



Tạp chí Khoa học và Kinh tế Phát triển
Trường Đại học Nam Cần Thơ

Website: jsde.nctu.edu.vn



Nghiên cứu mô phỏng và khảo sát mức tiêu thụ năng lượng trên ô tô điện

Mai Phước Trái^{1*}, Nguyễn Văn Tổng Em², Mai Chí Khanh³, Huỳnh Đình Văn⁴

^{1,3,4}Khoa Cơ khí Động lực, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Khoa Cơ khí Động lực, Trường Đại học Nam Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm bài viết: Mai Phước Trái (email: traimp@vnlute.edu.vn)

Ngày nhận bài: 30/12/2023

Ngày phản biện: 15/2/2024

Ngày duyệt đăng: 10/2/2024

Title: Simulation research and survey of energy consumption in electric cars

Keywords: electric car, FTP75, motor speed, state of charge, torque

Từ khóa: FTP75, mô men, ô tô điện, trạng thái sạc, tốc độ động cơ

ABSTRACT

Similar to traditional cars, designing an electric car requires careful calculation and testing through various stages, including vehicle dynamics and safety systems. In this study, the author presented a model and simulation of a basic electric car. The simulation model was then used to apply the FTP75 test cycle, which assessed the vehicle's response to parameters such as motor speed, torque, control current, and state of charge. By analyzing the simulation results, important parameters can be identified and used as a foundation for further research on electric cars.

TÓM TẮT

Tương tự như ô tô truyền thống, khi thiết kế một ô tô điện cần tính toán, thử nghiệm thông qua nhiều giai đoạn khác nhau: Động lực học của xe, các hệ thống an toàn, ... Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày mô hình hóa và mô phỏng một ô tô điện cơ bản. Từ mô hình mô phỏng này tác giả áp dụng chu trình thử FTP75 để thử nghiệm các đáp ứng của xe về các thông số như: Tốc độ động cơ, mô men động cơ, dòng điện tiêu thụ và trạng thái sạc của pin. Thông qua kết quả mô phỏng, các thông số cơ bản có thể được phân tích và sử dụng làm cơ sở để thực hiện các nghiên cứu về ô tô điện khác.

1. GIỚI THIỆU

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 60% so với hiện nay vào năm 2050.

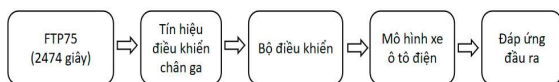
Tuy nhiên, hiện nay nguồn nhiên liệu hóa thạch đang đáp ứng 85% nhu cầu năng lượng của thế giới [1]. Một trong các nguồn phát thải lớn là các phương tiện giao thông, chiếm 32% tổng lượng phát thải [2], đặc biệt là nguồn thải từ ô tô cá nhân. Do đó, xe ô tô điện được xem là giải pháp cấp thiết cho vấn đề này.

Việc nghiên cứu tính toán và thiết kế ô tô điện đang được triển khai mạnh mẽ thông qua các nghiên cứu khoa học và thực nghiệm. Trong nghiên cứu này tác giả thực hiện mô hình hóa và mô phỏng một ô tô điện cơ bản bằng phần mềm Matlab/Simulink sau đó áp dụng chu trình thử FTP75 để đánh giá hiệu suất và đáp ứng của ô tô điện. Chu trình thử FTP75 là một chu kỳ lái xe được nghiên cứu theo một tiêu chuẩn nhất định về thời gian, gia tốc, vận tốc,... của liên bang EPA. Chu trình thử này được sử dụng để đánh giá hiệu suất của các phương tiện trên các chỉ số khác nhau.

Mô hình mô phỏng có đầu vào là chu kỳ lái xe FTP75 và đáp ứng đầu ra là tốc độ động cơ, mô men động cơ, dòng điện điều khiển và tiêu thụ năng lượng của pin. Các thông số này là cơ sở để phân tích và áp dụng vào các nghiên cứu về ô tô điện. Nghiên cứu được trình bày lần lượt thông qua mô hình hóa mô hình xe, động cơ điện, và pin cao áp.

2. Sơ đồ khối mô tả các thành phần trong hệ chuyển động ô tô điện

Với mục tiêu thu thập, phân tích đánh giá đáp ứng đầu ra trong quá trình vận hành xe ô tô điện, tiến hành xây dựng mô phỏng gồm 5 khối chính được thể hiện ở Hình 1, như sau:



Hình 1. Sơ đồ truyền động xe ô tô điện

- Khối mô hình FTP75: Là quy trình Kiểm tra Liên bang của EPA (Environmental Protection Agency), thường được gọi là FTP-75 cho chu trình lái xe trong thành phố, là một loạt các bài kiểm tra do Cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ.

- Khối mô hình tín hiệu điều khiển chân ga có nhiệm vụ chuyển đổi tín hiệu tăng giảm tốc từ chu trình thử đến bộ điều khiển.

- Khối mô hình bộ điều khiển: Nhận tín hiệu từ chu trình FTP75 thông qua tín hiệu điều khiển chân ga để tính toán và điều khiển động cơ.

