

MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG Ô TÔ ĐIỆN

MODELING AND SIMULATION OF THE POWERTRAIN OF ELECTRIC VEHICLES

Phạm Quốc Thái^{1*}, Huỳnh Đức Trí¹

¹Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: pqthai@dut.udn.vn

(Nhận bài: 22/2/2021; Chấp nhận đăng: 20/4/2021)

Tóm tắt - Sự ra đời và phát triển của các phương tiện giao thông giúp cho nhu cầu đi lại của con người được tiện lợi và nhanh chóng. Tuy nhiên, mật độ ô tô sử dụng ngày càng gia tăng đã tác động đến cuộc sống của con người và môi trường như: Ô nhiễm môi trường, cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch. Một trong những biện pháp hữu hiệu cho việc giảm ô nhiễm môi trường và cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch là sử dụng ô tô điện. Bài báo này mô tả việc thực hiện mô hình hóa và mô phỏng hệ thống truyền động điện trong ô tô điện. Các mô hình bộ biến tần, động cơ không đồng bộ, mô hình động học của ô tô điện 5 chỗ ngồi, đặc tính tải được xây dựng trên công cụ Matlab/Simulink. Các thông số đáp ứng của động cơ không đồng bộ như tốc độ, mô men, cường độ dòng điện trên stator và rotor tương ứng với địa hình di chuyển được phân tích và đánh giá.

Từ khóa - Ô tô điện; hệ thống truyền động; phương pháp điều chế độ rộng xung (SPWM); mô phỏng; Matlab/Simulink

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm môi trường luôn là thách thức đối với các quốc gia trong quá trình phát triển. Các quốc gia đã có nhiều chính sách để cải thiện môi trường. Trong đó, giảm lượng khí thải là một trong những mục tiêu chính. Các nghiên cứu cho thấy, để tránh được các thảm họa do biến đổi khí hậu trong tương lai, cần phải giảm lượng khí thải gây hiệu ứng nhà kính xuống dưới 60% so với hiện nay vào năm 2050. Tuy nhiên, hiện nay nguồn nhiên liệu hóa thạch đang đáp ứng 85% nhu cầu năng lượng của thế giới [1]. Một trong các nguồn phát thải lớn là các phương tiện giao thông, chiếm 39,2% tổng lượng phát thải [2], đặc biệt là nguồn phát thải từ ô tô cá nhân. Do đó, xe ô tô điện được xem là giải pháp cho vấn đề này.

Hệ thống truyền động điện là bộ phận cung cấp năng lượng cho ô tô điện. Hệ thống này có ưu điểm so với động cơ đốt trong là nhẹ, nhỏ gọn, tạo rung động rất ít và tạo ra mô men xoắn tức thì. Những yếu tố này giúp cho sự vận hành của xe đạt chất lượng cao, mượt mà và rất nhạy.

Trong những năm qua, nhiều nhà khoa học trên thế giới đã thực hiện các công trình nghiên cứu về hệ thống truyền động điện trên ô tô điện. B.K. Powell và các cộng sự đã xây dựng mô hình điều khiển hệ thống truyền động trên ô tô lai [3]. Phân tích rung động trên hệ thống truyền động đã được nhóm nghiên cứu của tác giả M. Genç thực hiện [4]. Việc quản lý năng lượng trên hệ truyền động với động cơ lai đã được nhóm tác giả S.D. Farrall khảo sát trong [5].

Cấu trúc hệ thống truyền động phù hợp được xây dựng bằng cách sử dụng động cơ không đồng bộ ba pha, kết nối

Abstract - The invention and development of means of transportation has helped people travel in cities more conveniently and quickly. However, the large number of automobiles in use around the world has caused serious problems to human life and the environment such as air pollution and the rapid depletion of fossil fuel. One of the most effective measures to reduce environmental pollution and fossil fuel resources depletion is to use electric automobiles. This study describes the modeling and simulation of the powertrain of 5-passenger electric automobiles. The models of an inverter, an asynchronous motor, the dynamics of the vehicle, and load conditions were built using Matlab/Simulink platform. The response parameters of the electric motor such as speed, torque, and current corresponding to the traveling terrains were analyzed and evaluated.

Key words - Electric vehicles; powertrain; Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM); simulation; Matlab/Simulink

trực tiếp với bánh xe hoặc qua bộ truyền động [6], [7]. Động cơ không đồng bộ có công suất lớn, chi phí bảo trì thấp và cũng được sử dụng cho xe điện [8]. Phương pháp điều chế độ rộng xung là một giải pháp được áp dụng cho bộ điều khiển biến tần của động cơ.

Với mục đích khảo sát đáp ứng của hệ thống truyền động trên ô tô điện theo điều kiện địa hình đường đi của xe. Nhóm tác giả sử dụng công cụ mô phỏng để phân tích và đánh giá các thông số đáp ứng trên hệ thống. Các nhà nghiên cứu đã xác nhận mô phỏng đóng vai trò quan trọng cho sự tiến bộ nhanh chóng của công nghệ xe điện. Mô phỏng là phương pháp giúp giảm chi phí và thời gian để xây dựng mô hình xe điện. Bằng cách đánh giá các phương án thiết kế và quản lý năng lượng trên xe trước khi thực hiện mô hình thực tế [9].

