

NGHIÊN CỨU QUẢN LÝ NĂNG LƯỢNG TRÊN Ô TÔ ĐIỆN

RESEARCH ON ENERGY MANAGEMENT IN ELECTRIC VEHICLES

NGUYỄN ANH TUẤN¹, BÙI TRỌNG TÂN^{2a}

¹Trường cao đẳng Lý Tự Trọng TP.HCM

²Học viên cao học Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

+ Tác giả liên hệ: ^aEmail: tanbui1707@gmail.com

Nhận bài (Received): 19/12/2022; Phản biện (Reviewed): 16/12/2022; Chấp nhận (Accepted): 28/3/2023

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu trạng thái điện tích và trạng thái năng lượng trên xe điện dựa trên các trạng thái hoạt động của ắc quy bằng phần mềm Simulink. Trên cơ sở sử dụng các nguồn chu trình lái xe khác nhau, tác giả đã xây dựng mô hình hóa các chế độ lái xe để khảo sát, mô phỏng đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số khác nhau đến hiệu suất của pin và xe điện.

Từ khóa: Ô tô điện, trạng thái điện tích, trạng thái năng lượng, Simulink

ABSTRACT

This paper studies the state of charge and the state of energy on electric vehicles based on the operating states of the battery by Simulink software. On the basis of using different driving cycle sources, the author has built a model of driving modes to survey, simulate and evaluate the influence of different parameters on battery performance and electric vehicle.

Keywords: Electric vehicle, State of charge, State of energy, Simulink.

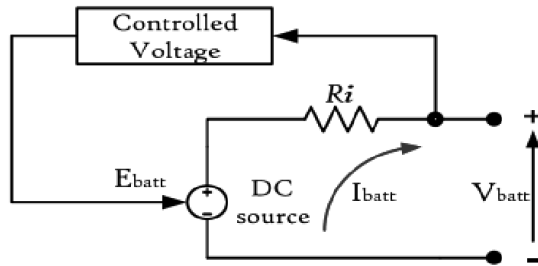
1. Đặt vấn đề

BMS (Battery management system) – Hệ thống quản lý năng lượng là một hệ thống hoàn toàn bằng điện tử trong bộ pin được liên kết với ắc quy của ô tô điện. Nó vận hành pin trong vùng hoạt động an toàn, tính toán và giám sát dữ liệu của pin, đồng thời kiểm soát và xác thực các thông số pin. Nghiên cứu đã xác thực mối liên hệ giữa trạng thái sạc - SOC của pin và trạng thái năng lượng ước tính SOE đối với pin lithium - ion trong nhiều điều kiện làm việc. Kết quả thử nghiệm cho thấy chiến lược đề xuất có thể đánh giá thành công SOC và SOE của pin trong các điều kiện làm việc

khác nhau với độ chính xác cao. Vì vậy, về tổng thể, chiến lược ước tính SOC và SOE này hỗ trợ giảm bớt độ khó tính toán cho bộ xử lý được sử dụng trong BMS và do đó, nó phù hợp để triển khai trong các ứng dụng xe điện.

Hiện nay có nhiều loại pin khác nhau sử dụng trên xe điện, ví dụ: axit-chì, hydroa kim loại niken, lithium - ion, v.v. Do đặc tính của pin Lithium – ion là nhẹ, nhỏ gọn và làm việc trong khoảng điện áp 4 vôn với năng lượng cụ thể nằm trong khoảng 100Wh kg-1 đến 150Wh kg-1 được lựa chọn để nghiên cứu trong các điều kiện làm việc khác nhau của ô tô điện. Pin được

thiết kế sử dụng điện áp điều khiển đơn giản mắc nối tiếp với điện trở cố định, như hình 1 [1].



Hình 1. Mạch điện tương đương cơ bản của một mô hình pin

Vòng lặp tương đương của mạch tuân theo định luật điện áp Kirchhoff được chứng minh là tạo ra điện áp đầu cuối được biểu thị:

$$V_{batt} = E_{batt} - R_i I_{batt} \quad (1)$$

Trong đó:

V_{batt} – điện áp của pin (V).

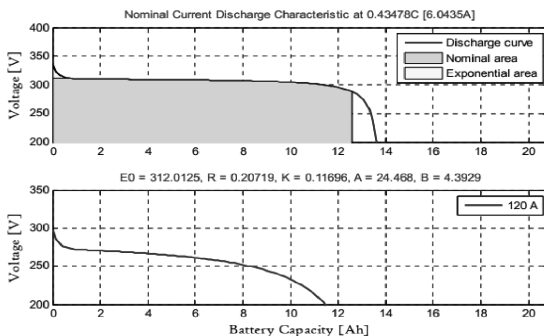
E_{batt} – điện áp không tải (V)

R_i – điện trở nội (Ω)

I_{batt} – cường độ dòng điện của pin (A)

Với V và R_i phụ thuộc vào trạng thái sạc tức thời của pin

Hình 2 cho thấy đường đồ thị phóng điện được tính toán thường cho (Loại pin Li-ion: 288 Volt 120 Ampe-giờ). Dòng điện cố định được sử dụng để phóng điện của pin là 6 Ampe, được xác định bằng biên độ danh định của pin chia cho một giờ [2].



Hình 2. Đồ thị phóng điện điển hình của pin lithium – ion

Trích xuất các thông số mô hình pin:

- Giai đoạn sạc:

$$E_{chg} = V_c - K * \frac{Q}{i_t + 0,1Q} + Ae^{(-B i_t)} \quad (2)$$

- Giai đoạn xả:

$$E_{dis} = V_c - K * \frac{Q}{Q - i_t} + Ae^{(-B i_t)} \quad (3)$$

Trong đó:

V_c – Điện áp cố định của pin (V).

K – Điện áp phân cực (V).

Q – Dung lượng pin lớn nhất (Ah), là dung lượng trích xuất (Ah).

A – Dung lượng vùng công suất (V).

B – Hằng số thời gian theo diện tích lũy thừa nghịch đảo (Ah)⁻¹.

