

# NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG VÀ KHẢO SÁT MỘT SỐ YẾU TỐ ĐÁP ỨNG CỦA Ô TÔ ĐIỆN BẰNG CHU TRÌNH THỬ FTP75

## RESEARCH OF SIMULATION AND SURVEY OF SOME FACILITIES OF ELECTRIC CAR BY FTP75 TRIAL CYCLE

MAI CHÍ KHANH<sup>1</sup>, MAI PHƯỚC TRẢI<sup>1,a</sup>, CHÂU TRUNG TÍN<sup>1</sup>,  
TRẦN QUỐC ĐẠT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

<sup>2</sup>Trường Cao Đẳng Bách Khoa Nam Sài Gòn

<sup>a</sup>Tác giả liên hệ: [traimp@vlute.edu.vn](mailto:traimp@vlute.edu.vn)

Nhận bài (Received): 21/6/2023; Phản biện (Reviewed): 09/7/2023; Chấp nhận (Accepted): 29/9/2023

### 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 như: Động lực học của xe, các hệ thống an toàn, ... Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả trình bày mô hình hóa và mô phỏng một ô tô điện cơ bản. Từ mô hình mô phỏng này nhóm 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, phân tích được các thông số cơ bản từ đó sử dụng làm cơ sở để thực hiện các nghiên cứu về ô tô điện khác.

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

### ABSTRACT

*Similar to traditional cars, designing an electric car, it is necessary to calculate and test through many different stages such as vehicle dynamics, and safety systems, ... In this study, the author presents modeling and simulation of a basic electric car. From this simulation model, the author applies the FTP75 test cycle to check the vehicle's response to parameters such as motor speed, motor torque, control current, and state of charge. Through simulation results, basic parameters can be analyzed; then used as a basis for conducting other research on electric cars.*

**Keywords:** *Electric car, FTP75, torque, state of charge, motor speed.*

#### 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 chỉ đang đáp ứng khoảng 85% nhu cầu năng lượng của thế giới [1]. Đặc biệt các phương tiện giao thông sử dụng nhiên liệu hóa thạch đã tạo ra một nguồn



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

$$u_d = R_m i_d + \frac{d(\lambda_d)}{dt} - p\omega_m \lambda_q \quad (1)$$

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

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.

$\omega_m$ : Vận tốc góc rotor.

$\lambda_q, \lambda_d$ : Liên kết từ thông từ các trục tương ứng.

Mô-men xoắn ( $T_m$ ) 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).

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

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

Trong đó:

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

$\lambda_f$ : 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.

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

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

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

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, tốc độ của động cơ điện được điều khiển bằng cách điều chỉnh điện áp đi qua các trục d-q. Tốc độ của động cơ điện có tần số và 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  $\omega_m$ :

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

Trong đó:

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

$\eta_m$ : 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 dựa vào 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  $\beta$ , 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  $k_\beta$  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  $u_b$  theo 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.

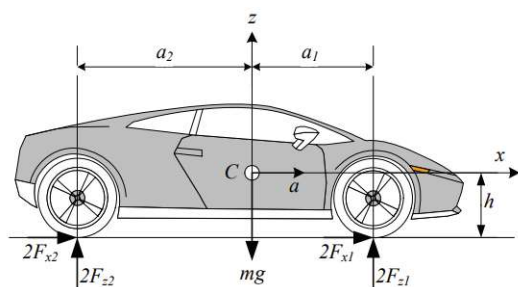
$$u_b = n_{bs}[e_{bc} - R_{bc}(I_b/n_{bp})] \quad (14)$$

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. Các thông số kỹ thuật của xe nghiên cứu

Stt	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	$M_{emax}$	255	N.m
3	Công suất cực đại của động cơ	$N_{emax}$	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

### 3.2. Tín hiệu đầu vào

Để khảo sát khả năng vận hành và tiêu thụ năng lượng của ô tô điện. Trong mô phỏng này, chu trình thử tiêu chuẩn FTP-75

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

#### 3.1. Mô hình phỏng mô

Mô phỏng được tiến hành trên phần mềm Matlab/Simulink với ô tô điện có các thông số kỹ thuật như Bảng 1. Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô điện khi xe chuyển động được hiển thị như Hình 3 [6]. Các điều kiện vận hành theo chu trình thử FTP75 được hiển thị như Hình 4 [6].

