

XÂY DỰNG MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU TUỔI THỌ CỦA MỘT SỐ LOẠI ẮC QUY SỬ DỤNG TRÊN Ô TÔ ĐIỆN

BUILDING A MODEL FOR THE RESEARCH BATTERIES' LIFE USED ON ELECTRIC VEHICLES

TS. Vũ Ngọc Tuấn¹, ThS. Nguyễn Thành Huy^{2*}, ThS. Nguyễn Hữu Thành³,
ThS. Nguyễn Ngọc Cường³

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Phòng Kỹ thuật Vùng 4, Quân chủng Hải quân

³Trường Cao đẳng Cơ khí Nông nghiệp

TÓM TẮT

Ắc quy là một trong những thành phần quan trọng nhất và có giá trị cao nhất trên ô tô điện. Thiết bị này quyết định khả năng huy động công suất cho xe bên cạnh động cơ và bộ biến đổi công suất, nhưng quan trọng hơn cả, nó quyết định quãng đường có thể di chuyển của xe. Sự phát triển của ô tô điện vẫn vấp phải rào cản là tuổi thọ và thời gian sạc đầy cho ắc quy. Do vậy, mô hình hóa tuổi thọ của ắc quy sẽ giúp cho nhà sản xuất và người sử dụng có thể cân nhắc phát triển cũng như quyết định lựa chọn loại xe của người sử dụng. Nghiên cứu tuổi thọ của ắc quy có tính thực tiễn hiện nay khi ô tô điện ngày càng được sử dụng phổ biến. Ở bài báo này, tác giả trình bày các đặc tính cơ bản của bốn loại ắc quy sử dụng trên ô tô điện gồm ắc quy chì axit, Lithium-Ion, Niken-Cadmium và Niken-Metal-Hydride. Trên cơ sở các phản ứng lý hóa xảy ra bên trong của các loại ắc quy, từ đó sử dụng phần mềm mô phỏng Matlab-Simulink để xây dựng mô hình nghiên cứu tuổi thọ của ắc quy sử dụng trên xe ô tô điện. Kết quả có thể sử dụng để ước lượng tuổi thọ của các loại ắc quy trên ô tô điện đồng thời giúp nhà sản xuất và người sử dụng xe ô tô điện có kế hoạch bảo dưỡng, sửa chữa cũng như chọn chế độ vận hành phù hợp.

Từ khóa: Mô hình ắc quy; Tuổi thọ ắc quy; Ô tô điện; Matlab-Simulink.

ABSTRACT

The battery is one of the electric vehicle's most essential components. This device determines the vehicle's ability to mobilize power besides the engine and power converter, but more importantly, it determines the distance the vehicle can travel. The development of electric cars still faces the barrier of battery life and full charge time. Therefore, modelling the life of the battery will help manufacturers and users to consider the development and decide on the user's choice of vehicle. Studying the battery's life is practical nowadays when electric cars are increasingly popular. In this article, the author presents the basic characteristics of four types of batteries used in electric vehicles: Lead-Acid, Lithium-Ion, Nickel-Cadmium and Nickel-Metal-Hydride. Based on the physicochemical reactions inside the batteries, Matlab-Simulink simulation software has been used to build a model to study the life of the battery used in electric vehicles. The results can be used to estimate electric vehicle batteries' life. At the same time, it helps electric car manufacturers and users plan maintenance and repair and choose the appropriate operating mode.

Keywords: Battery's model; Battery's life; Electric vehicles; Matlab-Simulink.

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (3)$$

- Mô hình nạp ($i^* < 0$):

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0,1Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (4)$$

c) Mô hình toán ắc quy Niken-Cadmium và ắc quy Niken-Metal-Hydride

- Mô hình phóng ($i^* > 0$):

$$f_1(it, i^*, i, \text{Exp}) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot 0 \right) \quad (5)$$

- Mô hình nạp ($i^* < 0$):

$$f_2(it, i^*, i, \text{Exp}) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{|it| + 0,1Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \quad (6)$$

Trong đó:

E_0 – Điện áp không đổi (V);

$\text{Exp}(s)$ – Động lực vùng hàm mũ (V);

$\text{Sel}(s)$ – Đại diện cho chế độ ắc quy.

