

MÔ HÌNH, MÔ PHỎNG VÀ THIẾT KẾ XE MÁY ĐIỆN LẠI SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ IN-HUB

MODELLING, SIMULATION, AND DESIGN OF HYBRID ELECTRIC MOTORCYCLES EQUIPPED WITH IN-HUB MOTORS

Trần Anh Hải¹, Hồ Đắc Lộc², Huỳnh Châu Duy^{2*}, Nguyễn Tiến Phát³, Nguyễn Đình Phương⁴

¹Trường Trung cấp Nghề Bình Thạnh, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn, Hà Nội, Việt Nam

⁴Trường Trung học Cơ sở Lê Văn Tám, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: hc.duy@hutech.edu.vn

(Nhận bài / Received: 05/9/2024; Sửa bài / Revised: 08/10/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 24/10/2024)

Tóm tắt - Bài báo này nghiên cứu mô hình, mô phỏng và thiết kế xe máy điện lai sử dụng động cơ In-hub thông qua việc kết hợp nhiên liệu xăng và năng lượng điện để tối ưu hóa hiệu suất vận hành. Mục tiêu là phát triển mô hình lai giữa động cơ xăng và điện, nhằm tiết kiệm năng lượng và gia tăng quãng đường di chuyển. Động cơ In-hub, được lắp đặt trực tiếp vào bánh xe, đang trở thành xu hướng trong ngành công nghiệp xe máy và xe đạp. Thiết kế này giúp giảm trọng lượng tổng thể, tối ưu không gian lưu trữ và cải thiện khả năng vận hành. Các kết quả mô phỏng đạt được bằng phần mềm Simulink/Matlab và thực nghiệm của nghiên cứu được áp dụng trên xe máy Honda Wave Blade 110 cho thấy, sự kết hợp giữa động cơ xăng và điện đảm bảo độ tin cậy cho quãng đường di chuyển liên tục.

Từ khóa - Xe máy; xe máy điện; xe máy điện lai; động cơ In-hub.

1. Tổng quan

Trong những năm gần đây, năng lượng là một trong những vấn đề nhận được nhiều quan tâm, các yêu cầu khắt khe trong quá trình sử dụng năng lượng cũng như việc sử dụng nhiên liệu thay thế nhiên liệu hóa thạch được nhiều nhà khoa học nghiên cứu. Với các thách thức của ô nhiễm môi trường và cạn kiệt tài nguyên năng lượng, việc đề xuất kết hợp giữa động cơ xăng và động cơ điện trên các dòng xe máy như một giải pháp tiềm năng [1]. Xe máy điện lai mang đến khả năng linh hoạt và tiết kiệm nhiên liệu. Hiện nay, xe máy đang đối mặt với một số vấn đề đáng chú ý tại Việt Nam nói riêng, cũng như một số quốc gia đang phát triển trên thế giới nói chung. Một trong những vấn đề lớn nhất là ô nhiễm môi trường. Xe máy sử dụng động cơ đốt trong và sản sinh ra các khí thải gây ô nhiễm. Việc gia tăng số lượng xe máy ngày càng nhiều trong các đô thị lớn đã góp phần làm gia tăng ô nhiễm không khí. Vì vậy, xe máy điện đang trở thành một phương tiện giao thông phổ biến và thu hút nhiều quan tâm [2]. Xe máy điện hiện nay được tích hợp với công nghệ lưu trữ pin lithium-ion mạnh mẽ, giúp nâng cao hiệu suất vận hành và gia tăng khoảng cách di chuyển. Tuy nhiên, thời gian sạc vẫn gặp nhiều trở ngại và cần sự phát triển cơ sở hạ tầng thông qua hệ thống sạc công cộng thuận tiện hơn. Xe

Abstract - This paper investigates a hybrid electric motorcycle's modelling, simulation, and design utilizing an In-hub motor. The combination of gasoline fuel and electrical energy optimizes operational performance. Developing a hybrid model between a gasoline engine and an electric motor aims to conserve energy and increase the driving range. The In-hub motor, directly integrated into the wheel, is becoming a trend in the motorcycle and bicycle industry. This proposal reduces overall weight, optimizes storage space, and improves handling. The simulation results obtained by Simulink/Matlab software and experiments conducted on a Honda Wave Blade 110 demonstrate the combination of gasoline and electric motors ensuring reliability for a continuous driving range.

Key words - Motorcycles; electric vehicles; hybrid vehicles; In-hub motors.

máy điện hiện nay thường có phạm vi di chuyển hạn chế so với xe máy chạy xăng. Điều này đòi hỏi người dùng cần theo dõi mức năng lượng còn lại để tránh gián đoạn trong quá trình di chuyển. Để giải quyết các trở ngại và thách thức trên, bài báo đề xuất giải pháp xe máy điện lai giữa xe máy xăng và xe máy điện nhằm giúp cải thiện hiệu suất vận hành và gia tăng khoảng cách di chuyển bằng việc sử dụng động cơ In-hub. Mục tiêu là phát triển mô hình lai giữa động cơ xăng và điện, nhằm tiết kiệm năng lượng và gia tăng quãng đường di chuyển trên cơ sở nghiên cứu mô hình, mô phỏng và thiết kế xe máy điện lai sử dụng động cơ In-hub bằng việc kết hợp nhiên liệu xăng và năng lượng điện để tối ưu hóa hiệu suất vận hành. Kết quả mô phỏng đạt được bằng phần mềm Simulink/Matlab và thực nghiệm được tiến hành trên xe máy Honda Wave Blade 110.

2. Mô hình toán của động cơ điện được đề xuất sử dụng trên xe máy hai bánh nhiên liệu xăng loại hộp số

Xe máy hai bánh điện đang trở thành một phương tiện giao thông phổ biến trong giai đoạn gần đây với trang bị động cơ điện hoạt động bên bi và hiệu quả, Hình 1. Xe máy hai bánh điện không sản sinh khí thải độc hại và tiếng ồn như các loại xe máy hai bánh sử dụng động cơ đốt trong.

