kháng từ vẫn thấp hơn 30% giới hạn lý thuyết, vì vậy vẫn còn nhiều chỗ cải thiện.

Thông số kỹ thuật	Xe EV thương hiệu Trung Quốc	Xe EV của GM Bolt	Xe EV của Germany Bosch	Xe EV của Tesla
Công suất đỉnh (kW)	130	130	50	165
Tốc độ cực đại (vòng/phút)	13.200	8.810	16.000	17.900
Mô-men đỉnh (Nm)	315	360	310	416
Hiệu suất đỉnh (%)	97	97	97	97
Mật độ công suất (kW/kg)	4,56	4,60	4,40	4,50
Phương pháp làm mát	Dầu	Nước	Nước	Nước

Bảng 1. Các thông số của một số loại động cơ điện hình được một số hãng sản xuất dùng trong xe EV [3].

Các công nghệ khuếch tán ranh giới hạt đất hiếm nặng và điều chế ranh giới hạt có thể được áp dụng để phát triển trong tương lai. Những công nghệ này có khả năng giảm đáng kể việc sử dụng các vật liệu đất hiếm nặng như dysprosium và/hoặc terbium, đồng thời cải thiện

hiệu suất và chất lượng của NCVC. Hơn nữa, một số vật liệu chế tạo NCVC hỗn hợp (bao gồm ferit) đang được sử dụng để thay thế một phần vật liệu Nd-Fe-B bởi các công ty sản xuất xe điện như Toyota và GM.

Thông số kỹ thuật của động cơ điện trong xe EV	2020	2025	2030	2035
Mật độ công suất riêng (kW/kg)	4	5	6	7
Khoảng phần trăm hiệu suất động cơ (%)	88	90	93	95
Chi phí sản xuất động cơ (¥/kW)	35	30	25	20
Mật độ mô-men cho động cơ truyền động (Nm/kg)	N/A	20	24	30
Từ tính phân cực của lá thép kỹ thuật điện (T)	N/A	1,66	1,67	1,68
Từ dư của vật liệu chế tạo NCVC (T)	1,35	1,40	1,45	1,50
Lực cưỡng bức của vật liệu chế tạo NCVC (kA/m)	2.300	2.300	2.400	2.400
Tỷ lệ phần trăm vật liệu đất hiếm nặng (Dy + Te) (%)	4	3	2	1
Nhiệt độ chịu nhiệt của vật liệu cách điện (°C)	180-200	200	220	240
Độ dẫn nhiệt của hệ thống cách nhiệt (W/mK)	> 0,25	0,3	0,4	0,5
Tốc độ giới hạn của vòng bi có d ≤ 35 mm (vòng/phút)	16.000	20.000	25.000	28.000
Tuổi thọ mỗi của vòng bi	N/A	5L10	6L10	8L10

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật mục tiêu của động cơ điện trên lộ trình phát triển xe EV [3].

Do đó, bên cạnh vật liệu chế tạo NCVC, vật liệu cách điện, dây điện tử và vật liệu từ tính hiệu suất cao, quá trình sản xuất đã thu hút

nhiều sự chú ý trong ngành công nghiệp động cơ điện. Vật liệu cách điện và thiết kế cấu trúc cách điện của động cơ đóng vai trò quan trọng

trong việc cung cấp hiệu suất cao, độ tin cậy cao và tuổi thọ điện và nhiệt lâu dài. Đặc biệt, khả năng dẫn nhiệt cao cũng đang được chú ý đáng kể, bởi vì động cơ tốc độ cao và các bộ biến tần tần số cao là xu hướng phát triển trong tương lai.

5. KẾT LUẬN

Trong nội dung bài báo, tác giả giới thiệu một số động cơ điện phổ biến được sử dụng trong hệ thống xe EV hiện nay. Mặc dù hiệu suất của các động cơ truyền động đã được cải thiện đáng kể, nhưng vẫn còn nhiều lĩnh vực cần nghiên cứu và phát triển để đạt được các công nghệ tiên tiến hơn. Cụ thể, các lĩnh vực cần chú trọng bao gồm tối ưu hóa thiết kế động cơ và thuật toán điều khiển, phân tích mô phỏng đa vật lý, thiết kế độ bền, cũng như tích hợp hệ