$\text{Sel}(s) = 0$ khi phóng điện; $\text{Sel}(s) = 1$ khi nạp điện;

K – Hằng số phân cực (V/Ah);

it – Dung lượng trích xuất (Ah);

i^* – Dòng điện tần số thấp (A);

Q – Dung lượng lớn nhất của ắc quy (Ah);

A – Hàm điện áp (V);

B – Hàm dung lượng (Ah).

2.2. Mô hình khảo sát xác định tuổi thọ của ắc quy

2.2.1. Ảnh hưởng của hiệu ứng nhiệt độ

Theo [9, 10], tác động của nhiệt độ lên các thông số của mô hình ắc quy được biểu diễn bằng các phương trình sau:

- Mô hình phóng ($i^* > 0$):

$$f_1(it, i^*, i, T, T_a) = E_0(T) - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot (i^* + it) + A \cdot \exp(-B \cdot it) - C \cdot it \quad (7)$$

- Mô hình nạp ($i^* < 0$):

$$f_2(it, i^*, i, T, T_a) = E_0(T) - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{it + 0,1Q(T_a)} \cdot i^* - K(T) \cdot \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) - C \cdot it \quad (8)$$

Trong đó:

T – Nhiệt độ bên trong ắc quy (K);

T_a – Nhiệt độ môi trường (K);

C – Độ dốc đường cong xả danh nghĩa (V/Ah).

2.2.2. Ảnh hưởng của hiệu ứng lão hoá

Theo [9, 10], tác động của quá trình lão hóa lên dung lượng ắc quy và điện trở bên trong được biểu thị bằng các phương trình sau:

$$\varepsilon(n) = \begin{cases} \varepsilon(n-1) + \frac{0,5}{N(n-1)} \left(2 - \frac{DOD(n-2) + DOD(n)}{DOD(n-1)} \right) & \text{if } k/2 \neq 0 \\ \varepsilon(n-1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$N(n) = H \left(\frac{DOD(n)}{100} \right)^{-\xi} \cdot \exp \left(-\psi \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_a(n)} \right) \right) \cdot (I_{dis-ave}(n))^{-\gamma_1} \cdot (I_{ch-ave}(n))^{-\gamma_2} \quad (10)$$

Trong đó:

ε – Yếu tố lão hóa ắc quy;

N – Số chu kỳ lớn nhất;

H – Hằng số chu kỳ;

ξ – Hệ số mũ của DOD;

ψ – Hằng số tốc độ Arrhenius cho số chu kỳ;

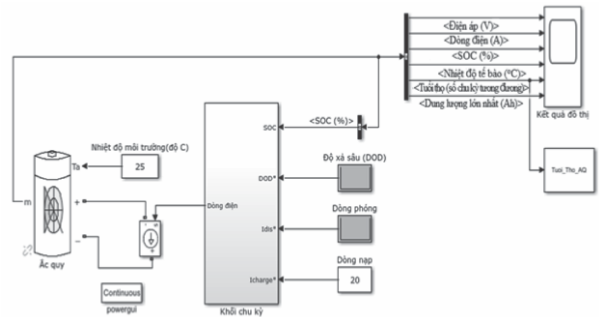
I_{dis_ave} , I_{ch_ave} – Dòng điện phóng, nạp trung bình (A) trong khoảng thời gian nửa chu kỳ;

γ_1 , γ_2 – Hệ số mũ đối với dòng phóng điện, dòng nạp điện.

DOD – Độ xả sâu (%) của ắc quy.