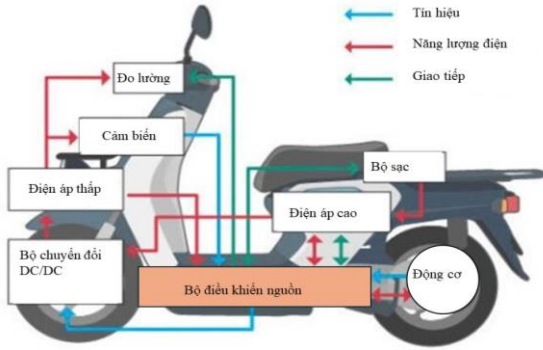
¹ Bình Thạnh Vocational College, Ho Chi Minh City, Vietnam (Hai A. Tran)

² HUTECH University, Ho Chi Minh City, Vietnam (Loc D. Ho, Duy C. Huynh)

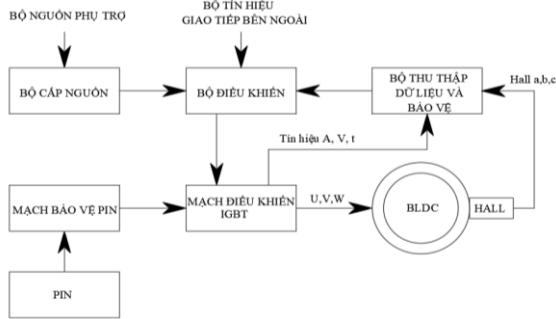
³ Le Quy Don Technical University, Ha Noi, Vietnam (Phat T. Nguyen)

⁴ Le Van Tam Secondary School, Ho Chi Minh City, Vietnam (Phuong D. Nguyen)

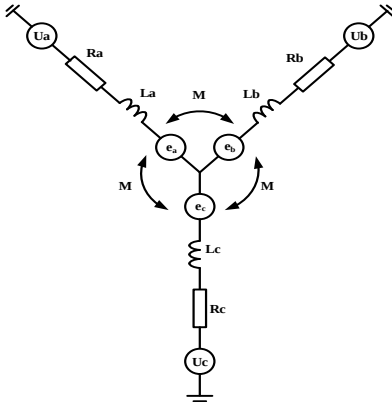
Động cơ điện được sử dụng trong các xe máy hai bánh điện là động cơ một chiều không chổi than (Brushless DC, BLDC) mà được lắp trực tiếp vào bánh sau xe và truyền động trực tiếp [3]. Mô hình xe máy hai bánh điện được biểu diễn như sơ đồ khối Hình 2. Động cơ BLDC được thể hiện bởi mô hình mạch điện Hình 3. Từ mô hình mạch điện Hình 3, phương trình điện áp (1) của các pha trên động cơ BLDC được trình bày mà sẽ được sử dụng trong quá trình điều khiển xe máy hai bánh điện lại.



Hình 1. Mô hình xe máy hai bánh điện



Hình 2. Sơ đồ khối mô hình xe máy hai bánh điện



Hình 3. Mô hình mạch điện của động cơ BLDC

Phương trình điện áp của các pha trên động cơ BLDC là như sau [4], [5] và [6]:

$$\begin{cases} U_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a \\ U_b = R_b i_b + L_b \frac{di_b}{dt} + e_b \\ U_c = R_c i_c + L_c \frac{di_c}{dt} + e_c \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: L_a, L_b, L_c là điện cảm; R_a, R_b, R_c là điện trở; i_a, i_b, i_c là dòng điện; và e_a, e_b, e_c là sức phản điện động tác dụng lên stator các pha A, B và C.

Mô-men của động cơ BLDC là như sau:

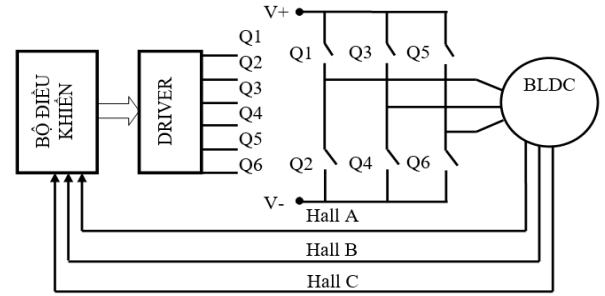
$$M = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega} \quad (2)$$

Phương trình động học của động cơ BLDC là như sau:

$$M = (J_m + J_c) \frac{d\omega}{dt} + D\omega + M_c \quad (3)$$

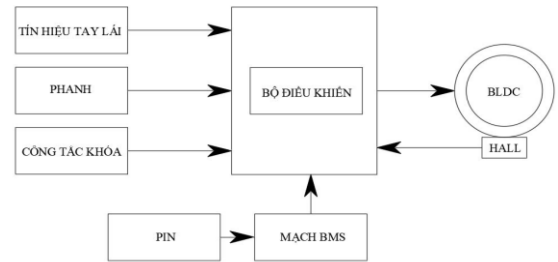
Trong đó, ω là tốc độ của động cơ; J_m là mô-men quán tính của rotor; M_c là mô-men tải của động cơ; và J_c là mô-men quán tính của tải.

Động cơ BLDC sử dụng cảm biến Hall để xác định vị trí của rotor; từ đó, giúp mạch điều khiển công suất động cơ BLDC [6].



Hình 4. Hệ điều khiển động cơ BLDC sử dụng cảm biến Hall

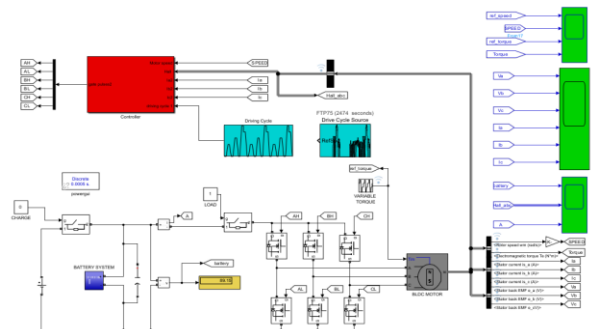
3. Kết quả mô phỏng xe máy hai bánh điện lại



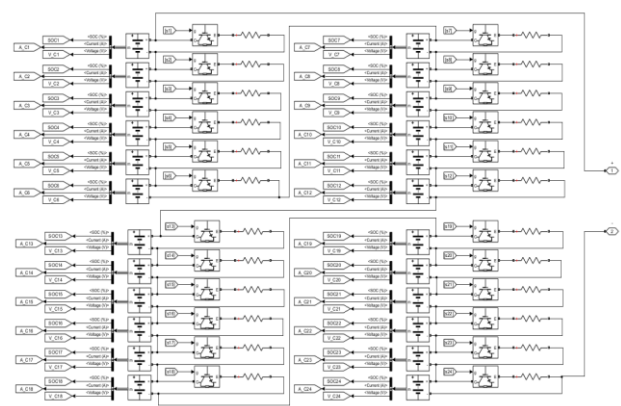
Hình 5. Sơ đồ nguyên lý điều khiển xe máy hai bánh điện

