

ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI SẠC CỦA PIN TRONG HỆ THỐNG QUẢN LÝ NĂNG LƯỢNG CHO XE ĐIỆN

STATE OF CHARGING ESTIMATION IN A BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICAL

Đỗ Ngọc Quý, Nguyễn Kiên Trung

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài: 25/10/2019, Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2019, Phản biện: TS. Nguyễn Quốc Minh

Tóm tắt:

Ước lượng trạng thái sạc pin là một trong những chức năng quan trọng nhất trong hệ thống quản lý năng lượng của xe điện. Bài viết này tập trung xem xét các cách thức ước lượng SOC, những vấn đề và thách thức của nó bằng cách tìm hiểu các phương pháp ước lượng khác nhau. Tính chính xác của các phương pháp phụ thuộc chủ yếu vào đặc tính pin, mô hình pin, thuật toán ước lượng và sự mất cân bằng giữa các tế bào pin. Cuối cùng, bài viết này kết luận những thách thức của ước lượng SOC và những hướng phát triển trong lĩnh vực nghiên cứu này.

Từ khóa:

Trạng thái sạc, hệ thống quản lý năng lượng, xe điện.

Abstract:

State of charging (SOC) estimation is one of the most important functions in the electric vehicle's battery management system (BMS). This paper focuses on ways to estimate SOC, its problems and challenges by exploring different estimation methods. The accuracy of the methods depends mainly on battery characteristics, battery model, estimation algorithm and cell unbalance. Finally, this paper concludes the challenges of SOC estimates and development in this research field.

Keywords:

State of charging, battery management system, electric vehicle.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, việc nghiên cứu về hệ thống quản lý năng lượng pin đã và đang thu hút nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới do pin là thành phần đặc biệt quan trọng và ngày càng phổ biến trong nhiều hệ thống cấp nguồn khác nhau như hệ thống năng lượng mặt trời, hệ thống cấp nguồn liên tục UPS, hệ thống tích trữ

năng lượng trong các lưới điện thông minh,...và đặc biệt là trong các loại xe điện[1]. Các loại pin có thể được sử dụng trên xe điện như pin axit chì, NiMH, pin lithium-ion [2]. Trong số đó, pin lithium-ion được sử dụng rộng rãi do mật độ năng lượng cao, hiệu suất cao, vòng đời dài, tốc độ tự xả thấp và điện áp cao [3]. Do những đặc điểm nổi trội đó nên đã có rất

nhiều những nghiên cứu để tăng tính ổn định và tin cậy của pin lithium-ion [4]. Sử dụng BMS trong khi sử dụng pin lithium-ion là bắt buộc để pin có thể hoạt động an toàn và đáng tin cậy, ngăn ngừa mọi vấn đề về quá nhiệt, mất cân bằng điện áp giữa các cell pin gây hỏng pin [3-5]. Hơn nữa, BMS giúp kiểm soát và cập nhật dữ liệu, phát hiện lỗi, cân bằng điện áp pin là những yếu tố quan trọng để đạt được độ chính xác cao trong việc ước lượng SOC của pin [5].

SOC trong hệ thống quản lý pin được coi là một trong những yếu tố quan trọng và đã được tập trung nghiên cứu nhiều trong những thập kỷ gần đây. Ước lượng chính xác SOC không chỉ giúp cung cấp thông tin về dung lượng còn lại của pin mà còn đảm bảo cho hoạt động đáng tin cậy và an toàn cho xe điện. Tuy nhiên, ước lượng SOC là một trong những thách thức chính của các loại xe điện do các đặc tính phi tuyến, giá trị thay đổi theo thời gian, các phản ứng điện hóa phức tạp và không thể quan sát trực tiếp [5]. Hơn nữa, dung lượng của pin bị ảnh hưởng rất nhiều bởi sự lão hóa pin, thay đổi nhiệt độ, chu kỳ sạc/xả khiến cho việc ước lượng chính xác SOC rất khó khăn [6].