2.3. Mô hình mô phỏng tính toán ước lượng tuổi thọ của các loại ắc quy

Mô hình mô phỏng tính toán tuổi thọ của ắc quy (hình 2) được xây dựng bằng công cụ Matlab-Simulink trên cơ sở mô hình toán đã được trình bày ở trên.



Hình 2. Mô hình tổng quát tính toán tuổi thọ của ắc quy.

3. KHẢO SÁT ƯỚC LƯỢNG TUỔI THỌ ẮC QUY

3.1. Chọn thông số đầu vào

Bảng 1. Thông số cơ bản của ắc quy.

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị			Ghi chú
			Lithium	Niken	Lead axit	
1	Điện áp danh định	V	12,6			
2	Điện áp cắt	V	10,5			
3	Điện áp sạc đầy	V	13,8			
4	Dung lượng định mức	Ah	40			
5	Hằng số chu kỳ (H)		4730	24900	24890	
6	Hằng số tốc độ Arrhenius (ψ)		1814	2013	2188	
7	Hệ số mũ của dòng phóng (γ_1)		0,2803	0,2403	0,297	
8	Hệ số mũ của dòng nạp điện (γ_2)		0,103	0,7719	0,8505	



3.2. Kết quả khảo sát bằng mô hình mô phỏng

3.2.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường tới tuổi thọ của ắc quy

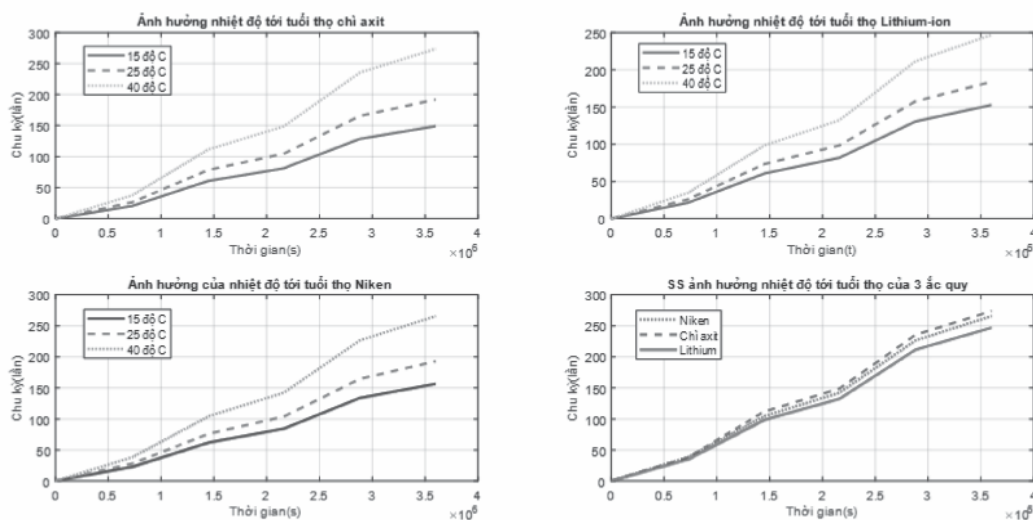
Khảo sát ở nhiệt độ môi trường 25°C với độ xả sâu DOD = [20 80 20] và tốc độ phóng điện $I_d = [20 \ 80 \ 20]$ không đổi. Tiếp theo, thay đổi giá trị nhiệt độ môi trường thành 15°C, 40°C... với DOD = [20 80 20] và $I_d = [20 \ 80 \ 20]$ không đổi.

Kết quả mô phỏng như sau: Khi nhiệt

độ môi trường thay đổi với các giá trị khác nhau thì có các giá trị chu kỳ khác nhau, nhận thấy:

- Tại thời điểm $t = 0,5 \cdot 10^6$ (s) thay đổi nhiệt độ môi trường từ 25°C lên 40°C và so sánh sự thay đổi số chu kỳ của ba ắc quy. Kết quả: $\Delta_{Ch} = 7,65$ (tăng 42,1%) > $\Delta_{Ni} = 7,04$ (tăng 36,7%) > $\Delta_{Li} = 6,01$ (tăng 33,7%).