Hệ thống điều khiển động cơ BLDC được mô tả như Hình 5. Khi ấy, quá trình hoạt động của động cơ BLDC được mô phỏng bằng phần mềm Simulink/Matlab như Hình 6 [7]. Hệ thống này bao gồm:

- + Động cơ BLDC;
- + Bộ điều khiển [4], [5], [9];
- + Bộ chuyển đổi năng lượng điện DC-AC [4], [5], [10]-[13];
- + Hệ thống pin lưu trữ lithium được mô tả và mô phỏng chi tiết như Hình 7 [14], [15], [16].



Hình 6. Sơ đồ mô phỏng phần điện của xe máy hai bánh điện



Hình 7. Sơ đồ mô phỏng phần pin lithium của xe máy hai bánh điện

Các Bảng 1-4 lần lượt là các thông số mô phỏng của động cơ BLDC, cell pin lithium, bộ điều khiển và moment tải. Các mô phỏng lần lượt được thực hiện với các kịch bản bao gồm pin 100% và hệ thống lái thay đổi trong thời gian 20 (giây); pin 100% và hệ thống lái FTP75; pin thay đổi và hệ thống lái FTP75; và pin thay đổi, hệ thống lái FTP75 và động cơ BLDC không hoạt động. FTP75 được định nghĩa là trường hợp hệ thống lái thay đổi trong thời gian 2474 (giây).

Bảng 1. Thông số mô phỏng động cơ BLDC

Thông số	Giá trị
Điện trở stator, R_s	0,7 (Ω)
Điện cảm trục d, L_d	0,0027 (H)
Điện cảm trục q, L_q	0,0027 (H)
Từ thông từ hóa, ψ_m	0,1194 (V.s)
Điện áp dây, U_{dc}	72 (V)
Moment động cơ, T	0 (N.m)
Hệ số quán tính, J	0,01197 (kg.m^2)
Hệ số ma sát, F	0,0004924 (N.m.s)
Số cặp cực, p	4

Bảng 2. Thông số mô phỏng cell pin lithium

Thông số	Giá trị
Điện áp, U_{cell}	3,2 (V)
Dung lượng, A_{cell}	22 (Ah)
Trạng thái pin ban đầu, S_0	100 (%)
Thời gian phản hồi của pin, t_{cell}	30 (giây)

Bảng 3. Thông số mô phỏng bộ điều khiển

Thông số	Giá trị
Hệ số, k_p	5
Hệ số, k_I	4.9

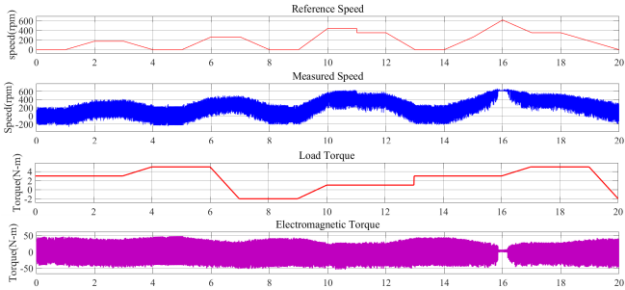
Bảng 4. Thông số mô phỏng momen tải

Thông số	Giá trị
Thời gian, t (s)	[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20]
Momen tải, M_c (N.m)	[3 3 3 3 5 5 5 -2 -2 -2 1 1 1 1 1 3 3 3 3 5 5 5]

3.1. Mô phỏng với pin lithium 24 cell, dung lượng 100% và hệ thống lái thay đổi trong thời gian 20 giây

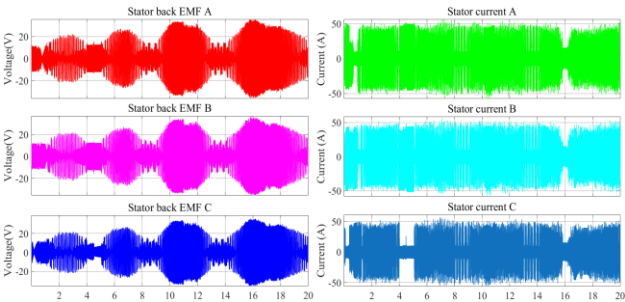
Mô phỏng đáp ứng của động cơ BLDC với pin lithium 24 cell, dung lượng 100% và hệ thống lái thay đổi trong thời gian 20 giây. Mô phỏng thay đổi tốc độ lái làm tác

động đến sự thay đổi tức thời của động cơ được biểu diễn ở Hình 8. Nhận thấy rằng sự thay đổi đột ngột quá trình lái tại thời điểm, 16 giây đã làm momen từ của động cơ thay đổi và tốc độ động cơ thay đổi theo.

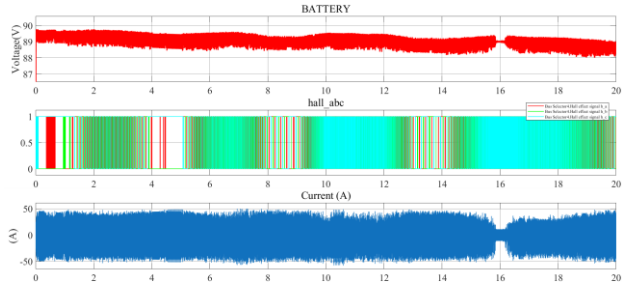


Hình 8. Đáp ứng của tín hiệu lái đối với động cơ BLDC

Trong trường hợp mô phỏng này, động cơ BLDC có tốc độ thay đổi đáp ứng với tốc độ của quá trình vận hành lái như Hình 8. Các tín hiệu dòng điện trên cuộn dây stator, điện áp trả về từ cảm biến Hall dao động liên tục, ứng biến với tín hiệu lái như Hình 9-10.

