

Nghiên cứu quá trình nạp nhanh ắc quy được sử dụng trên các loại xe ô tô điện và hybrid

ThS. TRẦN VĂN THOAN

ThS. LÊ ANH VŨ

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

TS. ĐÀM HOÀNG PHÚC

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt: Một trong những nhược điểm lớn nhất của xe điện hiện nay đó là thời gian nạp ắc quy. Bằng việc mô phỏng quá trình nạp với mô hình ắc quy hai phần tử, bài báo này nghiên cứu sự ảnh hưởng của kỹ thuật nạp tới thời gian nạp và hiệu suất năng lượng của ắc quy. Từ những kết quả đó đã rút ra một số kết luận nhằm giảm thời gian nạp của ắc quy nhưng vẫn đảm bảo được hiệu suất năng lượng cho ắc quy axit - chỉ sử dụng cho ô tô điện.

Abstract: The right charging technique for traction batteries enhances the battery life and provides higher battery efficiency. By using simple battery model (two elements equivalent circuit) the effect of charging technique to charging time and battery efficiency has been studied. Based on these results, some conclusion on reduce charging time and improving battery efficiency have been shown in this paper.

1. Giới thiệu

Ô tô điện là giải pháp tối ưu cho vấn đề năng lượng và môi trường nhưng giá thành ắc quy và thời gian nạp dài là hai yếu tố cản trở sự phát triển của nó. Nhằm giải quyết vấn đề này trên thế giới đã có nhiều giải pháp như:

Sử dụng công nghệ nano để cải tiến vật liệu chế tạo ắc quy Lithium nhằm nâng mật độ công suất của ắc quy Lithium lên ngang bằng với siêu tụ điện; áp dụng công nghệ nạp điện không dây, dùng dòng điện xoay chiều với tần số cao nối cuộn sơ cấp với nguồn và cuộn thứ cấp với tải giúp xe điện nạp được ngay cả khi đang chạy trên đường; kết hợp ắc quy với siêu tụ làm cho xe bus có thể được nạp nhanh chóng tại mỗi điểm dừng của xe. Với ắc quy chì - axit không bảo dưỡng 12V thường dùng phương pháp nạp dùng dòng điện không đổi - điện áp không đổi (CI-CV). Tuy nhiên, nhiệt độ của ắc quy sẽ tăng trong quá trình nạp, ảnh hưởng xấu đến các tế bào ắc quy. Vì vậy, trong quá trình nạp này cần thực hiện bù nhiệt độ cho ắc quy. Với ắc quy NIMH trong quá trình nạp nhanh thường tạo ra khí oxy ở bề mặt điện cực tạo ra áp suất cao thoát qua lỗ thông hơi mang theo chất điện phân và giảm tuổi thọ của ắc quy. Vì vậy, với loại ắc quy này thường sử dụng phương pháp nạp qua đêm (nạp chậm với dòng thấp cố định trong thời gian dài) hoặc nạp với dòng lớn tới khi nhiệt độ tăng cao sẽ chuyển sang nạp nhỏ giọt (dòng nạp rất thấp). Với ắc quy Lithium-ion, quá trình nạp gồm 2 giai đoạn nạp ổn dòng và nạp ổn áp. Khi nạp với dòng điện lớn sẽ làm

tăng nhiệt độ ắc quy, nhiệt độ quá cao sẽ có thể làm cho ắc quy bốc cháy hoặc phát nổ.

Các phương pháp trên dù đã giải quyết được các yêu cầu cơ bản khi nạp nhưng phương pháp nào cũng còn tồn tại các yếu tố ảnh hưởng tới tuổi thọ và thời gian nạp của ắc quy. Chính vì vậy, việc tính toán và tìm ra quy luật nạp tối ưu cần tìm hiểu kỹ hơn.

Nhằm đạt mục tiêu giảm thời gian nạp mà vẫn đảm bảo khả năng vận hành an toàn và nâng cao tuổi thọ của ắc quy, đề tài “Nghiên cứu quá trình nạp nhanh ắc quy được sử dụng trên các loại xe ô tô điện và hybrid” được thực hiện nhằm nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình nạp và đưa ra chế độ nạp tối ưu.