Trong bài viết này, các phương pháp chính phổ biến để ước lượng trạng thái pin được phân tích kỹ lưỡng. Bên cạnh đó, các vấn đề và thách thức của việc ước lượng SOC cũng được đưa ra. Cuối bài viết sẽ tổng kết các hướng phát triển của các phương pháp ước lượng SOC. Bài viết này mang đến cái nhìn tổng quan trong việc ước lượng SOC, giúp cho các nhà nghiên cứu, nhà sản xuất xe điện lựa

chọn phương pháp ước lượng phù hợp nhất, đặc biệt quan trọng để phát triển hệ thống quản lý năng lượng pin mới hoặc nâng cấp hệ thống quản lý pin cho xe điện trong tương lai.

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG SOC

2.1. Phương pháp cơ bản

2.1.1. Phương pháp đếm dung lượng theo thời gian

Phương pháp này sử dụng tích phân dòng xả hoặc sạc để tính dung lượng còn lại trong pin [7]:

$$SOC(k) = SOC(0) - \frac{T}{C_n} \int_0^k (\eta \cdot I(t) - S_d) dt \quad (1)$$

Trong đó: $SOC(0)$ là giá trị SOC ban đầu, $I(t)$ là cường độ dòng điện tại thời điểm t , T là chu kỳ trích mẫu đo, C_n là dung lượng danh định của pin, η là hiệu suất coulombic và S_d là tốc độ tự xả.

Ưu điểm lớn nhất của phương pháp này là tính toán đơn giản nên nó được sử dụng rất rộng rãi. Tuy nhiên, nhược điểm là không chính xác trong thời gian dài. Khó khăn khi xác định giá trị SOC ban đầu, ảnh hưởng do quá trình tự xả của pin và sai số của cảm biến

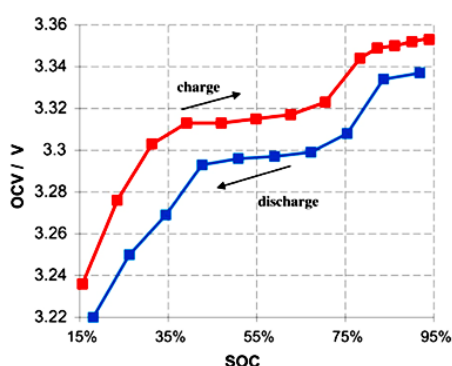
Theo Zheng [8], để cải thiện độ chính xác của phương pháp, dung lượng ban đầu, giá trị SOC và sai lệch đo dòng phải điều chỉnh thường xuyên.

2.1.2. Phương pháp OCV

OCV (Open Circuit Voltage) là phương pháp sử dụng sức điện động ổn định của pin ở trạng thái hở mạch, mối quan hệ

giữa OCV và SOC để ước lượng giá trị SOC [8]. Mỗi quan hệ này thường là gần tuyến tính nhưng với các loại pin khác nhau thì mỗi quan hệ này sẽ khác nhau bởi nó phụ thuộc vào dung lượng và vật liệu điện cực của pin [9]. Pin axit chì có mối quan hệ SOC và OCV tuyến tính, trong khi pin lithium-ion không có mối quan hệ này [10]. Phương pháp OCV là một phương pháp đơn giản và có độ chính xác cao. Tuy nhiên, nhược điểm chính của phương pháp này là phải mất thời gian nghỉ đủ dài để đạt được điều kiện cân bằng cho OCV [11].

Do đó, phương pháp này chỉ áp dụng khi các phương tiện được đặt trong bãi đỗ xe thay vì vận hành trên đường giao thông. Không những thế, hình 1 thể hiện đặc tính trễ của pin dẫn đến giá trị OCV cao hơn khi được sạc và thấp đi khi xả, do đó cần phải đo đạc cẩn thận trong trường hợp xả và sạc [12].



