

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP SẠC NHANH CHO PIN LITHIUM DỰA TRÊN MÔ HÌNH NHIỆT

RESEARCH ON THE FAST CHARGING METHOD FOR LITHIUM BATTERY BASED ON THERMAL MODEL

Đỗ Bá Phú¹, Đỗ Ngọc Quý¹, Phạm Duy Học², Nguyễn Kiên Trung¹

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, ²Viện Khoa học và công nghệ Việt Nam - Hàn Quốc

Ngày nhận bài: 03/11/2020, Ngày chấp nhận đăng: 16/03/2021, Phản biện: TS. Bùi Thị Duyên

Tóm tắt:

Sạc nhanh cho pin Lithium-ion là một giải pháp thúc đẩy sự phát triển của xe điện trong tương lai. Bài báo này đề xuất một phương pháp sạc nhanh mới dựa trên mô hình nhiệt, giảm được thời gian sạc đồng thời đảm bảo được tuổi thọ của pin. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm chứng bằng mô phỏng. Khi nhiệt độ môi trường là 298°F, thời gian sạc của phương pháp đề xuất bằng 83.44%, 0.8%, 64.15% khi so sánh lần lượt với phương pháp sạc dòng điện không đổi điện áp không đổi, sạc nhiều mức dòng điện và sạc xung.

Từ khóa:

Xe điện, pin Lithium-ion, sạc nhanh, mô hình nhiệt.

Abstract:

Fast charging for Lithium-ion is an essential problem that needs to be resolved to impulse the development of electric vehicles. This paper proposes a new charging method based on thermal model, which reduces charging time and ensures cycle life of battery. The effectiveness of the proposed method is verified by simulation. Under ambient temperature is 298°F, the simulation results show that the charging time of the proposed method equal to 83.44%, 0.8%, 64.15% in comparison with the constant current constant voltage charging method, multi-stage constant current charging method, and pulse charging method respectively.

Keywords:

Electric vehicles, Lithium-ion battery, fast charging, thermal model.

CHỮ VIẾT TẮT

EVs	Electric Vehicles	MSCC	Multi Stage Constant Current
PHEVs	Plug-in Hybrid Electric Vehicle	PC	Pulse Charging
CC-CV	Constant Current - Constant Voltage	CCCF-PC	Constant Current Constant Frequency Pulse Charging

CCVF-PC	Constant Current Variable Frequency Pulse Charging
SoC	State of Charge
PSO	Particle Swarm Optimizatio
ACS	Ant Colony Optimization
SAE	Society of Automotive Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong vài thập kỉ trở lại đây, có sự dịch chuyển từ việc sử dụng xăng dầu sang sử dụng điện trong nhiều lĩnh vực. Sự thay đổi này dự kiến sẽ tăng mạnh trong thời gian tới, đặc biệt là đối với xe điện (EVs) [1,2]. Một số loại pin được sử dụng trên xe điện như axit chì, NiMH, pin Lithium-ion (Li-ion). Trong đó, pin Li-ion có nhiều ưu điểm hơn cả, do có mật độ năng lượng cao, vòng đời dài và tốc độ tự xả thấp. Tuy nhiên, do sự hạn chế của thời gian sạc dài nên việc sử dụng trên xe điện chưa thực sự thuận lợi. Tối ưu phương pháp sạc nhanh cho pin Li-ion trở thành vấn đề cấp thiết. Để giải quyết vấn đề đó, việc nghiên cứu phương pháp sạc nhanh cho pin Li-ion đã phát triển mạnh trong những năm gần đây [3,4]. Pin Li-ion được sạc một cách phổ biến dựa theo phương pháp dòng điện không đổi - điện áp không đổi (CC-CV). Tuy nhiên, giai đoạn sạc điện áp không đổi diễn ra chậm dẫn đến thời gian sạc pin bị kéo dài. Nghiên cứu [6,7] đã đưa ra phương pháp sạc nhiều

mức dòng điện, và dùng phương pháp tối ưu bầy đàn (PSO) dựa trên điều khiển mờ, [20] sử dụng thuật toán tối ưu đàn kiến (ACS) để tìm được các mức sạc phù hợp. Bên cạnh đó, phương pháp sạc xung cũng được nghiên cứu trong những năm gần đây nhằm thay thế phương pháp sạc dòng điện không đổi - điện áp không đổi. Nghiên cứu [5,8] đã khảo sát về sự ảnh hưởng của xung dòng điện đối với tuổi thọ của pin và đưa ra mức xung dòng điện an toàn từ 0-1C. Những phương pháp sạc nhanh hiện nay đều chuyển trạng thái sạc dựa trên những yếu tố: dòng điện, điện áp, SOC - một đại lượng không đo lường được, phải sử dụng những thuật toán ước lượng, mà không xét tới nhiệt độ - một yếu tố quyết định đến tuổi thọ của pin. Nghiên cứu [9, 10, 26] đã khảo sát mô hình nhiệt của pin, sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới các đặc tính hóa học của pin Li-ion và chỉ ra quá nhiệt là nguyên nhân chủ yếu làm tuổi thọ của pin Li-ion giảm xuống đồng thời đưa ra mức nhiệt độ an toàn cao nhất khi sạc là 318°F - 323°F. Từ đó bài báo này đề xuất phương pháp sạc dựa trên mô hình nhiệt của pin và đưa ra kết quả mô phỏng và so sánh với các phương pháp sạc nhanh khác. Kết quả mô phỏng chỉ ra phương pháp sạc dựa trên mô hình nhiệt cho thời gian sạc tương ứng là 83.44%, 0.8%, 64.15% khi được so sánh lần lượt với phương pháp sạc dòng điện không đổi - điện áp không đổi, sạc nhiều mức dòng điện và sạc xung với cùng nhiệt độ lớn nhất trong quá trình sạc là 320°F và cùng bộ sạc 18 kW khi nhiệt

độ môi trường là 298°F. Các tiêu chuẩn sạc, các phương pháp sạc nhanh hiện nay và các ưu, nhược điểm của các phương pháp đó được khảo sát trong phần 2 của bài báo này.

