



Phân tích và đánh giá các đặc tính của hệ thống pin trên ô tô điện Analysis and evaluation of characteristics of the battery systems in electric cars

Nguyễn Thành Sa^{1,2,*}, Hoàng Văn Chuẩn¹, Đoàn Văn Đồng^{1,3}

¹Viện Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

²Nhóm nghiên cứu AIT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

³Nhóm nghiên cứu BRIDGE, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Từ khóa:

TÓM TẮT

Đặc tính pin

Khảo sát pin

Mô phỏng pin

Ô tô điện

Pin điện ô tô

Bài báo tập trung phân tích và đánh giá các đặc tính của hệ thống pin điện nhằm tối ưu hóa hiệu suất, kéo dài tuổi thọ và đảm bảo an toàn cho ô tô điện. Để đạt được mục tiêu này, mô hình mô phỏng dựa trên thông số của ô tô BYD ATTO 3 được xây dựng để nghiên cứu, khảo sát khả năng hoạt động của ô tô. Kết quả mô phỏng cho thấy sự ảnh hưởng của các yếu tố như nhiệt độ, điều kiện môi trường và chế độ vận hành đến hiệu suất tổng thể của hệ thống. Nghiên cứu cũng chỉ ra những giới hạn về khả năng hoạt động của ô tô, từ đó đưa ra những đánh giá và giải pháp cải thiện. Bài báo góp phần giải quyết vấn đề nâng cao độ tin cậy và hiệu quả của hệ thống pin cũng như tối ưu khả năng quản lý năng lượng trên ô tô điện. Những kết luận thu được giúp định hướng nghiên cứu, phát triển ứng dụng công nghệ pin trên ô tô điện trong tương lai.

Keywords:

ABSTRACT

Battery Characteristic

Battery Survey

Battery Simulation

Electric Vehicle

Vehicle Battery

The paper focuses on analyzing and evaluating the characteristics of the electric battery system to optimize performance, extend lifespan, and ensure safety for electric vehicles. To achieve this goal, a simulation model based on the specifications of the BYD ATTO 3 was developed to study and assess the vehicle's operational capability. The simulation results show the impact of temperature, environmental conditions, and operating modes on the overall system performance. The study also identifies limitations in the vehicle's operational capability, providing assessments and improvement solutions. This paper contributes to enhancing the reliability and efficiency of the battery system while optimizing energy management in electric vehicles. The findings help guide future research and the development of battery technology applications in electric vehicles.

*Nguyễn Thành Sa. Viện Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email: sa.nguyen@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140407>

Ngày nhận bài: 20/05/2025; Ngày nhận bài sửa: 02/7/2025; Ngày chấp nhận đăng: 02/7/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/7/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Ô nhiễm không khí là một trong những vấn đề môi trường nghiêm trọng nhất hiện nay, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người, hệ sinh thái và biến đổi khí hậu. Nguyên nhân chính có thể kể đến bao gồm khí thải từ các nhà máy công nghiệp, hoạt động xây dựng và phương tiện giao thông sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Trong đó, phát thải từ ngành giao thông chiếm tỉ lệ rất cao, có thể chiếm tới 70% [1].

Ô nhiễm không khí không chỉ ảnh hưởng đến sức khỏe, tuổi thọ con người mà còn góp phần làm nóng

lên toàn cầu và gây ra các hiện tượng thời tiết cực đoan. Để giảm thiểu ô nhiễm, cần đẩy mạnh sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời, điện gió để thay thế nhiên liệu hóa thạch, tăng cường kiểm soát khí thải từ các nhà máy. Đặc biệt, phát triển phương tiện giao thông thân thiện với môi trường như ô tô điện, ô tô hybrid hay ô tô sử dụng nguồn nhiên liệu khí. Trong đó, ô tô điện được đánh giá là giải pháp tối ưu giúp giảm đáng kể lượng khí thải ô nhiễm. Để ô tô điện đạt hiệu quả cao nhất khi nguồn điện sạc pin được sản xuất từ nguồn năng lượng sạch.

Bảng 1. Bảng so sánh các phương pháp giảm ô nhiễm không khí từ phương tiện giao thông [2] [3].

Phương pháp	Cơ chế hoạt động	Mức giảm ô nhiễm	Ưu điểm	Nhược điểm
Ô tô điện (EV)	Sử dụng pin sạc, không phát thải trực tiếp	Rất cao (giảm 100% khí thải trực tiếp)	Giảm ô nhiễm đáng kể, hiệu suất cao	Giá thành cao, phụ thuộc vào hạ tầng trạm sạc, sản xuất pin có thể gây ô nhiễm
Ô tô Hybrid (HEV)	Kết hợp động cơ xăng/diesel với động cơ điện	Trung bình (giảm 30 - 50 % khí thải)	Tiết kiệm nhiên liệu, phù hợp với cơ sở hạ tầng hiện có	Còn tạo ra khí thải, hiệu suất trung bình
Ô tô sử dụng nhiên liệu Hydro (FCEV)	Sử dụng pin nhiên liệu hydro tạo ra dòng điện	Rất cao (khí thải chỉ có hơi nước)	Không ô nhiễm, tiếp nhiên liệu nhanh	Chi phí sản xuất cao, hạ tầng còn hạn chế và rủi ro về an toàn
Ô tô sử dụng khí tự nhiên (CNG/LNG)	Sử dụng khí tự nhiên hoặc khí dầu mỏ hóa lỏng thay cho xăng/diesel	Thấp (giảm 10 - 30 % khí thải)	Rẻ hơn xăng/diesel, tận dụng tốt nguồn khí thiên nhiên	Còn tạo ra khí thải, hạ tầng tiếp nhiên liệu hạn chế và rủi ro về an toàn

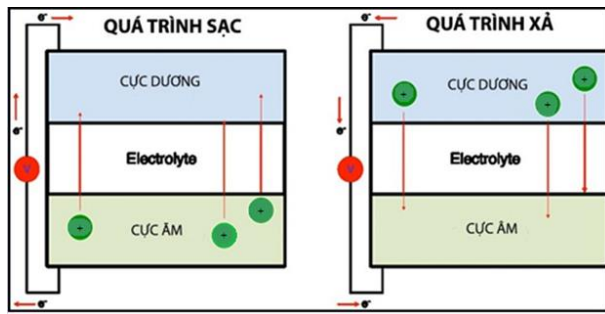
Hệ thống pin chính là trái tim và đóng vai trò quan trọng trên ô tô điện, quyết định đến hiệu suất và phạm vi hoạt động của ô tô. Tuy nhiên, hiện nay hệ thống pin trên ô tô vẫn còn nhiều thách thức, đặc biệt về khả năng lưu trữ năng lượng, thời gian sạc, tuổi thọ và an toàn pin [4]. Việc nghiên cứu, đánh giá các đặc tính của hệ thống pin không chỉ giúp tối ưu hóa hiệu suất hoạt động mà còn đóng góp nâng cao tuổi thọ, đảm bảo an toàn và giảm chi phí vận hành. Vì vậy, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu, phân tích các đặc tính quan trọng của hệ thống pin sử dụng cho ô tô điện, bao gồm dung lượng, hiệu suất sạc, xả, tuổi thọ chu kỳ, đặc tính nhiệt. Thông qua việc đánh giá các thông số này, bài báo cung cấp cái nhìn tổng quan về đặc tính điện hóa, cơ lý trong pin, qua đó đánh giá hiệu suất, mật độ năng lượng, tuổi thọ chu kỳ cũng như các yếu tố an toàn và tác động của môi trường lên pin. Ngoài ra, bài báo cũng đánh giá tác động của hệ thống pin đến hiệu suất tổng thể ô tô điện, bao gồm