- Khối mô hình xe ô tô điện: Dùng để mô phỏng vận hành của ô tô điện khi được cung cấp tín hiệu từ mô hình bộ điều khiển.

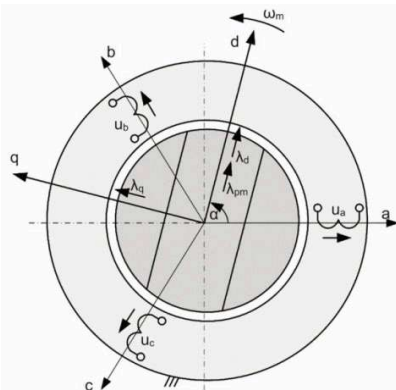
- Khối mô hình đáp ứng đầu ra: Dùng để thu thập các kết quả thông số đáp ứng của ô tô điện.

2.1 Mô hình hóa các thành phần

2.1.1 Mô hình hóa động cơ điện

Động cơ điện được sử dụng trên ô tô là động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM), thông số kỹ thuật của động cơ được tác giả mô tả ở bảng 1. Hệ tọa độ tĩnh a, b và c của động cơ ba pha cung cấp cho phần ứng của động cơ.

Mô hình toán học của động cơ điện được mô tả bằng các phương trình cơ điện thường phức tạp. Do đó, cần sử dụng phép biến đổi Park để chuyển đổi thành hệ trục tọa độ trực tiếp vuông góc (d-q).



Hình 2. PMSM theo tọa độ a, b, c và d-q

Trong tọa độ d–q, điện áp cung cấp theo trục d–q được mô tả bởi phương trình (1) và (2).

$$U_d = R_m i_d + d(\lambda_d)/dt - p\omega_m \lambda_q \quad (1)$$

$$u_q = R_m i_q + d(\lambda_q)/dt - p\omega_m \lambda_d \quad (2)$$

Trong đó:

i_d, i_q : Dòng điện theo trục d và q.

R_m : Điện trở cuộn stato.

P: Số cặp cực từ động cơ.

Ω_m : Vận tốc góc rotor.

Λ_q, λ_d : Liên kết từ thông từ các trục tương ứng.

Mô-men xoắn I của động cơ điện được xác định bởi phương trình (3).

$$T_m = (3/2)p(\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \quad (3)$$

Liên kết từ thông từ các trục tương ứng được xác định bởi phương trình (4) và (5).

$$\Lambda_d = L_d i_d + \lambda_f \quad (4)$$

$$\lambda_q = L_q i_d \quad (5)$$

Trong đó:

L_d, L_q : Là độ tự cảm của động cơ theo trục d và q.

λ_f : Liên kết từ thông tạo bởi nam châm vĩnh cửu.

Đối với PMSM, giả thiết được đưa ra là mạch từ đối xứng và độ tự cảm L_d và L_q tương đương độ tự cảm L_m của động cơ. Phương trình (1), (2) và (3) được viết lại thành phương trình (6), (7) và (8) để thuận lợi cho việc triển khai mô phỏng.

$$d(i_d)/dt = u_d/L_m - R_m i_d/L_m + p\omega_m i_q \quad (6)$$

$$d(i_q)/dt = u_q/L_m - R_m i_q/L_m - p\omega_m i_d - p\omega_m \lambda_f/L_m \quad (7)$$

$$T_m = (3/2)p i_q \lambda_f \quad (8)$$

Dòng điện và điện áp của động cơ được xác định bởi phương trình (9) và (10).

$$I_m = \sqrt{i_d^2 + i_q^2} \quad (9)$$

$$u_m = \sqrt{u_d^2 + u_q^2} \quad (10)$$

Trong mô phỏng, động cơ được điều khiển bằng cách điều chỉnh điện áp trong các trục d–q để phương tiện đi theo một quỹ đạo tốc độ có chu kỳ nhất định [3]. Tốc độ và dòng điện điều khiển được tính toán và điều khiển bằng bộ điều khiển PI.

Phương trình (11) mô tả chuyển động của rotor, dùng để tính tốc độ quay ω_m :

$$T_m \eta_m - T_{mech} = J_m d(\omega_m)/dt \quad (11)$$

Trong đó:

T_{mech} : Mô-men xoắn tải bên ngoài trên trục động cơ.

H_m : Hiệu suất động cơ.

J_m : Quán tính rotor.

2.1.2 Mô hình hóa pin

Pin có hai giá trị SoC (State of Charge – trạng thái sạc) được thiết lập. Khi bắt đầu chạy mô phỏng, SoC bằng 0,9 và khi kết thúc mô phỏng, SoC bằng 0,15 (đây là kích hoạt cho quá trình chạy mô phỏng kết thúc).

