



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Calculation and simulation of the energy consumption of lithium battery driven electric buses

Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.4.55-66>

*Corresponding author:

Email address:

huynhcv@utt.edu.vn

Received: 27/03/2025

Received in Revised Form:
28/11/2025

Accepted: 30/11/2025

Chu Van Huynh^{1*}, Nguyen Quang Anh¹, Nguyen Thi Hoa¹, Hoang Dinh Hung²

¹Institute of mechanical engineering, University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc, Thanh Liet, Ha Noi, Viet Nam

²Faculty of Mechanical Engineering & Technology – Polytechnic College of Engineering and Technology, Van Binh, Thuong Tin, Ha Noi, Viet Nam

Abstract: There are many different driving cycles commonly used in regions and around the world; however, each manufacturer usually only publishes the vehicle's operating indexes according to a certain driving cycle, especially for electric vehicles. In addition, the method for determining the capacity of the electric power source has not been clearly stated. Therefore, this article presents the research results on the method for calculating the capacity of the battery system on an electric bus when simulating a common driving cycle and arranging the battery system for the bus according to the standard configuration 6S86P (86 battery cells connected in parallel into a set and a module with 6 sets of battery cells). From there, simulate the basic operating parameters of the battery system on an electric bus using software. The results of the article provide a scientific basis for readers to refer to in calculating the capacity of the energy source and the method of arranging the battery system according to the standard configuration for electric cars as well as other pure electric vehicles. The research results can also be used for manufacturers (buses, traditional coaches) to refer to in switching to producing electric buses.

Keywords: driving cycle, electric bus, electric car, lithium battery, electric vehicle simulation.



Thông tin bài viết

Dạng bài viết:

Bài báo nghiên cứu

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.4.55-66>

*Tác giả liên hệ:

Địa chỉ Email:

huynhcv@utt.edu.vn

Ngày nộp bài: 27/03/2025

Ngày nộp bài sửa: 28/11/2025

Ngày chấp nhận: 30/11/2025

Tính toán và mô phỏng nguồn năng lượng cho xe bus chạy điện

Chu Văn Huỳnh^{1*}, Nguyễn Quang Anh¹, Nguyễn Thị Hoa¹, Hoàng Đình Hùng²

¹Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, 54 Triều Khúc, Thanh Liệt, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Cơ khí và Công nghệ – Trường Cao đẳng Kỹ thuật - Công nghệ Bách Khoa, Văn Bình, Thường Tín, Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt: Hiện nay, có nhiều chu trình chạy xe khác nhau được sử dụng phổ biến tại các khu vực và trên thế giới; tuy nhiên với mỗi nhà sản xuất thường chỉ công bố các chỉ số làm việc của phương tiện theo một chu trình lái nhất định, đặc biệt với các phương tiện chạy bằng điện. Bên cạnh đó, phương pháp xác định công suất của nguồn năng lượng điện vẫn chưa được đưa ra một cách rõ ràng. Vì vậy, bài báo này đưa ra các kết quả nghiên cứu về phương pháp tính toán công suất của hệ thống pin trên một dòng xe bus chạy điện khi mô phỏng với một chu trình lái phổ biến và bố trí hệ thống pin cho xe buýt theo cấu hình tiêu chuẩn 6S86P (86 cell pin mắc song song thành một bộ và một module có 6 bộ cell pin). Từ đó mô phỏng các thông số làm việc cơ bản của hệ thống pin trên xe bus chạy điện bằng phần mềm. Kết quả của bài báo cung cấp cơ sở khoa học giúp người đọc có tham khảo để tính toán công suất cho nguồn năng lượng và phương pháp bố trí hệ thống pin theo cấu hình tiêu chuẩn cho ô tô điện cũng như các phương tiện giao thông thuần điện khác. Kết quả nghiên cứu cũng có thể được sử dụng cho các nhà sản xuất (xe buýt, xe khách truyền thống) tham khảo để chuyển sang sản xuất các loại xe buýt điện.

Từ khóa: chu trình lái xe, xe bus điện, ô tô điện, pin lithium, mô phỏng phương tiện điện.

1. Giới thiệu

Xe buýt chạy bằng điện đang là giải pháp cho vấn đề thay thế các phương tiện vận chuyển hành khách công cộng truyền thống một cách hữu ích nhằm giảm thiểu các phát thải độc hại [1, 2], hướng tới mục tiêu net zero vào năm 2050 của chính phủ Việt Nam; đồng thời tăng tính tiện nghi khi sử dụng dịch vụ của hành khách [3]. Hiện nay, tại thành phố Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh đã có nhiều tuyến xe buýt điện đi vào hoạt động và cho thấy các ưu điểm của chúng [4].

Các loại xe buýt điện có nguồn năng lượng khá đa dạng như: pin lithium – ion, fuel cell, siêu

tụ điện [5]; Trong đó pin lithium – ion vẫn là nguồn năng lượng phổ biến nhất hiện nay trên xe buýt điện bởi những ưu điểm của nó [6].

Pin lithium-ion là loại pin năng lượng cao trong đó Li^+ được kết hợp và giải phóng khỏi các điện cực dương và âm khi sạc và xả. Như minh họa trong Hình 1 [7]. Vật liệu điện cực dương của pin lithium-ion là hợp chất xen kẽ của lithium-ion, thường là LiCoO_2 , LiNiO_2 , LiMn_2O_4 , LiFePO_4 và $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Mn}_x\text{O}_2$, v.v. Vật liệu điện cực âm thường là Li_xC_6 , TiS_2 , V_2O_5 , v.v. Chất điện phân là dung môi hữu cơ trong đó các muối lithium, chẳng hạn như LiPF_6 , LiBF_4 , LiClO_4 , LiAsF_6 , v.v., có thể hòa tan.

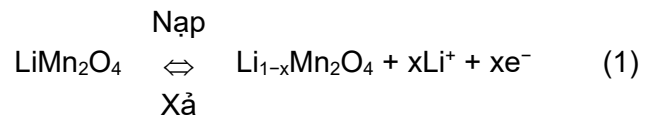
Các dung môi chủ yếu là etylen cacbonat (EC), propylen cacbonat (PC), dimetyl cacbonat (DMC), clo metyl cacbonat (CMC), v.v. Vai trò chính của màng phân tách trong pin là cô lập các điện cực dương và âm, đồng thời cho phép vận chuyển các ion. Gần đây, một màng vi xốp bằng polyethylene (PE) hoặc polypropylene (PP) đã được sử dụng trong thương mại như một màng phân tách.