quãng đường di chuyển, công suất, thời gian sạc và khả năng vận hành trong các điều kiện môi trường khác nhau. Bên cạnh đó, thiết lập mô hình mô phỏng để phân tích, làm rõ các đặc tính của pin thông qua sự vận hành của ô tô điện, nhờ đó có thể đánh giá, đề xuất giải pháp cải thiện hiệu suất và độ bền của pin trên ô tô điện. Với cách tiếp cận này, nhóm tác giả mong muốn cung cấp kiến thức, dữ liệu đáng tin cậy cũng như đóng góp vào định hướng nghiên cứu và ứng dụng công nghệ pin trong tương lai.

2. Thiết lập vấn đề

2.1. Nguyên lý hoạt động của pin điện

Pin điện là thiết bị chuyển đổi trực tiếp hóa năng thành điện năng bằng phương pháp oxi hóa khử điện hóa. Khi một tải điện được kết nối với các cực pin thành một mạch khép kín, khi đó có dòng điện chạy qua tải, pin đang chuyển từ dự trữ năng lượng sang trạng thái xả [5].



Hình 1. Sơ đồ quá trình sạc xả của pin điện.

Đối với ô tô, pin điện không chỉ đóng vai trò cung cấp năng lượng cho động cơ điện để ô tô di chuyển mà còn cung cấp năng lượng cho các thiết bị khác như hệ thống chiếu sáng, hệ thống thông tin, hệ thống âm thanh. Với điều kiện hoạt động khắc nghiệt, pin sử dụng trên ô tô điện được thiết kế và sản xuất theo quy trình nghiêm ngặt, kỹ lưỡng về vật liệu, đặc biệt là chất lượng pin. Pin điện được lắp trên ô tô điện còn đòi hỏi những yêu cầu nổi bật như [6], [7]:

- Có thể đạt được mật độ năng lượng cao trong một lần sạc để cung cấp năng lượng cho ô tô đi được quãng đường xa hơn;
- Pin có công suất ổn định với đặc tính phóng điện sâu giúp cải thiện đặc tính động lực học ô tô điện;
- Đảm bảo tính an toàn, chi phí bảo trì, bảo dưỡng thấp và đặc biệt là tuổi thọ pin lâu dài;
- Thân thiện với môi trường, đặc biệt có thể tái chế.

2.2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu nghiên cứu của bài báo được thực hiện theo ba giai đoạn:

Giai đoạn 1: Phân tích các đặc tính của hệ thống pin nhằm làm rõ các điều kiện hoạt động, sự tác động của các yếu tố bên ngoài ảnh hưởng đến hiệu suất, tuổi thọ và tính bền vững của pin.

Giai đoạn 2: Xây dựng mô hình mô phỏng dựa trên các thông số của ô tô BYD ATTO 3 với mục đích sơ đồ hóa điều kiện hoạt động, hỗ trợ việc khảo sát, đánh giá ô tô cách hiệu quả hơn.

Giai đoạn 3: Thực hiện mô phỏng, đánh giá kết quả hoạt động của ô tô giúp phân tích khả năng tối ưu hóa hiệu suất hoạt động, kéo dài tuổi thọ, đảm bảo an toàn của pin trong điều kiện vận hành thực tế.

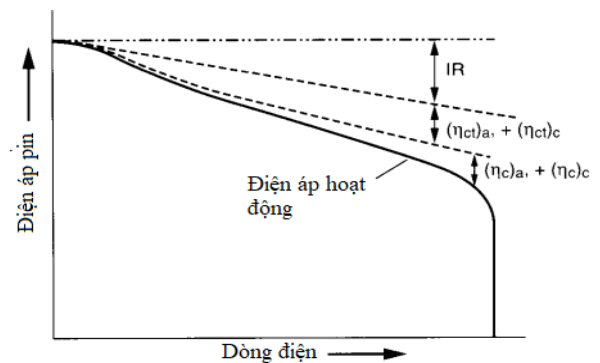
3. Phân tích đặc tính của hệ thống pin điện trên ô tô

3.1. Điện áp của pin và cell pin

Từ giá trị điện cực tiêu chuẩn ta có thể xác định thế điện cực của một hệ pin như sau:

$$E_{\text{cell}}^0 = E_{\text{cathode}}^0 - E_{\text{anode}}^0 \quad (1)$$

Đối với pin có hệ thế điện cực tiêu chuẩn càng cao thì đồng nghĩa với việc điện áp của cell pin đó trên thực tế càng cao. Điện áp của pin cũng bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, trong đó có các yếu tố tổn thất vì hao hụt. Những yếu tố đó được thể hiện qua biểu đồ sau:

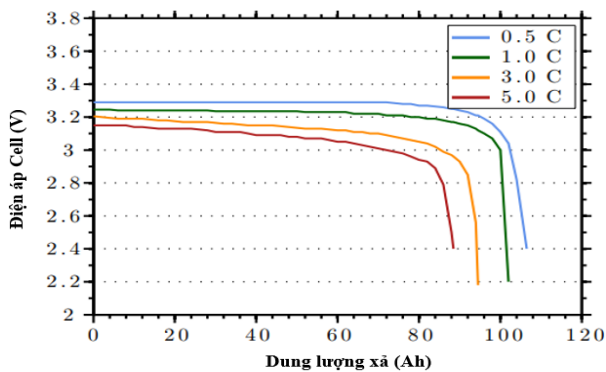


Hình 2. Quan hệ giữa điện áp và dòng điện trong pin.

Đối với hệ thống pin cho ô tô điện đòi hỏi yêu cầu phải cung cấp đủ nguồn năng lượng và đáp ứng được phạm vi hoạt động nhất định. Vì vậy, với ô tô điện cần thiết kế một hệ thống pin với sự kết hợp của nhiều cell pin để tạo ra nguồn năng lượng phù hợp. Số lượng cell pin mắc nối tiếp hoặc song song thành các mô-đun pin. Các mô-đun pin mắc nối tiếp, song song thành hệ thống pin mà ô tô điện yêu cầu. Cell pin có điện áp càng cao thì hệ thống pin cần ít cell pin hơn khi kết nối. Các mô-đun pin thường được thiết kế có điện áp tối đa < 50V và trọng lượng < 22kg nhằm an toàn hơn. Tổng điện áp của các mô-đun pin thường được thiết kế ở mức dưới 600V để giảm chi phí chế tạo và vận hành các thiết bị điện tử bên trong. Ngoài ra, còn có yếu tố khác đó là dòng điện và tổn thất năng lượng trên dây dẫn [6] [8].