SoC của pin được tính bằng cách so sánh dòng xả và dòng sạc pin tạm thời, với mức sạc đầy danh nghĩa của pin Q_{bn} và sau đó trừ đi giá trị kết quả từ giá trị SoC ban đầu (phương trình (14)). Sạc pin được tính bằng tích phân dòng điện I_b của pin theo thời gian. Hiệu suất của pin được đưa vào phương trình thông qua hệ số Peukert β , hệ số này liên quan đến dòng điện tạm thời của pin với dòng điện danh nghĩa của pin I_{bn} .

$$SoC = SoC_0 - (1/Q_{bn}) \int (I_b k_\beta) dt \quad (12)$$

Trong đó k_β được xác định bởi phương trình (13).

$$k_\beta = (I_b/I_{bn})^{[\beta - 1]} |I_b| \quad (13)$$

I_b được tính toán bằng cách sử dụng phương trình mạch tương đương của điện áp pin U_b (Phương trình (14)), với suất điện động của cell pin đơn e_{bc} là một hàm của SoC và điện trở nội của cell pin đơn R_{bc} cũng là một hàm của

SoC. Các tham số này có thể được biểu diễn dưới dạng các hàm đa thức [4,5]. Pin được chế tạo từ nhiều cell, trong đó n_{bs} là số cell pin nối tiếp và n_{bp} là số cell pin song song.

$$u_b = n_{bs}[e_{bc} - R_{bc}(I_b/n_{bp})] \quad (14)$$

Dòng tải của pin được tính dựa trên mối liên hệ giữa công suất pin và điện áp:

$$I_b = P_b/U_b \quad (15)$$

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của pin

Items	Unit	OS EV (Cruising)	NE		
			300 Mile	Mở rộng	Tiêu chuẩn
Bat. Type	-	LIPB			
Điện áp định mức	V	356 (245 - 421)	697 (480 - 826)	653 (450 - 774)	532 (360 - 619)
Số lượng Cell	EA	294 (3P 98Cs)	384 (2P 192Cs)	360 (2P 180Cs)	288 (2P 144Cs)
Số lượng Module	EA	10	32	30	24
Năng lượng danh nghĩa	kWh	64	77.4	72.6	58
Dòng điện danh nghĩa	Ah	180	111.2		
Công suất xả Max	kW	170	350	232	160
Công suất sạc Max	kW	170	350	232	160
Môi trường	Hoạt động	Độ C	-30 đến 60		
	Lưu kho	độ c	-40 đến 70		
Hệ thống làm mát	-	Water Cooling			
Hệ thống sấy	-	PTCC Heater			
Nhà sản xuất	-	Mobis (LGC)	Mobis (SKI)		
Items	Unit	OS EV (Cruising)	NE		
			300 Mile	Mở rộng	Tiêu chuẩn
Bat. Type	-	LIPB			
Điện áp định mức	V	356 (245 - 421)	697 (480 - 826)	653 (450 - 774)	532 (360 - 619)
Số lượng Cell	EA	294 (3P 98Cs)	384 (2P 192Cs)	360 (2P 180Cs)	288 (2P 144Cs)
Số lượng Module	EA	10	32	30	24
Năng lượng danh nghĩa	kWh	64	77.4	72.6	58
Dòng điện danh nghĩa	Ah	180	111.2		
Công suất xả Max	kW	170	350	232	160
Công suất sạc Max	kW	170	350	232	160

Items	Unit	OS EV (Cruising)	NE		
			300 Mile	Mở rộng	Tiêu chuẩn
Môi trường	Hoạt động	Độ C	-30 đến 60		
	Lưu kho	độ c	-40 đến 70		
Hệ thống làm mát	-	Water Cooling			
Hệ thống sấy	-	PTCC Heater			
Nhà sản xuất	-	Mobis (LGC)	Mobis (SKI)		

2.1.3 Hệ thống phanh của xe EV và HEV

Phanh tái tạo ở xe điện và xe HEV làm tăng thêm độ phức tạp cho thiết kế hệ thống phanh. Hai vấn đề cơ bản được đặt ra: một là làm thế nào để phân bổ tổng lực phanh cần thiết giữa phanh tái tạo và phanh ma sát cơ học để phục hồi động năng của xe càng nhiều càng tốt; thứ hai là làm thế nào để phân phối tổng lực phanh lên trục trước và trục sau để đạt được trạng thái phanh ổn định. Thông thường, phanh tái tạo chỉ có hiệu quả đối với trục bị dẫn động [7]. Động cơ kéo phải được điều khiển để tạo ra lượng lực phanh thích hợp để thu hồi động năng càng

nhieu càng tốt, đồng thời phải điều khiển phanh cơ khí để đáp ứng hiệu lệnh lực phanh của người lái [8]. Về cơ bản, có ba chiến lược điều khiển phanh khác nhau: phanh hàng loạt với cảm giác phanh tối ưu; phanh hàng loạt với khả năng thu hồi năng lượng tối ưu; và phanh song song