Thông số kỹ thuật về xe mà nhóm tác sử dụng để thực hiện mô phỏng được tham khảo từ xe Hyundai Ioniq 5 [7], thông số cơ bản được tác giả tóm tắt trong bảng 1

được sử dụng như tín hiệu đầu vào. Từ đó khảo sát và phân tích các tín hiệu đầu ra bao gồm: Mô men xoắn của động cơ, định mức SoC của pin, tốc độ động cơ, dòng điện điều khiển động cơ.

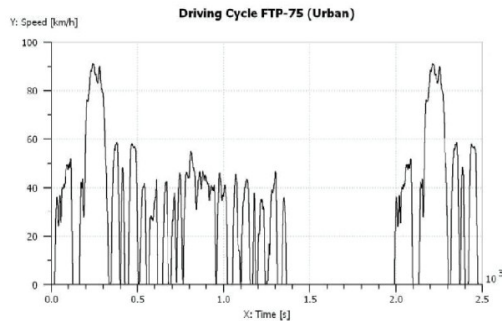
#### ❖ Chu trình thử FTP75:

- 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: 2474 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. Kết quả mô phỏng khảo sát khả năng hoạt động của ô tô điện với các chế độ vận hành khác nhau

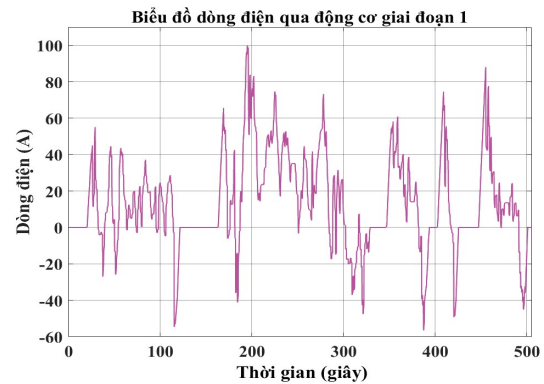
Sau khi mô phỏng mô hình xe ô tô điện với chu trình thử FTP75 qua 3 giai đoạn nhóm tác giả thu được các kết quả mô phỏng qua 3 giai đoạn như sau: Mô men xoắn của động cơ (Nm), dung lượng của pin (%), tốc độ động cơ (Rpm), dòng điện điều khiển động cơ (A).

#### 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

##### a) Dòng điện đi qua động cơ điện

Dòng điện hoạt động của động cơ được

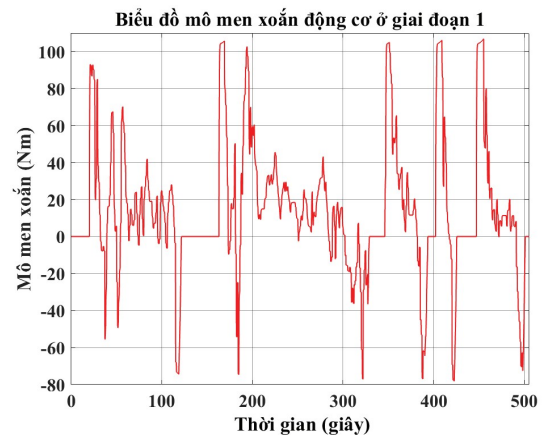
trích xuất từ 0 – 505 giây. Biểu đồ ở Hình 5 thể hiện giai đoạn này dòng điện cực đại đạt 97 (A) tại thời điểm 195 giây, dòng điện trung bình 13.9 (A). Dòng điện dương thể hiện sự tiêu hao năng lượng cho động cơ điện và dòng điện âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.



