

## ƯỚC LƯỢNG SoC CỦA PIN LITHIUM-ION SỬ DỤNG BỘ QUAN SÁT BÌNH PHƯƠNG CỰC TIỂU HỒI QUY

Nguyễn Vĩnh Thụy\*, Nguyễn Văn Chí

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

### TÓM TẮT

Bài báo đề cập đến vấn đề ước lượng dung lượng SoC (state of charge) của modul pin Lithium-ion dựa trên bộ quan sát bình phương cực tiểu hồi quy. Modul pin Lithium-ion được biểu diễn bằng mô hình RC bậc nhất, có tham số thay đổi. Các tham số của mô hình này được cập nhật theo thời gian bằng cách giải nghiệm của một bài toán hồi quy bình phương cực tiểu, dựa trên các tham số xác định được của mô hình, SoC sẽ được ước lượng online bằng cách sử dụng quan sát trạng thái Luenberger. Kết quả mô phỏng cho thấy các tham số của modul pin Lithium-ion được cập nhật khá chính xác theo giá trị thực, sai số ước lượng SoC bằng bộ quan sát nằm trong khoảng  $\pm 0,5\%$  trong điều kiện có nhiễu ồn trắng ảnh hưởng đến dòng điện và điện áp đo được của pin.

**Từ khóa:** Hệ phi tuyến, ước lượng SoC, pin Lithium-Ion, nhận dạng tham số mô hình, quan sát trạng thái

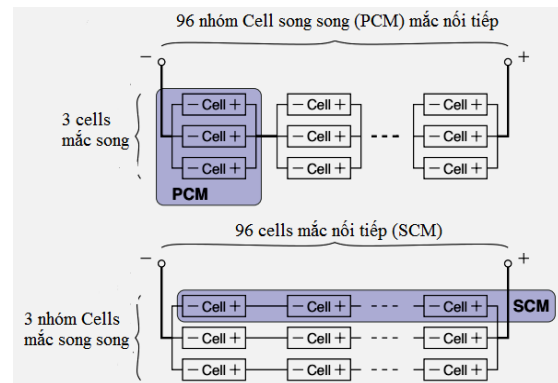
### ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, pin Lithium-ion có tuổi thọ dài hơn, khối lượng nhẹ, thể tích nhỏ và cho phép sạc với tốc độ nhanh hơn đã được ứng dụng nhiều hơn trong thực tiễn. Pin Lithium-ion được dùng rộng rãi trong các thiết bị điện tử (máy tính, điện thoại, các thiết bị gia đình, thiết bị lưu trữ điện năng trong các ngành sử dụng năng lượng tái tạo v.v), đặc biệt trong sự phát triển hiện nay của ngành ô tô điện. Pin Lithium-ion đang được nghiên cứu và áp dụng cho các ô tô điện lai HEV (Hybrid- Electric Vehicle), PHEV (plug-in Hybrid Electric Vehicle), E-REV (Extended Range Electric Vehicle), EV (Electric Vehicle). Các ứng dụng cho xe điện đòi hỏi nguồn pin phải cung cấp công suất linh hoạt, an toàn.

Các modul pin Lithium-ion được thiết kế theo từng khối, bằng cách mắc song song, nối tiếp hoặc tổ hợp để đảm bảo yêu cầu về mặt công suất cũng như điện áp [1], xem Hình 1.

Vấn đề điều khiển quá trình xả, nạp, cung cấp công suất cho tải của các modul pin sao cho đạt hiệu suất tối ưu, kéo dài tuổi thọ, cân bằng công suất giữa các cell, tránh quá nhiệt, quá nạp và quá xả là một bài toán điều khiển phức tạp và được thực hiện bằng một hệ thống

riêng được biết đến là hệ BMS. Hệ thống BMS là một hệ thống kết nối tất cả các thành phần của modul pin với bộ vi điều khiển và tải, chức năng của BMS được tóm tắt như [1], [2], xem Hình 2.



Hình 1. Các Modul Lithium - Ion

- Đo và điều khiển điện áp: đo điện áp, dòng điện, nhiệt độ, điều khiển các chuyển mạch, nạp, phát hiện lỗi, bảo vệ quá nhiệt

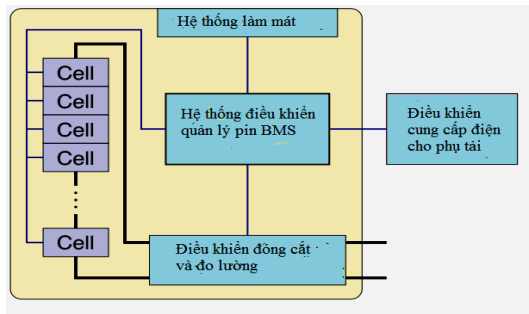
Bảo vệ: quá nạp, quá xả, quá dòng, ngắn mạch, quá nhiệt v.v.