2. Mô hình mô phỏng ắc quy

2.1. Các thông số của ắc quy

2.1.1. Dung lượng của ắc quy

Dung lượng ắc quy là tổng lượng điện tích mà ắc quy có thể phóng ra được. Theo các tài liệu đã công bố dung lượng không phải là hằng số mà nó sẽ tỉ lệ nghịch với cường độ dòng điện phóng. Trong thực tế, để tính toán dung lượng của ắc quy thường sử dụng mô hình Peukert. Với mô hình này, tuy tính chính xác không cao ở dòng điện thấp, nhưng lại chính xác hơn ở dòng điện cao phù hợp với việc mô phỏng xe điện có dòng điện lớn.

Mô hình Peukert thể hiện mối quan hệ của dòng điện và dung lượng được cho bởi phương trình:

$$C_p = I^k T \quad (1)$$

Trong đó:

C_p - Dung lượng peukert

k - Một hằng số được gọi là hệ số peukert

T - Thời gian phóng hoặc nạp

Bằng phương pháp thực nghiệm hệ số Peukert được tính như sau:

$$k = \frac{(\log T_2 - \log T_1)}{(\log I_1 - \log I_2)} \quad (2)$$

Trong đó: T_1, T_2 - Thời gian phóng hoặc nạp

I_1, I_2 - Dòng phóng tại C_1 và C_2

2.1.2. Trạng thái của ắc quy

Để đánh giá trạng thái tích điện của ắc quy ta sử dụng hai đại lượng SOC và DOD.

Trong đó, trạng thái nạp của ắc quy (SOC) là một thông số không thứ nguyên thể hiện dung lượng hiện tại so với dung lượng của ắc quy và được tính bởi công thức:

$$SOC_{bat}(t_1) = SOC_{bat}(t_0) + \frac{\int_{t_0}^{t_1} I_b(t) dt}{C_n \cdot 3600} \quad (3)$$

Trong đó: $SOC_{batt}(t_1)$, $SOC_{batt}(t_0)$ - Trạng thái nạp của ắc quy ở thời điểm t_1 và t_0

I_b - Dòng điện phóng

C_n - Dung lượng phóng ở mức n giờ

Khi $SOC = 1$ là ắc quy đầy điện và $SOC = 0$ là ắc quy hết điện.

Trạng thái phóng của ắc quy (DOD) là lượng điện đã phóng đi, nó được tính theo công thức sau:

$$DOD = 1 - SOC \quad (4)$$

Khi $DOD = 1$ là ắc quy hết điện và $DOD = 0$ là ắc quy đầy điện.

Trong thực tế sử dụng điện áp và tuổi thọ của ắc quy phụ thuộc nhiều vào trạng thái của ắc quy, vì vậy khi sử dụng ắc quy ta cần quản lý tốt theo trạng thái của ắc quy nhằm rút ngắn thời gian nạp và nâng cao tuổi thọ.

2.1.3. Hiệu suất nạp của ắc quy

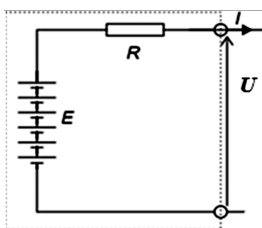
Hiệu suất năng lượng ắc quy là tỉ lệ giữa năng lượng giải phóng của một ắc quy từ một trạng thái xác định và năng lượng cần thiết để nạp cho ắc quy trở về trạng thái đó, nó cho phép so sánh ước lượng các nguồn công suất khác nhau.

Hiệu suất ắc quy có thể được thể hiện theo dòng điện thử nghiệm (Peukert's Test) và được biểu diễn bởi hàm của dòng điện I_b

$$\eta_{batt} = \frac{E_{dis}}{E_{chg}} = \frac{V_{oc} - R_i |I_b|}{V_{oc} + R_i |I_b|} \quad (5)$$

2.2. Mô hình ắc quy mở mạch

Ắc quy là nguồn năng lượng chính của ô tô điện cung cấp năng lượng trong suốt quá trình xe tăng tốc, giảm tốc và chạy ổn định. Do các quá trình này diễn ra trong thời gian dài nên ta có thể bỏ qua quá trình quá độ (quá trình tăng hoặc giảm điện áp, dòng điện...). Vì vậy, có thể sử dụng mô hình ắc quy đơn giản gồm hai phần tử: Suất điện động E và điện trở R đại diện cho điện trở trong của ắc quy.



