

MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA HỘP SỐ HAI TỐC ĐỘ ĐẾN THÔNG SỐ HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ VÀ PIN Ô TÔ ĐIỆN

ThS. Phùng Văn Thơm

Trường Đại học Hòa Bình

Tác giả liên hệ: thompv@eaut.edu.vn

Ngày nhận: 25/5/2024

Ngày nhận bản sửa: 26/6/2024

Ngày duyệt đăng: 24/12/2024

Tóm tắt

Cuộc cạnh tranh trên thị trường ô tô điện đòi hỏi các hãng sản xuất phải tạo ra điểm khác biệt cho sản phẩm của mình. Việc thiết kế ô tô điện cần cân nhắc giữa khả năng vận hành trong các điều kiện tốc độ, địa hình khác nhau và hiệu suất sử dụng năng lượng. Vì vậy, hộp số hai tốc độ (hai cấp tỷ số truyền) đang dần được nghiên cứu để thay thế cho các hộp giảm tốc phổ biến hiện nay. Trong nghiên cứu này, một mô hình đánh giá ảnh hưởng của hộp số hai tốc độ đến hoạt động của động cơ và trạng thái sạc/xả của pin được đề xuất và xây dựng trong môi trường Matlab/Simulink. Các mô phỏng được thực hiện theo chu trình lái xe tiêu chuẩn WLTC (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Cycle) của quy trình kiểm tra đồng bộ xe hạng nhẹ toàn cầu WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure). Kết quả nghiên cứu cho thấy ô tô điện trang bị hộp số hai tốc độ có sự ổn định về thông số hoạt động của động cơ, trạng thái sạc/xả 94,08% trong một chu trình kiểm tra.

Từ khóa: Ô tô điện, hộp số hai tốc độ, động cơ, pin, trạng thái sạc, Matlab/Simulink.

Simulation and Modeling of the Influence of a Two-Speed Gearbox on Electric Vehicle Motor and Battery Operational Parameters

MA. Phung Van Thom

Hòa Bình University

Corresponding Author: thompv@eaut.edu.vn

Abstract

In the competitive landscape of the electric vehicle market, manufacturers are driven to innovate and introduce distinct features in their products. Designing electric vehicles entails a comprehensive consideration of their performance across diverse speeds, terrains, and energy efficiency requirements. Consequently, researchers are increasingly exploring the integration of two-speed gearboxes as alternatives to conventional reduction gears. This study introduces a model that assesses the effects of two-speed gearboxes on motor operational parameters and battery charge/discharge statuses, developed within the Matlab/Simulink environment. Simulations were executed following the WLTC standard driving cycle as per the global harmonized light vehicle test procedure. The research outcomes demonstrate that electric vehicles equipped with two-speed gearboxes exhibit stable engine operational parameters, maintaining a battery state of charge at 94.08% throughout a single test cycle.

Keywords: Electric vehicles, two-speed gearbox, motor, battery, state of charge, Matlab/Simulink.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và ô nhiễm môi trường ngày càng trở nên nghiêm trọng, nhu cầu về các giải pháp giao thông bền vững đang trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết. Năm 2023, Nghị viện và Hội đồng Châu Âu đã sửa đổi Quy định nhằm tăng cường các tiêu chuẩn phát thải CO2 đối với ô tô chở khách và xe tải mới, hướng tới trung hòa về khí hậu vào năm 2050. Sửa đổi này đã củng cố các mục tiêu phát thải áp dụng từ năm 2030 và đặt mục tiêu giảm phát thải 100% cho cả ô tô con và xe tải từ năm 2035 trở đi [1]. Xe ô tô điện (EV) đã nổi lên như một lựa chọn tiềm năng để giảm thiểu phát thải khí nhà kính và giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, hiệu suất và hiệu quả sử dụng năng lượng của xe điện vẫn là những thách thức lớn cần được giải quyết để thúc đẩy sự phổ biến rộng rãi của chúng.