- Giao diện: ước lượng giới hạn sử dụng, thời gian, công suất còn được sử dụng bao lâu, truyền thông, ghi lại dữ liệu, báo cáo v.v

- Quản lý quá trình làm việc: ước lượng SoC, tính toán giới hạn công suất, cân bằng giữa các cell.

- Chẩn đoán: Bảo vệ quá tải, ước lượng SoH, ước lượng SoL v.v.

\* Tel: 0912 737691, Email: nguyenvinhthuy-tdh@tmut.edu.vn



**Hình 2.** Cấu trúc một hệ thống BMS

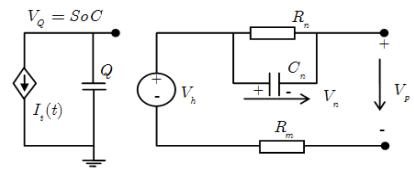
Ví dụ như đối với ô tô điện thì hệ thống BMS có thể xác định được xe có thể đi được bao xa, tính toán bao lâu thì pin có thể nạp đầy, SoC là tỷ số của dung lượng pin hiện có trên tổng số dung lượng danh định của pin. Vì nó không thể đo trực tiếp cho nên các nghiên cứu tập trung vào ước lượng SoC với các thông số đo được như điện áp, dòng điện, trở kháng và nhiệt độ của pin. Phương pháp dễ dàng nhất để xác định SoC là phương pháp đếm Coulomb [2], tuy nhiên phương pháp này cần ước lượng chính xác trạng thái đầu của SoC, điều này trong thực tế khó thực hiện. Các phương pháp khác như phương pháp OCV, phương pháp này cần một khoảng thời gian dài để đo chính xác OCV [3]. Các phương pháp dựa trên quan sát trạng thái Luenberger, dùng bộ lọc Kalman và Kalman mở rộng, Kalman thích nghi và bộ quan sát trượt có thể khắc phục được những nhược điểm của phương pháp đếm Coulomb và OCV, tuy nhiên có nhược điểm là phụ thuộc vào nhiệt độ của Pin, nhiều khi đo dòng điện và điện áp. Tùy theo từng loại mà các phương pháp có những ưu nhược điểm về độ chính xác, sự ảnh hưởng bởi các tham số khác, khối lượng tính toán v.v [4] [5] [6] [7] cũng khác nhau. Cùng xu hướng đó, bài báo này nghiên cứu một phương pháp sử dụng bộ quan sát trạng thái để ước lượng SoC. Với mục đích tăng độ chính xác mô hình dùng để ước lượng SoC có các tham số được cập nhật online dựa trên giải bài toán hồi quy. Kết quả mô phỏng trong nghiên cứu cho thấy phương pháp đạt được độ chính xác khả quan trong cập nhật tham số và ước lượng SoC trong điều kiện điện áp và dòng điện chịu ảnh hưởng của nhiễu. Nội dung bài báo trình bày về xây dựng mô hình pin

Lithium-ion, ước lượng SoC bằng quan sát, cách cập nhật tham số của pin bằng phương pháp hồi quy, các kết quả mô phỏng, kết luận và một số hướng nghiên cứu tiếp theo.

**XÂY DỰNG MÔ HÌNH PIN LITHIUM - ION VÀ ƯỚC LƯỢNG SoC**

**Xây dựng mô hình mạch điện tương đương của pin Lithium-Ion**

Việc xây dựng mô hình mạch điện tương đương của pin Lithium-ion là một bài toán khó. Khi bậc của mô hình tăng lên để đảm bảo độ chính xác thì thời gian tính toán sẽ tăng [8], [9]. Để giải quyết vấn đề này bài báo này sử dụng mô hình RC được cập nhật tham số online để bù lại sai lệch mô hình so với thực tế, mô hình được biểu diễn trên Hình 3. Trong đó  $I_t(t)$  là dòng tải,  $V_q$  là điện áp biểu diễn SoC,  $V_h$  là điện áp hở mạch,  $V_n, V_p$  lần lượt là điện áp phân cực và điện áp hai đầu cực của pin,  $R_m$  là điện trở thuần, nhánh  $R_n, C_n$  song song biểu diễn động học quá trình quá độ của pin dưới sự thay đổi của dòng tải,  $Q$  là dung lượng của pin.



