

XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ KHẢO SÁT HOẠT ĐỘNG CỦA PIN TRÊN Ô TÔ HYBRID

BUILDING A MODEL AND SURVEYING THE OPERATION OF BATTERIES IN HYBRID CARS

Nguyễn Văn Tuấn^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.044>

TÓM TẮT

Ngày nay, môi trường là một vấn đề đặc biệt luôn được quan tâm không chỉ trong phạm vi một quốc gia mà lan rộng ra trên toàn thế giới. Ô nhiễm do xe cơ giới đang là vấn nạn của các quốc gia. Một trong những giải pháp giảm ô nhiễm là sử dụng ô tô điện. Nhưng ô tô điện cũng có nhược điểm là chi phí sản xuất của pin lithium-ion cao chiếm khoảng 25 - 50% tổng chi phí của một chiếc ô tô điện và thời gian sạc điện lâu hơn so với việc đổ nhiên liệu. Hiện nay pin lithium-ion đang nổi lên như một thiết bị lưu trữ năng lượng nổi bật nhất do có mật độ năng lượng cao, hiệu suất vòng đời tốt và tỷ lệ tự xả thấp, nên thu hút được nhiều sự quan tâm nghiên cứu sử dụng cho ô tô thuần điện và ô tô hybrid với mục đích giảm giá thành sản phẩm. Với vai trò quan trọng của pin lithium-ion đối với ô tô điện như vậy, trong nghiên cứu này tác giả đi vào xây dựng bộ pin lithium-ion sau đó tiến hành mô phỏng trên mô hình ô tô hybrid có kiểu truyền động hỗn hợp để đánh giá hiệu quả hoạt động của bộ pin. Quá trình chạy mô hình được tiến hành khi ô tô hoạt động theo các chu trình lái của châu Âu do đó kết quả là đáng tin cậy.

Từ khóa: Pin lithium-ion, dung lượng pin, điện áp pin, ô tô hybrid.

ABSTRACT

Today, the environment is a particular issue that is always a concern within a country and spreading worldwide. Pollution caused by motor vehicles is a problem in all countries. One of the solutions to reduce pollution is to use electric cars. But electric vehicles also have disadvantages: the production cost of lithium-ion batteries is high, about 25 - 50% of the total price of an electric vehicle, and the charging time is longer than refueling. Lithium-ion batteries are emerging as the most prominent energy storage devices due to their high energy density, good life cycle efficiency, and low self-discharge rate, attracting much research attention. Used for pure electric cars and hybrid cars to reduce production costs. With such an essential role of Lithium-ion batteries in electric vehicles, in this study, the author goes into building a lithium-ion battery pack and then conducts simulations on a hybrid car model with a hybrid drivetrain. Suitable to evaluate the performance of the battery pack. The model runs were performed when the car operated according to European driving cycles, so the results were reliable.

Keywords: Lithium-ion battery, battery capacity, battery voltage, hybrid car.