Theo dõi và ước tính trạng thái SOC của pin:

- Trạng thái sạc (SOC) cho biết dung lượng pin còn lại. Đơn vị SOC là điểm phần trăm (0% = cạn, 100% = đầy). SOC thường được sử dụng khi thảo luận về trạng thái hiện tại của pin đã sử dụng. Xếp hạng SOC có thể giúp xác định ngưỡng cho từng chế độ hoạt động của pin (tức là sạc hoặc xả) và cũng có thể tránh được tình trạng sạc quá mức và xả quá mức. SOC được biểu thị là:

$$SOC(t) = Q - \int_0^t i(t) dt \quad (4)$$

- Trạng thái phóng điện (SOD) được định nghĩa là dung cụ đo điện tích bắt nguồn từ pin, như sau:

$$SOD(t) = \Delta q = \int_0^t i(t) dt \quad (5)$$

- Độ sâu xả (DOD) là nghịch đảo của SOC (100% = cạn, 0% = đầy), một trên SOC. DOD thường được thấy khi thảo luận về thời lượng pin sau nhiều lần sử dụng.

$$DOD(t) = \frac{\int_0^t i(t)dt}{Q} * 100\% = \frac{SOD(t)}{Q} * 100\% \quad (6)$$

Nghiên cứu đã xác thực mối liên hệ giữa trạng thái sạc - SOC của pin và trạng thái năng lượng ước tính SOE đối với pin lithium - ion trong nhiều điều kiện làm việc.

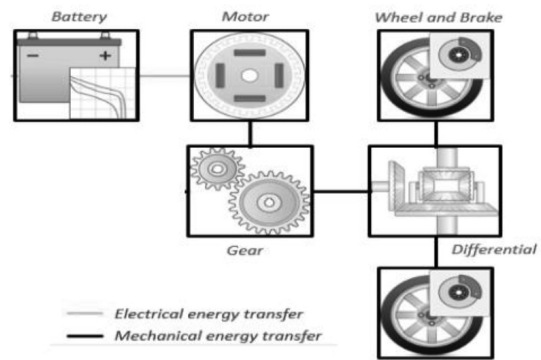
2. Khảo sát, mô phỏng đánh giá trạng thái SOC và SOE pin Lithium – ion trên ô tô điện

2.1. Các thông số đầu vào cho mô hình khảo sát

Sử dụng xe ô tô điện chở khách 4 - 5 chỗ ngồi có các thông số (Bảng 1). Mô hình ô tô điện bao gồm ba bộ phận chính (Hình 3), pin lithium – ion; hệ thống điều khiển và động cơ đồng bộ DC được kết nối với các bánh xe thông qua hộp số truyền động đơn giản. Hệ thống điều khiển tần số và điện áp được áp dụng cho động cơ điện, tùy thuộc vào yêu cầu của người lái và được kết nối bằng các chu kỳ lái xe. Thông số kỹ thuật hệ thống pin Lithium-ion được trích xuất từ bảng 2 [3].

Bảng 1. Thông số của ô tô mô phỏng

Thông số kỹ thuật	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
Tốc độ tối đa	-	130	km/h
Tăng tốc	0 -100 km/h	12.4	s
Khối lượng xe	m	1085	kg
Diện tích cản gió phía trước	Af	2,57	m2
Bán kính bánh xe	Rw	0,3	m
Mật độ không khí	ρ	1,2041	kg/m3
Hệ số cản lăn	Frr	0,009	



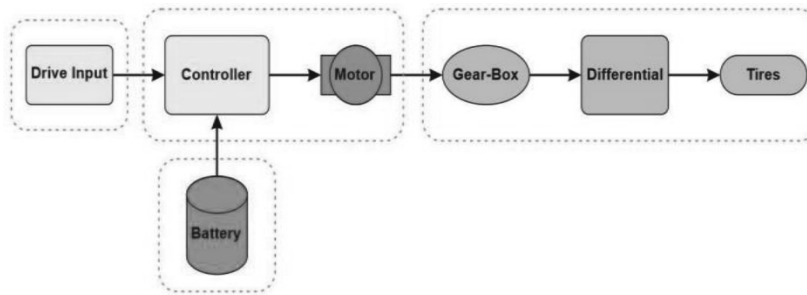
Hình 3. Hình minh họa khối của hệ thống truyền động xe điện chạy bằng ắc quy

Bảng 2. Thông số kỹ thuật hệ thống pin

Thông số kỹ thuật	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
Loại pin	Pin LiFePO4 Lithium-ion		
Định mức điện áp	V_n	3.2	V
Điện trở nội	R_i	<2	mΩ
Dung lượng định mức	C_n	20	Ah
Điện áp tối đa một đơn vị pin	V_{max}	3.8	V
Điện áp tối thiểu một đơn vị pin	V_{min}	2.6	V
Mở mạch điện áp đầu ra	V_0	2.8 – 3.7	V
Dòng xả tối ưu (0.5C*)	-	<10	A
Dòng xả tối đa (3C*)	-	60	A
Dòng sạc tối ưu (0.5C*)	-	<13	A
Dòng sạc tối đa (1C*)	-	20	A

Thông số kỹ thuật	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
Vòng đời (0.5C, 80%DOD*)	-	>2000	Chu kỳ
Tỉ lệ tự xả	-	<3%	%/tháng
Trọng lượng (dung sai)	W	0.65	kg
Kích thước (Rộng x dài x cao)	-	71 x 178 x 28	mm
Năng lượng	E	64	kW

Mô hình mô phỏng cơ bản gồm 4 phần (Hình 4):



Hình 4. Sơ đồ các khối trong mô phỏng

- Mô hình xe (Vehicle Model)
- Mô hình pin (Battery Model)
- Động cơ và bộ điều khiển động cơ (Motor and Motor Controller)
- Chu trình lái xe (Drive Cycle Source)