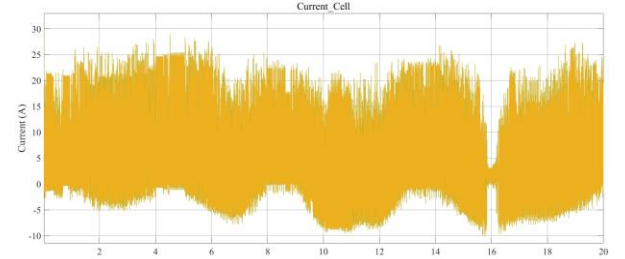


Hình 9. Dòng điện stator và sức phản điện động của động cơ BLDC

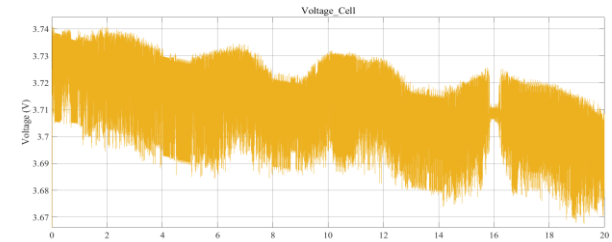


Hình 10. Tín hiệu cảm biến Hall của động cơ BLDC, dòng điện và điện áp của pin lithium

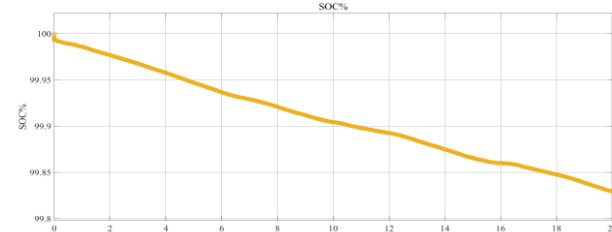
Dòng điện và điện áp của một cell pin lithium được biểu diễn như Hình 11-12. Khi ấy, dung lượng của pin lithium được thể hiện như Hình 13. Theo phân tích, tại thời điểm, 16 giây, dòng điện stator giảm. Khi tín hiệu lái giảm và điện áp của pin có xu hướng không đổi do năng lượng cung cấp cho động cơ không đổi.



Hình 11. Dòng điện của một cell pin lithium



Hình 12. Điện áp của một cell pin lithium

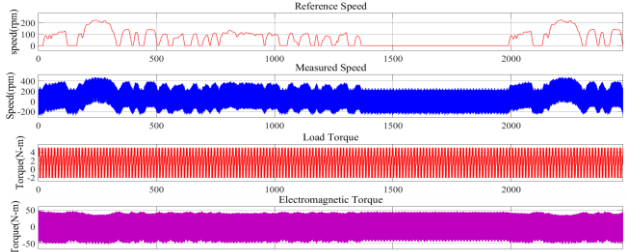


Hình 13. Dung lượng của pin lithium

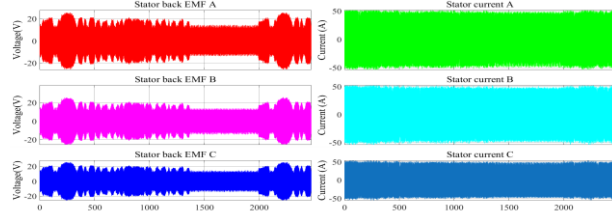
Trong mô phỏng này, các Hình 8-13 cho ta thấy, sự thay đổi liên tục trong hệ thống từ pin đến động cơ luôn đáp ứng kịp thời đối với sự thay đổi của quá trình lái.

3.2. Mô phỏng với pin lithium 24 cell, dung lượng 100% và hệ thống lái FTP75

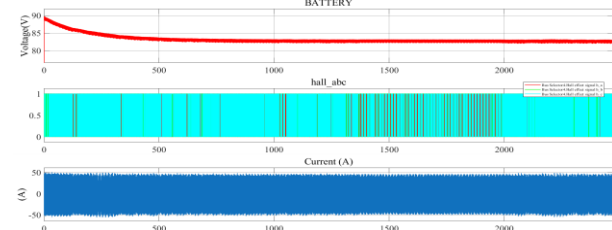
Mô phỏng đáp ứng của động cơ BLDC với pin lithium 24 cell, dung lượng 100% và hệ thống lái FTP75 với thời gian là 2474 giây. Trong mô phỏng này, tốc độ động cơ được thay đổi liên tục với tín hiệu lái dài hơn, Hình 14. Trong Hình 15, tín hiệu lái thay đổi liên tục trong khoảng từ 0 đến 1500 giây, điện áp stator dao động theo; sau đó, khi tín hiệu lái không đổi, điện áp stator có xu hướng ổn định.



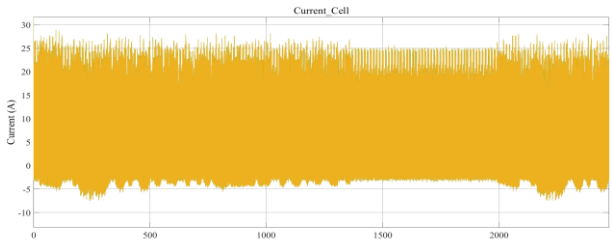
Hình 14. Đáp ứng của tín hiệu lái đến động cơ BLDC



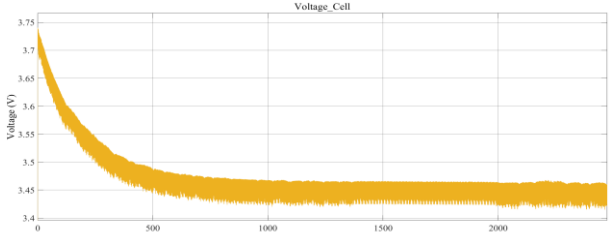
Hình 15. Dòng điện stator và sức phản điện động của động cơ BLDC



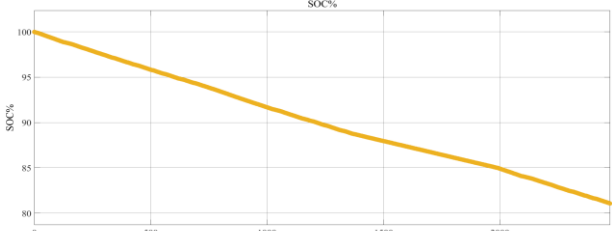
Hình 16. Tín hiệu cảm biến Hall của động cơ BLDC, dòng điện và điện áp của pin lithium



Hình 17. Dòng điện của một cell pin lithium



Hình 18. Điện áp của một cell pin lithium



Hình 19. Dung lượng của pin lithium

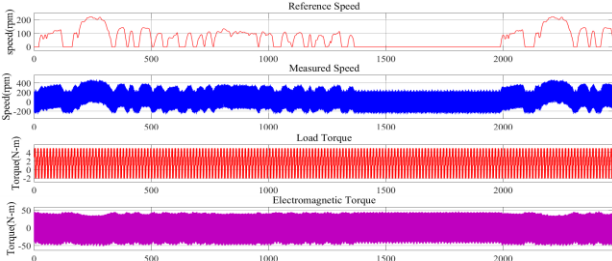
Tương tự như mô phỏng trước, trong trường hợp này, thay đổi tín hiệu lái và thời gian dài hơn 2474 giây, các thông số của động cơ BLDC và pin vẫn đáp ứng.

