

# THIẾT KẾ KHỐI PIN LITHIUM CHO VIỆC CHUYỂN ĐỔI XE MÁY WAVE ALPHA 110 SANG XE ĐIỆN

## DESIGN OF A LITHIUM BATTERY PACK FOR THE CONVERSION OF THE WAVE ALPHA 110 MOTORBIKE TO AN ELECTRIC VEHICLE

Lê Khắc Bình<sup>1\*</sup>, Huỳnh Tấn Tiến<sup>2</sup>, Võ Anh Vũ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: khacbinhvute@yahoo.com

(Nhận bài / Received: 06/02/2025; Sửa bài / Revised: 10/3/2025; Chấp nhận đăng / Accepted: 14/3/2025)

DOI: 10.31130/ud-jst.2025.041

**Tóm tắt** - Trong xu hướng phát triển giao thông sạch, việc chuyển đổi xe máy xăng sang xe điện ngày càng phổ biến, giúp giảm ô nhiễm môi trường và tiết kiệm năng lượng. Đặc biệt, việc chuyển đổi xe phổ thông như Wave Alpha 110 thành xe điện phù hợp với định hướng giao thông xanh tại Việt Nam. Pin lithium đóng vai trò cốt lõi nhờ các ưu điểm: nhẹ, hiệu suất cao và bền. Khối pin sử dụng pin Lithium SS29E INR 18650 với điện áp 48 V, dung lượng 23 Ah, thời gian sạc 3,5 giờ, tích hợp quạt tản nhiệt giúp giảm chênh lệch nhiệt độ tới 7% so với tấm cách nhiệt. Về kinh tế, xe Wave 110 chạy xăng tiêu tốn chi phí gấp bốn lần tổng chi phí ban đầu cho khối pin và tiền sạc điện trong suốt vòng đời pin khi di chuyển cùng quãng đường 60.000 km, khẳng định hiệu quả kinh tế của xe điện chuyển đổi.

**Từ khóa** - Xe điện; Pin lithium-ion; Wave Alpha 110 điện hóa; quản lý nhiệt; công nghệ pin xe máy

### 1. Giới thiệu

Sự gia tăng mức tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch trên toàn cầu đang góp phần đáng kể vào hiện tượng nóng lên toàn cầu, hệ quả trực tiếp của hiệu ứng nhà kính từ lượng khí CO<sub>2</sub> phát thải vượt mức. Nếu mức tiêu thụ nhiên liệu hiện tại tiếp tục duy trì, trữ lượng dầu mỏ toàn cầu dự kiến sẽ cạn kiệt trong vòng 50 năm tới. Thực tế này nhấn mạnh sự cần thiết của các nguồn năng lượng tái tạo và bền vững.

Pin, pin nhiên liệu, tụ điện và các nguồn năng lượng khác đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp năng lượng cho thiết bị điện tử, chẳng hạn như xe điện (EV), xe điện lai (HEV), và hệ thống thông tin liên lạc [1]. Trong số đó, pin lithium-ion là lựa chọn hàng đầu nhờ các đặc điểm vượt trội như tốc độ phản ứng nhanh, mật độ năng lượng cao, điện áp danh định cao, tỷ lệ tự xả thấp, tuổi thọ chu kỳ dài, và không chịu ảnh hưởng bởi hiệu ứng nhớ [2]. Dù có nhiều ưu điểm, hiệu suất và độ an toàn của pin lithium-ion cần được giám sát chặt chẽ trong quá trình vận hành để phòng tránh các sự cố bất ngờ [3]. Các phương pháp làm mát đã được phát triển nhằm kiểm soát nhiệt độ trong bộ pin, điều chỉnh theo lượng nhiệt sinh ra trong quá trình hoạt động và các điều kiện môi trường, giúp duy trì nhiệt độ lý tưởng từ 20 đến 45°C [4]. An toàn

**Abstract** - In the trend of clean transportation development, the conversion of gasoline motorbikes to electric vehicles is becoming more and more popular, helping to reduce environmental pollution and save energy. In particular, the conversion of popular vehicles such as Wave Alpha 110 into electric vehicles is in line with the green transportation orientation in Vietnam. Lithium batteries play a core role thanks to their advantages: light, high performance, and durability. The battery block uses Lithium SS29E INR 18650 battery with 48 V voltage, 23 Ah capacity, 3.5 hour charging time, and integrates a cooling fan to reduce temperature difference by up to 7% compared to insulation panels. Economically, the gasoline-powered Wave 110 costs four times the total initial cost of the battery block and charging costs throughout the battery life when traveling the same distance of 60,000 km, affirming the economic efficiency of the converted electric vehicle.

**Key words** - Electric vehicle; lithium-ion battery; Wave Alpha 110 of Electrochemistry; thermal management; motorcycle battery technology

của pin là một mối quan tâm lớn đối với người dùng. Khi pin hoạt động ở nhiệt độ môi trường cao, có thể xảy ra hiện tượng phồng thể tích và sự phân bố nhiệt không đồng đều. Những hiện tượng này ảnh hưởng đến ứng suất và biến dạng nhiệt của pin, từ đó dẫn đến các hình dạng phồng khác nhau. Đây đều là những yếu tố quan trọng đối với sự an toàn và tuổi thọ của pin [5]. Đáng lo ngại hơn, hiện tượng quá nhiệt [6] có thể dẫn đến mất kiểm soát nhiệt, một tình trạng có thể gây nguy hiểm. Khi mất kiểm soát nhiệt xảy ra, các phản ứng tỏa nhiệt nghiêm trọng sẽ xảy ra lần lượt [7, 8], bao gồm: phân hủy lớp liên pha điện phân rắn (SEI), phản ứng giữa điện cực âm và chất điện phân, phân hủy chất điện phân, và phản ứng giữa điện cực dương và chất điện phân [9].

Vì vậy, quản lý nhiệt là yếu tố quan trọng quyết định đến vòng đời, hiệu suất, độ an toàn và chi phí của mô-đun pin lithium-ion trong xe điện (EV) [10]. Nhằm tối ưu hóa môi trường nhiệt cho pin, các hệ thống làm mát như hệ thống làm mát bằng không khí, chất lỏng, vật liệu thay đổi pha, ống dẫn nhiệt và hệ thống lai đã được phát triển [11, 12]. Hệ thống quản lý nhiệt pin (BTMS) được thiết kế để cân bằng nhiệt độ giữa các cell pin, đồng thời ngăn ngừa hiện tượng quá nhiệt, giảm nguy cơ cháy nổ.

<sup>1</sup> Vinh University of Technology Education, Vietnam (Khac Binh Le)

<sup>2</sup> The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Tan Tien Huynh, Anh Vu Vo)

Tại Việt Nam, số lượng xe gắn máy đã tăng mạnh trong những năm gần đây, vượt ngoài các dự báo của cơ quan quản lý. Do tính cơ động cao và giá thành phù hợp với phần lớn người dân, xe gắn máy vẫn giữ vai trò quan trọng trong nhu cầu di chuyển hiện tại và tương lai gần. Vì vậy, việc giảm phát thải ô nhiễm từ các phương tiện này là trọng tâm của các nghiên cứu sản xuất xe máy và ô tô. Chuyển đổi xe gắn máy sang xe điện là một giải pháp hiệu quả nhằm giải quyết vấn đề năng lượng và phát thải ô nhiễm của phương tiện cá nhân tại Việt Nam. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả trình bày kết quả nghiên cứu việc sử dụng khối pin lithium để chuyển đổi xe máy Wave Alpha 110 từ động cơ xăng sang động cơ điện, sử dụng mẫu xe Wave Alpha 110 sẵn có trên thị trường.