2. TIÊU CHUẨN VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP SẠC PIN

2.1 Tiêu chuẩn sạc pin cho xe điện

Hiện nay, có hai tiêu chuẩn sạc cho xe điện: tiêu chuẩn SAE và tiêu chuẩn IEC. Tiêu chuẩn SAE là tiêu chuẩn được Hiệp hội kỹ sư ô tô xây dựng, tiêu chuẩn IEC là tiêu chuẩn do Ủy ban Kỹ thuật điện quốc tế xây dựng. Mục tiêu của các tiêu chuẩn này là thúc đẩy sự hợp tác quốc tế về tiêu chuẩn hoá trong lĩnh vực điện - điện tử và các vấn đề có liên quan. Tiêu chuẩn SAE được sử dụng phổ biến tại Mỹ và tiêu chuẩn IEC được sử dụng phổ biến tại các nước thuộc Liên minh châu Âu EU. Các chế độ sạc pin theo tiêu chuẩn SAE được

thể hiện như trong bảng 1. Trong đó thời gian sạc theo từng chế độ và các loại phương tiện phù hợp với từng chế độ sạc được đưa ra một cách cụ thể. Trong khi đó, tiêu chuẩn IEC có hơn 6500 tiêu chuẩn về thiết kế và lắp đặt hệ thống điện, tiêu chuẩn IEC 61851-1 là tiêu chuẩn cho các bộ sạc pin của xe điện. Một cách cụ thể, IEC 61851-21-1:2017 quy định những tiêu chuẩn cho bộ sạc tích hợp và IEC 61851-21-2:2018 quy định những tiêu chuẩn cho bộ sạc rời [11]. Bảng 2 mô tả một cách cụ thể các chế độ sạc cũng như dòng điện và điện áp cực đại trong từng chế độ. Hiện nay, có nhiều hãng công nghệ nghiên cứu và sản xuất các bộ sạc nhanh cho xe điện. Trong đó, có thể kể đến như Tesla, Porsche, ABB,... Tập đoàn ABB nghiên cứu bộ sạc có công suất lên tới 180 kW, điển hình là họ các sản phẩm Terra 24 và Terra 184.

Bảng 1. Các chế độ sạc pin theo tiêu chuẩn SAE [12]

Mức sạc	Mức công suất sạc	Thời gian sạc	Loại phương tiện phù hợp
Mức 1	1.4 kW (12 A)	4-11 giờ	PHEVs (5-15 kWh)
120 VAC(US)	1.9 kW (20 A)	11-36 giờ	EVs (16-50 kWh)
230 VAC (EU)			
Mức 2	4 kW (17 A)	1-4 giờ	PHEVs (5-15 kWh)
240 Vac (US)	8 kW (32 A)	2-6 giờ	EVs (16-30 kWh)
400 Vac (EU)	19.2 kW (80 A)	2-3 giờ	EVs (30-50 kWh)
Mức 3	50 kW	0.4-1 giờ	EVs (20-50 kWh)
208-600 VAC hoặc VDC	100 kW	0.2-0.5 giờ	

Bảng 2. Các chế độ sạc pin theo tiêu chuẩn IEC [11]

Mức sạc	Mô tả	Dòng điện, điện áp cực đại
Mức 1	Kết nối giữa nguồn AC và xe điện không có giao tiếp hay những tính năng an toàn bổ sung	16 A và 250 VAC, 1 pha 16 V và 480 VAC, 3 pha
Mức 2	Kết nối giữa nguồn AC và xe điện có giao tiếp hay những tính năng an toàn bổ sung	32 A và 250 VAC, 1 pha 32 A và 480 VAC, 3 pha
Mức 3	Kết nối giữa nguồn AC và bộ sạc xe điện được kết nối một cách cố định và có những tính năng an toàn bổ sung	70 A và 250 VAC, 1 pha 63 A và 480 VAC, 3 pha
Mức 4	Kết nối giữa nguồn AC hoặc DC và bộ sạc xe điện được kết nối một cách cố định và có những tính năng an toàn bổ sung	250A và 600 VDC 200A và 1000 VDC

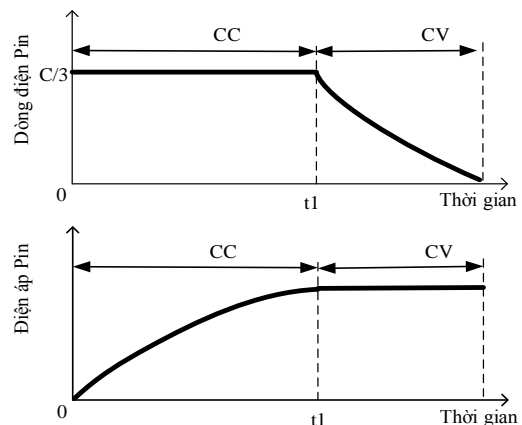
2.2. Các phương pháp sạc nhanh hiện tại

2.2.1. Phương pháp sạc dòng điện không đổi - điện áp không đổi (CC-CV)

Đây là phương pháp sạc pin Lithium - ion phổ biến nhất hiện nay. Phương pháp này bao gồm 2 giai đoạn: giai đoạn chính: sạc dòng điện không đổi và giai đoạn sạc điện áp không đổi. Ở giai đoạn sạc dòng điện không đổi, pin được sạc với dòng cố định cho đến khi điện áp đạt tới điện áp ngưỡng. Sau đó điện áp pin được giữ ở mức điện áp ngưỡng, và dòng điện sạc giảm dần về không và kết thúc quá trình sạc. [13] đã đưa ra những ảnh hưởng của mức điện áp ngưỡng đối với tuổi thọ của pin.

