

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ TÍNH TOÁN LỰA CHỌN TỶ SỐ TRUYỀN CHO Ô TÔ ĐIỆN

USING NUMERICAL METHODS FOR GEAR RATIO SELECTION IN ELECTRIC VEHICLES

Nguyễn Thế Hoàng*, Trần Viết Linh, Đặng Vũ Đình

Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mỏ – Địa chất

*Email: nguyenthehoang@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Để nâng cao hiệu suất hệ thống truyền lực từ đó kéo dài quãng đường di chuyển của ô tô điện trong một lần sạc, các nhà thiết kế thường lựa chọn hệ thống truyền lực có 1 hoặc 2 tỷ số truyền. Tuy nhiên, ô tô hoạt động trong dải vận tốc rộng, tải trọng làm việc thay đổi nên việc lựa chọn tỷ số truyền sao cho giúp ô tô tăng tốc nhanh, đạt vận tốc lớn nhất có thể đồng thời động cơ điện vận hành với hiệu suất cao là vấn đề cần được quan tâm. Bài báo trình bày phương pháp ứng dụng phần mềm Matlab - Simulink trong tính chọn hợp lý tỷ số truyền ô tô điện. Phương pháp tiếp cận mới cho phép lựa chọn tỷ số truyền theo nhiều tiêu chí.

Từ khóa: Ô tô điện; Hệ thống truyền lực; Tỷ số truyền; Mô phỏng Matlab/ Simulink.

ABSTRACT

To enhance the efficiency of the powertrain system and thereby extend the driving range of electric vehicles on a single charge, designers often choose powertrain systems with one or two gear ratios. However, since electric vehicles operate across a wide speed range and under varying load conditions, selecting an appropriate gear ratio to enable quick acceleration, achieve the highest possible speed, and ensure the electric motor operates at high efficiency is a key consideration. This paper presents a method for applying Matlab - Simulink software to reasonably determine the gear ratios for electric vehicles. The new approach allows for selecting gear ratios based on multiple criteria.

Keywords: Electric vehicle; Drivetrain system; Gear ratio; Matlab/Simulink simulation.

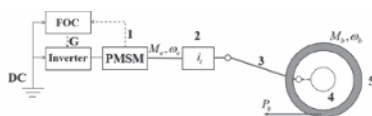
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xu hướng giao thông đang chuyển dịch mạnh mẽ sang ô tô điện, loại phương tiện ít phát thải khói bụi hơn xe truyền thống. Phạm vi hoạt động của ô tô điện phụ thuộc chủ yếu vào pin và hệ thống truyền lực. Trong các thiết kế ô tô du lịch, hệ thống truyền lực thường có từ 1 đến 2 tỷ số truyền nhằm khai thác hiệu quả khả năng làm việc của động cơ điện, đồng thời làm tăng hiệu suất truyền động.

Trên thế giới, các nghiên cứu về hệ thống truyền lực trên ô tô điện tập trung vào tối ưu hiệu suất truyền năng lượng, cải thiện khả năng vận hành và kéo dài quãng đường di chuyển cho một lần sạc. Nghiên cứu [1], [2] xây dựng mô hình điều khiển động cơ điện hướng đến nâng cao hiệu suất vận hành động cơ, tối ưu mô-men xoắn. Các thuật toán quản lý và điều khiển pin xe điện [3] cũng đang được phát triển. Các nghiên cứu về ô tô điện tại Việt Nam cũng đang tập trung vào vấn đề điều khiển động cơ điện [4], [5] và quản lý pin [6], [7], [8]. Phần lớn các nghiên cứu này được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng với các thông số về hệ thống truyền lực cho trước. Đối với các mô hình nghiên cứu về hệ thống truyền lực, việc thay đổi tỷ số truyền lực có thể dẫn đến thay đổi các kết quả nghiên cứu, do đó việc nghiên cứu lựa chọn tỷ số truyền một cách hợp lý cần phải được xem xét trước.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