## 2. Tính toán, chế tạo khối pin Lithium khi chuyển đổi từ xe máy Wave Alpha 110

### 2.1. Tổng quan về Pin lithium

Pin Lithium-ion (Li-ion) là loại pin sạc lại, hoạt động dựa trên sự di chuyển của ion lithium giữa điện cực âm và dương trong quá trình sạc và xả. Điện cực dương thường được làm từ oxit kim loại như Lithium Cobalt Oxide (LiCoO<sub>2</sub>) hoặc Lithium Manganese Oxide (LiMn<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), phủ trên lá nhôm; trong khi đó, điện cực âm là graphite carbon phủ trên lá đồng. Pin Li-ion có nhiều ưu điểm vượt trội: khả năng tự phóng điện thấp (chỉ 2-8% mỗi tháng), dải nhiệt độ hoạt động rộng (-20°C đến 60°C khi sạc, -40°C đến 65°C khi xả), và điện thế cao (2,5V-4,2V), gần gấp ba lần so với pin NiCd và NiMH [13]. Ngoài ra, pin Li-ion còn hỗ trợ phóng điện tốc độ cao, với khả năng phóng liên tục 5C và lên đến 25C ở chế độ xung.

### 2.2. Xác định động cơ điện khi chuyển đổi từ xe máy Wave Alpha 110

Xe gắn máy Honda Wave100, động cơ có dung tích xi lanh 97cc, công suất tối đa 5,1 kW ở tốc độ động cơ 8000 vòng/phút. Động cơ sử dụng bộ chế hòa khí để tạo hỗn hợp, hộp số 4 cấp, khởi động bằng điện [14].

Để động cơ điện tạo ra lực kéo FM thắng được tổng các lực cản khi xe vận hành, ta sử dụng phương trình cân bằng lực [15]:

$$F_M = F_L + F_D + F_G + F_Q \quad (1)$$

Trong đó:  $F_L$ : Lực cản lăn;  $F_D$ : Lực cản lên dốc;

$F_G$ : Lực cản gió;  $F_Q$ : Lực quán tính.

#### a) Lực cản lăn ( $F_L$ )

$$F_L = f \cdot G = 0,02 \cdot 2156 = 43,12 \text{ N} \quad (2)$$

Với: Hệ số cản lăn  $f$ :  $f=0,02$ ;

Trọng lượng của xe  $G$ :  $G=2156 \text{ N}$ .

#### b) Lực cản lên dốc ( $F_D$ )

$$F_D = G \cdot \sin \alpha = 2156 \cdot 0,1 = 215,6 \text{ N} \quad (3)$$

Với:  $\sin \alpha = 0,1$ : độ dốc 10%.

#### c) Lực cản gió ( $F_G$ )

$$F_G = k \cdot S \cdot v^2 = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 13,8^2 = 30 \text{ N} \quad (4)$$

Với: Hệ số cản không khí  $k$ :  $k=0,4 \text{ N s}^2/\text{m}^4$ ;

Tích cản chính diện  $S$ :  $S=0,4 \text{ m}^2$ ;

Vận tốc xe:  $v=50 \text{ km/h}$ .

#### d) Lực quán tính ( $F_Q$ )

$$F_Q = M \cdot a = 220 \cdot 1 = 220 \text{ N} \quad (5)$$

Với: Khối lượng xe:  $M=220 \text{ kg}$ ;

Gia tốc:  $a=1 \text{ m/s}^2$ .

#### e) Tổng hợp lực kéo toàn phần

$$F_M = F_L + F_D + F_G + F_Q \quad (6)$$

$$= 43,12 + 215,6 + 30 + 220 = 508,72 \text{ N}$$

#### f) Xác định công suất động cơ điện

Trong điều kiện thực tế, xe không hoạt động ở trạng thái có tất cả các lực cản xảy ra đồng thời. Do đó, xét hai trường hợp chính:

#### Trường hợp 1: Xe leo dốc

Chỉ tính  $F_L$  và  $F_D$ :

$$F_{MD1} = F_L + F_D = 43,12 + 215,6 = 258,72 \text{ N} \quad (7)$$

#### Trường hợp 2: Xe chạy tốc độ tối đa

Chỉ tính  $F_L$  và  $F_G$ :

$$F_{MD2} = F_L + F_G = 43,12 + 30 = 73,12 \text{ N} \quad (8)$$

Chọn trường hợp xe chạy tốc độ tối đa để tính công suất động cơ. Công suất cần thiết:

$$P_{MD} = F_{MD2} \cdot v = 73,12 \cdot 13,8 = 1009,06 \text{ W} \quad (9)$$

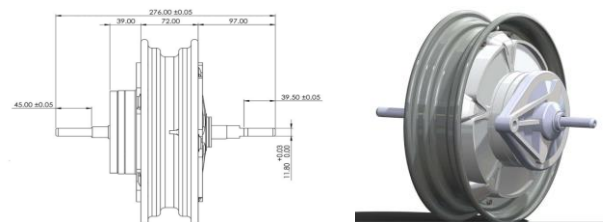
Hiệu suất truyền lực  $\eta=0,95$ , do đó:

$$P_M = \eta / P_{MD} = 1009,06 / 0,95 = 1062 \text{ W} \quad (10)$$

#### g) Lựa chọn động cơ

Chọn công suất cần trang bị cho động cơ điện này là:  $P_M=1000 \text{ W}$ .

Hiện nay, trên thị trường có nhiều loại động cơ điện với công suất phù hợp. Nghiên cứu chọn động cơ mã EMF-BL-10-48-1000-510 (Hình 1), với thông số kỹ thuật được giới thiệu trong Bảng 1 [16].



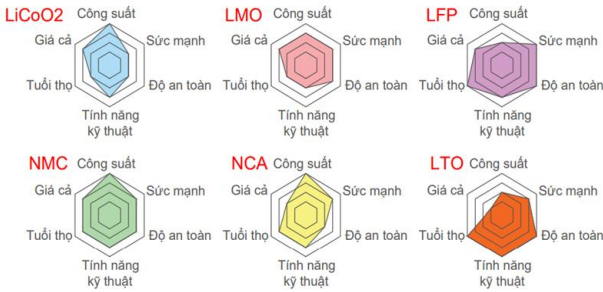
Hình 1. Động cơ điện EMF-BL-10-48-1000-510

Bảng 1. Các thông số của động cơ điện

TT	Đặc Điểm	Giá trị
1	Công suất cực đại (W)	1000
2	Mô men xoắn định mức (N.m)	18
3	Momen xoắn cực đại (N.m)	83
4	Tốc độ (v/ph)	510
5	Điện áp hoạt động (V)	48
6	Dòng điện định mức (A)	23
7	Hiệu suất (%)	85
8	Khối lượng (Kg)	8,5
9	Đường kính ngoài động cơ (mm)	276,5
10	Chiều dài trục (mm)	276
11	Kích thước phanh (mm)	110
12	Loại phanh	Phanh tang trống
13	Loại lốp	Không sẫm
14	Kích thước lốp	90/100-10

### 2.3. Phân tích, chọn lựa pin lithium sử dụng cho động cơ điện

Pin là bộ phận thiết yếu và có giá trị cao, đóng vai trò cung cấp năng lượng cho quá trình vận hành của xe điện. Xe điện đều sử dụng pin lithium có thể sạc lại do mật độ năng lượng lớn và khả năng sạc nhanh. Tuy vậy, pin lithium vẫn có một số hạn chế, như tuổi thọ ngắn, suy giảm chất lượng theo thời gian, cùng với các vấn đề về nhiệt độ gây nguy cơ cháy nổ. Hiện có nhiều công nghệ pin khác nhau được phát triển dựa trên việc kết hợp các vật liệu catot/anot và các chất phụ gia khác nhau. Các sự khác biệt này giúp pin có thể đạt được những mức độ dung lượng, tuổi thọ và độ an toàn khác nhau. Hình 2 giới thiệu một số công nghệ pin lithium hiện nay [17].



**Hình 2.** So sánh một số công nghệ pin Lithium khác nhau

Dựa trên các phân tích từ Hình 2, nghiên cứu lựa chọn pin Lithium INR 18650 nhờ các ưu điểm vượt trội của loại pin này. Thành phần mangan giúp giảm trở kháng, trong khi niken mang lại công suất cao, tạo ra một cấu trúc hóa học cho phép pin đạt dung lượng lớn, khả năng xả dòng cao, và độ ổn định cao.

