



Nghệ An, ngày 23 tháng 11 năm 2023

Kính gửi các tác giả: **Nguyễn Phi Cường Anh, Lê Đức Hiếu, Lương Ngọc Minh**

Ban Biên tập Tạp chí Khoa học Trường Đại học Vinh trân trọng thông báo:

Bản thảo bài viết: **Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình làm việc của pin xe điện Panasonic NCR-18650B**, mã số: **A134-2023** đã được nhận đăng trên Tạp chí Khoa học Trường Đại học Vinh.

Nếu tác giả có đề nghị hoặc thay đổi gì, xin vui lòng thông báo tới Ban biên tập trong thời gian sớm nhất.

Ban Biên tập xin chân thành cảm ơn và mong tiếp tục nhận được sự hợp tác của tác giả.

Trân trọng!

TM. BAN BIÊN TẬP
P. TỔNG BIÊN TẬP

TS. Phan Văn Tiên

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN QUÁ TRÌNH LÀM VIỆC CỦA PIN XE ĐIỆN PANASONIC NCR-18650B

Nguyễn Phi Cường Anh^{1,2,*}, Lê Đức Hiếu², Lương Ngọc Minh¹

¹*Viện Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Vinh*

²*Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*

Tóm tắt: Trong xu hướng phát triển chung của các ngành công nghiệp 4.0, sự phát triển gắn liền với năng lượng bền vững luôn được ưu tiên hàng đầu. Ngành công nghiệp xe ô tô điện cũng đang vươn lên mạnh mẽ, ngày càng chiếm tỷ trọng cao trong ngành công nghiệp ô tô. Bên cạnh những ưu điểm xe ô tô điện mang lại, một vấn đề luôn được quan tâm hàng đầu là cải thiện hiệu suất sử dụng pin. Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình làm việc của pin xe điện Panasonic NCR-18650B. Với công cụ mô phỏng Matlab Simulink, nhóm nghiên cứu đã xem xét các ảnh hưởng liên quan tới quá trình sạc/xả pin xe điện như điện áp, dòng điện, chỉ số trạng thái sạc (SOC - State of charge) ở các mức nhiệt độ khác nhau 0°C, 25°C, 50°C. Kết quả nghiên cứu góp phần vào việc tối ưu hoá quá trình sử dụng pin, từ đó giảm thiểu tác động của pin tới môi trường, góp phần phát triển cho ngành công nghiệp xe ô tô điện hiện nay.

Từ khoá: Pin Panasonic NCR-18650B; Quá trình sạc/xả; Trạng thái sạc; Ảnh hưởng của nhiệt độ; Xe điện.

1. Mở đầu

Theo các số liệu thống kê của các công ty chuyên nghiên cứu, phân tích ngành công nghiệp ô tô, vào năm 2021, doanh số bán ô tô điện đã tăng gấp đôi lên 6,6 triệu chiếc, chiếm gần 9% thị trường ô tô toàn cầu và tăng gấp ba lần thị phần của họ so với hai năm trước đó [1]. Còn trong năm 2022, đã có 7,8 triệu chiếc ô tô điện được bán ra, chiếm 10% tổng lượng ô tô mới, và con số này được dự báo sẽ gấp 4 lần trong năm 2023 [2]. Bên cạnh ưu điểm bảo vệ môi trường, hạn chế khí thải, cấu tạo đơn giản, dễ bảo trì, bảo dưỡng thì xe điện cũng có một số vấn đề đang được đặt ra và nghiên cứu như về phạm vi hoạt động của xe, thời gian nạp nhiên liệu, trạm sạc chưa phổ biến nhiều như hệ thống trạm nạp nhiên liệu xăng dầu,... Trọng tâm của các vấn đề đó đều nằm ở pin xe điện. Do vậy, nghiên cứu pin xe điện hiện nay là một hướng nghiên cứu tích cực và quan trọng, việc tối ưu được hiệu suất sử dụng hay kéo dài tuổi thọ pin là một trong những vấn đề đang được quan tâm nhất hiện nay.