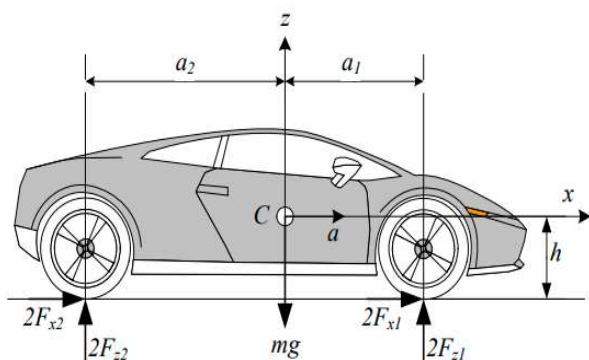
3. Mô phỏng và khảo sát ảnh hưởng của các chế độ vận hành tới năng lượng tiêu thụ điện năng của ô tô điện

3.1 Mô phỏng mô hình

Mô phỏng được tiến hành với loại xe có các thông số kỹ thuật như Bảng 2 bằng phần mềm Matlab/Simulink.

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của xe nghiên cứu

TT	Thông số kỹ thuật	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Trọng lượng toàn phần	G	1490	kG
2	Mô men cực đại của động cơ	M_{max}	255	N.m
3	Công suất cực đại của động cơ	N_{max}	750	kW
4	Kích thước tổng thể	$L \times B \times H$	4635 x 1890 x 1605	mm
5	Chiều dài cơ sở	L_0	3000	mm
6	Công suất pin cao áp danh nghĩa	P	64.0	kWh
7	Tỷ số truyền HT truyền lực	I_{hi}	1	
8	Bán kính bánh xe tĩnh	r_{bx}	15	inch



Hình 3. Xe tăng tốc trên mặt đường bằng phẳng

Đối với dòng xe này, chọn mô hình động cơ có dải công suất gần đúng với công suất của động cơ như xe ở Hình 3 [6] và lựa chọn điện trong điều kiện vận hành theo chu trình thử FTP75 như Hình 4.

3.2 Tín hiệu đầu vào

Để khảo sát khả năng vận hành và tiêu thụ năng lượng của ô tô được mô hình hóa và mô phỏng thông số như Bảng 1. Trong mô phỏng này, chu trình thử tiêu chuẩn FTP-75 được sử dụng như tín hiệu đầu vào, chu trình FTP75 được xem là một môi trường giả lập để có thể sử dụng môi trường này mô phỏng quá trình chạy của xe ô tô điện mà nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu. Từ đó khảo sát và phân tích các tín hiệu đầu ra bao gồm: Mô men xoắn của động cơ, trạng thái SoC của pin, tốc độ động cơ, dòng điện điều khiển động cơ.

Chu trình thử FTP75:

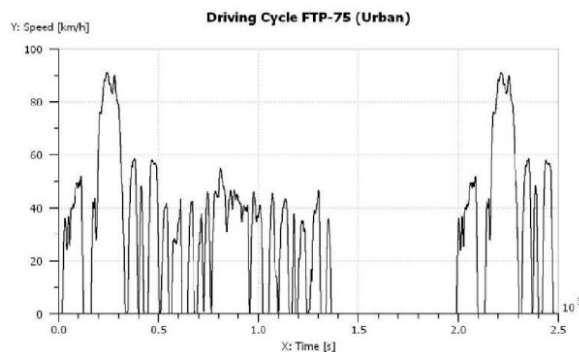
- Chu trình thử FTP 75 được xây dựng bao gồm ba giai đoạn sau:

+ Giai đoạn 1: Kéo dài 505 giây tương ứng với quãng đường 5,78 km với tốc độ trung bình 41,2 km/h và mô phỏng tăng tốc với tốc độ tối đa đạt 91,25 km/h

+ Giai đoạn 2: giai đoạn lái xe trong thành phố, kéo dài 867 giây. Giai đoạn này mô phỏng việc lái xe trong khu vực đô thị, với tần số tăng

tốc và giảm tốc, đỗ xe và tạm dừng, và chuyển đổi giữa các dãy tốc độ khác nhau.

+ Giai đoạn 3: Giai đoạn lái xe lặp lại giai đoạn 1 kéo dài 505 giây. Giai đoạn này được thực hiện sau 600 giây kể từ khi kết thúc giai đoạn 2.



Hình 4. Các giai đoạn của chu trình thử FTP 75

- Sau đây là một số thông số cơ bản của chu trình thử:

- + Thời lượng: 2.474 giây
- + Quãng đường di chuyển: 17,77 km
- + Tốc độ trung bình: 34,12 km/h
- + Tốc độ tối đa: 91,25 km/h