¹Trường Đại học Công nghệ giao thông vận tải

*Email: nguyenvantuan@utt.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

DANH MỤC KÝ HIỆU

SOC: Trạng thái sạc

V_0 : Điện áp khi pin được sạc đầy ở không tải

β : Hằng số

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

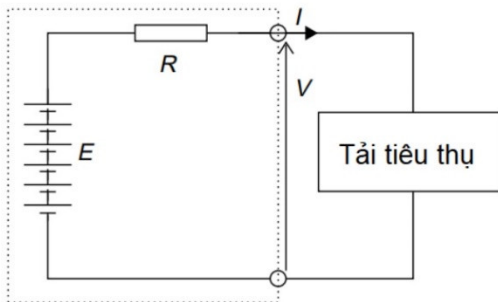
Ngày nay, môi trường là một vấn đề đặc biệt luôn được quan tâm không chỉ trong phạm vi một quốc gia mà lan rộng ra trên toàn thế giới. Ô nhiễm do xe cơ giới đang là vấn nạn của các quốc gia. Nó ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp đến sức khỏe con người, cũng như tác động xấu đến Trái Đất gây ra hiệu ứng nhà kính, ô nhiễm không khí và là nguyên nhân dẫn đến nhiều bệnh hiểm nghèo [1, 2]. Một trong những giải pháp giảm ô nhiễm môi trường là sử dụng ô tô điện, theo các chuyên gia trong tương lai ô tô điện sẽ là phương tiện chính và là đối tượng chính của hệ thống giao thông thông minh. Ô tô điện hiện có trên thị trường được phân thành ba loại: ô tô điện lai (HEV), ô tô điện lai plug-in (PHEV) và ô tô điện thuần túy chạy bằng pin (EV). Trong khi HEV và PHEV sử dụng bộ lưu trữ năng lượng pin cùng với động cơ đốt trong, EV chỉ sử dụng pin sạc bằng lưới điện để cung cấp năng lượng cho động cơ điện để dẫn động xe [3, 4]. Hai động lực thúc đẩy sự phát triển của ô tô điện trên thị trường thế giới là giảm khí thải độc hại (như carbon monoxide, carbon-dioxide, HC, NO_x) và giảm sự phụ thuộc năng lượng vào dầu mỏ để vận chuyển [5]. Trong khi có một số lợi thế đối với việc sử dụng ô tô điện, chẳng hạn như sạc tại nhà, khả năng tăng tốc tốt, không phát thải, không phụ thuộc vào việc sử dụng nhiên liệu,... Nhưng ô tô điện cũng có nhược điểm là chi phí sản xuất của pin lithium-ion cao chiếm khoảng 25 - 50% tổng chi phí của một chiếc ô tô điện và thời gian sạc điện lâu hơn so với việc đổ nhiên liệu [6, 7]. Hiện nay pin lithium-ion đang nổi lên như một thiết bị lưu trữ năng lượng nổi bật nhất do có mật độ năng lượng cao, hiệu suất vòng đời tốt và tỷ lệ tự xả thấp, nên thu hút được nhiều sự quan tâm nghiên cứu sử dụng cho ô tô thuần điện và ô tô hybrid với mục đích giảm giá thành sản phẩm [8, 9]. Qua phân tích các nghiên cứu cho thấy pin lithium-ion có vai trò quan trọng đối với hoạt động của ô tô điện. Trong nghiên cứu này, tác giả xây dựng bộ pin lithium-ion sau đó tiến hành mô phỏng trên mô

hình ô tô hybrid có kiểu truyền động hỗn hợp theo các chu trình lái của châu Âu. Kết quả của mô hình pin có thể được sử dụng cho các nghiên cứu chuyên sâu về thiết kế bộ điều khiển pin, về hệ thống phanh tái sinh trên ô tô điện.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH

2.1. Mô hình dung lượng pin

Pin cell được cấu tạo từ các cell có điện áp tương đương nhau. Các cell này được mắc nối tiếp hoặc song song với nhau để tạo ra pin có điện áp cần thiết. Những khối pin này lại tiếp tục được nối với nhau để sử dụng trên các ô tô điện cung cấp năng lượng cho động cơ dẫn động xe. Khi pin phóng điện, điện áp sẽ giảm xuống và ngược lại khi sạc thì điện áp sẽ tăng lên. Mạch điện tương đương của pin được chỉ ra như hình 1.



Hình 1. Mạch điện tương đương của pin

Tham số dung lượng sạc pin có thể được đặt thành vô hạn khi khối mô hình hóa pin dưới dạng điện trở nối tiếp và nguồn điện áp không đổi. Nếu dung lượng sạc pin được đặt thành hữu hạn, khối sẽ mô hình hóa pin làm nguồn điện áp phụ thuộc vào điện tích và một điện trở nối tiếp. Trong trường hợp hữu hạn, điện áp là một hàm của điện tích và có mối quan hệ sau:

$$V = V_0 \left(\frac{SOC}{1 - \beta(1 - SOC)} \right) \tag{1}$$

Ở đây:

+ SOC (trạng thái sạc) là tỷ lệ giữa mức sạc hiện tại và dung lượng pin định mức.

+ V_0 là điện áp khi pin được sạc đầy khi không tải, như được định nghĩa bởi định nghĩa điện áp, thông số.

+ β là một hằng số được tính sao cho điện áp của pin là V_1 khi sạc là A_{H1} . Điện áp V_1 và định mức ampere-giờ A_{H1} được chỉ định bằng cách sử dụng các tham số khối. A_{H1} là điện tích khi điện áp không tải (hở mạch) là V_1 và V_1 thường nhỏ hơn điện áp danh định.

