

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN THỜI GIAN PHÓNG ĐIỆN CỦA ẮC QUY Ô TÔ ĐIỆN

THE EFFECTS OF TEMPERATURE ON DISCHARGE TIME OF ELECTRIC CAR BATTERY

PHẠM VĂN SANG*, ĐÀM HOÀNG PHÚC, TRẦN MINH CÔNG,
LÊ VĂN TÀI, ĐỖ ĐÌNH QUANG ANH

Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email liên hệ: sang.pv171673@sis.hust.edu.vn

Tóm tắt

Nhằm tăng quãng đường di chuyển của ô tô điện, thế giới tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ, dòng điện, điện áp. Bài báo này nghiên cứu tới sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến thời gian phóng điện của ắc quy chì axit trên ô tô điện. Mô hình một ngăn ắc quy được cấu thành từ 2 nhánh. Nhánh chính mô tả cho hoạt động chính của ắc quy, nhánh kí sinh mô tả phản ứng của ắc quy tại thời điểm điện thế ắc quy cao. Mô hình mô phỏng sẽ đánh giá quan hệ giữa nhiệt độ, dòng điện phóng, dung lượng ắc quy, điện áp. Kết quả mô phỏng cho thấy mối quan hệ của nhiệt độ và dòng điện phóng với thời gian phóng điện, chỉ ra rằng khoảng nhiệt độ mà thời gian phóng của ắc quy đạt giá trị cao nhất là trong khoảng 40-50°C.

Từ khóa: Ô tô điện, ắc quy, thời gian phóng.

Abstract

To increase the distance run of electric cars, the world's study focuses on the influence of temperature, current, and voltage. This paper studies the influence of temperature on the discharge time of lead-acid batteries in electric cars. The model of a battery cell is composed of two branches. The main branch describes the main operation of the battery, the parasitic branch describes the reaction of the battery at the time of high battery voltage. Simulation model will evaluate the relationship between temperature, discharge current, battery capacity, voltage. The simulation results show the relationship of the temperature and battery currents with the discharge time, indicating that the temperature range of the battery's discharge time reached the highest value of 40-50°C.

Keywords: Electric car, battery, discharge time.

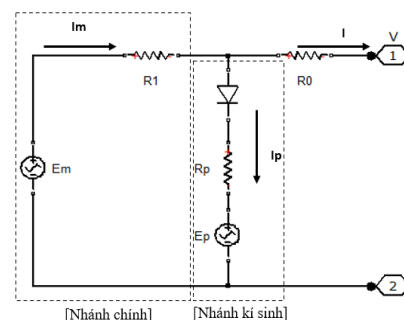
1. Đặt vấn đề

Nhằm tăng quãng đường cho xe ô tô điện, những nghiên cứu tập trung vào sự ảnh hưởng của nhiệt độ và điện áp đến thời gian phóng điện của ắc quy đang là xu hướng nghiên cứu trên thế giới. Đã có một nghiên cứu về sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến dung lượng và điện áp phóng của ắc quy chì axit của nhóm tác giả S. W. Arsri, bài báo chỉ ra giá trị mà nhiệt độ mà tại đó ắc quy bị suy giảm mạnh về dung lượng là từ 63,31°C [1]. Để xác định rõ hơn sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả phóng điện của ắc quy. Trong bài báo này sẽ thực hiện nghiên cứu về sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến thời gian phóng điện của ắc quy chì axit. Nghiên cứu được thực hiện mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink. Dựa trên tính toán từ chiếc xe điện cơ nhỏ tại phòng thí nghiệm trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

2. Mô hình ắc quy

Mạch tương đương được thiết lập theo kinh nghiệm gần đúng với hoạt động ắc quy. Cấu trúc này bao gồm 2 nhánh: Nhánh chính mô tả cho hoạt động chính của ắc quy, nhánh kí sinh mô tả phản ứng của ắc quy tại thời điểm điện thế ắc quy cao [2, 3].

Mạch tương đương của pin đại diện cho một cell của pin được mô tả dưới Hình 1. Điện áp đầu ra được nhân với sáu, số lượng cell nối tiếp, để tạo mô hình cho một pin ắc quy.



Hình 1. Mô hình mạch tương đương [5]

Mỗi phần tử mạch tương đương dựa trên các phương trình phi tuyến. Các phương trình phi tuyến bao gồm các tham số và trạng thái. Các tham số của phương trình phụ thuộc vào các hằng số được xác định theo thực nghiệm của Massimo Ceraolo[4] về mô phỏng ắc quy. Các trạng thái bao gồm nhiệt độ chất điện phân, điện tích được lưu trữ, điện áp và dòng điện nút mạch.