Một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất của xe điện là hệ thống truyền động gồm động cơ và hộp số. Mặt khác, đây là phần tiêu thụ năng lượng chính của xe, có nhiệm vụ biến đổi năng lượng điện được lưu trữ trong pin thành năng lượng cơ học. Hầu hết các xe điện hiện nay sử dụng hộp số một tốc độ do tính đơn giản và chi phí thấp [2-4]. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng việc sử dụng hộp số hai tốc độ có thể cải thiện hiệu suất của xe điện,

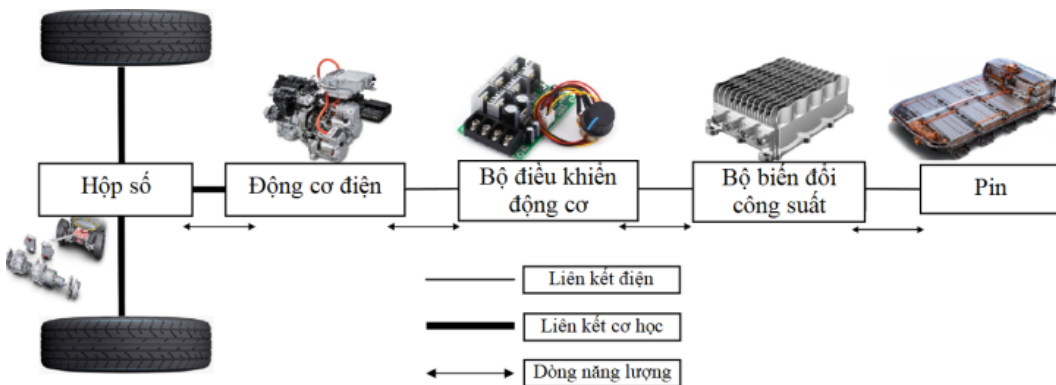
đặc biệt là trong các điều kiện vận hành khác nhau như tăng tốc, leo dốc và duy trì tốc độ cao [5-7]. Mặt khác, dung lượng pin của xe điện ngoài việc giới hạn phạm vi lái xe, tất cả các loại pin sẽ trở nên kém hiệu quả theo thời gian. Mặc dù đã có nhiều tiến bộ đáng kể trong công nghệ sản xuất pin để tăng mật độ năng lượng và cải thiện hiệu suất trong nhiều thập kỷ qua, tuy nhiên, việc nạp/xả pin nhiều lần, sự mất ổn định của dòng xả dẫn đến khả năng lưu trữ điện của pin bị suy giảm [8]. Trong khi giá pin xe điện còn cao, số lượng pin bị thải ra môi trường cũng sẽ tăng lên đáng kể. Việc tái chế pin xe điện là không đơn giản do sự phức tạp trong thiết kế của pin Lithium-ion [9-10]. Do đó, cần có giải pháp để giúp ổn định cường độ dòng điện vào/ra của pin trong quá trình sạc/xả.

Bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của hộp số hai tốc độ đến trạng thái sạc/xả của pin xe điện thông qua mô hình hóa và mô phỏng. Phần còn lại của nghiên cứu gồm ba phần: Phần 2 trình bày cơ sở lý thuyết của mô hình đánh giá; trên cơ sở đó, Phần 3 sẽ xây dựng phần mềm mô phỏng trạng thái sạc/xả của pin bằng Matlab/Simulink, đồng thời, trình bày các kết quả mô phỏng và thảo luận; cuối cùng, Phần 4 sẽ đưa ra các kết luận chính và định hướng nghiên cứu trong tương lai.

2. Cơ sở lý thuyết của mô hình

2.1. Cấu trúc cơ bản của hệ thống chuyển đổi năng lượng trong xe điện thuần pin

Hình 1. Sự chuyển đổi năng lượng trong xe điện



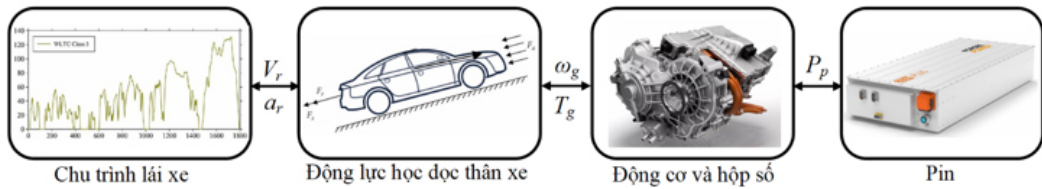
Sự chuyển đổi năng lượng trong xe điện được mô tả trong Hình 1, bao gồm: (1) Pin là lưu trữ năng lượng điện để cung cấp cho động cơ điện. Hiện nay, hầu hết các xe điện sử dụng pin lithium-ion vì chúng có mật độ năng lượng cao và tuổi thọ tương đối dài; (2) Bộ biến đổi công suất là một hệ thống điện tử chuyển đổi điện áp và dòng điện từ pin quy sang dạng phù hợp để cung cấp cho động cơ điện và các hệ thống điện khác; (3) Bộ điều khiển động cơ điều khiển hoạt động của động cơ điện bao gồm: tốc độ, mô-men xoắn, hệ thống phanh tái sinh; (4) Động cơ điện được cung cấp năng lượng từ nguồn điện và biến

đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ học; (5) Hộp số sử dụng để điều chỉnh tốc độ và mô men xoắn, tối ưu hiệu suất động cơ. Như vậy, sự thay đổi của các chế độ hoạt động như tốc độ, mô men, địa hình đòi hỏi hệ thống truyền lực phải đáp ứng được yêu cầu đặt ra, điều này tác động trực tiếp đến thông số hoạt động của pin.

2.2. Sơ đồ đánh giá ảnh hưởng của hộp số hai tốc độ đến trạng thái sạc của pin

Để đánh giá được ảnh hưởng của hộp số hai tốc độ đến trạng thái sạc của pin, một sơ đồ đánh giá được xây dựng như mô tả trong Hình 2, bao gồm các khối cụ thể như sau:

Hình 2. Sơ đồ đánh giá

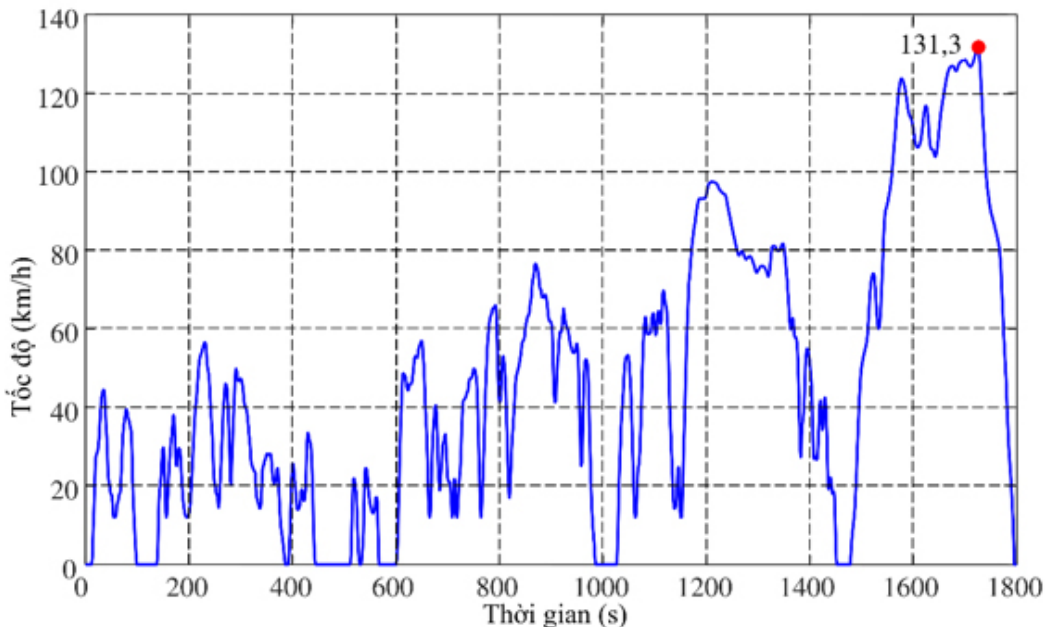


2.2.1. Chu trình lái xe

Chu trình được sử dụng là WLTC được phát triển dưới sự bảo trợ của Ủy ban Kinh tế Liên hợp quốc về Châu Âu nhằm cung cấp các điều kiện kiểm tra thống nhất trên toàn thế giới cho ô tô điện để xác định mức tiêu thụ năng lượng

điện và phạm vi lái xe tối đa. Đồ thị vận tốc WLTP loại 3 [11] được mô tả trong Hình 3 cung cấp các giá trị vận tốc thay đổi theo thời gian khi lái xe trong khu đô thị, ngoài đô thị và lái xe trên cao tốc được sử dụng để kiểm tra hầu hết các loại xe điện hiện nay.