Bên cạnh đó, qua so sánh các công nghệ pin lithium, pin NMC được đánh giá nổi bật nhờ sự cân bằng giữa giá thành, tuổi thọ, độ an toàn, hiệu năng kỹ thuật, và công suất cao. Bảng 2 trình bày các thông số kỹ thuật của pin Lithium SS29E INR 18650 [18].



**Hình 3.** Pin Lithium INR 18650

**Bảng 2.** Thông số kỹ thuật của pin Lithium SS29E INR 18650

Mục	Thông số kỹ thuật	Mục	Thông số kỹ thuật
Dung lượng danh nghĩa	2900 mAh	Dung lượng tối thiểu	2850 mAh
Sạc điện áp	4,2V±0,05V	Điện áp danh định	3,7 V
Phương pháp sạc	CC – CV	Thời gian sạc	2h – 3h
Dòng sạc	0,5 C	Hằng số điện áp sạc	4,2 V
Dòng sạc tối đa	1C	Hằng số điện áp xả	2,5 V
Dòng điện xả không đổi	0,2 C	Max dòng xả liên tục	10 A
Trọng lượng	45 g	Nhiệt độ	0 – 450C
Chiều cao	65 mm	Đường kính	18 mm

### 2.4. Tính pin lithium cho động cơ điện

#### 2.4.1. Xác định dung lượng pin

Dung lượng pin được xác định như sau:

$$Q = \frac{t \cdot P}{U \cdot n} = \frac{1 \cdot 1000}{48 \cdot 0,85} = 24,5 \text{ (Ah)} \quad (11)$$

Trong đó:

$P_{kd}$  (W): công suất máy khởi động,  $P_{kd} = N_{kd} = 1$  (kW);

$U$  (V): hiệu điện thế ắc quy,  $U = 48$  (V);

$Q$  (Ah): dung lượng ắc quy dùng trong xe điện;

$t$ : thời gian cung cấp điện cho động cơ, trong trường hợp này ta chọn 1h;

$n$ : hiệu suất động cơ điện, chọn  $n = 0,9$ .

#### 2.4.2. Thiết kế khối pin sử dụng cell SS29E INR 18650

Dựa vào thông số của cell pin SS29E INR 18650, ta xây dựng khối pin đáp ứng nhu cầu sử dụng của động cơ điện.

##### a. Xác định số cell pin mắc nối tiếp

Điện áp yêu cầu là 48 V, nên số cell pin mắc nối tiếp được tính như sau:

$$N_{nt} = \frac{U_{dm}}{U_{dd}} = \frac{48}{3,7} = 12,9 \text{ (Cell)} \quad (12)$$

Vì số cell pin mắc nối tiếp là số nguyên nên ta chọn số cell mắc nối tiếp là  $N_{nt} = 13$  Cell. Vậy điện áp đầu ra của pin là:

$$U = 13 \cdot 3,7 = 48,1 \text{ (V)} \quad (13)$$

##### b. Xác định số cell pin mắc song song

Dung lượng điện cần cung cấp cho động cơ điện sử dụng trong 1h là  $Q = 24,5$  (Ah). Do đó số cell pin mắc song song được tính:

$$N_{ss} = \frac{I_{dm}}{I_{dd}} = \frac{24,5}{2,9} = 8,4 \text{ (Cell)} \quad (14)$$

Số cell pin mắc song song là số nguyên nên ta chọn số cell mắc song song là:  $N_{ss} = 8$  Cell. Dòng điện đầu ra của khối pin là:

$$I = 8 \cdot 2,9 = 23,2 \text{ (Ah)} \quad (15)$$

Tổng số cell pin cần thiết sử dụng trong bộ pin là:

$$C = N_{nt} \cdot N_{ss} = 13 \cdot 8 = 104 \text{ (cell)} \quad (16)$$

Công suất của toàn bộ hệ thống pin là:

$$P = U \cdot I = 48,1 \cdot 23,2 = 1116 \text{ (W)} \quad (17)$$

Khối lượng cơ bản của pin:

$$M_p = C \cdot m = 104 \cdot 45 = 4680 \text{ [g]} = 4,68 \text{ [Kg]} \quad (18)$$

Bên cạnh khối lượng cơ bản của pin thì khối lượng của phần nối các cell pin và dây dẫn cũng như mạch điện cũng chiếm một khối lượng đáng kể, khoảng 5% trọng lượng hệ thống, ta gọi khối lượng này là  $M_{dd}$ .

Khối lượng của  $M_{dd}$  là:

$$M_{dd} = M_p \cdot 5\% = 4,68 \cdot 5\% = 0,234 \text{ [Kg]} \quad (19)$$

Khối lượng của hộp pin và khung sắt cố định pin trên xe là: 3kg. Tổng khối lượng của toàn bộ hệ thống pin là:

$$M_{ht} = M_p + M_{dd} + 2 = 4,68 + 0,234 + 2 = 8,114 \text{ (Kg)}$$

Để hỗ trợ tản nhiệt, kích thước chiều rộng R và chiều cao C của khối pin lớn hơn khoảng 40% so với kích thước mỗi cell pin và chiều dài D lớn hơn 30%.

Kích thước của chiều dài của khối pin khi mắc nối tiếp 13 cell pin:

$$D = 18 \cdot 13 \cdot 1,3 = 304,2 \text{ (mm)}$$

Kích thước của chiều rộng của khối pin khi mắc song song 8 dãy pin:

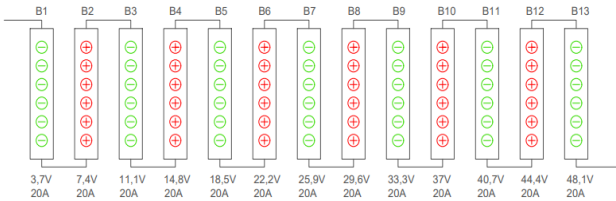
$$R = 18 \times 8 \times 1,4 = 201 \text{ (mm)}$$

Kích thước của chiều cao của cả khối pin là:

$$C = 65 \times 1,4 = 91 \text{ (mm)}$$

Vậy ta có kích thước tổng thể của pin là  $D \times R \times C = 305 \times 201 \times 91 \text{ (mm)}$ .

Nghiên cứu sử dụng máy hàn thiếc để hàn các cell pin lại với nhau theo thứ tự 6 cell mắc song. Sau khi mắc xong toàn bộ khối pin ta đo được điện áp định danh ở hai đầu cực của khối pin là 48V. Hình 4 mô tả sơ đồ khối pin.



Hình 4. Sơ đồ bố trí khối pin Li-ion

2.5. Mạch điều khiển của pin lithium trên xe điện

Mạch sạc pin Li-ion gồm ba phần chính: mạch động lực, mạch đo lường và mạch điều khiển.

Mạch động lực: chuyển đổi điện áp xoay chiều từ nguồn lưới thành điện áp một chiều ổn định thông qua khối chỉnh lưu cầu. Mạch điều chỉnh (buck/boost) dùng MOSFET giúp tăng/giảm điện áp phù hợp để sạc pin.

Mạch đo lường: giám sát dòng điện, điện áp và nhiệt độ pin trong quá trình sạc.

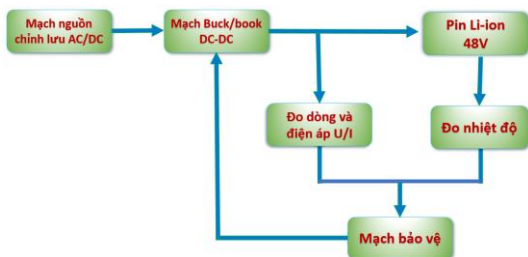
Mạch điều khiển: điều chỉnh quá trình sạc bằng vi điều khiển, sử dụng xung PWM để kiểm soát mạch buck/boost, đồng thời giám sát nhiệt độ và thời gian sạc, cảnh báo khi cần.

