

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH



TRẦN VĂN KIÊN

**NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG XE BUÝT ĐIỆN CỖ NHỎ
CHO THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Ngành : Kỹ thuật ô tô

Mã số : 8520130

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH



TRẦN VĂN KIÊN

**NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG XE BUÝT ĐIỆN CỖ NHỎ
CHO THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Ngành: Kỹ thuật ô tô

Mã số: 8520130

NGƯỜI HƯỚNG DẪN: TS. TRẦN VIỆT DŨNG

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2025

BỘ XÂY DỰNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
Số: 251212-15/QĐ-UTH-SĐH

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

TP. Hồ Chí Minh, ngày 12 tháng 12 năm 2025

QUYẾT ĐỊNH

Về việc thành lập Hội đồng đánh giá đề án tốt nghiệp thạc sĩ

HIỆU TRƯỞNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 66/2001/QĐ-TTg ngày 26/4/2001 của Thủ tướng Chính phủ về việc thành lập Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh;

Căn cứ Quy chế Tổ chức và hoạt động của Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh ban hành theo Nghị quyết số 14/NQ-HĐTDHGTVT ngày 11/01/2021 của Hội đồng Trường;

Căn cứ Quy chế tuyển sinh và đào tạo trình độ thạc sĩ ban hành kèm theo Quyết định số 33/QĐ-ĐHGTVT ngày 12/01/2022 của Hiệu trưởng Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh;

Căn cứ Quyết định số 250303-03/QĐ-UTH-SĐH ngày 03/3/2025 của Hiệu trưởng Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh về việc giao đề tài tốt nghiệp đối với các lớp chương trình đào tạo thạc sĩ;

Theo đề nghị của Viện trưởng Viện Đào tạo sau đại học.

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Thành lập Hội đồng đánh giá đề án tốt nghiệp thạc sĩ ngành Kỹ thuật ô tô (mã số 8520130) đối với học viên **Trần Văn Kiên** với đề tài: "Nghiên cứu sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ cho Thành phố Hồ Chí Minh", người hướng dẫn: TS. Trần Việt Dũng, gồm các ông (bà) có tên sau:

1. TS. Lê Văn Vang	Trường ĐH GTVT TP.HCM	Chủ tịch Hội đồng;
2. PGS.TS. Đoàn Văn Đồng	Trường ĐH GTVT TP.HCM	Ủy viên, phản biện;
3. TS. Phạm Văn Chiến	Trường ĐH GTVT TP.HCM	Ủy viên, phản biện;
4. TS. Trương Thanh Hải	Trường ĐH GTVT TP.HCM	Ủy viên;
5. TS. Đinh Gia Huy	Trường ĐH GTVT TP.HCM	Ủy viên, thư ký.

Điều 2. Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký. Các ông (bà) Viện trưởng Viện Đào tạo sau đại học, Trưởng phòng Kế hoạch - Tài vụ và ông (bà) có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này.

Nơi nhận:

- Như Điều 2;
- Hiệu trưởng (để b/c);
- Lưu: VT, VĐTSDH (Tú: 05b).

KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG



NGUYỄN VĂN VANG

**ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Đại diện người hướng dẫn: TS. Trần Việt Dũng.....

Đề án tốt nghiệp thạc sĩ được bảo vệ tại Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh ngày 20 tháng 12 năm 2025 .

Thành phần Hội đồng đánh giá đề án tốt nghiệp thạc sĩ gồm:

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| 1. TS. Lê Văn Vang | Chủ tịch Hội đồng; |
| 2. PGS.TS Đoàn Văn Đồng | Ủy viên, phản biện; |
| 3. TS. Phạm Văn Chiến | Ủy viên, phản biện; |
| 4. TS. Trương Thanh Hải | Ủy viên; |
| 5. TS. Đinh Gia Huy | Ủy viên, thư ký. |

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đề án này là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các thông tin về số liệu, kết quả nêu trong đề án tốt nghiệp này là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nghiên cứu nào khác. Mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện đề án tốt nghiệp này đã được tôi cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong đề án tốt nghiệp đã được tôi chỉ rõ nguồn gốc cụ thể.

Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm về đề án nghiên cứu của tôi.

Tp, Hồ Chí Minh, ngày 24 tháng 12 năm 2025.