3.3. Mô phỏng với pin lithium 24 cell, dung lượng thay đổi và hệ thống lái FPT75

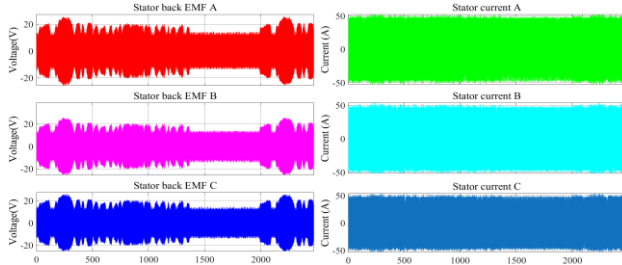
Giả sử pin lithium 24 cell dung lượng thay đổi với hệ thống lái FPT75 như Bảng 5. Đối với mô phỏng này, từng dung lượng cell-pin thay đổi, nhưng vẫn giữ thời gian và tín hiệu lái với thời gian 2474 giây. Các tín hiệu của động cơ BLDC vẫn hoạt động ổn định như mô phỏng với dung lượng của khối pin 100%.

Bảng 5. Giá trị từng cell pin

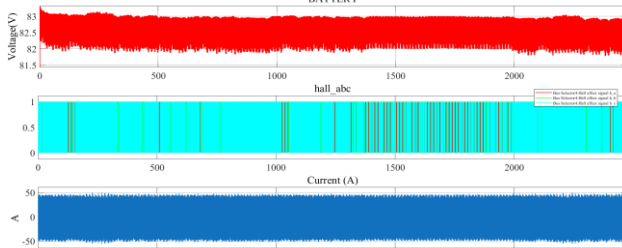
Cell	%	Cell	%	Cell	%
1	90	9	89	17	90
2	89	10	87	18	90
3	90	11	88	19	92
4	96	12	90	20	93
5	89	13	95	21	90
6	91	14	96	22	90
7	89	15	93	23	92
8	90	16	90	24	92



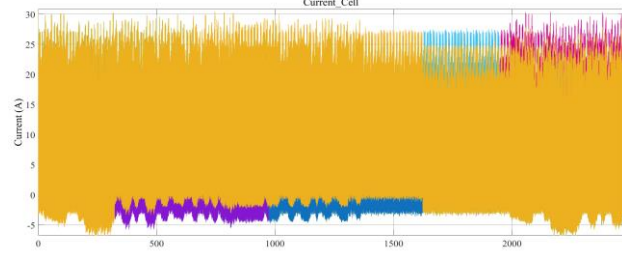
Hình 20. Đáp ứng của tín hiệu lái đến động cơ BLDC



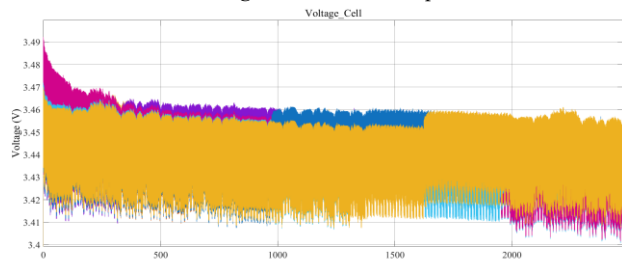
Hình 21. Dòng điện trên stator và sức phản điện động của động cơ BLDC



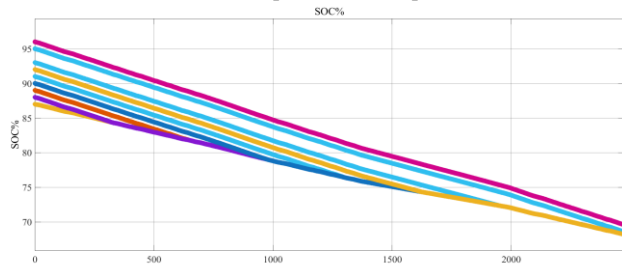
Hình 22. Tín hiệu cảm biến Hall của động cơ BLDC, dòng điện và điện áp của pin lithium



Hình 23. Dòng điện của các cell pin lithium



Hình 24. Điện áp của các cell pin lithium



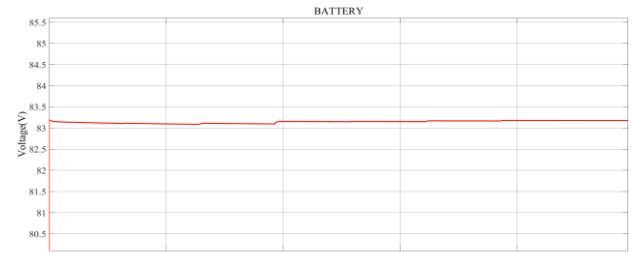
Hình 25. Dung lượng của pin lithium

Ban đầu, dòng điện và điện áp của các cell pin khác nhau, sau khoảng thời gian 2474 giây, các giá trị này có xu hướng cân bằng như Hình 23 và Hình 24. Dung lượng các cell pin có xu hướng tự cân bằng với nhau như Hình 25.