Hình 1. OCV và SOC khi sạc và xả (25°C, 3h)

2.1.3. Phương pháp dựa trên mô hình pin

Các mô hình pin được dùng phổ biến nhất bao gồm mô hình điện hóa và mô hình mạch tương đương. Mô hình mạch tương đương (ECM) chủ yếu sử dụng điện trở

và thành phần RC để thể hiện các đặc tính điện cho pin lithium-ion. Một mô hình mạch tương đương lý tưởng có thể mô phỏng điện áp pin thực tế dưới bất kỳ tác động nào.

Tuy nhiên, một số đặc điểm của pin Lithium-ion thực tế không thể được mô tả tốt bằng các phần tử trong mạch tương đương, ví dụ như hiệu ứng trễ hoặc hiệu ứng Warburg. Do đó, việc phát triển các mô hình toán học thuần túy có độ trễ được sử dụng để cải thiện độ chính xác của mô hình pin [8].

Nhìn chung, các phương pháp cơ bản mang đến sự đơn giản trong việc ước lượng SOC. Giá trị SOC này tương đối chính xác trong điều kiện không khắc nghiệt như ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, độ lão hóa của pin không lớn, nhiễu từ môi trường ngoài, cảm biến đo lường chính xác. Vì vậy, các phương pháp này thường được sử dụng trong các thiết bị điện tử thông thường. Đối với xe điện dưới sự tác động của môi trường làm việc khắc nghiệt thì các phương pháp thông thường này không còn chính xác.

2.2. Thuật toán lọc thích nghi

Để cải thiện độ chính xác và độ tin cậy của ước lượng SOC của pin và giảm ảnh hưởng nhiễu lên mô hình pin, các thuật toán lọc thích nghi được sử dụng.

2.2.1. Lọc Kalman (KF)

KF kết hợp các phương trình toán học, dự đoán và chỉnh sửa trạng thái mới nhiều lần khi hệ thống hoạt động. Thuật toán cung cấp một giải pháp đệ quy thông qua bộ lọc tối ưu tuyến tính để ước lượng các

biến trạng thái. Các phương trình được thể hiện ở dạng không gian trạng thái. Phương pháp so sánh dữ liệu đầu vào đo và dữ liệu đầu ra để tính độ lệch bình phương trung bình tối thiểu của trạng thái thực. Giả sử không có nhiễu quá trình và nhiễu đo. Mô hình tuyến tính KF bao gồm một phương trình (2) dự đoán trạng thái hiện tại x_k từ trạng thái trước đó x_{k-1} và phương trình (3) cập nhật trạng thái hiện tại để hội tụ nó về trạng thái thực [13].

$$x_{k-1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k \quad (2)$$

$$y_k = C_k x_k + D_k u_k + v_k \quad (3)$$

Trong đó x là trạng thái hệ thống, u là đầu vào điều khiển, w là nhiễu quá trình, y là giá trị đo đầu vào, v là nhiễu đo, A , B , C và D là các ma trận hiệp phương sai thay đổi theo thời gian và mô tả động lực học của hệ thống.

Trong [14] đã sử dụng BMS bao gồm mô hình RC để mô hình hóa KF. Các phương trình toán học được lấy từ mô hình RC, được chuyển đổi thành mô hình không gian trạng thái để giải thích các đặc tính động của pin. Kết quả chỉ ra rằng lỗi của SOC khi sử dụng KF ($1,92 \times 10^{-4}$ V) rất nhỏ so với lỗi khi không sử dụng ($1,0013$ V).

Urban và Rael [15] đã sử dụng kỹ thuật tương tự trên một mô hình tương đương đơn giản của pin Lithium-ion có chứa nguồn điện được nối tiếp với điện trở. Với sự trợ giúp của phần mềm Matlab-Simulink và việc mô phỏng thời gian thực trên card dSPACE, SOC được ước lượng với sai số nhỏ hơn 5%. Ưu điểm của việc sử dụng KF là nó ước lượng chính xác trạng thái bị ảnh hưởng bởi các nhiễu loạn

bên ngoài. Tuy nhiên, KF không thể sử dụng trực tiếp để dự đoán trạng thái của hệ phi tuyến. Ngoài ra, nó đòi hỏi tính toán rất phức tạp.