Trong thiết kế, khối pin Li-ion được sạc từ nhiều nguồn khác nhau như nguồn AC 220V và nguồn từ động cơ điện, nhằm đảm bảo ổn định và tận dụng năng lượng tái tạo (Hình 5).



Hình 5. Tổng thể mạch sạc - xả của pin Li-ion sử dụng trên xe

2.5.1. Nguồn sạc AC 220V



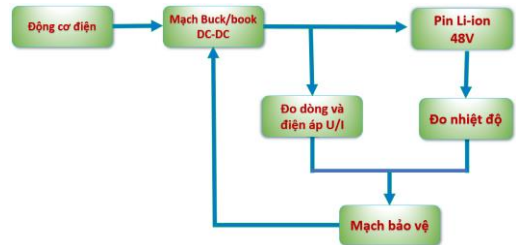
Hình 6. Mạch sạc của pin từ nguồn AC 220V

Bộ sạc AC 220V đảm nhiệm vai trò cung cấp điện áp tối ưu cho pin. Khi pin đã được xả đến mức tối thiểu, dòng điện của pin sẽ ở mức 2Ah. Việc duy trì dòng điện ở mức trên 2Ah là cần thiết, vì nếu xả sâu hơn, tuổi thọ pin có thể

bị ảnh hưởng nghiêm trọng, thậm chí gây hư hỏng hệ thống pin. Hình 6 giới thiệu mạch sạc của pin từ nguồn 220V. Bộ sạc 220V này hỗ trợ ba chế độ sạc: từ sạc ổn định điện áp, sạc ổn định dòng điện, đến sạc xung ngắn, giúp phục hồi năng lượng cho pin một cách toàn diện.

2.5.2. Nguồn sạc từ động cơ điện

Bài báo tận dụng nguồn năng lượng tái sinh khi xe xuống dốc hoặc năng lượng phanh dự trữ từ động cơ điện 1 chiều để sạc lại cho pin. Động cơ điện sẽ đóng vai trò sạc bổ sung khi pin yếu, thực hiện sau quá trình sạc nguồn AC, cung cấp một nguồn năng lượng nhất định vào quá trình sạc xung ngắn cho khối pin (Hình 7).



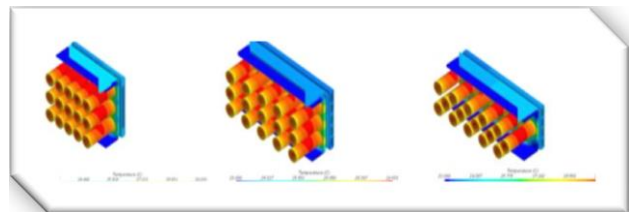
Hình 7. Mạch sạc từ nguồn động cơ điện

2.6. Chế tạo khối pin lithium

Thiết kế phát triển pin Lithium gồm 3 bước chính: thiết kế cell pin, thiết kế khối pin, thiết kế hệ thống pin.

2.6.1. Thiết kế cell pin

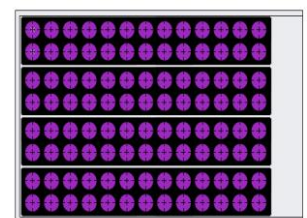
Thiết kế bao gồm khối lượng, chi phí, thể tích cũng được tính toán nhằm đánh giá khả năng đáp ứng các yêu cầu đầu vào như đã trình bày ở Bảng 2 thông số pin. Các khối pin được hình thành từ việc kết hợp nhiều đơn vị cell pin. Vấn đề quan trọng nhất trong thiết kế khối pin là thiết kế hệ thống quản lý nhiệt độ ổn định, điều này sẽ giúp cải thiện hiệu suất đầu ra cũng như cải thiện hiệu suất sạc và xả. Bên cạnh thiết kế khối pin ta cũng phải sử dụng các chương trình mô phỏng các cấu hình thiết kế khác nhau để đưa ra được phương án tối ưu nhất, Hình 8 giới thiệu mô phỏng nhiệt độ khối pin bằng phần mềm ansys fluent.



Hình 8. Mô phỏng nhiệt độ khối pin bằng phần mềm fluent

2.6.2. Thiết kế hệ thống pin

Quá trình mô phỏng hệ thống được thực hiện nhằm đánh giá toàn diện pin, dựa trên thiết kế chi tiết của từng cell và từng cụm pin. Hệ thống pin sau đó được tích hợp với mô hình động lực học của xe để phân tích hiệu suất hoạt động trong các điều kiện vận hành khác nhau.



Hình 9. Thiết kế khối pin lithium

Sau khi tính toán thiết kế cho khối pin ứng dụng trong động cơ xe máy điện, khối pin tổng thể đạt dung lượng 48V



– 23Ah, bao gồm 13 hàng nối tiếp và 8 hàng song song, với tổng số 104 cell pin, như được minh họa trong Hình 9.

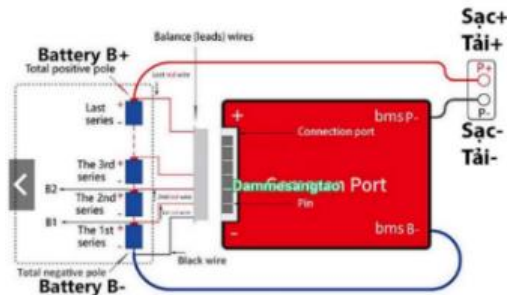


**Hình 10.** Thiết kế và định hình khay giữ và hàn các cell

Nghiên cứu tập trung vào việc thiết kế cụm pin, định hình trên khung và bố trí khoảng cách giữa các cell pin để hỗ trợ quá trình tản nhiệt. Khối pin gồm 4 hàng, mỗi hàng cách nhau 8mm, trong đó mỗi hàng chứa 2 cell pin, và các cell trong hàng cách nhau 2mm. Việc tạo khoảng cách giữa các hàng và các cell giúp không khí lưu thông dễ dàng qua từng cell pin, đồng thời giảm nguy cơ đoản mạch do sự tiếp xúc giữa các cực của cụm pin. Các cell pin sẽ được cố định trong khay giữ, đảm bảo định vị và khoảng cách chính xác của các cell, như minh họa trong Hình 10.

**3. Nghiên cứu thực nghiệm**

Hệ thống quản lý pin (BMS) giám sát trạng thái sạc, tình trạng sức khỏe và tuổi thọ pin, hỗ trợ tối ưu hóa quá trình nạp, xả và vận hành an toàn. Khối pin, gồm các cell mắc nối tiếp và song song, cần cân bằng điện tích để ngăn ngừa hư hỏng và kéo dài tuổi thọ.



**Hình 11.** Sơ đồ bố trí mạch điện, vị trí đầu ra của sạc và tải của mạch

Mạch bảo vệ 13S – 48V – 20A được lắp đặt sau khi cố định khối pin, với 14 chân (B1, B2,..., B14) ứng với điện áp từng dãy cell. Chân P- là đầu ra cực âm, còn chân B- nối trực tiếp với cực âm khối pin (Hình 11). Mạch này giúp duy trì điện áp sạc/xả ổn định, tránh hiện tượng cell đầy hoặc hết không đồng đều, đồng thời ngăn ngừa sạc và xả quá mức nhờ tính năng đo điện áp (U) và dòng (I).



**Hình 12.** Mô hình thực tế sau khi đã hàn mạch bảo vệ vào khối pin (a) và điện áp định danh của toàn bộ khối pin (b)

Trong sơ đồ mạch bảo vệ, các chân của mạch bảo vệ được hàn vào trước, sau đó cắm vào bộ mạch bảo vệ như thể hiện trong Hình 12a. Sau khi hàn mạch bảo vệ, tiến hành đo và thu được điện áp định danh của khối pin là 52,1V, như thể hiện trong Hình 12b.