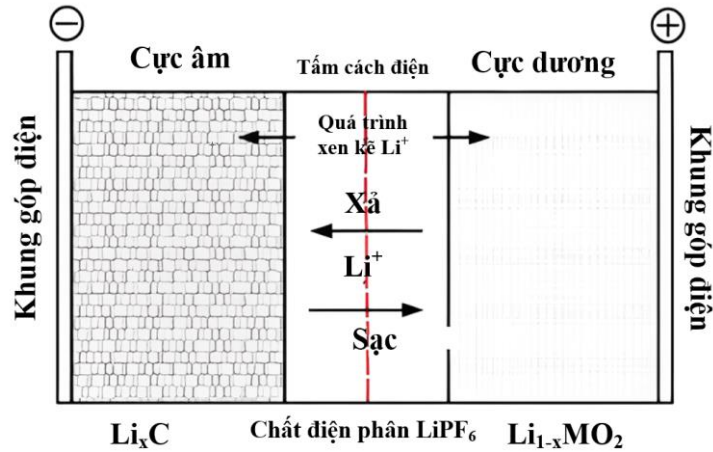
Bài báo tiến hành nghiên cứu các ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình làm việc của pin, cụ thể là quá trình sạc/xả trên đối tượng Panasonic NCR-18650B thuộc loại pin lithium-ion đang rất phổ biến và được sử dụng rộng rãi hiện nay. Nghiên cứu này không chỉ xác định những ảnh hưởng của nhiệt độ đối với hiệu suất và tuổi thọ của pin mà còn áp dụng phương pháp mô phỏng sử dụng Matlab Simulink để đưa ra các đồ thị và tiến hành các phân tích chi tiết. Điều này đặc biệt hữu ích để giải quyết các vấn đề liên quan đến quá trình sạc/xả pin trong điều kiện nhiệt độ khác nhau.

2. Cơ sở nghiên cứu

2.1. Quá trình sạc/xả của pin lithium-ion

So với các loại pin axit-chì và niken, pin lithium-ion có khả năng sạc/xả cao hơn, vòng đời dài hơn và không có hiệu ứng bộ nhớ [3]. Pin lithium-ion sử dụng các hợp chất xen

kẽ lithium làm điện cực dương và âm, trong đó các ion lithium di chuyển giữa hai điện cực. Trong quá trình sạc, các ion lithium được loại bỏ khỏi cực âm để chèn vào vật liệu cực dương. Sự chuyển động của các ion lithium còn được gọi là quá trình xen kẽ. Hình 1 mô tả cấu trúc của pin lithium-ion.



Hình 1: Sơ đồ nguyên lý của pin lithium-ion [4]

Khả năng chấp nhận sạc hoặc sạc lại của pin được đo bằng hiệu suất Coulomb và hiệu suất năng lượng của chu kỳ sạc/xả. Hiệu suất Coulomb được định nghĩa theo công thức 1 [4], với t_{dis} và t_{cha} lần lượt là tổng thời gian xả và sạc, còn i_{dis} và i_{cha} lần lượt là dòng điện chạy qua pin trong quá trình xả và sạc.

$$\mu_c = \int_0^{t_{dis}} i_{dis} dt / \int_0^{t_{cha}} i_{cha} dt \quad (1)$$

Hiệu suất năng lượng được định nghĩa theo công thức 2 [4], với v_{dis} và v_{cha} lần lượt là điện áp của pin trong quá trình xả và sạc. Vì điện áp trong quá trình sạc cao hơn so với trong quá trình xả nên hiệu suất năng lượng thấp hơn hiệu suất công suất [4].

$$\mu_e = \int_0^{t_{dis}} v_{dis} i_{dis} dt / \int_0^{t_{cha}} v_{cha} i_{cha} dt \quad (2)$$

Số lần sạc/xả chính là vòng đời của của pin. Trong xe điện, thời gian sử dụng hữu ích sắp hết được định nghĩa là công suất giảm xuống còn 80% so với công suất ban đầu. Tuổi thọ của chu kỳ phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ pin, cấu hình xả và độ sâu xả (DOD - Depth of Discharge). DOD càng thấp thì pin có tuổi thọ càng cao.

2.2. Phạm vi hoạt động nhiệt độ của pin

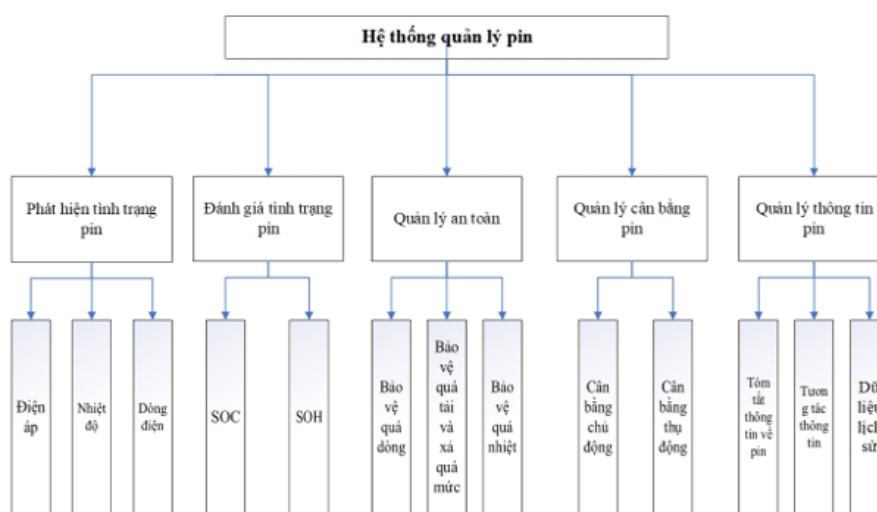
Pin hoạt động kém ở nhiệt độ cực thấp và cao. Nhiệt độ thấp cản trở sự khuếch tán và di chuyển của ion và dẫn đến các phản ứng phụ gây hại. Nhiệt độ cao gây ra các phản ứng phụ khác, chẳng hạn như ăn mòn và tạo khí. Pin lithium-ion có phạm vi hoạt động từ -20°C đến 60°C . Bảng 1 so sánh bốn loại pin khác nhau, có thể thấy rõ những ưu điểm của pin lithium-ion so với các loại pin còn lại.

