



DOI:10.22144/ctujos.2024.466

THIẾT KẾ BỘ SẠC PIN ĐIỀU KHIỂN MỜ TỐI ƯU DÙNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN

Huỳnh Thái Hoàng*

Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): hthoang@hcmut.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 07/07/2024

Sửa bài (Revised): 05/08/2024

Duyệt đăng (Accepted): 06/10/2024

Title: Design a battery charging fuzzy controller optimized by a genetic algorithm

Author(s): Huỳnh Thái Hoàng*

Affiliation(s): University of Technology, Viet Nam National University Ho Chi Minh City, Viet Nam

TÓM TẮT

Bài báo trình bày cách thiết kế bộ điều khiển mờ tối ưu dùng giải thuật di truyền để sạc pin nhanh và duy trì nhiệt độ pin thấp. Bộ điều khiển mờ được thiết kế dựa vào kinh nghiệm với hai ngõ vào là nhiệt độ pin và tốc độ biến thiên nhiệt độ pin trong quá trình sạc, ngõ ra là dòng điện sạc pin. Các thông số của bộ điều khiển mờ được chỉnh định tối ưu dùng giải thuật di truyền sao cho tối thiểu chỉ tiêu chất lượng liên quan đến thời gian sạc pin và sự gia tăng nhiệt độ pin trong quá trình sạc. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển mờ đề xuất không những điều khiển sạc pin nhanh tương đương bộ sạc đẳng dòng, mà còn có độ gia tăng nhiệt độ trong quá trình sạc thấp hơn, nhờ đó làm tăng tuổi thọ của pin.

Từ khóa: Bộ sạc pin, điều khiển mờ, giải thuật di truyền

ABSTRACT

The paper presents the development of an optimized fuzzy controller using a genetic algorithm for fast battery charging and maintaining low battery temperature. The fuzzy controller is designed based on experience with two inputs, which are battery temperature and rate of battery temperature change during charging, and the output is battery charging current. The fuzzy controller parameters are optimized using a genetic algorithm to minimize a performance index related to battery charging time and battery temperature rise during charging. The simulation results show that the proposed fuzzy controller not only controls the battery charging as fast as a constant current charger but also has a lower temperature rise during charging, thereby increasing the battery lifespan.

Keywords: Battery charger, fuzzy controller, genetic algorithm

1. GIỚI THIỆU

Nguồn năng lượng pin đang là một trong những chủ đề nóng trong ngành công nghiệp tự động, từ bộ lưu điện (Uninterruptible Power Supply – UPS) đến cuộc đua xe điện của nhiều hãng xe lớn. Tuy vậy, thử thách lớn nhất trong sử dụng pin chính là thời gian sạc, nhiệt độ và tuổi thọ của pin. Khi sạc pin,

dòng điện sạc càng lớn, thời gian sạc càng nhanh nhưng nhiệt độ pin càng cao, từ đó làm giảm tuổi thọ pin, trong một số trường hợp có thể gây nguy hiểm khi sử dụng nếu pin bị quá nhiệt. Ngược lại, dòng điện sạc nhỏ giúp pin duy trì được tuổi thọ lâu hơn nhưng thời gian sạc quá dài, không đáp ứng yêu cầu cần sử dụng pin liên tục. Hiện tại, hai phương pháp sạc được dùng phổ biến nhất cho mọi loại pin

vẫn là sạc đẳng dòng (Constant Current – CC) nghĩa là sạc pin ở một mức dòng điện cố định và sạc đẳng áp (Constant Voltage – CV) nghĩa là sạc pin ở một mức điện áp cố định (Ayoub & Karami, 2015). Nhờ sự đơn giản trong thiết kế phần cứng và hiệu quả khi phối hợp hai phương pháp sạc CC và CV, các nhà sản xuất vẫn tiếp tục khuyến nghị sử dụng phương pháp sạc này, với dòng điện sạc pin và điện áp sạc pin được đề xuất ở mức thấp để đảm bảo an toàn cho pin và người sử dụng. Tuy nhiên, khuyết điểm của phương pháp sạc pin đơn giản này là không kiểm soát được thời gian sạc và nhiệt độ pin khi sạc. Để đảm bảo an toàn trong quá trình sạc, bộ quản lý pin (Battery Management System - BMS) được sử dụng để ngắt sạc nhằm bảo vệ pin khi xảy ra sạc quá dòng, sạc quá áp, hay pin bị quá nhiệt.