Hình 3. Chu trình lái xe WLTC loại 3



2.2.2. Động lực học dọc thân xe

Ngoài thành phần lực kéo được cung cấp bởi hệ thống truyền lực, xe còn phải chịu tác dụng của ba thành phần lực cản chính trong quá trình di chuyển, gồm: Lực cản khí động học; Lực cản lăn của lốp xe; Lực cản khi vượt dốc [12-13] (xem Hình 4). Như vậy, thành phần lực kéo F_K của xe phải thỏa mãn phương trình:

$$F_K = F_A + F_L + F_D \quad (1)$$

Trong đó:

- Lực cản khí động học F_A xuất hiện khi xe di chuyển, phụ thuộc vào vận tốc của xe và dòng không khí V_x và V_k , A là diện tích mặt trước của xe, ρ là khối lượng riêng của không khí và hệ số cản của không khí C_k :

$$F_A = \frac{1}{2} A \rho C_k (V_x + V_k)^2 \quad (2)$$

- Lực cản lăn của lốp F_L được xác định theo phương trình:

$$F_L = mg C_L \cos \alpha \quad (3)$$

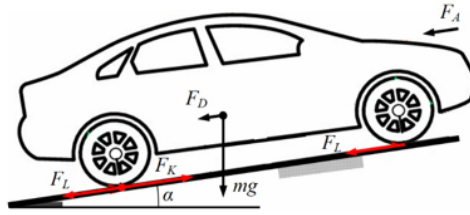
với m là khối lượng của xe, g là gia tốc trọng trường, C_L là hệ số cản lăn, α là góc nghiêng của đường dốc.

- Lực cản khi vượt dốc F_D xuất hiện khi độ dốc của mặt đường thay đổi:

$$F_D = \pm mg \sin \alpha \quad (4)$$

dấu “+” khi xe chuyển động lên dốc và dấu “-” khi xe chuyển động xuống dốc.

Hình 4. Động lực học dọc thân xe



2.2.3. Động cơ điện và hộp số

Cụm động cơ điện và hộp số cần cung cấp đủ mô men xoắn cần thiết đảm bảo rằng luôn đáp ứng được lực kéo tại các bánh xe dẫn động, mối quan hệ này được xác định như sau:

$$F_K = \frac{30}{\pi} \times \frac{1000 P_{DC} i_{HS} \eta_T}{n_{DC} r_{BX}}$$

trong đó, P_{DC} là công suất của động cơ điện (kW), n_{DC} là tốc độ quay của động cơ (vòng/phút), i_{HS} là tỷ số truyền của hộp số, r_{BX} là bán kính của bánh xe (m), η_T là hiệu suất truyền.

2.2.4. Pin

Trạng thái sạc của pin (SOC - State of Charge) là một chỉ số quan trọng để đảm bảo hiệu suất và an toàn cho việc sử dụng pin. Các phương pháp đo lường và giám sát SOC đóng vai trò quan trọng trong việc quản lý năng lượng và tuổi thọ của các thiết bị sử dụng pin.

Một trong các phương pháp được sử dụng rộng rãi để ước tính SOC là xác định dung lượng theo thời gian [14]:

$$SOC_k = SOC_{k-1} - \frac{T_s \eta}{Q_p} i_p(k)$$

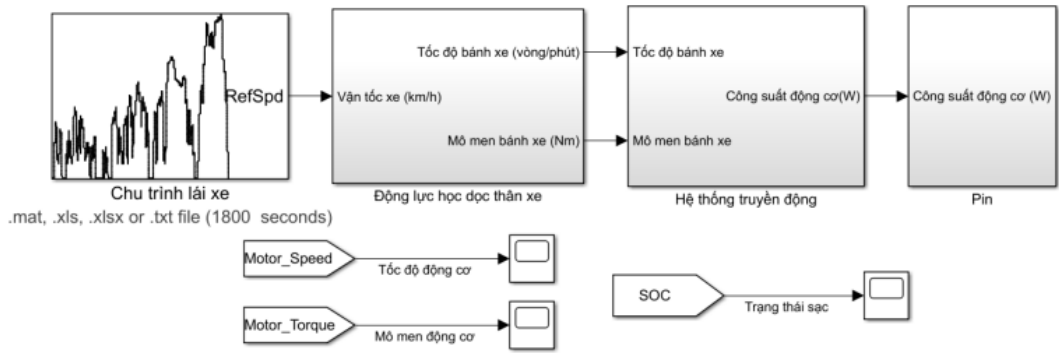
với SOC_{k-1} là giá trị SOC ban đầu, T_s là chu kỳ lấy mẫu đo, Q_p là dung lượng pin danh nghĩa, η là hiệu suất coulombic, $i(k)$ là cường độ dòng điện tại thời điểm k .