**3.1. Chế tạo hộp pin**

Hộp pin được chế tạo bằng các mối ghép âm dương để thuận tiện cho việc lắp ráp. Kích thước tổng thể của hộp pin là  $D \times R \times C = 305 \times 201 \times 91$  mm. Chốt khóa được sử dụng để khóa chặt mặt trước của khối pin trong quá trình vận hành, đồng thời giúp dễ dàng tháo rời các chi tiết, thuận tiện cho việc thay thế pin và bảo dưỡng các bộ phận bên trong khối pin. Hình 13 giới thiệu về hộp pin.



**Hình 13.** Khối pin lithium sử dụng các tấm cách nhiệt (a) và mô hình thực tế (b)

**3.2. Quản lý nhiệt độ pin xe điện**

**3.2.1. Công nghệ quản lý nhiệt độ của pin lithium**

Hệ thống quản lý nhiệt độ pin (BTMS) đóng vai trò thiết yếu trong việc duy trì hiệu suất và độ bền của pin xe điện. BTMS bao gồm các cell pin, hệ thống kết nối và kiểm soát nhiệt, với các phương pháp làm mát như không khí, chất lỏng, vật liệu chuyển pha (PCM) hoặc nhiệt điện (TEC), tùy thuộc vào điều kiện môi trường và thiết kế xe. Pin lithium hoạt động tối ưu trong khoảng 20–40°C; dưới 0°C dễ hư hỏng khi sạc, trong khi trên 45°C làm tăng nguy cơ cháy nổ và giảm tuổi thọ pin. Do đó, BTMS giúp duy trì nhiệt độ ổn định và an toàn cho pin.

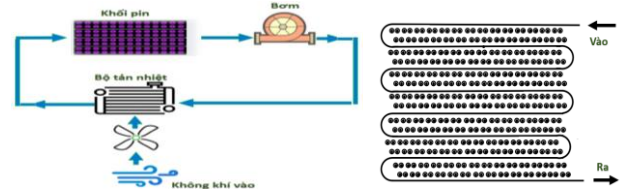
**Làm mát bằng không khí:**



**Hình 14.** Hệ thống làm mát pin bằng không khí

Hệ thống làm mát bằng không khí (Hình 14) là phương pháp đơn giản, chi phí thấp, nhưng hiệu quả kém hơn làm mát bằng chất lỏng. Nhiệt từ pin được tản qua đối lưu cưỡng bức khi không khí thổi qua các cell pin. Dù dễ kiểm soát, phương pháp này bị hạn chế bởi nhiệt độ môi trường, tiếng ồn, và phân bố nhiệt không đều, không phù hợp với xe điện hiệu suất cao [19].

**Làm mát bằng chất lỏng:**



**Hình 15.** Hệ thống làm mát pin bằng chất lỏng (a), Bố trí ống tản nhiệt giữa các tế bào pin (b)

Hình 15a mô tả hệ thống làm mát bằng chất lỏng, sử dụng các chất như nước hoặc ethylene glycol. Phương pháp này mang lại hiệu quả làm mát cao, đồng đều, đặc biệt khi kết hợp ống dẫn nhiệt tiếp xúc trực tiếp từng cell pin (Hình 15b). Dù phức tạp và tốn kém hơn, làm mát bằng chất lỏng phù hợp với xe điện hiện đại, đảm bảo hiệu suất và độ bền pin [20].

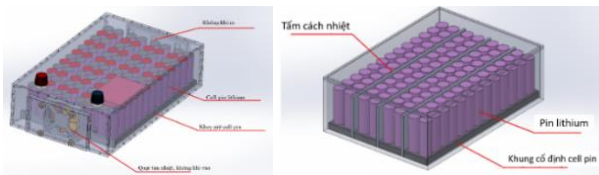
**Các phương pháp làm mát khác:**

PCM lưu trữ nhiệt dưới dạng nhiệt ẩn, giúp duy trì nhiệt độ ổn định trong thời gian dài [21]. Cánh tản nhiệt và hệ thống TEC cũng được áp dụng để cải thiện hiệu quả làm mát, dù còn hạn chế về kích thước và chi phí. Hệ thống TEC đặc biệt duy trì nhiệt độ pin trong khoảng 31–34°C nhờ chuyển hóa nhiệt năng thành điện năng.

**3.2.2. Phân tích và chọn phương án làm mát pin ứng dụng trên xe gắn máy**

Phân tích phương án làm mát cho khối pin được thực hiện bằng phần mềm Ansys Fluent. Mô phỏng nhiệt độ của khối pin sử dụng không gian tính toán gồm 104 cell pin Lithium SS29E INR 18650, có dạng hình trụ với đường kính (D) là 18 mm và chiều cao là 65 mm. Khối pin bao gồm 13 hàng nối tiếp và 8 hàng song song. Hai mô hình được xem xét để so sánh: (i) mô hình sử dụng quạt tản nhiệt (Hình 16a) và (ii) mô hình sử dụng tấm cách nhiệt (Hình 16b).

Trong mô hình sử dụng quạt tản nhiệt, nghiên cứu áp dụng quạt tản nhiệt cho khối pin lithium. Giữa mỗi cặp pin lithium có một khe hở rộng 2 mm, cho phép không khí từ quạt tản nhiệt lưu thông qua các khe hở này và tiếp cận các bề mặt của từng cell pin. Đối với phương án sử dụng tấm cách nhiệt, các tấm kim loại được lắp xen kẽ giữa mỗi cặp cell pin nhằm giải quyết vấn đề phát nhiệt của pin. Tấm kim loại này sẽ truyền nhiệt tới vùng không khí phía trên khối pin, đồng thời chuyển nhiệt đến khung của khối pin.

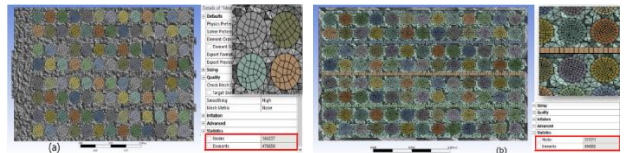


**Hình 16.** Khối pin sử dụng quạt tản nhiệt (a) và sử dụng tấm cách nhiệt (b)

**Bảng 3.** Điều kiện biên mô phỏng

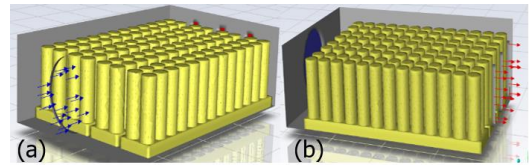
Vận tốc khí đầu vào	5 m/s
Nhiệt độ ban đầu	298 K
Cường độ sinh nhiệt	64986,69 W/m <sup>3</sup>
Không khí vào	Tỉ lệ lưu lượng không khí vào
Không khí ra	Áp suất không khí ra
Thành cell pin	Thành thông lượng nhiệt
Thành khối pin	Thành đoạn nhiệt và không trượt bề mặt tiếp xúc với pin

Trong nghiên cứu này, mô hình rối SST và sự đồng nhất trường áp suất và vận tốc được thực hiện thông qua phương pháp SIMPLEC. Một số giả định là cần thiết trong việc phân tích hiệu ứng làm mát. Mô-đun pin và bên ngoài đều được cách nhiệt ngoại trừ đầu ra và thành.



**Hình 17.** Chia lưới khối pin mô hình sử dụng quạt tản nhiệt (a) và mô hình sử dụng tấm cách nhiệt (b)

Mô hình được chia lưới tự động trong phần mềm Ansys. Với phương án sử dụng quạt tản nhiệt, mô hình được chia thành 478658 phần tử và 164237 nút (Hình 17a). Phương án mô hình sử dụng tấm cách nhiệt có 494503 phần tử và 351011 nút (Hình 17b).