3.3 Khảo sát khả năng hoạt động của xe với các chế độ vận hành khác nhau

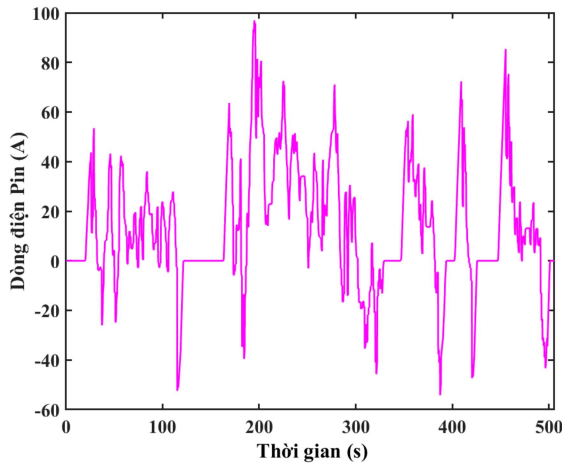
Sau khi mô phỏng mô hình xe ô tô điện với chu trình thử FTP75 tại cầu sau, qua 3 giai đoạn nhóm tác giả thu được các kết quả mô phỏng qua 3 giai đoạn như sau: Mô men xoắn của động cơ (Nm), dung lượng của pin (%), tốc độ động cơ (Rpm), dòng điện điều khiển động cơ (A).

3.3.1 Kết quả mô phỏng khảo sát khả năng hoạt động của xe ở giai đoạn 1 dựa trên chu trình thử FTP75 ở cầu sau

Dòng điện đi qua động cơ điện:

Dòng điện hoạt động của động cơ được trích xuất từ 0 – 505 giây. Biểu đồ ở Hình 5 thể hiện giai đoạn này dòng điện cực đại đạt 97,3 (A), dòng điện trung bình 50,5 (A). Dòng điện

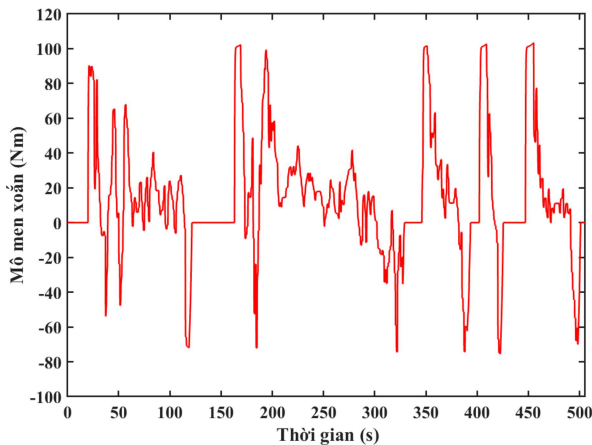
dương thể hiện sự tiêu hao năng lượng cho động cơ điện và dòng điện âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.



Hình 5. Biểu đồ dòng điện Pin (A) giai đoạn 1

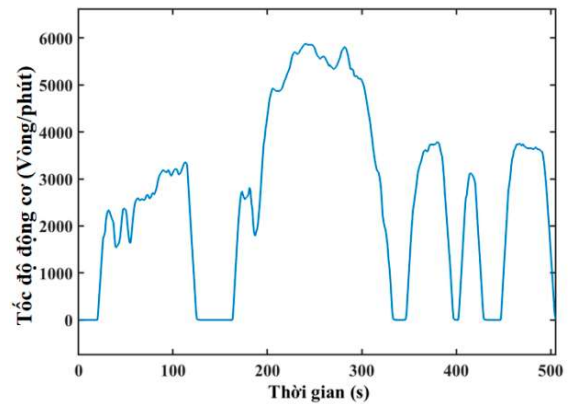
Mô men xoắn của động cơ điện:

Mô men xoắn của động cơ được trích xuất từ 0 - 505 giây. Biểu đồ ở Hình 6 thể hiện giai đoạn 1. Mô men xoắn của động cơ hoạt động tại dây mô men xoắn cao nhất khoảng 100 (Nm), mô men xoắn trung bình đạt 40 Nm. Mô men xoắn dương thể hiện sự sản sinh lực kéo và mô men xoắn âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.



Hình 6. Biểu đồ mô men xoắn động cơ (Nm) giai đoạn 1

Tốc độ động cơ điện:

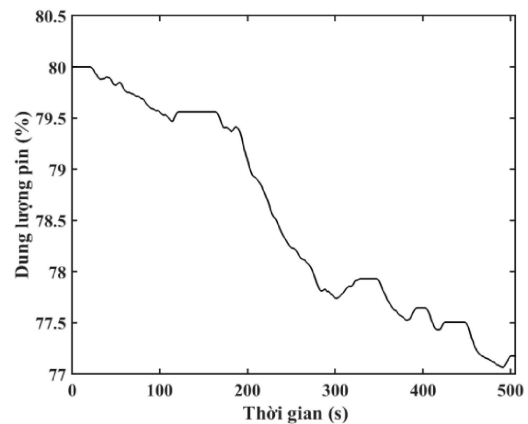


Hình 7. Biểu đồ tốc độ động cơ (Vòng/phút) giai đoạn 1

Tốc độ của động cơ được trích xuất từ 0 - 505 giây. Biểu đồ ở Hình 7 thể hiện tốc độ động cơ điện ở giai đoạn 1. Động cơ hoạt động với tốc độ cực đại là 6.000 vòng/phút tại thời điểm 250 giây, tốc độ động cơ trung bình đạt 3.000 vòng/phút.