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện trong những năm gần đây nhằm tăng chất lượng của các bộ sạc pin. Zhang et al. (2014) đề xuất phương pháp sạc pin tối ưu dùng phương pháp qui hoạch động dựa vào cơ sở dữ liệu nhằm rút ngắn thời gian sạc mà không làm tăng nhiệt độ pin quá cao dẫn đến giảm tuổi thọ pin. Goldar et al. (2021) đề xuất phương pháp sạc pin nhanh và đáp ứng các ràng buộc nhằm không làm suy giảm chất lượng pin. Sơ đồ điều khiển sạc pin gồm hai vòng, trong đó vòng điều khiển bên trong là bộ điều khiển toàn phương tuyến tính (Linear Quadratic Regulator – LQR) nhằm đảm bảo tính ổn định và bám nhanh theo tín hiệu tham chiếu; vòng điều khiển bên ngoài dùng giải thuật điều chỉnh tham chiếu (Explicit Reference Governor - ERG) để thỏa các ràng buộc. Li et al. (2020) sử dụng phương pháp đẳng dòng – đẳng áp nhiều mức (Multistage Constant Current-Constant Voltage – MCCV) thích nghi để sạc pin cho xe điện trong các tình huống khác nhau. Ali et al. (2018) đề xuất áp dụng bộ điều khiển mờ để tính toán dòng điện sạc pin, kết hợp với bộ điều khiển nhiệt độ để quá trình sạc nhanh không làm lão hóa pin. Phương pháp đề xuất có thể bảo vệ pin không bị quá áp và quá nhiệt trong khi sạc. Cheng et al. (2015) đề xuất phương pháp ước lượng trạng thái sạc của pin và tính toán dòng điện sạc tương ứng, đồng thời sử dụng bộ điều khiển mờ để tính chỉnh dòng điện sạc pin theo nhiệt độ pin và tốc độ gia tăng nhiệt độ. Hsieh et al. (2001) đề xuất giải thuật điều khiển mờ dự báo chất lượng bộ sạc để lập trình sạc nhanh và giữ hoạt động sạc trong vùng an toàn. Wang and Liu (2015) đề xuất các phương pháp cập nhật thông số của bộ điều khiển mờ, trong đó bao gồm phương pháp tối ưu bầy đàn. Peng et al. (2016) đánh giá lại kết quả của ứng dụng điều khiển mờ để sạc, cho thấy hiệu quả hơn so với phương pháp sạc đẳng dòng – đẳng áp. Do et

al. (2021) trình bày phương pháp điều khiển dòng điện sạc dựa trên mô hình nhiệt cho phép sạc pin ở dòng điện cực đại cho đến khi nhiệt độ đạt đến trạng thái quá độ và giảm dòng điện sạc lại theo nhiệt độ thực tế của pin. Surmann (1996) và Károlyi et al. (2022) đề xuất bộ điều khiển mờ tối ưu dùng giải thuật di truyền để sạc pin. Bộ điều khiển mờ do Surmann (1996) đề xuất khá phức tạp với 4 tín hiệu vào là nhiệt độ pin, tốc độ biến thiên nhiệt độ pin, điện áp pin và tốc độ biến thiên điện áp pin. Tín hiệu ra của bộ điều khiển mờ là dòng điện sạc pin. Hệ qui tắc mờ không đầy đủ chỉ gồm 8 qui tắc, phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm của người thiết kế. Ngược lại, bộ điều khiển mờ do Károlyi et al. (2022) đề xuất lại khá đơn giản, chỉ xét đến nhiệt độ pin để tính toán dòng điện sạc pin. Ngoài ra, cả hai nghiên cứu trên không xét đến ràng buộc về các thông số của hàm liên thuộc khi tối ưu hóa dùng giải thuật di truyền để đảm bảo ý nghĩa ngôn ngữ của các tập mờ.

Bài báo này đề xuất một bộ sạc pin điều khiển mờ tối ưu dùng giải thuật di truyền có khả năng tùy chỉnh dòng điện sạc pin dựa theo nhiệt độ pin và tốc độ gia tăng nhiệt độ pin, từ đó đạt mục tiêu có thể sạc pin nhanh mà không làm tăng nhiệt độ của pin quá nhanh và quá cao, nhờ đó nâng cao hiệu quả sạc và kéo dài tuổi thọ của pin. Do tính chất đối nghịch của thời gian sạc và nhiệt độ pin, hệ thống sạc cũng được thiết kế để có thể ứng dụng linh hoạt trong trường hợp cần rút ngắn thời gian sạc hoặc trường hợp cần nhiệt độ pin cực thấp. Bộ sạc pin điều khiển mờ tối ưu dùng giải thuật di truyền được đánh giá bằng mô phỏng và được so sánh với các phương pháp sạc phổ biến như sạc đẳng dòng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình hóa pin

Đối tượng pin được nghiên cứu trong bài báo này là loại pin Lithium-Ion. Các loại pin khác như Axit-Chì (VRLA), Niken-Cadium (Ni-Cd),... có thể được mô hình hóa theo cách thức tương tự Tremblay & Dessaint (2009). Để mô hình hóa được đối tượng pin Lithium-Ion cũng như các mẫu pin khác, những giả định sau được đặt ra:

- Các thông số của pin được tính từ đặc tuyến của pin khi đang phóng điện và các thông số này được giả định là giống với đặc tuyến khi đang sạc.
- Dung lượng của pin không đổi theo độ lớn dòng điện, tức không có hiệu ứng Paukert.
- Pin không tự phóng điện.

– Pin không có hiệu ứng nhớ, tức dung lượng pin không bị thay đổi sau nhiều lần sạc và phóng điện.

– Dung lượng của pin không giảm dần theo thời gian.

– Dòng điện sạc/xả có thể điều khiển được.