Bài báo trình bày việc xây dựng mô hình và mô phỏng các thành phần cấu thành hệ thống truyền động trên ô tô điện gồm bộ biến tần sử dụng phương pháp điều chế độ rộng xung, động cơ không đồng bộ 3 pha. Đồng thời mô hình đặc tính đường đi cũng được xây dựng và đưa vào mô phỏng để khảo sát đặc tính ô tô. Các phân tích cũng được nêu ra cho từng kết quả mô phỏng đạt được.

2. Xây dựng mô hình hệ thống truyền động điện trên ô tô điện 5 chỗ ngồi

2.1. Cấu trúc hệ thống truyền động điện

Hệ truyền động điện được đề cập trong nghiên cứu này là hệ thống trên xe ô tô điện 5 chỗ ngồi. Các thành phần chính được khảo sát trên hệ thống gồm có nguồn DC cung

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Pham Quoc Thai, Huynh Duc Tri)

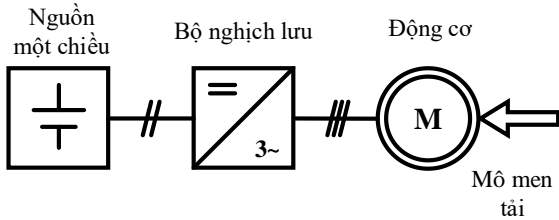
cấp điện năng cho hệ thống vận hành, bộ điều khiển động cơ, động cơ không đồng bộ 3 pha. Một mô hình tải thực tế cũng được đặt vào động cơ để khảo sát.

Cấu trúc tổng thể của quy trình chuyển đổi năng lượng trong xe điện cho nghiên cứu được trình bày trong Hình 1.

2.2. Mô hình hóa và mô phỏng bộ điều khiển động cơ

2.2.1. Động cơ không đồng bộ 3 pha trên ô tô điện 5 chỗ ngồi

Động cơ không đồng bộ 3 pha là sự lựa chọn phù hợp cho ứng dụng trên ô tô điện. Vì tính ổn định, công suất lớn, ít bảo trì và khả năng làm việc trong môi trường khắc nghiệt [10]. Do đó, loại động cơ này được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp và các ứng dụng phục vụ đời sống. Tuy nhiên, khi ứng dụng trên các phương tiện giao thông lại gặp nhiều khó khăn. Do không có nguồn xoay chiều đủ công suất cung cấp cho động cơ hoạt động liên tục.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống truyền động điện trên ô tô điện 5 chỗ ngồi

Giải pháp được các nhà nghiên cứu đưa ra là sử dụng nguồn điện một chiều. Điều khiển bộ nghịch lưu để biến đổi nguồn một chiều thành nguồn xoay chiều ba pha cung cấp cho động cơ hoạt động.

Điều tốc cũng là yêu cầu kỹ thuật quan trọng khi ứng dụng động cơ 3 pha trên xe ô tô điện. Hiện nay, trong các hệ truyền động sử dụng động cơ xoay chiều, để thay đổi tốc độ, người ta sử dụng một số phương pháp như thay đổi điện trở phụ rotor, thay đổi điện áp stator, thay đổi số đôi cực p, thay đổi tần số điện áp stator.

Tốc độ của động cơ không đồng bộ tỉ lệ trực tiếp với tần số nguồn cung cấp.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} \tag{1}$$

Với: ω : Tốc độ quay của động cơ; f : tần số (Hz); p : số cặp cực.

Nhóm nghiên cứu nhận thấy, phương pháp phù hợp là biến đổi tần số Variable Frequency Drive (VFD). VFD không chỉ có khả năng thay đổi tốc độ động cơ mà còn giúp giảm năng lượng tiêu thụ của hệ thống khi động cơ vận hành.

Cùng với sự tiến bộ của công nghệ điều khiển xoay chiều, VFD có khả năng thay đổi tốc độ mượt mà hơn, điều khiển động cơ tốt hơn, và tổn thất năng lượng ít hơn [11]. Trong các phương pháp VFD, phương pháp nhóm nghiên cứu sử dụng trong bài báo này là phương pháp điều chế độ rộng xung Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM).