Bảng 1: So sánh các loại pin được sử dụng trên xe điện [4]

| | Lead-acid | NiCd | NiMH | Lithium-ion |
|----------------------------------|--------------|-------------|------------|-------------|
| Điện áp danh định (V) | 2 | 1.20 | 1.20 | 3.6 |
| Tự xả (mỗi tháng) | < 5% | 10% | 20% | <5% |
| Nhiệt độ hoạt động (°C) | -15 đến 50 | - 20 đến 50 | -20 đến 60 | -20 đến 60 |
| Tuổi thọ của pin (số lần sạc/xả) | 500 đến 1000 | 2000 | < 3000 | 2000 |
| Hiệu suất năng lượng | >80% | 75% | 70% | 85-95% |

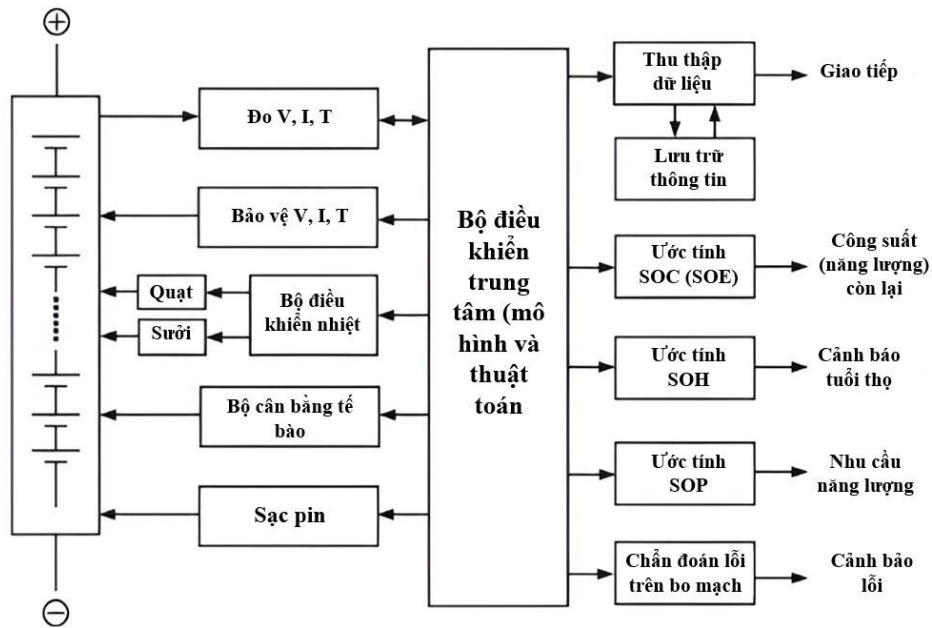
2.3. Hệ thống quản lý pin

Hệ thống quản lý pin của xe điện thuần túy cũng có thể thu thập thông tin thời gian thực về dữ liệu của bộ pin trong quá trình làm việc, sau đó thực hiện các hướng dẫn và điều khiển tương ứng dựa trên dữ liệu và chiến lược điều khiển được tích hợp trong bộ điều khiển BMS (Battery Management System). Các chức năng của hệ thống quản lý pin được mô tả tại hình 2.



Hình 2: Sơ đồ cấu trúc chức năng của hệ thống quản lý pin

Trong khuôn khổ của nghiên cứu, các tác giả tập trung vào mô-đun đánh giá tình trạng pin. Mô-đun chức năng này chủ yếu dựa trên dữ liệu đã thu thập, sau đó thực hiện tính toán và ước tính thời gian thực theo mô-đun ước tính trạng thái sạc (SOC)/tình trạng sức khỏe (SOH - State of Health) của pin. Bộ điều khiển BMS dựa vào các thuật toán khác nhau để điều khiển mức điện áp và dòng điện sạc trong hệ thống pin dựa vào rất nhiều các thông số đầu vào, trong đó có mức nhiệt độ, mô hình BMS được thể hiện qua hình 3.



