

PHÂN TÍCH ĐÁP ỨNG ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ PMSM TRONG TRƯỜNG HỢP SỬ DỤNG BỘ TRUYỀN BÁNH RĂNG VÀ BỘ TRUYỀN CVT

DYNAMIC RESPONSE ANALYSIS OF PMSM MOTOR IN THE CASE OF USING GEAR TRANSMISSION AND CVT TRANSMISSION

Lê Thanh Quang, Lý Vĩnh Đạt, Lê Thanh Phúc

Khoa Cơ khí Động lực, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày kết quả phân tích, đánh giá về hiệu quả, ưu nhược điểm của hệ thống truyền động trên xe điện sử dụng hộp số vô cấp CVT (continuously variable transmission) và hộp số truyền thống. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên phần mềm ANSYS để mô phỏng đặc tính cơ học của hệ thống truyền động CVT và hệ thống truyền động bánh răng dẫn động bằng xích thông thường. Đầu vào là tín hiệu công suất của động cơ PMSM (permanent magnet synchronous motors) ba pha với hệ thống phanh tái tạo, được mô hình hóa bằng MATLAB Simulink. Mô hình phần tử hữu hạn được xây dựng từ dữ liệu quét laser 3D của động cơ xe Toyota Prius đời 2009. Hiệu quả, ưu điểm và nhược điểm của hai thiết kế truyền động được đánh giá dựa trên biểu đồ đặc tính mô-men xoắn-vòng quay đầu ra của động cơ PMSM.

Từ khóa: Hệ thống truyền động; Xe điện; Hộp số vô cấp CVT; Hộp số truyền thống.

ABSTRACT

This article presents the results of an analysis and evaluation of the efficiency, advantages and disadvantages of the transmission system on electric vehicles using CVT and conventional gear transmission. The study uses the finite element method based on Ansys software to simulate the mechanical behavior of the CVT transmission system and the conventional chain-driven gear transmission system. The input is the power signal of a three-phase PMSM motor with a regenerative braking system, which is modeled using MATLAB Simulink. The finite element model is built from 3D laser scanning data of the engine of a 2009 Toyota Prius. The efficiency, advantages, and disadvantages of the two transmission designs are evaluated based on the output torque-revving-power characteristics graph of the PMSM motor.

Keywords: Transmission system; Electric vehicle; CVT transmission; Traditional transmission. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

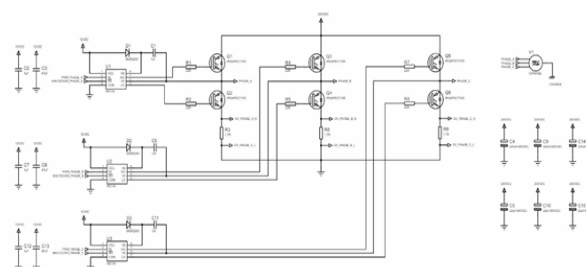
Với những ưu điểm vượt trội về hiệu suất công suất, mô-men xoắn đỉnh, mô-men khởi động và kỹ thuật điều khiển, việc sử dụng động cơ PMSM trong ngành công nghiệp xe điện đã trở nên phổ biến trên thế giới thay cho các loại động cơ DC chổi than (brushed DC motor), động cơ DC không chổi than (brushless DC motor), động cơ cảm ứng ba pha (induction motor). Kèm theo đó, việc lựa chọn cơ cấu truyền động cũng trở thành một vấn đề quan trọng. Phần lớn các xe điện đều sử dụng hệ thống giảm tốc đơn 1 cặp bánh răng cho động cơ điện, không có cơ cấu bánh răng bổ sung để thay đổi tỉ số truyền [1], do đó làm giảm nhu cầu về bánh răng và hộp số. Tuy nhiên, ở tốc độ cao hơn, khi động cơ điện chạy ở tốc độ vòng tua quá cao, mô-men xoắn sẽ không được duy trì liên tục, điều này làm giảm hiệu quả hoạt động và giới hạn về phạm vi hoạt động đối với động cơ. Hộp số bánh răng truyền thống sẽ làm giảm hiệu suất truyền động của động cơ điện. Hộp số vô cấp CVT [2] trên các loại xe sử dụng động cơ đốt trong truyền thống đã từng giải quyết được vấn đề này, giúp tạo ra nhiều mô-men xoắn hơn với vòng tua máy ít hơn, và có thể đạt được các lợi ích như bộ pin có thể thu nhỏ hơn, trong khi vẫn duy trì phạm vi hoạt động tương tự [3].