Các ion Li tách khỏi hợp chất điện cực dương và xen vào mạng tinh thể của điện cực âm trong quá trình sạc. Điện cực dương có điện thế cao và trạng thái nghèo liti, trong khi điện cực âm có điện thế thấp và trạng thái liti giàu. Khi xả, Li^+ thoát ra khỏi điện cực âm và đi vào điện cực dương, tạo ra trạng thái giàu liti ở điện cực dương. Vì vậy, quá trình sạc và xả của pin cũng là quá trình tách xen kẽ và xen kẽ của liti qua lại giữa hai điện cực.

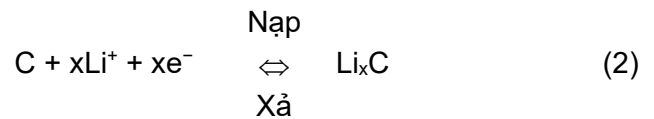
Để duy trì sự cân bằng sạc, trong quá trình sạc và xả, cùng một số electron di chuyển với Li^+ giữa điện cực dương và điện cực âm qua mạch ngoài. Do đó, phản ứng oxy hóa khử xảy ra giữa điện cực dương và điện cực âm.

Lấy pin lithium mangan oxit (LMO) làm ví dụ, trong quá trình sạc, Li^+ thoát ra khỏi LiMn_2O_4 ở điện cực dương, dưới tác dụng của hiệu điện thế, Li^+ đi qua chất điện phân và đi vào lớp xen kẽ cacbon của than chì. Do đó, lớp xen kẽ liti và cacbon được kết hợp bên trong. Khi xả, Li^+ thoát ra khỏi lớp xen kẽ cacbon của điện cực âm, thông qua quá trình ngược lại dưới tác dụng của hiệu điện thế, và đi vào điện cực âm LiMn_2O_4 . Các phản ứng của pin là:

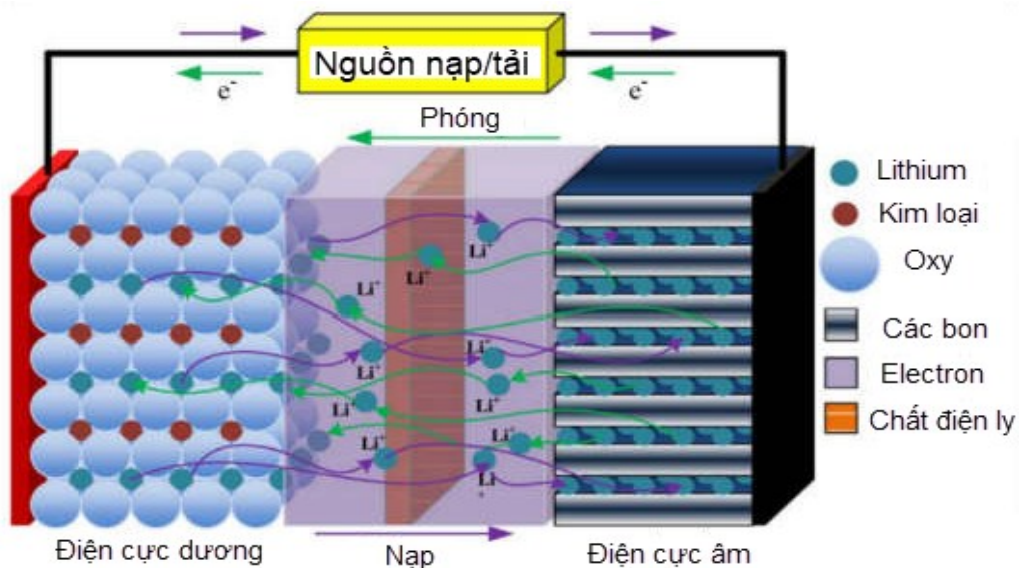
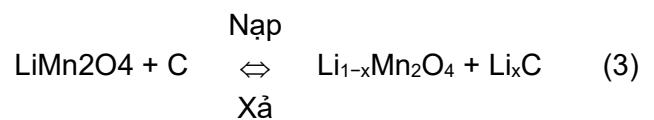
Phản ứng ở điện cực âm:



Phản ứng ở điện cực dương:



Phản ứng tổng hợp:



Hình 1. Cấu tạo của pin Lithium - ion

2. Phương pháp/ Phân tích

Cơ sở tính toán công suất hệ thống pin cho xe bus điện

Để thiết kế, tính toán công suất hệ thống pin cho xe bus điện ta cần sử dụng 2 thông số chính là [8, 9]:

- Mức tiêu thụ năng lượng trung bình của ô tô khi chuyển động trong quãng đường di chuyển của xe: $\bar{E}_{cd}$. Để xác định mức tiêu thụ năng lượng trung bình người ta thường sử dụng phương pháp đưa xe lên băng thử công suất và sử dụng các chu trình lái xe để xác định mức tiêu hao năng lượng.

Phương án này thường được các nhà sản xuất và các phòng nghiên cứu có trang bị bộ thử công suất sử dụng.

- Quãng đường xe đi được sau mỗi lần nạp:
x.

Nhóm tác giả lựa chọn chu trình lái WLTC theo tiêu chuẩn WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) để tính toán mức tiêu thụ năng lượng. WLTP là một trong những tiêu chuẩn có độ chính xác, uy tín được UNECE (Ủy ban Kinh tế Liên hiệp quốc châu Âu) ban hành và áp dụng trên phạm vi toàn cầu. Hiện nay, hầu hết các hãng xe nổi tiếng trên thế giới đều sử dụng tiêu chuẩn này để đánh giá hiệu quả sử dụng nhiên liệu/năng lượng và mức độ thân thiện với môi trường của ô tô. WLTP được áp dụng toàn cầu nhằm xác định những yếu tố dưới đây:

- Mức độ phát thải khí CO₂ của xe sử dụng động cơ đốt trong, xe hybrid;

- Mức tiêu thụ nhiên liệu của xe sử dụng động cơ đốt trong, xe hybrid.

- Phạm vi hoạt động (quãng đường di chuyển sau mỗi lần sạc) của xe ô tô điện chạy bằng pin (EV) dựa trên việc đo lường mức tiêu thụ năng lượng.

Tiêu chuẩn WLTP được thiết lập dựa trên các bài thử nghiệm theo chu trình lái WLTC. Tiêu chuẩn này sẽ sử dụng dữ liệu lái xe thực, được thu thập tại các nước thuộc 5 khu vực khác nhau trên thế giới nên đảm bảo tính chính xác cao.

Có 3 loại chu trình lái WLTC khác nhau (WLTC1, 2 và 3), sử dụng loại chu trình lái nào sẽ phụ thuộc vào tỉ số P_r (công suất tối đa chia khối lượng không tải) (W/kg) [10].

- Loại 1: Phương tiện công suất nhỏ với $P_r \leq 22$.

- Loại 2: Phương tiện công suất trung bình với $22 < P_r \leq 34$.

- Loại 3: Phương tiện công suất lớn với $P_r > 34$.