Hình 1: Mạch tương đương đơn giản

Với mô hình này, suất điện động E của ắc quy Nicad phụ thuộc vào số lượng tế bào (n) và trạng thái xả của ắc quy (DOD) và được tính bằng công thức thực nghiệm sau:

$$E = n \times (-8.2816DOD^7 + 23.5749DOD^6 - 30DOD^5 + 23.7053DOD^4 - 12.5877DOD^3 + 4.1315DOD^2 - 0.8658DOD + 1.37) \quad (6)$$

Điện trở trong của ắc quy được tính như sau:

$$R = n \times \frac{0.06}{C_a} \quad (7)$$

Trong đó: n - Số lượng tế bào

C_3 - Dung lượng của ắc quy ở mức 3 giờ

2.3. Mô hình ắc quy trong mạch kín

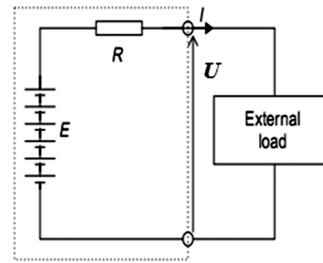
Để mô phỏng quá trình hoạt động của ắc quy khi có tải ta dùng phương trình công suất:

$$P = U \times I \quad (8)$$

Trong quá trình nạp điện dòng điện đi vào ắc quy nên ta có: $U = E + IR$ thay vào phương trình (4) ta có:

$$P = EI + RI^2 \quad (9)$$

Đây là phương trình công suất của ắc quy thể hiện mối quan hệ giữa cường độ dòng điện với công suất.



Hình 2: Mạch tương đương ắc quy nối với tải

Phương trình (9) có hai nghiệm. Đối với nghiệm có giá trị tuyệt đối lớn, có nghĩa là dòng điện rất cao làm sụt áp mạnh dẫn đến công suất bị tổn hao lớn, do đó ta không dùng giá trị nghiệm này, mà ta chỉ dùng nghiệm có giá trị thấp là:

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4RP}}{2R} \quad (10)$$

3. Mô phỏng và biện luận

Có rất nhiều loại ắc quy được sử dụng cho ô tô điện như Pb-axit, Nicad, NIMH và loại Lithium. Trong thực tế sử dụng hiện nay, ắc quy Nicad chiếm ưu thế lớn dùng cho ô tô điện do có giá thành thấp và mật độ năng lượng tương đối cao. Vì vậy, đề tài đã chọn tiến hành nghiên cứu và mô phỏng ảnh hưởng của dòng nạp và công suất nạp bỏ qua yếu tố ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình nạp của ắc quy Nicad với các thông số cụ thể sau:

Số cell	100
Dung lượng	50 Ahr
Hằng số Peukerts	$k=1.045$
Điện trở trong	$R=0,012 \Omega$
Nhiệt độ	$25^\circ C$

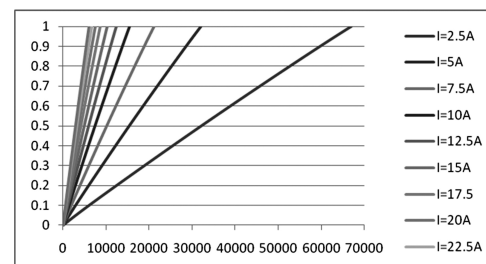
Trong khuôn khổ của bài báo đề tài đưa ra phương án khảo sát theo các dòng nạp:

I_1 [A]	I_2 [A]	I_3 [A]	I_4 [A]	I_5 [A]	I_6 [A]	I_7 [A]	I_8 [A]	I_9 [A]	I_{10} [A]
2.5	5.0	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25

Đề tài tiến hành khảo sát trên cơ sở dòng điện định mức $I_{dm} 2,5$ [A] và gấp đến 10 lần giá trị dòng điện định mức $I_{max} = 25$ [A]. Để khảo sát quá trình nạp của ắc quy, đề tài đã sử dụng mô hình Peukerts. Quá trình nạp bắt đầu khi $SOC = 0$ (ắc quy hết điện) cho tới khi $SOC = 1$ (ắc quy được nạp đầy).