thống với các động cơ, bộ điều khiển và bộ giảm tốc/hộp số được xem xét đồng bộ. Hệ thống động cơ thế hệ tiếp theo dựa trên các thiết bị SiC, động cơ sử dụng NCVC có ít hoặc không sử dụng vật liệu NCVC đắt hiếm nặng, phương pháp làm mát động cơ hiệu quả, cùng với sự phát triển và ứng dụng vật liệu mới, cũng là những hướng nghiên cứu quan trọng. Lộ trình kỹ thuật của hệ thống truyền động động cơ, với các thông số và vật liệu được xác định, đã được đưa ra với các khung thời gian năm 2025, 2030 và 2035. Đây là tài liệu tham khảo quan trọng cho các nhà nghiên cứu, kỹ sư trong chuỗi cung ứng sản xuất thiết bị gốc (OEM) và ngành công nghiệp xe EV, cũng như các nhà đầu tư trong lĩnh vực này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Acharige, S. S., Haque, M. E., Arif, M. T., Hosseinzadeh, N., Hasan, K. N., & Oo, A. M. T. (2023). Review of electric vehicle charging technologies, standards, architectures, and converter configurations. *IEEE Access*, 11, 41218-41255.
2. Azim Mohseni, N., Bayati, N., & Ebel, T. (2024). Energy management strategies of hybrid electric vehicles: A comparative review. *IET Smart Grid*, 7(3), 191-220.
3. Cai, W., Wu, X., Zhou, M., Liang, Y., & Wang, Y. (2021). Review and development of electric motor systems and electric powertrains for new energy vehicles. *Automotive Innovation*, 4, 3-22.
4. Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N., & Hossain, E. (2017). A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. *Energies*, 10(8), 1217.
5. Gobbi, M., Sattar, A., Palazzetti, R., & Mastinu, G. (2024). Traction motors for electric vehicles: Maximization of mechanical efficiency—A review. *Applied Energy*, 357, 122496.
6. De Santiago, J., Bernhoff, H., Ekergård, B., Eriksson, S., Ferhatovic, S., Waters, R., & Leijon, M. (2011). Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 61(2), 475-484.
7. Pellegrino, G., Vagati, A., Boazzo, B., & Guglielmi, P. (2012). Comparison of induction and PM synchronous motor drives for EV application including design examples. *IEEE Transactions on industry applications*, 48(6), 2322-2332.
8. Yang, Z., Shang, F., Brown, I. P., & Krishnamurthy, M. (2015). Comparative study of interior permanent magnet, induction, and switched reluctance motor drives for EV and HEV applications. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1(3), 245-254.
9. Huang, W., Qahouq, J. A. A., Dang, Z., & Johnson, C. (2015, March). DCM control scheme for single-inductor multiple-output DC-DC converter with no cross-regulation. In *2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)* (pp. 385-391). IEEE.
10. Kim, K. T., Park, J. K., Hur, J., & Kim, B. W. (2013). Comparison of the fault characteristics of IPM-type and SPM-type BLDC motors under inter-turn fault conditions using winding function theory. *IEEE*

Transactions on Industry Applications, 50(2), 986-994.

11. Husain, I., Ozpineci, B., Islam, M. S., Gurpinar, E., Su, G. J., Yu, W., ... & Sahu, R. (2021). Electric drive technology trends, challenges, and opportunities for future electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 109(6), 1039-1059.
12. Tian, Y., Shi, T. N., Xia, C. L., Liu, D., & Zhang, Q. (2007, June). Sensorless position control using adaptive wavelet neural network for PM BLDCM. In *2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (pp. 2848-2852). IEEE.
13. Liu, L., Li, H., Wang, J., & Wang, J. (2022). Operation Principle and Influence of the Sub-Harmonic Component Utilized in the Brushless Hybrid Excited Machine with PM in Rotor. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 17(10), 1517-1530.
14. China, S. A. E. (2020). Energy-Saving and New Energy Vehicle Technology Roadmap 2.0. *China SAR: Beijing, China*.
15. Cai, W., Fulton, D. and Congdon, C.L., Remy Inc (2005). *Multi-set rectangular copper hairpin windings for electric machines*. U.S. Patent 6,894,417.