3.2. Dung lượng của pin (kWh)

Dung lượng lý thuyết của cell pin được xác định bởi khối lượng vật liệu hoạt động bên trong tế bào. Thực tế bên trong pin luôn có lượng điện trở tiêu hao, vì thế giá trị điện áp lý thuyết hoặc giá trị suất điện động sẽ giảm dần đến dung lượng pin thực tế có giá trị thấp hơn. Dung lượng pin được đo bằng kWh, tức công suất điện mà pin có khả năng cung cấp trong 1 giờ hay 1C (pin có dòng sạc, xả đúng bằng giá trị dung lượng pin).

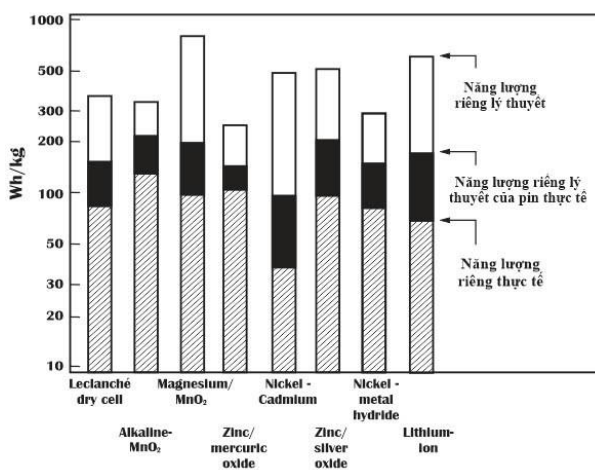


Hình 3. Biểu đồ dung lượng pin và điện áp pin theo dòng xả.

Hình 3 thể hiện, cùng một loại pin nếu dòng xả càng lớn thì điện áp thực tế trong cell pin cũng sụt giảm theo, do dòng điện cao dẫn đến điện trở khuếch tán cao hơn. Điện áp giảm đồng nghĩa với dung lượng khả dụng của pin cũng giảm đi. Vì vậy, nếu ô tô hoạt động với điều kiện bình thường, điều kiện chuyển động ổn định và duy trì mức xả dưới 1C thì hệ thống pin làm việc hiệu quả hơn về mọi mặt.

3.3. Năng lượng riêng và mật độ năng lượng

Năng lượng riêng, mật độ năng lượng là lượng năng lượng lưu trữ tối đa trên một đơn vị trọng lượng, thể tích pin. Pin có năng lượng riêng, mật độ năng lượng cao sẽ giúp tối ưu về trọng lượng cũng như thể tích chiếm chỗ trên ô tô khi thiết kế hệ thống pin. Khi xét về giá trị thực tế, chỉ có một phần năng lượng lý thuyết được chuyển hóa thành năng lượng có ích, do pin không xả ổn định ở điện áp lý thuyết cũng như không xả hoàn toàn xuống 0V.



Hình 4. Năng lượng riêng của pin điện.

Từ Hình 4 có thể nhận xét được: Năng lượng riêng thực tế mà pin có thể cung cấp, ngay cả khi xả ở điều kiện tối ưu chỉ có thể bằng 50-75% giá trị lý thuyết sau khi kể đến các thành phần hao tổn.

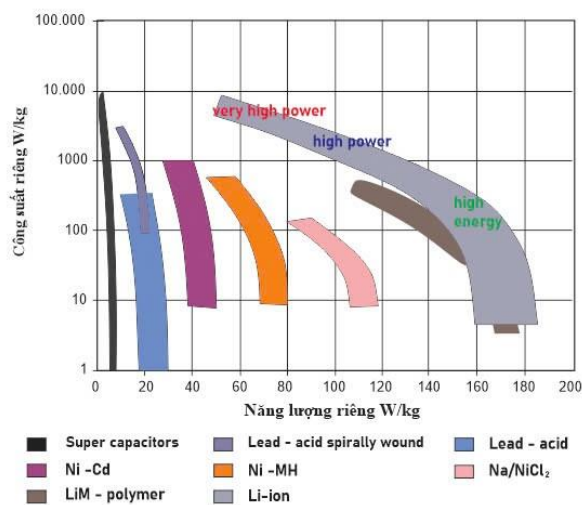
Năng lượng riêng, mật độ năng lượng là hai đặc tính đóng vai trò quan trọng trong việc quyết định hiệu suất, phạm vi di chuyển, chi phí vận hành cũng như tiền đề cho việc thiết kế hệ thống pin cho ô tô điện. Cụ thể có thể xét đến như:

- Tăng phạm vi di chuyển;
- Giảm trọng lượng và kích thước pin;
- Tăng khả năng sạc nhanh và duy trì hiệu suất sạc cao;
- Giảm chi phí sản xuất;
- Hiệu quả sử dụng và tuổi thọ của pin cao.

Tuy nhiên năng lượng được lưu trữ trong pin còn thay đổi đáng kể theo các yếu tố như nhiệt độ, tốc độ xả và cũng có thể thay đổi theo công suất riêng.

3.4. Công suất riêng của pin (W/kg)

Công suất riêng là lượng điện năng thu được trên mỗi kg pin. Một số loại pin có năng lượng riêng rất tốt nhưng lại có công suất riêng thấp [7]. Tùy vào từng loại pin nhưng thông thường, pin có công suất riêng càng cao thì năng lượng riêng càng thấp.



Hình 5. Mối quan hệ giữa năng lượng riêng và công suất riêng.

Từ Hình 5 có thể đánh giá, siêu tụ điện có công suất riêng rất cao nhưng năng lượng riêng lại rất thấp hay không có khả năng duy trì năng lượng. Tiếp theo là pin chì-axit, pin gốc niken, pin natri và cuối cùng là pin Li-on. Tùy theo những loại pin khác nhau sẽ có những thiết kế cho những ứng dụng khác nhau. Pin năng lượng cao sẽ hoạt động ở mức xả thông thường là từ 3 – 5C (dung lượng pin, kWh). Còn đối với pin thiết kế cho công suất cao thì mức xả có thể lên tới

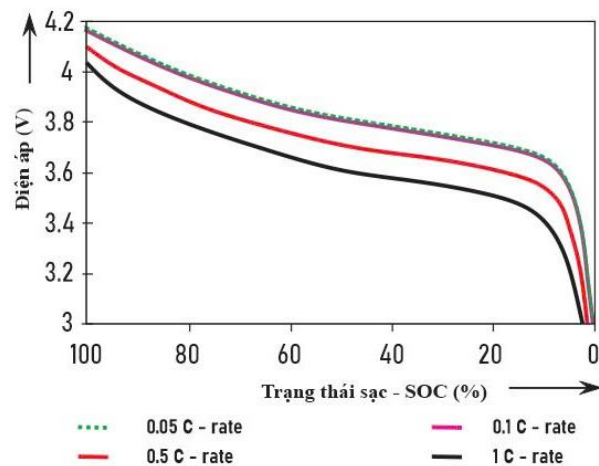
15C. Đối với ô tô điện thương mại, pin được thiết kế sẽ là pin có năng lượng riêng cao.