Hình 1 cho thấy hình dạng dòng điện và điện áp trong quá trình sạc theo phương pháp sạc CC-CV. Quá trình sạc dòng điện không đổi chiếm khoảng 85% thời gian của toàn bộ quá trình sạc. Tuy nhiên giai

đoạn sạc điện áp không đổi cần nhiều thời gian và điều đó không đáp ứng được cho yêu cầu sạc nhanh [4]. Phương pháp này bỏ qua nội trở của pin - nguyên nhân gây ra sự tăng nhiệt độ của pin và làm hiệu quả sạc giảm xuống.

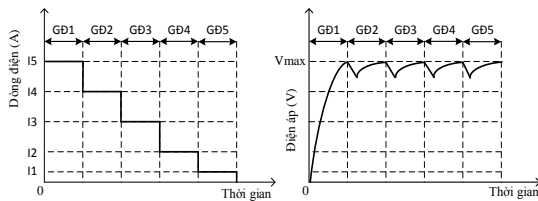


Hình 1. Dạng dòng điện, điện áp pin trong phương pháp sạc CC-CV

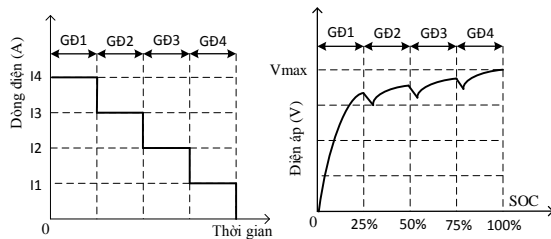
2.2.2. Phương pháp sạc nhiều mức dòng điện (MSCC)

Phương pháp sạc nhiều mức dòng điện

được nghiên cứu để phát triển các phương pháp sạc nhanh cho xe điện. Các mức chuyển trạng thái có thể được xác định qua điện áp ngưỡng hoặc trạng thái sạc (SOC). Dạng dòng điện và điện áp theo phương pháp sạc nhiều mức dòng điện được thể hiện như trong hình 2 và hình 3. Với phương pháp sạc nhiều mức dòng điện dựa trên điện áp ngưỡng, pin sẽ được sạc với dòng điện sạc ban đầu được xác định từ trước cho đến khi điện áp trên pin đạt điện áp ngưỡng [3], quá trình sạc sẽ được chuyển sang giai đoạn tiếp theo với dòng điện sạc nhỏ hơn dòng điện sạc của giai đoạn trước [14,15].



Hình 2. Dạng dòng điện, điện áp pin theo phương pháp sạc nhiều mức dòng điện dựa trên điện áp ngưỡng



Hình 3. Dạng dòng điện, điện áp pin theo phương pháp sạc nhiều mức dòng điện dựa trên SOC

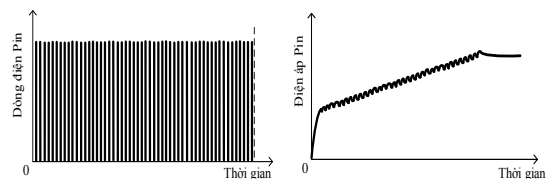
Với phương pháp sạc nhiều mức dòng điện dựa trên SOC, pin được sạc với từng mức dòng điện sạc khác nhau tương ứng với SOC đạt các mức 25%, 50%, 75% và 100%. Việc xác định dòng điện sạc và

thời gian sạc trong từng giai đoạn là rất quan trọng trong phương pháp này. Dòng điện sạc tối ưu có thể được xác định nhờ phương pháp điều khiển mờ [6, 19] với đầu vào là sự thay đổi nhiệt độ và đầu ra bộ điều khiển là dòng sạc, nghiên cứu [14, 15] sử dụng phương pháp Taguchi hay nghiên cứu [20] sử dụng thuật toán tối ưu đàn kiến (ACS), nghiên cứu [6] sử dụng PSO dựa trên điều khiển mờ. Các phương pháp này cần một vi điều khiển có khả năng xử lý nhanh để đảm bảo yêu cầu khối lượng tính toán lớn.

2.2.3. Phương pháp sạc xung (PC)

2.2.3.1. Sạc xung với dòng điện không đổi tần số không đổi (CCCF-PC)

Phương pháp sạc xung với dòng điện không đổi tần số không đổi là phương pháp sạc xung đơn giản để thực hiện nhất. Phương pháp yêu cầu cung cấp một xung dòng điện không đổi về biên độ và tần số trong suốt quá trình sạc. Hình 4 thể hiện dạng dòng điện và điện áp pin trong cả quá trình sạc pin theo phương pháp CCCF-PC. Quá trình sạc kết thúc khi điện áp trên pin đạt điện áp ngưỡng.