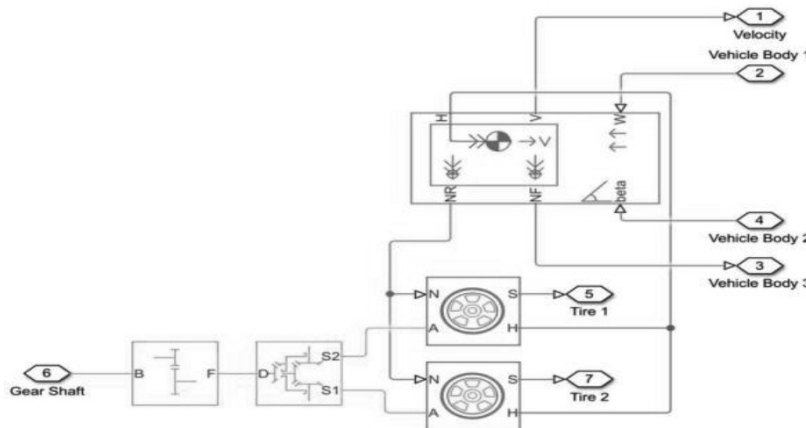
2.2. Xây dựng mô hình khảo sát

Để nghiên cứu, đánh giá trạng thái SOC và SOE pin Lithium – ion trên ô tô điện, tác giả lựa chọn phương pháp nghiên cứu bằng mô phỏng với sự trợ giúp của phần mềm Matlab Simulink. Mô hình nghiên cứu được

xây dựng dựa trên mô hình con của các bộ phận độc lập: Xe; Pin; Động cơ và bộ điều khiển động cơ; Chu trình lái xe.

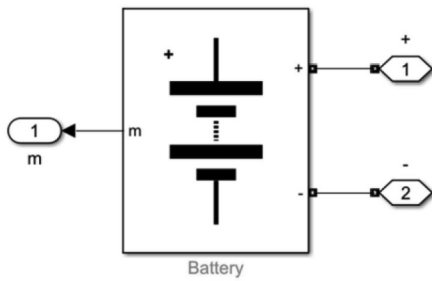
2.2.1. Mô hình xe (Vehicle Mode)

Mô hình (Hình 5) xe có tính đến khối lượng thân xe, lực cản khí động học, độ nghiêng của đường và phân bố trọng lượng giữa các trục do khả năng tăng tốc và mặt đường. Xe có thể có số bánh xe giống nhau hoặc khác nhau trên mỗi trục. Xe không chuyển động thẳng đứng so với mặt đất.



Hình 5. Mô hình thân xe.

2.2.2. Mô hình pin (Battery Model)



Hình 6. Mô hình pin

Mô hình pin (Hình 6) được mô hình hóa dưới dạng điện trở nối tiếp và nguồn điện áp không đổi. Nếu chọn hữu hạn cho tham số dung lượng sạc của pin thì mô hình hóa pin dưới dạng điện trở nối tiếp cộng với nguồn điện áp phụ thuộc vào điện tích được xác định bởi:

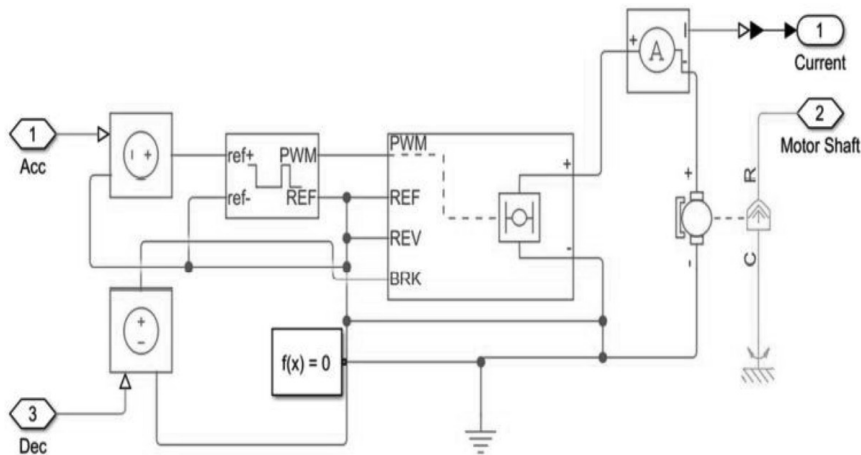
$$V = V_{nom} * SOC / (1 - \beta * (1 - SOC)) \quad (7)$$

Trong đó SOC là trạng thái sạc và V_{nom} là điện áp danh định. Hệ số beta được tính toán để đáp ứng điểm dữ liệu.

2.2.3. Mô hình động cơ và bộ điều khiển động cơ (Hình 7)

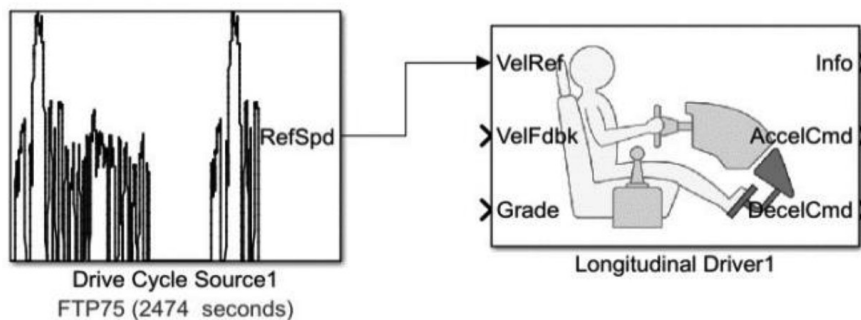
Khối này tạo ra điện áp điều khiển chế độ rộng xung (PWM) trên các cổng PWM và REF. Điện áp ra bằng 0 khi xung ở mức thấp, và bằng với tham số biên độ điện áp ra khi ở mức cao.

Khối động cơ điện đại diện cho các đặc tính điện và mô-men xoắn của động cơ DC. Khối này giả định rằng không có năng lượng điện từ nào bị mất đi, và do đó các hằng số suất điện động ngược và mô-men xoắn có cùng một giá trị số khi tính theo đơn vị SI.



Hình 7. Mô hình động cơ điện và bộ điều khiển động cơ điện

2.2.4. Mô hình chu trình lái xe (Drive Cycle Source)



Hình 8. Mô hình chu trình lái xe và bộ điều khiển tốc độ theo chiều dọc

Khối Drive Cycle Source (Hình 8) tạo ra một chu trình truyền động theo chiều dọc tiêu chuẩn hoặc do người dùng chỉ định. Đầu ra của khối là tốc độ dọc của xe được chỉ định để:

- Dự đoán mô-men xoắn động cơ và mức tiêu thụ nhiên liệu mà xe cần để đạt được tốc độ và khả năng tăng tốc mong muốn cho một tham chiếu sang số nhất định.