Một số đặc điểm nổi bật của đặc tính công suất riêng của pin cho ô tô điện:

- Khả năng tăng tốc, leo dốc;
- Khả năng làm mát của pin;
- Cân bằng với dung lượng hệ thống pin;
- Ứng dụng trong thiết kế ô tô điện.

3.5. Đặc tính sạc và xả của pin (Ah)

Đặc tính lý hóa xảy ra bên trong cell pin: quá trình xả, các electron sẽ di chuyển từ anode đi qua mạch điện đến cathode, nơi nhận electron. Quá trình được diễn ra ngược lại trong quá trình sạc. Đường đặc tính sạc xả của pin điện phụ thuộc vào rất nhiều các biến số như điện áp, điện trở kháng, thời gian phục hồi điện áp và đặc biệt phụ thuộc vào nhiệt độ pin. Khi đó, năng lượng lưu trữ có trong pin được thể hiện qua thông số trạng thái sạc SOC hay tỷ lệ % của mức sạc tối đa bên trong pin. SOC có thể thay đổi theo các giá trị tốc độ xả khác nhau, một phần điện áp của pin cũng thay đổi làm dung lượng trong pin thay đổi như thể hiện ở Hình 6.



Hình 6. Đường cong điện áp của pin Li-on ở các tốc độ xả.

Nhiều thông số kỹ thuật của pin ràng buộc lẫn nhau khi sạc, xả pin như: điện áp sạc, dòng điện sạc, nhiệt độ pin khi sạc và an toàn khi sạc theo từng giai đoạn.

Quá trình sạc và xả pin tác động rất lớn đến hiệu suất, tuổi thọ, độ an toàn cũng như khả năng vận hành ổn định trong thời gian dài của hệ thống pin trên ô tô điện. Những tác động chính có thể kể đến như:

Hiệu suất và phạm vi hoạt động: Tốc độ sạc xả nhanh làm tăng nhiệt độ pin, dẫn đến tổn hao năng lượng và giảm hiệu suất, từ đó giảm phạm vi hoạt động của xe.

Tuổi thọ pin: Sạc, xả nhanh làm tăng nhiệt độ bên trong pin và đẩy nhanh quá trình lão hóa. Khi xả quá sâu, các phản ứng bên trong có thể làm giảm dung lượng của pin theo thời gian, làm giảm tuổi thọ của pin.

Độ an toàn: Nếu dòng sạc, xả quá cao làm nhiệt độ trong pin tăng đột ngột, nguy cơ quá nhiệt tăng và có thể gây ra hiện tượng cháy nổ.

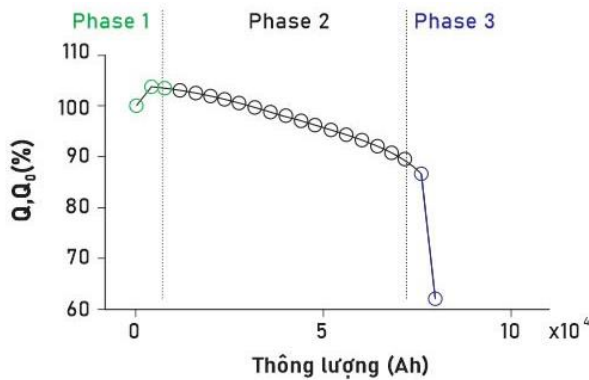
Với những ảnh hưởng lớn như vậy, để tối ưu hóa quá trình này, cần có sự kết hợp giữa các công nghệ pin tiên tiến, hệ thống quản lý pin hiệu quả và phương pháp sạc hợp lý.

3.6. Tuổi thọ và số chu kỳ hoạt động của pin

Các cơ chế lão hóa của pin bắt nguồn từ các biến đổi lý hóa xảy ra bên trong điện cực, chất điện phân và các phản ứng qua lại giữa chúng. Cơ chế lão hóa của pin có thể được chia làm bốn loại như sau [6], [11]:

- 1) Hình thành màng bề mặt, bao gồm pha điện phân rắn anode, cathode và mạ điện cực.
- 2) Thay đổi cấu trúc khối lượng, bao gồm dịch chuyển các cation và chuyển pha.
- 3) Thay đổi cơ học, bao gồm rạn nứt, hình thành khí.
- 4) Phản ứng ký sinh bao gồm ăn mòn bộ thu dòng điện cũng như phân hủy chất kết dính.

Hệ thống pin sử dụng trên ô tô điện đòi hỏi phải có tuổi thọ cao cũng như tăng độ tin cậy khi sử dụng. Thông thường pin sẽ trải qua ba giai đoạn trong sự thay đổi dung lượng pin theo thời gian. Giai đoạn thứ hai sẽ là giai đoạn đặc trưng bởi sự sụt giảm dung lượng.



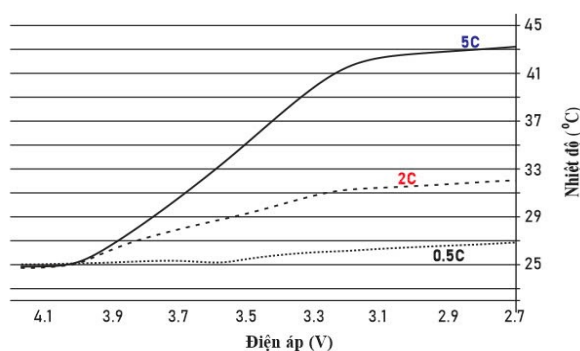
Hình 7. Đường cong giảm dung lượng qua thông lượng pin.

Tuổi thọ của pin được thể hiện và đánh giá qua số chu kỳ sạc, xả sâu của pin. Số chu kỳ và tuổi thọ pin bị phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố như: nhiệt độ trong quá trình sạc, xả, độ xả sâu, dòng điện sạc, xả. Đối với ô tô điện, thực sự khó hoặc có thể không xác định được số chu kỳ của pin do điều kiện lái xe thay đổi. Các nhà sản xuất pin chỉ cung cấp số chu kỳ sạc, xả trong thí nghiệm. Mặc khác, tốc độ sạc, xả trên hệ thống pin của ô tô điện không ổn định nên sẽ ảnh hưởng lớn đến số chu kỳ sử dụng được. Ngoài ra, tất cả các cell pin trên một hệ thống cũng không thể đồng nhất trong quá trình sạc, xả nên chu kỳ cũng có thể bị thay đổi tùy theo điều kiện làm việc của từng cell pin.

3.7. Nhiệt độ làm việc của pin điện

Trong pin, điện năng tạo ra được chuyển hóa từ hóa năng, do các phản ứng hóa học xảy ra trong pin. Các phản ứng xảy ra luôn mong muốn ở một tốc độ nhất định để đạt hiệu suất cao về mục đích sử dụng và tốc độ phản ứng phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ.

Theo Van't Hoff: "Cứ tăng nhiệt độ lên 10°C, tốc độ phản ứng hóa học trung bình tăng từ 2 đến 4 lần" [7], [13].



Hình 8. Độ tăng nhiệt độ các cell pin Li-on khi xả.