Để lựa chọn được chu trình lái xe tiêu chuẩn cho quá trình tính toán công suất hệ thống pin của xe bus chạy trong thành phố, bài báo tham khảo một số thông số kỹ thuật của một xe buýt phổ biến

như trong Bảng 1:

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của xe bus [11]

Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Dài - Rộng - Cao	mm	7080 x 2035 x 2780
Chiều rộng cơ sở	mm	2600
Trọng lượng không tải (m_0)	kg	16000
Trọng lượng toàn tải (m_a)	kg	29000
Công suất cực đại (P_{emax})	kW/Hp	250/335
Mô-men xoắn cực đại (M_{emax})	Nm	50000
Vận tốc tối đa	km/h	80

Ở đây ta sử dụng xe bus có tỉ số:

$$P_r = \frac{P_{emax}}{m_0} = \frac{250000}{16000} = 15,625 < 22 \quad (4)$$

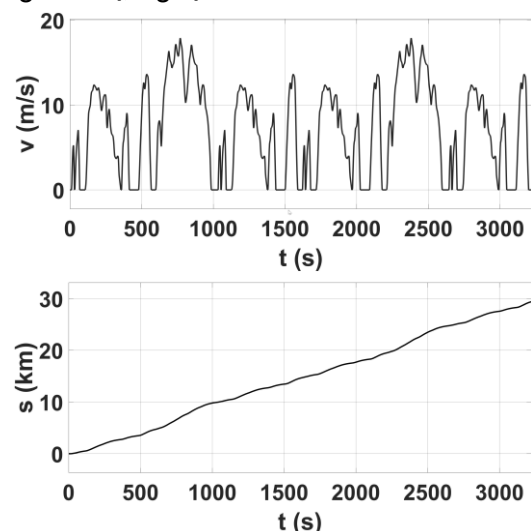
nên ta sẽ sử dụng chu trình lái loại 1 (Hình 2).

Chu trình lái được chia thành 2 giai đoạn mỗi giai đoạn có vận tốc tối đa khác nhau:

- Thấp: 49,1 km/h;

- Trung bình: 64,4 km/h.

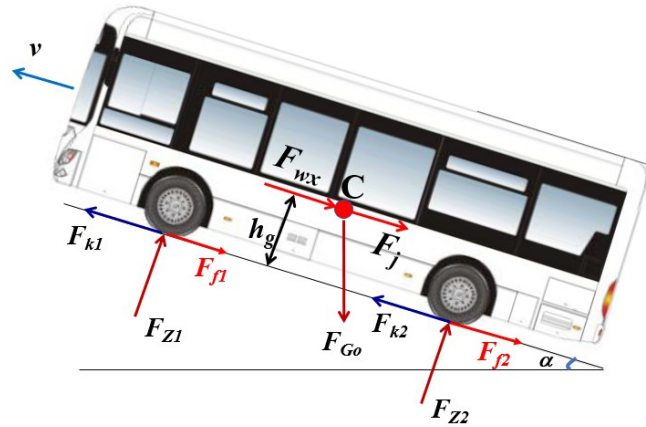
2 giai đoạn này mô phỏng cho các loại đường: đô thị, ngoại ô.



Hình 2. Chu trình WLTC loại 1

2.2. Cơ sở tính toán công suất chuyển động của ô tô

Sơ đồ các lực tác dụng lên ô tô trong quá trình chuyển động được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô trong mặt phẳng dọc

Phương trình cân bằng lực theo phương dọc khi ô tô chuyển động [12], [13]:

$$F_{x1} + F_{x2} = F_j + F_{Go} \sin \alpha + F_{wx} + F_R = F_{\Sigma c}$$

$$= m_o \ddot{x} + F_{Go} \sin \alpha + F_{wx} + F_R = F_{\Sigma c} \quad (5)$$

Trong đó:

+ Lực F_{x1} , F_{x2} là lực kéo tiếp thuyến hoặc lực phanh (N); Lực kéo được xác định:

$$F_x = \frac{30}{\Pi} \frac{1000 P_e i_t \eta_t}{n_e r_b} \quad (6)$$

Với P_e là công suất động cơ, i_t là tỉ số truyền của hệ thống truyền lực, η_t là hiệu suất truyền của hệ thống truyền lực, n_e là vận tốc góc động cơ, r_b là bán kính bánh xe.

+ $m_o \ddot{x}$: lực cản khi tăng tốc (N);

+ $F_{Go} \sin \alpha$: lực cản lên dốc (N);

+ F_{wx} : lực cản không khí phương chính diện

(N), coi đặt tại trọng tâm: $F_{wx} = \left(\frac{1}{2} \rho v^2\right) A c_x \quad (7)$

+ F_R : lực cản lăn (N),

$$F_R = F_{R1} + F_{R2} = F_z f \quad (8)$$

+ $F_{\Sigma c}$: Lực cản tổng cộng (N).

Công suất tổng cộng (P_{Σ} (W)) của xe:

$$P_{\Sigma} = F_{\Sigma c} \dot{x} \quad (9)$$

3. Tính toán công suất hệ thống pin với xe tham khảo

3.1. Tính toán công suất hệ thống pin

Để tính toán công suất hệ thống pin cho xe buýt tham khảo, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Matlab – Simulink như trong Hình 4.

Lựa chọn điều kiện chuyển động của xe chạy trên đường bê tông khô nên hệ số ma sát lăn bằng 0,015. Xe chạy trên đường bằng phẳng nên độ dốc $\alpha = 0$ (rad).

Tổng năng lượng tiêu thụ E_{Σ} (Wh):

$$E_{\Sigma} = \int_t P_{\Sigma} dt \quad (10)$$

Sau khi đã có tổng năng lượng tiêu tốn ta chia cho quãng đường thực hiện mô phỏng là 22,86 km để thu được năng lượng tiêu tốn trung bình $\bar{E}_{cd}$. Lưu ý khi xe tăng tốc thì $F_{\Sigma c}$ sẽ có giá trị dương nên P_{Σ} và E_{Σ} sẽ dương có nghĩa là năng lượng tiêu tốn theo thời gian sẽ tăng, còn khi xe phanh $F_{\Sigma c}$ sẽ âm nên P_{Σ} và E_{Σ} sẽ âm có nghĩa là năng lượng tiêu tốn theo thời gian sẽ giảm.

Sau khi chạy chương trình ta sẽ có được năng lượng tiêu tốn trung bình $\bar{E}_{cd} = 918,8$ (Wh/km).

Ngoài việc cung cấp năng lượng để xe di chuyển, hệ thống pin còn phải cung cấp điện cho các hệ thống phụ tải sử dụng nguồn điện 12V, hệ thống làm mát, hệ thống sưởi,... Năng lượng tiêu tốn trung bình cho các hệ thống phụ tải điện.