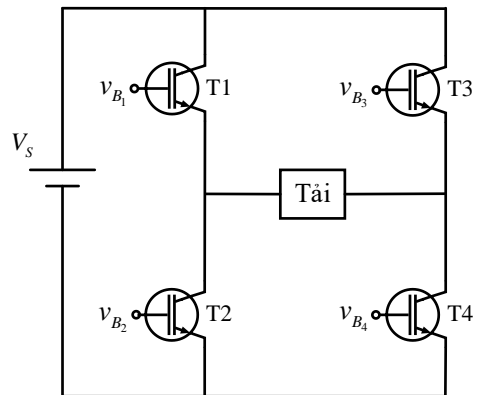
2.2.2. Phương pháp điều chế độ rộng xung SPWM

Điều chế độ rộng xung sin là quá trình thay đổi độ rộng của các xung trong một chuỗi xung. Độ rộng này tỉ lệ thuận

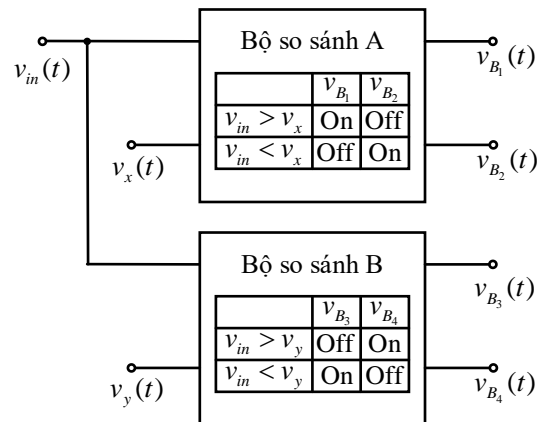
với sóng điều khiển dạng sin. Giá trị của sóng điều khiển càng lớn thì xung thu được càng rộng. Sóng mang có thể ở dạng tam giác. Sóng điều khiển có thông tin về độ lớn trị hiệu dụng và tần số sóng hài cơ bản của điện áp ở ngõ ra. Với sóng hình sin cùng tần số mong muốn làm điện áp điều khiển cho mạch SPWM. Có thể tạo ra dạng sóng có công suất cao có điện áp trung bình thay đổi theo hình sin, phù hợp cho điều khiển động cơ xoay chiều.

Hình 2 và Hình 3 cho ta thấy, cấu trúc và nguyên lý hoạt động của bộ điều rộng xung. Nguyên lý của bộ điều rộng xung được giải thích như sau. Bộ so sánh là thiết bị đối chiếu điện áp vào $v_{in}(t)$ với tín hiệu điều khiển và kích IGBT sang trạng thái On hoặc Off. Bộ so sánh A đối chiếu $v_{in}(t)$ với điện áp điều khiển $v_x(t)$ và điều khiển IGBT T_1 và T_2 theo kết quả đối chiếu. Bộ so sánh B đối chiếu $v_{in}(t)$ với điện áp điều khiển $v_y(t)$ nhằm điều khiển IGBT T_3 và T_4 .

Nếu giá trị $v_{in}(t)$ lớn hơn $v_x(t)$ tại thời điểm t , bộ so sánh A kích hoạt IGBT T_1 sang trạng thái On và T_2 ở trạng thái Off. Ngược lại, T_1 ở trạng thái Off và T_2 ở trạng thái On. Tương tự, nếu giá trị $v_{in}(t)$ lớn hơn $v_y(t)$ tại thời điểm t , bộ so sánh B kích hoạt IGBT T_3 sang trạng thái On và T_4 ở trạng thái Off. Ngược lại, T_3 ở trạng thái Off và T_4 ở trạng thái On.



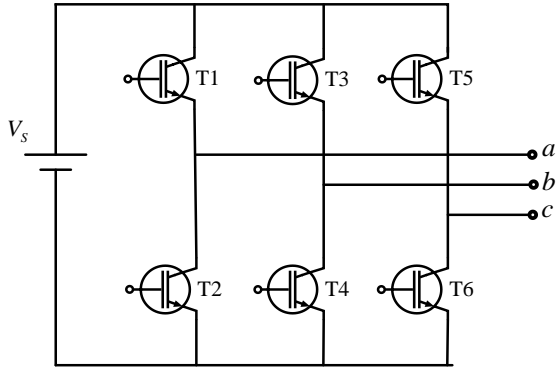
Hình 2. Sơ đồ mạch bộ điều rộng xung một pha sử dụng IGBT



Hình 3. Bộ so sánh dùng điều khiển On – Off cho IGBT

Trong trường hợp bộ nghịch lưu ba pha ở Hình 4, ba sóng điều khiển của ba pha phải được tạo lệch nhau về pha

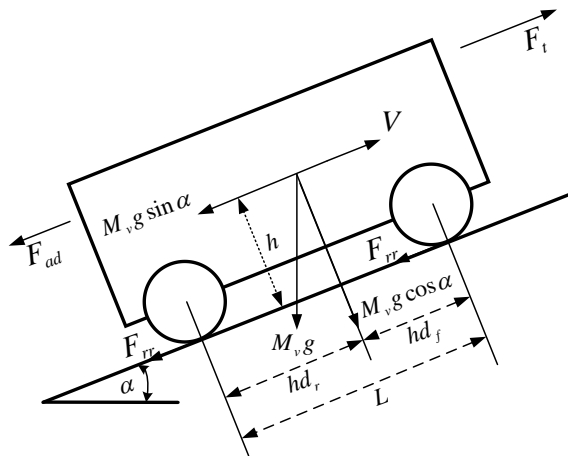
một phần ba chu kỳ của nó.