Yếu tố nhiệt độ tác động đến các đặc tính khác của pin điện như:

Nhiệt độ ảnh hưởng đến hiệu suất và lão hóa pin:
 Nếu nhiệt độ tăng thì tốc độ của các phản ứng bên trong, bao gồm quá trình lão hóa và quá trình tự xả không mong muốn của pin càng nhanh.

Dung lượng và điện năng giảm dần theo nhiệt độ:
 Dung lượng của pin sẽ giảm nếu nhiệt độ hoạt động dưới mức thấp nhất, tương tự cũng sẽ giảm khi nhiệt độ hoạt động cao hơn mức cho phép.

Nhiệt độ ảnh hưởng đến hiện tượng tự xả của pin:
 Làm thúc đẩy quá trình phản ứng hóa học diễn ra nhanh hơn.

Nhiệt độ và tính đồng nhất của pin ảnh hưởng mạnh mẽ đến quá trình sạc và xả pin. Sự thay đổi nhiệt độ trong một cell pin phải được giữ trong khoảng từ 5°C đến 10°C trong khi thay đổi của toàn khối pin vào khoảng từ 30°C đến 50°C. Sự chênh lệch nhiệt độ 5°C có thể dẫn đến khả năng cấp điện suy giảm 10% và tăng 25% động học lão hóa do nhiệt. Sự lão hóa theo chu kỳ và nhiệt độ ảnh hưởng đến tuổi thọ pin, làm giảm dung lượng và làm tăng nội trở bên trong pin [13], [14].

3.8. Hiệu suất năng lượng của hệ thống pin điện trên ô tô

Hiệu suất năng lượng pin là đo mức tiêu thụ năng lượng của pin, cho biết phần năng lượng điện được biến đổi thành công hữu ích so với tổng năng lượng điện tiêu thụ. Hiệu suất năng lượng được tính:

$$\eta_{nl} = \frac{P_{hi}}{P_{tt}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Trong đó, η_{nl} là hiệu suất năng lượng pin với P_{hi} biểu thị cho năng lượng hữu ích, và P_{tt} là tổng năng lượng tiêu thụ.

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất của pin như: mức điện áp, dòng xả của pin, chế độ sạc, xả (dòng điện không đổi, tải không đổi, công suất không đổi), nhiệt độ của pin trong suốt quá trình xả, loại xả (liên tục, gián đoạn).

Ngoài ra các yếu tố như chu kỳ hoạt động, điều chỉnh điện áp, điện áp pin khi sạc, các ảnh hưởng của cell pin và việc thiết kế cell pin, tuổi thọ pin cũng như điều kiện lưu trữ đều ảnh hưởng đến hiệu suất của pin.

4. Mô phỏng đặc tính của hệ thống pin điện dùng trên ô tô

4.1. Mô hình tính toán và đánh giá ô tô điện

Ô tô mô phỏng được lựa chọn để thiết lập thông số là ô tô BYD ATTO3 trên phần mềm Simcenter Amesim. Cơ sở lý thuyết được thiết lập trên phần mềm được thể hiện qua các khối mô phỏng chính sau [16]:

Hệ thống pin: Hệ thống pin được xây dựng từ việc kết hợp nhiều khối pin lại với nhau. Trong đó, khối pin được kết nối từ nhiều cell pin. Dựa vào điện áp, dung lượng pin đầu ra mong muốn mà có thể ghép nối tiếp hoặc song song các khối pin với nhau. Ứng dụng và thiết lập một số tham số cho hệ thống pin, phương trình cho khối pin được trình bày.

- Trạng thái sạc

$$\frac{dSOC}{dt} = 100 \cdot \frac{I}{Q'} \cdot \eta \quad (3)$$

Với Q' là dung lượng tính bằng As, η là hằng số Faraday và Q là dung lượng tính bằng Ah.

- Nhiệt lượng tỏa ra trên pin

$$dh = \Phi_{add} + \Phi_{\eta fara} + \Phi_{hyst} + \Phi_{ohm} + \Phi_{ct} + \Phi_{diff} \quad (4)$$

Trong đó, biểu thức tương tự như điện áp thất thoát:

$$\Phi_i = I \cdot \Delta U_i \quad (5)$$

Mất mát Faradic:

$$\Phi_{\eta fara} = I \cdot OCV \cdot (1 - \eta_{fara}) \quad (6)$$

- Tuổi thọ pin

$$Q_{loss} = B_{coef} \cdot t_{yr}^{z_{coef}} \quad (7)$$

Trong đó:

Q_{loss} : Dung lượng mất mát;

B_{coef} : Tiền tố lão hóa B (%/năm);

z_{coef} : Số mũ lão hóa z;

t_{yr} : Thời gian trong một năm.

- Ước tính phạm vi hoạt động

Áp dụng phương pháp ngoại suy tuyến tính, ta có thể xác định được phạm vi cho xe:

$$D_{range} = (SOC_{max} - SOC_{min}) \cdot \frac{d_{cycle}}{\Delta SOC_{cycle}} \quad (8)$$

Trong đó:

SOC_{max} : Trạng thái sạc lớn nhất (%);

SOC_{min} : Trạng thái sạc nhỏ nhất (%);

d_{cycle} : Quãng đường xe di chuyển trong một chu kỳ;

ΔSOC_{cycle} : % tiêu thụ của SOC trong một chu kỳ.

Môi trường lái xe: Ở khối này, các thông số được thiết lập như: chỉ số môi trường, áp suất không khí xung quanh, nhiệt độ không khí, mật độ không khí, tốc độ gió, độ dốc đường, hệ số bám đường và lớp xe.

Bộ điều khiển trung tâm: Nhận thông tin từ người lái, từ hệ thống pin và động cơ điện. Bộ điều khiển phân tích thông tin và điều khiển mô tơ hoạt động theo từng chế độ hoạt động của ô tô thông qua việc kiểm soát nguồn năng lượng từ hệ thống pin. Động cơ điện có thể được sử dụng như một máy phát điện để sạc pin khi người lái phanh. Bộ điều khiển gửi lệnh đến động cơ điện và xe.

Các thông số đầu vào bao gồm: Tốc độ động cơ, mô men xoắn cực đại, các tín hiệu tăng tốc từ người lái, tín hiệu phanh, trạng thái SOC.

Trình điều khiển người lái cho hộp số tự động: Nhận tín hiệu từ môi trường lái xe, từ người lái gửi về cho bộ xử lý trung tâm. Đây là trình điều khiển dọc, tính toán theo vị trí chân ga, chân phanh và cần số theo vận tốc yêu cầu. Phần mềm sử dụng tiêu chuẩn mô phỏng điều kiện lái ô tô theo WLTP [17] để mô phỏng và ước tính các thông số cơ bản của ô tô khi hoạt động cũng như các đặc tính của hệ thống pin.