Các phụ tải điện trên xe gồm 2 loại

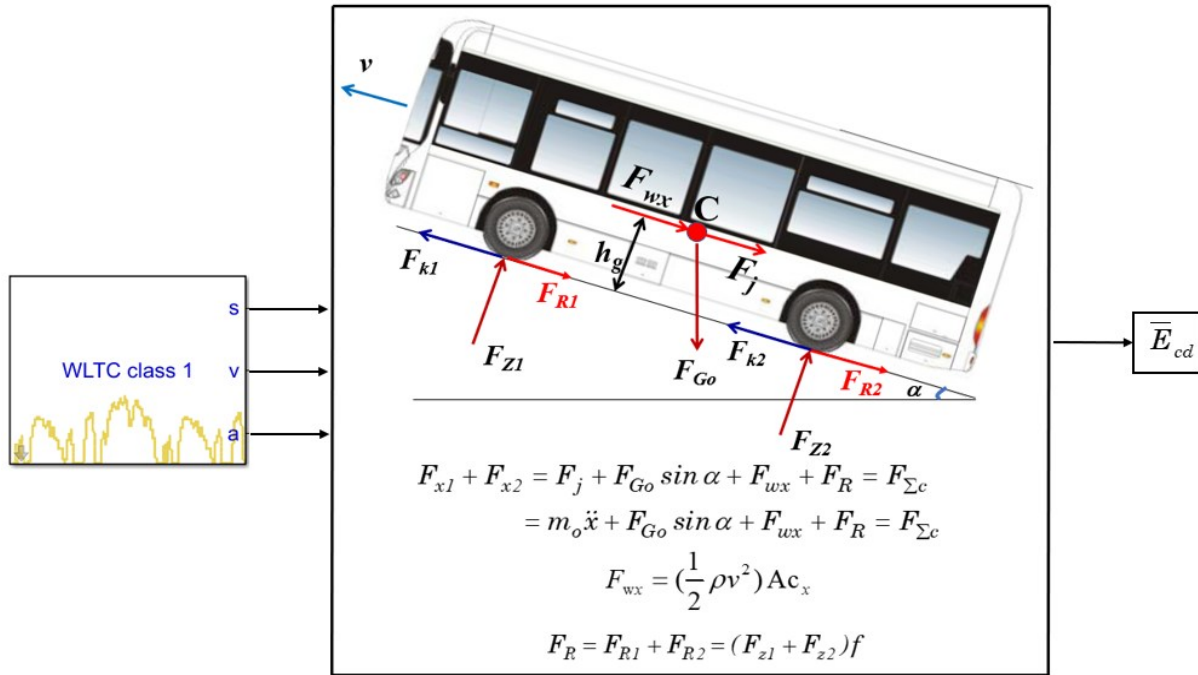
- Phụ tải liên tục (**Bảng 2**);

- Phụ tải không liên tục (gián đoạn - **Bảng 3**).

Để tính được công suất của các tải gián đoạn ta phải nhân với hệ số hoạt động được ước tính khoảng 10% ($10\% \cdot 14320 = 1432$ W).

Khi đó ta công suất tiêu thụ của phụ tải điện trên xe là:

$$P_{PT} = 260 + 1470 = 1730 \text{ (W)}.$$



Hình 4. Sơ đồ tính $\bar{E}_{cd}$ trên Matlab – Simulink

Bảng 2. Công suất các phụ tải liên tục trên xe bus

[14]

Tải liên tục	Công suất (W)
Đèn pha	200
Đèn cốt	160
Đèn đuôi và hai bên	30
Đèn tap - lô	25
Radio	15
Đèn soi biển số	10
Tổng	260

Bảng 3. Công suất các phụ tải gián đoạn trên xe bus [14]

Tải gián đoạn	Công suất (W)
Máy nén	6500
Bộ sưởi	6500
Quạt giàn nóng	230
Quạt giàn lạnh	170
Gạt mưa trước + sau	200
Xông kính	160
Các đèn trần	140
Các đồng hồ thông báo	100
Đèn phanh	80
Đèn lùi	80
Các đèn phụ	140
Đèn soi biển số	10
Còi	60
Gương chỉnh điện	150
Tổng	14700

Chu trình WLTC mô phỏng trong thời gian 3222 giây (xấp xỉ 1 giờ) nên tổng năng lượng cho các hệ thống phụ tải điện trong thời gian đó sẽ là:

$$E_{PT} = P_{PT} \cdot t = 1730 \cdot 1 = 1730 \text{ (Wh)}. \quad (11)$$

Vậy ta có năng lượng tiêu tốn trung bình cho các hệ thống phụ:

$$\bar{E}_{PT} = \frac{E_{PT}}{x} = 1730 : 22,86 = 75,678 \text{ (Wh/km)} \quad (12)$$

Năng lượng tiêu tốn tổng cộng:

$$\bar{E}_{\Sigma} = (\bar{E}_{cd} + \bar{E}_{PT}) \cdot (2 - \eta_p) \quad (13)$$

$$= (918,8 + 75,678) \cdot (2 - 0,9) = 1085 \text{ (Wh/km)}$$

Trong đó: η_p : hiệu suất truyền động từ điện năng thành chuyển cơ năng, chọn $\eta_p = 0,9$.

3.2. Tính toán các thông số của cell pin Lithium-ion

Bảng 4. Thông số của NCR18650B [15]

Hình dạng	Hình trụ
Mode	NCR18650B
Chiều dài L_{bc} (m)	0,0653
Đường kính D_{bc} (m)	0,0185
Khối lượng m_{bc} (kg)	0,046
Dung lượng C_{bc} (Ah)	3,4
Điện áp U_{bc} (V)	3,6
C-rate	2

Chọn loại pin NCR18650B của hãng

Panasonic. Thông số của pin được trình bày trong Bảng 4.

Thể tích của mỗi cell pin (m^3) được tính theo công thức:

$$V_{cc} = \frac{\pi D_{bc}^2}{4} L_{bc} = \frac{\pi \cdot 0,0285^2}{4} \cdot 0,0653 = 1,755 \cdot 10^{-5} (m^3) \quad (14)$$

Trong đó:

+ D_{bc} (m): Đường kính 1 cell pin;

+ L_{bc} (m): Chiều dài 1 cell pin.

Năng lượng của một cell pin:

$$E_{bc} = C_{bc} \cdot U_{bc} = 3,4 \cdot 3,6 = 12,24 (Wh) \quad (15)$$

Trong đó:

+ C_{bc} (Ah): Dung lượng 1 cell pin;

+ U_{bc} (V): Điện áp 1 cell pin.