- Tạo các tham chiếu chuyển số và vận tốc thực tế cho các lệnh phanh và tăng tốc vòng kín cho các mô hình nhà máy và điều khiển phương tiện.

- Nghiên cứu, điều chỉnh và tối ưu hóa khả năng kiểm soát phương tiện, hiệu suất hệ thống và độ bền của hệ thống trong

nhiều chu kỳ truyền động.

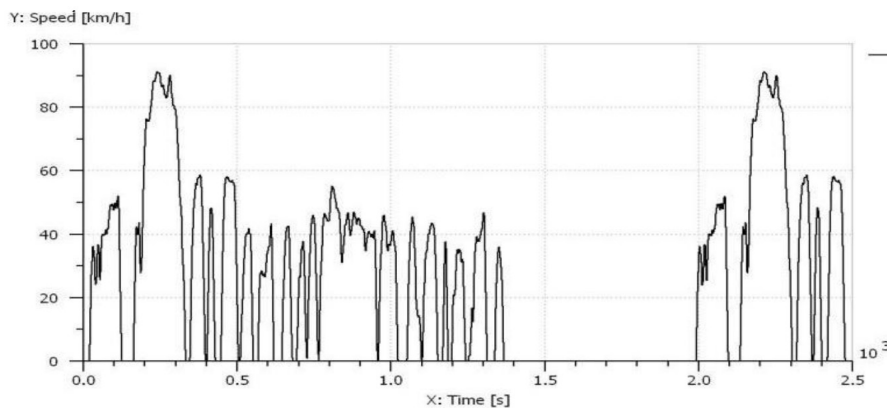
Chu kỳ lái xe dùng để khảo sát, mô phỏng gồm:

1. Chu trình lái xe FTP 75 (Hình 9),[4]

Quy trình kiểm tra Liên bang EPA, thường được gọi là FTP – 75 cho chu trình lái xe trong thành phố, đồng thời FTP-75 cũng được sử dụng để ước tính phạm vi quãng đường di chuyển của xe điện trong một lần sạc.

Thông số của chu trình:

- Khoảng cách đã đi: 11,04 dặm (17,77 km).
- Thời lượng: 2.474 giây.
- Tốc độ trung bình: 21,2 mph (34,1 km/h).



Hình 9. Biểu đồ chu trình lái xe FTP 75

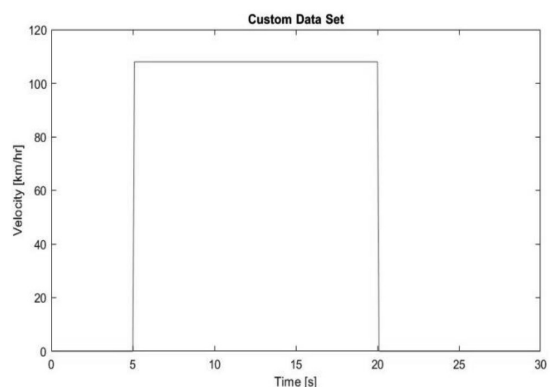
2. Chu trình lái xe WOT (Hình 10),[4]

Chu trình lái xe với bướm ga mở rộng (WOT), là trạng thái mở hoàn toàn của bướm ga trên động cơ. Trong trường hợp ô tô điện, chu trình lái xe WOT là người lái sẽ nhấn ga đến mức tối đa, để động cơ và hệ thống truyền động hoạt động ở điều kiện tối đa. Quá trình này thường được thực hiện trong một khoảng thời gian ngắn.

Thông số chu trình:

- Thời gian bắt đầu (s): giây thứ 5
- Tốc độ tham chiếu ban đầu: 0 km/h
- Tốc độ tham chiếu danh nghĩa: 30 km/h

- Thời gian bắt đầu giảm tốc: giây thứ 20
- Tốc độ tham chiếu cuối cùng: 0 km/h
- Thời gian mô phỏng chu kỳ WOT: 30 giây

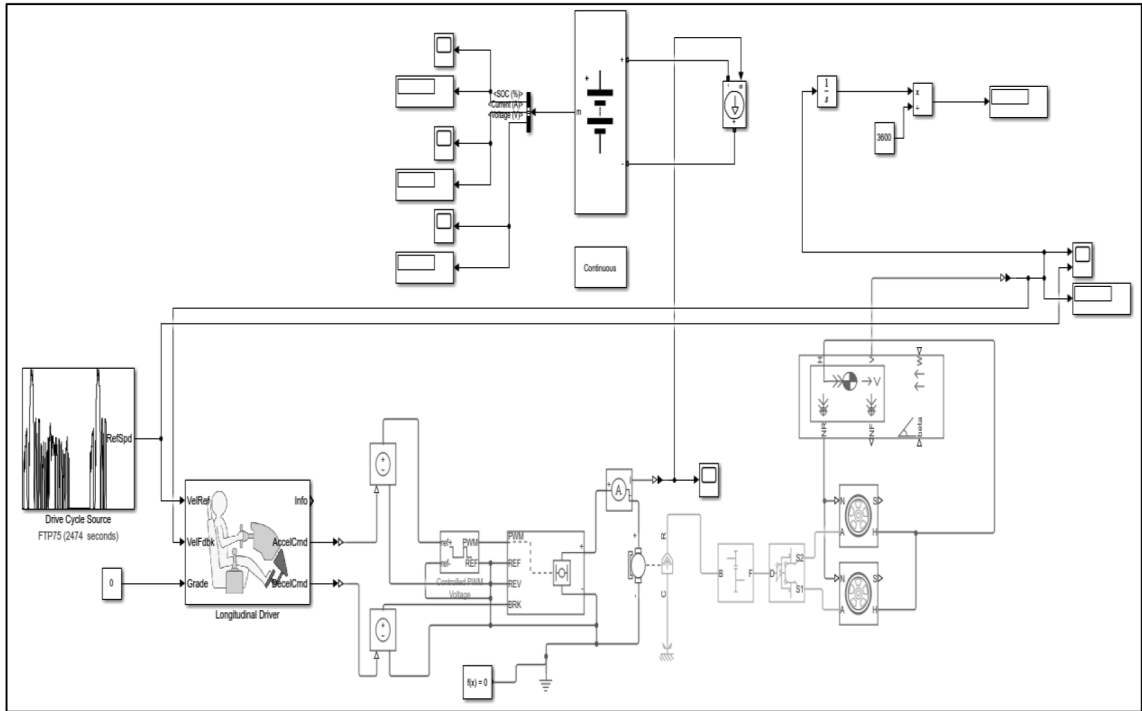


Hình 10. Đồ thị chu trình lái xe WOT

2.2.5. Sơ đồ mô hình mô phỏng của ô tô điện

Dựa trên cơ sở các mô hình con đã xây dựng được ở trên, tác giả xây dựng mô hình toàn xe (Hình 11) để khảo sát, mô phỏng đánh giá trạng thái SOC và SOE pin Lithium – ion trên ô tô điện.