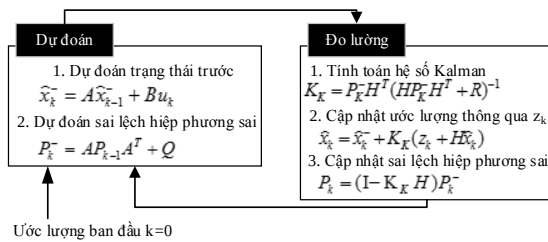
2.2.2. Lọc Kalman mở rộng (EKF)

EKF sử dụng mở rộng chuỗi Taylor bậc nhất để tuyến tính hóa mô hình pin. Mô hình không gian trạng thái được tuyến tính hóa tại mỗi khoảng thời gian, so sánh giá trị ước lượng với điện áp đo được của pin để điều chỉnh các tham số ước lượng cho SOC. Tuy nhiên, sai số tuyến tính hóa có thể lớn nếu hệ thống có độ phi tuyến cao [16]. Hoạt động chi tiết của EKF được minh họa như hình 2 [17].

Lee [17] đã triển khai EKF kép trong mô hình điện hóa để ước lượng SOC và công suất trên mối quan hệ OCV-SOC. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình đạt được độ chính xác tốt hơn, sai số nhỏ hơn 5%. Trong [18], một mô hình pin phi tuyến sử dụng EKF được sử dụng để ước lượng SOC của pin lithium-ion. Mô hình phi tuyến được xây dựng bằng cách sử dụng mô hình RC phi tuyến, điện áp hở mạch và mô hình RC bậc hai nối tiếp nhau. EKF được thực hiện để giảm ảnh hưởng của nhiễu. Mô hình đề xuất đạt được kết quả chính xác hơn khi không sử dụng. Trong [19], EKF đơn và kép được kết hợp sử dụng trong pin LiFePO_4 để ước lượng SOC theo hai mô hình khác nhau, cụ thể là có trạng thái trễ và không có trễ. Kết quả cho thấy phương pháp được đề xuất có thể ước lượng chính xác SOC trong môi trường động với sai số 4%.

Trong phần này tóm tắt các phương pháp ước lượng SOC dựa trên lý thuyết điều

hiện đại, sử dụng phương pháp đếm dung lượng theo thời gian, mô hình hóa pin và các thuật toán lọc, những ước lượng này có thể đáng tin cậy, với độ phức tạp tính toán có thể chấp nhận được cho các ứng dụng trực tuyến. Do đó, nó trở thành một phương pháp ước lượng SOC cho pin được nghiên cứu và thực hiện rộng rãi.