Các phương trình như sau:

***. Điện áp nhánh chính:**

Phương trình (1) tính toán sức điện động trong (E_m) hay điện áp mạch hở của một cell pin. Giá trị suất điện động được đo tại hai đầu cực khi chưa có phụ tải. Do đó, suất điện động này chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ và trạng thái nạp SOC của ắc quy:

$$E_m = E_{mo} - K_E(273 + \theta)(1 - SOC) \quad (1)$$

Trong đó:

- E_m - Điện thế mạch hở, (V);
- E_{mo} - Điện thế mạch hở khi sạc đầy, (V);
- K_E - Hằng số, (V/°C);
- θ - Nhiệt độ dung dịch điện phân, (°C);
- SOC - Trạng thái nạp ắc quy.

***. Điện trở đầu cực:**

Phương trình (2) tính toán điện trở đầu cực. Đây chính là điện trở của các xương bản cực hợp kim chì. Điện trở này chỉ phụ thuộc theo hàm bậc nhất đối với trạng thái nạp SOC.

$$R_o = R_{oo}[1 + A_o(1 - SOC)] \quad (2)$$

Trong đó:

- R_o - Điện trở đầu cực, (Ω);
- R_{oo} - Giá trị R_o tại $SOC = 1$;
- A_o - Hằng số.

***. Điện trở nhánh chính R_1 :**

Phương trình (3) tính toán điện trở trong nhánh chính của ắc quy. Điện trở này là của các vật liệu hoạt tính nằm trên các khung xương bản cực. Giá trị điện trở phụ thuộc vào điện lượng còn lại theo dòng điện phóng DOC là một thông số điều chỉnh điện lượng ắc quy cho dòng phóng. Điện trở này tăng theo hàm mũ khi ắc quy trong quá trình phóng điện.

$$R_1 = -R_{10} \ln(DOC) \quad (3)$$

Trong đó:

- R_1 - Điện trở nhánh chính, (Ω);
- R_{10} - Hằng số, (Ω);
- DOC - Điện lượng còn lại theo dòng phóng.

***. Dòng điện ký sinh**

Phương trình (4) tính toán dòng điện ký sinh tổn

hao khi ắc quy được sạc. Dòng điện này phụ thuộc vào nhiệt độ dung dịch ắc quy và điện thế tại nhánh ký sinh. Dòng điện này rất nhỏ trong hầu hết các điều kiện, ngoại trừ trong trường hợp ắc quy ở trạng thái nạp SOC cao.

$$I_p = V_{PN} G_{po} \exp\left(\frac{V_{PN}}{\tau_{ps} + 1}\right) A_p \left(1 - \frac{\theta}{\theta_f}\right) \quad (4)$$

Trong đó:

- I_p - Dòng điện tổn hao nhánh ký sinh, (A);
- V_{PN} - Điện áp nhánh ký sinh, (V);
- G_{po} - Hằng số, (s);
- τ_{ps} - Hằng số thời gian, (s);
- V_{p0} - Hằng số, (V);
- A_p - Hằng số;
- θ_f - Nhiệt độ đóng băng dung dịch bình, (°C).

***. Điện lượng và dung lượng**

Dung lượng được xác định là lượng lớn nhất trong quá trình sạc mà ắc quy có thể lưu trữ. Trạng thái điện lượng SOC được xác định bằng tỷ lệ giữa giá trị điện lượng trên dung lượng ban đầu. Điện lượng theo dòng phóng DOC được xác định qua tỉ số điện lượng ắc quy trên dung lượng có ích, bởi vì dung lượng có ích giảm khi dòng điện phóng tăng. Các phương trình theo dõi dung lượng SOC và DOC như sau:

***. Dung lượng phóng**

Phương trình (5) tính theo điện lượng thoát ra trong quá trình ắc quy hoạt động. Dung lượng của ắc quy tính bằng tích phân đơn giản theo dòng điện.

$$Q_e(t) = \int_0^t -I_m(\tau) d\tau \quad (5)$$

Trong đó:

- I_m - Dòng điện nhánh chính, (A).