Nghiên cứu đã đề xuất một phương pháp phân tích và so sánh mới bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm ANSYS kết hợp đầu vào của MATLAB Simulink [4]. Trong nghiên cứu, tác giả đã tiến hành thử nghiệm và mô phỏng theo sơ đồ mạch điện và mô phỏng quá trình điều khiển bằng MATLAB Simulink, các thông số và kích thước dựa trên mô hình thực tế, công suất và vòng quay thiết kế của động cơ PMSM của Toyota Prius 2009. Từ đó phân tích tích được tín hiệu mô-men xoắn ở cuối trục động cơ, làm đầu vào cho quá trình phân tích phần tử hữu hạn của hộp số vô

cấp CVT và hộp số bánh răng một cấp thông thường. Kết quả được đánh giá dựa trên đặc tuyến mô-men – vòng quay động cơ.

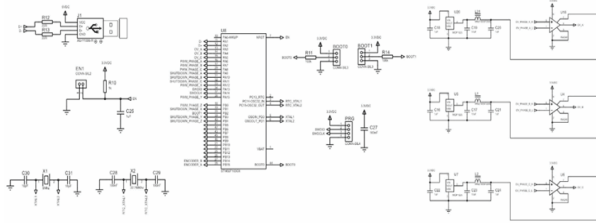
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp điều khiển động cơ PMSM



Hình 1. Sơ đồ điều khiển động cơ PMSM sử dụng ba trình điều khiển IGBT và ba cặp IGBT

Động cơ PMSM được điều khiển thông qua ba cặp IGBT, được vận hành bởi IC lái dòng IR21XX. Các cặp IGBT này kéo đẩy dựa trên phương pháp nghịch lưu nguồn áp ba pha tạo sóng sin điều khiển ba cuộn dây của động cơ PMSM [4]. Để giảm tổn thất chuyển mạch và nhiệt của IGBT càng nhiều càng tốt, điều rất quan trọng là phải chọn điện trở phù hợp nối tiếp với cực cổng của IGBT. Điện trở cực cổng sẽ ảnh hưởng đến khả năng dẫn động của mạch dẫn động cho IGBT. Nếu điện trở cực cổng quá lớn, nó sẽ cản trở sự dẫn điện của cực cổng; nếu điện trở cực cổng quá nhỏ, điện áp dẫn động sẽ dao động. IC lái cặp IGBT tương thích với đầu vào logic 3,3V và 5V, và điện áp nổi kênh làm việc khởi động của nó có thể đạt tới +200V. Nó có thể chuyển đổi tín hiệu chuyển mạch 3,3V đầu ra của MCU thành tín hiệu điều khiển cổng của MOSFET. Ngoài ra, IC lái này có mạch ngăn chặn bắn xuyên tích hợp cho tất cả các kênh thường có thời gian chết, có thể ngăn ngừa sự cố đoản mạch của các cánh cầu trên và dưới trong quá trình hoạt động của mạch.



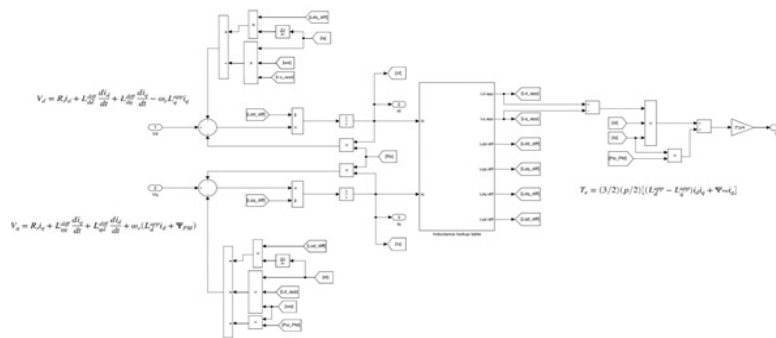
Hình 2. Vi điều khiển chính của driver PMSM và mô-đun phản hồi dòng điện sử dụng op-amplifier với chức năng khử nhiễu PWM