Hình 3: Phần mềm hệ thống quản lý pin BMS [4]

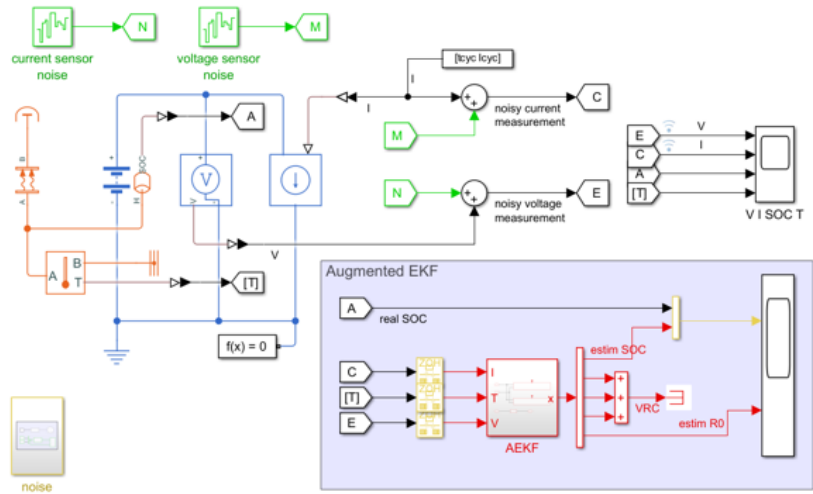
Để tính toán điện áp đầu cuối và SOC, nghiên cứu sử dụng mô hình mạch điện tương đương (EEC - Electric Equivalent Circuit). Việc lựa chọn mô hình này yêu cầu ước tính bốn tham số độc lập, cụ thể là suất điện động (E_m), điện trở nối tiếp (R_o) và nhánh RC song song (R_1, C_1), lần lượt thay đổi theo nhiệt độ và SOC của pin. SOC của một cell pin thường được trình bày dưới dạng điện tích còn lại có sẵn trên cell (là chỉ số thể hiện trạng thái sạc của pin), thể hiện qua công thức 3, với Q_e là điện tích trích xuất được tính theo công thức 4 [5].

$$SOC = 1 - Q_e / C_Q \quad (3)$$

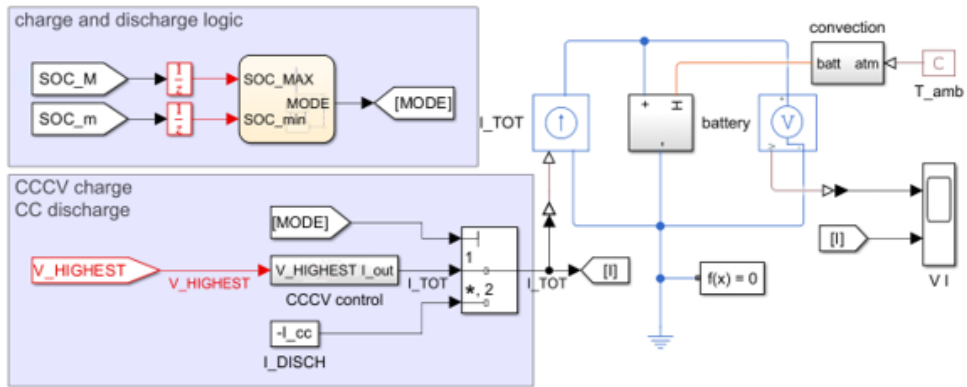
$$Q_e(t) = \int_0^t I_m(\tau) d\tau \quad (4)$$