Các thông số chính của xe BYD ATTO 3 khi mô phỏng và so sánh trên phần mềm [18]:

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của xe BYD ATTO 3

	Thông tin chung	ĐVT	Giá trị
1	Phạm vi hoạt động thực tế (235 – 490 km)		
1.1	Kết hợp – thời tiết ôn hòa	km	380
2	Động cơ điện & khả năng hoạt động		

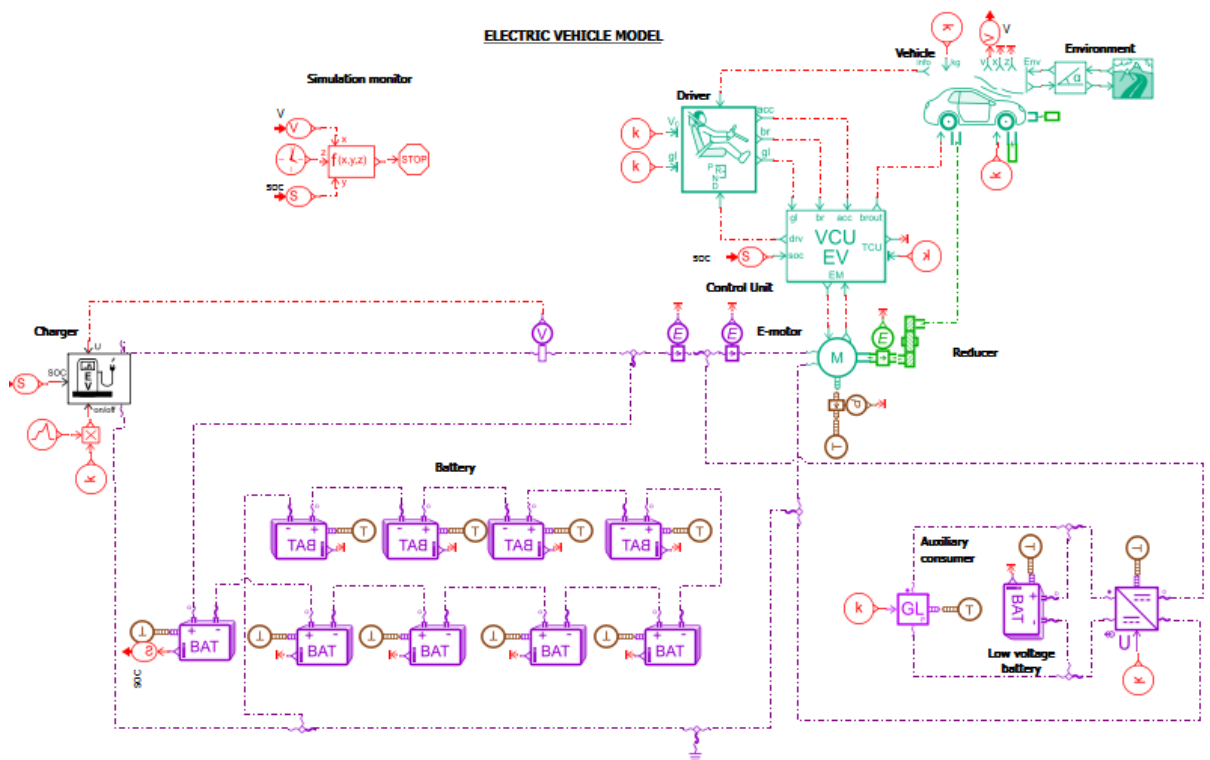
2.1	Tốc độ lớn nhất	km /h	160
2.2	Phạm vi hoạt động điện công bố	km	521
2.3	Loại động cơ điện	Đồng bộ nam châm vĩnh cửu	
2.4	Công suất cực đại động cơ	kW	150 (204 Ps)
2.5	Mô men xoắn cực đại	N.m	310
3	Hệ thống pin		
3.1	Dung lượng danh nghĩa/khả dụng	kWh	62/60,5
3.2	Loại pin	Lithium-ion LFP	
3.3	Số cell pin/ cấu hình pin	126/ 126s1p	
3.4	Điện áp danh nghĩa	V	403

4.2. Sơ đồ mô phỏng hoạt động xe BYD ATTO3 trên phần mềm Simcenter Amesim

Quy trình xây dựng mô hình:

- Tính toán và xây dựng khối pin;
- Thiết lập thông số SOC, nhiệt độ... cho pin;
- Thiết lập thông số môi trường lái;

- Thiết lập dữ liệu cho bộ điều khiển trung tâm VCUEC;
- Thiết lập thông số cho trình người lái hộp số tự động;
- Thiết lập thông số cho động cơ điện, hộp giảm tốc cố định;
- Thiết lập hệ thống pin thấp áp.



Hình 9. Mô hình mô phỏng hoạt động của ô tô điện.

Bảng 3: Chú thích một số khối chính trong sơ đồ Hình 9.

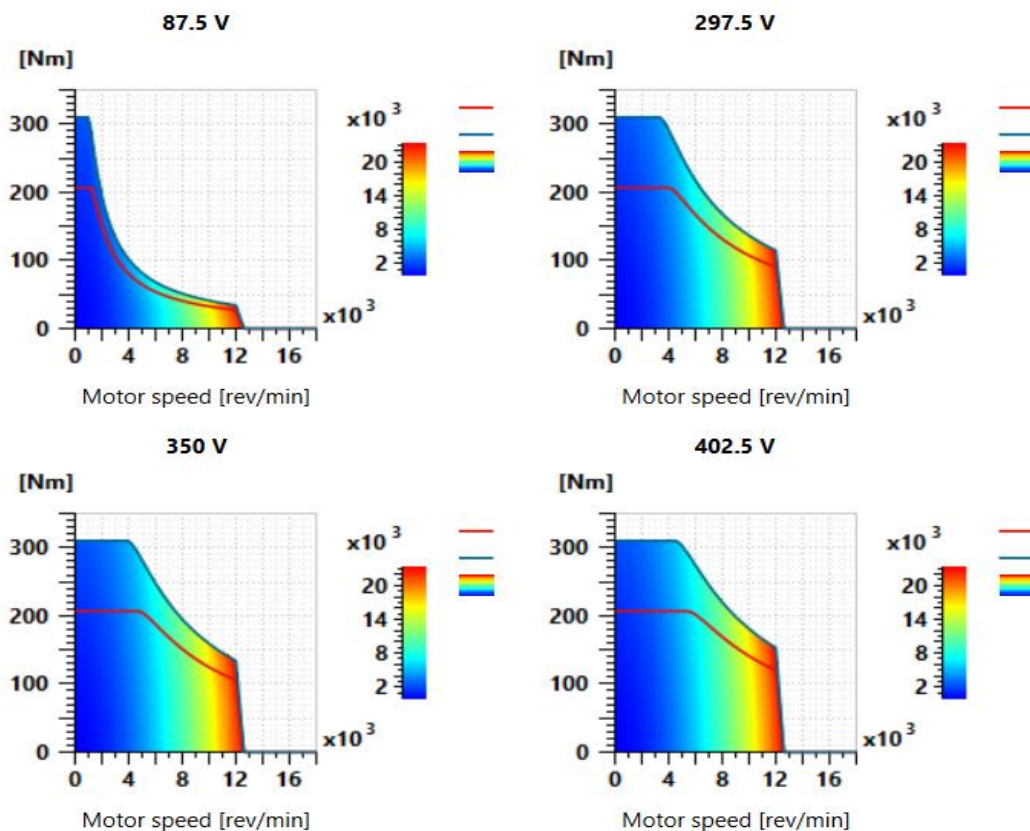
Khối	Ý nghĩa
BAT	Khối BAT được sử dụng để mô hình hóa đặc tính của pin điện, đóng vai trò là nguồn năng lượng mô phỏng. Thiết lập các thông số kỹ thuật của cell pin hoặc mô đun pin, phản ánh hành vi sạc/xả, trạng thái năng lượng.