***. Tổng dung lượng C**

Phương trình (6) tính toán dung lượng ắc quy dựa trên dòng điện phóng và nhiệt dung dịch bình ắc quy. Tuy nhiên sự phụ thuộc dung lượng phụ thuộc vào dòng điện chỉ trong quá trình phóng. Trong quá trình nạp, dòng điện phóng được thiết lập về không trong phương trình (6) cho kết quả tính toán tổng dung lượng.

Các kết quả thí nghiệm trên toàn bộ phạm vi kiểm tra dòng cho thấy dung lượng ắc quy đã bắt đầu giảm tại nhiệt độ trên khoảng 60°C. Bảng tra cứu (LUT) biến số K_f trong phương trình (6) được sử dụng để

thực nghiệm mô hình phụ thuộc nhiệt độ của dung lượng ắc quy.

$$C(I, \theta) = \frac{K_c C_{o^*} K_t}{1 + (K_c - 1)(I / I^*)^\delta}, K_t = LUT(\theta) \quad (6)$$

Trong đó:

- K_c - Hằng số;
- C_{o^*} - Dung lượng không tải tại 0°C, (As);
- K_t - Hằng số phụ thuộc của nhiệt độ;
- I - Cường độ dòng điện, (A);
- I^* - Cường độ dòng điện danh nghĩa, (A);
- δ - Hằng số.

***. Trạng thái điện lượng SOC, điện lượng theo dòng phóng DOC:**

Phương trình (7) tính toán SOC và DOC bằng tỉ số của biến điện lượng trên tổng dung lượng ắc quy.

Trạng thái điện lượng SOC được xác định bằng tỉ số điện lượng còn lại. Điện lượng theo dòng phóng DOC tính theo tỉ số của điện lượng có ích còn lại, điện lượng này được cho bởi cường độ dòng điện phóng trung bình. Cường độ dòng phóng lớn hơn làm điện lượng của ắc quy hao hụt nhanh hơn, vì vậy DOC luôn nhỏ hơn hoặc bằng SOC.

$$SOC = 1 - \frac{Q_e}{C(0, \theta)}, DOC = 1 - \frac{Q_e}{C(I_{avg}, \theta)} \quad (7)$$

Trong đó:

- C - Dung lượng ắc quy, (As);
- I_{avg} - Cường độ dòng phóng trung bình, (A).

***. Cường độ dòng điện trung bình ước lượng:**

Trong quá trình quá độ cường độ dòng điện trung bình được dự tính trong công thức (8).

$$I_{avg} = \frac{I_m}{(\tau_1 s + 1)} \quad (8)$$

Trong đó: τ_1 - Hằng số thời gian, (s).

Mô hình nhiệt:

Phương trình (9) được mô hình hóa để đánh giá nhiệt độ dung dịch bình ắc quy, do tổn thất trên điện trở trong và nhiệt tỏa ra môi trường. Mô hình nhiệt bao gồm một phép toán vi phân, các tham số điện trở và nhiệt dung ắc quy.

$$\theta(t) = \theta_{init} + \int_0^t \frac{\left(P_s - \frac{(\theta - \theta_a)}{R_0} \right)}{C_\theta} d\tau \quad (9)$$

Trong đó:

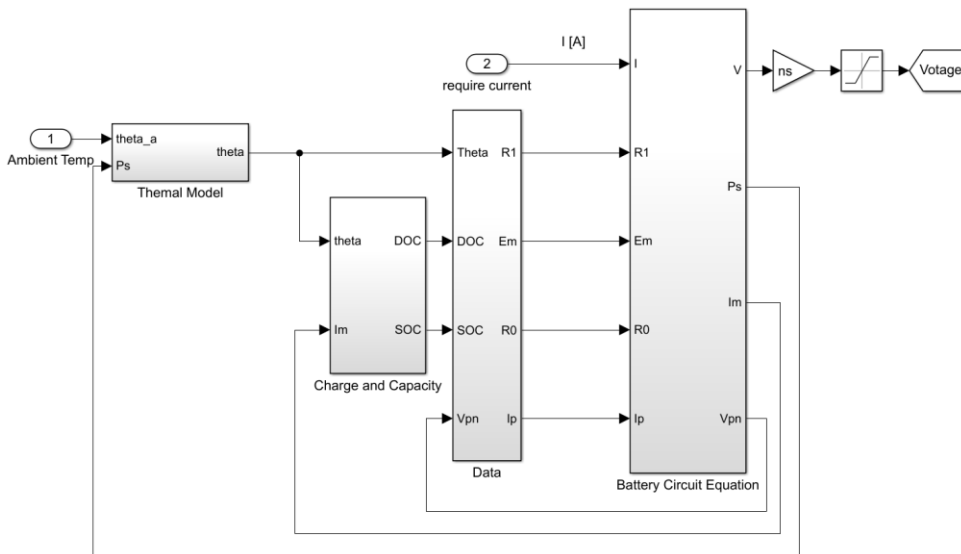
- θ_a - Nhiệt độ môi trường, (°C);
- θ_{init} - Nhiệt độ ban đầu bình ắc quy, (°C), giá thiết bằng nhiệt độ môi trường xung quanh;
- P_s - Năng lượng tổn hao trên R_0 và R_2 , (W);
- R_θ - Hệ số truyền nhiệt đối lưu, (°C/W);
- C_θ - Nhiệt dung nhiệt, (J/°C).