2.4. Mô hình mô phỏng

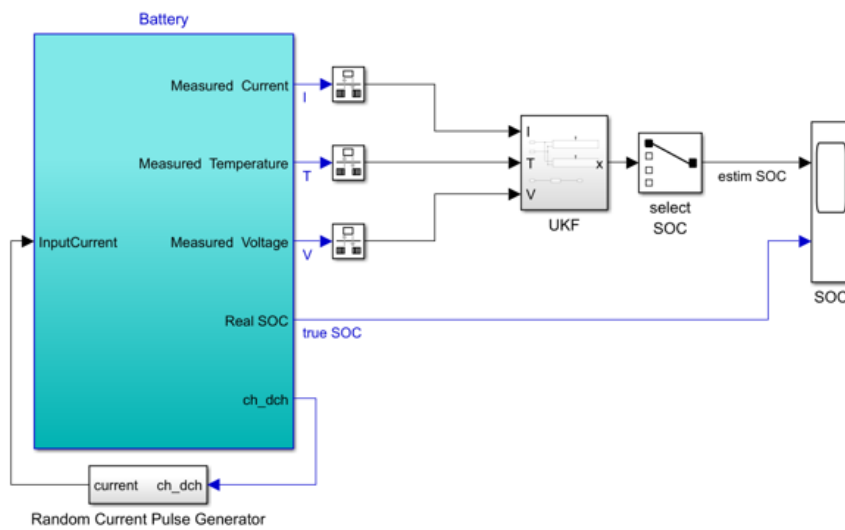
Mô hình mô phỏng sử dụng công cụ Matlab-Simulink. Nghiên cứu sử dụng các khối mô phỏng hệ thống quản lý pin: Khối ước tính tình trạng sức khỏe của pin được mô tả theo hình 4, khối cân bằng thụ động theo hình 5 và khối ước tính trạng thái sạc của pin theo hình 6.



Hình 4: Khối ước tính tình trạng sức khỏe của pin



Hình 5:. Khối cân bằng thụ động



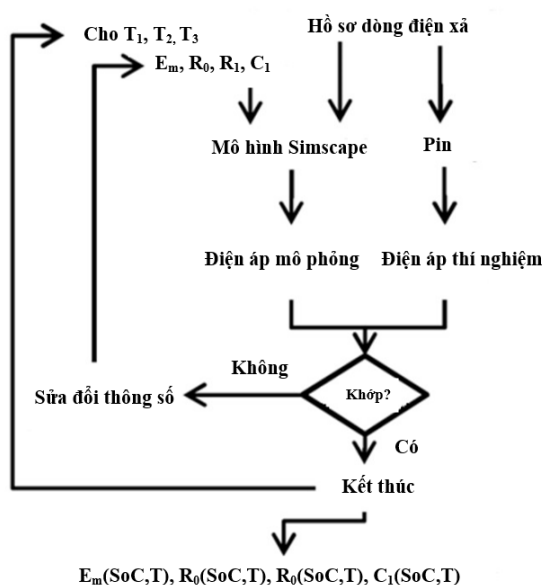
Hình 6: Khối ước tính trạng thái sạc của pin

Thông số cụ thể của pin Panasonic NCR-18650B được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2: Thông số kỹ thuật Cell NCR-18650B [6]

| | | |
|---------------------------------|---|----------------|
| Dung lượng định mức (tại 25°C) | Tối thiểu 3200 mAh | |
| Dung lượng danh định (tại 25°C) | Tối thiểu 3250 mAh | |
| | Typ. 3350mAh | |
| Định mức điện áp | 3.6V | |
| Phương pháp sạc | Dòng điện không đổi - Điện áp không đổi | |
| Điện áp sạc | 4.2V | |
| Dòng điện sạc | Std.1625mA | |
| Thời gian sạc | 4 giờ | |
| Nhiệt độ môi trường | Sạc | 10°C đến 45°C |
| | Xả | -20°C đến 60°C |
| | Lưu trữ | -20°C đến 50°C |
| Trọng lượng (Tối đa) | 47,5g | |
| Kích thước (Tối đa) | (D) | 18,25 mm |
| | (H) | 65,10 mm |
| Mật độ năng lượng thể tích | 676Wh/l | |
| Mật độ năng lượng trọng lượng | 243Wh/kg | |

Lưu đồ thuật toán sử dụng trong nghiên cứu được mô tả theo hình 7. Trong đó 3 mức nhiệt độ được đưa ra trong nghiên cứu là 5°C, 25°C và 50°C. Đây cũng là 3 mức nhiệt độ cơ bản của pin trong quá trình sạc/xả, phù hợp với các thông số giới hạn của pin.

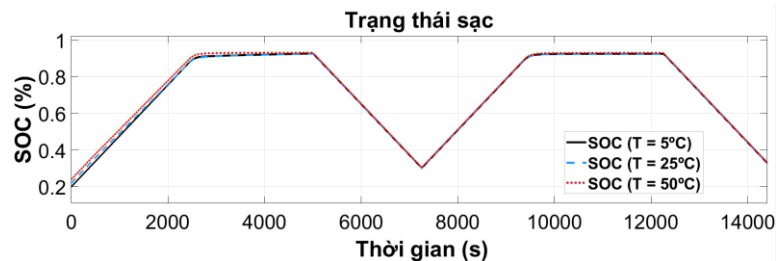


Hình 7: Lưu đồ quy trình ước tính tham số của pin [7]