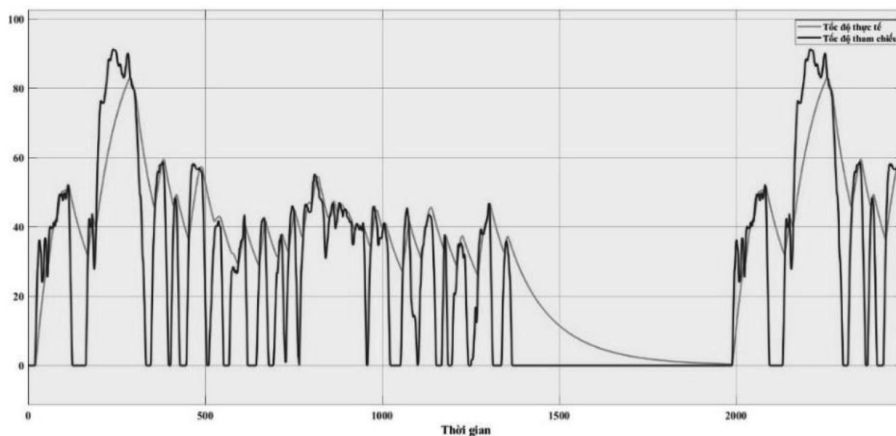
Với mô hình này cho phép thay đổi thông số đầu vào là điều kiện lái xe khác nhau theo chu trình lái xe để nhận được kết quả là vận tốc xe, trạng thái sạc/xả ắc quy, trạng thái điện tích ắc quy dưới dạng đồ thị [4].



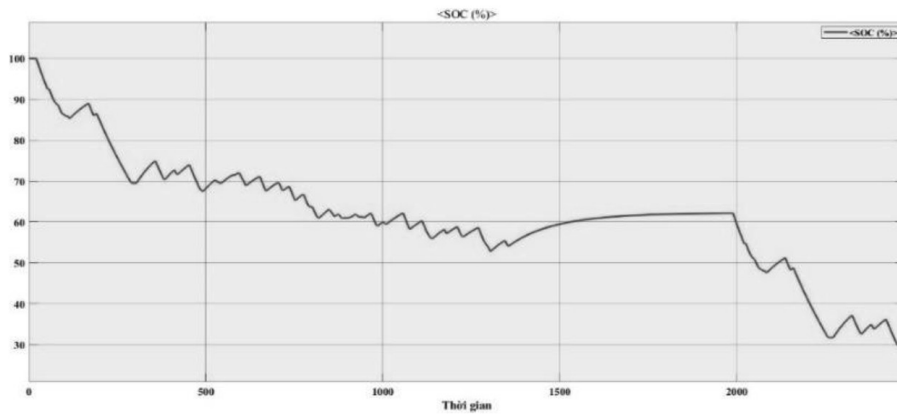
Hình 11. Mô hình hóa ô tô điện sử dụng chu kỳ lái xe FTP 75 làm chu kỳ nguồn

2.3. Kết quả mô phỏng

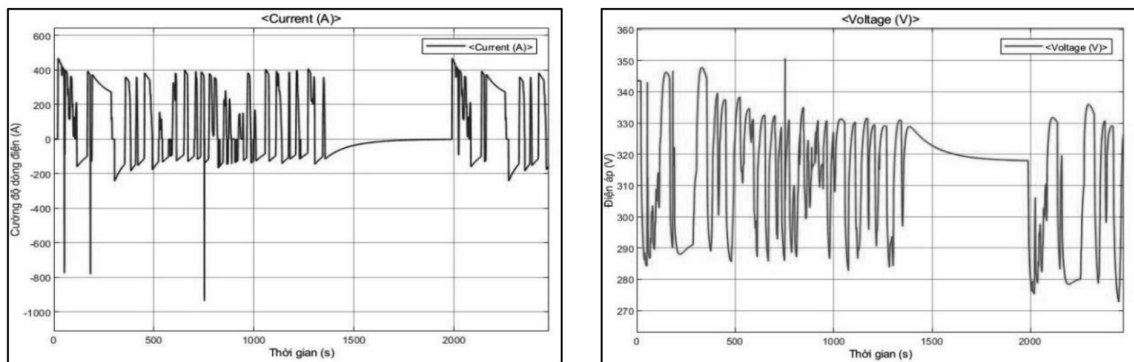
2.3.1. Kết quả khi mô phỏng mô hình ô tô điện khi sử dụng chu kỳ lái xe FTP 75 làm chu kỳ nguồn được thể hiện trên đồ thị từ hình 12 đến hình 14.



Hình 12. Biểu đồ phản hồi tốc độ



Hình 13. Biểu đồ phần trăm SOC theo thời gian



Hình 14. Trạng thái điện áp của pin

Nhận xét:

Hình 12, cho thấy rằng đường đồ thị màu vàng và đường đồ thị màu xanh gần như nối tiếp nhau trong khoảng thời gian mô phỏng 2.474 giây. Tốc độ thực tế ô tô điện đạt được không chênh lệch nhiều so với tốc độ tham chiếu từ chu trình FTP 75 đề xuất. Như vậy thông số tốc độ xe đạt yêu cầu và hệ thống năng lượng phù hợp với điều kiện di chuyển đề xuất.