Phương pháp hồi tiếp dòng có lọc sóng PWM được sử dụng để ngăn hiện tượng quá dòng trong quá trình điều khiển động cơ. IC được sử dụng thuộc dòng OP-AMP vì sai có khử nhiễu PWM INA12X. Ngoài ra, còn có mạch lọc thông thấp trợ cho việc lọc tín hiệu. Dòng pha chạy qua điện trở phân luồng tạo ra một điện áp giảm cần được bộ chuyển đổi AD lấy mẫu thích hợp khi các MOSFET phía thấp được bật. Không thể đo dòng điện bằng điện trở phân luồng tại một thời điểm tùy ý. Điều này là

do dòng điện chỉ chạy qua điện trở phân luồng khi bóng bán dẫn dưới cùng của chân biến tần tương ứng được bật. Do đó, khi xem xét sơ đồ được mô tả trong Hình 2, dòng pha A được đo bằng điện trở phân luồng của pha A và chỉ có thể lấy mẫu khi MOSFET pha A được bật. Tương ứng, chỉ có thể đo dòng điện trong pha B nếu MOSFET pha B được bật và chỉ có thể đo dòng điện trong pha C nếu MOSFET pha C được bật. Để có được thời điểm cảm biến dòng điện thực tế, phải thực hiện phân tích dạng sóng điện áp. Thời điểm lấy mẫu tốt nhất của dòng điện pha là ở giữa chu kỳ PWM, khi tất cả các bóng bán dẫn dưới cùng được bật.

2.2. Mô phỏng hoạt động của động cơ PMSM

Dựa trên sơ đồ mạch điện và thuật toán điều khiển động cơ PMSM ba pha, thuật toán điều khiển động cơ PMSM của Toyota Prius 2009 được mô hình hóa bằng MATLAB Simulink.



Hình 3. Lưu đồ thuật toán điều khiển và tạo tín hiệu của động cơ PMSM 3 pha sử dụng MATLAB SIMULINK

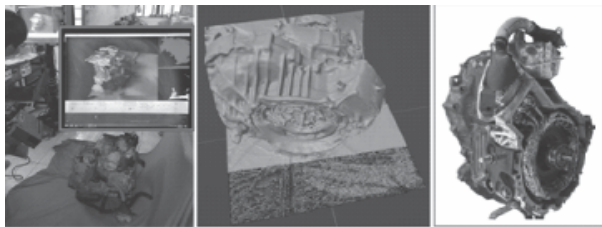
Mô hình thuật toán điều khiển và tạo tín hiệu động cơ PMSM dựa trên độ tự cảm được áp dụng để mô phỏng hành vi PMSM. Xét trường hợp phi tuyến tính trong đó thông lượng là hàm của dòng điện, phương trình điện áp có thể được biểu thị như sau:

$$V_d = R_s i_d + L_{dd}^{\text{diff}} \frac{di_d}{dt} + L_{dq}^{\text{diff}} \frac{di_q}{dt} - \omega_e L_q^{\text{app}} i_q \quad (1)$$

$$V_q = R_s i_q + L_{qq}^{\text{diff}} \frac{di_q}{dt} + L_{qd}^{\text{diff}} \frac{di_d}{dt} - \omega_e (L_d^{\text{app}} i_d + \psi_{PM}) \quad (2)$$

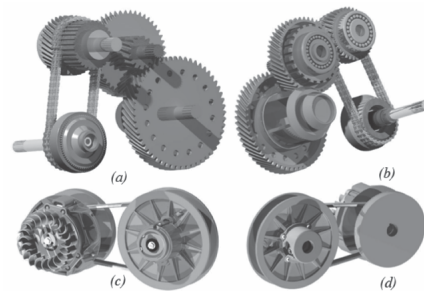
Trong đó: V_d và V_q là điện áp trục d và q; i_d và i_q là dòng điện trục tương ứng; R_s là điện trở cuộn dây stato; ω_e là tốc độ điện của rô-to; L_q^{app} và L_d^{app} là độ tự cảm biểu kiến là hàm của dòng điện và ψ_{PM} là liên kết từ thông nam châm vĩnh cửu [4].