Mô hình pin đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu. Các nghiên cứu cho thấy điện áp pin v_b phụ thuộc vào dòng điện i nạp/xả qua pin, dòng điện phân cực i_p , và điện tích q xả từ pin. Các thông số của pin thay đổi theo nhiệt độ pin T_c và nhiệt độ môi trường T_a . Theo Shabani & Biju (2015), mô hình toán học của pin được mô tả bởi các phương trình sau:

$$v_b(t, T_a, T_c) = E_0(T_c) - K_1(T_c) \frac{Q(T_a)}{q(t) + 0.1Q(T_a)} i_p(t) - K_2(T_c) \frac{Q(T_a)}{Q(T_a) - q(t)} q(t) + A \exp(-Bq(t)) - R(T_c) i(t) \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} q(t) = \frac{1}{3600} i(t) \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} i_p(t) = -\frac{1}{\tau} i_p(t) + \frac{1}{\tau} i(t) \quad (3)$$

Trạng thái sạc của pin (State of Charge) $SoC(t)$ được định nghĩa như sau:

$$SoC(t) = \frac{Q - q(t)}{Q} \times 100\% \quad (4)$$

Các thông số của mô hình pin như sau: E_0 là hằng số điện thế của điện cực (V); K_1 là điện trở phân cực (W); K_2 là hệ số phân cực (V/Ah); Q là dung lượng pin (Ah); A là điện áp lũy thừa (V); B là dung lượng lũy thừa (Ah⁻¹); R là điện trở nội (Ω).

Các thông số của pin trong công thức (1) phụ thuộc nhiệt độ như sau:

$$Q(T_a) = Q|_{T_{ref}} + \frac{\Delta Q}{\Delta T} (T_a - T_{ref}) \quad (5)$$

$$E_0(T_c) = E_0|_{T_{ref}} + \frac{\partial E}{\partial T} (T_c - T_{ref}) \quad (6)$$

$$R(T_c) = R|_{T_{ref}} \times \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (7)$$

$$K_1(T_c) = K|_{T_{ref}} \times \exp \left[\alpha_1 \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (8)$$

$$K_2(T_c) = K|_{T_{ref}} \times \exp \left[\alpha_2 \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (9)$$

Trong đó: $Q|_{T_{ref}}$, $E_0|_{T_{ref}}$, $R|_{T_{ref}}$, $K|_{T_{ref}}$ là các giá trị tại một nhiệt độ tham chiếu T_{ref} , thường là 25°C theo tài liệu kỹ thuật của pin; $\Delta Q/\Delta T$ là hệ số tỉ lệ dung lượng cực đại-nhiệt độ (Ah/°K); $\partial E/\partial T$ là hệ số tỉ lệ thuận nghịch điện áp-nhiệt độ (V/K); β là hằng số tốc độ Arrhenius của điện trở nội (K); α_1 , α_2 là các hằng số tốc độ Arrhenius của điện trở và hệ số phân cực (K); T_a là nhiệt độ môi trường (°C); T_c là nhiệt độ của pin (°C).

Trong quá trình sạc, nhiệt độ của pin cũng thay đổi tùy theo dòng điện sạc và có thể mô tả bằng phương trình sau:

$$P_{loss} = [E_0(T_c) - v_b(T_c)] |i(t)| + \frac{\partial E}{\partial T} |i(t)| T_c(t) + \Delta P \quad (10)$$

$$\frac{d}{dt} T_c(t) = \frac{1}{\tau_c} (T_a - T_c(t)) + \frac{1}{\tau_c} (P_{loss} R_{th}) \quad (11)$$

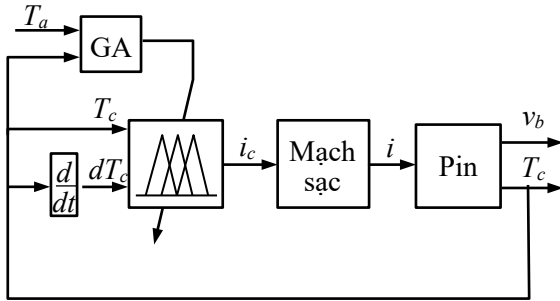
trong đó τ_c là thời hằng nhiệt giữa pin và môi trường (s); R_{th} là điện trở nhiệt giữa pin và môi trường (K/W); P_{loss} là công suất nhiệt tổn hao trong quá trình sạc/xả (W); ΔP là chênh lệch công suất thất thoát giữa sạc và xả (W).

Như vậy, mô hình trạng thái và ngõ ra đầy đủ của pin theo nhiệt độ gồm các phương trình (1), (2), (3) và (11). Các hằng số nhiệt độ có thể được tính bằng các phương pháp ước lượng hoặc dựa vào các đường đặc tuyến phóng điện và đặt tuyến nhiệt độ của pin ở các nhiệt độ môi trường khác nhau có trong tài liệu kỹ thuật của pin. Mô hình pin này được sử dụng trong giải thuật di truyền để tối ưu hóa bộ điều khiển mờ trình bày ở các phần tiếp theo.