Năng lượng riêng theo thể tích:

$$U_v = \frac{E_{bc}}{V_{bc}} = \frac{12,24}{1,755 \cdot 10^{-5}} = 697435,9 (Wh/m^3) \quad (16)$$

Năng lượng riêng theo khối lượng:

$$U_G = \frac{E_{bc}}{m_{bc}} = \frac{12,24}{0,046} = 266,1 (Wh/kg) \quad (17)$$

Trong đó:

m_{bc} : Khối lượng 1 cell pin (kg).

Điện áp của hệ pin sẽ quyết định công suất điện tối đa mà hệ pin có thể cung cấp liên tục. Công suất P được tính theo công thức:

$$P = U \cdot I \quad (18)$$

Công thức này cho ta thấy nếu ta chọn điện thế nhỏ thì dòng điện sẽ lớn, mà dòng điện lớn thì đòi hỏi dây dẫn phải có đường kính lớn và hiện tượng mất nhiệt sẽ xảy ra nhiều. Cho nên điện áp của hệ thống pin phải cao để khắc phục điều này.

Ta sẽ chọn điện áp danh định của hệ thống pin $U = 400V$.

Giả thiết rằng ta muốn quãng đường tối đa mà xe có thể đi được trong một lần sạc $x = 300$ km.

Khi đó ta sẽ tính được năng lượng mà hệ thống pin cần cung cấp để đi hết quãng đường x :

$$E_{bp} = \bar{E}_\Sigma \cdot x = 1085 \cdot 300 = 325500 (Wh) = 325,5 kWh \quad (19)$$

3.3. Bố trí hệ thống pin theo cấu hình tiêu chuẩn 6S86P

Cấu hình là 6S86P: 86 cell pin mắc song song thành một bộ và một module có 6 bộ cell pin.

Số cell pin trong 1 module pin = $6 \cdot 86 = 516$ cell

Thông số:

6S86P = 516 Cell/Module;

1032 sợi dây cầu chì/Module.

Số chuỗi module mắc nối tiếp (n_{nt}) để cung cấp nền tảng hoạt động 400V:

$n_{nt} = 400/V_{module} = 18,52$. Chọn giá trị là số nguyên chẵn $n_{nt} = 20$. (*)

Điện áp một module:

$$V_{nom} = 6 \cdot U_{bc} = 6 \cdot 3,6 = 21,6 (V) \quad (20)$$

Dung lượng của 1 module:

$$C_{module} = C_{bc} \cdot 86 = 292,4 (Ah) \quad (21)$$

Năng lượng của 1 module:

$$E_{module} = C_{bc} \cdot V_{module} \cdot 86 = 6316 (Wh) \quad (22)$$

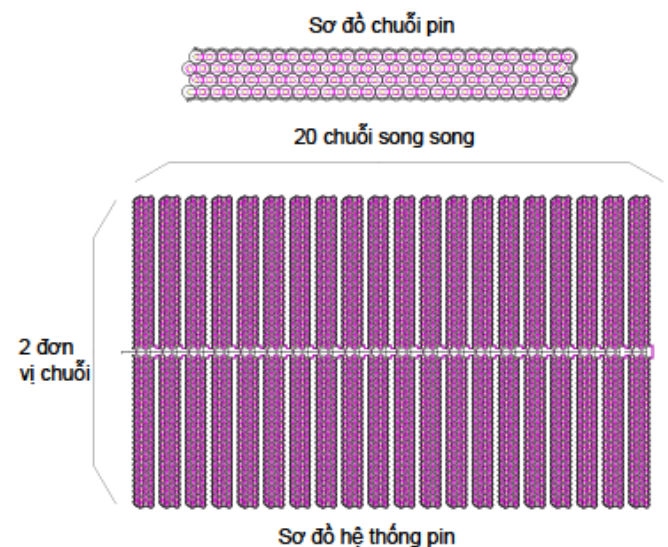
Số module cần thiết lúc này:

$$n_{module} = E_{bp}/E_{module} = 51,66. \quad (23)$$

Chọn giá trị là số nguyên chẵn "là bội của 20"

$$n_{module} = 60 \quad (**)$$

Từ (*) và (**) ta có pack pin sẽ gồm 20 chuỗi nối tiếp bộ 3 module mắc song song (Hình 5).



Hình 5. Sơ đồ bố trí hệ thống pin

Điện áp của hệ thống pin lúc này:

$$V_{pack} = V_{module} \cdot 20 = 432 V \quad (24)$$

Năng lượng của hệ thống pin lúc này:

$$E_{pack} = 60 \cdot E_{module} = 379000 Wh = 379 kWh \quad (25)$$

Dung lượng của hệ thống pin lúc này:

$$C_{\text{pack}} = E_{\text{pack}}/V_{\text{pack}} = 877,2 \text{ Ah} \quad (26)$$

Dòng xả cực đại của pack pin lúc này:

$$I_{\text{pack}} = I_{\text{sbc}} \cdot 86.3 = 1754 \text{ A} \quad (27)$$

Công suất cực đại của hệ thống pin lúc này:

$$P_{\text{pack}} = I_{\text{pack}} \cdot V_{\text{pack}} = 757900 \text{ W} = 757,9 \text{ kW} \quad (28)$$

Số cell pin có trong pack pin:

$$n_{\text{cell/pack}} = 516.60 = 30960 \text{ cell}$$

Khối lượng các cell pin trong pack:

$$m_{\text{pack}} = n_{\text{cell/pack}} \times m_{\text{bc}} = 1424 \text{ kg} \quad (29)$$

Thông số module 6S86P:

- Điện trở 86 cell pin mắc song song:

$$R_s = (R_{\text{cell}} + 2R_{\text{wb}})/86 = (30 + 2 \cdot 1)/86 = 0,3721(\text{m}\Omega) \quad (30)$$

- Điện trở của 1 module pin:

$$R_m = (R_s + R_{\text{bus}}/2) \cdot 6 = 2,533 \text{ m}\Omega \quad (31)$$

- Điện trở của 3 module mắc song song:

$$R_{3m//} = R_m/3 = 0,8442(\text{m}\Omega) \quad (32)$$

Trong đó:

$$R_{\text{cell}} = 30 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{wb}} = 1 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{bus}} = 0,1 \text{ m}\Omega$$

- Điện trở của pack pin:

$$R_{\text{pack}} = (R_{3m//} \cdot 20) + (R_{\text{bus}} \cdot (20 - 1)/2) + 0,2 + 0,23 + 0,05 + 0,2 = 18,51(\text{m}\Omega) \quad (33)$$

Trong đó:

Điện trở Contactor: $R_{\text{Contactor}} = 0,2 \text{ m}\Omega$;

Điện trở cầu chì: $R_{\text{fuse}} = 0,23 \text{ m}\Omega$;

Điện trở mắc song song: $R_{//} = 0,05 \text{ m}\Omega$;

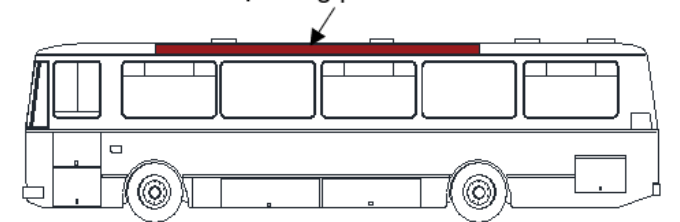
Điện trở cổng kết nối cao áp: $R_{\text{gatehighvoltage}} = 0,2 \text{ m}\Omega$;

Nhiệt dung riêng của một cell pin: $c = 950 \text{ J/kgK}$;

Nhiệt lượng riêng: $Q_r = c \cdot m_{\text{pack}} = 1353000 \text{ J/K}$.