3. Mô hình đánh giá bằng phần mềm Matlab/Simulink

3.1. Xây dựng mô hình Matlab/Simulink

Trên cơ sở lý thuyết đã trình bày ở Phần 2, sơ đồ mô phỏng đánh giá thông số hoạt động của pin khi sử dụng hộp số hai tốc độ được xây dựng bằng Matlab/Simulink như mô tả trong Hình 5.

Hình 5. Mô hình Matlab/Simulink



3.2. Thông số mô phỏng

Các thông số mô phỏng sử dụng trong bài toán mô phỏng được cho trong Bảng 1 [15-16].

Bảng 1. Các thông số mô phỏng

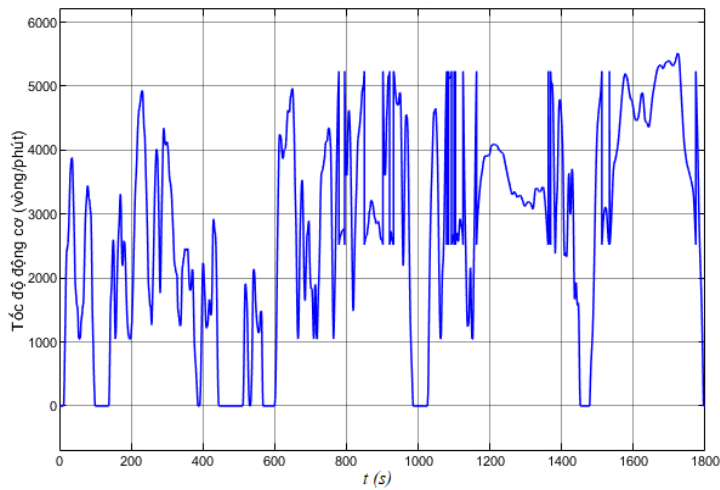
Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Xe điện			
Khối lượng xe	m	1616,15	Kg
Diện tích mặt trước	A	2,1	m^2
Hệ số cản không khí	C_k	0,38	--
Mật độ không khí	ρ	1,23	kg/m^3
Gia tốc trọng trường	g	9,81	m/s^2
Hiệu suất truyền	T	0,97	--
Bán kính bánh xe	r_{bx}	0.3234	m
Hệ số cản lăn	C_L	0,01	--
Độ dốc của đường	α	0	o
Điện áp danh nghĩa của pin	V_P	240	V
Dung lượng pin	Q_P	53	kWh
Hiệu suất Coulombic		0,98	--
Trạng thái sạc ban đầu	SOC_{k-1}	100%	--
Hệ truyền động			
Tốc độ tối đa	V_{dc}	0 8600	$vòng/phút$
Công suất động cơ	P_{max}	150	kW
Mô men tối đa động cơ	M_{max}	360	Nm
Tỷ số truyền cấp 1	i_1	10,64	--
Tỷ số truyền cấp 2	i_2	5,12	--

3.3. Kết quả và thảo luận

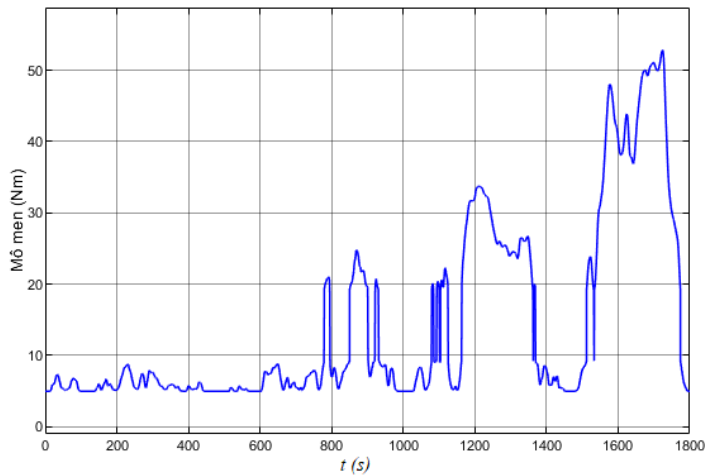
Từ mô hình Matlab/Simulink đã xây dựng và thông số trong Bảng 1, Hình 6 dưới đây là kết quả mô phỏng với các thông số hoạt động của động cơ gồm tốc độ và mô men.