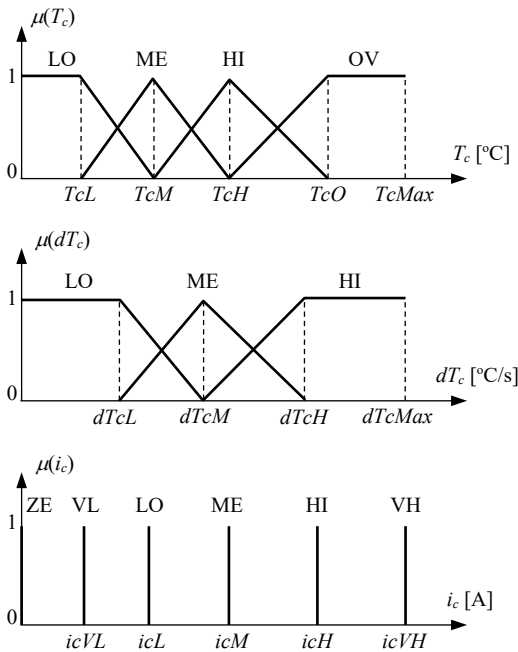
2.2. Bộ điều khiển mờ sạc pin

Hệ thống sạc pin điều khiển dùng logic mờ có sơ đồ khối ở Hình 1. Bộ điều khiển mờ có hai ngõ vào là nhiệt độ pin $T_c(t)$ và tốc độ thay đổi nhiệt độ pin $dT_c(t)$, tín hiệu ra của bộ điều khiển mờ là dòng điện sạc mong muốn $i_c(t)$. Mạch sạc là mạch công suất tạo ra dòng điện sạc $i(t)$ theo giá trị mong muốn $i_c(t)$ tính toán bởi bộ điều khiển mờ. Giá trị ngõ ra của

các biến vào và biến ra của hệ mờ trình bày ở Hình 2. Ngõ vào thứ nhất T_c có 4 giá trị ngôn ngữ là LO (Low), ME (Medium), HI (High) và OV (Overheat); ngõ vào thứ hai dT_c có 3 giá trị ngôn ngữ là LO (Low), ME (Medium) và HI (High); và ngõ ra i_c có 6 giá trị ngôn ngữ là ZE (Zero), VL (Very Low), LO (Low), ME (Medium), HI (High), và VH (Very High). Thông số của các hàm liên thuộc định lượng các giá trị ngôn ngữ được chỉnh định tối ưu bởi giải thuật di truyền trình bày ở mục 2.3.



Hình 1. Sơ đồ khối bộ sạc pin điều khiển mờ tối ưu dùng giải thuật di truyền



Hình 2. Các giá trị ngôn ngữ của biến vào và biến ra của bộ điều khiển mờ

Nguyên tắc để đưa ra các qui tắc điều khiển mờ là dựa vào kinh nghiệm. Thực tế cho thấy dòng điện sạc pin tỉ lệ thuận với sự thay đổi nhiệt độ của pin. Khi dòng điện sạc càng lớn thì nhiệt độ pin càng

tăng nhanh và nhiệt độ lên cao, và ngược lại, dòng điện sạc càng nhỏ thì nhiệt độ pin càng tăng chậm và nhiệt độ được giữ thấp. Ngoài ra, kết quả mô phỏng và thực nghiệm cũng cho thấy, tốc độ thay đổi dòng điện trong quá trình sạc cũng làm thay đổi nhiệt độ pin. Nếu dòng điện giảm mạnh thì nhiệt độ pin có xu hướng bắt đầu giảm dần sau một thời gian. Nếu dòng điện giảm nhẹ thì nhiệt độ pin có xu hướng ổn định và ít thay đổi. Như vậy, trường hợp pin có nhiệt độ cao và có xu hướng tăng nhanh, ta cần giảm dòng sạc về rất thấp để kiểm hãm sự gia tăng nhiệt độ pin trước khi nhiệt độ đạt ngưỡng nguy hiểm. Tương tự, trường hợp pin có nhiệt độ trung bình và có xu hướng tăng nhanh, ta giảm dòng sạc về mức thấp để kiểm hãm nhiệt độ nhưng không quá thấp để duy trì tốc độ sạc nhanh. Trong khi đó, nếu nhiệt độ pin đang ở mức thấp và không có xu hướng tăng nhanh, ta có thể sạc pin ở dòng điện sạc rất cao để tăng tốc độ sạc pin và sau đó giảm dòng sạc nếu nhiệt độ pin lên mức trung bình hoặc cao, hoặc nếu nhiệt độ pin có xu hướng tăng vừa phải hoặc nhanh. Và khi nhiệt độ đã đạt ngưỡng nguy hiểm thì ta cần ngắt sạc để bảo vệ an toàn pin.

Từ các hiểu biết và kinh nghiệm ở trên, bộ điều khiển sạc pin gồm 12 qui tắc được đưa ra như trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Các qui tắc điều khiển mờ sạc pin

i_c	T_c			
	LO	ME	HI	OV
dT_c	VH	HI	ME	ZE
	ME	HI	ME	LO
	HI	ME	LO	VL
				ZE

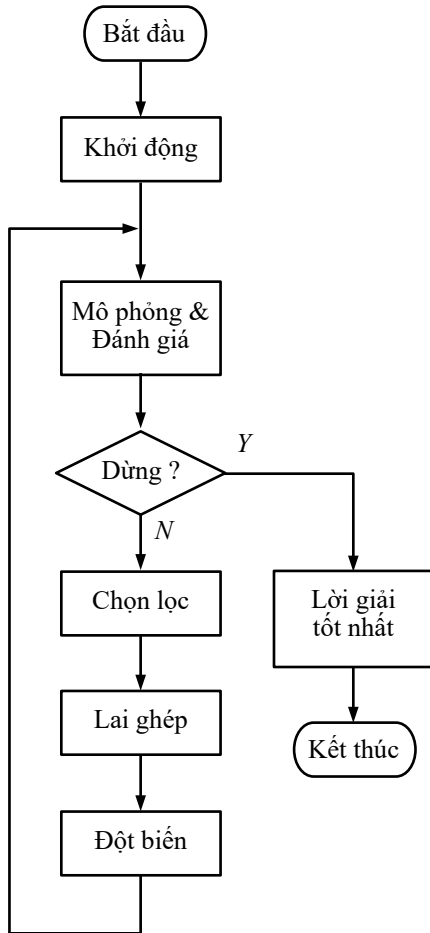
Bộ điều khiển mờ sử dụng phép toán tích (PROD) để tính độ đúng của từng quy tắc và sử dụng phương pháp giải mờ trung bình có trọng số để tính dòng điện sạc pin tương ứng theo công thức giải mờ:

$$i_c = \frac{\sum_{k=1}^{12} i_{c,k} \times \mu(i_{c,k})}{\sum_{k=1}^{12} \mu(i_{c,k})} \quad (12)$$