***. Khối tính toán mạch:**

Khối này sử dụng kết quả tính toán phần tử mạch, kết hợp các công thức cơ bản mạch điện để đưa ra tín hiệu điện áp, cường độ dòng điện, công suất cần thiết.

$$V_{PN} = E_m - (I + I_p)R_1 \quad (10)$$

$$V = V_{PN} - I.R_0 \quad (11)$$



Hình 2. Sơ đồ khối mô phỏng

$$P_s = I^2 \cdot R_o \quad (12)$$

Sơ đồ khối mô phỏng Hình 2 được xây dựng trên các khối cơ bản cấu thành nên mô hình ắc quy, miêu tả hoạt động hoàn chỉnh của một ắc quy, đầu vào bao gồm nhiệt độ môi trường (Ambient Tempt), dòng điện (require current). Đầu ra là điện áp, nhiệt độ ắc quy, DOC và SOC của ắc quy. Trong đó gồm các khối chính:

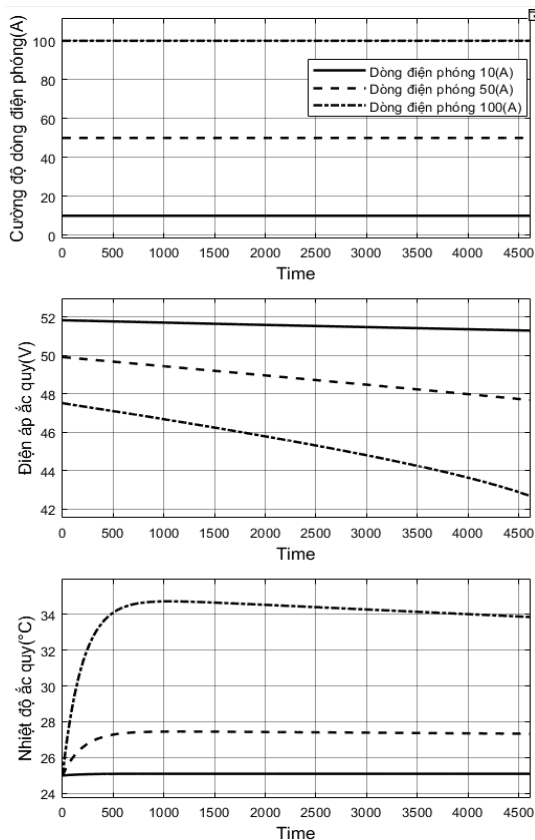
Khối “Thermal Model”: Mô tả trạng thái nhiệt độ của ắc quy. Khối “Charge and Capacity”: Mô tả trạng thái về điện lượng và dung lượng của ắc quy.

Khối “Data”: Bao gồm phương trình miêu tả cấu tạo các bản cực của ắc quy, dòng điện nhánh kí sinh và điện áp nhanh chính.

Khối “Battery Circuit Equation”: Đảm nhiệm tính toán điện áp đầu ra và hoạt động của nhánh ký sinh.

3. Khảo sát và đánh giá

*. **Mục đích:** Đánh giá mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ ắc quy thay đổi đến thời gian phóng của ắc quy chì axit.