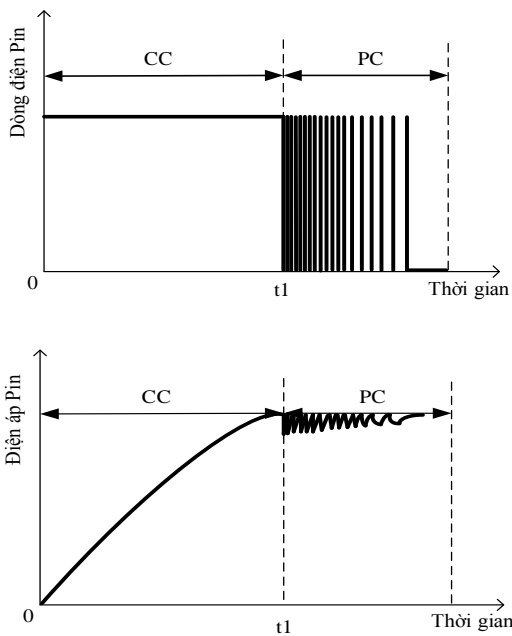


Hình 4. Dạng dòng điện và điện áp pin trong quá trình sạc theo phương pháp CCCF-PC

2.2.3.2. Sạc xung với dòng điện không đổi tần số thay đổi (CCVF-PC)

Phương pháp này được nghiên cứu để kết

hợp những ưu điểm của phương pháp sạc dòng điện không đổi điện áp không đổi và phương pháp sạc xung. Trong đó, quá trình sạc xung thực hiện nhằm thay thế giai đoạn sạc điện áp không đổi của phương pháp CC-CV. Tuy nhiên thời gian sạc theo phương pháp CCVF-PC không cải thiện so với phương pháp CCCV [18-20].



Hình 5. Dạng dòng điện, điện áp pin trong toàn bộ quá trình sạc theo phương pháp CCVF-PC

Trong giai đoạn đầu, cell pin Li-ion được sạc với một dòng điện sạc cố định như phương pháp sạc CC-CV cho đến khi điện áp pin đạt được mức điện áp ngưỡng thì chuyển sang giai đoạn sạc xung. Ở giai đoạn sạc xung, dòng điện sạc vẫn được giữ biên độ như ở giai đoạn sạc đầu, nhưng thời gian sạc được gián đoạn chứ không liên tục. Sau mỗi xung thì điện áp pin, dung lượng pin và SOC sẽ tăng lên,

do đó độ rộng của xung sau sẽ nhỏ hơn độ rộng của xung trước. Phương pháp này không cần điều khiển mức dòng điện, nhưng cần điều khiển thời gian ngừng cũng như thời gian phát xung. Hình 5 thể hiện dạng dòng điện, điện áp pin trong toàn bộ quá trình sạc dựa trên phương pháp sạc xung với dòng điện không đổi tần số thay đổi.

2.2.4. Ưu, nhược điểm của các phương pháp sạc nhanh hiện nay

Từ những khảo sát trong mục 2.2.1-2.2.3, bảng so sánh ưu, nhược điểm của từng phương pháp sạc dòng điện không đổi điện áp không đổi, sạc nhiều mức dòng điện và sạc xung được đưa ra như bảng 3. Để khắc phục những hạn chế của các phương pháp sạc hiện nay, bài báo đề xuất phương pháp sạc dựa trên mô hình nhiệt.

Bảng 3. Ưu, nhược điểm của các phương pháp sạc nhanh hiện nay

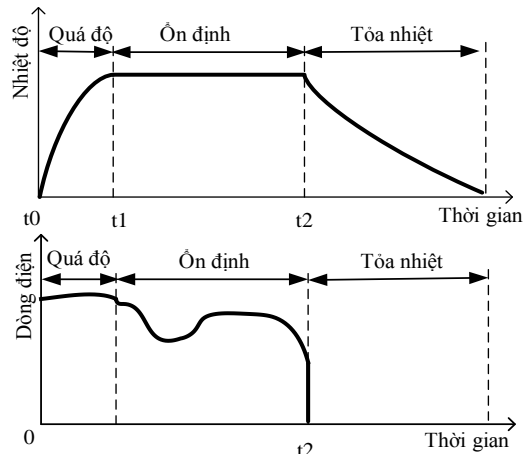
Phương pháp sạc	Ưu điểm	Nhược điểm
CC-CV	Dễ điều khiển, tiếp cận	<ul style="list-style-type: none"> - Thời gian sạc còn dài. - Khó xác định dòng sạc phù hợp với từng cell pin trong giai đoạn dòng điện không đổi. - Không điều khiển sự tăng nhiệt độ của pin khi sạc.

Phương pháp sạc	Ưu điểm	Nhược điểm
MSCC	Thời gian sạc nhanh	<ul style="list-style-type: none"> - Thuật toán xác định giá trị dòng điện và thời gian sạc tại các mức sạc còn phức tạp. - Không điều khiển sự tăng nhiệt độ của pin khi sạc.
PC	Dễ thực hiện điều khiển	<ul style="list-style-type: none"> - Khó xác định dòng sạc và tần số sạc tối ưu cho từng loại pin. - Không điều khiển sự tăng nhiệt độ của pin khi sạc. - Thời gian sạc còn dài. - Khó điều khiển xung dòng điện sạc.