Chất lượng của bộ điều khiển mờ phụ thuộc vào các thông số của hàm liên thuộc. Quá trình thử sai để lựa chọn các thông số trên thường mất nhiều thời gian và kết quả điều khiển không tối ưu do tính chủ quan của người chỉnh định. Để khắc phục nhược điểm trên, các thông số của các hàm liên thuộc của các tập mờ được chỉnh định tối ưu bằng giải thuật di truyền.

2.3. Giải thuật di truyền tối ưu hóa bộ điều khiển mờ

Giải thuật di truyền là giải thuật tìm kiếm lời giải tối ưu phỏng theo quá trình tiến hóa của sinh vật trong tự nhiên (Mitchell, 1996) với các phép toán di truyền là chọn lọc tự nhiên, lai ghép và đột biến. Trong nghiên cứu này, giải thuật di truyền tối ưu hóa bộ điều khiển mờ sạc pin được thực hiện theo lưu đồ giải thuật tổng quát ở Hình 3.



Hình 3. Lưu đồ giải thuật di truyền

Trong giải thuật di truyền, mô hình pin đã trình bày ở mục 2.1 được sử dụng để mô phỏng và đánh giá chất lượng các bộ điều khiển mờ. Mục tiêu của giải thuật di truyền là tối ưu hóa các thông số hàm liên thuộc của các tập mờ ngõ vào và ngõ ra của bộ điều khiển mờ sao cho quá trình sạc diễn ra nhanh và ít làm gia tăng nhiệt độ của pin. Cụ thể, hàm mục tiêu cần tối ưu là:

$$J = \left(\frac{t_{charge}}{1000} \right)^2 + \gamma(T_{cmax} - T_a)^2 \rightarrow \min \quad (13)$$

$$fitness = \frac{1}{J} \quad (14)$$

Trong công thức trên t_{charge} là thời gian sạc pin, tức là thời gian trạng thái sạc SoC tăng từ 0% đến 100%; T_{cmax} là nhiệt độ đỉnh của pin trong quá trình sạc, và T_a là nhiệt độ môi trường. Hệ số γ nhằm tùy chỉnh mức độ ảnh hưởng của thời gian sạc hay sự gia tăng nhiệt độ trong quá trình sạc.

Phương pháp mã hóa số thực được áp dụng để mã hóa thông số của các hàm liên thuộc định lượng các giá trị ngôn ngữ của biến vào và biến ra của bộ điều khiển mờ thành các gen trên chuỗi nhiễm sắc thể. Để bảo toàn ý nghĩa ngôn ngữ của các hàm liên thuộc (hay các tập mờ), trong quá trình chỉnh định dùng giải thuật di truyền, các thông số phải thỏa mãn các điều kiện sau:

$$\begin{cases} 0 < TcL < TcM < TcH < TcO \leq TcMax \\ 0 < dTcL < dTcM < dTcH \leq dTcMax \\ 0 < icVL < icL < icM < icH < icVH \leq icMax \end{cases} \quad (15)$$

Phương pháp chọn lọc sắp hạng tuyến tính được áp dụng trong nghiên cứu, các cá thể (hay nhiễm sắc thể) được sắp hạng từ 1 đến N theo thứ tự tăng dần của độ thích nghi tính theo công thức (13) và (14). Xác suất chọn lọc của cá thể xếp hạng thứ k sẽ được tính như sau:

$$p_k = \frac{1}{N} \left[\eta + 2(1-\eta) \frac{k-1}{N-1} \right] \quad (16)$$

Phương pháp lai ghép BLX- α (Eshelman & Schaffer, 1993) được sử dụng để tạo ra cá thể con từ hai cá thể cha mẹ được chọn lọc theo phương pháp sắp hạng tuyến tính như trình bày ở trên. Mỗi đoạn gen c_k của cá thể con được tạo từ đoạn gen tương ứng a_k và b_k của hai cá thể cha mẹ và được chọn ngẫu nhiên trong đoạn $[c_{min}, c_{max}]$, trong đó:

$$c_{min} = \min(a_k, b_k) - \alpha |a_k - b_k| \quad (17)$$

$$c_{max} = \min(a_k, b_k) + \alpha |a_k - b_k| \quad (18)$$

Đột biến (Mutation) là quá trình làm biến đổi một hoặc nhiều gen của các cá thể trong quần thể, tạo nên sự đa dạng gen trong quần thể, giúp giải thuật di truyền có thể thoát ra khỏi các điểm cực trị cục bộ để tìm được lời giải tối ưu toàn cục. Phương pháp đột biến được sử dụng là đột biến không đồng

nhất, trong đó có xác suất đột biến ở thể hệ thứ g trên tổng G_{max} thể hệ được tính như sau:

$$p_m = \frac{1}{2} - 0,3 \frac{g}{G_{max}} \quad (19)$$

Khi g tăng từ 0 đến về giá trị G_{max} thì xác suất đột biến p_m giảm từ 0,5 đến 0,2. Quá trình đột biến chọn ngẫu nhiên một gen c_k trong mỗi nhiễm sắc thể để đột biến tăng hoặc giảm về giá trị biên của gen theo công thức (20), miền đột biến càng nhỏ lại khi quần thể càng tiến hóa.