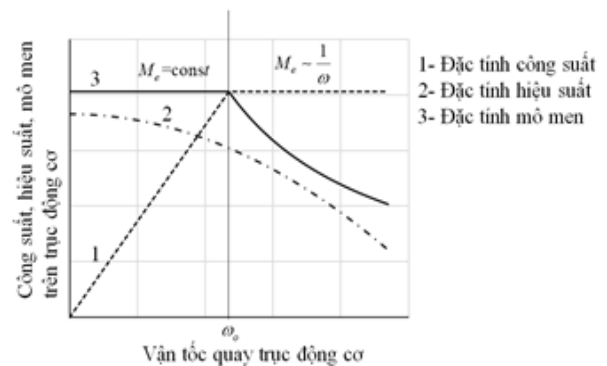
2.1. Mô hình hệ thống truyền lực ô tô điện



Hình 1. Mô hình hệ thống truyền lực:
(1) Động cơ điện PMSM; (2) Hộp số; (3) Các
đăng; (4) Vi sai; (5) Bánh xe.

Hình 1 mô tả sơ đồ hệ thống truyền lực ô tô điện trang bị động cơ điện đồng bộ 3 pha có rô-tô là nam châm vĩnh cửu (PMSM). Động cơ điện (1) được điều khiển bằng biến tần (Inverter) theo phương pháp véc-tơ (Field Oriented Control – FOC). Hộp số (2) có một tỷ số truyền i_1 sẽ biến đổi mô-men của động cơ trước khi truyền đến vi sai (4) rồi đến bánh xe (5).

Đồ thị (Hình 2) biểu diễn các đường đặc tính của động cơ điện đồng bộ 3 pha sử dụng nam châm vĩnh cửu (PMSM). Các đường đặc tính của động cơ PMSM có thể được phân thành hai vùng làm việc.



Hình 2. Đồ thị đặc tính làm việc của động cơ PMSM

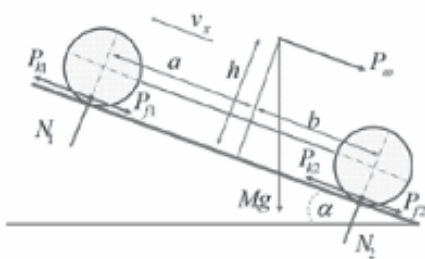
Vùng tốc độ thấp ($\omega_e \leq \omega_0$), điện áp và dòng điện cung cấp đủ để mô-men đạt giá trị định mức ($M_e = \text{const}$), công suất tăng theo tốc độ, hiệu suất làm việc của động cơ ở mức cao.

Khi tốc độ động cơ vượt giá trị định mức ($\omega_e > \omega_0$), động cơ làm việc ở chế độ từ thông yếu. Do khả năng làm việc của biến tần, điều kiện vận hành và nguồn cung cấp bị giới hạn, điện áp và dòng điện cấp cho động cơ bị hạn chế nên công suất coi như không đổi, mô-men xoắn tỷ lệ nghịch với tốc độ, hiệu suất động cơ giảm nhanh.



2.2. Mô hình động lực học thân xe

Hình 3 mô tả mô hình động lực học thân xe. Ô tô có khối lượng toàn tải M đang di chuyển với vận tốc v_x lên dốc. Trọng tâm xe cách các trục trước, sau lần lượt là a , b và cách mặt dốc khoảng h . Sức cản không khí P_ω tác dụng lên xe được xác định theo CT (2). Phản lực từ mặt đường tác dụng lên các bánh lần lượt là N_1 , N_2 theo CT (3), (4), (5), lực cản lăn P_{f1} , P_{f2} được xác định theo CT(6), (7).



Hình 3. Mô hình thân xe

$$M \cdot \dot{v}_x = P_{k1} + P_{k2} - P_\omega - M \cdot g \cdot \sin \beta \quad (1)$$

$$P_\omega = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_{kk} \cdot A \cdot v_x^2 \quad (2)$$

$$N_1 + N_2 = M \cdot g \cdot \cos \beta \quad (3)$$

$$N_1 = \frac{-h(P_\omega + M \cdot g \cdot \sin \beta + M \cdot \dot{v}_x) + b \cdot M \cdot g \cdot \cos \beta}{a + b} \quad (4)$$

$$N_2 = \frac{+h(P_\omega + M \cdot g \cdot \sin \beta + M \cdot \dot{v}_x) + a \cdot M \cdot g \cdot \cos \beta}{a + b} \quad (5)$$

$$P_{f1} + P_{f2} = P_f = G \cdot f \quad (6)$$

$$f = f_o \left(1 + \frac{v^2}{1500}\right) \quad (7)$$

2.3. Điều kiện chuyển động của ô tô

Hệ thống truyền lực tạo lực kéo P_k được xác định theo CT (8). Lực kéo tại các bánh xe chủ động phụ thuộc vào mô-men xoắn M_e của