3. PHƯƠNG PHÁP SẠC NHANH DỰA TRÊN MÔ HÌNH NHIỆT

Pin Lithium là một loại pin nhạy cảm với nhiệt độ, nhiệt độ tăng lên quá cao sẽ làm đặc tính lý, hóa của pin bị thay đổi và làm giảm tuổi thọ của pin và có thể gây mất an toàn khi sạc. Do đó để có thể cải thiện được hiệu suất, đảm bảo tuổi thọ của pin cũng như tăng độ an toàn cho việc sạc pin thì nhiệt độ pin trong toàn bộ quá trình sạc cần được điều khiển. Để giữ được nhiệt độ ở giá trị yêu cầu, phương pháp sạc dựa trên mô hình nhiệt được đề xuất. Việc đặt giá trị nhiệt độ cao nhất mà vẫn đảm bảo yêu cầu nhỏ hơn hoặc bằng nhiệt độ cho phép sẽ yêu cầu bộ biến đổi cung

cấp dòng điện lớn nhất có thể để đạt được mức nhiệt độ đó và điều khiển để giữ được dòng điện luôn ở mức cao nhất sao cho nhiệt độ pin luôn ở giá trị cao nhất cho phép. Từ đó, pin được sạc một cách nhanh nhất và nhiệt độ của pin luôn ở giá trị cho phép.



Hình 6. Dạng nhiệt độ và dòng điện sạc theo phương pháp sạc dựa trên mô hình nhiệt

Phương pháp này gồm có hai quá trình chính là quá trình quá độ và quá trình ổn định nhiệt độ, ngoài ra còn có quá trình tỏa nhiệt khi đã hoàn thành việc sạc pin. Trong giai đoạn quá độ, khi nhiệt độ của pin chưa đạt tới mức nhiệt độ đặt, dòng điện sạc sẽ được huy động cao nhất có thể của bộ sạc. Khi đó, nhiệt độ của pin sẽ tăng nhanh và pin cũng sẽ được sạc một cách nhanh chóng. Hết giai đoạn quá độ, nhiệt độ của pin đã đạt giá trị đặt. Khi đó, dòng điện sạc sẽ được giảm xuống dựa trên mối quan hệ giữa nhiệt độ và dòng điện sạc được trình bày trong mục này. Sau khi kết thúc giai đoạn ổn định nhiệt độ, pin đã được sạc đầy. Khi đó, dòng điện sạc sẽ trở về không, và quá trình tỏa

hiệt được bắt đầu. Trong quá trình này, pin không sinh thêm nhiệt độ mà chỉ có quá trình tỏa nhiệt ra môi trường. Quá trình tỏa nhiệt kết thúc khi nhiệt độ trên pin bằng với nhiệt độ môi trường. Dạng nhiệt độ và dòng điện sạc của phương pháp sạc dựa trên mô hình nhiệt được đưa ra như hình 6. Việc điều khiển dòng theo bộ điều khiển nhiệt độ không gây trở ngại về độ phức tạp cho mạch sạc, khi chỉ cần thêm cảm biến đo nhiệt độ pin trong quá trình sạc.

Để đơn giản hóa quá trình trao đổi nhiệt, nhiệt độ bề mặt của pin được coi như nhau. Mô hình nhiệt của pin được diễn tả như phương trình (1) [21, 22]:

$$mc \frac{dT}{dt} = Q_0 + Q_s - Q \quad (1)$$

Trong đó: m là khối lượng của pin (kg), c là nhiệt dung riêng của pin ($Jkg^{-1}K^{-1}$), T là nhiệt độ của pin (K), Q_0 là năng lượng thất thoát do quá áp trong các chu kỳ sạc xả, Q_s là nhiệt lượng phản ứng thuận nghịch bởi sự thay đổi entropy, Q là nhiệt lượng trao đổi.

Nhiệt lượng trao đổi được diễn tả như phương trình (2):

$$Q = hA(T - T_{amb}) \quad (2)$$

Trong đó: A là diện tích bề mặt của pin (m^2), T_{amb} là nhiệt độ môi trường (K), h là hệ số trao đổi nhiệt ($Wm^{-2}K^{-1}$).

Nhiệt phản ứng thuận nghịch bởi sự thay đổi của entropy được diễn tả như sau [23]:

$$Q_s = T\Delta s \frac{I}{nF} \quad (3)$$

$$\Delta S = -\frac{\partial \Delta G}{\partial T} = nF \frac{\partial E_{ocv}}{\partial T} \quad (4)$$

Trong đó F là hằng số Faraday ($Cmol^{-1}$), n là số mol electron dịch chuyển trong phản ứng ($n=1$ với pin Lithium ion), I là dòng sạc (A), ΔS là sự thay đổi entropy (JK^{-1}), $\Delta G = -nFV_{ocv}$ ($JK^{-1}mol^{-1}$) là sự thay đổi năng lượng Gibbs, V_{ocv} là điện áp hở mạch. Sự biến đổi $\frac{\partial E_{ocv}}{\partial T}$ là âm và Q_s là

thu nhiệt trong quá trình sạc. Việc mất năng lượng của pin chủ yếu do điện trở phân cực và nội trở của pin. Do đó thì năng lượng thất thoát của pin được tính: $Q_0 = Q_p + Q_j$. Trong đó: Q_p là năng lượng thất thoát do quá trình phân cực và Q_j là năng lượng thất thoát do điện trở phân cực.

$$Q_p = IU_p \quad (5)$$

$$Q_j = I^2 R_i \quad (6)$$

Với R_i là nội trở của pin và được coi là hằng số thì năng lượng thất thoát do điện trở phân cực Q_j được coi là có mối quan hệ tuyến tính với bình phương dòng sạc. Tuy nhiên năng lượng thất thoát do quá trình phân cực không có mối quan hệ tỷ lệ với dòng điện sạc mà độ dốc của nó là một hàm của SOC. [24]. $U_p = kI + b$ là điện áp phân cực của cell pin, k là tỉ lệ phân cực, b hệ số bù phân cực [25]. Từ đó, mô hình trao đổi nhiệt của pin được diễn tả như phương trình (7).