Dung lượng của pin:

Dung lượng của Pin (%) được trích xuất từ 0 - 505 giây. Biểu đồ ở Hình 8 thể hiện dung lượng Pin ở giai đoạn 1, Dung lượng tại thời điểm bắt đầu là 80%. Trong quá trình xe vận hành ở giai đoạn 1 có tốc độ trung bình 41,2 km/h trên quãng đường dài 5,78 km.



Hình 8. Biểu đồ dung lượng pin (%) giai đoạn 1

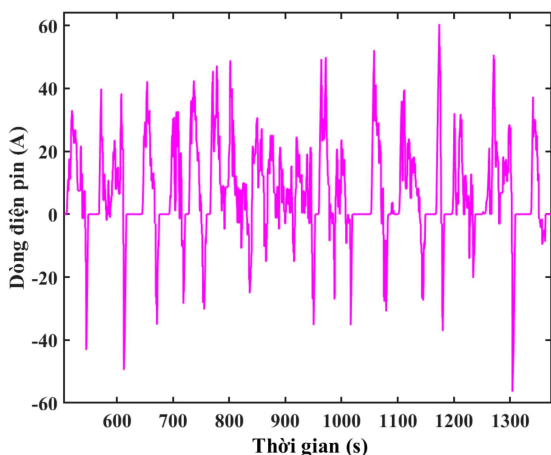
Dung lượng pin giảm xuống còn khoảng 77,3% khi kết thúc giai đoạn 1 có nghĩa là sau khi đi được 5,78 km dựa vào chu trình thử FTP75, mô hình mô phỏng xe ô tô điện tiêu thụ mất khoảng 2,7% tổng dung lượng trong giai đoạn 1.

3.3.2 Kết quả mô phỏng khảo sát khả năng hoạt động của xe ở giai đoạn 2 dựa trên chu trình thử FTP75 ở cầu sau

Sau khi chạy thử ở giai đoạn 1, theo chu trình chạy thử FTP75 giai đoạn 2 kéo dài trong 867 giây. Kết quả mô phỏng được hiển thị như sau:

Dòng điện đi qua động cơ điện ở giai đoạn 2:

Dòng điện hoạt động của động cơ được trích xuất từ giai đoạn 2 là 506 – 1.373 giây. Biểu đồ ở Hình 9 thể hiện giai đoạn này dòng điện cực đại khoảng 59 (A) tại thời điểm 1.200 giây, dòng điện tiêu thụ trung bình 30 (A). Dòng điện dương thể hiện sự tiêu hao năng lượng cho cho động cơ điện và dòng điện âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.

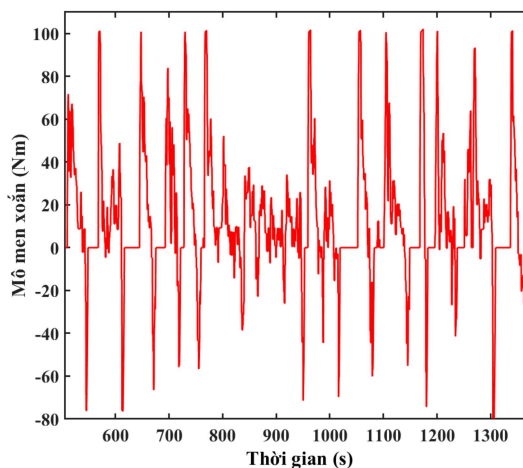


Hình 9. Biểu đồ dòng điện đi qua động cơ ở giai đoạn 2

Mô men xoắn của động cơ:

Mô men xoắn của động cơ được trích xuất từ 506 – 1.373 giây. Biểu đồ ở Hình 10 thể hiện giai đoạn này mô men xoắn của động cơ điện

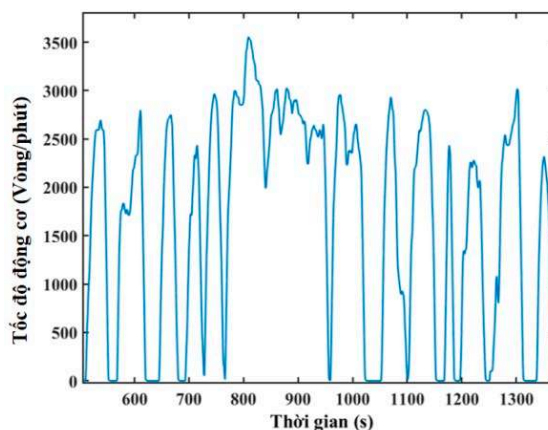
hoạt động tại đây mô men xoắn cao nhất khoảng 100 (Nm), mô men xoắn trung bình đạt 50 (Nm). Mô men xoắn dương thể hiện sự sản sinh lực kéo và mô men xoắn âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.