Hệ thống pin trên xe buýt điện thường được bố trí trên nóc của ô tô (Hình 6).

Bố trí hệ thống pin trên ô tô

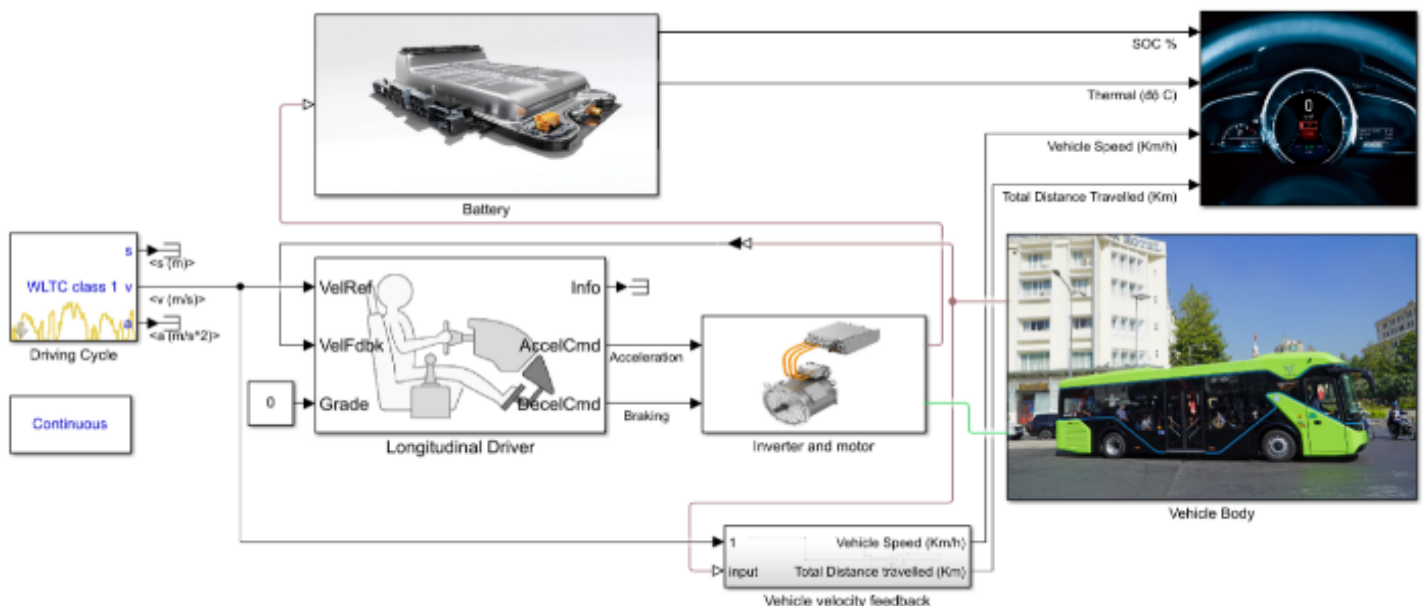


Hình 6. Bố trí hệ thống pin trên xe bus

4. Khảo sát các thông số làm việc của hệ thống pin xe bus

4.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Sử dụng phần mềm Matlab để xây dựng mô hình mô phỏng động lực học và điều khiển hệ thống pin trên xe bus (Hình 7):



Hình 7. Mô hình xe bus trong Matlab

Mô phỏng điều khiển nguồn động lực:

- Khối Drive Cycle Source: Khối Drive Cycle Source tạo ra một chu kỳ truyền động theo chiều

dọc tiêu chuẩn hoặc do người dùng chỉ định. Đầu ra khối là vận tốc tham chiếu dọc xe như một hàm của thời gian, cùng với thời điểm chuyển số nếu

có. Một chu trình lái xe thường được biểu thị bằng một loạt các điểm dữ liệu thể hiện vận tốc của xe theo thời gian. Chu trình lái xe được xây dựng để đánh giá hiệu suất của phương tiện theo nhiều cách khác nhau, bao gồm mức tiêu thụ nhiên liệu và lượng khí thải gây ô nhiễm. Trong chu trình truyền động EV được sử dụng để tìm hiểu mức tiêu thụ năng lượng, phạm vi.

- Khối Longitudinal Driver: Khối Longitudinal Driver thực hiện bộ điều khiển theo dõi vận tốc dọc. Dựa trên vận tốc tham chiếu và phản hồi, khối tạo ra các lệnh tăng tốc và phanh chuẩn hóa có thể thay đổi từ 0 đến 1.

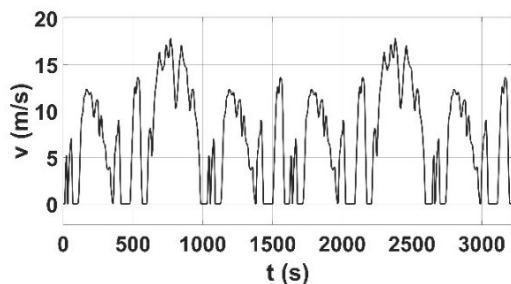
- Khối Controlled PWM Voltage: Điều khiển vận tốc motor bằng PWM là phương pháp thay đổi điện áp đặt vào động cơ. Người ta dùng mạch điện tử để thay đổi độ rộng của xung ngõ ra mà không làm thay đổi tần số. Sự thay đổi độ rộng xung dẫn đến sự thay đổi của điện áp. Các điện áp điều khiển sẽ được đưa ra từ khối tạo nguồn điện áp điều khiển. Khối này tạo ra điện áp Điều chế độ rộng xung (PWM) trên các cổng PWM và REF.

- Mô phỏng thân xe: Hệ thống thân xe bao gồm các khối Vehicle Body, Magic Tire và Simple Gear. Khối Vehicle Body bao gồm Vehicle Mass (Khối lượng xe), Aerodynamic Drag Coefficient (Hệ số cản khí động học), Number of wheels per axle (Số lượng bánh xe trên mỗi trục), Frontal Area (Diện tích mặt cản phía trước), Air Density and Center of Gravity (Mật độ không khí và Trọng tâm).