$$mc \frac{dT}{dt} = I^2 R_i + I(kI + b) + TI \frac{\partial E_{ocv}}{\partial T} - hA(T - T_{amb}) \quad (7)$$

Tiến hành gián đoạn hóa các phương trình (1-7) với thời gian trích mẫu là 1 s, nhiệt độ pin tại thời điểm t được diễn tả như phương trình (8):

$$T(t) = T(t-1) + \frac{I^2 R_i + I(kI + b) + T(t-1)I \frac{\partial E_{ocv}}{\partial T} - Ah(T(t-1) - T_{amb})}{mc} \quad (8)$$

Công thức (8) là cơ sở để tính toán giá trị dòng điện sạc sau mỗi chu kỳ trích mẫu nhiệt độ. Dòng điện sạc sẽ được điều khiển thông qua các bộ điều khiển dòng điện trong các bộ sạc.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để chứng minh hiệu quả của phương pháp sạc nhanh dựa trên mô hình nhiệt được đề xuất, một mô hình pin được mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink 2018 với thông số được cho như ở bảng 3. Kết quả mô phỏng về dòng điện, điện áp, trạng thái SOC và nhiệt độ trong quá trình sạc của các phương pháp sạc dòng điện không đổi điện áp không đổi, sạc nhiều mức dòng điện, sạc xung và sạc dựa trên mô hình nhiệt trên một cell pin được đưa ra như trong hình 7.

Bảng 3. Thông số mô phỏng

Thông số	Giá trị
Loại pin	LiFePO ₄
Dung lượng	40 Ah
Số cell pin	30 cell
Công suất bộ sạc	18 kW
Dòng điện sạc lớn nhất	50 A

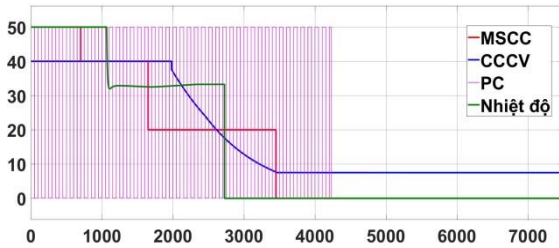
Thông số	Giá trị
Điện áp cell pin	12 V
SOC ban đầu	0.25
Nhiệt độ môi trường	298°F

Với phương pháp sạc dòng điện không đổi điện áp không đổi: tại thời điểm 2000 s, điện áp trên pin đạt tới điện áp ngưỡng, pin được chuyển sang sạc ở giai đoạn điện áp không đổi, SOC tại thời điểm đó đạt 0.8. Nhiệt độ cao nhất trên pin trong cả quá trình sạc là 320°F. Quá trình sạc điện áp không đổi diễn ra trong thời gian rất lâu, tại thời điểm 3500 s mới có thể đầy được pin.

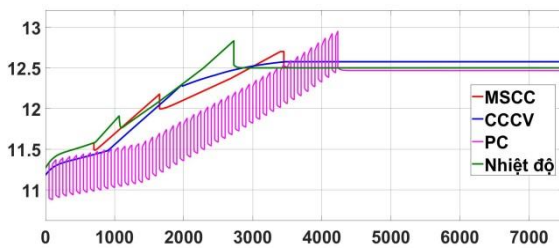
Phương pháp sạc nhiều mức dòng điện dựa theo trạng thái SOC được mô phỏng theo trích dẫn [14] với các mức dòng điện được xác định là 1.8C, 1.25C, 0.9C và 0.5C ứng với mỗi 25% SOC. Do pin được mô phỏng với SOC ban đầu là 0.25 nên các mức dòng điện sạc ứng với từng mức sạc khi đó là: 50 A, 36 A và 20 A ứng với từng mức SOC: 25%, 50% và 75%. Pin được chuyển mức sạc tại các thời điểm: 800 s, 1700 s và khi 3400 s thì SOC đạt 100%. Nhiệt độ sạc cao nhất trong toàn bộ quá trình là 320°F.

Phương pháp sạc xung dòng điện không đổi, tần số không đổi được mô phỏng với biên độ xung dòng điện được đặt là 50 A và tần số dòng điện mô phỏng là 0.01 Hz và duty 50%. Các tần số dòng điện là 0.001 Hz, 0.1 Hz cũng được tiến hành mô phỏng với cùng điều kiện, tuy nhiên, kết quả mô phỏng tương tự khi so với tần số 0.01 Hz. Do đó, có thể kết luận thời gian

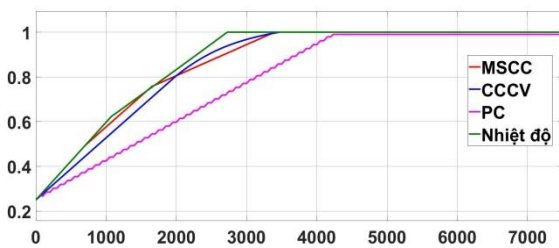
sạc và nhiệt độ pin ít phụ thuộc vào tần số xung dòng điện. Tại thời điểm 4240 s, SOC đạt 100% và pin được sạc đầy, nhiệt độ cao nhất trong quá trình sạc là 320°F.