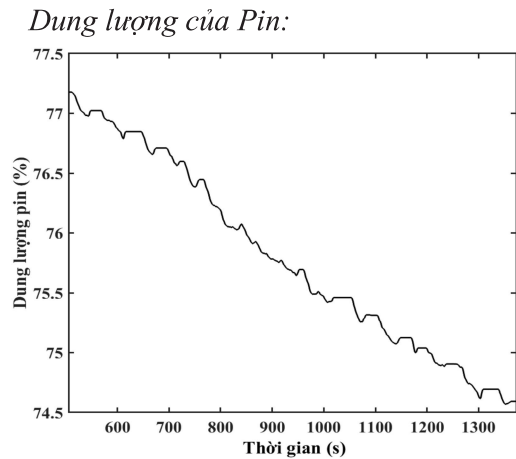
Hình 10. Biểu đồ mô men xoắn động cơ ở giai đoạn 2

Tốc độ động cơ điện:

Tốc độ của động cơ được trích xuất từ 506 – 1.373 giây. Biểu đồ ở Hình 11 thể hiện giai đoạn này động cơ hoạt động với tốc độ cực đại là 3.500 vòng/phút tại thời điểm 809 giây, tốc độ động cơ trung bình đạt 1.652 vòng/phút.



Hình 11. Biểu đồ tốc độ động cơ (Vòng/phút) ở giai đoạn 2

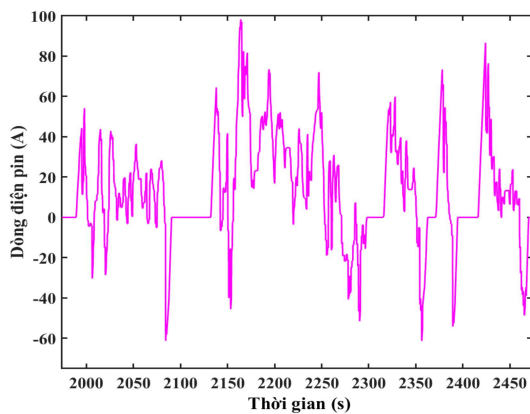


Hình 12. Biểu đồ dung lượng Pin (%) giai đoạn 2

Dựa trên chu trình thử FTP75, dung lượng của Pin được tính kéo dài trong 867 giây và giá trị phần trăm được tính bắt đầu sau khi kết thúc giai đoạn 1. Kết quả thu thập được dữ liệu dung lượng của Pin (%) thể hiện ở Hình 12. Với tốc độ trung bình của ô tô điện là 34,2 km/h, dung lượng Pin tại thời điểm bắt đầu là khoảng 77,3% và khi kết thúc giai đoạn 2 năng lượng điện của Pin giảm xuống còn khoảng 74,7%. Nghĩa là sau khoảng thời gian 867 giây ô tô điện tiêu thụ mất khoảng 2,6%. Điểm kết thúc giai đoạn 2 tại 1.373 giây.

3.3.3 Kết quả mô phỏng khảo sát khả năng hoạt động của xe ở giai đoạn 3 dựa trên chu trình thử FTP75 ở cầu sau

Dòng điện đi qua động cơ điện:

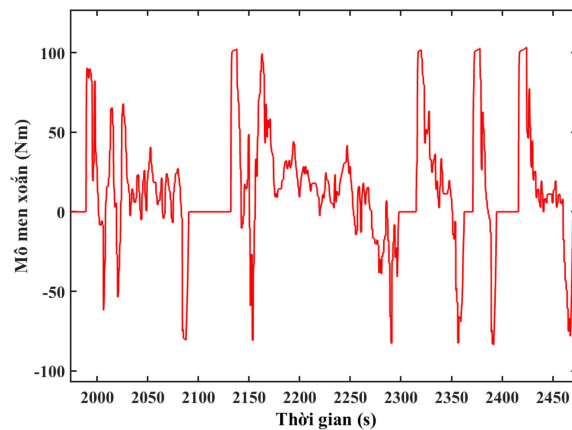


Hình 13. Biểu đồ dòng điện đi qua động cơ (A) giai đoạn 3

Dòng điện hoạt động của động cơ được trích xuất từ 1.969 – 2.474 giây. Biểu đồ ở Hình 13 thể hiện giai đoạn 3. Dòng điện cực đại đạt 99 (A) tại thời điểm 2.160 giây, dòng điện trung bình 50(A). Dòng điện dương thể hiện sự tiêu hao năng lượng cho động cơ điện và dòng điện âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.

Mô men xoắn của động cơ điện:

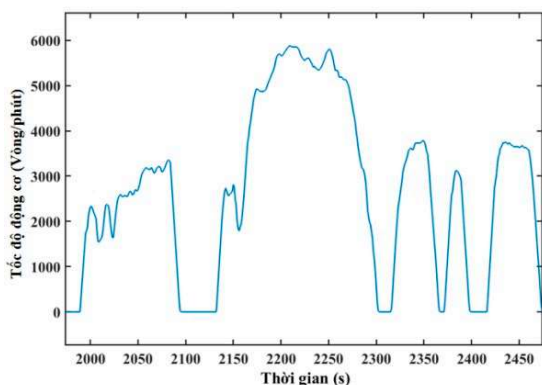
Mô men xoắn của động cơ được trích xuất từ 1.969 – 2.474 giây. Biểu đồ ở Hình 14 thể hiện giai đoạn 3. Mô men xoắn của động cơ hoạt động tại đây mô men xoắn cao nhất khoảng 100 (Nm), mô men xoắn trung bình đạt 49 (Nm). Mô men xoắn dương thể hiện sự sản sinh lực kéo và mô men xoắn âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.