VCU EV	Khối VCU EV (Vehicle Control Unit – Electric Vehicle) là khối điều khiển trung tâm của xe điện, đóng vai trò “bộ não” điều khiển các khối tín hiệu. Khối VCU nhận tín hiệu từ người lái (bàn đạp ga, phanh) và từ hệ thống cảm biến điều phối toàn bộ hệ thống truyền động.
DRIVER	Khối DRIVER mô phỏng hành vi người lái khi điều khiển sử dụng hộp số tự động, đóng vai trò “người lái ảo – Virtual Driver” trong mô hình, phản ứng với các điều kiện vận hành.
GL	Khối GL (Generic Load) được sử dụng để mô phỏng tải điện phụ trợ, có thể thiết lập giá trị tải điện cụ thể hoặc thiết lập function tải thay đổi.
M	Khối M (Motor) được dùng để mô phỏng các thông số của mô tơ truyền động.
VEHICLE	Khối Longitudinal Vehicle được sử dụng để mô phỏng động học xe theo phương dọc trục (chuyển động thẳng), tích hợp các lực kéo từ động cơ, các lực cản chuyển động như cản lăn, cản dốc, cản gió.
E, S, V, T	Các khối tín hiệu cảm biến: E – Energy Sensor, S – SOC, V – Voltage Sensor, T – Temperature Sensor.

5. Kết quả và đánh giá

- Tốc độ động cơ điện

Giá trị tốc độ động cơ điện theo các giá trị điện áp:



Hình 10. Tốc độ và mô men của động cơ điện theo giá trị điện áp hoạt động.

Từ Hình 10, các mức điện áp cung cấp cho động cơ điện khác nhau thì biên dạng đường momen theo tốc độ cũng khác nhau. Với điện áp thấp 87.5 V thì momen đạt giá trị cực đại chỉ trong khoảng tốc độ 1800 vòng/phút và bắt đầu giảm dần cho tới đạt tốc độ cực đại. Điện áp tăng dần qua hai mức là 297.5 V và 350 V cho thấy đặc tuyến thay đổi momen động cơ theo tốc độ. Đến mức điện áp cao nhất cung cấp cho động cơ là 402.5 V, mô men cực đại đạt giá trị 310

N.m và kéo dài ổn định tới tốc độ động cơ điện là 4500 vòng/phút sau đó giảm dần xuống 150 Nm và giảm sâu cho tới tốc độ đạt cực đại 12000 vòng/phút.

- Tốc độ ô tô khi hoạt động

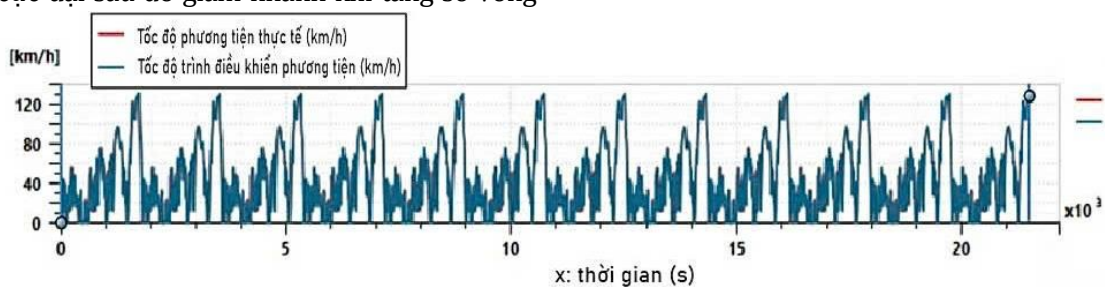
Phần mềm sử dụng trình điều khiển người lái WLTP để thực hiện mô phỏng. Tốc độ của ô tô sẽ thay đổi theo chu kỳ lái tùy thuộc vào hệ thống thiết lập theo chế độ lái. Hình 11 cho thấy quan hệ giữa tốc độ điều khiển và tốc độ ô tô có sự tương đồng nhau. Sau

gần 6 giờ của kết quả mô phỏng, pin điện hết 01 chu kỳ pin. Trong trường hợp mô phỏng, vận tốc mô phỏng ô tô đạt được tương đương 130 km/h. So với thông số công bố của nhà sản xuất, kết quả tốc độ cực đại được mô phỏng thấp hơn 13%. Điều này có thể do chênh lệch các thông số khi thiết lập các thông số đầu vào. Vì vậy kết quả sẽ có sai số so với khi ô tô vận hành thực tế trên đường.

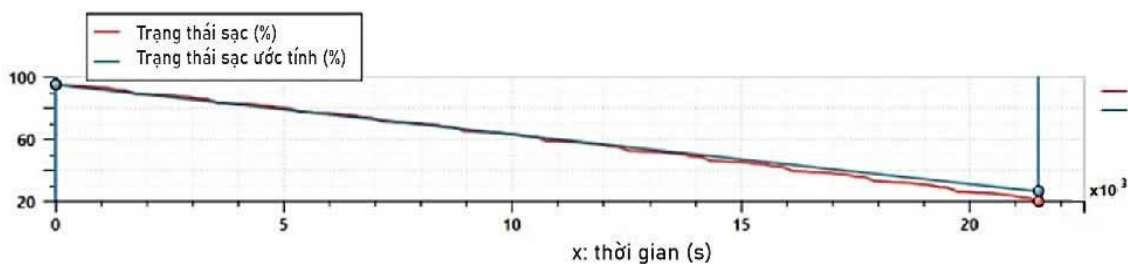
Tốc độ của ô tô còn được xác định theo quan hệ cân bằng công suất giữa công suất động cơ phát ra và các công suất cản như cản lăn, cản gió, cản dốc, cản quán tính và công suất cản trong hệ thống truyền động. Khi cung cấp nguồn điện 87.5 V, momen động cơ đạt cực đại sau đó giảm nhanh khi tăng số vòng

quay phù hợp hơn cho các ô tô có trọng lượng nhỏ. Trong khi đó, điện áp pin áp pin điện cao hơn tỏ ra phù hợp với ô tô có trọng lượng lớn hơn để cải thiện việc duy trì khả năng gia tốc cho ô tô.

Ngoài ra kết quả mô phỏng cũng chỉ ra ở các điện áp khác nhau của pin điện cho thấy đặc tuyến momen và tốc độ của động cơ điện cũng khác nhau như điểm bắt đầu giảm sau khi momen cực đại, điểm giảm nhanh của momen ở số vòng quay động cơ điện cao (khoảng 12.000 vòng/phút). Việc bố trí bộ giảm tốc và số cấp hệ thống truyền động ô tô điện phụ thuộc vào điện áp pin điện, từ đường đặc tuyến momen động cơ điện.