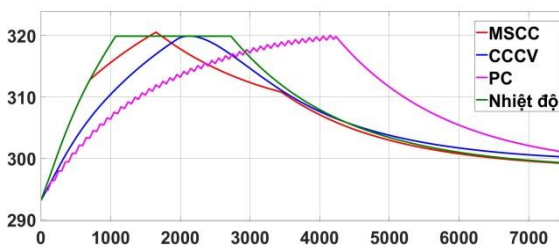
(a) Dòng điện sạc



(b) Điện áp sạc



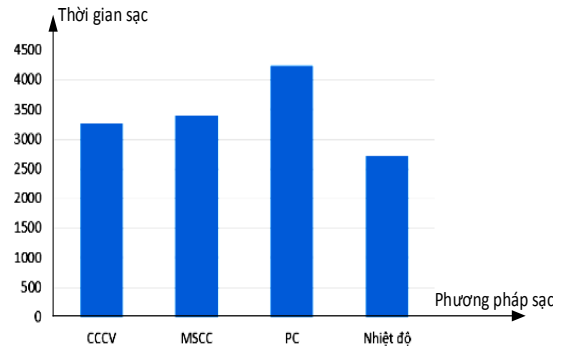
(c) Trạng thái sạc SOC



(d) Nhiệt độ pin trong quá trình sạc

Hình 7. (a) Dòng điện sạc, (b) Điện áp sạc, (c) Trạng thái sạc SOC, (d) Nhiệt độ một cell pin trong quá trình sạc của từng phương pháp sạc với nhiệt độ môi trường không đổi

Phương pháp sạc dựa trên mô hình nhiệt được mô phỏng với dòng điện sạc lớn nhất cho phép là 50 A, nhiệt độ đặt là 320°F. Tại thời điểm 1150 s, nhiệt độ trên pin đạt 320°F, dòng điện sạc được giảm xuống ngay lập tức và sau đó được tăng, giảm nhằm giữ được nhiệt độ trên pin là không đổi trong suốt quá trình sạc là 320°F. SOC đạt 100% tại thời điểm 2720 s và pin được sạc đầy. Sau thời điểm đó, nhiệt độ trên pin giảm dần nhờ quá trình tỏa nhiệt ra môi trường một cách tự nhiên. Từ những kết quả đó, nhận thấy phương pháp sạc ổn định nhiệt độ cho thời gian sạc là ngắn nhất (2720 s với nhiệt độ môi trường ổn định ở 298°F) và đảm bảo tuổi thọ của pin khi nhiệt độ sạc đạt 320°F.



Hình 8. Thời gian sạc đầy của các phương pháp

5. KẾT LUẬN

Bài viết này đã liệt kê một cách có hệ thống các phương pháp sạc cho pin Lithium-ion. Những phương pháp sạc được thảo luận đều có khả năng cải thiện thời gian sạc pin, tăng hiệu suất sạc và ít làm ảnh hưởng đến tuổi thọ của pin. Ngoài ra, bài báo có đề xuất phương pháp sạc nhanh dựa trên mô hình nhiệt cũng

như mô phỏng và so sánh hiệu quả sạc chế tạo thiết bị cấp điện di động cho tàu bay”
giữa các phương pháp sạc. mã số ĐTĐL.CN-14/18 đã hỗ trợ nhóm thực
Xin cảm ơn đề tài “Nghiên cứu, thiết kế và hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wang Yunshi, Sperling Daniel, Tal Gil, Fang Haifeng, "China's electric car surge". Energy Policy 2017, 2017, vol. 102, pp 486-490.
- [2] C. Pillot, "Micro hybrid, HEV, P-HEV and EV market 2012–2025 impact on the battery business," 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/EVS.2013.6914818.
- [3] Shen, Weixiang & Vo, Thanh & Kapoor, Ajay. "Charging algorithms of lithium-ion batteries: An overview". Proceedings of the 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2012. pp 1567-1572. doi:10.1109 /ICIEA.2012.6360973.
- [4] Anna Tomaszewska, Zhengyu Chu, Xuning Feng, Simon O'Kane, "Lithium-ion battery fast charging: A review", eTransportation, Volume 1, August 2019.
- [5] Zhao, Yanfei & Lu, Bo & Song, Yicheng & Zhang, Junqian, "A modified pulse charging method for lithium-ion batteries by considering stress evolution, charging time and capacity utilization", Frontiers of Structural and Civil Engineering 2018. doi: 10.1007/s11709-018-0460.
- [6] S. Wang and Y. Liu, "A PSO-Based Fuzzy-Controlled Searching for the Optimal Charge Pattern of Li-Ion Batteries," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 5, pp. 2983-2993, May 2015, doi: 10.1109/TIE.2014.2363049.
- [7] A.B. Khan, Van-Long Pham, Thanh-Tung Nguyen and Woojin Choi, "Multistage constant-current charging method for Li-Ion batteries," 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Busan, 2016, pp. 381-385, doi: 10.1109/ITEC-AP.2016.7512982.
- [8] M.J. Brand, M.H. Hofmann, S.S. Schuster, P. Keil and A. Jossen, "The Influence of Current Ripples on the Lifetime of Lithium-Ion Batteries," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 11, pp. 10438-10445, Nov. 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2869982..
- [9] Min. Ye, H. Gong, R. Xiong and H. Mu, "Research on the Battery Charging Strategy With Charging and Temperature Rising Control Awareness," in IEEE Access, vol. 6, pp. 64193-64201, 2018, doi:10.1109/ACCESS.2018.2876359.
- [10] Xuning Feng, Mingguo Ouyang, Xiang Liu, Languang Lu, Yong Xia, Xiangming He, "Thermal runaway mechanism of Lithium ion battery for electric vehicles: a review". Energy Storage Mater 2017, vol 10, pp 246-67.
- [11] Hanauer, Dieter. (2018). Mode 2 Charging-Testing and Certification for International Market Access. World Electric Vehicle Journal. 9. 26. 10.3390/wevj9020026.
- [12] M. Yilmaz and P.T. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 5, pp. 2151-2169, May 2013.