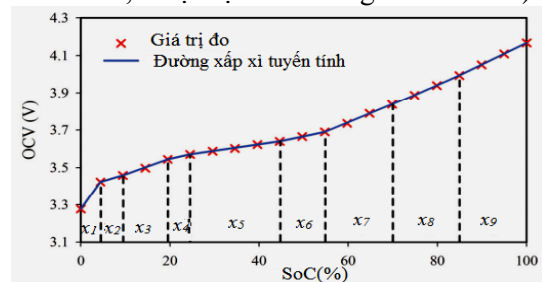
**Hình 3.** Mô hình RC bậc 1 của pin Lithium – Ion

Phương trình mô tả mạch như sau:

$$C_n R_n \frac{dV_n}{dt} + V_n = I_t R_n \tag{1}$$

$$V_h - V_n - I_t R_m = V_p \tag{2}$$

Qua các nghiên cứu, quan hệ giữa điện áp hở mạch của pin OCV và SoC được biểu diễn trên Hình 4, (với pin có dòng danh định là 2200mAh, nhiệt độ môi trường là  $22 \pm 1$  °C)



**Hình 4.** Quan hệ giữa SoC và OCV và việc chia thành các phân đoạn tuyến tính

Ta thấy rằng quan hệ giữa SoC và OCV là phi tuyến, để đơn giản quan hệ này được chia thành các phân đoạn tuyến tính, mỗi đoạn được xấp xỉ bằng phương trình tuyến tính sau:

$$V_h = g(x) = d_0 + d_1 x \quad (3)$$

trong đó:  $x$  là SoC,  $d_0, d_1$  là các hệ số đa thức được xác định bởi phương pháp xấp xỉ đường cong được thể hiện trên Bảng 1.

**Bảng 1.** Các hệ số của đa thức của các đoạn tuyến tính

Đoạn	$x_1$	$x_2$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
$d_0$	3.2767	3.3926	3.3791	3.4407	3.4863
$d_1$	3.3262	0.7035	0.8461	0.5306	0.3448
Đoạn	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	
$d_0$	3.4196	3.1517	3.1008	3.0158	
$d_1$	0.4941	0.9836	1.0516	1.1518	

**Nhận dạng online các tham số của mô hình mạch điện tương đương của pin Lithium**

Đặt  $V_{ph} = V_p - V_h$ , hàm truyền của (1) là:

$$\frac{V_{ph}(s)}{I_t(s)} = -\frac{R_m + R_n + R_m R_n C_n s}{1 + R_n C_n s} \quad (4)$$

Giả thiết rằng  $V_h$  được ước lượng bằng bộ quan sát SoC, bộ quan sát này sẽ được trình bày ở phần tiếp theo. Áp dụng phép biến đổi lưỡng tuyến tính  $s = \frac{2(q-1)}{T_s} \frac{1}{q+1}$  (5)

vào (4) ta có 
$$\frac{V_{ph}(q^{-1})}{I_t(q^{-1})} = \frac{b_0 + b_1 q^{-1}}{1 + a_1 q^{-1}} \quad (6)$$

với  $q$  là toán tử rời rạc hóa. Các hệ số  $a_1, b_0, b_1$  được xác định bằng công thức (7), với  $T_s$  là chu kỳ trích mẫu của phần cứng.

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{T_s - 2R_n C_n}{T_s + 2R_n C_n} \\ \frac{(R_m T_s + R_n T_s + 2R_m R_n C_n)}{T_s + 22R_n C_n} \\ \frac{(R_m T_s + R_n T_s - 2R_m R_n C_n)}{T_s + 22R_n C_n} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Biểu diễn (6) trên miền thời gian rời rạc ta có

$$V_{ph,j} = \theta_j^T \varphi_j \quad (8)$$

trong đó:

$$\theta_j = [a_{1,j} \quad b_{0,j} \quad b_{1,j}]^T, \varphi_j = [-V_{ph,j-1} \quad I_{t,k} \quad I_{t,k-1}]^T$$

như vậy hệ đã trở thành nhận dạng được thông qua mô hình hồi quy (8). Khi giải được

mô hình hồi quy này thì các tham số của mô hình mạch điện tương đương của pin được xác định thông qua công thức sau đây

$$\begin{bmatrix} R_m & R_n & C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 - b_0 & 2 \frac{a_1 b_0 - b_1}{1 - a_1^2} & \frac{1 - a_1^2}{4} \frac{T_s}{a_1 b_0 - b_1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Các tham số của (9) được xác định thông qua cập nhật online sẽ được nói tới ở phần sau.