Hình 5: Biểu đồ dòng điện qua động cơ ở giai đoạn 1

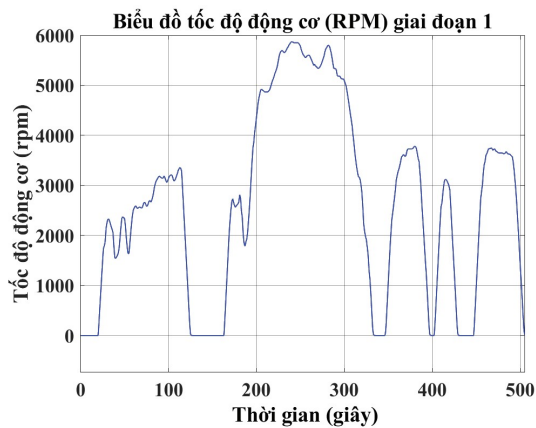
##### b) Mô men xoắn của động cơ điện

Mô men xoắn của động cơ được trích xuất từ 0 – 505 giây. Biểu đồ ở Hình 6 thể hiện giai đoạn này mô men xoắn của động cơ hoạt động tại đây mô men xoắn cao nhất khoảng 106 (Nm) ở thời điểm 408 giây, mô men xoắn trung bình đạt 14,26 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 ở giai đoạn 1

### c) Tốc độ động cơ điện

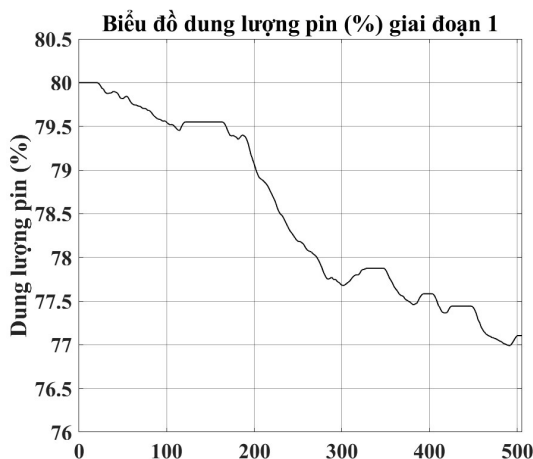


Hình 7: Biểu đồ tốc độ động cơ giai đoạn 1

Tốc độ của động cơ được trích xuất từ 0 – 505 giây. Biểu đồ ở Hình 7 thể hiện giai đoạn này động cơ hoạt động với tốc độ cực đại là 5846 (vòng/phút) tại thời điểm 240 giây, tốc độ động cơ trung bình đạt 2651 (vòng/phút).

### d) Dung lượng của pin

Dung lượng của pin (%) được đánh giá dựa vào trạng thái sạc SoC được trích xuất từ 0 – 505 giây. Biểu đồ ở Hình 8 thể hiện pin có dung lượng pin 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) với nhiều trường hợp tăng giảm tốc độ khác nhau.



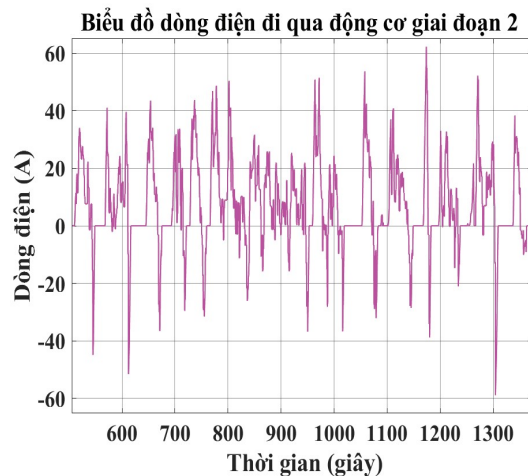
Hình 8: Biểu đồ dung lượng của pin (%) tại giai đoạn 1

Dung lượng pin giảm xuống còn khoảng 77,1% 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 2,9% 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

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

#### a) Dòng điện đi qua động cơ điện ở giai đoạn 2



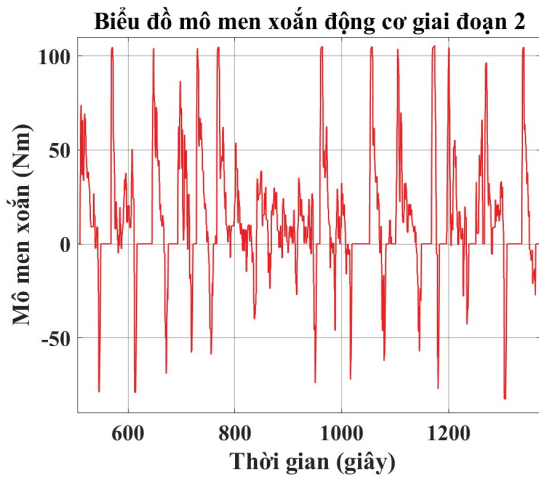
Hình 9: Biểu đồ dòng điện đi qua động cơ ở giai đoạn 2

Dòng điện hoạt động của động cơ được trích xuất từ giai đoạn 2 là 506 – 1373 giây. Biểu đồ ở Hình 9 thể hiện giai đoạn này dòng điện cực đại khoảng 61 (A) tại thời điểm 1173 giây, dòng điện tiêu thụ trung bình 7.6 (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.