Hình 4. Bộ nghịch lưu ba pha sử dụng IGBT

3. Xây dựng mô hình động học của xe

3.1. Đặc tính động học của xe



Hình 5. Các lực tác động lên xe khi di chuyển

Phương trình mô tả chuyển động của xe điện được biểu diễn như sau [6]:

$$F_t = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{ac} \tag{2}$$

Trong đó:

- F_{rr} là lực cản lăn tạo ra do ma sát của lốp xe khi tiếp xúc với bề mặt đường trong quá trình lăn bánh. Lực cản lăn được xác định bởi phương trình:

$$F_{rr} = C_{rr} \cdot M_v \cdot g \cdot \cos(\alpha) \tag{3}$$

C_{rr} : Hệ số ma sát lăn của lốp xe;

g : gia tốc trọng trường (m/s^2);

α : Góc nghiêng tạo bởi mặt đường và mặt phẳng ngang;

M_v : khối lượng của xe.

- F_{ad} là lực cản không khí. Giá trị lực phụ thuộc vào cấu trúc phía trước của xe và được xác định bởi phương trình:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho_a c_{ad} A_f (v_v + v_{wind})^2 \tag{4}$$

ρ_a là mật độ không khí;

c_{ad} là hệ số cản khí động học;

A_f đặc trưng cho cấu trúc phía trước của xe;

v_v là vận tốc của xe; v_{wind} là vận tốc gió.

- F_{hc} là lực cản do trọng lực tạo ra khi xe lên dốc:

$$F_{hc} = M_v \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

- F_{ac} là lực quán tính. Có phương trình:

$$F_{ac} = M_v \cdot a$$

a : gia tốc của xe.

Theo định luật Newton về chuyển động. Ta xác định được phương trình mô tả gia tốc của xe khi di chuyển như sau:

$$a = \frac{F_t - (F_{rr} + F_{ad} + F_{hc})}{M_v} \tag{5}$$

Nhóm tác giả sử dụng phương trình (5) để xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống đường đi trên Simulink.

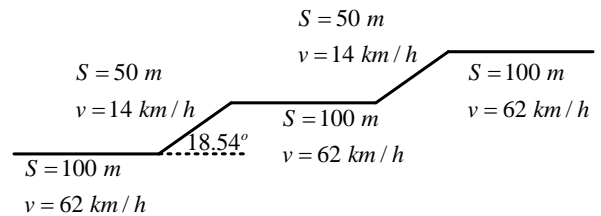
Để thực hiện tính toán và mô phỏng tổng lực kéo, nhóm nghiên cứu sử dụng các thông số động học của ô tô điện trong Bảng 1 từ [12]. Từ đó xác định thông số của động cơ điện lắp trên xe.

Bảng 1. Các thông số động học của xe

Thông số	Giá trị
Khối lượng xe (kg)	1500
Hệ số lực cản không khí	0.25
Hệ số lực cản lăn	0.01
Bán kính bánh xe (m)	0.25
Gia tốc trọng trường (m/s^2)	9.81

3.2. Địa hình quãng đường di chuyển

Quãng đường di chuyển của xe được mô tả như Hình 6:



Hình 6. Địa hình quãng đường khảo sát

Với mục đích khảo sát đáp ứng của hệ thống truyền động với địa hình đường đi trong thực tế. Nhóm nghiên cứu đã mô hình hóa địa hình quãng đường di chuyển của xe như sau:

- Đoạn 1: Xe chuyển động đều

Giả sử, trên đường bằng phẳng, xe chuyển động ở tay số 5 ở $v_{max} = 62$ km/h, quãng đường di chuyển là $S = 100$ m. Ta tìm được thời gian xe di chuyển hết quãng đường là: $t_1 = 5,8$ (s).

- Đoạn 2: Xe chuyển động chậm dần đều (leo dốc)

Giả sử xe leo dốc ở góc dốc lớn nhất cho phép, xe ở tay số 1, vận tốc lớn nhất ở tay số 1 là $v_{max} = 14$ km/h, quãng đường di chuyển là $S = 50$ m. Ta tìm được thời gian di chuyển hết quãng đường là: $t_2 = 25,7$ (s).

- Đoạn 3: Xe chuyển động đều: $t_3 = 5,8$ (s).

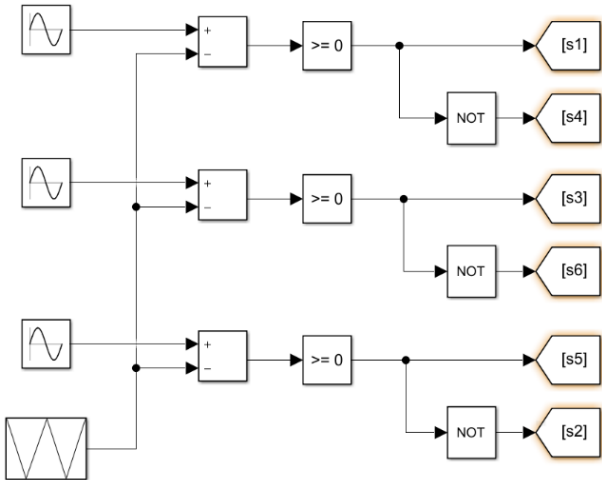
- Đoạn 4: Xe chuyển động chậm dần đều (leo dốc): $t_4 = 25,7$ (s).