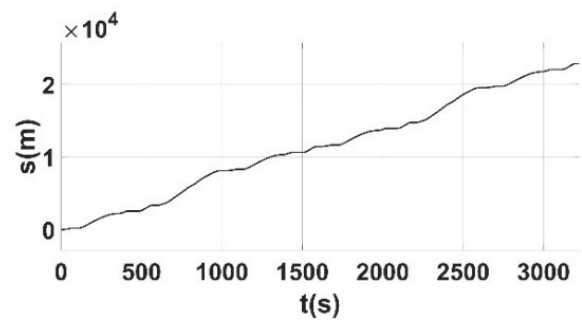
4.2. Kết quả mô phỏng

Sử dụng chu trình lái WLTC loại 1 có thay đổi vận tốc theo thời gian (Hình 8) và quãng đường di chuyển (Hình 9) để làm đầu vào mô phỏng.

- Vận tốc cực đại là 17,68 m/s tương đương khoảng 64 km/h.



Hình 8. Vận tốc chu trình lái WLTC class 1

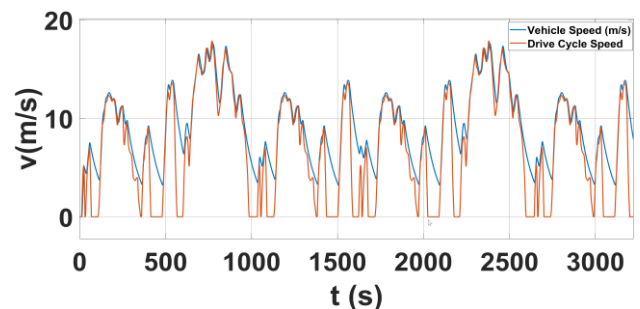


Hình 9. Quãng đường chu trình lái WLTC class 1

- Xe thay đổi vận tốc liên tục, phù hợp với xe bus dừng đón trả khách tại điểm.

- Quãng đường cho một chu trình lái là 22.86 km, quãng đường này tương đối phù hợp hành trình của một tuyến xe bus chạy trong thành phố.

Đồ thị so sánh vận tốc chu trình lái WLTC class 1 với vận tốc chuyển động của xe (Hình 10).



Hình 10. Đồ thị vận tốc chu trình lái WLTC class 1 và vận tốc chuyển động của xe

Nhận xét:

- Đồ thị trên so sánh vận tốc chu trình lái WLTC class 1 với vận tốc của xe.

- Đồ thị màu xanh biểu thị vận tốc chuyển động của xe và đồ thị màu cam biểu thị vận tốc chu trình lái WLTC class 1.

- Vận tốc chuyển động của xe và đường cong chu kỳ truyền động gần trùng nhau cho thấy các thông số được chọn cho động cơ có thể tạo ra công suất cực đại theo chu kỳ truyền động.

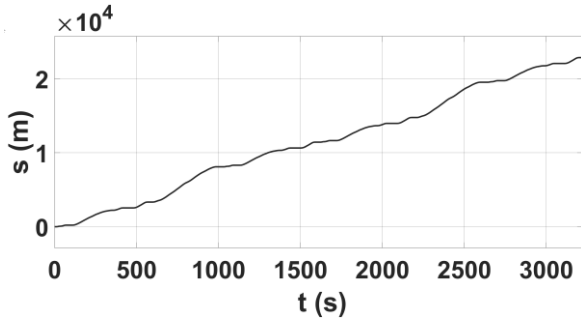
- Trong đồ thị theo dõi vận tốc cho tất cả các chu kỳ truyền động được quan sát trong mô phỏng này, đồ thị vận tốc phản hồi và đồ thị vận tốc tham chiếu gần như trùng lặp với nhau nhưng có những vùng mà cả hai vận tốc đều chênh lệch nhau đó là lúc xe giảm vận tốc. Đồ thị vận tốc tham chiếu giảm mạnh nhưng vận tốc phản hồi thì không. Điều này là do quán tính của thân xe. Khi quán tính của thân xe càng cao thì thời gian giảm tốc của thân xe càng

lâu.

- Tuy nhiên ở những dải giảm tốc dài thì đồ thị vẫn chưa thể theo kịp được chu trình. Việc này có thể giải thích bởi: Hệ thống điều khiển trên mô hình tương đối đơn giản, không thể nào so sánh được với ECU của xe.

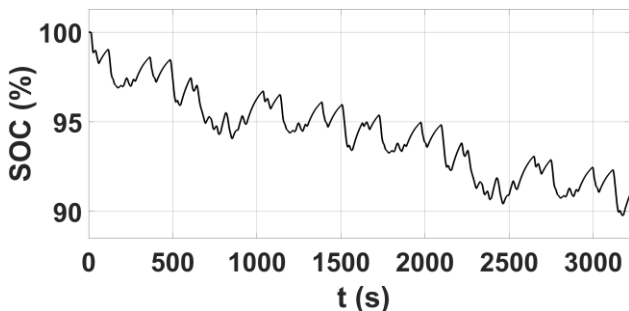
- Vận tốc cực đại là 17,68 m/s tương đương khoảng 64 km/h.

Đồ thị quãng đường thực tế (Hình 11):



Hình 11. Đồ thị quãng đường xe đi được

Đồ thị SOC (state of charge -trạng thái nạp của pin) thực tế của hệ thống pin (Hình 12):



Hình 12. Đồ thị SOC

Nhận xét:

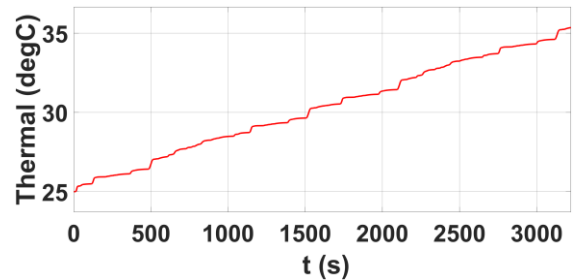
Nhận xét: Sau 3222 giây khi khởi hành, quãng đường xe đi được là 29,38 km, SOC lúc này còn 91%. Do có sự sai khác về vận tốc của chu trình lái với vận tốc chuyển động của xe nên quãng đường đi được thực tế lớn hơn quãng đường trong chu trình lái. Với mức giảm dung lượng của hệ thống pin khoảng 9% cho một hành trình, vậy nếu hệ thống được nạp đầy sẽ di chuyển được 10 hành trình (tương đương 5 lượt đi về của một tuyến) thì công suất tính toán là hợp lý.