động cơ, hiệu suất của hệ thống truyền lực η_t , tỷ số truyền của hệ thống truyền lực i_t và bán kính làm việc trung bình của bánh xe r_b .

$$P_k = \frac{M_e \cdot \eta_t \cdot i_t}{r_b} \quad (8)$$

Lực kéo lớn cho phép xe vượt dốc cao, tăng tốc nhanh. Trong mọi tình huống, lực kéo của các bánh xe chủ động luôn phải lớn hơn sức cản mặt đường. Tuy nhiên, quá lớn có thể khiến bánh xe bị trượt quay khi di chuyển. Theo [9], lực kéo bị giới hạn bởi điều kiện chuyển động như CT (9).

$$\frac{G(f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot r_b}{M_e \cdot \eta_t} \leq i_t \leq \frac{G_\phi \cdot \phi_x \cdot r_b}{M_e \cdot \eta_t} \quad (9)$$

Với các yêu cầu thiết kế về tải trọng, kích thước bánh, hiệu suất sơ bộ của hệ thống truyền lực và mô-men mà động cơ điện tạo ra, CT (9) sẽ khoanh vùng được giá trị tỷ số truyền của hệ thống truyền lực.

2.4. Các tiêu chí đánh giá tỷ số truyền của hệ thống truyền lực trên ô tô điện

2.4.1. Vận hành tiết kiệm

Hiệu suất động cơ điện và hiệu suất của hệ thống truyền lực ảnh hưởng đến khả năng tiết kiệm năng lượng khi xe vận hành. Quãng đường di chuyển của xe tăng lên khi tăng hiệu suất hệ thống truyền lực và hiệu suất của động cơ điện.

Hiệu suất của hệ thống truyền lực phụ thuộc vào kết cấu cơ khí và chế độ vận hành. Tỷ số truyền cao cần sử dụng nhiều cặp bánh răng hơn dẫn đến hiệu suất giảm. Bánh răng quay nhanh, sức cản chuyển động của dầu bôi trơn tăng, tải trọng va đập tăng cũng góp phần

làm giảm hiệu suất của hệ thống truyền lực. Việc xác định hiệu suất của hệ thống truyền lực có thể được xác định thông qua thực nghiệm. Trong nghiên cứu này, giả thiết hiệu suất của các bộ truyền $\eta_t = 0.95$.

Hiệu suất làm việc của động cơ PMSM phụ thuộc vào tải trọng, tốc độ làm việc. Tải trọng tăng làm tăng dòng điện trong dây dẫn, tổn thất nhiệt tăng, hiệu suất giảm. Hiệu suất làm việc của động cơ thường đạt cao nhất khi động cơ làm việc ở chế độ định mức. CT (10) giúp xác định hiệu suất của động cơ PMSM theo tốc độ làm việc.

$$\eta_m = 0,9991 - 0,15 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_o} \right)^2 \quad (10)$$

Để tăng hiệu quả sử dụng điện năng, động cơ điện cần đạt hiệu suất cao khi ô tô hoạt động trong vận tốc vận thường xuyên từ 40 – 60 km/h. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện đánh giá các phương án lựa chọn tỷ số của hệ thống truyền lực bằng cách so sánh hiệu suất làm việc của động cơ PMSM ở tốc độ 50 km/h.

2.4.2. Tăng tốc nhanh

Khả năng tăng tốc của xe có thể được đánh giá thông thời gian tăng tốc (t_{100}) từ 0 đến 100 km/h được tính theo CT (11). Thời gian tăng tốc xe phụ thuộc vào gia tốc dọc $\dot{v}_x$.