2.3. Mô hình hóa hộp số CVT



Hình 4. Quá trình kỹ thuật nghịch đảo của mô-đun truyền động cơ của Toyota Prius 2009: (a) Quét mô hình 3D với nền xanh, (b) Bề mặt xử lý và điểm dữ liệu từ máy quét 3D và (c) Thiết kế lại mô hình CAD từ điểm dữ liệu

Với yêu cầu về độ chính xác và phục vụ cho nhu cầu thực nghiệm sau này, công nghệ quét laser mô hình ba chiều đã được sử dụng nhằm tái tạo lại cấu trúc CAD của hệ động cơ – bộ truyền động của xe Toyota Prius 2009. Mô hình sau khi quét ba chiều sẽ được đưa vào phần mềm CATIA và xây dựng lại cấu trúc bề mặt, chuẩn hóa các kích thước.



Hình 5. Mô hình thiết kế 3D hộp số vô cấp CVT sử dụng cho động cơ PMSM của Toyota Prius 2009 thay vì hộp số thường: (a) Mặt trước hộp số thường, (b) Mặt sau hộp số thường, (c) Mặt trước hộp số CVT thay thế, (d) Mặt sau hộp số CVT thay thế.

Cấu trúc hộp số vô cấp CVT được thiết kế dựa trên khoảng cách hai trục chính của bộ truyền động bánh răng [5] với giá trị 37,5cm, vật liệu sử dụng cho đai là thép, vật liệu sử dụng cho các thành phần còn lại là thép. Mô phỏng phần tử hữu hạn có xét đến hệ số ma sát, mô-men quán tính, gia tốc trọng trường, hệ số ma sát vòng bi tròn, vòng bi côn, hệ số ma sát tiếp xúc động lực giữa hai bề mặt kim loại [6]. Mô hình được phân tích trong miền đàn hồi, giả thiết không xảy ra biến dạng dẻo. Các giá trị được cho theo bảng 1.

Bảng 1. Thông số tiến hành mô phỏng

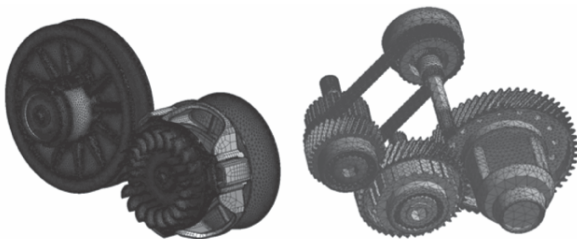
Bộ truyền vô cấp CVT	Giá trị	Đơn vị	Bộ truyền bánh răng thường 1 cấp	Giá trị	Đơn vị
Vật liệu đai	Thép		Vật liệu xích	Thép	
Vật liệu pu-li	Thép				
Vật liệu các chi tiết khác	Thép		Vật liệu các chi tiết khác	Thép	
Vật liệu trục	Thép		Vật liệu trục	Thép	
Gia tốc trọng trường	9.81	m/s ²	Gia tốc trọng trường	9.81	m/s ²
Khối lượng riêng	7890	kg/m ³	Khối lượng riêng	7890	kg/m ³
Hệ số ma sát tĩnh thép-thép	0.31		Hệ số ma sát tĩnh thép-thép	0.31	
Hệ số ma sát động thép-thép	0.16		Hệ số ma sát động thép-thép	0.16	
Hệ số ma sát vòng bi tròn	0.001		Hệ số ma sát vòng bi tròn	0.001	
Mô-đun đàn hồi	210×10 ⁹	N/m ²	Mô-đun đàn hồi	210×10 ⁹	N/m ²
Hệ số Poisson	0.3		Hệ số Poisson	0.3	

Mô hình phần tử hữu hạn bao gồm phần tử dạng tứ diện (tetrahedral), phần tử dạng lăng trụ (prisms), phần tử dạng kim tự tháp (pyramids), phần tử dạng lục diện (hexahedral) và phần tử dạng đa diện, với tùy chọn tuyến tính hoặc phi tuyến. Mô hình phần tử hữu hạn sử dụng trong phân tích động lực học hộp số CVT [7] được thiết lập dựa trên phần tử tứ diện (tetrahedral) tuyến tính do không xét biến dạng dẻo phi tuyến, bao gồm bốn nút với sáu bậc tự do tại mỗi nút. Đáp ứng cấu trúc biến dạng và tiếp xúc với mô hình ba chiều phức tạp của phần

tử tứ diện tốt hơn phần tử lục diện và phần tử hình nêm. Hệ số Skewness đạt giá trị trung bình 0.57, hệ số Aspect đạt giá trị trung bình 1.12 và hệ số Orthogonal đạt giá trị trung bình 0.153. Các hệ số nằm trong ngưỡng tiêu chí hội tụ của mô hình phần tử hữu hạn. Hệ số Orthogonal Quality đánh giá độ lệch của phần tử lưới với phần tử tiêu chuẩn. Hệ số Skewness đánh giá độ lệch góc của phần tử lưới so với phần tử tiêu chuẩn. Bảng 2 thể hiện chất lượng lưới qua các hệ số.