Học viên

(Ký và ghi rõ họ tên)



Trần Văn Kiên

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành tốt đề án tốt nghiệp này, tôi đã nhận được sự giúp đỡ và hỗ trợ quý báu từ nhiều cá nhân và tổ chức. Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới:

Thầy TS. Trần Việt Dũng, người hướng dẫn khoa học, đã sát sao chỉ bảo và hướng dẫn cho tôi trong suốt quá trình thực hiện đề án tốt nghiệp.

Thầy PGS.TS Phạm Xuân Mai, cố vấn khoa học, đã tận tình hỗ trợ định hướng cho tôi trong đề án này.

Ban giám hiệu, các Thầy, Cô giảng viên Viện Cơ khí; Viện Hàng hải; Viện sau đại học và các phòng, ban nói chung thuộc Trường Đại học Giao Thông Vận Tải Thành phố Hồ Chí Minh đã trang bị cho tôi nền tảng kiến thức vững chắc để thực hiện thành công nghiên cứu này, cũng như hỗ trợ tôi thực hiện các thủ tục theo đúng quy định nhà trường đã ban hành.

Cuối cùng là gia đình, bạn bè đã luôn động viên và hỗ trợ tôi trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu.

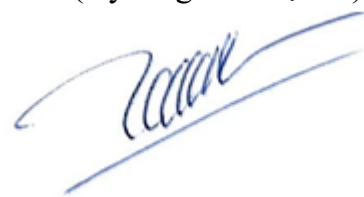
Mặc dù đã có nhiều cố gắng, song đề án tốt nghiệp không tránh khỏi những thiếu sót. Tôi rất mong nhận được ý kiến đóng góp của quý Thầy, Cô và các bạn đọc để đề án tốt nghiệp của tôi được hoàn thiện hơn.

Tôi xin trân trọng cảm ơn!

Tp, Hồ Chí Minh, ngày 24 tháng 12 năm 2025.

Học viên

(Ký và ghi rõ họ tên)



Trần Văn Kiên

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	vii
DANH MỤC BẢNG	x
DANH MỤC HÌNH	xi
MỞ ĐẦU.....	1
1. LÝ DO CHỌN ĐỀ TÀI	1
a. Thực trạng và hạn chế của hạ tầng giao thông công cộng ở Thành phố Hồ Chí Minh hiện nay.....	1
b. Ưu điểm của xe buýt cỡ nhỏ sử dụng ở Thành phố Hồ Chí Minh.	1
c. Xây dựng mô hình nghiên cứu.	1
2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU	2
a. Mục tiêu tổng quát.....	2
b. Mục tiêu cụ thể	2
3. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU	2
a. Đối tượng nghiên cứu	2
b. Phạm vi nghiên cứu	2
4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	2
5. Ý NGHĨA THỰC TIỄN CỦA NGHIÊN CỨU	3
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN	4
1.1. Ô tô, ô nhiễm môi trường và biến đổi khí hậu	4
1.1.1. Tác hại của các chất ô nhiễm trong khí xả động cơ đối với sức khỏe con người và môi trường.....	4
1.1.2. Ảnh hưởng đến biến đổi khí hậu	5
1.1.3. Các giải pháp hạn chế phát thải ô nhiễm môi trường và CO ₂	6

1.2. Xu hướng phát triển xe sạch, xanh và giao thông công cộng ở Thành phố Hồ Chí Minh.	8
1.3. Tổng quan về lĩnh vực nghiên cứu trước có liên quan.....	12
1.3.1. Nghiên cứu ngoài nước	12
1.3.2. Nghiên cứu trong nước.....	14
1.4. Một số loại xe buýt cỡ nhỏ đang sử dụng ở khu vực ASEAN và Thành phố Hồ Chí Minh.....	15
1.4.1. Xe buýt cỡ nhỏ sử dụng ở các nước trong khu vực ASEAN	15
1.4.2. Một số loại xe buýt cỡ nhỏ đang sử dụng ở Thành phố Hồ Chí Minh	17
1.5. Sự cần thiết của xe buýt điện cỡ nhỏ và phương thức hoạt động ở Thành phố Hồ Chí Minh.....	23
1.6. Kết luận.	25
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	26
2.1. Tổng quan về ô tô điện	26
2.2. Bố trí chung tổng thể của một ô tô điện	27
2.3. Hệ truyền lực điện	29
2.3.1. Tổng quan về hệ truyền động trên xe ô tô điện.....	29
2.3.2. Lựa chọn động cơ điện phù hợp.....	31
2.4. Hệ thống pin xe điện	32
2.4.1. Tổng quan về pin trên ô tô điện	32
2.4.2. Lựa chọn loại pin cho xe buýt điện cỡ nhỏ.	36
2.4.3. Quản lý năng lượng và kiểm soát điện năng.....	37
2.5. Hệ thống điều khiển xe buýt điện cỡ nhỏ.....	39
2.5.1. Bộ điều khiển xe điện (EVCU – Electric Vehicle Control Unit)	39
2.5.2. Bộ điều khiển động cơ (MCU – Motor Control Unit)	40