Hình 2. Hoạt động của EKF

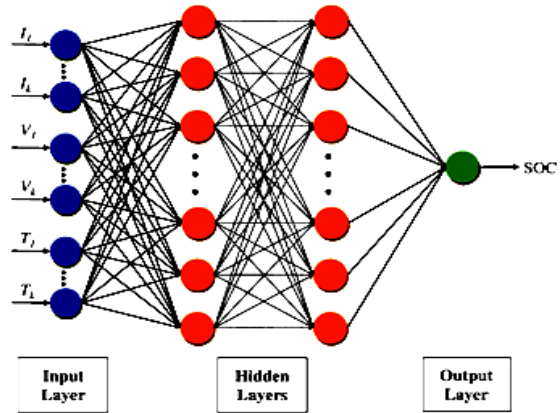
2.3. Thuật toán machine learning

2.3.1. Mạng Neural (NN)

Mạng nơron (NN) sử dụng dữ liệu được đào tạo để ước lượng SOC mà không cần biết thông tin về cấu trúc bên trong của pin và SOC ban đầu. Ba lớp được sử dụng để hình thành mạng NN, bao gồm lớp đầu vào, lớp đầu ra và một hoặc nhiều lớp ẩn, như trong hình 3 [20]. NN lấy dòng xả, điện áp đầu cuối và nhiệt độ làm đầu vào và SOC làm đầu ra để xây dựng cấu trúc mạng NN của pin LiFePO₄. Ưu điểm của phương pháp này là nó có khả năng hoạt động trong điều kiện phi tuyến của pin trong khi pin đang sạc/xả. Tuy nhiên, thuật toán cần lưu trữ một lượng lớn dữ liệu để đào tạo, điều này không chỉ đòi hỏi bộ nhớ lớn mà có thể còn làm quá tải toàn bộ hệ thống.

Chen [21] đề xuất một mô hình pin dựa trên EKF với tham số là điện áp hở mạch.

Sau đó, NN được tích hợp với EKF để ước lượng SOC. Mô hình kết hợp được đề xuất mang lại hiệu quả tốt nhất trong việc ước lượng độ chính xác với sai số nhỏ hơn 1%. Trong [22], điện áp ở trạng thái trước, SOC và dòng điện ở trạng thái hiện tại được sử dụng làm đầu vào và điện áp ở trạng thái hiện tại được coi là đầu ra để tìm ra một mô hình thích hợp được đào tạo bởi NN. Mô hình được đào tạo được chuyển đổi sang phương trình không gian trạng thái và sau đó SOC được ước lượng bằng cách sử dụng EKF. Phương pháp này rất hiệu quả trong việc phát triển một mô hình pin về tốc độ và độ chính xác.



Hình 3. Cấu trúc mạng Neural nhiều lớp

2.3.2. Thuật toán di truyền (GA)

Thuật toán di truyền (GA) đã được áp dụng thành công trong lĩnh vực kỹ thuật, vật lý, toán học để xác định các tham số mô hình tối ưu của một hệ phi tuyến. Chức năng cơ bản là biến đổi các tham số theo cách hiệu quả nhất để nâng cao hiệu quả của hệ thống. Zheng [23] đề xuất một giả thuyết biểu đồ điện áp pin sạc để ước lượng dung lượng của bộ pin LiFePO₄ bằng cách sử dụng một mô hình tương đương đơn giản thể hiện mối liên hệ giữa

điện áp và dung lượng. GA được sử dụng để tìm tham số tối ưu. Mô hình được đánh giá bằng cách sử dụng bốn pin LiFePO₄ được ghép nối song song và các báo cáo cho thấy sai lệch dưới 1%. Xu [24] đã ước lượng SOC dựa trên mô hình RC bậc một của pin lithium-ion bằng việc kết hợp phương pháp đếm coulomb và phương pháp ước lượng SOC dựa trên mô hình. Các thông số pin được tối ưu hóa bằng cách sử dụng GA. Mô hình đề xuất được xác thực bằng cách sử dụng các chu kỳ hoạt động khác nhau và các báo cáo thể hiện ước lượng tốt hơn trong việc đánh giá độ chính xác với sai số dưới 1%.

Sai số của các phương pháp ước lượng SOC

Phương pháp	Tác giả	Tham khảo	Sai số
OCV	Truchot	[25]	Không xác định
KF	Yatsui	[26]	$\leq \pm 1,76\%$
EKF	Jiang	[27]	$\leq \pm 1\%$
UKF	Tiang	[28]	$\leq \pm 4\%$
NN	Affanni	[29]	$\leq \pm 4,6\%$
GA	Zheng	[30]	$\leq \pm 2\%$

Thuật toán machine learning giúp ước lượng chính xác SOC mà không cần tham số bên trong hệ thống pin, làm việc ngay cả đối với hệ thống phi tuyến, có thể làm việc trực tuyến. Tuy nhiên, phương pháp này đòi hỏi cần bộ xử lý nhanh, dung lượng lưu trữ lớn đủ để lưu trữ dữ liệu huấn luyện.