**Thiết kế bộ quan sát SoC**

Bộ quan sát được xây dựng dựa trên mô hình của pin, động học của SoC được viết là [5]

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\frac{\eta I_t(t)}{Q} \quad (10)$$

trong đó  $\eta$  là hệ số coulomb. Định nghĩa vec tơ trạng thái  $z = [V_n \quad x]$  và đầu ra của hệ là  $V_p$ , mô hình trạng thái của động học pin được mô tả bởi :

$$\begin{cases} \frac{dz(t)}{dt} = A z(t) + B I_t(t) \\ V_p(t) = C z(t) + D I_t(t) + r_0 \end{cases} \quad (11)$$

trong đó

$$A = \begin{bmatrix} -1/R_n C_n & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1/C_n \\ -\eta/Q \end{bmatrix}, D = -R_m$$

$$C = \begin{bmatrix} -1 & d_1 \end{bmatrix}_{x_j = \hat{x}_j}, r_0 = d_0 \Big|_{x_j = \hat{x}_j}$$

Bằng cách tuyến tính hóa quan hệ SoC và OCV ta thấy rằng động học phi tuyến của pin lithium-ion được biểu diễn dưới dạng mô hình tham số hằng. Hệ có thể dễ dàng quan sát được. Cập nhật của vec tơ trạng thái được viết bằng bộ quan sát liên tục

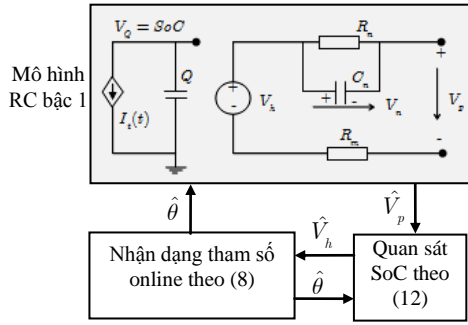
$$\begin{cases} \frac{d\hat{z}(t)}{dt} = A \hat{z}(t) + B I_t(t) + L [V_p(t) - \hat{V}_p(t)] \\ \hat{V}_p(t) = C \hat{z}(t) + D I_t(t) + r_0 \end{cases} \quad (12)$$

trong đó:  $L$  là ma trận quan sát, ma trận này được xác định bằng phương pháp áp đặt điểm cực với hai điểm cực âm tùy chọn  $p_1, p_2$ . Theo công thức Ackerman,  $L$  được xác định là:

$$L = [A^2 + p_1 + p_2 \quad A + p_1 p_2 I] \begin{bmatrix} C \\ CA \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Hình 5 biểu diễn cấu trúc của bộ quan sát SoC được đưa ra trong nghiên cứu này.

Để chuyển mô hình (12) sang miền rời rạc khi thực thi bằng vi xử lý ta có thể áp dụng phương pháp trong [12].



Hình 5. Cấu trúc bộ quan sát SoC

**NHẬN DẠNG THAM SỐ MÔ HÌNH CỦA PIN LITHIUM - ION**

Để ước lượng SoC của pin, ta cần giải phương trình hồi quy (8) sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu hồi quy. Giả thiết các tín hiệu dòng điện và điện áp đo được bị lẫn nhiễu đo lường, được biểu diễn như sau:

$$\tilde{I}_{t,j} = I_{t,j} + \Delta I_{t,j}, \tilde{V}_{t,j} = V_{t,j} + \Delta V_{t,j} \quad (14)$$

với  $\Delta I_{t,j}, \Delta V_{t,j}$  lần lượt là nhiễu ảnh hưởng đến phép đo dòng điện và điện áp. Nhiễu giả thiết là có kỳ vọng bằng 0 và có phương sai lần lượt là  $\sigma_i^2, \sigma_v^2$ , không có tương quan với giá trị thực của dòng điện và điện áp, và không tương quan với nhau. Đầu ra (8) được quan sát là:

$$\begin{cases} \tilde{\varphi}_j = \varphi_j + \Delta \varphi_j \\ \tilde{V}_{ph,j} = V_{p,j} + \Delta V_{p,j} - V_{h,j} = V_{ph,j} + \Delta V_{p,j} \end{cases} \quad (15)$$

trong đó  $\Delta \varphi_j$  là véc tơ nhiễu của đầu vào hệ. Ta cần tìm các ma trận cực tiểu  $\Delta \Gamma_j, \Delta V_j$  và véc tơ tham số ước lượng  $\hat{\theta}_j$  sao cho thỏa mãn

$$\tilde{V}_{ph,j} + \Delta V_j = \hat{\theta}_j^T \tilde{\Gamma}_j + \Delta \Gamma_j \quad (16)$$

trong đó

$$\tilde{V}_{ph,j} = [\tilde{V}_{ph,j}, \tilde{V}_{ph,j-1}, \dots, \tilde{V}_{ph,1}], \tilde{\Gamma}_j = [\tilde{\varphi}_j, \tilde{\varphi}_{j-1}, \dots, \tilde{\varphi}_1] \quad (17)$$

Sử dụng ma trận trọng số đơn vị, bài toán cập nhật tham số của pin được chuyển thành bài toán cực tiểu chuẩn Frobenius sau đây

$$\hat{\theta}_j = \text{argminimize} \|\Delta \Gamma_j | \Delta V_j\|_F \quad (18)$$

Theo tài liệu [9], nghiệm của (18) được xác định bằng công thức

$$\hat{\theta}_j = - \frac{[\alpha_j]_{1:2N+1}}{[\alpha_j]_{2N+2}}, N = 1 \quad (19)$$

trong đó  $N$  là bậc của mô hình mạch RC

tương đương, ở đây là 1,  $\alpha_j$  là véc tơ riêng ứng với giá trị riêng nhỏ nhất của ma trận tương quan:  $\bar{R}_j = E[\tilde{\varphi}_j \tilde{\varphi}_j^T] \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$  (20)

với  $\tilde{\varphi}_j$  là véc tơ liên hợp được biểu diễn là

$$\tilde{\varphi}_j = [\tilde{\varphi}_j^T \quad \tilde{V}_{ph,j}^T]^T \in \mathbb{R}^{4 \times 1} \quad (21)$$

Chú ý  $\bar{R}_j$  có thể được biểu diễn dưới dạng

$$\bar{R}_j = \begin{bmatrix} \tilde{R}_j & b_j \\ b_j^T & c_j \end{bmatrix} \quad (22)$$

với  $\tilde{R}_j = E[\tilde{\varphi}_j \tilde{\varphi}_j^T], b_j = E[\tilde{\varphi}_j \tilde{V}_{ph,j}], c_j = E[\tilde{V}_{ph,j} \tilde{V}_{ph,j}]$

Để xác định  $\alpha_j$  ta cần cực tiểu hóa hàm sau

$$\mathfrak{S}_j \bar{R}_j, \alpha_j = \frac{\alpha_j^T \bar{R}_j \alpha_j}{\alpha_j^T T \alpha_j} \quad (23)$$

với  $T = \text{diag} \chi^{-1/2} \quad 1 \quad 1 \quad \chi^{-1/2}$ ,  $\chi = \sigma_v^2 / \sigma_i^2$ . Định nghĩa tiêu chuẩn ràng buộc RQ  $\alpha_j = [\hat{\theta}_j^T, -1]^T$ , thì (23) có thể được viết là [10],[11].

$$\mathfrak{S}_j \bar{R}_j, \hat{\theta}_j = \frac{[\hat{\theta}_j^T, -1] \bar{R}_j [\hat{\theta}_j^T, -1]^T}{[\hat{\theta}_j^T, -1] T [\hat{\theta}_j^T, -1]^T} \quad (24)$$

Để giải quyết bài toán cực tiểu hóa ở trên, sử dụng phương pháp tìm kiếm gradient với véc tơ tham số được cập nhật bằng công thức:

$$\hat{\theta}_j = \hat{\theta}_{j-1} + \rho_j \tilde{\varphi}_j \quad (25)$$

trong đó  $\rho_j$  là hệ số khuếch đại thích nghi mà có thể xác định được bằng cách giải phương

$$\text{trình sau: } \frac{\partial R_j \hat{\theta}_{j-1} + \rho_j \tilde{\varphi}_j, \alpha_j}{\partial \rho_j} = 0 \quad (26)$$