3.1. Tốc độ nạp

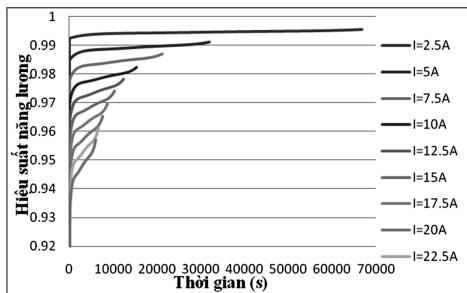
Từ Hình 3 ta thấy rằng, thời gian nạp đầy ắc quy ($SOC = 1$) tỉ lệ nghịch với cường độ dòng điện nạp.



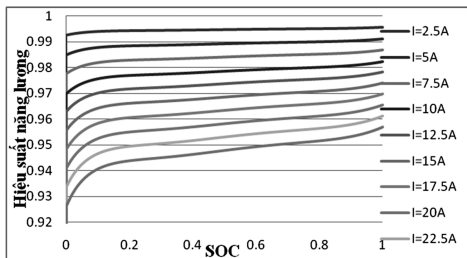
Hình 3: Mối quan hệ giữa dòng nạp và thời gian nạp đầy

Tại dòng nạp định mức là 2,5 A, thời gian nạp đầy ắc quy lên tới hơn 66.910 giây (trên 18 tiếng), tuy nhiên khi ta tăng dòng nạp lên tới 25 A thì thời gian nạp chỉ còn 5.990 giây (gần 1,66 giờ).

3.2. Hiệu suất năng lượng của ắc quy



Hình 4: Mối quan hệ giữa công suất nạp và hiệu suất năng lượng



Hình 5: Mối quan hệ giữa SOC và hiệu suất năng lượng

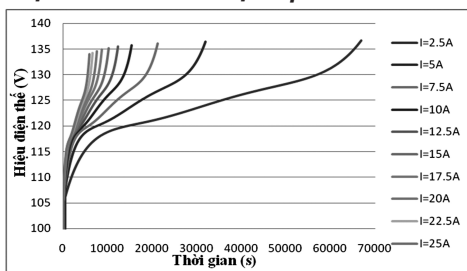
Từ Hình 4 và Hình 5 ta thấy rằng:

Nếu tăng cường độ dòng điện nạp, thời gian nạp đầy có thể ngắn lại, tuy nhiên hiệu suất năng lượng lại thấp do đó ắc quy không được nạp sâu.

Với dòng nạp nhỏ, sự biến thiên về hiệu suất nạp là không đáng kể nhưng với dòng nạp lớn sự biến thiên hiệu suất nạp là tương đối lớn và thể hiện rất rõ nét ở vùng SOC < 0.2.

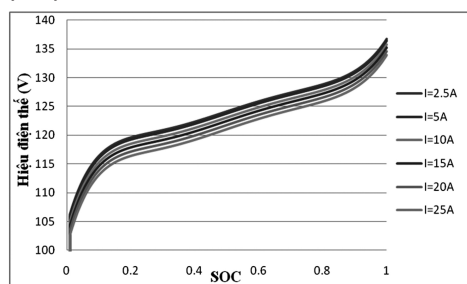
Từ các nhận xét trên ta thấy rằng, để tăng tốc độ nạp mà vẫn đảm bảo tuổi thọ của ắc quy, ta cần nạp với dòng nhỏ ở vùng SOC < 0.2, với vùng SOC > 0.2 có thể nạp với dòng điện lớn nhằm giảm thời gian nạp. Do vậy, vấn đề đặt ra là phương thức xác định SOC trong quá trình nạp của ắc quy nhanh và hiệu quả nhất.