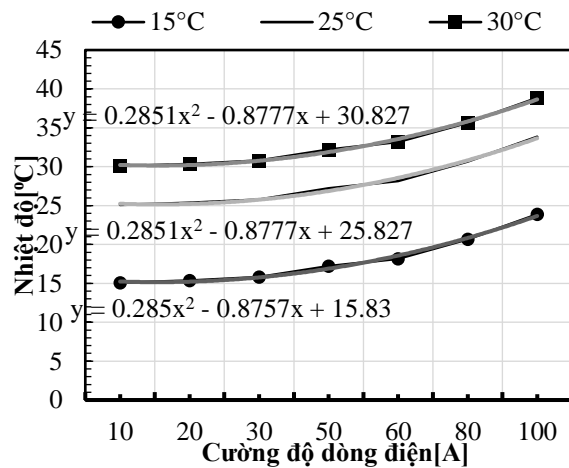


Hình 3. Đồ thị quan hệ giữa dòng điện phóng, điện áp, nhiệt độ và thời gian phóng

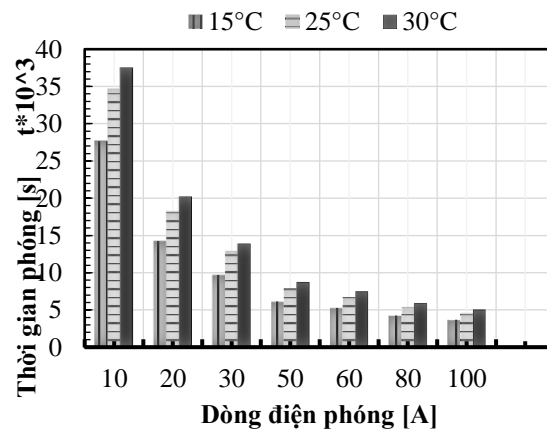
*. Điều kiện khảo sát:

Qua nghiên cứu khảo sát về nhiệt độ trung bình tại Việt Nam tiến hành khảo sát tại nhiệt độ môi trường trung bình của Việt Nam là 15°C, 25°C, 30°C. Tiến hành khảo sát dòng điện phóng của ắc quy ở 10, 50, 100(A) và ở riêng nhiệt độ môi trường 25°C coi nhiệt độ của bình bằng nhiệt độ môi trường, theo thời gian phóng. Cho kết quả thể hiện mối quan hệ giữa dòng điện phóng, điện áp, nhiệt độ và thời gian phóng của ắc quy như ở trên Hình 3. Sự sụt giảm điện áp ắc quy theo thời gian phóng càng lớn khi dòng điện phóng cao. Nhiệt độ của ắc quy sẽ tăng lên một giá trị cực đại sau đó có xu hướng giảm dần, cường độ dòng điện phóng càng cao nhiệt độ bình ắc quy tăng lên càng nhanh.

Để kiểm chứng rõ ràng hơn mối tương quan giữa cường độ dòng điện phóng và nhiệt độ tiếp tục tiến hành khảo sát riêng biệt mối quan hệ giữa dòng điện phóng và nhiệt độ của ắc quy ở cả 3 nhiệt độ môi trường là 15°C, 25°C, 30°C kết quả nhận được như trong Hình 4.



Hình 4. Mối quan hệ giữa dòng điện phóng và nhiệt độ ắc quy



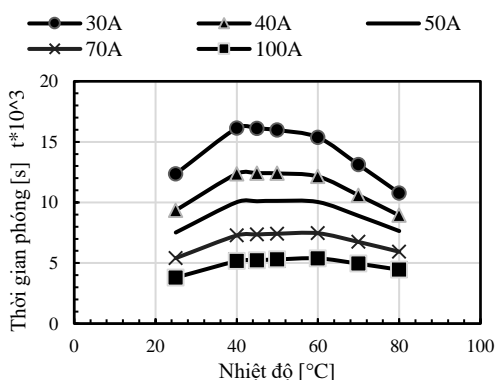
Hình 5. Mối quan hệ giữa dòng điện phóng và thời gian phóng ắc quy

Khi dòng điện phóng tăng dần thì ở cả ba nhiệt độ môi trường được khảo sát nhiệt độ bình ắc quy tăng theo dạng đường bậc hai. Giá trị dòng điện phóng càng cao nhiệt độ của bình ắc quy tăng càng cao. Do đó kết luận được dòng điện phóng là một nguyên nhân gây nên sự gia tăng nhiệt độ của bình ắc quy trong quá trình hoạt động.