- [13] Q Dong, H. Kang, YB Yan, "Effect of charge cutoff voltage on electrochemical performance of lithium ion battery". Chem Ind Eng Prog 2008.
- [14] Y. Luo, Y. Liu and S. Wang, "Search for an optimal multistage charging pattern for lithium-ion batteries using the Taguchi approach," TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference, Singapore, 2009, pp. 1-5.
- [15] Y. Liu, C. Hsieh and Y. Luo, "Search for an Optimal Five-Step Charging Pattern for Li-Ion Batteries Using Consecutive Orthogonal Arrays," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 26, no. 2, pp. 654-661, June 2011, doi: 10.1109 /TEC. 2010. 2103077.
- [16] Gianfranco Pistoia, "Battery Operated Devices and Systems: From Portable Electronics to Industrial Products". Elsevier, Amsterdam, London, 2009.
- [17] F. Savoye, P. Venet, M. Millet and J. Groot, "Impact of Periodic Current Pulses on Li-Ion Battery Performance," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, no. 9, pp. 3481-3488, Sept. 2012, doi: 10.1109/TIE.2011.2172172.
- [18] Jun Li, Edward Murphy, Jack Winnick, Paul A. Kohl, "The effects of pulse charging on cycling characteristics of commercial lithium-ion batteries". J. Power Sources 102 2001:p. 302–309.
- [19] J. Huang, Y. Liu, S. Wang and Z. Yang, "Fuzzy-control-based five-step Li-ion battery charger," 2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS),Taipei, 2009, pp.1547-1551, doi: 10.1109/ PEDS.2009. 5385780.
- [20] Yi-Hwa Liu, Jen-Hao Teng and Yu-Chung Lin, "Search for an optimal rapid charging pattern for lithium-ion batteries using ant colony system algorithm," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 52, no. 5, pp. 1328-1336, Oct. 2005, doi: 10.1109/TIE.2005.855670.
- [21] Maryam Ghalkhani, Farid Bahiraei, Gholam-Abbas Nazri, Mehrdad Saif, "Electrochemical–Thermal Model of Pouch-type Lithium-ion Batteries", Electrochimica Acta. dx.doi.org/ 10.1016/j.electacta.2017.06.164
- [22] Yang Gao, C. Zhang, Q. Liu, Yan Jiang, Weiqiang Ma and Yong Mu, "An optimal charging strategy of lithium-ion batteries based on polarization and temperature rise," 2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Beijing, China, 2014,pp.1-6,doi: 10.1109/ITEC-AP.2014.6941149.
- [23] Weifeng Fang, Ou Jung Kwon, Chao Yang Wang, "Electrochemical-thermal modeling of automotive Li-ion batteries and experimental validation using a three-electrode cell". International
- [24] L. Chen, S. Wu, D. Shieh and T. Chen, "Sinusoidal Ripple Current Charging Strategy and Optimal Charging Frequency Study for Li-Ion Batteries," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 60, no. 1, pp. 88-97, Jan. 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2186106.
- [25] Abdollahi A, Han X, Avvari GV, Raghunathan N, "Optimal battery charging, Part I: Minimizing time-to-charge, energy loss, and temperature rise for OCV resistance battery model", J Power Sources 2016;303:388–98
- [26] Friesen, Alex; Mönnighoff, Xaver; Börner, Markus; Haetge, Jan; Schappacher, Falko M.; Winter, Martin (2017). "Influence of temperature on the aging behavior of 18650-type lithium ion cells: A comprehensive approach combining electrochemical characterization and post-mortem analysis". Journal of Power Sources, 342(), 88–97. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.12.04.

Giới thiệu tác giả:

Tác giả Đỗ Bá Phú tốt nghiệp đại học ngành tự động hóa tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2019. Hiện nay tác giả làm việc tại Viện Điều khiển và Tự động hóa - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: điện tử công suất và công nghệ sạc pin cho xe điện.



Tác giả Đỗ Ngọc Quý sinh năm 1996, tốt nghiệp đại học ngành tự động hóa tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2019. Hiện tại tác giả làm việc tại Viện Điều khiển và Tự động hóa - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: điện tử công suất và quản lý năng lượng cho xe điện.



Tác giả Phạm Duy Học tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2001, nhận bằng Thạc sĩ tại Đại học Quốc gia Yokohama Nhật Bản năm 2009. Từ năm 2009 đến năm 2012 nghiên cứu tại Phòng Nghiên cứu phát triển bộ biến đổi cho tàu điện và tàu cao tốc - Công ty Toyodenki Seizo Nhật Bản, từ năm 2012 đến năm 2019 là kỹ sư thiết kế hệ thống nguồn cho tàu điện và tàu cao tốc tại Công ty Toyodenki Seizo Nhật Bản. Hiện nay tác giả là Trưởng Phòng Nghiên cứu điện tử - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam - Hàn Quốc.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ điện tử công suất, nghiên cứu phát triển động cơ điện và hệ điều khiển chuyển động.



Tác giả Nguyễn Kiên Trung tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2008 và 2011; nhận bằng Tiến sĩ tại Viện Công nghệ Shibaura Tokyo, Nhật Bản năm 2016. Hiện nay tác giả là giảng viên Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: các bộ biến đổi tần số cao, hệ thống sạc và quản lý năng lượng cho xe điện, hệ thống sạc điện không dây cho xe điện.