**Hình 18.** Khai báo đầu vào đầu ra của quạt tản nhiệt

**Bảng 3.** Tốc độ sinh nhiệt của pin Lithium SS29E INR 18650

Tốc độ xả	Cường độ dòng xả (A)	Tốc độ sinh nhiệt (W/m <sup>3</sup> )
1C	2	5073,7
2C	4	17596,2
3C	6	37567,2
4C	8	64986,69

Điều kiện biên được trình bày ở Bảng 3. Nhiệt độ của không khí làm mát ở đầu vào được đặt thành 298 K bằng với nhiệt độ ngoài trời. Khai báo đầu vào và đầu ra của quạt tản nhiệt (Hình 18). Áp suất bên trong và bên ngoài là áp suất không khí (1atm) và thành là điều kiện không trượt. Để đánh giá hiệu quả làm mát của khối pin với hai mô hình đề xuất, nghiên cứu đã chọn vận tốc dòng không khí đầu vào là 5 m/s trong phạm vi vận tốc từ 0 đến 20 m/s, nhằm đảm bảo rằng công suất điện không bị ảnh hưởng [22]. Đồng thời khối pin sẽ làm việc ở cường độ sinh nhiệt cao nhất 64986,70 W/m<sup>3</sup> với tốc độ xả 4C (Bảng 3). Tốc độ sinh nhiệt của pin Lithium SS29E INR 18650 được tính theo công thức (20) của D. Bernardi [23]. Công thức này chỉ ra rằng, tốc độ sinh nhiệt của pin tỉ lệ thuận với dòng xả, do đó khi cường độ dòng xả tăng, nhiệt độ của pin cũng tăng. Vì vậy, bài báo lựa chọn dòng xả cao nhất 4C để phân tích sự thay đổi nhiệt độ trong khối pin.

$$q = \frac{1}{V_b} \left[ I^2 R_0 + IT \frac{dU_0}{dT} \right] \tag{20}$$

Với:

$V_b$  (m<sup>3</sup>) thể tích của pin Lithium SS29E INR 18650;

$I$  (A) là cường độ dòng điện dòng xả của pin;

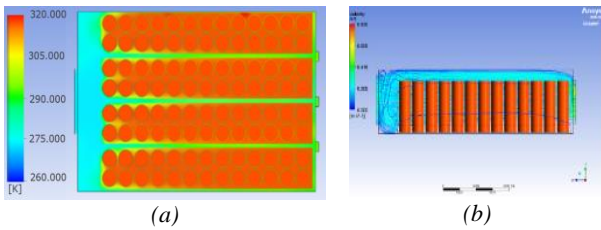
$R_0$  (Ω) là điện trở trong của pin;

$T$  là nhiệt độ hiện tại của pin;

$(dU_0)/dT$  là thông số liên quan đến phản ứng điện hóa, gọi là hệ số nhiệt.

Hình 19a thể hiện đường đồng mức phân bố nhiệt độ trong khối pin lithium. Kết quả cho thấy, mô hình duy trì nhiệt độ tương đối đồng đều, gần với nhiệt độ môi trường trong suốt quá trình xả pin.

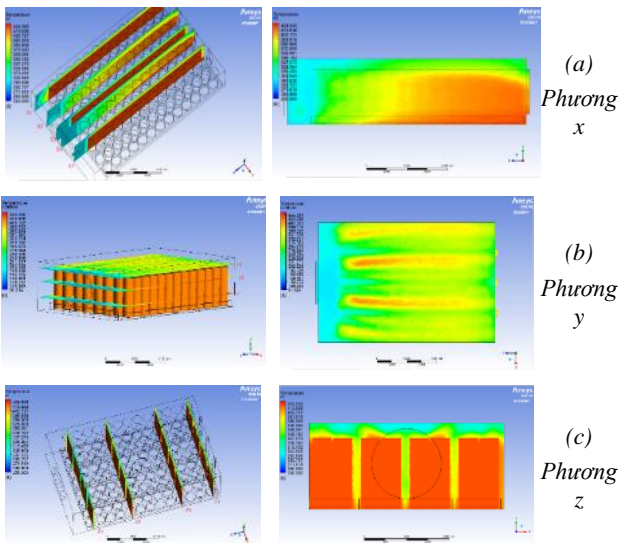




**Hình 19.** Trường nhiệt độ (a) và (b) vận tốc không khí bên trong khối pin của mô hình sử dụng quạt làm mát

Trong mô hình sử dụng quạt làm mát, luồng không khí làm mát có tác dụng giảm nhiệt đáng kể ở các khu vực ngoại vi, không khí di chuyển từ đầu vào đến đầu ra. Tuy nhiên, vị trí sâu bên trong khối pin, luồng không khí làm mát khó xâm nhập hiệu quả, dẫn đến nhiệt độ ở trung tâm cao hơn so với các khu vực bên ngoài. Hình 19b mô tả phân bố vận tốc không khí, trong đó vận tốc đạt giá trị cao tại các vùng ngoại vi và giảm dần khi đi sâu vào bên trong khối pin. Cho thấy mô hình quạt làm mát tạo ra luồng khí mạnh tại bề mặt và các khu vực ngoại vi, giúp cải thiện hiệu quả làm mát ở những vùng này. Hiệu quả làm mát giảm rõ rệt ở trung tâm khối pin do sự suy giảm vận tốc không khí.

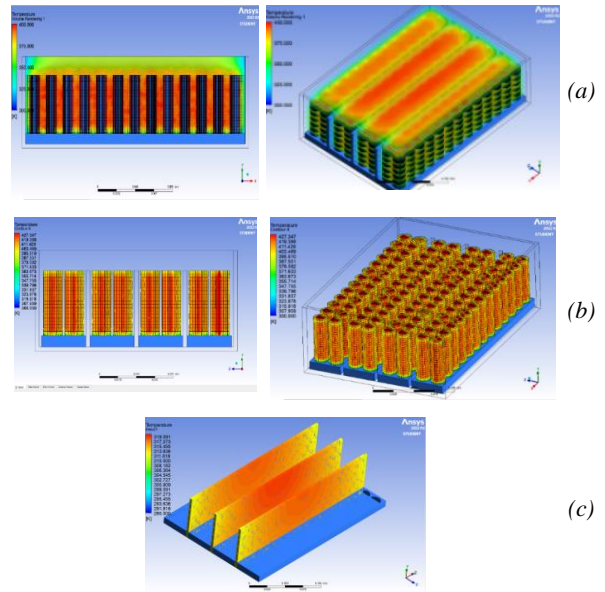
Hình 20 trình bày đường đồng mức nhiệt độ trên các mặt cắt của khối pin theo ba phương: x (a), y (b), và z (c) trong mô hình sử dụng quạt làm mát.



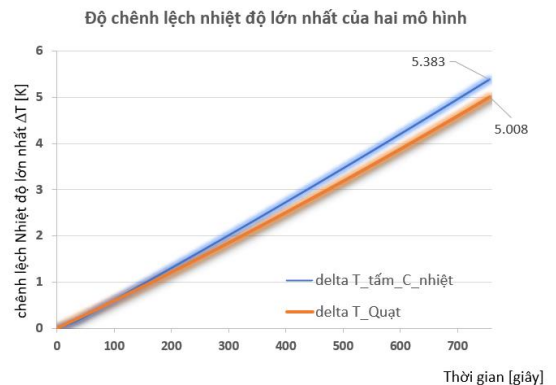
**Hình 20.** Trường nhiệt độ mặt cắt khối pin theo phương x (a), phương y (b), phương z (c), của mô hình sử dụng quạt làm mát

Hình 20a cho thấy, theo phương x, hệ thống làm mát đã giảm đáng kể nhiệt độ ở phía bên trái khối pin, chứng tỏ quạt làm mát hoạt động hiệu quả trong việc điều chỉnh nhiệt độ tại các khu vực gần nguồn làm mát. Hình 20b minh họa sự phân bố nhiệt độ theo phương y, với kết quả tương đối đồng đều nhờ luồng không khí được cải thiện, giúp giảm chênh lệch nhiệt độ giữa các khu vực. Thiết kế này đảm bảo hiệu quả làm mát tổng thể cao hơn. Hình 20c cho thấy, theo phương z, quạt làm mát giúp duy trì nhiệt độ thấp ở phía trên khối pin, góp phần ổn định nhiệt độ tại các vùng tiếp xúc gần bề mặt. Nhìn chung, hệ thống quạt làm mát đã chứng minh hiệu quả trong việc giảm nhiệt độ và cải thiện sự phân bố nhiệt tại các vùng quan trọng, đặc biệt theo phương y và tại các khu vực gần nguồn làm mát.