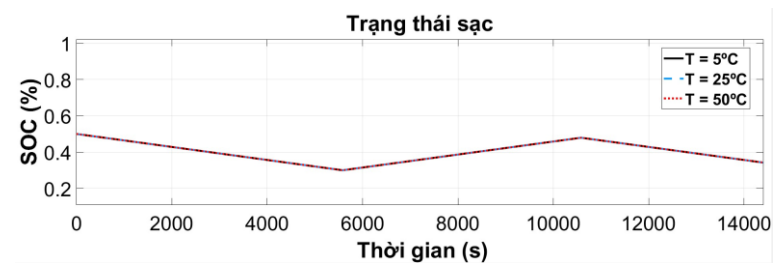
Lặp lại quy trình 3 mức nhiệt độ ứng với 4 bộ dữ liệu đặc trưng cho cell pin được xem xét: $E_m(SOC,T)$, $R_0(SOC,T)$, $R_1(SOC,T)$ và $C_1(SOC,T)$. Các giá trị này, ngoài quy trình nội suy tuyến tính, đã tạo thành các bảng tra cứu hai chiều xác định giá trị của các phần tử mạch tương đương trong giai đoạn mô phỏng. Mô hình thu được giả định rằng trở kháng của tế bào không thay đổi đáng kể do độ lớn của dòng xả. Sự phụ thuộc vào cường độ hiện tại có thể được nghiên cứu kỹ hơn trong một công việc trong tương lai.

3. Kết quả nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu thể hiện ở hình 8, hình 9 và hình 10 cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ đến các thông số liên quan tới quá trình sạc/xả của pin như điện áp, cường độ dòng điện hay SOC đối với 1 cell và 1 mô đun (516 cell). Mô-đun gồm 516 cell pin Lithium-Ion NCR-18650B có cấu hình 6S86P: 86 cell pin mắc song song thành một bộ và có 6 bộ cell pin mắc nối tiếp.

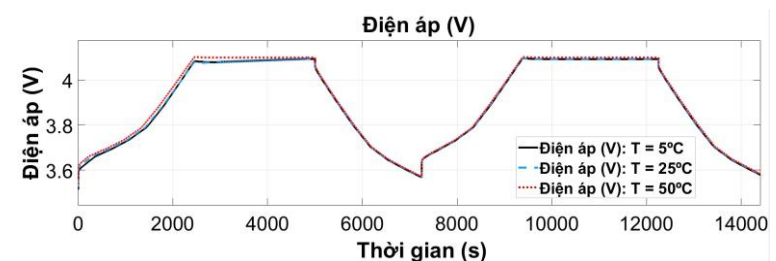


(a)

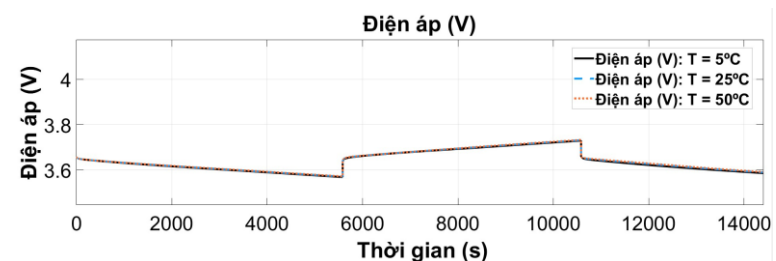


(b)

Hình 8: Ảnh hưởng của nhiệt độ đến SOC đối với 1 cell (a) và 1 mô đun (b)

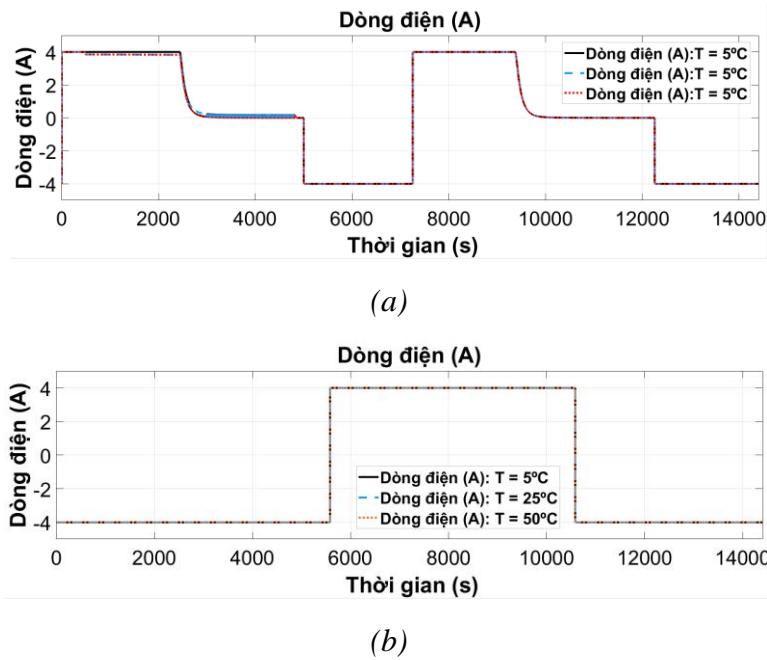


(a)