#### b) Mô men xoắn của động cơ

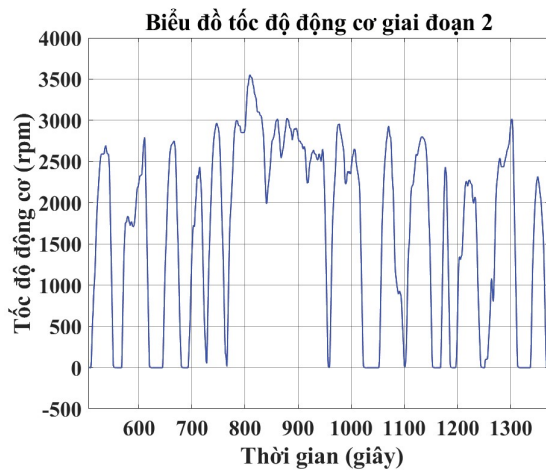
Mô men xoắn của động cơ được trích

xuất từ 506 – 1373 giây. Biểu đồ ở Hình 10 thể hiện giai đoạn này mô men xoắn của động cơ điện hoạt động tại dây mô men xoắn cao nhất khoảng 104 (Nm) ở thời điểm 570 giây, mô men xoắn trung bình đạt 13,5 (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

**c) Tốc độ động cơ điện**



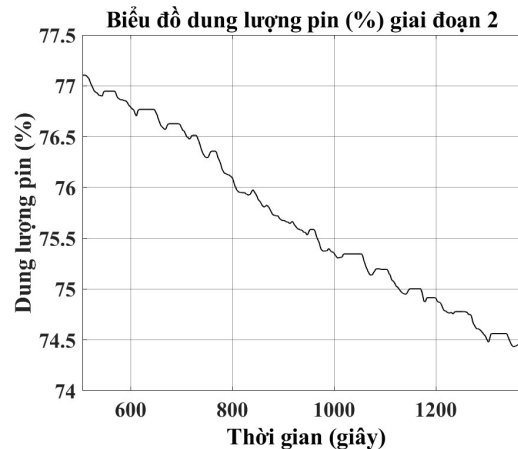
Hình 11: Biểu đồ tốc độ động cơ giai đoạn 2

Tốc độ của động cơ được trích xuất từ 506 – 1373 giây. Biểu đồ ở Hình 11 thể hiện giai đoạn này động cơ hoạt động với tốc độ cực đại là 3547 (vòng/phút) tại thời

điểm 809 giây, tốc độ động cơ trung bình đạt 1652 (vòng/phút).

**d) Dung lượng của pin**

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 77,1% và khi kết thúc giai đoạn 2 năng lượng điện của Pin giảm xuống còn khoảng 74,5%. Nghĩa là sau khoảng thời gian 867 giây ô tô điện tiêu thụ mất khoảng 2,7%. Điểm kết thúc giai đoạn 2 tại 1373 giây.