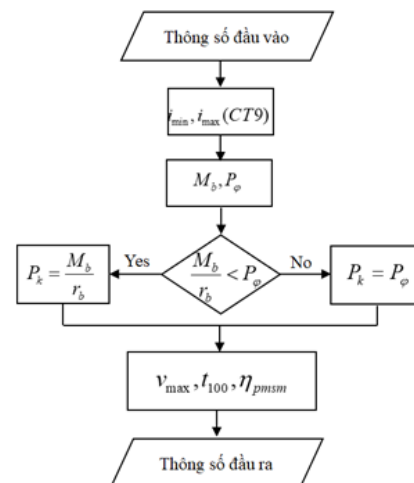
$$t_{100} = \int_0^{100} \frac{dv_x}{\dot{v}_x} \quad (11)$$

2.5. Ứng dụng phần mềm Matlab – Simulink trong lựa chọn tỷ số truyền hệ thống truyền lực ô tô điện

2.5.1. Thông số đầu vào mô phỏng

1	Động cơ		3	Khối lượng	
	Công suất động cơ (kW)	100		Khối lượng toàn tải (kg)	
	Mô men lớn nhất (N.m)	203		Phân bố tải trọng	
	Tốc độ định mức (vg/ph)	4700	4	Lốp	
	Điện áp định mức (V)	360	5	Hệ số cản lăn ở vận tốc thấp f_o	0.015
2	Kích thước xe		6	Bán kính làm việc trung bình r_b (m)	0.340
	Diện tích cản chính diện (m)	2.5694		Hệ số bám dọc $\varphi_x = 0.8$	
	Chiều dài cơ sở (m)	2.6		Hiệu suất hệ thống truyền lực	0,95
				Góc dốc leo được ($^\circ$)	10

2.5.2. Quy trình tính toán

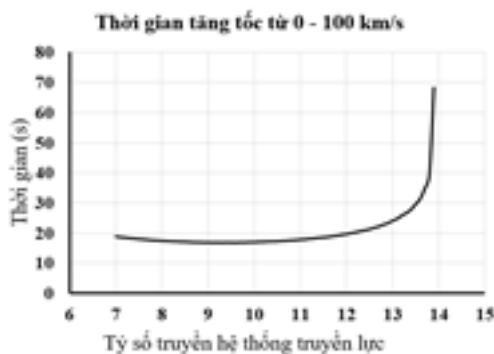


Hình 4. Lưu đồ tính chọn tỷ số truyền lực chính

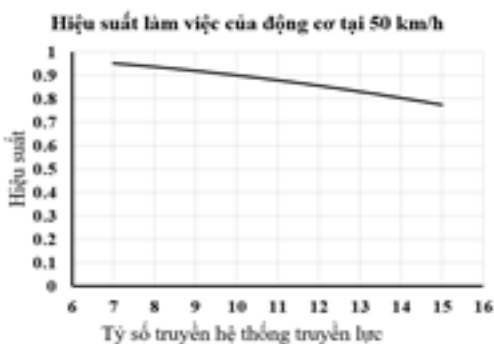
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



(a)



(b)



(c)

Hình 5. Kết quả tính toán tỷ số truyền hệ thống truyền lực xe ô tô điện

Kết quả tính vận tốc lớn nhất, thời gian tăng tốc đến 100 km/h, hiệu suất làm việc của động cơ ở tốc độ 50 km/h khi thay đổi tỷ số truyền từ 7 đến 15 được mô tả như trong Hình 5.

Sự thay đổi của vận tốc lớn nhất theo tỷ số truyền được thể hiện trong Hình 5(a). Khi tỷ số truyền của hệ thống truyền lực tăng thì vận tốc lớn nhất mà xe đạt được giảm. Với tỷ số truyền là 7, vận tốc lớn nhất của xe đạt được khoảng 148 km/h, nhưng vận tốc lớn của xe không đến 100 km/h với tỷ số truyền trên 14. Điều này cho thấy, công suất của động cơ đã không được khai thác tốt ở dải vận tốc cao khi tỷ số truyền lớn.

Từ đồ thị Hình 5(b) cho thấy khi tỷ số truyền xe tăng thì thời gian tăng tốc để xe đạt 100 km/h bị kéo dài hơn. Dải tỷ số truyền từ 8 đến 10, thời gian tăng tốc không có biến động nhiều nhưng khi ở mức 12 thì thời gian tăng lên đáng kể. Tỷ số truyền của hệ thống truyền lực là 9,6 thì thời gian tăng tốc của xe lên 100 km/h là nhỏ nhất ở mức 16,91 s. Tỷ số truyền tăng sẽ làm tăng lực kéo nhưng lại không làm tăng gia tốc của xe, bởi khi đó bánh xe bị trượt qua trên mặt đường, lực kéo bằng lực bám.