Bảng 2. Chất lượng lưới của mô hình phần tử hữu hạn

Hệ số	Mô hình hiện tại	Excel-lent	Very Good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
Skewness	0.57	0.0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.8	0.8-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00
Orthogonal	0.153	0.95-1.00	0.7-0.95	0.2-0.69	0.15-0.2	0.001-0.14	
Aspect	1.12	4			4		



Hình 6. Chia lưới bộ truyền động vô cấp CVT và bộ truyền động bánh răng

Mô hình phần tử hữu hạn của bộ truyền động được thực hiện dựa trên phương pháp lưới cục bộ. Các bộ phận của hệ truyền động được phân tách ra nhằm đạt được tiêu chí nhất định cho lưới cục bộ của từng bộ phận. Hình ảnh lưới bộ truyền động được thể hiện trực quan ở trên hình 6. Các phần tử lưới nhỏ và dày hơn ở những chi tiết nhỏ, và ngược lại ở những chi tiết lớn hay ít có sự thay đổi về hình học, hệ số chuyển tiếp ở mức cao, các tiêu chí Skewness, Aspect, Orthogonal được thiết lập cận như Bảng 2. Miền tiếp xúc giữa các bộ phận sẽ

được mô hình hóa bởi phần tử tiếp xúc tuyến tính (linear contact).

2.4. Phương pháp đo mô-men động lực

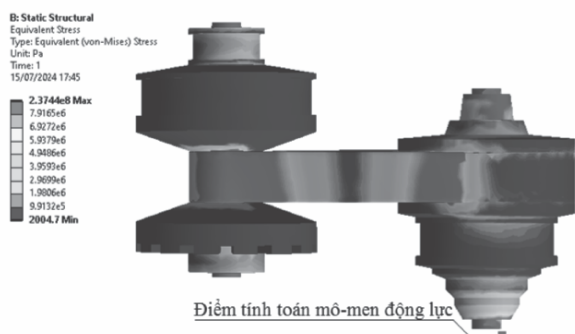
Việc đánh giá và lựa chọn hệ truyền động nào tối ưu hơn phụ thuộc vào đặc tuyến đáp ứng mô-men đầu ra của trục [8]. Không như việc phân tích mô-men tĩnh hoặc tính toán giá trị mô-men quán tính, việc phân tích giá trị mô-men động lực học theo thời gian sẽ phức tạp. Tác giả đề xuất một phương pháp đo mô-men động áp dụng cho mô hình phần tử hữu hạn [9]. Sử dụng phần tử sinh chết tạo điểm va chạm đột ngột ngay khi hệ thống đang quay, từ đó tiến hành phân tích đáp ứng động lực của cấu trúc tại thời điểm va chạm [10]. Phân tích động là phương pháp dùng để xác định phản ứng động của kết cấu theo thời gian. Thông qua phân tích tức thời, chúng ta có thể thu được kết quả phụ thuộc thời gian như chuyển vị, biến

dạng, ứng suất và phản lực của kết cấu dưới sự kết hợp tùy ý của tải trọng ổn định, tải trọng tức thời và tải trọng hài hòa. Ưu điểm lớn nhất của phân tích tức thời so với phân tích tĩnh là nó xem xét đến hiệu ứng quán tính và hiệu ứng giảm chấn.

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp phân tích đầy đủ. Cấu hình chi tiết hệ máy thực hiện mô phỏng động lực được lựa chọn bao gồm CPU Dual Xeon E5 2699A V4 88 CPUs, card màn hình RTX4090 hỗ trợ CUDA tăng tốc tính toán với 16384 CUDA core, DDR4 BUS 3600 128GB, ổ cứng NVME M2 1TB giúp vận hành mô hình lớn trong điều kiện phân tích đáp ứng động lực học.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

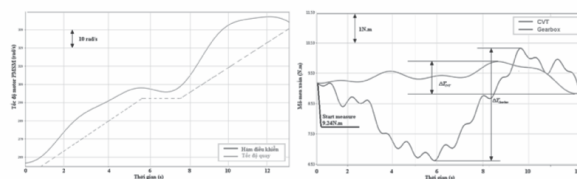
Các thông số của bộ truyền động vô cấp CVT được đo đạc, tính toán làm đầu vào trong mô phỏng Ansys Workbench. Ở đây, hai mô-đun Structure Transient và Rigid Body Transient được sử dụng để tính toán mô-men xoắn của các bộ phận bên trong hệ.