- Đoạn 5: Xe chuyển động đều: $t_5 = 5,8$ (s).

4. Mô phỏng hệ thống truyền động điện trên ô tô điện 5 chỗ ngồi

4.1. Mô phỏng bộ điều khiển động cơ

Mô hình Matlab Simulink tín hiệu điều khiển bộ nghịch lưu được xây dựng như Hình 7. Trong đó nguồn đưa vào biến tần được biểu diễn dưới dạng nguồn một chiều lý tưởng, thông qua việc điều khiển thứ tự kích xung đưa vào các van IGBT.

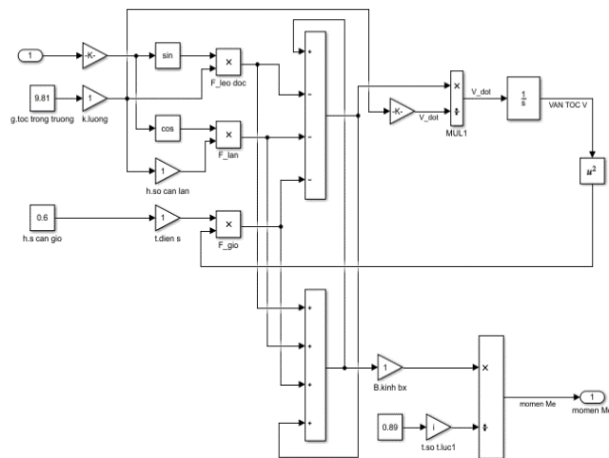


Hình 7. Sơ đồ Simulink tín hiệu điều khiển bộ nghịch lưu

Bộ nghịch lưu điều khiển sáu IGBT dựa trên phương pháp điều chế độ rộng xung SPWM. Nguyên tắc điều chế dựa trên việc so sánh sóng điều khiển và sóng mang.

4.2. Mô phỏng đặc tính quỹ đường di chuyển của xe

Mô hình Simulink được thực hiện như Hình 8.

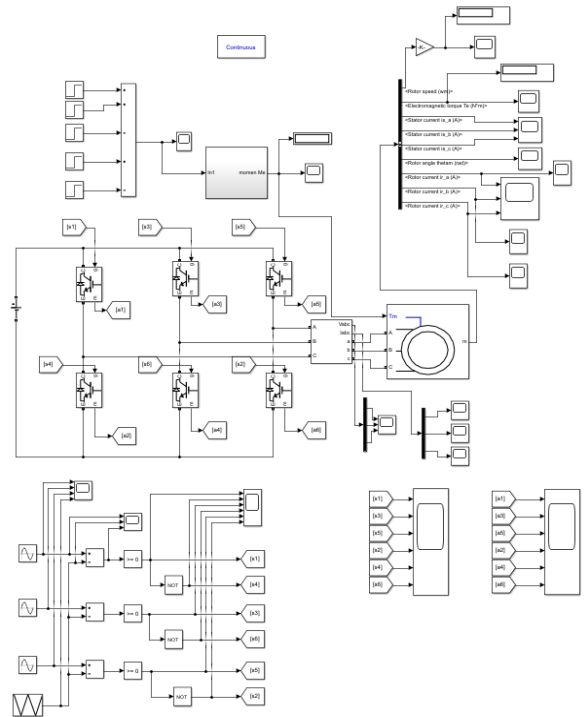


Hình 8. Sơ đồ Simulink đặc tính đường đi của xe

Đặc tính quỹ đường di chuyển của xe được xác định theo phương trình (2). Với việc xác định giá trị các lực thành phần ở đầu vào, và mô men tải đặt lên động cơ ở đầu ra.

4.3. Mô phỏng hệ thống truyền động điện trên ô tô

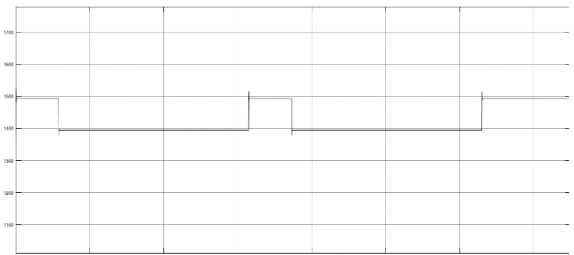
Sơ đồ Simulink mô phỏng hệ truyền động được xây dựng như Hình 9. Trong đó, bao gồm các khối bộ nghịch lưu, tín hiệu điều khiển bộ nghịch lưu, đặc tính quỹ đường di chuyển, động cơ không đồng bộ ba pha.