Hình 21 giới thiệu đường đồng mức trường nhiệt độ của mô hình sử dụng tấm cách nhiệt. Hình 21a đường đồng mức trường nhiệt độ không khí bên trong khối pin cho thấy, tại khu vực trung tâm có nhiệt độ cao. Điều này chỉ ra rằng, không khí bên trong khối pin có xu hướng nóng lên và không được làm mát hiệu quả, dẫn đến hiện tượng tích tụ nhiệt do luồng không khí không đủ mạnh để giảm nhiệt độ toàn bộ khối pin. Hình 21b là trường nhiệt độ bề mặt các cell pin cho thấy, phần lớn bề mặt có nhiệt độ cao. Sự tản nhiệt không hiệu quả từ các cell pin có thể làm giảm tuổi thọ và hiệu suất, cho thấy tấm cách nhiệt chưa đáp ứng được yêu cầu tản nhiệt cần thiết. Đường đồng mức trường nhiệt độ của tấm cách nhiệt bên trong khối pin cho thấy, nhiệt độ cao tập trung tại khu vực giữa. Điều này chỉ ra rằng tấm cách nhiệt giữ nhiệt tại một số vị trí nhất định, nhưng không giảm được nhiệt độ tổng thể của khối pin (Hình 21c).



**Hình 21.** Trường nhiệt độ không khí bên trong khối pin (a); Trường nhiệt độ bề mặt của các cell pin (b); Trường nhiệt độ của tấm cách nhiệt bên trong khối pin (c) của mô hình sử dụng tấm cách nhiệt



**Hình 22.** Đồ thị chênh lệch nhiệt độ lớn nhất của hai mô hình

Hình 22 trình bày độ chênh lệch nhiệt độ giữa hai mô hình trong khối pin. Kết quả cho thấy, mô hình sử dụng tấm cách nhiệt có độ chênh lệch nhiệt độ lớn hơn so với mô hình sử dụng quạt tản nhiệt. Cụ thể, độ chênh lệch nhiệt độ lớn nhất của mô hình tấm cách nhiệt đạt 5,383 K, trong khi

mô hình quạt tản nhiệt chỉ đạt 5,008 K, tương ứng với mức chênh lệch khoảng 7%. Điều này chứng minh rằng, mô hình quạt tản nhiệt hiệu quả hơn trong việc giảm độ chênh lệch nhiệt độ. Hiệu quả làm mát của mô hình quạt tản nhiệt đặc biệt quan trọng trong điều kiện dòng xả cao (4C), giúp khối pin duy trì trạng thái nhiệt độ ổn định, qua đó cải thiện hiệu suất và đảm bảo an toàn cho hệ thống.

Quan sát nhiệt độ khối pin cho thấy, các cell pin được giải nhiệt bề mặt hiệu quả trong cả hai phương án làm mát. Tuy nhiên, mỗi phương án có đặc điểm riêng.

- **Tắm cách nhiệt:** mô hình này giúp giải nhiệt đồng đều cho bề mặt thân cell pin, hạn chế tác động nhiệt lên vỏ ngoài. Tuy nhiên, nhiệt độ tại trung tâm khối pin vẫn cao, và hiện tượng tích tụ nhiệt có thể xảy ra, khiến nhiệt độ tăng dần theo thời gian.

- **Quạt tản nhiệt:** hệ thống quạt tản nhiệt giúp phân tán nhiệt hiệu quả hơn, đặc biệt giảm nhiệt ở các đầu cực pin tùy thuộc vào tốc độ quạt. Tuy nhiên, làm mát không đồng đều, với khu vực đầu ra của dòng khí thường chịu nhiệt cao hơn. Quạt tản nhiệt yêu cầu năng lượng phụ và chi phí vận hành cao hơn so với tắm cách nhiệt, nhưng có khả năng duy trì nhiệt độ đồng đều hơn, phù hợp cho các ứng dụng công suất cao và tăng tuổi thọ của cell pin.

Đối với pin lithium trên xe gắn máy, tắm cách nhiệt là giải pháp ưu việt khi ưu tiên sự đơn giản và tiết kiệm chi phí. Tuy nhiên, để kiểm soát nhiệt độ một cách chính xác và đồng đều, hệ thống quạt làm mát vẫn là lựa chọn tối ưu. Vì vậy, bài báo lựa chọn mô hình quạt làm mát cho khối pin.

#### 4. Kinh tế sử dụng pin lithium trên xe điện

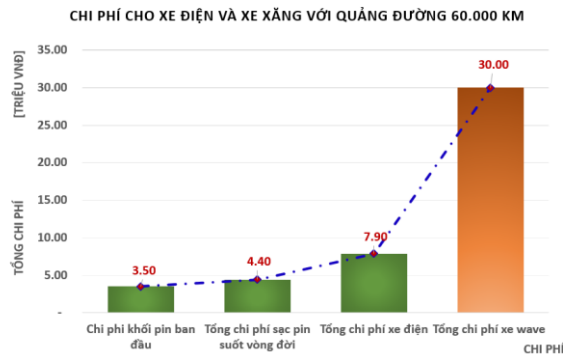
Việc quản lý nhiệt độ hiệu quả cho pin lithium trên xe gắn máy giúp nâng cao hiệu suất pin, gia tăng chu kỳ sạc-xả và duy trì trạng thái tốt cho các cell pin. Tuổi thọ của cell pin có thể đạt mức tối ưu lên đến 1.000 chu kỳ sạc-xả, là giới hạn tối đa theo khuyến nghị của nhà sản xuất. Sau chu kỳ này, pin không bị hỏng hoàn toàn mà chỉ giảm dung lượng. Tổng chi phí thiết kế một bộ pin bao gồm các cell pin, hộp điều tốc, và mạch bảo vệ là 3.500.000 VNĐ.

**Bảng 4.** Tính toán tính kinh tế khi xe điện và xe sử dụng nhiên liệu xăng

Nội dung	Thông số
Tuổi thọ tối đa của cell pin	1000 lần sạc xả
Chi phí thiết kế khối pin	3.500.000 VNĐ
Quãng đường đi mỗi lần sạc đầy	Sp=60 km
Thời gian sạc pin tiêu chuẩn	t=4 giờ
Công suất sạc của adapter	P=0,5 kW
Giá điện công nghiệp trung bình	T=2.200 VNĐ/kWh
Tuổi thọ khối pin	X=1000 lần
Tổng quãng đường suốt vòng đời pin	S=Sp*X=60.000 km
Tổng chi phí sạc pin vòng đời	$\text{Đ} = t * T * X * P = 4 * 2.200 * 1000 * 0,5 = 4.400.000 \text{ VNĐ}$
Tiêu thụ nhiên liệu của xe máy xăng	s=45 km/lít xăng
Giá xăng dầu hiện tại	T=23.000 VNĐ/lít
Chi phí nhiên liệu cho 60.000 km	$\text{Đ} = T * S \div s = 23.000 * 60.000 \div 45 = 30.000.000 \text{ VNĐ}$

Bài báo tiến hành đánh giá hiệu quả kinh tế của việc sử dụng pin lithium cải tiến cho xe điện so với xe Wave 110. Bảng 4 thể hiện tính kinh tế khi một chu kỳ sạc đầy có thể cho phép xe di chuyển quãng đường tối đa 60km trong điều kiện toàn tải.

Hình 23 đồ thị so sánh tổng chi phí của xe máy sử dụng pin điện và xe máy sử dụng nhiên liệu xăng khi di chuyển cùng một quãng đường là 60.000 km. Xe điện bao gồm chi phí ban đầu cho khối pin và chi phí sạc điện trong suốt vòng đời của pin, tổng cộng là 7.900.000 VNĐ. Xe sử dụng xăng có chi tính riêng chi phí nhiên liệu là 30.000.000 VNĐ cho cùng quãng đường.