Hình 14. Biểu đồ mô men xoắn động cơ (Nm) giai đoạn 3

Tốc độ động cơ điện:

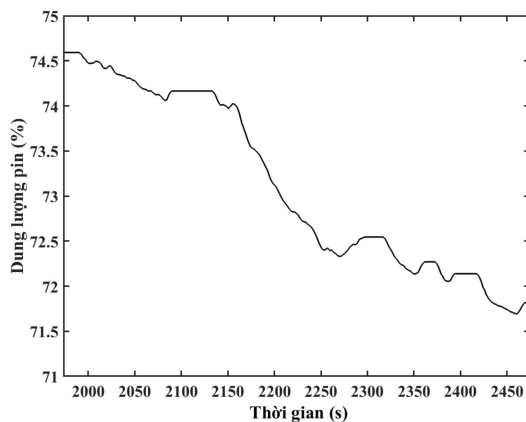
Tốc độ của động cơ được trích xuất từ 1.969 – 2.474 giây. Biểu đồ ở Hình 15 thể hiện tốc độ động cơ điện ở giai đoạn 3. Động cơ hoạt động với tốc độ cực đại là 6.000 vòng/phút tại thời điểm 2.210 giây, tốc độ động cơ trung bình đạt 3.000 vòng/phút.



Hình 15. Biểu đồ tốc độ động cơ (vòng/phút) giai đoạn 3

Dung lượng của pin:

Dung lượng của Pin (%) được trích xuất từ 1.969 – 2.474 giây. Biểu đồ ở Hình 16 thể hiện dung lượng Pin ở giai đoạn 3, Dung lượng tại thời điểm bắt đầu là 74,6%. Trong quá trình xe vận hành ở giai đoạn 3 có tốc độ trung bình 41,2 km/h trên quãng đường dài 5,78 km.



Hình 16. Biểu đồ dung lượng pin (%) giai đoạn 3

Dung lượng pin giảm xuống còn khoảng 71,8% khi kết thúc giai đoạn 3 có nghĩa là sau khi đi được 5,78 km dựa vào chu trình thử FTP75, mô hình mô phỏng xe ô tô điện tiêu thụ mất khoảng 2,8% tổng dung lượng trong giai đoạn 3.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này tác giả đã áp dụng chu trình thử FTP75 để mô phỏng kiểm tra các thông số của ô tô điện như: Tốc độ động cơ điện, mô men động cơ điện, dòng điện tiêu thụ và dung lượng của pin qua 3 giai đoạn. Chu trình thử có quãng đường xe di chuyển là 17,86 km với tốc độ trung bình của xe là 34,12 km/h, tốc độ tối đa khoảng 91,25 km/h và tiêu tốn khoảng 8,2% tổng năng lượng Pin. Dung lượng Pin tiêu thụ trung bình cho 1 km ô tô chuyển động là khoảng 0,45%. Từ kết quả mô phỏng có thể tính toán được sau mỗi lần sạc đầy 100%, nếu cho xe di chuyển theo môi trường tương tự như chu trình FTP75 thì xe di chuyển được khoảng 200 km.

Kết quả của mô hình mô phỏng có thể được sử dụng để khảo sát các đặc tính trên các ô tô điện khác nhau. Bên cạnh đó, mô hình toán cần được khai thác thêm một số thông số để đánh giá được sâu hơn về trạng thái đáp ứng ở các điều kiện vận hành khác nhau, với các chu trình thử khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Warming, G.J.W.Y. (2009). 101: Costs.
 [2] www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads09/GHG2007-ES-508.pdf.
 [3] Kazmierkowski, M.P., Krishnan, R., & Blaabjerg, F. (2003). *Control in Power Electronics-Selected Problems*; Academic

Press: Cambridge, MA, USA, ISBN 97801240.
 [4] Kopczyński, A., Liu, Z., & Krawczyk, P. (2018), *Parametric analysis of Li-ion battery based on laboratory tests*. E3S Web Conf. 44, 00074.

- [5] Chłopek, Z., Biedrzycki, J., Lasocki, J., & Wojcik, P. (2015). Assessment of the impact of dynamic states of an internal combustion engine on its operational properties. *Eksploatacja i Niezawodność*, 17, 35-41.
- [6] Reza N. Jazar, 2008. *Vehicle Dynamic: Theory and Application*. Springer.
- [7] Larminie, J. and Dicks, A. (2000). *Fuel Cell Systems Explained*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [8] Vielstich, W. (1970). *Fuel Cells — Modern Processes for Electrochemical roduction of Energy*. John Wiley & Sons, New York.