Hình 9. Sơ đồ Simulink mô phỏng hệ truyền động của xe ô tô điện 5 chỗ ngồi

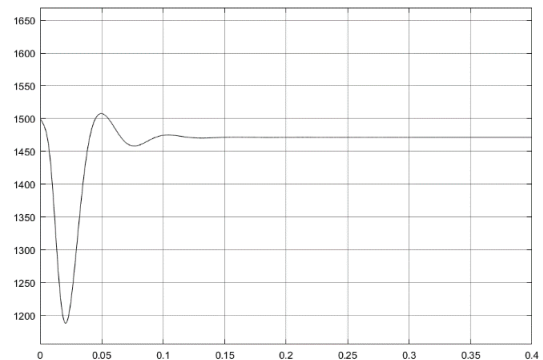
5. Kết quả mô phỏng và bàn luận

Sau khi chạy mô phỏng, ta có kết quả như sau:

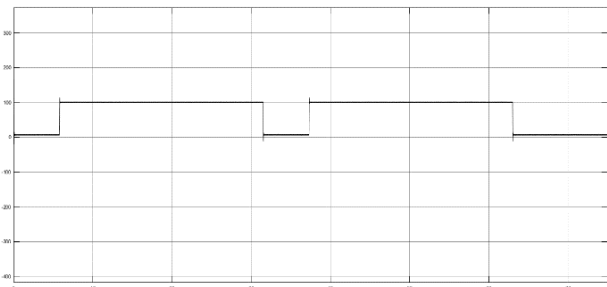


Hình 10. Đặc tính tốc độ động cơ

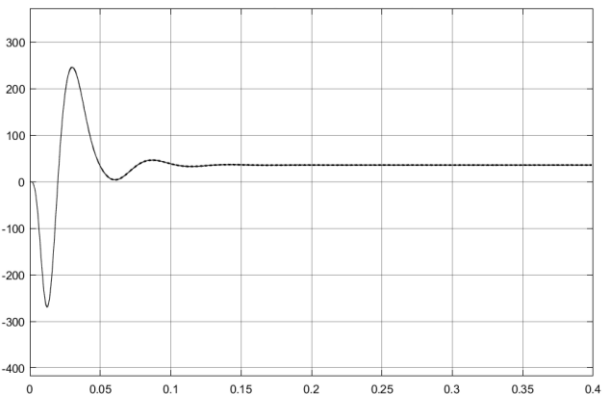
Theo trên Hình 11 và 13 ta thấy, khi xe mới khởi động trong khoảng 0,025 giây, tốc độ động cơ giảm mạnh đồng thời mô men động cơ cũng tăng mạnh nhằm thắng được mô men quán tính của xe ban đầu. Ở giai đoạn chuyển tiếp từ đường bằng qua đường dốc, tốc độ và mô men động cơ có chút dao động nhưng sau đó đã ổn định để đáp ứng nhu cầu từ xe.



Hình 11. Đặc tính tốc độ động cơ khi phóng đại

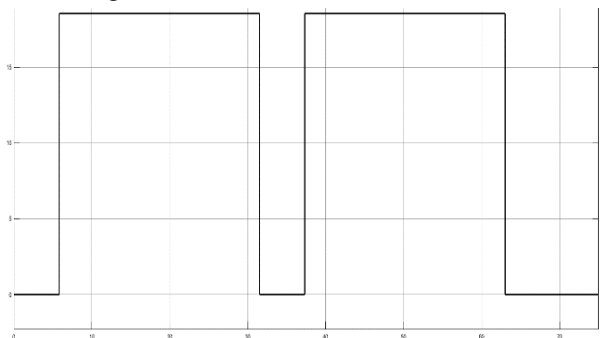


Hình 12. Đặc tính mô men của động cơ

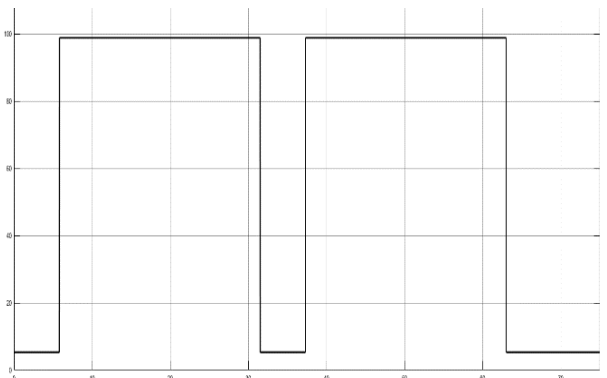


Hình 13. Đặc tính mô men của động cơ khi phóng đại

Theo Hình 14 ta thấy, góc dốc cực đại mà xe leo được là $18^{\circ}54'$. Để đa dạng hóa mô hình, nhóm đã thiết lập cho xe chạy qua 2 tuyến đường dốc ($18^{\circ}54'$) dài toàn bộ 100 m và 3 tuyến đường bằng dài toàn bộ 300 m. Đồng thời theo Hình 15 thì mô men cũng thay đổi tương ứng theo từng đoạn đường.