Bằng cách kết hợp (22), (24) và (26), ta nhận được phương trình sau :

$$\begin{aligned} & [\tilde{\varphi}_j^T, 0] \bar{R}_j [\hat{\theta}_{j-1}^T + \rho_j \tilde{\varphi}_j, -1]^T [\hat{\theta}_{j-1}^T + \rho_j \tilde{\varphi}_j, -1] T \\ & [\hat{\theta}_{j-1}^T + \rho_j \tilde{\varphi}_j, -1]^T - [\hat{\theta}_{j-1}^T + \rho_j \tilde{\varphi}_j, -1]^T \bar{R}_j \\ & [\hat{\theta}_{j-1}^T + \rho_j \tilde{\varphi}_j, -1]^T [\tilde{\varphi}_j^T, 0] T [\hat{\theta}_{j-1}^T + \rho_j \tilde{\varphi}_j, -1]^T = 0 \end{aligned} \quad (27)$$

Phương trình (27) có thể biểu diễn đơn giản dưới dạng toàn phương:

$$f_{1,j} \rho_j^2 + f_{2,j} \rho_j + f_{3,j} = 0 \quad (28) \quad \text{với các hệ số}$$

$$\begin{aligned} f_{1,j} &= \lambda_{2,j} h_j^T \tilde{\varphi}_j - \lambda_{3,j} [h_j^T \hat{\theta}_{j-1} - \tilde{\varphi}_j^T b_j] \\ f_{2,j} &= \chi + \lambda_{1,j} h_j^T \tilde{\varphi}_j - q_j \lambda_{3,j} \\ f_{3,j} &= \chi + \lambda_{1,j} [h_j^T \hat{\theta}_{j-1} - \tilde{\varphi}_j^T b_j] - q_j \lambda_{2,j} \end{aligned} \quad (29)$$

trong đó:

$$h_j = \tilde{R}_j \tilde{\varphi}_j, q_j = [\hat{\theta}_{j-1}^T, -1] \tilde{R}_j [\hat{\theta}_{j-1}^T, -1]^T \quad (30)$$

$$\lambda_{1,j} = \hat{\theta}_{j-1}^T T_1 \hat{\theta}_{j-1}, \lambda_{2,j} = \tilde{\varphi}_j^T T_1 \tilde{\varphi}_j, \lambda_{3,j} = \tilde{\varphi}_j^T T_1 \tilde{\varphi}_j$$

và  $T_1 = [T]_{1,3,1,3}$ ,  $\rho_j$  xác định bằng cách giải

$$\text{phương trình (28)} \quad \rho_j = \frac{-f_2 + \sqrt{f_2^2 - 4f_1f_3}}{2f_1} \quad (31)$$

Các ma trận hiệp phương sai được xác định là

$$\tilde{R}_j = \left(1 - \frac{1}{\beta_j}\right) \tilde{R}_{j-1} + \frac{\tilde{\varphi}_j \tilde{\varphi}_j^T}{\beta_j}, \tilde{R}_j = \left(1 - \frac{1}{\beta_j}\right) \tilde{R}_{j-1} + \frac{\tilde{\varphi}_j \tilde{\varphi}_j^T}{\beta_j} \quad (32)$$

$$b_j = \left(1 - \frac{1}{\beta_j}\right) b_{j-1} + \frac{\tilde{\varphi}_j \tilde{V}_{pb,j}}{\beta_j}$$

với  $\beta_j = \sum_{i=1}^j \tau^{j-i} = 1 - \tau^j / 1 - \tau$ ,  $\tau$  là một hệ số trọng số tùy chọn.

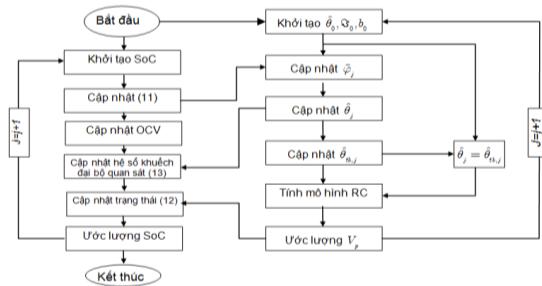
Với các tham số đã tính toán ở trên,  $\mathfrak{S}_j$  trong công thức (24) được viết thành

$$\mathfrak{S}_j = \frac{q_j + 2\rho_j [h_j^T \hat{\theta}_{j-1} - \tilde{\varphi}_j^T b_j] + \rho_j^2 \tilde{\varphi}_j^T h_j}{\lambda_{1,j} + \chi} \quad (33)$$