(b)

Hình 9: Ảnh hưởng của nhiệt độ lên điện áp của pin theo thời gian sạc đối với 1 cell (a) và 1 mô đun (b)



Hình 10: Ảnh hưởng của nhiệt độ lên cường độ dòng điện sạc của pin theo thời gian đối với 1 cell (a) và 1 mô đun (b)

Kết quả nghiên cứu từ đồ thị hình 8 cho thấy, khi tăng số lượng cell pin lên thì giá trị dao động SOC có xu hướng giảm xuống mạnh. Trong khoảng thời gian từ 5581s đến 10581s, SOC tăng và đạt cực đại là 50% tại 10581s (ở các mức nhiệt độ 5°C, 25°C, 50°C đều giống nhau). Trong khoảng thời gian từ 0s đến 5581s, SOC giảm, đạt cực tiểu là 30% tại 5581s và trong khoảng thời gian từ 10581s đến 14398s, SOC giảm, đạt cực tiểu là 34,24% tại 14398s, sau đó SOC có xu hướng tiếp tục giảm xuống (ở các mức nhiệt độ 5°C, 25°C, 50°C đều giống nhau). So với trường hợp thiết lập cho 1 cell, thì giá trị cao nhất của SOC trong trường hợp này giảm 45,98% và giá trị thấp nhất của SOC trong trường hợp này tăng 33,33%. Khi các cell mắc song song dẫn đến sự không đồng nhất trong hiệu suất và điện áp trên các cell, dẫn đến sự biến đổi nhanh chóng của SOC.

Từ đồ thị hình 9 cho thấy, khi tăng số lượng cell pin lên thì giá trị dao động điện áp có xu hướng giảm xuống. Trong khoảng thời gian từ 5581s đến 10581s, điện áp tăng và đạt cực đại là 3,73 (V) tại 10581s (ở các mức nhiệt độ 5°C, 25°C, 50°C không có sự khác biệt đáng kể). Trong khoảng thời gian từ 0s đến 5581s, điện áp giảm, đạt cực tiểu là 3,57 (V) tại 5581s và trong khoảng thời gian từ 10581s đến 14398s, điện áp giảm, đạt cực tiểu là 3,58 (V) tại 14398s, sau đó điện áp có xu hướng tiếp tục giảm xuống (ở các mức nhiệt độ 5°C, 25°C, 50°C không có sự khác biệt đáng kể). So với trường hợp thiết lập cho 1 cell, thì giá trị cao nhất của điện áp trong trường hợp này giảm 9,02 % và giá trị thấp nhất của điện áp trong trường hợp này tăng 1,4 %. Do pin có cấu hình 6S86P: 86 cell pin mắc song song thành một bộ và có 6 bộ cell pin mắc nối tiếp nên điện áp có xu hướng không thay đổi nhiều.

Hình 10 thể hiện ảnh hưởng của nhiệt độ tới cường độ dòng điện sạc của pin ở chế độ điện áp không đổi. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng số lượng cell pin lên thì giá trị dao động cường độ dòng điện sạc có xu hướng không thay đổi. Trong khoảng thời gian từ 5581s đến 5582s, cường độ dòng điện sạc tăng vọt từ -4 (A) và đạt cực đại là 4 (A) tại 5582s (ở các mức nhiệt độ 5°C, 25°C, 50°C đều giống nhau) và giữ nguyên giá trị đến thời điểm