- Tương tự, tại thời điểm $t = 3,5 \cdot 10^6$ (s). Kết quả: $\Delta_{Ch} = 79,8$ (tăng 42,3%) > $\Delta_{Ni} = 71,3$ (tăng 37,7%) > $\Delta_{Li} = 61,7$ (tăng 34,2%).



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ tới tuổi thọ của các ắc quy.

Qua khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến tuổi thọ của các loại ắc quy, nhận thấy:

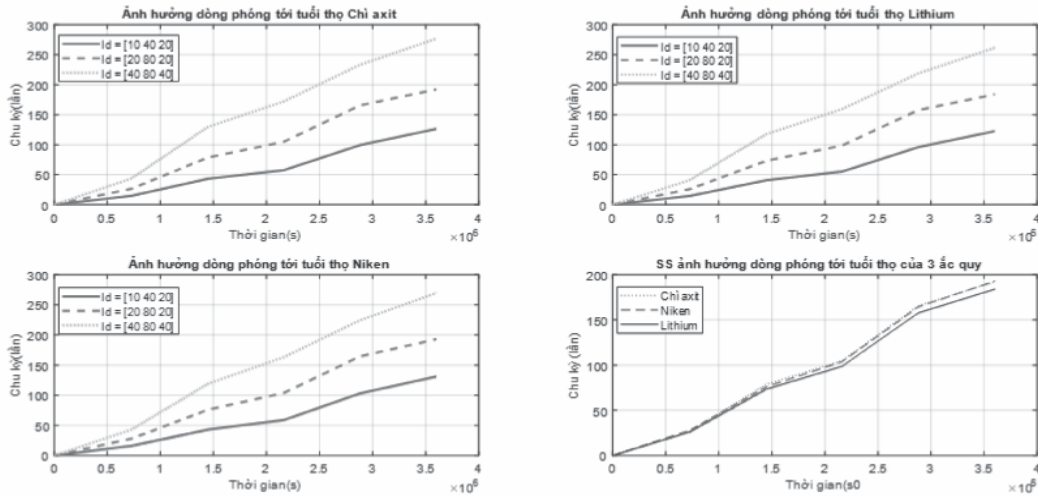
- Sự biến thiên chu kỳ của ắc quy chì axit là lớn nhất và ắc quy Lithium-ion là nhỏ nhất;
- Nhiệt độ môi trường tăng thì số chu kỳ tăng theo, nghĩa là tuổi thọ của ắc quy giảm. So sánh sự biến thiên tuổi thọ của ắc quy tại các

nhiệt độ khác nhau, ta thấy khi nhiệt độ tăng thì số chu kỳ cũng tăng dần theo thời gian, nghĩa là thời gian càng giai đoạn về sau, thì sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới tuổi thọ của ắc quy càng tăng.

3.2.2. Ảnh hưởng của tốc độ phóng điện tới tuổi thọ của ắc quy

Thay đổi các giá trị dòng phóng điện như sau: $I_{d1} = [10 \ 40 \ 10]$; $I_{d2} = [20 \ 80 \ 20]$; $I_{d3} = [40 \ 80 \ 40]$ với DOD = [20 80 20] và nhiệt độ môi trường bằng 25°C không đổi.

Kết quả mô phỏng như sau:



Hình 4. Ảnh hưởng của dòng phóng tới tuổi thọ của ắc quy.