Thông tin của tác giả:**ThS. Nguyễn Thị Trang**

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84)988 353 484 - Email: trang.edu84@qui.edu.vn

OVERVIEW AND DEVELOPMENT TRENDS OF ELECTRIC MOTOR IN ELECTRIC VEHICLES

Information about authors:**Nguyen Thi Trang**, MEng., Faculty of Electricity, Quang Ninh University of Industry

Email: trang.edu84@qui.edu.vn

ABSTRACT:

As the demand for electric vehicles (EVs) continues to grow rapidly, improvements in electric motor systems are becoming increasingly critical to enhancing the efficiency, performance, and sustainability of these vehicles. This paper provides a comprehensive overview of the types of electric motors currently used in EVs, including switched reluctance motors (SRMs), induction motors (IMs), direct current motors (DCMs), and permanent magnet synchronous motors (PMSMs). It also examines emerging trends in the development of electric vehicle drive motors, such as advanced winding technologies, innovative materials, and optimized control solutions. This discussion offers readers a holistic understanding of the significance of electric motors in EVs and highlights recent scientific advancements in this field.

Keywords: *Electric Vehicle (EV), Induction Motor (IM), Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), Switched Reluctance Motor (SRM), Direct Current Motor (DCM).*

REFERENCES

1. Acharige, S. S., Haque, M. E., Arif, M. T., Hosseinzadeh, N., Hasan, K. N., & Oo, A. M. T. (2023). Review of electric vehicle charging technologies, standards, architectures, and converter configurations. *IEEE Access*, 11, 41218-41255.
2. Azim Mohseni, N., Bayati, N., & Ebel, T. (2024). Energy management strategies of hybrid electric

- vehicles: A comparative review. *IET Smart Grid*, 7(3), 191-220.
3. Cai, W., Wu, X., Zhou, M., Liang, Y., & Wang, Y. (2021). Review and development of electric motor systems and electric powertrains for new energy vehicles. *Automotive Innovation*, 4, 3-22.
 4. Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N., & Hossain, E. (2017). A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. *Energies*, 10(8), 1217.
 5. Gobbi, M., Sattar, A., Palazzetti, R., & Mastinu, G. (2024). Traction motors for electric vehicles: Maximization of mechanical efficiency—A review. *Applied Energy*, 357, 122496.
 6. De Santiago, J., Bernhoff, H., Ekergård, B., Eriksson, S., Ferhatovic, S., Waters, R., & Leijon, M. (2011). Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 61(2), 475-484.
 7. Pellegrino, G., Vagati, A., Boazzo, B., & Guglielmi, P. (2012). Comparison of induction and PM synchronous motor drives for EV application including design examples. *IEEE Transactions on industry applications*, 48(6), 2322-2332.
 8. Yang, Z., Shang, F., Brown, I. P., & Krishnamurthy, M. (2015). Comparative study of interior permanent magnet, induction, and switched reluctance motor drives for EV and HEV applications. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1(3), 245-254.
 9. Huang, W., Qahouq, J. A. A., Dang, Z., & Johnson, C. (2015, March). DCM control scheme for single-inductor multiple-output DC-DC converter with no cross-regulation. In *2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)* (pp. 385-391). IEEE.
 10. Kim, K. T., Park, J. K., Hur, J., & Kim, B. W. (2013). Comparison of the fault characteristics of IPM-type and SPM-type BLDC motors under inter-turn fault conditions using winding function theory. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(2), 986-994.
 11. Husain, I., Ozpineci, B., Islam, M. S., Gurpinar, E., Su, G. J., Yu, W., ... & Sahu, R. (2021). Electric drive technology trends, challenges, and opportunities for future electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 109(6), 1039-1059.
 12. Tian, Y., Shi, T. N., Xia, C. L., Liu, D., & Zhang, Q. (2007, June). Sensorless position control using adaptive wavelet neural network for PM BLDCM. In *2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (pp. 2848-2852). IEEE.
 13. Liu, L., Li, H., Wang, J., & Wang, J. (2022). Operation Principle and Influence of the Sub-Harmonic Component Utilized in the Brushless Hybrid Excited Machine with PM in Rotor. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 17(10), 1517-1530.
 14. China, S. A. E. (2020). Energy-Saving and New Energy Vehicle Technology Roadmap 2.0. *China SAR: Beijing, China*.
 15. Cai, W., Fulton, D. and Congdon, C.L., Remy Inc (2005). *Multi-set rectangular copper hairpin windings for electric machines*. U.S. Patent 6,894,417.

Ngày nhận bài: 26/11/2024;

Ngày gửi phản biện: 29/11/2024;

Ngày nhận phản biện: 02/12/2024;

Ngày chấp nhận đăng: 08/12/2024.