$$\begin{cases} c_k = c_k - (c_k - c_{k \min}) p_m \\ c_k = c_k + (c_{k \max} - c_k) p_m \end{cases} \quad (20)$$

Do tính ngẫu nhiên của giải thuật di truyền, sau khi thực hiện lai ghép và đột biến sẽ có khả năng cả thể con không thỏa các ràng buộc (15) để bảo toàn ý nghĩa ngôn ngữ của các tập mờ. Trong trường hợp này, cả thể con đó được loại bỏ và một trong hai cả thể cha mẹ được giữ lại tiếp tục tiến hóa ở thể hệ tiếp theo.

Điều kiện dừng của giải thuật di truyền có thể áp dụng linh động theo lựa chọn của người thiết kế. Có thể dừng giải thuật di truyền khi lời giải đã hội tụ, tức là khi giá trị hàm thích nghi (14) không thay đổi sau một số thế hệ cho trước. Một số trường hợp có thể dừng giải thuật di truyền khi đã tiến hóa đủ số thế hệ tối đa cho trước để rút ngắn thời gian chạy giải thuật. Sau khi giải thuật di truyền hoàn tất, thông số cả thể tốt nhất của thể hệ cuối cùng được cài đặt bộ điều khiển mờ để tiến hành điều khiển sạc pin kiểm nghiệm kết quả.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

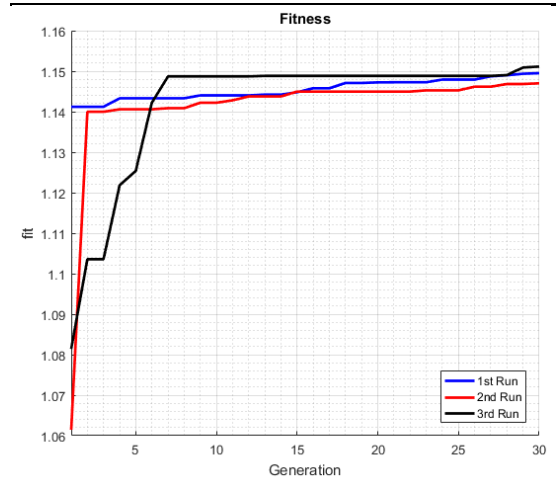
Mô phỏng đánh giá giải thuật di truyền chỉnh định tối ưu bộ điều khiển mờ sạc pin được thực hiện trên phần mềm MATLAB. Kết quả điều khiển mờ sạc pin được so sánh với phương pháp sạc đẳng dòng với dòng điện sạc 10A để đánh giá chất lượng. Do tính chất ngẫu nhiên của giải thuật di truyền nên bộ điều khiển mờ được chỉnh định vài lần và các kết quả chỉnh định điển hình được trình bày.

Bài báo này mô phỏng sạc pin Lithium Iron Phosphate (LiFePO4) dựa trên mô hình pin có thông số đầy đủ như Bảng 2. Thông số mô hình pin này được rút ra từ tài liệu kỹ thuật và đặc tính nạp xả thực nghiệm của pin LiFePO4 3,2V 20Ah theo phương pháp trình bày trong nghiên cứu của Tremblay & Dessaint (2009).

Các thông số của giải thuật di truyền được chọn như sau: kích thước quần thể $N=15$; hệ số chọn lọc sắp hạng tuyến tính $\eta=0,5$; xác suất lai ghép $p_c=0,9$; xác suất đột biến p_m giảm từ 0,5 đến 0,2 theo công thức (19), cả thể tốt nhất ở mỗi thế hệ được bảo tồn nhằm đảm bảo độ thích nghi của quần thể tăng dần trong quá trình tiến hóa.

Bảng 2. Các thông số mô phỏng của pin

Thông số	Giá trị	Đơn vị
T_{ref}	25	°C
$E_0 _{T_{ref}}$	3,0376	V
$R _{T_{ref}}$	0,003	Ω
$Q _{T_{ref}}$	17,5	Ah
$K _{T_{ref}}$	0,0007	Ω hoặc V/Ah
A	0,3769	V
B	1,7943	Ah^{-1}
$\partial E/\partial T$	0,0193	V/K
$\Delta Q/\Delta T$	0,0037	Ah/K
α_1	329,915	K
α_2	329,915	K
β	1564,9	K
ΔP	30	W
τ_c	1000	S
R_{th}	0,084	K/W
τ	30	S