2.2. Xây dựng mô hình pin

Pin trên ô tô hybrid bao gồm nhiều pin lithium-ion dạng cell được mắc nối tiếp hoặc song song và được đóng trong một hộp chứa (nhựa hoặc kim loại). Vì dung lượng pin được sản xuất theo tiêu chuẩn, với hiệu điện thế của động cơ điện là 500 (V) tác giả chọn loại pin lithium-ion ở dạng các cell có thông số kỹ thuật của mỗi cell như sau:

Dung lượng tiêu chuẩn: 4200mAh ($\pm 5\%$)

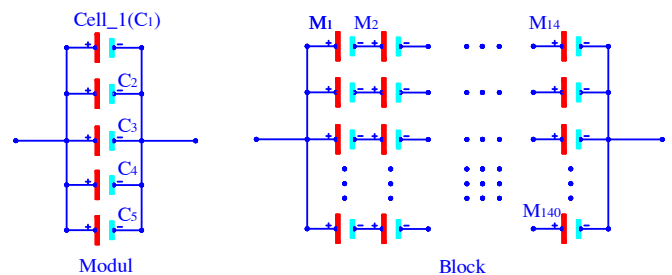
Hiệu điện thế: 3,7V

Dòng xả tối đa: 30A liên tục

Do đó:

- Với công suất động cơ điện là 50 (kW) và điện áp của động cơ là 500 (V) thì yêu cầu pin cần ghép nối tiếp 10 Block và mỗi Block có điện áp khoảng 50V (Khi ghép nối tiếp các Block điện áp sẽ bằng tổng điện áp của các Block còn dung lượng của các Block là bằng nhau). Mặt khác để ô tô hoạt động trong khoảng 2 giờ liên tục với công suất lớn nhất dung lượng của pin cần khoảng 200Ah.

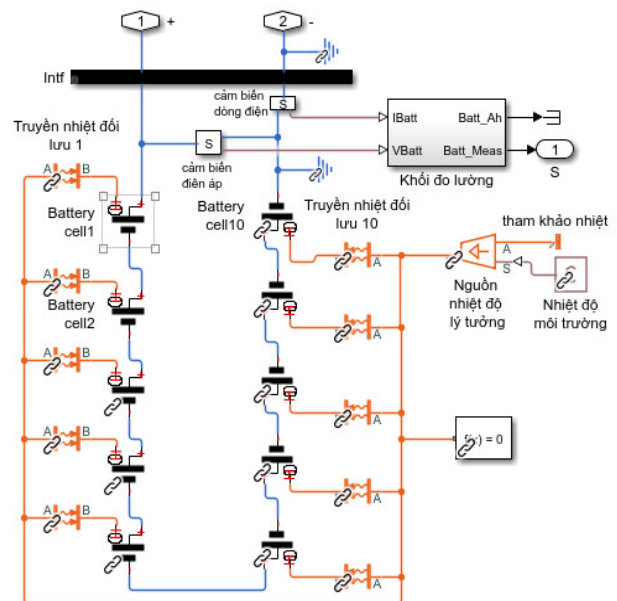
- Để có được điện áp ở đầu ra của 1 modul là 50V thì tác giả sẽ tiến hành ghép 5 Cell song song thành một Modul. Khi đó điện áp của một Modul là 3,7V với dung lượng $C_M = 5.4200 = 21$ (Ah). Sau đó tiến hành đấu nối tiếp 14 Modul lại với nhau khi đó điện áp của một hàng sẽ là: $3,7.14 = 51,2V$.



Hình 2. Sơ đồ đấu nối các Modul và Block của pin

- Để ô tô hoạt động trong khoảng 2 giờ liên tục với công suất lớn nhất thì dung lượng của pin cần khoảng 200Ah. Khi đó cần đấu nối 10 hàng Modul và mỗi hàng có 14 Modul ta coi cả khối này là Block, khi đó dung lượng của một Block là: $C_B = 10.21 = 210$ (Ah); Điện áp của Block là: $51,2V$, kết quả như hình 2.