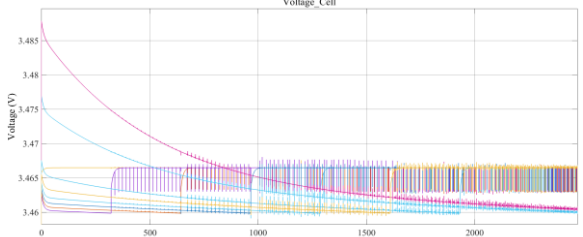
3.4. Mô phỏng với pin lithium 24 cell, dung lượng thay đổi, hệ thống lái FPT75 và động cơ BLDC không hoạt động

Mô phỏng đáp ứng của pin lithium 24 cell, dung lượng thay đổi như Bảng 5 với thời gian 2474 giây và động cơ

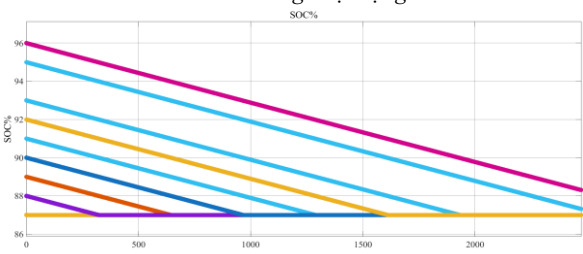
BLDC không hoạt động.



Hình 26. Điện áp của pin lithium tự cân bằng khi động cơ BLDC không hoạt động



Hình 27. Điện áp của các pin lithium tự cân bằng khi động cơ BLDC không hoạt động



Hình 28. Dung lượng của các cell pin lithium tự cân bằng khi động cơ BLDC không hoạt động

Hình 26-27 cho thấy, điện áp của các pin tự cân bằng khi động cơ BLDC không hoạt động. Trong khi đó, Hình 28 cho thấy, dung lượng của các cell pin cũng tự cân bằng khi động cơ BLDC không hoạt động.

4. Kết quả thực nghiệm

Động cơ In-hub được ứng dụng lắp trên bánh sau của xe Honda Wave Blade 110 với ưu điểm tận dụng hệ thống của xe, thay thế bánh xe sau thành bánh xe In-hub [17]. Bảng 6 là các thông số kỹ thuật của xe Honda Wave Blade 110 [18]. Bảng 7 là các thông số của động cơ In-hub và pin lithium [19].

Bảng 6. Thông số kỹ thuật của xe Honda Wave Blade 110

Khối lượng bản thân	99 (kg) (vành đúc) 98 (kg) (vành nan hoa, phanh cơ) 99 (kg) (vành nan hoa, phanh đĩa)
Dài × Rộng × Cao	1.920 × 702 × 1.075 (mm)
Dung tích bình xăng	3,7 (lít)
Kích cỡ lốp trước/sau	Trước: 70/90 -17 M/C 38P Sau: 80/90 - 17 M/C 50P
Loại động cơ	Xăng, 4 kỳ, 1 xi-lanh, làm mát bằng không khí
Công suất tối đa	6,18 (kW)/7.500 (vòng/phút)
Dung tích nhớt máy	1 lít khi rã máy 0,8 lít khi thay nhớt
Mức tiêu thụ nhiên liệu	1,85 (lít/100km)
Hộp số	Cơ khí, 4 số tròn
Hệ thống khởi động	Điện/Đạp chân
Moment cực đại	8,65 (Nm) / 5.500 (vòng/phút)
Dung tích xy-lanh	109,1 (cm ³)

của một lần sạc, tương ứng 1.822 (đồng) và chế độ xăng cho 70 (km), tương ứng 29.784 (đồng). Khi ấy, tổng chi phí của toàn quá trình vận hành là 31.606 (đồng) cho 100 (km).

Đối với động cơ xăng, động cơ cần được thay nhớt định kì sau 1.000 (km) với giá 100.000 (đồng/lít nhớt).

Đối với động cơ In-hub, không có chi phí bảo trì bảo dưỡng này.

Khi sử dụng động cơ In-hub, tỉ lệ hoạt động là 30/70. Khi ấy, giá trị thay nhớt của động cơ xăng giảm xuống là 70.000 (đồng/lít nhớt).

Theo thông số phát thải của xe máy, nếu xe hoạt động đúng tỉ lệ thì lượng tiêu hao nhiên liệu xăng sẽ giảm 30% so với xe máy truyền thống. Để có các đánh giá về hiệu quả liên quan đến phát thải của xe điện lai, các so sánh đã được thực hiện giữa xe xăng, xe điện, và xe điện lai, Bảng 8.

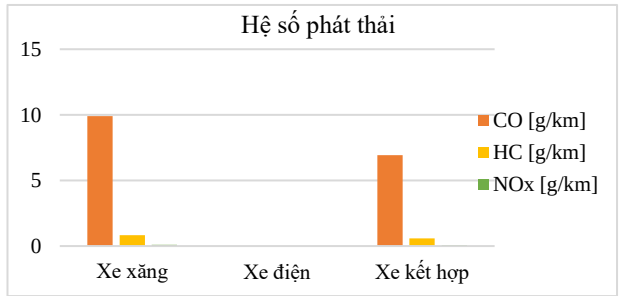
Bảng 8. So sánh hệ số phát thải của các mô hình xe xăng, xe điện và xe điện lai

Loại	Xe xăng	Xe điện	Xe điện lai
CO (g/km)	9,9	0	6,927
HC (g/km)	0,83	0	0,584
NOx (g/km)	0,09	0	0,063
Mức tiêu thụ nhiên liệu (lít/100 km)	1,85	0	1,29

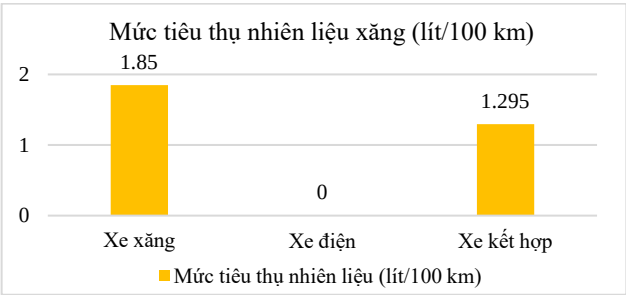
Bảng 9 cho thấy, nếu xe chỉ hoạt động với khoảng cách ngắn thì phần động cơ điện có chi phí vận hành thấp nhất 1.822 (đồng) cho 30 (km) và hoạt động hiệu quả với 24.822 (đồng) với quãng đường 84 (km) so với xe thuần xăng 35.742 (đồng/84km). Chi phí bảo trì bảo dưỡng động cơ giảm 30% so với động cơ xăng truyền thống.

Qua các phân tích, ưu và nhược điểm của xe máy hai bánh điện lai được trình bày trong Bảng 10.

Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng, điện áp của pin là 80,88 (V), dòng điện của pin là 25,8 (A), dung lượng của pin là 72% được so sánh với các kết quả mô phỏng như Bảng 11. Nhận thấy rằng giữa kết quả thực nghiệm và mô phỏng của pin lithium là gần giống nhau.



Hình 34. Biểu đồ phát thải



Hình 35. Biểu đồ mức tiêu thụ nhiên liệu xăng

Bảng 9. So sánh các mô hình xe xăng, xe điện và xe điện lai

Loại	Xe xăng	Xe điện	Xe điện lai
Nhiên liệu	Xăng	Pin	Xăng + Pin
Động cơ	Xăng	Điện	Điện + Xăng
Quãng đường	54 (km/lít xăng)	30 (km/lần sạc với pin 22Ah)	84 (km/điện+xăng)
Quá trình phục hồi năng lượng	Không thể	Có thể	Có thể
Chi phí nhiên liệu	23.000 (đồng/54km)	1.822 (đồng/30km)	24.822 (đồng/84km)
Chi phí nhiên liệu cho 100 (km)	42.550 (đồng/100km)	6.072 (đồng/100km)	31.606 (đồng/100km)
Chi phí bảo trì bảo dưỡng động cơ (thay nhớt)	100.000 (đồng/lít nhớt/1.000km)	0 (đồng/lít nhớt/1.000km)	70.000 (đồng/lít nhớt/1.000km)

Bảng 10. Ưu và nhược điểm của đề xuất

Ưu điểm	Nhược điểm
+ Tiết kiệm nhiên liệu do kết hợp giữa động cơ điện và động cơ xăng; vì vậy, giúp giảm mức tiêu thụ nhiên liệu; + Phát thải khí độc hại ít hơn so với xe xăng truyền thống; + Có thể chạy bằng xăng khi pin yếu, không lo vấn đề quãng đường như xe điện hoàn toàn. Điều này có nghĩa là quãng đường hoạt động dài; + Hệ thống tự động chuyển đổi giữa động cơ xăng và động cơ điện tùy thuộc vào điều kiện lái xe sao cho tối ưu hiệu suất.	+ Chi phí ban đầu cao do giá mua xe hai bánh điện lai thường cao hơn so với xe động cơ xăng thông thường; + Khả năng bảo trì nhiều và phức tạp hơn do có cả động cơ xăng và động cơ điện; + Pin lưu trữ làm cho xe máy hai bánh điện lai nặng hơn mà có thể ảnh hưởng đến hiệu suất; + Cần có hệ thống điện để sạc pin lưu trữ do đây là xe máy hai bánh điện lai.

Bảng 11. So sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm của pin lithium

Thông số	Mô phỏng	Thực nghiệm
Điện áp của pin (V)	82	80,88
Dòng điện của pin (A)	25	25,8
Dung lượng (%)	70	72
Điện áp cell pin (V)	3,42	3,27

Thêm vào đó, so sánh chi phí tương ứng với các quãng đường di chuyển khác nhau 1.000 (km), 10.000 (km) và 100.000 (km) cho mỗi loại xe xăng, xe điện và xe điện lai được thể hiện trong Bảng 12. Trong đó, chi phí thực hiện và vận hành mô hình xe điện lai được thể hiện trong các Bảng 13-14.

Bảng 12. So sánh chi phí tương ứng với quãng đường di chuyển của xe xăng, xe điện và xe điện lai

Quãng đường (km)	Xe xăng	Xe điện	Xe điện lai
	Chi phí di chuyển (đồng)		
1.000	425.500	60.720	316.060
10.000	4.255.000	607.200	3.160.600
100.000	42.550.000	6.072.000	31.606.000
Quãng đường (km)	Chi phí bảo dưỡng (thay nhớt) (đồng)		
	1.000	100.000	-
10.000	1.000.000	-	700.000
100.000	10.000.000	-	7.000.000
Quãng đường (km)	Chi phí vận hành (đồng)		
	1.000	525.500	60.720
10.000	5.255.000	607.200	3.860.600
100.000	52.550.000	6.072.000	38.606.000

Bảng 12 cho thấy, với quãng đường sử dụng 100.000 (km) trở lên, xe điện lai có chi phí thấp hơn xe xăng. Đồng thời, hệ số phát thải và mức tiêu hao nhiên liệu cũng giảm

theo như Bảng 15.

Bảng 13. Chi phí thực hiện mô hình xe điện lai

Chi phí thực hiện (đồng)	
Động cơ và mạch điều khiển	5.000.000
Khối pin	8.000.000
Tổng	13.000.000

Bảng 14. Chi phí vận hành mô hình xe điện lai

Quãng đường (km)	Chi phí xăng của xe xăng (đồng)	Chi phí điện của xe điện (đồng)	Chi phí kết hợp và chi phí đầu tư ban đầu (đồng)
100.000	52.550.000	6.072.000	51.606.000

Bảng 15. So sánh hệ số phát thải của mô hình xe xăng, xe điện và xe điện lai với quãng đường 100.000 (km)

Loại	Xe xăng	Xe điện	Xe điện lai
CO [g/km]	990.000	-	693.000
HC [g/km]	83.000	-	58.100
NOx [g/km]	9.000	-	6.300
Mức tiêu thụ nhiên liệu (lít/100.000 km)	185.000	-	129.500

5. Kết luận

Trong bài báo này, mô hình xe máy hai bánh điện lai đã được thực hiện giúp việc di chuyển quãng đường xa hơn, hiệu quả hơn về chi phí nhiên liệu và môi trường.

Khi di chuyển quãng đường ngắn, việc sử dụng động cơ điện thay thế cho động cơ xăng giúp tiết kiệm nhiên liệu xăng với chi phí 1.822 (đồng) để sạc pin cho quãng đường 30 (km).

Khi di chuyển quãng đường dài, việc kết hợp động cơ xăng và động cơ điện giúp tiết kiệm nhiên liệu hơn với 24.822 (đồng) cho quãng đường 84 (km) so với xe máy động cơ xăng truyền thống là 35.742 (đồng) cho 84 (km) và giảm phát thải khí gây ô nhiễm môi trường như chỉ số CO là 6,927 (g/km); HC là 0,584 (g/km); NO_x là 0,063 (g/km) so với xe xăng truyền thống CO là 9,9 (g/km); HC là 0,83 (g/km); NO_x là 0,09 (g/km).