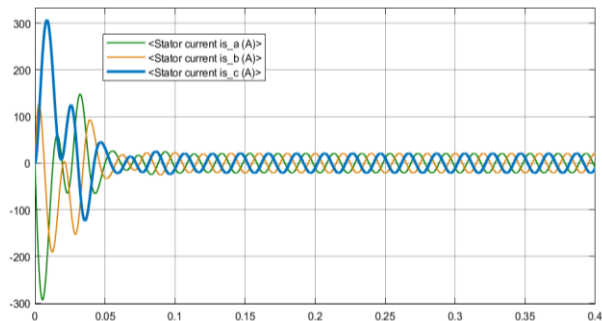


Hình 14. Đồ thị đi chuyển của xe theo góc dốc

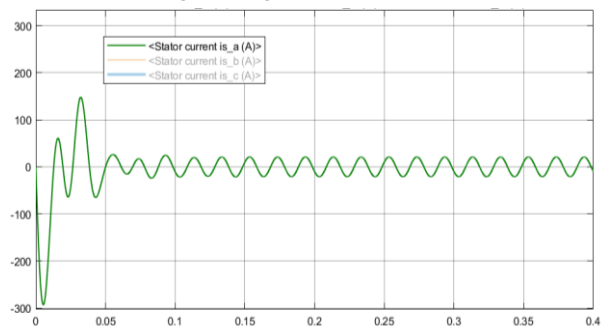


Hình 15. Đồ thị mô men của xe theo góc dốc

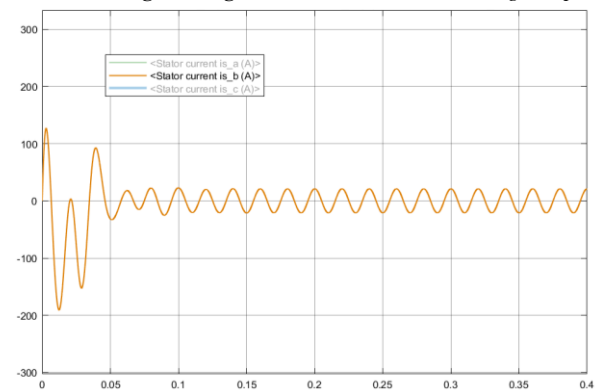
Khi mới khởi động, giá trị mô men của động cơ luôn ở vị trí cao để thắng được mô men cản quán tính, do mô men tỉ lệ thuận với cường độ dòng điện nên trên Hình 16, 17, 18 và 19 cường độ dòng điện cũng mang giá trị cao tương ứng. Điều này phù hợp về nguyên lý và chứng tỏ được sự đáp ứng tốt của động cơ điện.



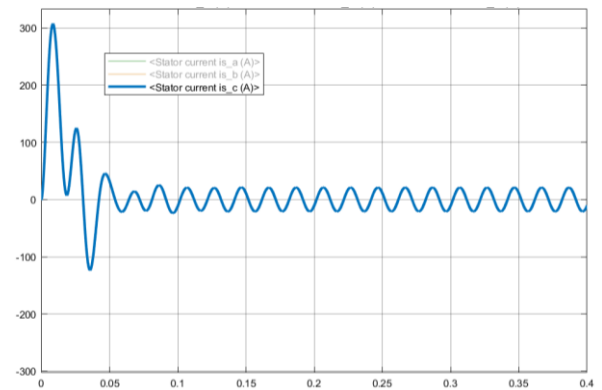
Hình 16. Cường độ dòng điện đi vào stator khi khởi động



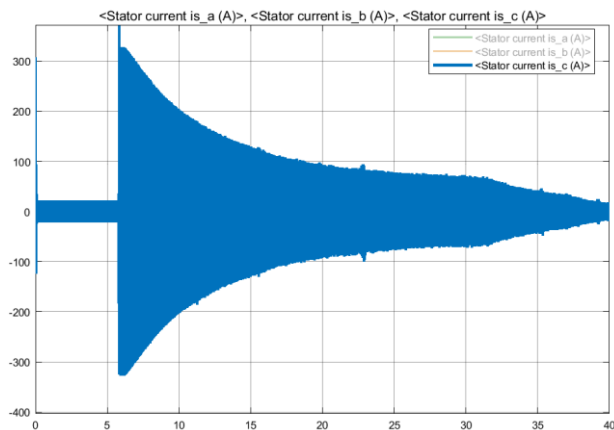
Hình 17. Cường độ dòng điện trên stator khi khởi động của pha A