2.5.3. Bộ chuyển đổi (Converter DC-DC) và biến tần (Inverter) cho động cơ cảm ứng	41
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ XE BUÝT ĐIỆN CỖ NHỎ.....	43
3.1. Thiết kế bố trí chung	43
3.1.1. Chọn kiểu dáng, nội ngoại thất cho xe buýt điện cỡ nhỏ	43
3.1.2. Chọn thân xe, khung xương, thân vỏ	45
3.1.3. Lựa chọn các cụm dàn gầm cho xe buýt điện cỡ nhỏ	47
3.2. Tính chọn động cơ điện.....	49
3.2.1. Tính toán sức kéo	49
3.2.2. Lựa chọn động cơ điện.....	54
3.3. Nghiên cứu bố trí chung và các tổng thành cho xe buýt điện cỡ nhỏ.	56
3.3.1. Bố trí chung cho xe buýt điện cỡ nhỏ	56
3.3.2. Lựa chọn cầu chủ động phù hợp.	57
3.3.3. Lựa chọn Pin	58
3.3.4. Hệ thống điều khiển	63
3.3.5. Thiết kế bố trí trên xe buýt điện cỡ nhỏ	69
3.3.6. Xác định phân bố trọng lượng ô tô	74
3.3.7. Tính toán kiểm tra ổn định của xe.....	74
3.3.8. Tính toán hiệu suất của xe buýt điện cỡ nhỏ.....	77
3.4. Kết luận	89
CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ.....	91
4.1. Giới thiệu.....	91
4.1.1. Phần mềm mô phỏng Simcenter Amesim	92
4.1.2. Chu trình thử nghiệm xe trên phần mềm mô phỏng Simcenter Amesim..	94
4.2. Mô phỏng buýt điện cỡ nhỏ trên phần mềm Simcenter Amesim.....	97
4.2.1. Kết quả mô phỏng trên chu trình lái Personal.....	100

4.2.2.	Kết quả mô phỏng xe trên chu trình lái WLTC	103
4.3.	Mô phỏng xe buýt cỡ nhỏ sử dụng động cơ diesel trên phần mềm Simcenter Amesim.....	108
4.4.	So sánh và đánh giá kết quả đặc tính kéo của hai xe	109
4.5.	So sánh hiệu quả vận hành với xe buýt cỡ nhỏ hiện có ở Thành phố.	111
4.6.	Kết luận	111
	KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ.....	113
1.	KẾT LUẬN	113
2.	HƯỚNG PHÁT TRIỂN	113
2.1.	Mô phỏng đa chiều 3D và tối ưu hóa thiết kế nâng cao	114
2.2.	Phát triển nguyên mẫu và kiểm chứng thực nghiệm	114
2.3.	Phát triển trạm sạc và phương pháp sạc	115
2.4.	Chiến lược ứng dụng và nội địa hóa công nghệ	115
	TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	117