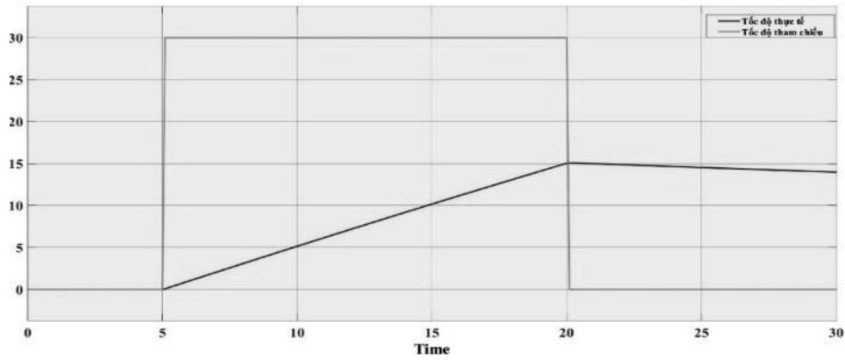
Hình 13, thể hiện kết quả trạng thái SOC của pin sử dụng trên ô tô điện. Trong khoảng 2.474 giây, trạng thái SOC của pin giảm từ 100% xuống 30% vì có một số giai đoạn tăng tốc và giảm tốc trong biểu đồ so sánh tốc độ.

Hình 14, thể hiện dòng điện và điện áp của ắc quy. Trên đồ thị cho thấy cường

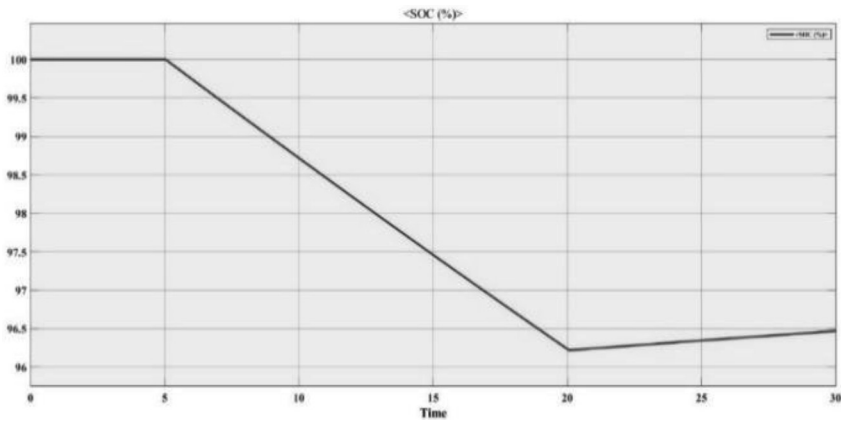
độ dòng điện và điện áp của ắc quy tỷ lệ thuận với tốc độ của phương tiện, khi ô tô di chuyển tốc độ càng cao dòng điện và điện áp tiêu thụ càng lớn. Khi xe tăng tốc, động cơ sẽ tiêu tốn năng lượng nhiều hơn để tạo ra một lực kéo mạnh hơn, điều này sẽ làm giảm điện áp của pin. Ngược lại, khi xe giảm tốc hoặc dừng lại, động cơ sẽ tiêu tốn ít năng lượng hơn, điều này sẽ làm tăng điện áp của pin.

2.3.2. Kết quả khi mô phỏng ô tô điện sử dụng chu kỳ lái xe WOT làm chu kỳ nguồn

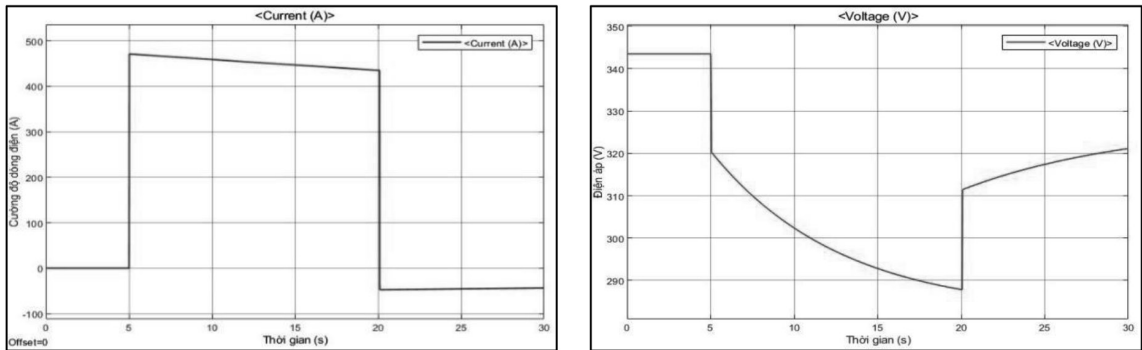
Thay đổi chu kỳ lái từ FTP 75 sang WOT làm chu kỳ nguồn để xác định các trạng thái làm việc của hệ thống năng lượng trên xe điện khi người lái xe nhân hết ga [4]. Kết quả được thể hiện trên các đồ thị từ hình 15 đến hình 17.



Hình 15. Biểu đồ phản hồi tốc độ



Hình 16. Trạng thái SOC của pin theo thời gian



Hình 17. Trạng thái điện áp của pin

Nhận xét:

Hình 15, thể hiện kết quả mô phỏng so sánh tốc độ thực tế và tốc độ tham chiếu trong điều kiện làm việc nhả hết ga. Khi mô phỏng chu kỳ truyền động WOT trong 30 giây với trạng thái xe tăng tốc tối đa trong 20 giây và sau đó giảm tốc sau 10 giây. Trong điều kiện làm việc trên tốc độ thực tế đáp ứng được 50% so với tốc độ tham chiếu.

Hình 16, thể hiện trạng thái SOC của pin. Trong 20 giây đầu tiên, SOC của pin giảm từ 100% xuống 96,1% và trong 10 giây tiếp theo, năng lượng tái tạo do mô tơ tạo ra sẽ sạc cho bộ pin từ 96,1 lên 96,5%.

Hình 17, cho thấy trong chu kỳ mô phỏng WOT, điện áp và dòng điện đầu vào vào pin sẽ tăng lên đáng kể trong

một thời gian ngắn. Điều này dẫn đến việc giảm trạng thái SOC của pin nhanh chóng. Nếu mức độ tải của động cơ quá lớn, điện áp và dòng điện vào pin có thể vượt quá giới hạn cho phép, dẫn đến hư hỏng hoặc cháy pin. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống pin đề xuất phù hợp với điều kiện lái xe khi nhấn hết ga trong một khoảng thời gian ngắn.