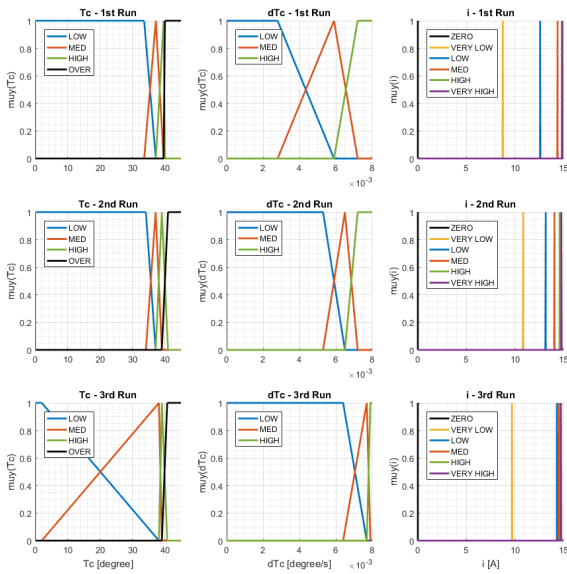


Hình 4. Đồ thị thay đổi hàm thích nghi 3 lần chạy GA

Trọng số $\gamma = 1$ được chọn trong hàm mục tiêu (13), kết quả tối ưu hóa bộ điều khiển mờ được trình bày dưới đây. Hình 4 là đồ thị thay đổi hàm thích nghi (14) sau 3 lần chạy giải thuật di truyền. Do thể hệ đầu tiên được khởi động ngẫu nhiên nên độ thích nghi ban đầu của các thể tốt nhất ở 3 lần chạy giải thuật di truyền là khác nhau. Qua quá trình tiến hóa,

độ thích nghi của quần thể tăng dần và tiến đến giá trị tối ưu. Để rút ngắn thời gian chạy chương trình, quá trình tiến hóa kết thúc sau 30 thế hệ. Có thể thấy rằng sau 30 thế hệ, độ thích nghi của cả thể tốt nhất ở 3 lần chạy giải thuật di truyền gần bằng nhau.

Hình 5 là thông số các hàm liên thuộc của bộ điều khiển mờ chỉnh định bằng giải thuật di truyền 3 lần khác nhau. Tuy thông số của các hàm liên thuộc khác nhau nhưng kết quả điều khiển sạc pin bằng các bộ điều khiển mờ này như trình bày ở Hình 6 là tương đương nhau.

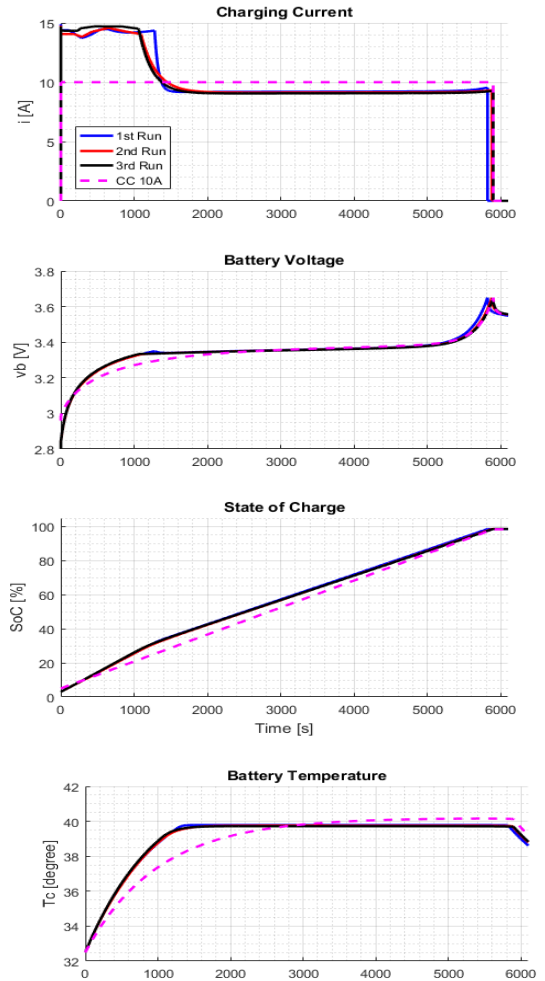


Hình 5. Thông số hàm liên thuộc tối ưu sau 3 lần chạy GA

Hình 6 so sánh dòng điện sạc pin, điện áp pin, trạng thái sạc và nhiệt độ pin trong quá trình sạc bằng bộ điều khiển mờ và bộ sạc đẳng dòng. Khi trạng thái sạc SoC=100% thì điện áp pin đạt 3,65V, phù hợp với đặc tính kỹ thuật của pin LiFePO4. Đồ thị cho thấy thời gian sạc bằng bộ điều khiển mờ tương đương thời gian sạc đẳng dòng (khoảng 5800 giây). Tuy nhiên, nhiệt độ tối đa của pin khi sạc bằng bộ điều khiển mờ thấp hơn bộ sạc đẳng dòng, nhờ đó giúp tăng tuổi thọ của pin.

Lưu ý rằng tùy theo giá trị trọng số γ trong hàm mục tiêu (13) mà kết quả chỉnh định tối ưu bộ điều khiển mờ sẽ khác nhau. Nếu trọng số γ nhỏ hơn thì giải thuật di truyền sẽ chỉnh định tối ưu bộ điều khiển mờ sạc nhanh hơn, tuy nhiên gia tăng nhiệt độ trong quá trình sạc sẽ cao hơn. Ngược lại, nếu chọn

trọng số γ lớn hơn, thì kết quả chỉnh định tối ưu bằng giải thuật di truyền sẽ được bộ điều khiển mờ sạc chậm hơn để sự gia tăng nhiệt độ trong quá trình sạc thấp hơn.