**Hình 23.** Đồ thị so sánh tổng chi phí của xe máy sử dụng pin điện và xe máy

Ta có thể thấy, cùng một quãng đường đi là 60.000 (km) thì xe sử dụng nhiên liệu hóa thạch tiêu tốn giá trị kinh tế gấp khoảng 4 lần so với việc sử dụng động cơ điện, mang lại giá trị kinh tế vô cùng hiệu quả.

#### 5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho phép rút ra được những kết luận sau:

- Mô hình quạt tản nhiệt cho khối pin mang lại hiệu quả vượt trội so với tắm cách nhiệt, với sự giảm chênh lệch nhiệt độ lên tới 7%. Việc sử dụng quạt tản nhiệt giúp duy trì nhiệt độ ổn định và nâng cao hiệu suất, đồng thời đảm bảo an toàn trong điều kiện dòng xả cao (4C). Mặc dù, tắm cách nhiệt tiết kiệm chi phí, quạt tản nhiệt vẫn là giải pháp tối ưu cho việc kiểm soát nhiệt độ chính xác hơn.

- Chế tạo thành công khối pin sử dụng trên xe điện chuyên đổi từ xe Wave 110. Khối pin gồm tổng cộng 104 cell pin Lithium SS29E INR 18650, với công suất đạt 1116 W. Các thông số kỹ thuật: điện áp danh định 52,1 V; điện áp hoạt động 48V; dung lượng 23 Ah. Kích thước của khối pin là 305 x 201 x 91 mm, khối lượng 8,103 kg. Thời gian sạc đầy ước tính khoảng 3,5 giờ.

- Trên cùng một quãng đường 60.000 km, xe máy Wave 110 sử dụng nhiên liệu xăng tiêu tốn chi phí kinh tế gấp khoảng bốn lần so với tổng chi phí ban đầu cho khối pin và chi phí sạc điện trong suốt vòng đời của khối pin gắn trên xe điện chuyên đổi, mang lại hiệu quả kinh tế rõ rệt.

- Chuyển đổi xe máy Wave Alpha 110 sang xe điện sử dụng khối pin lithium không chỉ mang lại hiệu quả về mặt tiết kiệm năng lượng và chi phí vận hành, mà còn góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Việc tối ưu hóa thiết kế khối pin lithium và hệ thống làm mát bằng quạt tản nhiệt



giúp đảm bảo hiệu suất hoạt động ổn định và lâu dài của xe điện, từ đó thúc đẩy sự phát triển của các phương tiện giao thông xanh và bền vững.

- Bài báo tập trung vào thiết kế khối pin, hệ thống quản lý nhiệt và phân tích kinh tế của pin lithium trên xe điện. Nghiên cứu tiếp theo sẽ mở rộng về hệ thống quản lý pin (BMS) nhằm tối ưu hiệu suất, kéo dài tuổi thọ và đảm bảo an toàn khi vận hành.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Stroe, M. Świerczyński, A. I. Stan, R. Teodorescu, and S. J. Andreasen, "Accelerated Lifetime Testing Methodology for Lifetime Estimation of Lithium-Ion Batteries Used in Augmented Wind Power Plants", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 50, No. 6, pp. 690-698, 2014.
- [2] Y. Ye, L. H. Saw, Y. Shi, and A. A. O. Tay, "Numerical analyses on optimizing a heat pipe thermal management system for lithium-ion batteries during fast charging", *Applied Thermal Engineering*, vol. 86, pp. 281-291, 2015.
- [3] Y. Xing, Q. Miao, K. L. Tsui, and M. Pecht, "Prognostics and health monitoring for lithium-ion battery", *IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics*, vol. 196, pp. 242-247, 2011.
- [4] W. Y. Chang, "Estimation of the state of charge for a LFP battery using a hybrid method that combines a RBF neural network, an OLS algorithm and AGA", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 53, pp. 603-611, 2013.
- [5] K.-Y. Oh and B. I. Epureanu, "A novel thermal swelling model for a rechargeable lithium-ion battery cell", *Journal of Power Sources*, vol. 303, pp. 86-96, 2016.
- [6] J. Zhu, T. Wierzbicki, and W. Li, "A review of safety-focused mechanical modeling of commercial lithium-ion batteries" *Journal of Power Sources*, vol. 378, pp. 153 - 168, 2018.
- [7] G.-H. Kim, A. Pesaran, and R. Spotnitz, "A three-dimensional thermal abuse model for lithium-ion cells" *Journal of Power Sources*, vol. 170, No. 2, pp. 476-489, 2007.
- [8] R. Spotnitz and J. Franklin, "Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells", *Journal of Power Sources*, vol. 113, No. 2, pp. 476-489, 2007.
- [9] P. Röder, N. Baba, and H. D. Wiemhöfer, "A detailed thermal study of a  $\text{Li}[\text{Ni}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}]\text{O}_2/\text{LiMn}_2\text{O}_4$ -based lithium ion cell by accelerating rate and differential scanning calorimetry", *Journal of Power Sources*, vol. 248, No. 15, pp. 978-987, 2014.
- [10] 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", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, No. 15, pp. 1008-1021, 2016.
- [11] H. Park, "A design of air flow configuration for cooling lithium ion battery in hybrid electric vehicles", *Journal of Power Sources*, vol. 239, pp. 30-36, 2013.
- [12] Z. G. Qu, W. Q. Li, and W. Q. Tao, "Numerical model of the passive thermal management system for high-power lithium ion battery by using porous metal foam saturated with phase change material", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 39, No. 8, pp. 3904-3913, 2014.
- [13] G. Zhang *et al.*, "Lithium plating on the anode for lithium-ion batteries during long-term low temperature cycling", *Journal of Power Sources*, vol. 484, pp. 229-312, 2021.
- [14] Honda Viet Nam, "Honda Wave Vehicle catalogue", *honda.com.vn*, June 26, 2008. [Online]. <https://www.honda.com.vn/xe-may/san-pham/wave-alpha-110#section-footer> [Accessed June 30, 2024].
- [15] N. H. Can, D. Q. Thinh, P. M. Thai, N. V. Tai, and L. T. Vang, *Automobile and Tractor Theory Textbook*, Science and Technology Publishing house, 2009.
- [16] EMF INNOVATIONS PVT LTD, "Vehicle engine catalogue", *motors.emf-i.com*, May 2010. [Online]. <https://motors.emf-i.com/wp-content/uploads/2020/09/BL-12-36-250-250-SA.pdf> [Accessed June 30, 2024].
- [17] W. Chen, Jun Liang, Z. Yang, and G. Li, "A Review of Lithium-Ion Battery for Electric Vehicle Applications and Beyond", *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 4363-4368, 2019.
- [18] PowerStream, "Introduction of INR18650", *powerstream.com*, June 18, 2024. [Online]. <https://www.powerstream.com/p/INR18650-25R-datasheet.pdf> [Accessed June 30, 2024].
- [19] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, "A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges", *Smart Cities*, vol. 4, No. 1, pp. 372-404, 2021.
- [20] S. Yang, C. Ling, Y. Fan, Y. Yang, X. Tan, and H. Dong, "A Review of Lithium-Ion Battery Thermal Management System Strategies and the Evaluate Criteria", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 14, pp. 6077 - 6107, 2021.
- [21] D. Chen, J. Jiang, G.H. Kim, C. Yang, and A. Pesaran, "Comparison of Different Cooling Methods for Lithium Ion Battery Cells", *Applied Thermal Engineering*, vol. 94, pp. 846-854, February 2016.
- [22] J. Na and H. Cho, "Analysis on Air Flow and Cooling Effect according to Number of Air Guide Fins in Battery module", *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 12, No. 6, pp. 908-911, 2017.
- [23] D. Bernardi, E. Pawlikowski, and J. Newman, "A general energy balance for battery systems", *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 132, pp. 5-12, 1985.