Bảng 1 tóm tắt kết quả ước lượng SOC khi sử dụng các phương pháp khác nhau.

3. THÁCH THỨC TRONG ƯỚC LƯỢNG SOC

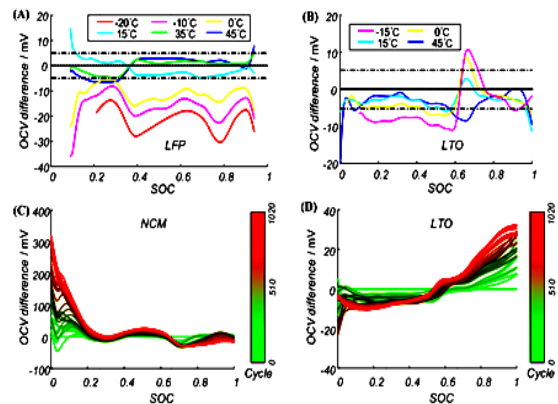
3.1. Đặc tính trễ của pin lithium-ion

Do pin lithium-ion có hiện tượng phân

cực, hiện tượng này sẽ dẫn đến các đặc tính trễ động của pin. Do đặc tính trễ động của pin, đường cong OCV của quá trình sạc và xả là khác nhau, như trong hình 1. Ngay cả đối với pin trong cùng một lần xả/sạc, mối quan hệ SOC-OCV ở nhiệt độ khác nhau và lão hóa ở các SOC khác nhau được thể hiện trong hình 4.

3.2. Lão hóa pin

Do lão hóa pin, SOC không thể ước lượng chính xác. Suy giảm điện trở và điện dung bên trong là những yếu tố chính dẫn đến lão hóa pin. Nguyên nhân lão hóa chính của pin li-ion là sự phân hủy xen kẽ chất điện phân, lắng đọng ở cực dương, hòa tan kim loại từ cực dương, mất vật liệu hoạt động và mạ lithium [31].



Hình 4. Mối quan hệ OCV-SOC phụ thuộc vào nhiệt độ và độ lão hóa của pin lithium-ion

3.3. Cân bằng các cell pin

Mất cân bằng giữa các cell pin có thể dẫn đến sự thiếu chính xác của ước lượng SOC. Các cell pin trong xe điện được nối tiếp để cung cấp điện áp cao, kết nối song song để cung cấp công suất cao. Mỗi tế bào có các đặc tính hóa học và sản xuất riêng, có thể khác nhau trong khi sạc và

xả. Trong quá trình sạc, một cell pin có thể dễ dàng đạt đến mức sạc đầy nhanh chóng do độ lão hóa lớn và có thể gây nguy hiểm. Tương tự như vậy, một cell pin có thể bị quá tải nếu nó bị xả quá tải liên tục trong khi các tế bào còn lại đạt mức xả hoàn toàn. Quá tải trong pin lithium-ion gây ra sự biến dạng, rò rỉ, tăng áp suất, dẫn đến cháy nổ của các cell pin. Mặt khác, xả quá mức có thể rút ngắn vòng đời, do dòng điện quá cao và xả quá thường xuyên [32]. Hơn nữa, một sự mất cân bằng có thể xảy ra do sạc lặp đi lặp lại và xả làm giảm công suất và tuổi thọ của các cell pin [33].