Quan sát Hình 6, tốc độ tối đa động cơ phải làm việc là 6203 vòng/phút, trong khi mô men lớn nhất là 58,81 Nm. So với mô men yêu cầu tại bánh xe trên Hình 7, việc sử dụng hộp số hai cấp giúp phân phối sức mạnh của động cơ hợp lý, tránh quá tải.

Hình 6. Thông số hoạt động của động cơ với (a) Tốc độ và (b) Mô men

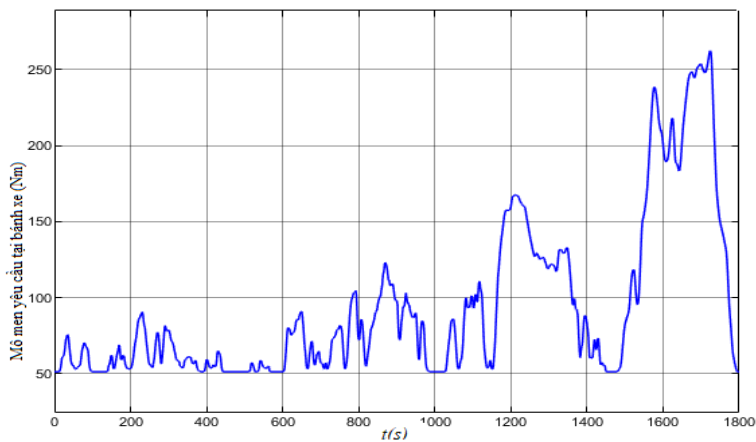


(a)

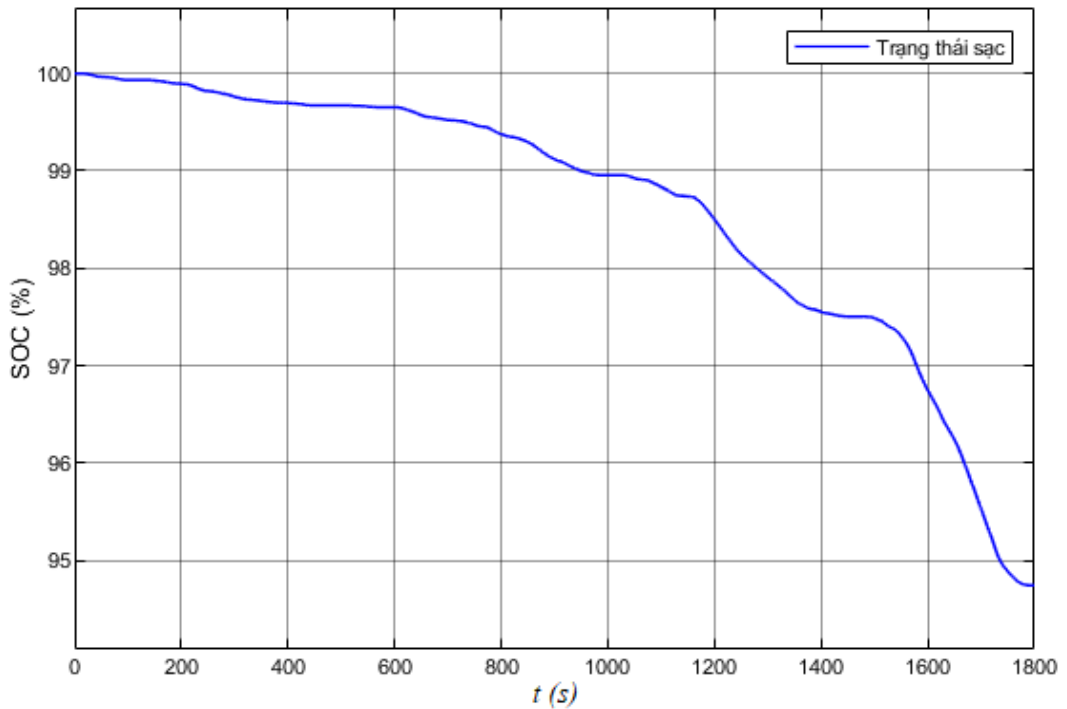


(b)

Hình 7. Mô men yêu cầu tại bánh xe dẫn động



Sau một chu trình kiểm tra, đồ thị biến thiên SOC được mô tả trong Hình 8 với SOC tại trạng thái cuối là 94,08%, dung lượng pin đã được sử dụng là 5,92%.