Hình 11. Tốc độ điều khiển và vận tốc tuyến tính của xe khi mô phỏng hết một chu kỳ pin.



Hình 12. Trạng thái (SOC) của pin khi mô phỏng hết một chu kỳ pin.

Hình 12 thể hiện điện áp cũng như thời gian xả của pin giảm nhanh so với điện áp lý thuyết. Trong nghiên cứu này, thiết lập khảo sát mô phỏng trong trạng thái SOC từ 95% và giảm dần đến 20% dựa trên các đánh giá vùng hệ thống pin làm việc ổn định nhất [11], [19]. Kết quả cho thấy trạng thái sạc giảm tuyến tính cho đến khi hết cho kỳ pin. Càng về cuối của chu kỳ pin, trạng thái sạc SOC giảm dần đều cũng minh chứng cho giai đoạn này hệ thống pin làm việc ổn định. Giai đoạn này của lượng điện trong pin nên được sử dụng trong ô tô điện để việc khai thác an toàn và kéo dài tuổi thọ của ô tô điện.

6. Kết luận

Bài báo đã tập trung nghiên cứu một số đặc tính quan trọng của pin điện cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất vận hành của hệ thống truyền

động trên xe ô tô điện. Thông qua mô hình mô phỏng sử dụng các thông số thực tế của hệ thống pin trang bị trên xe điện BYD ATTO3, các đặc tính như momen đầu ra của động cơ điện theo điện áp pin, vận tốc xe và chu trình điều khiển, cũng như trạng thái sạc SOC, đã được phân tích. Kết quả cho thấy điện áp của pin ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính momen của động cơ, từ đó ảnh hưởng đến hiệu suất tổng thể của hệ thống truyền động. Đồng thời, việc vận hành pin trong vùng SOC thích hợp không chỉ giúp đảm bảo hiệu suất vận hành mà còn góp phần nâng cao độ an toàn và kéo dài tuổi thọ của pin.

Tuy nhiên, nghiên cứu hiện tại vẫn còn tồn tại một số hạn chế cần được xem xét trong các hướng phát triển tiếp theo. Cụ thể, nhiệt độ môi trường và nhiệt độ vận hành của pin trong mô phỏng được giả định là hằng số, mô hình chưa tích hợp hệ thống làm mát cho

thống pin, vì vậy chưa phản ánh hết điều kiện vận hành thực tế của pin điện. Những điểm hạn chế này là cơ sở quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm hoàn thiện mô hình, nâng cao độ chính xác và mở rộng khả năng ứng dụng trong mô phỏng và thiết kế hệ thống điện cho xe ô tô điện.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Nguyễn Thành Sa: Tổng quan, Phương pháp, Thảo luận kết quả, Phản hồi ý kiến phản biện. **Hoàng Văn Chuẩn:** Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Viết – bản thảo gốc. **Đoàn Văn Đồng:** Phương pháp, Thảo luận kết quả, Biên soạn dữ liệu.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Tài liệu tham khảo

- [1] R. Rakholia, Q. Le, K. Vu, B. Q. Ho, and R. S. Carbajo, "AI-based air quality PM2.5 forecasting models for developing countries: A case study of Ho Chi Minh City, Vietnam," *Urban Climate*, vol. 46, art. no. 101315, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101315
- [2] A. Parikh, M. Shah, and M. Prajapati, "Fuelling the sustainable future: a comparative analysis between battery electrical vehicles (BEV) and fuel cell electrical vehicles (FCEV)," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, pp. 57236–57252, Apr. 2023, doi: 10.1007/s11356-023-26241-9
- [3] M. P. Nguyen, T. Ponomarenko, and N. Nguyen, "Energy transition in Vietnam: A strategic analysis and forecast," *Sustainability*, vol. 16, no. 5, p. 1969, Feb. 2024, doi: 10.3390/su16051969
- [4] Phạm Xuân Mai, Trần Văn Nam, *Ô tô điện & ô tô tự lái*. TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam: Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, 2023.
- [5] K. Leung, "Electronic structure modeling of electrochemical reactions at electrode/electrolyte interfaces in lithium ion batteries," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 117, no. 4, pp. 1539–1547, Jan. 2013, doi: 10.1021/jp308929a
- [6] G. L. Plett, *Battery Management Systems, Volume I*. USA: Library of Congress Cataloging, 2015
- [7] G. L. Plett, *Battery Management Systems, Volume II*. USA: Library of Congress Cataloging, 2016
- [8] J. T. Warner, *The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design*. USA: Library of Congress Cataloging, 2015
- [9] M. Zhang and X. Fan, "Review on the state of charge estimation methods for electric vehicle battery," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 11, no. 1, p. 23, Mar. 2020, doi: 10.3390/wevj11010023

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

1^{st,*} Nguyễn Thành Sa. *Viện Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh; Nhóm nghiên cứu AIT, Trường ĐH Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh*
2st Hoàng Văn Chuẩn. *Viện Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh*
3rd Đoàn Văn Đồng. *Viện Cơ khí, Trường ĐH Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh; Nhóm nghiên cứu BRIDGE, Trường ĐH Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh*

*Corresponding author: sa.nguyen@ut.edu.vn

- [10] I. B. Espedal, A. Jinasena, O. S. Burheim, and J. J. Lamb, "Current trends for state-of-charge (SoC) estimation in lithium-ion battery electric vehicles," *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3284, Jun. 2021, doi: 10.3390/en14113284
- [11] G. Nuroldayeva, Y. Serik, D. Adair, B. Uzakbaiuly, and Z. Bakenov, "State of health estimation methods for lithium-ion batteries," *International Journal of Energy Research*, Mar. 2023, doi: 10.1155/2023/4297545
- [12] M. Lelie, T. Braun, M. Knips, H. Nordmann, F. Ringbeck, H. Zappen, and D. U. Sauer, "Battery management system hardware concepts: An overview," *Applied Sciences*, vol. 8, no. 4, p. 534, Mar. 2018, doi: 10.3390/app8040534
- [13] Y. Xing, E. W. M. Ma, K. L. Tsui, and M. Pecht, "Battery management systems in electric and hybrid vehicles," *Energies*, vol. 4, no. 11, pp. 1840–1857, Oct. 2011, doi: 10.3390/en4111840
- [14] M. F. Ali, S. Linjun, I. Jamil, and M. Aurangzeb, "Research on charging and discharging of lithium ion battery based on temperature controlled technique," *International Journal of Engineering Works*, vol. 6, no. 5, pp. 153–158, May 2019, doi: 10.34259/ijew.19.605153158
- [15] *Simcenter Amesim Help*, Siemens, version 2301, 2023
- [16] J. Pavlovic, A. Marotta, and B. Ciuffo, "CO₂ emissions and energy demands of vehicles tested under the NEDC and the new WLTP type approval test procedures," *Applied Energy*, vol. 177, pp. 661–670, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.110
- [17] "BYD ATTO 3," *EV Database*, Nov. 20, 2024. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1782/BYD-ATTO-3> [Accessed: Jun. 25, 2025]
- [18] G. Pistoia and B. Liaw, *Behaviour of Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2018