4. KẾT LUẬN

Bài viết mô tả sự phát triển của ước lượng SOC và các thuật toán ước lượng SOC

khác nhau. Việc phát triển và triển khai hệ thống quản lý pin EVs với ước lượng SOC cho xe điện là một thách thức lớn do các phản ứng điện hóa phức tạp và suy giảm hiệu suất gây ra bởi nhiều yếu tố. Đặc tính trễ động của pin, tự xả, nhiệt độ môi trường, lão hóa pin và mất cân bằng tế bào là những yếu tố làm ảnh hưởng đến độ chính xác của các phương pháp ước lượng SOC. Từ đó, bài viết này đã đem đến một cách nhìn tổng quan nhất giúp cho các nhà khoa học và doanh nghiệp có thể chọn lựa hướng nghiên cứu phương pháp ước lượng SOC phù hợp cho từng đối tượng nhất định. Với sự phát triển của dữ liệu lớn hiện nay và sự cần thiết của ước lượng trực tuyến thì phương pháp sử dụng trí tuệ nhân tạo, mạng Neural đang là xu hướng phát triển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Daud MZ, Mohamed A, Hannan MA. An improved control method of battery energy storage system for hourly dispatch of photovoltaic power sources. *Energy Convers Manag* 2013.
- [2] Manzetti S, Mariasiu F. Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2015.
- [3] Conte FV. Battery and battery management for hybrid electric vehicles: a review. *Elektro Und Inf* 2006.
- [4] Scrosati B, Garche J. Lithium batteries: Status, prospects and future. *J Power Sources* 2010.
- [5] Watrin N, Blunier B, Miraoui A. Review of adaptive systems for lithium batteries State-of Charge and State-of-Health estimation. 2012 IEEE Transp Electrif Conf Expo, IEEE 2012.
- [6] Yang N, Zhang X, Shang B, Li G. Unbalanced discharging and aging due to temperature differences among the cells in a lithium-ion battery pack with parallel combination. *J Power Sources* 2016.
- [7] Zhang, C.; Li, K.; Pei, L.; Zhu, C. An integrated approach for real-time model-based state-of charge estimation of lithium-ion batteries. *J. Power Sources* 2015.
- [8] Zheng, Y.; Ouyang, M.; Han, X.; Lu, L.; Li, J. Investigating the error sources of the online state of charge estimation methods for lithium-ion batteries in electric vehicles. *J. Power Sources* 2018.

- [9] Dong T, Li J, Zhao F, Yi Y, Jin Q. Analysis on the influence of measurement error on state of charge estimation of LiFePO₄ power Battery. ICMREE2011 – Proc 2011 Int Conf Mater Renew Energy Environ 2011.
- [10] Tang X, Wang Y, Chen Z. A method for state-of charge estimation of LiFePO₄ batteries based on a dual-circuit state observer. J Power Sources 2015.
- [11] Zheng L, Zhang L, Zhu J, Wang G, Jiang J. Co Estimation of state-of-charge, capacity and resistance for lithium-ion batteries based on a high-fidelity electrochemical model. Appl Energy 2016.
- [12] Roscher MA, Sauer DU. Dynamic electric behavior and open-circuit-voltage modeling of LiFePO₄-based lithium ion secondary batteries. J Power Sources 2011.
- [13] Xu L, Wang J, Chen Q. Kalman filtering state of charge estimation for battery management system based on a stochastic fuzzy neural network battery model. Energy Convers Manag 2012.
- [14] Ting TO, Man KL, Lim EG, Leach M. Tuning of Kalman Filter Parameters via Genetic Algorithm for State-of-Charge Estimation in Battery Management System; 2014.
- [15] Urbain M, Rael S. State estimation of a lithium ion battery through kalman filter. Conference 2007 PESC.
- [16] Hu X, Sun F, Zou Y. Comparison between two model-based algorithms for Li-ion battery SOC estimation in electric vehicles. Simul Model Pract Theory 2013.
- [17] Plett GL. Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPBbased HEV battery packs. J Power Sources 2004.
- [18] Chen Z, Fu Y, Mi CC. State of charge estimation of lithium-ion batteries in electric drive vehicles using extended Kalman filtering. IEEE Trans Veh Technol 2013.
- [19] Mastali M, Vazquez-Arenas J, Fraser R, Fowler M, Afshar S, Stevens M. Battery state of the charge estimation using Kalman filtering. J Power Sources 2013.
- [20] He W, Williard N, Chen C, Pecht M. State of charge estimation for Li-ion batteries using neural network modeling and unscented Kalman filter-based error cancellation. Int J Electr Power Energy Syst 2014.
- [21] Chen Z, Qiu S, Masrur MA, Murphey YL. Battery state of charge estimation based on a combined model of extended Kalman filter and neural networks. 2011 Int Jt Conf Neural Netw 2011.
- [22] Charkhgard M, Farrokhi M. State-of-charge estimation for lithium-ion batteries using neural networks and EKF. IEEE Trans Ind Electron 2010.
- [23] Zheng Y, Lu L, Han X, Li J, Ouyang M. LiFePO₄ battery pack capacity estimation for electric vehicles based on charging cell voltage curve transformation. J Power Sources 2013.
- [24] Xu J, Cao B, Chen Z, Zou Z. An online state of charge estimation method with reduced prior battery testing information. Int J Electr Power Energy Syst 2014.
- [25] Truchot C, Dubarry M, Liaw BY. State-of-charge estimation and uncertainty for lithium-ion battery strings. Appl Energy 2014.
- [26] Yatsui MW, Bai H. Kalman filter based state-of charge estimation for lithium-ion batteries in hybrid electric vehicles using pulse charging. Veh Power Propuls Conf (VPPC), 2011 IEEE 2011.
- [27] Jiang C, Taylor A, Duan C, Bai K. Extended Kalman Filter based battery state of charge(SOC) estimation for electric vehicles. 2013 IEEE Transp Electr Conf Expo Components, Syst Power Electron - From Technol to Bus Public Policy, ITEC 2013.