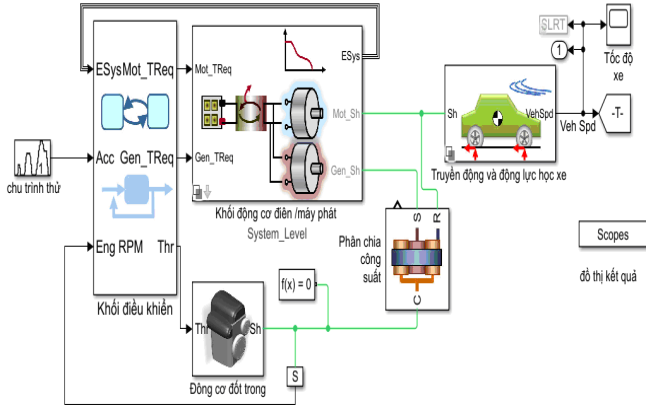
- Với điện áp của động cơ là 500V khi ghép nối tiếp 10 Block (Battery cell) kết quả ta được điện áp đầu ra của pin là: $10.51,2 = 512$ (V), kết quả đấu nối như trên hình 3.



Hình 3. Mô hình kết nối của pin lithium-ion

2.3. Mô hình tổng thể của ô tô hybrid

Để đánh giá hoạt động của bộ pin xây dựng, tác giả tiến hành chạy mô phỏng trên ô tô hybrid truyền động kiểu hỗn hợp như trên hình 4. Mô hình gồm có động cơ nhiệt, động cơ điện, máy phát, mô hình thân xe và chu trình thử nghiệm.



Hình 4. Mô hình ô tô hybrid theo kiểu hỗn hợp
Thông số chung của ô tô như thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của ô tô hybrid.

Khối lượng ô tô (kg)	1450	Công suất cực đại của động cơ nhiệt (kW)	57
Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước (m)	1,35	Tốc độ lớn nhất của động cơ (vg/ph)	6000
Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau (m)	1,35	Mô men xoắn cực đại (N.m)	115
Chiều cao trọng tâm (m)	0,5	Mô men xoắn cực đại của động cơ điện (N.m)	400
Diện tích cản chính diện (m ²)	2	Công suất cực đại của động cơ điện (kW)	50
Hệ số cản	0,4	Điện áp của động cơ điện (V)	500
Mật độ không khí (kg/m ³)	1,18	Công suất cực đại của máy phát (kW)	30
Bán kính lăn bánh xe (m)	0,28	Mô men xoắn lớn nhất của máy phát (N.m)	400
Hệ số cản lăn	0,018	Vòng quay lớn nhất của máy phát (vg/ph)	10000

Chu trình thử nghiệm:

+ Chu trình thử nghiệm trong thành phố (ECE15)-(Urban Cycle 1)

Chu trình thử Châu Âu UN/ECE áp dụng cho ô tô con và ô tô tải nhỏ bao gồm có:

- Thời gian thử nghiệm: 195s
- Vận tốc trung bình là: 19 (km/h)
- Vận tốc cực đại là: 50 (km/h)
- Quãng đường thử nghiệm: 1,013km

+ Chu trình thử nghiệm trên xa lộ (USHC)- (Urban Cycle 2)

Chu trình thử Châu Âu trên đường cao tốc HW (USHC) áp dụng cho ô tô con và ô tô tải nhỏ bao gồm có:

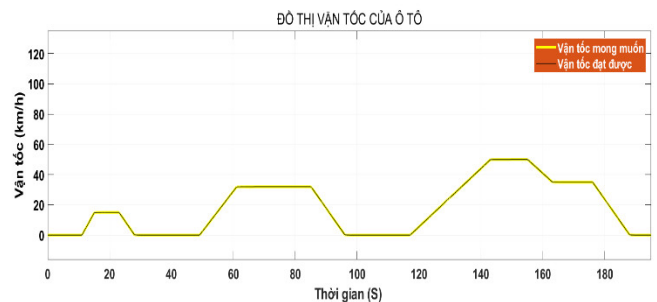
- Thời gian chạy: 400s
- Vận tốc trung bình: 62,6 (km/h)
- Vận tốc cực đại là: 120 (km/h)
- Quãng đường thử nghiệm: 6,966km

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

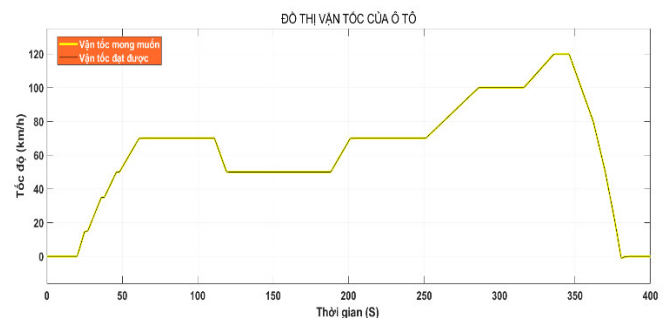
Kết quả chạy thử nghiệm của hai chu trình trong thành phố và ngoài xa lộ về vận tốc được thể hiện như trên hình 5 và 6.