Hiệu suất làm việc của động cơ ở tốc độ 50 km/h giảm khi tăng tỷ số truyền lực, như trên Hình 5(c). Điều này cho thấy, tỷ số truyền cho không có lợi về mặt hiệu suất khi vận hành xe ở dải tốc độ thường xuyên từ 40 đến 60 km/h.

Mặc dù phương pháp số trong nghiên cứu trên đã giúp tính toán và lựa chọn tỷ số truyền cho ô tô điện một cách hợp lý, nhưng nó vẫn tồn tại một số hạn chế cần khắc phục. Nghiên cứu giả định hiệu suất của hệ thống truyền lực không đổi, hàm mô tả hiệu suất của động cơ PMSM đang được lý tưởng hóa.

Trong tương lai, nghiên cứu có thể được phát triển theo hướng đánh giá khả năng vận hành của ô tô điện trong các điều kiện vận hành khác nhau hoặc tích hợp hộp số vô cấp (CVT) để cải thiện khả năng tăng tốc và tiết kiệm nhiên liệu.

4. KẾT LUẬN

Ứng dụng phương pháp số trong tính chọn tỷ số truyền của hệ thống truyền lực ô tô điện cho phép tính toán nhanh và chính xác. Nó giúp nhà nghiên cứu quan sát sự biến động của nhiều yếu tố khi tỷ số truyền thay đổi từ đó chọn ra phương án hợp lý. Nguyên cứu trong trường hợp cụ thể cho thấy, với tỷ số truyền thấp ô tô điện đạt được khả năng động lực học tốt hơn, tiết kiệm nhiên liệu hơn. Đây là cơ sở để thực hiện các nghiên cứu sâu hơn về tối ưu hệ thống truyền lực trên ô tô điện, tối ưu quá trình điều kiện động cơ.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài nghiên cứu cấp Trường Đại học Mở – Địa chất, trong khuôn khổ đề tài cấp cơ sở mã số T24-07. Nhóm tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Mở – Địa chất đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 15/11/2024

Ngày phản biện: 10/12/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Grzegorz Sieklucki, and Dawid Kara, “*Design and modelling of energy conversion with the Two-Region torque control of a PMSM in an EV Powertrain*”. Energies, 2022.
- [2]. G. Sieklucki, “*Optimization of Powertrain in EV*”. Energies, 2021.
- [3]. T.A.T. Mohd, M.K. Hassan, Ishak Aris, Azura C.S. and B.S.K.K Ibrahim, “*Application of fuzzy logic in Multi-Mode driving for a battery*”. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, tập 7, số 2088-5334, pp. 284-290, 2017.
- [4]. Phạm Quốc Thái, Huỳnh Đức Trí, “*Mô hình hóa và mô phỏng hệ thống truyền động ô tô điện*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ – Đại học Đà Nẵng, pp. 47-52, 2021.
- [5]. Nguyễn Sĩ Đình, Trần Thanh Lam, Lã Quốc Tiệp, “*Nghiên cứu tối ưu hóa chiến lược điều khiển hệ thống truyền lực song song ô tô hybrid*”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, số 1859-316X, pp. 195-201, 2021.
- [6]. Thảm Bội Châu, Nguyễn Văn Hải, “*Nghiên cứu mô hình nhiệt động học của pin Lithium-ion 1865 bằng phương pháp số*”. Khoa học Công nghệ, tập 74, số 1859-316X, pp. 36-40, 2023.
- [7]. Trần Phước Dinh, Phạm Minh Mận, Nguyễn Lê Châu Thành, Bùi Văn Hùng, Tống Duy Quốc, “*Mô phỏng quá trình làm mát khối pin Lithium trong xe điện ứng dụng phần mềm Ansys Fluent*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng, tập 21, số 1859-1531, pp. 71-76, 2023.
- [8]. N. V. Bình, “*Mô phỏng và phân tích hệ thống quản lý pin Lithium-ion trong xe điện*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, p. 71, 2023.
- [9]. Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng, “*Lý thuyết ô tô máy kéo*”. NXB. Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2005.