Qua khảo sát ảnh hưởng của tốc độ phóng điện đến tuổi thọ của các loại ắc quy, nhận thấy:

- Sự biến thiên chu kỳ của ắc quy chì axit là lớn nhất và ắc quy Lithium-ion là nhỏ nhất;

- Tốc độ phóng điện tăng thì số chu kỳ tăng theo, nghĩa là tuổi thọ của ắc quy giảm. So sánh sự biến thiên tuổi thọ của ắc quy tại các tốc độ phóng điện khác nhau, ta thấy số chu kỳ tăng dần theo thời gian, nghĩa là thời gian càng giai đoạn về sau, thì sự ảnh hưởng của tốc độ phóng điện tới tuổi thọ của ắc quy càng tăng.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Bài báo này đã tập trung trình bày mô hình toán của các loại ắc quy sử dụng trên ô tô điện. Sử dụng phần mềm mô phỏng Matlab-Simulink để xây dựng mô hình nghiên cứu tuổi thọ của ắc quy. Phân tích đánh giá làm rõ sự ảnh hưởng của các yếu tố như nhiệt độ môi trường, tốc độ phóng điện tới tuổi thọ của ắc quy. Khi

nhiệt độ môi trường, tốc độ phóng điện tăng thì số chu kỳ tăng, nghĩa là tuổi thọ của ắc quy giảm. Kết quả cho thấy ắc quy Lithium-ion chịu ảnh hưởng ít nhất, nghĩa là ắc quy Lithium-ion dùng sẽ tốt nhất và có tuổi thọ cao nhất. Kết quả này sẽ được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo về việc tối ưu hóa nguồn năng lượng trên xe ô tô điện, đồng thời giúp nhà sản xuất và người sử dụng xe ô tô điện có kế hoạch bảo dưỡng, sửa chữa cũng như chọn chế độ vận hành phù hợp. ❖

Ngày nhận bài: 08/9/2023

Ngày phản biện: 01/10/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Erik Schaltz, "Electrical Vehicle Design and Modeling", Aalborg University - Denmark, 2011.
- [2]. Tremblay, O., Dessaint, L.-A. "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications." World Electric Vehicle Journal. Vol. 3 - ISSN 2032-6653 - © 2009 AVERE, EVS24 Stavanger, Norway, May 13-16, 2009. 🖱️

- [3]. B. Balagopal, C.S. Huang, M. Chow, "Effect of Calendar Aging on Li Ion Battery Degradation and SOH", 43rd Annual Conf. of the IEEE Ind. Ele. Society (IECON 2017), pp. 7647-7652, Beijing, China.
- [4]. M.S.H. Lipu, M.A. Hannan, A. Hussain, M.M. P.J. Ker, M.H.M. Saad and A. Ayob, "A review of state of health and remaining useful life estimation methods for lithium-ion battery in electric vehicles: Challenges and recommendations", Jr. of Cleaner Production, vol. 205, pp. 115-133, Dec.2018.
- [5]. Omar N., M. A. Monem, Y. Firouz, J. Salminen, J. Smekens, O. Hegazy, H. Gaulous, G. Mulder, P. Van den Bossche, T. Coosemans, and J. Van Mierlo. "Lithium iron phosphate based battery - Assessment of the aging parameters and development of cycle life model". Applied Energy, Vol. 113, January 2014, pp. 1575–1585.
- [6]. S. Wijewardana, "New Dynamic Battery Model for Hybrid Vehicles", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Website: www.ijetae.com, University of London, London, 2014.
- [7]. Barré, A.; Deguilhem, B.; Grolleau, S.; Gérard, M.; Suard, F.; Riu, D. "A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications". J. Power Sources, 2013, 241, 680-689.
- [8]. Han, X.; Lu, L.; Zheng, Y.; Feng, X.; Li, Z.; Li, J.; Ouyang, M. "A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle". eTransportation, 2019.
- [9]. Essam M. Allam. "Study Vehicle Battery Simulation and Monitoring System". American Journal of Modeling and Optimization, 2015, Vol. 3, No. 2, 40-49 Available online at <http://pubs.sciepub.com/ajmo/3/2/2> © Science and Education Publishin DOI:10.12691/ajmo-3-2-2.
- [10]. <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html>.