- Chu trình thử nghiệm trong thành phố (ECE15)-(Urban Cycle 1)



Hình 5. Chu trình thử trong thành phố theo chuẩn ECE15

- Chu trình thử nghiệm trên xa lộ (USHC)- (Urban Cycle 2)



Hình 6. Chu trình thử trên đường cao tốc HW (USHC)

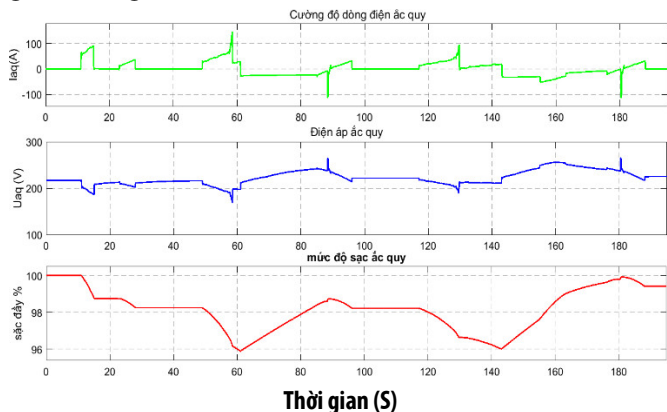
Qua đồ thị vận tốc sau khi mô phỏng theo chu trình thử trong thành phố theo chuẩn ECE15 (hình 5) và chu trình trên đường cao tốc (hình 6) ta thấy, vận tốc ô tô sau khi mô phỏng luôn chạy ổn định và trùng với đường tốc độ ô tô mà ta mong muốn, các giai đoạn tăng tốc, giảm tốc theo đúng chu trình cho nên mô hình được lập là đáng tin cậy.

3.2. Trạng thái hoạt động của pin khi làm việc

3.2.1. Thông số về điện áp và cường độ dòng điện theo chu trình ECE15

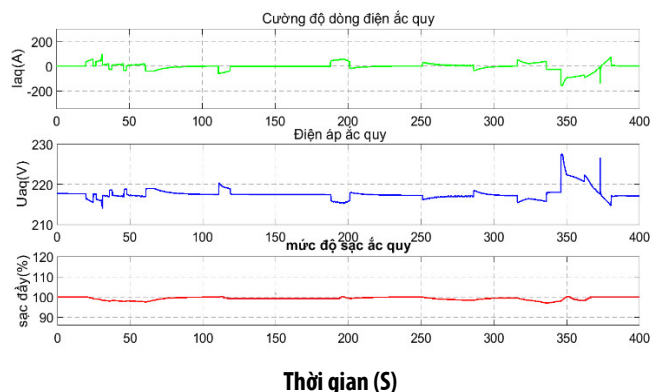
Hình 7 là đồ thị biểu diễn sự thay đổi của cường độ dòng điện và điện áp của pin theo chu trình thử. Trong các giai đoạn pin cần cung cấp năng lượng cho động cơ điện cường độ dòng điện tăng lên, cho nên điện áp pin và mức sạc bị giảm xuống. Ở các giai đoạn phanh tái sinh pin được sạc lại cường độ dòng điện duy trì ổn định, mức sạc và điện áp pin được tăng lên. Giá trị cường độ dòng điện âm thể hiện cho trạng thái pin đang được sạc. Cụ thể, từ 117s đến 128s cường độ dòng điện tăng lên khá nhanh và lớn, do tỷ lệ nghịch nên

điện áp pin sẽ giảm nhanh cùng dung lượng hay mức sạc. Từ 128 ÷ 142s trong khoảng thời gian này động cơ nhiệt hoạt động song song nên cường độ dòng điện giảm đột ngột sau đó tăng chậm. Khoảng từ 142 ÷ 180s cường độ dòng điện âm là do dòng điện chạy ngược lại để nạp điện lại cho pin, điện áp tăng lên nhanh và lớn cùng mức sạc. Từ 180s đến 188s ô tô chạy bằng động cơ điện, cường độ dòng điện có sự tăng nhẹ để cung cấp điện áp cho thiết bị và điện áp lại giảm xuống.