Khi xem xét quãng đường dài trên 100.000 (km), mô hình xe điện lai có khả năng thu hồi vốn với chi phí kết hợp là 51.606.000 (đồng) so với chi phí xe chạy xăng là 52.550.000 (đồng); đồng thời, hệ số phát thải cũng giảm.

Động cơ lai xăng và điện có thể là xu hướng của tương lai khi thế giới hạn chế việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Trong quá trình sử dụng động cơ xăng để di chuyển, máy phát điện của xe hoạt động giúp sạc lại pin khi di chuyển.

Ngoài những vấn đề đã được giải quyết, nghiên cứu có thể được mở rộng với các hướng nghiên cứu liên quan như sau:

Tích hợp thêm các nguồn năng lượng tái tạo khác như năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng sinh khối vào hệ thống sạc cho khối pin xe điện.

Vận hành và điều khiển động cơ BLDC nói riêng và hệ thống xe điện nói chung với các kịch bản tương ứng các dạng điều khiển khác nhau.

Vận hành và điều khiển tối ưu hệ xe điện.

Quá trình vận hành và điều khiển tối ưu cân bằng các cell pin của xe điện.

Quá trình tái tạo năng lượng của động cơ xăng cho khối pin tích điện để hoạt động cho động cơ điện.

Quá trình tái tạo điện cho khối pin trong quá trình động cơ chuyển đổi thành máy phát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] H. D. Tung, H. Y. Tong, W. T. Hung, and N. T. N. Anh, “Development of emission factors and emission inventories for motorcycles and light duty vehicles in the urban region in Vietnam”, *Sci. Total Environ.*, vol. 409, no. 14, pp. 2761–2767, 2011, doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.013.

[2] M. Azri *et al.*, “A review on BLDC motor application in electric vehicle (EV) using battery, supercapacitor and hybrid energy storage system: Efficiency and future prospects”, *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 30, no. 2, pp. 41–59, 2023, doi: 10.37934/araset.30.2.4159.

[3] D. Mohanraj *et al.*, “A review of BLDC motor: State of art, advanced control techniques, and applications”, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 54833–54869, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3175011.

[4] C. M. R. Charles and J. S. Savier, “Bidirectional DC-DC converter fed BLDC motor in electric vehicle”, in *Int. Conf. Advances in Elect., Comput., Commun. and Sustain. Technol. (ICAECT)*, Bhilai, India: IEEE, pp. 1–6, Feb. 2021, doi: 10.1109/ICAECT49130.2021.9392394.

[5] K. Naresh, D. Suresh, and S. Pattnaik, “High gain DC-DC converter fed six-step inverter-based BLDC motor”, in *Proceedings of the Second International Conference on Emerging Trends in Engineering (ICETE2023)*, Advances in Engineering Research, vol. 223, Dordrecht: Atlantis Press International BV, pp. 662–672, 2023, doi: 10.2991/978-94-6463-252-1_67.

[6] B. Alsayid, W. A. Salah, and Y. Alawneh, “Modelling of censored speed control of BLDC motor using MATLAB/SIMULINK”, *Int. J. Electr. Comput. Eng. IJECE*, vol. 9, no. 5, p. 3333–3343, 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i5.

[7] A. Attar, J. Bouchnaif, and K. Grari, “Control of Brushless DC motors using sensorless Back-EMF integration method”, *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 7438–7443, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.861.

[8] N. V. L. Giang and L. V. Mien, “Modeling and simulation of hybrid vehicle control system by using MATLAB”, *J. Tech. Educ. Sci.*, no. 76, pp. 56–66, 2023, doi: 10.54644/jte.76.2023.1350.

[9] L. P. M. Quan and N. K. Hieu, “Brushless DC motor speed control by proportional controller using incremental encoder”, *J. Tech. Educ. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 55–60, 2012.

[10] M. Sivachitra, E. B. Priyadharshni, R. Nishanthi, S. Rajesh, and V. Sriram, “Electric vehicle using bidirectional DC-DC converter fed BLDC motor”, *Capacity Building and Youth Empowerment*, vol. 76, pp. 872–880, 2023.

[11] R. Gopalakrishnan, E. Chandrakumar, B. Amisha, T. K. Chandrasekar, B. P. Sivasankaran, and K. R. Sathees, “Optimization of field-oriented control of BLDC motors in electric vehicles using bio-inspired algorithms”, *IEEE Int. Conf. Infor. Technol. Electron. and Intell. Commun. Syst.*, pp. 312–317, 2024.

[12] S. Parvathy, “Simulation analysis of solar powered BLDC motor drive at different operating conditions”, *IEEE Int. Conf. Electron., Comput., and Commun. Technol.*, pp. 734–739, 2024.

[13] A. Kumar and B. Singh, “Modified cuk converter for power factor correction in BLDC motor driven ceiling-fan”, *IEEE J. Emer. and Selected Topics in Ind. Electron.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2024.

[14] A. Fotouhi, D. J. Auger, K. Propp, S. Longo, and M. Wild, “A review on electric vehicle battery modelling: From lithium-ion toward lithium–sulphur”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1008–1021, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.009.

[15] D. T. Ngoc, “Calculation of electric vehicle battery system”, *J. Tech. Educ. Sci.*, no. 66, pp. 55–62, Oct. 2021, doi: 10.54644/jte.66.2021.1058.

[16] R. Xiong, H. He, H. Guo, and Y. Ding, “Modeling for lithium-ion battery used in electric vehicles”, *Procedia Eng.*, vol. 15, pp. 2869–2874, 2011, doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.540.

[17] P. Iodice, E. Fornaro, and M. Cardone, “Hybrid propulsion in SI engines for new generation motorcycles: A numerical-experimental approach to assess power requirements and emission performance”, *Energies*, vol. 15, no. 17, p. 6312, 2022, doi: 10.3390/en15176312.

[18] Honda Motor Co., Ltd, “Thong so ky thuat”, *honda.com.vn*, 2023. [Online]. Available: <https://www.honda.com.vn/xe-may/san-pham/blade-2023>

[19] K. Lim, H. A. Bastawrous, V. H. Duong, K. W. See, P. Zhang, and S. X. Dou, “Fading Kalman filter-based real-time state of charge estimation in LiFePO4 battery-powered electric vehicles”, *Appl. Energy*, vol. 169, pp. 40–48, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.01.096.