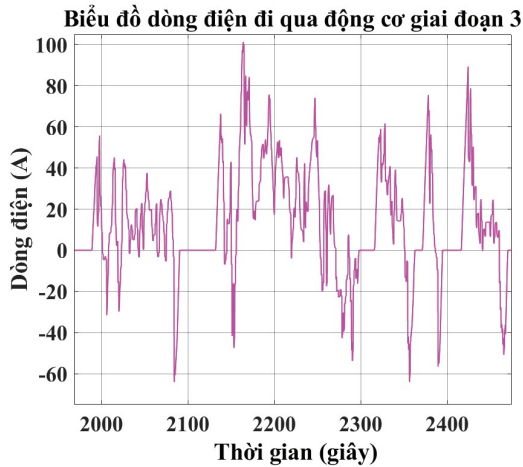


Hình 12: Biểu đồ dung lượng của pin (%) giai đoạn 2

**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:**

**a) Dòng điện đi qua động cơ điện**

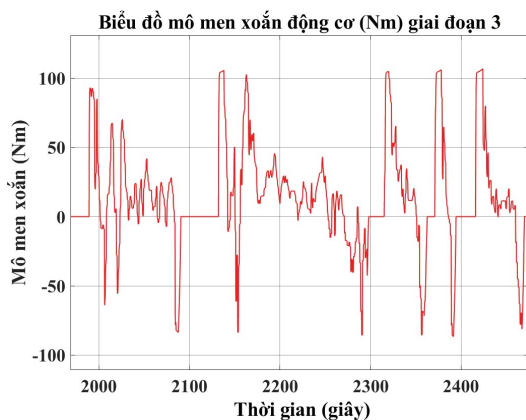
Dòng điện hoạt động của động cơ được trích xuất từ 1969 – 2474 giây. Biểu đồ ở Hình 13 thể hiện giai đoạn 3. Dòng điện cực đại đạt 101 (A) tại thời điểm 2164 giây, dòng điện trung bình 13.9 (A). Dòng điện dương thể hiện sự tiêu hao năng lượng cho động cơ điện và dòng điện âm thể hiện động cơ chuyển thành máy phát để nạp điện ngược lại cho Pin.



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

**b) Mô men xoắn của động cơ điện**

Mô men xoắn của động cơ được trích xuất từ 1969 – 2474 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 106 (Nm) ở thời điểm 2378 giây, mô men xoắn trung bình đạt 14,26 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.

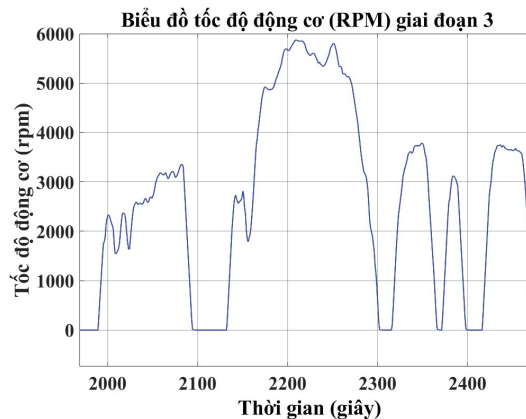


Hình 14: Biểu đồ mô men xoắn động cơ ở giai đoạn 3

**c) Tốc độ động cơ điện**

Tốc độ của động cơ được trích xuất từ 1969 – 2474 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

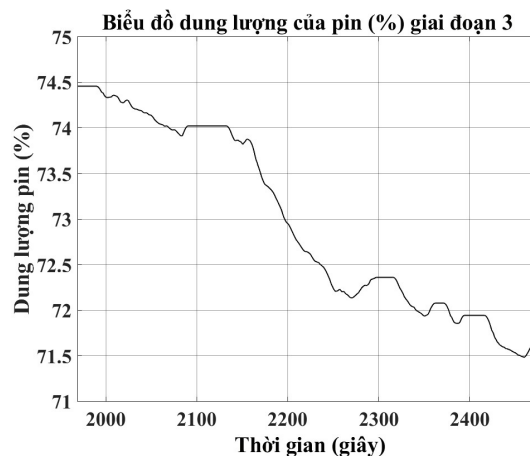
5872 (vòng/phút) tại thời điểm 2210 giây, tốc độ động cơ trung bình đạt 2651 (vòng/phút).



Hình 15: Biểu đồ tốc độ động cơ giai đoạn 3

**d) Dung lượng của pin**

Dung lượng của Pin (%) được trích xuất từ 1969 – 2474 giây. Biểu đồ ở Hình 16 thể hiện dung lượng Pin ở giai đoạn 3, Dung lượng tại thời điểm bắt đầu là 74,5%. 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 của pin (%) giai đoạn 3

**4. Kết luận**

Trong nghiên cứu này chúng tôi 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 8,6% tổng năng lượng Pin. Dung lượng Pin tiêu thụ trung bình cho 1 km ô tô chuyển động là khoảng 0,48%.

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., 101: Costs. 2009.
- [2] [www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads09/GHG2007-ES-508.pdf](http://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] <https://anycar.vn/xe-o-to-dien-hyundai-ioniq-5-t273638.html>