Hình 7. Sự thay đổi các thông số của pin khi ô tô hoạt động theo chu trình thử thành phố ECE15

3.2.2. Thông số về điện áp và cường độ dòng điện theo chu trình USHC



Hình 8. Sự thay đổi các thông số của pin khi ô tô hoạt động theo chu trình thử trên đường cao tốc HW (USHC)

Hình 8 là đồ thị biểu diễn sự thay đổi của điện áp và cường độ dòng điện của pin theo chu trình thử.

Qua đồ thị cho thấy, ở chu trình này cường độ dòng điện, điện áp và mức độ sạc pin không thay đổi quá nhiều, chỉ có giai đoạn đầu và cuối chu trình cần năng lượng để khởi động và duy trì vận tốc thấp nên các thông số thay đổi nhiều hơn. Giá trị cường độ dòng điện âm thể hiện cho trạng thái pin đang được sạc. Cụ thể từ 110s đến 251s có hai khoảng thời gian:

+ Từ 110 ÷ 119s: cường độ dòng điện âm chứng tỏ rằng có sự nạp lại năng lượng cho pin, điện áp tăng từ 215V lên 220V.

+ Từ 188 ÷ 200s: cường độ dòng điện tăng từ 0 lên 90A và điện áp lại có xu hướng âm do cường độ dòng điện và

điện áp là 2 đơn vị nghịch nhau. Trong giai đoạn này pin phóng điện nên mức sạc có giảm xuống đôi chút.

4. KẾT LUẬN

- Nghiên cứu đã xây dựng mô hình pin và tiến hành mô phỏng hoạt động của pin khi lắp trên ô tô hybrid truyền động hỗn hợp theo chu trình thử đô thị (ECE15) và theo chu trình thử ngoài đô thị (USHC), kết quả cho thấy bộ pin hoạt động đáp ứng đúng theo yêu cầu của ô tô.

- Khi ô tô tăng tốc: Theo chu trình ECE15 từ 117 ÷ 128s cường độ dòng điện tăng lên khá nhanh và lớn, do tỷ lệ nghịch nên điện áp pin sẽ giảm nhanh cùng dung lượng.

- Khi ô tô giảm tốc: Theo chu trình ECE15 trong khoảng 142 ÷ 180s cường độ dòng điện âm là do dòng điện chạy ngược lại để nạp điện lại cho pin, điện áp tăng lên nhanh và lớn cùng mức sạc. Còn theo chu trình USHC trong khoảng 110 ÷ 119s cường độ dòng điện âm chứng tỏ có sự nạp lại năng lượng cho pin, điện áp tăng từ 215V lên 220V.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Watts N, "The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come," *Lancet*, 392(10163), 2479-2514, 2018.
- [2]. Montgomery H, "Preventing the progression of climate change: one drug or poly pill?," *Biofuel Research Journal*, 4(1), 536, 2017.
- [3]. Cuma M.U., Koroglu T., "A comprehensive review on estimation strategies used in hybrid and battery electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 517-531.
- [4]. B. Propfe, M. Redelbach, D.J. Santini, H. Friedric, "Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance & Repair Costs and Resale Values," *World Electric Vehicle Journal*, 5(4), 886-895, 2012.
- [5]. Lucy Maybury, Pdraig Corcoran, Liana Cipcigan, "Mathematical modelling of electric vehicle adoption: A systematic literature review," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 107, 103278, 2022.
- [6]. Rahimi-Eichi E.H., Ojha U., Baronti F., Chow M., "Evaluation of acceptable charging current of power li-ion batteries based on polarization characteristics," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(12), 6844-6851, 2014.
- [7]. Hu X., Moura S.J., Murgovski N., Egardt B., Cao D., "Integrated optimization of battery sizing, charging, and power management in plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24(3), 1036-1043, 2016.
- [8]. Haitao Min, Weiyi Sun, Xinyong Li, Dongni Guo, Yuanbin Yu, Tao Zhu, Zhongmin Zhao, "Research on the Optimal Charging Strategy for Li-Ion Batteries Based on Multi-Objective Optimization," *Energies*, 10(5), 709, 2017.
- [9]. Mathew M., Kong Q.H., McGrory J., Fowler M., "Simulation of lithium ion battery replacement in a battery pack for application in electric vehicles," *Journal of Power Sources*, 349, 94-104, 2017.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Van Tuan

University Of Transport Technology, Vietnam