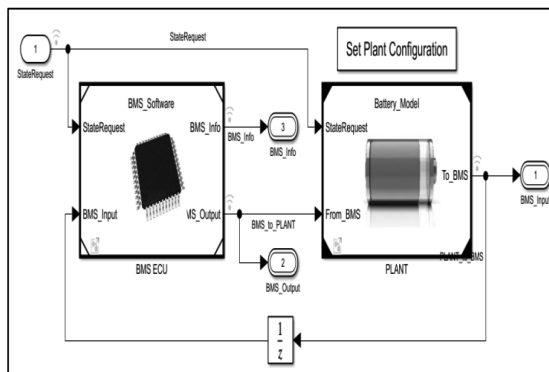
3. Mô phỏng BMS trong Simulink

Hệ thống quản lý pin duy trì hoạt động an toàn của pin và nó cũng theo dõi:

- Điện áp
- Nhiệt độ
- Tình trạng sạc
- Dòng điện
- Tình trạng pin

Hệ thống quản lý áp quy cao áp giúp quá trình hoạt động của áp quy cân bằng, ổn định bằng cách ngăn quá dòng, quá điện áp, quá nhiệt cho phép

3.1. Mô hình BMS trong Simulink



Hình 18. BMS ECU và hệ thống quản lý năng lượng pin

Thành phần chính là BMS ECU và hệ thống năng lượng cao áp.

BMS ECU hỗ trợ hiển thị và thực hiện điều khiển hệ thống pin cao áp. Nó chịu trách nhiệm giám sát, cân bằng sạc từng tế

bào pin và ước tính tình trạng sạc/xả của pin (SOC).

Trạng thái (State Machine) xác định trạng thái hoạt động của BMS. Trong State Machine có bốn trạng thái:

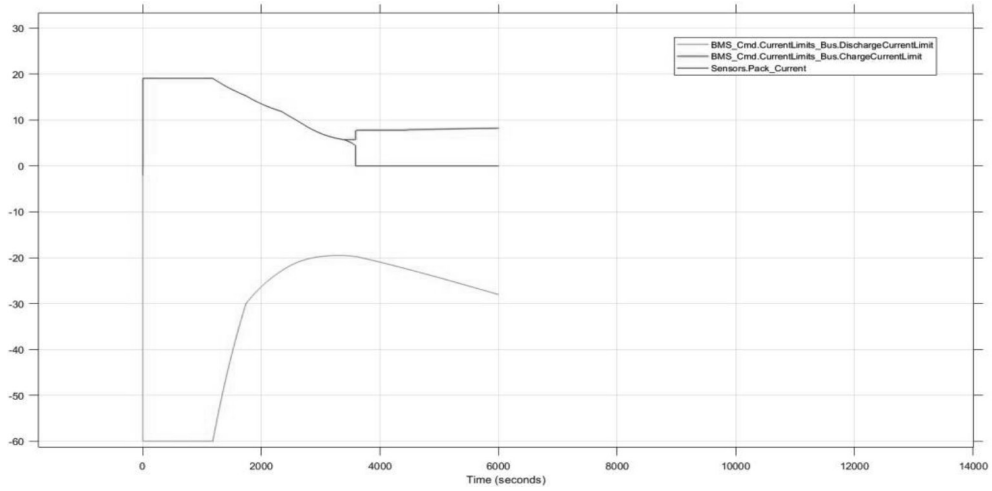
- Trạng thái thứ nhất: Xe đứng yên, bị lỗi và đang sạc.
- Trạng thái thứ hai: Khi điều gì đó vượt quá giới hạn an toàn.
- Trạng thái thứ ba và bốn: Xác định trạng thái BẬT/TẮT cho bộ sạc và mạch biến tần.

Hệ thống năng lượng cao áp bao gồm bộ pin cao áp, bộ sạc và hệ thống biến tần. Mỗi cụm Mô-đun pin bao gồm 06 mô-đun được đấu nối tiếp với nhau. Do đó, 16 cụm mô-đun có tổng cộng 96 mô-đun có thể sử dụng để tăng công suất cao hơn.

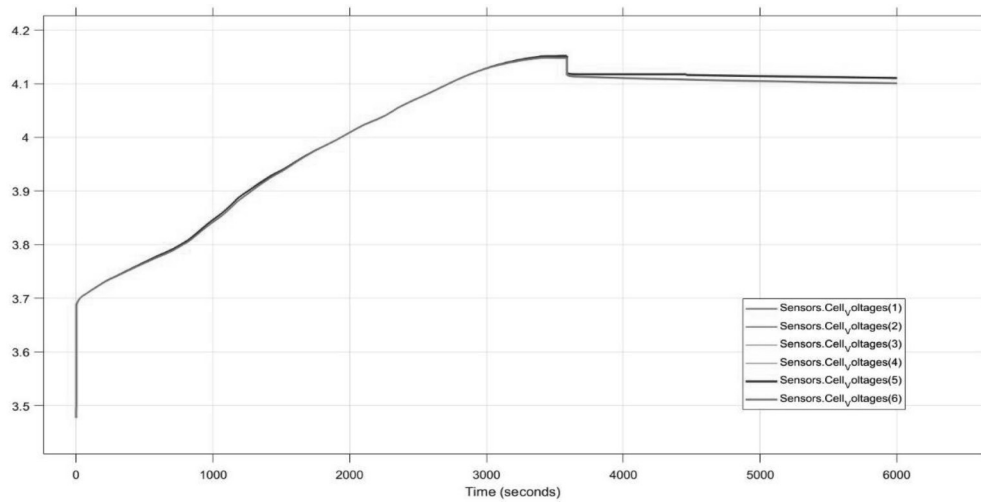
Xe điện có nhiều ưu điểm hơn so với các loại xe sử dụng động cơ đốt trong thông thường chủ yếu bao gồm năng lượng hiệu quả, sức mạnh tức thời, hoạt động hiệu quả. Hiệu suất pin chủ yếu là phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường làm việc. Quản lý nhiệt kém sẽ ảnh hưởng tiêu cực đến năng lượng sạc/xả, tuổi thọ chu kỳ, cân bằng điện áp từng tế bào pin và dung lượng của bộ pin. Để đạt được sự thay đổi hiệu suất xác định về nhiệt độ và dung lượng từng tế bào pin trong bộ pin dẫn đến sự thay đổi trạng thái nhiệt, dẫn đến việc sử dụng dưới mức, dưới sạc hoặc ngược lại làm giảm tuổi thọ của pin.