10581s. Trong khoảng thời gian từ 0s đến 5581s, cường độ dòng điện sạc đạt luôn đạt cực tiểu là -4 (A) và trong khoảng thời gian từ 10582s đến 14398s, cường độ dòng điện sạc đạt luôn đạt cực tiểu là -4 (A) (ở các mức nhiệt độ 5°C, 25°C, 50°C đều giống nhau). So với trường hợp thiết lập cho 1 cell, thì giá trị cao nhất của cường độ dòng điện sạc trong trường hợp này không thay đổi và giá trị thấp nhất của cường độ dòng điện sạc trong trường hợp này không thay đổi.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã làm rõ được các mối quan hệ giữa các giá trị liên quan trực tiếp đến quá trình sạc/xả của pin và tuổi thọ pin là điện áp, dòng điện, SOC đến sự thay đổi nhiệt độ, xét trên đối tượng pin phổ biến của xe điện là pin Panasonic NCR-18650B thuộc loại pin lithium-ion. Với việc đưa ra được các khối xử lý và thuật toán quy trình ước tính tham số của pin, kết quả nghiên cứu đánh giá được độ tin cậy của mô hình và thuật toán mô phỏng, đồng thời hoàn toàn có thể được sử dụng để làm cơ sở cho việc giải quyết các bài toán liên quan tới quá trình làm việc của pin trong các điều kiện nhiệt độ khác nhau. Kết quả mô phỏng đã so sánh được các ảnh hưởng của các mức nhiệt độ khác nhau 5°C, 25°C, 50°C đến SOC, ảnh hưởng của điện áp và dòng điện đến quá trình sạc xả pin của 1 cell và 1 mô-đun gồm 516 cell. Trong giới hạn của bài báo đưa ra, các mẫu đưa vào vẫn tương đối nhỏ so với thực tế sử dụng của xe ô tô điện, do vậy sự chênh lệch của đồ thị ở các mức nhiệt độ đưa ra là chưa thực sự rõ ràng. Điều này sẽ được cải thiện ở các nghiên cứu tiếp theo, khi xét đến nhiều pack pin và có lưu ý điển hình dạng sắp xếp của các cell pin.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Leonardo Paoli, Timur Gül, "Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales" *iea.org*. <https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales>. 29/09/2023.
- [2] Ben Stern, " ev sales just hit a major milestone - showing a surge in popularity as electric cars keep getting cheaper" *thecooldown.com*. <https://www.thecooldown.com/green-business/electric-vehicles-evs-sales-growing/#:~:text=Across%20the%20world%2C%20over%207.8,the%20current%20figure%20to%20quadruple>. 29/09/2023.
- [3] Garcia-Valle, R. and Pecas Lopes, J.A., "Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks, Power Electronics and Power Systems". *New York: Springer*, 2019.
- [4] Rui Xiong, Weixiang Shen, "Advanced battery management technologies for electric vehicles", *John Wiley & Sons, Inc.*, 2019.
- [5] Plett, G. L., "Extended kalman filtering for battery management systems of lipb-based hev battery packs: Part 1. Background". *Journal of Power sources*, 134(2):252–261, 2004.
- [6] <https://www.orbtronic.com/batteries-chargers/panasonic-3400mah-18650-li-ion-battery-cell-ncr18650b>. 29/09/2023
- [7] Shen, W.X., Chan, C.C., Lo, E.W.C., and Chau, K.T., "A new battery available capacity indicator for electric vehicles using neural network", *Energy Conversion and Management*, vol.43, no.6, pp.817–826, 2002.

SUMMARY

STUDY ON THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE WORKING PROCESS OF THE PANASONIC NCR-18650B ELECTRIC VEHICLE BATTERY

In the general development trend of Industries 4.0, development associated with sustainable energy is always a top priority. The electric vehicle industry is also growing strongly, increasingly accounting for high in the automobile industry. Besides the advantages that electric vehicle bring, an issue that is always of top concern is improving performance when using batteries. The article focuses on researching the effects of heat on the working process of Panasonic NCR-18650B electric vehicle battery. With the Matlab Simulink simulation tool, the research team examined the effects related to the charging - discharging process of electric vehicle batteries such as voltage, current, state of charge (SOC) at different temperatures of 0, 25, 50 degrees Celsius. Research results contribute to optimizing battery usage, thereby minimizing the impact of batteries on the environment, contributing to the development of the current electric vehicle industry.

Keywords: Panasonic NCR-18650B battery; Charging - discharging process; State of charge; Effect of temperature, Electric Vehicle.

Thông tin chi tiết về các tác giả:

Tác giả 1:

- Họ và tên: Nguyễn Phi Cường Anh
- Học hàm/học vị: Kỹ sư
- Cơ quan công tác: Viện Kỹ thuật Công nghệ - Trường Đại học Vinh
- Điện thoại: 0978261150
- Email: anhnpc@vinhuni.edu.vn, cuonganh9538@gmail.com

Tác giả 2:

- Họ và tên: Lê Đức Hiếu
- Học hàm/học vị: Tiến sĩ
- Cơ quan công tác: Khoa Công nghệ ô tô - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
- Điện thoại: 0989946630/0904252536
- Email: hieuld@hau.edu.vn

Tác giả 3:

- Họ và tên: Lương Ngọc Minh
- Học hàm/học vị: Thạc sĩ
- Cơ quan công tác: Khoa Công nghệ ô tô - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
- Điện thoại: 0978282827
- Email: : minhln@vinhuni.edu.vn