Luật cập nhật giá trị trung bình trọng số:

$$\hat{\theta}_{th,j} = 1 - 1/\beta_j \hat{\theta}_{th,j-1} + \hat{\theta}_j / \beta_j \quad (34)$$

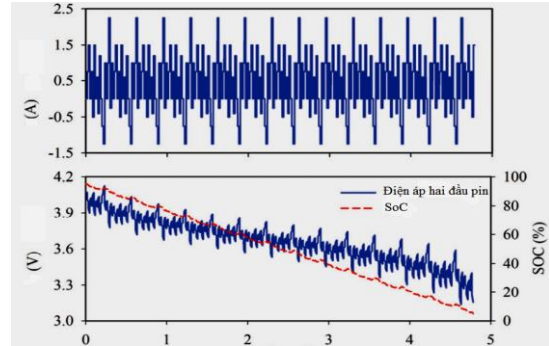
Tổng kết thuật toán được mô tả trên Hình 6.



**Hình 6.** Thuật toán ước lượng SoC của Pin Lithium-Ion và cập nhật tham số mô hình

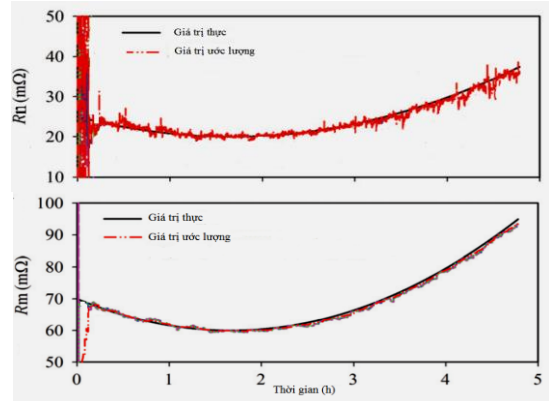
### MÔ PHỎNG

Với giả thiết rằng các giá trị của  $R_n, R_m$  thay đổi theo thời gian,  $C_n$  là hằng số. Dòng điện được thay đổi theo dạng xung, dòng điện, điện áp, SoC được trích mẫu với tần số 1 Hz hay  $T_s = 1s$  như Hình 7, thời gian mô phỏng là 5 giờ. Pin đầu tiên được nạp đầy tới ngưỡng là 4.2V, khi kết thúc quá trình nạp SoC được định nghĩa là 100%, sau 5 giờ xả với 20 chu kỳ dòng tải dạng xung, điện áp đạt ngưỡng dưới 3 V, tại đó SoC được định nghĩa là 0%. Giả thiết nhiễu tác động vào dòng điện và điện áp có dạng ồn trắng với phương sai  $\sigma_i^2 = 1mA^2, \sigma_v^2 = 1mV^2$ .

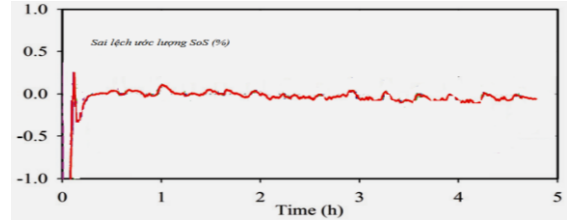


**Hình 7.** Dạng dòng điện, điện áp và SoC

Kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 8. Tham số mô phỏng được khởi tạo một cách ngẫu nhiên như sau:  $R_n = R_m = 10m\Omega$ ,  $C_n = 0.5kF$ ,  $SoC_0 = 60\%$ , hai điểm cực của bộ quan sát  $p_1 = -9.71, p_2 = -10.2$ .



**Hình 8.** Ước lượng các tham số của mô hình Pin



**Hình 9.** Sai lệch ước lượng SoC của pin

Các tham số  $R_n, R_m$  và  $C_n$  được nhận dạng khá sát với giá trị thực trong điều kiện có nhiễu đo dòng và áp. Bộ quan sát với giả thiết có nhiễu trong cả đầu vào và đầu ra của hệ đã thực hiện khá tốt chức năng loại bỏ sai lệch của SoC trong trường hợp có nhiễu. Rõ ràng phương pháp nghiên cứu trong bài báo này đã cho ước lượng các tham số khả quan chính xác trong khoảng thời gian ngắn với việc bù lại được sai lệch ước lượng ban đầu. Sai lệch ước lượng SoC trên Hình 9 đã chỉ ra rằng phương pháp này đã nhận được độ chính xác khá tốt.

## KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp sử dụng bộ quan sát có tham số được cập nhật online để ước lượng SoC cho pin Lithium-ion. Các tham số của mô hình pin được cập nhật sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu hồi quy. Kết quả mô cho thấy các tham số của modul pin Lithium-ion được cập nhật khá chính xác theo giá trị thực, sai số ước lượng SoC bằng bộ quan sát nằm trong khoảng  $\pm 0.5\%$  trong điều kiện có nhiễu ồn trắng có phương sai  $\sigma_i^2 = 1mA^2, \sigma_v^2 = 1mV^2$  ảnh hưởng đến dòng điện và điện áp đo được của pin. Vấn đề so sánh với các phương pháp khác, nghiên cứu sự ảnh hưởng của SoC và nhiệt độ của pin và tiến hành thực nghiệm là những hướng nghiên cứu tiếp theo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Gregory L. Plett, (2015), *Battery Management Systems, Volume 1: Battery Modeling, Volume 2: Equivalent Circuit Methods*, Artech House Publishers.
2. M. Charkhgard and M. Farrokhi (2010), "State-of-Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Using Neural Networks and EKF", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, pp. 4178-4187.
3. M. Shahriari and M. Farrokhi (2013), "Online state-of-health estimation of VRLA batteries using state of charge", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, pp. 191-202.
4. Haifeng Dai, Chenchen Yu (2016), *State of Charge Estimation for Lithium-ion Batteries Based on Stress Measurement*, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), IEEE.
5. Zheng Chen, Bing Xia, Chunting Chris Mi (2015), *A Novel State-of-Charge Estimation*

*Method for, Lithium-Ion Battery Pack of Electric Vehicles*, Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), IEEE.

7. Yebin Wang, Huazhen, Zafer Sahinoglu (2015), "Adaptive Estimation of the State of Charge for Lithium-Ion Batteries: Nonlinear Geometric Observer Approach", *IEEE Transactions on control on control systems technology*, Vol. 23, No. 3.
8. C. Zhang, L. Y. Wang, X. Li, W. Chen, G. G. Yin, and J. Jiang (2015), "Robust and adaptive estimation of state of charge for lithium-ion batteries" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, pp. 4948-4957.
9. X. Hu, J. Jiang, D. Cao, and B. Egardt (2016), "Battery health prognosis for electric vehicles using sample entropy and sparse Bayesian predictive modeling," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, pp. 2645-2656.
10. H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti, and M.Y. Chow, "Battery management system: an overview of its application in the smart grid and electric vehicles," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol.7 pp. 4-16, 2013.
11. G. L. Plett, "Recursive approximate weighted total least squares estimation of battery cell total capacity," *Journal of Power Sources*, vol. 196, pp. 2319-2331, 2011
12. R. Arablouei, S. Werner, and K. Doğançay, "Analysis of the gradient-descent total least-squares adaptive filtering algorithm," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 62, pp. 1256-1264, 2014.
13. Ioan Doré Landau, Gianluca Zito, "Digital Control Systems: Design, Identification and Implementation", Springer Science & Business Media, 2007.

## SUMMARY

## ESTIMATION OF LITHIUM - ION BATTERY STATE OF CHARGE WITH OBSERVER BASED ON MODEL PARAMETERS IDENTIFICATION

Nguyen Vinh Thuy\*, Nguyen Van Chi

University of Technology - TNU

The paper presents the estimation SoC for Lithium-Ion battery based on observer having parameters updated online. The model of Lithium-Ion battery is described by first order RC model with parameters varying over time. That parameters is updated by solving the recursive least squares, based on that the SoC is estimated by the Luenberger observer using the updated parameters. The simulations show that the Lithium-Ion battery model parameters is calculated accurately, the error of SoC estimation is actually  $\pm 0.5\%$ , the perturbations on both the system input and output, thus the identification bias is attenuated effectively.

**Key words:** *Nonlinear systems, SoC estimation, Lithium-Ion battery, model parameters identification, state observer.*

**Ngày nhận bài:** 05/02/2018; **Ngày phản biện:** 23/02/2018; **Ngày duyệt đăng:** 05/3/2018

\* Tel: 0912 737691, Email: nguyenvinhthuy-tdh@mut.edu.vn