Trình tự kiểm tra bao gồm điều kiện lái xe, điều kiện cân bằng sạc và điều kiện sạc với quá trình chuyển đổi xảy ra tại các khoảng thời gian cụ thể.

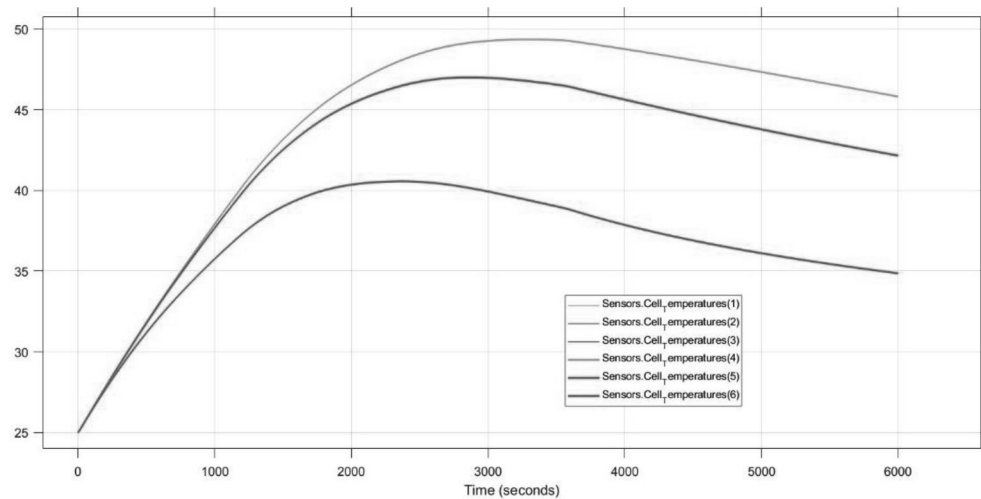
3.2. Kết quả mô phỏng



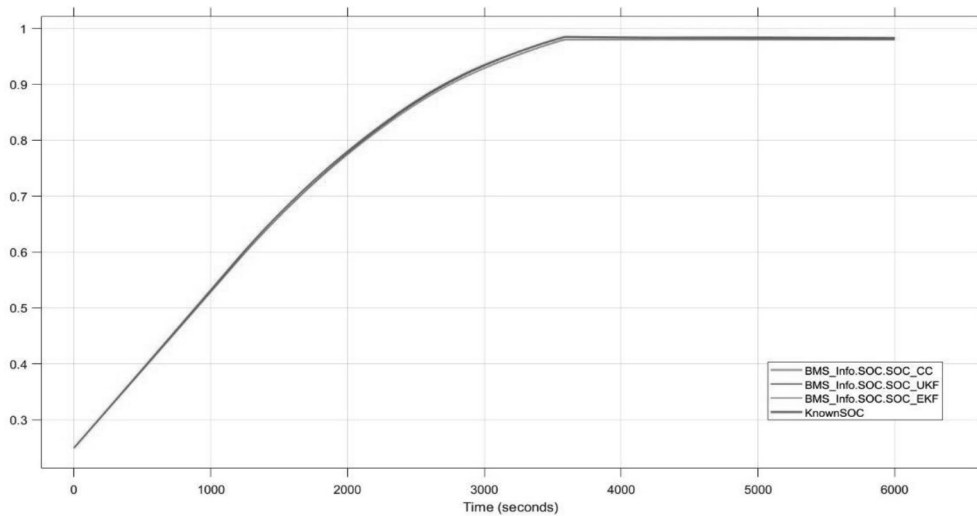
Hình 19. Trạng thái BMS



Hình 20. Điện áp các cell pin



Hình 21. Nhiệt độ các cell pin



Hình 22. Trạng thái sạc BMS

Nhận xét:

Hình 19 đến hình 22 thể hiện kết quả mô phỏng BMS trong Simulink. Tình trạng sạc tăng từ 25% khoảng 98% trong điều kiện sạc và đạt tối đa vào khoảng 3500 giây và giữ nguyên. Đồ thị điện áp các cell pin (Hình 20) không có sự chênh lệch nhiều, do đó điều kiện cân bằng sạc đạt yêu cầu. Hình 21 thể hiện nhiệt độ các cell pin khi hoạt động. Nhiệt độ luôn duy trì dưới 50°C. Không có lỗi xảy ra trong quá trình thử nghiệm. Do đó hệ thống BMS đạt yêu cầu.

4. Kết luận

Trên cơ sở sử dụng mô hình đã xây

dựng để nghiên cứu, mô phỏng các trạng thái của pin gồm: trạng thái nạp, xả, trạng thái năng lượng trong điều kiện làm việc tiêu chuẩn theo chu kỳ lái xe trong thành phố FTP 75, và chu kỳ lái xe với bướm ga mở rộng (WOT). Các kết quả mô phỏng cho thấy chiến lược đề xuất có thể đánh giá thành công SOC và SOE của pin trong các điều kiện làm việc khác nhau với độ chính xác cao. Vì vậy, chiến lược ước tính SOC và SOE này sẽ hỗ trợ giảm bớt độ khó tính toán cho bộ xử lý được sử dụng trong hệ thống quản lý năng lượng trên ô tô điện và do đó, nó phù hợp để triển khai trong các ứng dụng xe điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Saleed, H.; Sayed, K.; Kassem, A; Mostafa, R. Power management strategy for battery electric vehicle. *IET Electr. Syst. Transp.* 2019
- [2]. Tremblay, O.; Dessaint, L.A.; Dekkiche, A.I. A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles. In Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Arlington, TX, USA, 9–12 September 2007
- [3]. Khairy Sayed, Ahmed Kassem, Hedra Saleeb, Ali S. Alghamdi, Ahmed G. Abo-Khalil. Energy-Saving of Battery Electric Vehicle Powertrain and Efficiency Improvement during Different Standard Driving Cycles. *Sustainability.* 2020
- [4]. PChatterjee, J Singh, R Singh, Y A R Avadh and S Kanchan. Electric Vehicle Modeling in MATLAB and Simulink with SoC & SoE Estimation of a Lithium-ion Battery. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2021