Hình 8. Trạng thái sạc của pin sau một chu trình kiểm tra

4. Kết luận

Bài báo này đã đánh giá ảnh hưởng của hộp số hai tốc độ đến thông số làm việc của động cơ và trạng thái sạc của pin. Từ các kết quả mô phỏng và thảo luận ở trên, có thể rút ra các kết luận chính như sau: (1) Hộp số hai tốc độ giúp phân phối sức mạnh của động cơ hợp lý trong các điều kiện vận hành khác nhau. Việc tăng số

cấp sẽ gia tăng thời gian động cơ được làm việc trong vùng hiệu suất cao; (2) Trạng thái sạc/xả của pin đã được chỉ ra làm tiền đề cho việc quản lý sức khỏe của pin.

Tuy nhiên, nghiên cứu này còn một số điểm hạn chế khi chưa xem xét đến các vấn đề hiệu suất của hộp số. Vì vậy, nó sẽ là một trong những mục tiêu nghiên cứu trong tương lai của tôi.

Tài liệu tham khảo

- [1] The European Commission, “CO₂ emission performance standards for cars and vans”, 2024. Accessed 20 April 2024. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en.
- [2] JB Straubel, “An Engineering Update on Powertrain 1.5”, 2008. Accessed 15 March 2024. <https://www.tesla.com/blog/engineering-update-powertrain-15>.
- [3] Liu, J., et al., “Design of the Chevrolet Bolt EV propulsion system”, *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 5(1), 79-86, 2016.
- [4] Filomeno, G., et al., “Multi-objective electric powertrain design optimization under package constraints”. In *Electromechanical Drive Systems*, 2021, ETG Symposium, 1-6.
- [5] Wang, J., et al., “Drive-cycle Based Configuration Design and Energy Efficiency Analysis of Dual-Motor 4WD System with Two-speed Transmission for Electric Vehicles”, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2023.
- [6] Kwon, K., Lee, J. H., & S. K. Lim, “Optimization of multi-speed transmission for electric vehicles based on electrical and mechanical efficiency analysis”, *Applied Energy* 342, 121203, 2023.

- [7] Lacock, S., du Plessis, A. A., & Booysen, M. J., “Electric vehicle drivetrain efficiency and the multi-speed transmission question”, *World Electric Vehicle Journal*, 2023, 14(12), 342.
- [8] F. A. Machado, et al., “Multi-Speed Gearboxes for Battery Electric Vehicles: Current Status and Future Trends”, *IEEE Open Journal of Vehicular Technology* 2, 419-435, 2021.
- [9] Ma T, et al., “Degradation mechanism study and safety hazard analysis of overdischarge on commercialized lithium-ion batteries”, *ACS Appl Mater Interfaces*, 12(50), 56086-56094, 2020.
- [10] Wulandari, T., Fawcett, D., Majumder, S. B., & G. E. Poinern, “Lithium-based batteries, history, current status, challenges, and future perspectives”, *Battery energy* 2(6), 2023.
- [11] Micari, S., et al., “Effect of WLTP Class 3B Driving Cycle on Lithium-Ion Battery for Electric Vehicles”, *Energies* 15(18), 6703, 2022.
- [12] Naseri, F., Barbu, C., & Sarikurt, T., “Optimal sizing of hybrid high-energy/high-power battery energy storage systems to improve battery cycle life and charging power in electric vehicle applications”, *Journal of Energy Storage* 55, 105768, 2022.
- [13] Haidar, F., et al., “Integrated Vehicle Dynamics Modeling, Path Tracking, and Simulation: A Matlab Implementation Approach”, *Engineering Perspective* 1, 7-16, 2024.
- [14] F. Naseri, et al., “An enhanced equivalent circuit model with real-time parameter identification for battery state-of-charge estimation”, *IEEE Trans. Ind. Electron* 69(4), 3743–3751, 2022.
- [15] Adegbohun, F., Von Jouanne, A., Phillips, B., Agamloh, E., & Yokochi, A., “High performance electric vehicle powertrain modeling, simulation and validation”, *Energies* 14(5), 1493, 2021.
- [16] <https://media.chevrolet.com/media/us/en/chevrolet/2022-bolt-euv-bolt-ev.detail.html/content/Pages/news/us/en/2021/feb/0214-bolteu-bolteuv-specifications.html>.