- [28] Tian Y, Xia B, Sun W, Xu Z, Zheng W. A modified model based state of charge estimation of power lithium-ion batteries using unscented Kalman filter. J Power Sources 2014.
- [29] Affanni A, Bellini A, Concarì C, Franceschini G, Lorenzani E, Tassoni C. EV battery state of charge: neural network based estimation. IEEE International Electr Mach Drives Conference, vol. 2, p. 684–688; 2003.
- [30] Zheng Y, Lu L, Han X, Li J, Ouyang M. LiFePO₄ battery pack capacity estimation for electric vehicles based on charging cell voltage curve transformation. J Power Sources 2013.
- [31] Wu, C.; Zhu, C.; Ge, Y.; Zhao, Y. A review on fault mechanism and diagnosis approach for Li Ion batteries. J. Nanomater. 2015.
- [32] Kim J, Shin J, Chun C, Cho BH. Stable configuration of a li-ion series battery pack based on a screening process for improved voltage/SOC balancing. IEEE Trans Power Electron 2012.
- [33] Bragard M, Soltan N, Thomas S, De Doncker RW. The balance of renewable sources and user demands in grids: power electronics for modular battery energy storage systems. IEEE Trans Power Electron 2010.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đỗ Ngọc Quý tốt nghiệp đại học chuyên 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 chính: điện tử công suất và quản lý năng lượng cho xe điện.



Tác giả Nguyễn Kiên Trung tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội chuyên ngành điều khiển và tự động hóa năm 2008; nhận bằng Thạc sĩ cùng chuyên ngành vào năm 2011; năm 2016 nhận bằng Tiến sĩ tại Viện công nghệ Shibaura Tokyo, Nhật Bản với đề tài nghiên cứu về hệ thống sạc không dây cho ô tô điện; tiếp tục nghiên cứu sau tiến sĩ đến năm 2017. Hiện nay tác giả là giảng viên Bộ môn Tự động hóa công nghiệp - Viện Điện- Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; là thành viên của IEEE, IEE of Japan.

Lĩnh vực nghiên cứu chủ yếu bao gồm 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.