3.3. Sự biến đổi của điện áp



Hình 6: Mối quan hệ giữa hiệu điện thế và thời gian nạp

Hình 6 cho ta thấy sự biến thiên phi tuyến của điện áp tập trung vào giai đoạn đầu và cuối quá trình nạp. Với dòng điện càng nhỏ thì độ phi tuyến càng giảm và ngược lại.



Hình 7: Mối quan hệ giữa hiệu điện thế và SOC

Từ Hình 6 và Hình 7 ta thấy các đường thể hiện mối quan hệ giữa hiệu điện thế và SOC gần như song song với nhau. Quy luật giữa V và SOC giống nhau với các dòng điện khác nhau nhưng với dòng nạp càng nhỏ thì có hiệu điện thế càng cao, điều này tốt hơn cho ắc quy do được nạp no hơn. Mặc dù với các dòng điện nạp khác nhau thì quá trình phi tuyến của điện áp chỉ diễn ra khi SOC < 0,2 và SOC > 0,8.

Trên cơ sở này ta hoàn toàn có thể xác định được giá trị của SOC bằng việc đo các thông số điện áp ắc quy V và dòng điện nạp I. Từ đó tạo điều kiện quản lý quá trình điều khiển nạp nhanh theo trạng thái nạp SOC.

4. Kết luận

Trong quá trình nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình nạp ắc quy, tìm hiểu các thông số cũng như các chỉ số để đánh giá ắc quy trên xe điện, đề tài đã tính toán và mô phỏng các yếu tố của quá trình nạp ắc quy Nicad, từ đó phân tích sự ảnh hưởng của các phương pháp nạp khác nhau tới tốc độ nạp, điện áp ắc quy và hiệu suất năng lượng ắc quy và đưa ra các nhận xét sau:

- Thời gian nạp sẽ giảm tỷ lệ nghịch với dòng nạp.
- Mặc dù với các công suất nạp, dòng nạp khác nhau thì quá trình phi tuyến của điện áp chỉ diễn ra khi SOC < 0,2 và SOC > 0,8.
- Để tăng tốc độ nạp mà vẫn đảm bảo tuổi thọ của ắc quy ta cần nạp với dòng nhỏ ở vùng SOC < 0.2, với vùng SOC > 0.2 có thể nạp với dòng điện lớn nhằm giảm thời gian nạp.
- Có thể xác định được giá trị của SOC bằng việc đo các thông số điện áp ắc quy V và dòng điện nạp I. Từ đó tạo điều kiện quản lý quá trình điều khiển nạp nhanh.

Bên cạnh đó, đề tài mong muốn tiếp tục nghiên cứu, khảo sát thực nghiệm ảnh hưởng của các yếu tố khác như: Nhiệt độ, dung lượng ban đầu, cấu trúc và số lượng của các tế bào ắc quy... với các loại ắc quy khác nhau nhằm đánh giá được ảnh hưởng của các yếu tố này và đề xuất quy trình nạp tối ưu cho từng loại ắc quy trên ô tô điện □

Tài liệu tham khảo

- [1]. C. Mi, B. Li, D. Buck, and N. Ota, *Advanced Electro-Thermal Modeling of Lithium-Ion Battery System for Hybrid Electric Vehicle Application*, 2007, pp. 107-111.
- [2]. H. He, R. Xiong, X. Zang, F. Sun, *State-of-Charge Estimation of the Lithium-Ion Battery Using an Adaptive Extended Kalman Filter Based on an Improved Thevenin Model*, IEEE Trans, Veh. Technol., vol. 60, no. 4, May 2011, pp. 1461-1469.
- [3]. <http://olev.kaist.ac.kr/en/index.php>.
- [4]. Maxwell Technology Co., BMOD0063 Ultracapacitor Module Datasheet, <http://www.maxwell.com>.
- [5]. Joel Schindall, *The Charge of The Ultra-Capacitors*, IEEE Spectrum, November, 2007, pp. 42-46.
- [6]. The EV Project, Online: <http://www.theevproject.com/>.

Ngày nhận bài: 04/03/2014

Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2014

Người phản biện: TS. Đào Chí Cường
TS. Đinh Ngọc Ân