Hình 7. Sự phân bố ứng suất ma sát bên trong bộ truyền động CVT

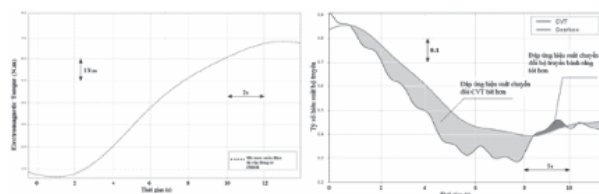
Phổ ứng suất được thể hiện một cách trực quan trên hình 7. Ứng suất được trải từ thấp đến cao tương ứng từ gam màu lạnh đến nóng. Dựa vào hình 7, ứng suất lớn tại khu

vực tiếp xúc giữa các thành phần. Đặc biệt là nơi tiếp xúc giữa dây đai với bề mặt puli, điều này phù hợp với lý thuyết và thực tế vận hành vì khu vực này có ma sát lớn do sự quay và trượt liên tục giữa các chi tiết cơ khí lên nhau. Tuy nhiên, xét đến tính tổng thể, ma sát của bộ truyền động CVT nhỏ hơn bộ truyền động bánh răng thông thường do cấu trúc phức tạp, công kênh hơn của các bánh răng.



Hình 8. Đồ thị tốc độ và mô-men xoắn thay đổi theo thời gian

Hình 8 cho ta mối tương quan giữa sự thay đổi tốc độ và mô-men xoắn theo thời gian. Khi tốc độ thay đổi, sự chênh lệch mô-men xoắn đầu vào và ra khá nhỏ đối với hộp số CVT. Có thể thấy, tỷ số truyền tối ưu phù hợp với mọi tốc độ mà CVT cung cấp khiến chúng trở nên lý tưởng cho việc chạy trong thành phố, các thao tác dừng, khởi động và tăng tốc, đáp ứng mô-men không quá khác biệt. Sự vận hành mượt mà của chúng mang lại sự thoải mái trong khi vẫn duy trì hiệu suất của động cơ. Đối với đồng bộ truyền động bánh răng thông qua xích, độ biến thiên của mô-men xoắn là rất lớn, đáp ứng không đồng nhất theo các cấp tốc độ. Việc đáp ứng mô-men xoắn của bộ truyền động CVT ít biến thiên theo sự thay đổi tốc độ giúp cho lượng hao phí pin được tối ưu đáng kể.



Hình 9. Đồ thị tỷ số hiệu suất giữa bộ truyền CVT và bộ truyền động bánh răng thay đổi theo thời gian

Hình 9 so sánh tỷ số hiệu suất của bộ truyền động CVT và bộ truyền động bánh răng thường so với mô-men xoắn đầu vào của động cơ PMSM. Kết quả cho thấy đáp ứng hiệu suất của bộ truyền động CVT trội hơn hầu như toàn miền phân tích. Ở khu vực giữa của miền thời gian phân tích, quá trình mô phỏng sự thay đổi tốc độ diễn ra, tại đây đáp ứng tỷ số hiệu suất của bộ truyền động CVT thay đổi theo chiều hướng có lợi nhất. Do trên thực tế, khi chuyển đổi tốc độ đột ngột, bán kính puli đầu vào của bộ truyền động vô cấp CVT giảm khi vòng tua máy tăng trong khi đồng thời, đường kính puli đầu ra tăng theo tỷ lệ. Điều này giúp giữ độ căng của dây đai không đổi bất kể điều chỉnh tốc độ. Hộp số CVT tăng tốc mượt mà nhưng từ từ hơn, không cần chuyển số xuống gấp, và do đó đáp ứng tỷ số hiệu suất có lợi hơn so với bộ truyền động bánh răng.