Hình 6. So sánh kết quả sạc pin dùng bộ điều khiển mờ tối ưu và bộ sạc đẳng dòng 10A

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã trình bày một hệ thống sạc pin điều khiển mờ dùng giải thuật di truyền. Đóng góp mới của bài báo là các qui tắc điều khiển mờ xét đến nhiệt độ pin và tốc độ tăng nhiệt độ pin trong quá trình sạc để đưa ra dòng điện sạc phù hợp. Mặt khác, giải thuật di truyền chỉnh định tối ưu bộ điều khiển mờ được thiết kế để bảo toàn ý nghĩa ngôn ngữ của các hàm liên thuộc. Bằng điều khiển mờ, bộ sạc có thể điều chỉnh dòng điện sạc phù hợp theo nhiệt độ của pin khi sạc, nhờ đó có thể duy trì được nhiệt độ của pin ở một mức cụ thể, tránh nhiệt độ pin quá cao, bảo vệ an toàn cho pin và không gây ảnh hưởng

hiều đến tuổi thọ pin, nhưng đồng thời vẫn có thể đảm bảo được thời gian sạc pin nhanh nhất có thể. Ứng dụng giải thuật di truyền để tối ưu kết quả sạc cũng đã giúp loại bỏ yếu tố con người trong hiệu chỉnh bộ điều khiển sạc pin. Hệ thống có thể tự tính

toán, mô phỏng và chọn ra bộ sạc phù hợp với yêu cầu của người vận hành. Định hướng sắp tới bộ sạc pin mở tối ưu dùng giải thuật di truyền sẽ được áp dụng thực nghiệm để đánh giá chất lượng sạc pin thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Ali, M. U., Nengroo, S. H., Khan, M. A., Zeb K., Kamran, M. A., & Kim, H.-J. (2018). A Real-Time Simulink Interfaced Fast-Charging Methodology of Lithium-Ion Batteries under Temperature Feedback with Fuzzy Logic Control. *Energies*, 11(5), 1122. <https://doi.org/10.3390/en11051122>
- Ayoub, E., & Karami, N. (2015). Review on the charging techniques of a Li-Ion battery, 2015 Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE), 50–55. <https://doi.org/10.1109/TAECE.2015.7113599>.
- Cheng, Y. S., Young, C. M., Liu, Y. H., Chen, G. J., & Yang Z. Z. (2015). Design and implementation of Li-ion battery charger using state-of-charge estimation with fuzzy temperature control. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2075–2079. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125402>
- Eshelman, L. J., & Schaffer, J. D. (1993). Real-coded genetic algorithms and interval-schemata. *Foundations of Genetic Algorithms*, 2, 187–202.
- Goldar, A., Romagnoli, R., Couto, L. D., Nicotra, M., Kinnaert, M., & Garone, E. (2021). Low-Complexity Fast Charging Strategies Based on Explicit Reference Governors for Li-Ion Battery Cells. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 29(4), 1597–1608. <https://doi.org/10.1109/TCST.2020.3010322>
- Hsieh, G. C., Chen, L. R., & Huang, K. S. (2001). Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-charge controller. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 48(3), 585–593. <https://doi.org/10.1109/41.925585>
- Károlyi, G., Pózna, A., Hangos, K. M., & Magyar, A. (2022). An Optimized Fuzzy Controlled Charging System for Lithium-Ion Batteries Using a Genetic Algorithm. *Energies*, 15(2), 481. <https://doi.org/10.3390/en15020481>
- Li, Y., Li, K., Xie, Y., Liu, J., Fu, C., & Liu, B. (2020). Optimized charging of lithium-ion battery for electric vehicles: Adaptive multistage constant current–constant voltage charging strategy. *Renewable Energy*, 146, 2688–2699. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.077>
- Mitchell, M. (1996). *An Introduction to Genetic Algorithms*. The MIT Press.
- Peng, B. R., Wang, S. C., Liu, Y. H., & Yan-Syun, H. (2016). A Li-ion battery charger based on remaining capacity with fuzzy temperature control. 2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2016.7550768>
- Do, B. P., Do, N. Q., Pham, D. H., & Nguyen K. T. (2021). Research on the fast charging method for lithium battery based on thermal model. *Journal of Science and Technology for Energy*, 26, 27–40 (in Vietnamese).
- Shabani, B., & Biju, M. (2015). Theoretical modelling methods for thermal management of batteries. *Energies*, 8(9), 10153–10177. <https://doi.org/10.3390/en80910153>
- Surmann, H. (1996). Genetic optimization of a fuzzy system for charging batteries, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(5), 541–548, <https://doi.org/10.1109/41.538611>.
- Tremblay, O., & Dessaint, L. A. (2009). Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications. *World Electric Vehicle Journal*, 3(2), 289–298. <https://doi.org/10.3390/wevj3020289>
- Wang, S. C., & Liu, Y. H. (2015). A PSO-based fuzzy-controlled searching for the optimal charge pattern of Li-ion batteries. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(5), 2983–2993. <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2363049>
- Zhang, S., Zhang, C., Xiong, R., & Zhou, W. (2014). Study on the Optimal Charging Strategy for Lithium-Ion Batteries Used in Electric Vehicles. *Energies*, 7(10), 6783–6797. <https://doi.org/10.3390/en7106783>