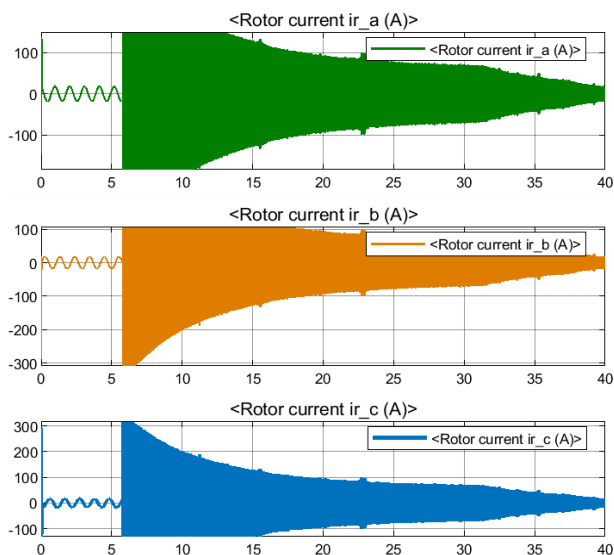
Hình 18. Cường độ dòng điện trên stator khi khởi động của pha B



Hình 19. Cường độ dòng điện trên stator khi khởi động của pha C



Hình 20. Cường độ dòng điện trên stator trong 40 giây đầu (xe di chuyển từ đoạn 1 đến đoạn 3 của quãng đường)



Hình 21. Cường độ dòng điện trên rotor trong 40 giây đầu (xe di chuyển từ đoạn 1 đến đoạn 3 của quãng đường)

Hình 20 và 21 cho thấy, dòng điện tiêu thụ của động cơ thay đổi theo địa hình quãng đường di chuyển tương ứng của xe. Tại thời điểm 5,8 giây, xe bắt đầu lên dốc. Do đó, cường độ dòng điện trên động cơ tăng để đáp ứng sự thay đổi của tải. Kết quả mô phỏng thu được là phù hợp với lý thuyết.

6. Kết luận và hướng phát triển

Trong bài báo này, ô tô điện 5 chỗ ngồi là đối tượng nghiên cứu phù hợp với xu hướng giao thông tại các đô thị trong tương lai. Mô hình hóa và mô phỏng trong Matlab/Simulink đã chứng minh là phương pháp hiệu quả trong

việc khảo sát về năng lượng, đặc tính của hệ thống truyền động trên ô tô điện. Kết quả mô phỏng cho thấy, hệ thống truyền động vận hành chính xác, ổn định và hiệu quả, có tính năng động lực học tốt. Bài báo đã nêu bật các thành phần chính của hệ thống, với phương pháp điều khiển SPWM được áp dụng phù hợp trên động cơ không đồng bộ. Nghiên cứu này sẽ làm cơ sở để phát triển mô hình hệ thống truyền động thực tế trên ô tô điện với hiệu suất cao. Từ đó, thúc đẩy phát triển phương tiện giao thông cá nhân thân thiện với môi trường và con người.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số T2020-02-04 và Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2019-DN02-60.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Global Warming 101: Costs, William Yeatman; 2009.
- [2] www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads09/GHG2007-ES-508.pdf
- [3] B. K. Powell, K. E. Bailey and S. R. Cikanek, "Dynamic modeling and control of hybrid electric vehicle powertrain systems", *IEEE Control Systems Magazine*, 1998, vol. 18, no. 5, pp. 17–33.
- [4] M. Genç, B. Budak and N. Kaya, "Modelling and Vibration Analysis of Powertrain System", *International Journal of Automotive Science and Technology*, 2018, vol. 2, no. 1, pp. 17–25.
- [5] S. D. Farrall and R. P. Jones, "Energy management in an automotive electric/heat engine hybrid powertrain using fuzzy decision making", *Proceedings of 8th IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Chicago, IL, USA, 1993, pp. 463–468.
- [6] F. Perez-Pinal, I. Cervantes, and A. Emadi, "Stability of an electric differential for traction applications", *Vehicle Technology, IEEE Transactions*, 2009, vol. 58, no. 7, pp. 3224–3233.
- [7] M. Schael, P. Spichartz, and C. Sourkounis, "Comparison of powertrain concepts for electric vehicles using distributed induction motors", *Power Electronics Intelligent Motion Power Quality*, Nuremberg, Germany, 2014.
- [8] P. Spichartz, M. Schael, B. Ni, A. Broy, and C. Sourkounis, "Fleet test of electric vehicles regarding their suitability for daily use", *Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEDAM)*, 2012, pp. 1396–1400.
- [9] Mohd, T.A.T., Hassan, M.K., and A. Aziz, W.M.K, "Mathematical modeling and simulation of an electric vehicle", *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 2015, pp. 1312–1321.
- [10] N. Hashemnia and B. Asaei, "Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles", *18th International Conference on Electrical Machines*, Vilamoura, Portugal, 2008, pp. 1–5.
- [11] Ibrahim M. Alsofyani, N.R.N. Idris, "A review on sensorless techniques for sustainable reliability and efficient variable frequency drives of induction motors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 24, pp. 111–121.
- [12] S.M.E. Fadul, I.B. Aris, N. Misron, I.A. Halin, A.K.M. Iqbal, "Modelling and Simulation of Powertrain System for Electric Car", *J. Soc. Automot. Eng*, 2018, vol. 2, no. 1, pp. 23–34.