Có thể thấy rằng, đặc tuyến mô-men xoắn sau khi chuyển đổi từ hệ bánh răng thường sang hệ truyền động vô cấp CVT ổn định cao hơn, độ chênh lệch mô-men xoắn đầu ra và đầu vào nhỏ hơn. Hộp số CVT kết hợp động cơ PMSM được lập trình tốt mang lại hiệu quả tiết kiệm nhiên liệu tốt hơn trong điều kiện giao thông đô thị dừng đỗ liên tục, tối ưu hóa vòng tua máy để đạt được tốc độ cần thiết. Tuy sự hao mòn dây đai lớn và tăng nhiệt trong khi vận hành nhưng hộp số CVT vẫn có lợi thế là tồn thất tổng ma sát của hệ thống truyền động thấp hơn, do có ít bộ phận tiếp xúc và va đập liên tục với nhau hơn. Việc áp dụng CVT trên thị trường đại chúng ở phân khúc xe nhỏ gọn khiến chi phí sản xuất rẻ hơn đáng kể, nhờ vào quy mô sản xuất và chi phí thay thế dây đai CVT cũng như khả năng tiết kiệm pin.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích đáp ứng động lực học đầu ra của động cơ PMSM dựa trên bộ truyền động CVT được đơn giản hóa dành

cho xe điện giúp ít hao phí mô-men xoắn ở đầu ra, điều này giúp tiết kiệm năng lượng pin hơn. Thiết kế này không chỉ cải thiện hiệu suất của xe, mà còn giảm đáng kể chi phí sản xuất và sử dụng hàng ngày nhờ vào phạm vi tỷ số truyền có sẵn rộng hơn và CVT hiệu quả trong việc thay đổi tốc độ đột ngột. Sự kết hợp giữa động cơ EV PMSM và bộ truyền động vô cấp CVT đã cho ưu điểm tiết kiệm đáng kể năng lượng cho khối pin trong thời gian dài, giảm chi phí nguyên vật liệu so với việc chế tạo bộ truyền động bánh răng nhiều cấp, tăng cảm giác thoải mái hơn khi người sử dụng tăng/giảm tốc độ, giúp tăng trải nghiệm của người sử dụng. ❖

Ngày nhận bài: 28/6/2024

Ngày phản biện: 25/7/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. N. K. Trai, N. T. Hoan, H. H. Hai (2020), “*Kết cấu ô tô*”. Bach Khoa Publishing House, Hanoi.
- [2]. Ali Amoozandeh Nobaveh, Just L. Herder, Giuseppe Radaelli (2023), “*Acompliant Continuously Variable Transmission (CVT)*”. Mechanism and Machine Theory.
- [3]. Kwak Y., Cleveland C. (2017), “*Continuously Variable Transmission(CVT) Fuel Economy*”. SAE Technical Paper 2017-01-2355.
- [4]. Gokul Sivaraman (2021), “*Development of PMSM and drivetrain models in MATLAB/Simulink for model based design*”, Degree Project in Electrical Engineering, Second Cycle, 30 Credits, Stockholm, Sweden.
- [5]. Wu Guang-Bin, Lu Yan-Hui, Xu Xiao-wei (2018), “*Optimization of CVT efficiency based on clamping force control*”. IFAC PapersOnLine 51-31.
- [6]. Tran Thanh Hung, Q.P. Ha, R. Grover, S. Scheding (2004), “*Modelling of an autonomous amphibious vehicle*”, Australian Conference on Robotics and Automation.
- [7]. Crossley P.R., J.A. Cook (1991), “*A nonlinear model for drivetrain system development*”, in Proc. IEE International Conference ‘Control 91’, Conference Publication 332, vol. 2, pp. 921-925. Edinburgh, U.K.
- [8]. Vu Hai Quan, Nguyen Anh Ngoc, Le Van Quynh, Nguyen Xuan Khoa, Nguyen Minh Tien (2023), “*Modelling and simulation of automatic brake system of vehicle*”, ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences, 18, 7, 2023.
- [9]. V. H. Quan, N. H. Truong, N. T. Duc (2021), “*Modeling and controlling aquartervehicle active suspension model*”. Journal of Physics: Conference Series. DOI:10.1088/1742-6596/2061/1/012138.
- [10]. U Kiencke, L Nielsen (2000), “*Automotive control systems: for engine, driveline, and vehicle*”. IOP Publishing Ltd.