Sau khi khảo sát mối tương quan giữa cường độ dòng điện phóng và nhiệt độ của bình ắc quy, tiếp theo đi khảo sát mối quan hệ giữa dòng điện phóng và thời gian phóng điện của ắc quy ở ba nhiệt độ môi trường 15°C, 25°C, 30°C cho kết quả trong đồ thị Hình 5. Từ đồ thị thấy được khi dòng điện phóng tăng lên thời gian phóng của ắc quy giảm và tại mỗi nhiệt độ khác nhau thời gian phóng điện cũng khác nhau do đó có sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới thời gian phóng điện của ắc quy.

Như vậy nhiệt độ và dòng điện phóng có ảnh hưởng đến thời gian phóng điện của ắc quy. Từ đó tiếp tục tiến hành khảo sát để tìm ra vùng nhiệt độ tối ưu mà tại đó thời gian phóng điện của ắc quy hiệu quả cao nhất.

Khảo sát tại cường độ dòng điện phóng trong phạm vi 10-100(A), lúc này ắc quy sẽ được làm mát đưa đến nhiệt độ cố định không đổi cho kết quả được biểu diễn trên đồ thị Hình 6. Tại mỗi nhiệt độ của ắc quy khác nhau dòng điện phóng càng cao thì thời gian phóng càng ít đi và vùng nhiệt độ mà thời gian phóng điện của ắc quy hiệu quả nhất là 40-50°C.



Hình 6. Mối quan hệ giữa nhiệt độ và thời gian dòng điện tại các dòng điện phóng khác nhau

*. Mức độ chênh lệch thời gian phóng:

$$H = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \quad (13)$$

Trong đó:

H - Mức độ chênh lệch thời gian phóng ở cùng một

dòng điện phóng;

t_{\max} - Thời gian phóng lớn nhất tại cùng một dòng điện phóng;

t_{\min} - Thời gian phóng nhỏ nhất tại cùng một dòng điện phóng.

Tiến hành so sánh thời gian phóng tại vùng nhiệt độ hiệu quả và vùng nhiệt độ khác. Sau khi tính toán so sánh cho thấy mức độ chênh lệch dao động xung quanh giá trị 25%. Từ đó thấy được tác động của nhiệt độ đến thời gian phóng điện tương đối cao. Là tiền đề cho các quá trình nghiên cứu tiếp theo để cải thiện hiệu quả cho hệ thống cung cấp điện cho ô tô điện.

Bảng 1. Mức độ chênh lệch thời gian phóng điện

I(A)	t_{\max}	t_{\min}	H(%)
30	16130	10775	33.2
40	12415	8930	28.1
50	10129	7639	24.6
70	7456	5405	27.5
100	5385	3801	29.4

4. Kết luận

Việc sử dụng mô hình mô phỏng trong quá trình đánh giá và kiểm nghiệm đã tiết kiệm được rất nhiều chi phí và thời gian. Đã kết luận được sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến thời gian phóng điện của ắc quy: vùng nhiệt độ mà tại đó ắc quy đạt hiệu quả thời gian phóng cao nhất là 40-50°C. Ứng với mỗi dòng điện phóng khác nhau mức độ hao hụt thời gian phóng ở vùng nhiệt độ 40-50°C và các vùng khác lên tới 24%-35%. Đây là một sự chênh lệch khá lớn về thời gian sử dụng. Từ đó có thể dẫn đến những nghiên cứu sắp tới tập trung vào vấn đề này để có thể tăng hiệu quả sử dụng của ắc quy chì axit trên ô tô điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.W.Arsri and Miftahul Anwar, *Analytical study of temperature effect on current and voltage of battery at charging and condition on electric vehicle*. April 2020_AIP Conference Proceedings 2217(1).
- [2] Robyn A.Jckey. *A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for Electrical System Component Selection*. Published 2007, The Math Works, Inc., Natick.
- [3] Boonyang Plangklang, *Mathematical Model and experiment of Temperature Effect on Discharge of*

- Lead-Acid Battery for PV systems in Tropical Area*, Energy and Power Engineering 05(01), January 2013.
- [4] Massimo Ceraolo, *Dynamical Models of Lead-Acid Batteries: Implementation Issues*, IEEE Transactions on energy conversion, Vol. 17, No.1, March 2002.
- [5] The MathWorks, Inc. retains all copyrights in the figures and excerpts of code provided in this article. *These figures and excerpts of code are used with permission from The MathWorks, Inc.* All rights reserved.
- [6] D. Linden and T. B. Reddy, *Handbook of Batteries*, 3rd edition, McGraw-Hill, New York, NY, 2001.

Ngày nhận bài:	30/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	14/8/2021
Ngày duyệt đăng:	20/8/2021