- SOC ở mức 100% khi bắt đầu mô phỏng và giảm xuống 91% sau 3222 giây.

- Khi khởi hành SOC ở mức 100%, sau đó khi xe tăng tốc, SOC bắt đầu giảm nhưng bất cứ khi nào giảm tốc thì do có chức năng phanh tái

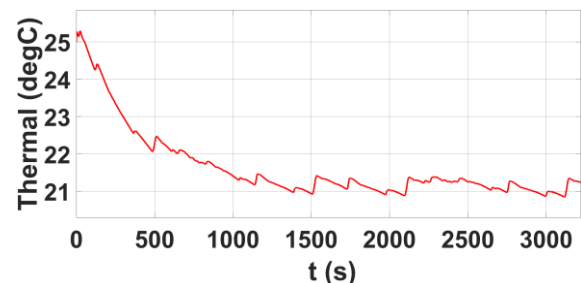
sinh, động cơ hoạt động như một máy phát điện và sạc pin nên SOC sẽ tăng lên.

Đồ thị nhiệt của pin khi chưa có hệ thống làm mát (Hình 13):



Hình 13. Đồ thị nhiệt của pin khi chưa có hệ thống làm mát

Đồ thị nhiệt của pin có hệ thống làm mát (Hình 14):



Hình 14. Đồ thị nhiệt của pin có hệ thống làm mát

Nhận xét:

- Khi hệ thống pin không được trang bị hệ thống làm mát nhiệt độ pin ban đầu ở mức 25oC, sau khi xe chạy hết một hành trình, nhiệt độ tăng lên tới 35,35oC. Nhiệt độ này là khá cao và có thể ảnh hưởng hiệu suất của hệ thống pin đồng thời gây nguy cơ mất an toàn do cháy nổ pin.

- Khi hệ thống pin được làm mát, nhiệt độ cao nhất chỉ là 25,29oC sau khi xe chạy 24 giây. Sau khi xe chạy hết hành trình do hệ thống pin đã được làm mát, nhiệt độ hệ thống chỉ là 21,24oC;

5. Kết luận

Bài báo đã đưa ra được phương pháp tính toán và mô phỏng hệ thống pin cho xe buýt điện theo một chu trình chạy tiêu chuẩn. Việt Nam đang trong giai đoạn đầu của quá trình điện khí hóa phương tiện giao thông công cộng nên việc nắm bắt được phương pháp tính toán công suất hệ thống pin một cách rõ ràng và bố trí chúng theo cấu hình tiêu chuẩn có thể giúp ích cho các nhà sản xuất, lắp ráp xe buýt, xe khách tại Việt Nam rút

ngắn thời gian tính toán. Việc mô phỏng hệ thống pin nhằm xác định một số thông số làm việc của chúng nhằm khẳng định thêm tính đúng đắn của phương pháp tính toán này. Kết quả tính toán của bài báo có thể tiếp tục được sử dụng làm đầu vào để mô phỏng thông số làm việc khác của hệ thống pin cũng như mô phỏng với các chu trình lái khác nhau để xác so sánh các chu trình lái phổ biến.

Tài liệu tham khảo

- [1]. T Markel, A Brooker, T Hendricks, V Johnson, K Kelly, B Kramer, M O'Keefe, S Sprik, K Wipke. (2002). ADVISOR: A systems analysis tool for advanced vehicle modeling. *Journal of Power Sources*, 110(2), 255–266. [http://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00189-1](http://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00189-1)
- [2]. D. Perrotta, J.L. Macedo, R.J.F. Rossetti, J.F. de Sousa, Z. Kokkinogenis, B. Ribeiro, J. L. Afonso. (2014). Route Planning for Electric Buses: A Case Study in Oporto. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 1004–1014. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.135>
- [3]. Thủ tướng Chính phủ. (2022). Phê duyệt chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu giai đoạn đến 2050. Quyết định số 896/QĐ-TTg, ngày 26/7/2022.
- [4]. H.T.H. Lê, H.V. Lâm, N.V. Thắng. (2022). Phát triển xe buýt điện ở đô thị Việt Nam: Cơ hội, thách thức và khả năng áp dụng. *Tạp chí Giao thông vận tải*, Số tháng 10, 96-99.
- [5]. M. Mahmoud, R. Garnett, M. Ferguson, P. Kanaroglou. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 673–684. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>
- [6]. G.J. Offer, D. Howey, M. Contestabile, R. Clague, N.P. Brandon. (2010). Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*, 38(1), 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.040>
- [7]. J. Dahn, G.M. Ehrlich. (2011). Lithium-Ion Batteries, in: T.B. Reddy (Ed.), *Linden's handbook of batteries*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, N.Y., 26.1-26.79.
- [8]. P. Kurzweil, K. Brandt. (2009). SECONDARY BATTERIES - Lithium Rechargeable Systems: Overview, in: J. Garche (Ed.), *Encyclopedia of electrochemical power sources*, Elsevier, Amsterdam, pp. 1–26.
- [9]. C.J.J. Beckers, I.J.M. Besselink, J.J.M. Frints, H. Nijmeijer. (2019). Energy Consumption Prediction for Electric City Buses, in 13th ITS European Congress, Brainport, Netherlands.
- [10]. M. Tutuianu, P. Bonnel, B. Ciuffo, T. Haniu, N. Ichikawa, A. Marotta, J. Pavlovic, H. Steven. (2015). Development of the world-wide harmonized light duty test cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 61–75. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.011>
- [11]. ZF Friedrichshafen AG. (2024). Axle, Transmission & E-Mobility Driveline Systems for Buses & Coaches. Product Overview. https://www.zf.com/public/org/AxleTransmissionE-MobilityDrivelineSystemsforBusesCoaches_72599.pdf
- [12]. N.A. El-Taweel, A. Zidan, H.E.Z. Fartag. (2021). Novel Electric Bus Energy Consumption Model Based on Probabilistic Synthetic Speed Profile Integrated With HVAC. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 1517–1531. <http://doi.org/10.1109/TITS.2020.2971686>
- [13]. A.S. Al-Ogaili, A. Ramasamy, T.J.T. Hashim, A.N. Al-Masri, Y. Hoon, M.N. Jebur, R. Verayiah, M. Marsadek. (2020). Estimation of the energy consumption of battery driven electric buses by integrating digital elevation and longitudinal dynamic models: Malaysia as a case study. *Applied Energy*, 280, 115873. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115873>
- [14]. Đ.V. Dũng. (2021). *Trang bị điện và điện tử trên ô tô hiện đại*. Nhà xuất bản Đại học Quốc

gia Tp.HCM.

[15] Panasonic. (2017). Lithium ion, Rechargeable battery <https://www.orbtronic.com/content/NCR>

18650B-Datasheet-Panasonic-Specifications.pdf