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

STT	Viết tắt	Nguyên bản	Ý nghĩa
1	ABS	Anti-lock Braking System	Hệ thống chống bó cứng phanh
2	AC	Alternating Current	Động cơ điện xoay chiều
3	ADC	Analog to Digital	Bộ chuyển đổi số
4	BEV	Battery Electric Vehicle	Xe thuần điện
5	BLDC	Brushless DC Motor	Động cơ nam châm vĩnh cửu một chiều không chổi than
6	BMS	Battery Management System	Hệ thống quản lý pin
7	BTMS	Battery Thermal Management System	Hệ thống quản lý nhiệt pin
8	CANBUS	Controller Area Network Bus	Mạng giao tiếp điều khiển
9	CNG	Compressed Natural Gas	Khí nén thiên nhiên
10	COP	Conference Of the Parties	Hội nghị Thượng đỉnh về biến đổi khí hậu
11	CRDi	Common Rail Direct Injection	Hệ thống phun nhiên liệu trực tiếp
12	DC	Direct Current	Động cơ một chiều
13	DOTr	Department of Transportation	Bộ Giao thông vận tải ở Philippines
14	DSP	Digital Signal Processor	Bộ xử lý tín hiệu số
15	DTC	Direct Torque Control	Điều khiển trực tiếp mô-men
16	EBD	Electronic Brakeforce Distribution	Hệ thống phân phối lực phanh điện tử
17	Ebus	Electric Bus	Xe buýt điện
18	ECU	Electronic Control Unit	Bộ điều khiển điện tử trung tâm
19	EPA	Environmental Protection Agency	Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ
20	EPE	Electrical Power Engineering	Kỹ thuật điện – năng lượng
21	ESP	Electric Power Steering	Hệ thống lái trợ lực điện
22	EVCU	Electric Vehicle Control Unit	Bộ điều khiển xe điện
23	FCV	Fuel Cell Vehicle	Xe pin nhiên liệu
24	FOC	Field-Oriented Control	Điều khiển tốc độ theo từ thông
25	FOC	Field-Oriented Control	Điều khiển tốc độ theo từ thông
26	GHG	Greenhouse Gas	Khí nhà kính
27	ICE	Internal Combustion Engine	Động cơ đốt trong
28	ICM	Instrument Cluster Module	Cụm hiển thị thông tin (bảng đồng hồ)

29	IEA	International Energy Agency	Cơ quan Năng lượng Quốc tế
30	IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	Transistor Đặc cách Cực Cách điện
31	IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	Linh kiện bán dẫn công suất cao
32	IM	Induction Motor	Động cơ cảm ứng
33	IM	Induction Motor	Động cơ cảm ứng
34	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu
35	LFP	Lithium iron Phosphate	
36	LKD	Lightweight Load-bearing Composite Module	Module composite nhẹ chịu tải
37	LPG	Liquefied Petroleum Gas	Khí hóa lỏng
38	LRT	Light Rail Transit	Đường sắt đô thị nhẹ
39	LTO	Lithium Titanium Oxide	
40	MCU	Motor Control Unit	Bộ điều khiển động cơ điện
41	MCU	Motor Control Unit	Bộ điều khiển động cơ
42	MRAC	Model-Reference Adaptive Control	Điều khiển thích ứng tham chiếu
43	MRAC	Model-Reference Adaptive Control	Mô hình điều khiển thích ứng tham chiếu
44	MRT	Metro Rail Transit	Đường sắt đô thị cao tốc
45	NMC	Lithium Nickel Manganese Cobalt oxide	
46	PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor	Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu
47	PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor	Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu
48	PUVMP	Public Utility Vehicle Modernization Program	Chương trình Hiện đại hóa Xe công ích
49	PHV	Plug-in Hybrid Vehicle	Xe hybrid cắm điện
50	SAE	Society of Automotive Engineers	Hiệp hội kỹ sư ô tô Hoa Kỳ
51	SOC	State of Charge	Trạng thái của pin
52	SRM	Switched Reluctance Motor	Động cơ từ trở thay đổi
53	STO	Safe Torque Off	Chức năng an toàn (ngắt tín hiệu điều khiển mô-men xoắn của động cơ)
54	TDCi	Turbo Diesel Common-rail injection	Động cơ tăng áp phun dầu điện tử

55	VVVF	Variable-Voltage Variable-Frequency	Điều khiển biến đổi điện áp và tần số
56	VVVF	Variable-Voltage Variable-Frequency	Điều khiển biến đổi điện áp và tần số.
57	WTW	Well to Wheel	Đánh giá hiệu suất năng lượng và phát thải khí nhà kính
58	ZEV	Zero Emission Vehicle	Phương tiện Không Phát thải

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025)

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1: Thông số kỹ thuật xe buýt điện Kim Long B30.....	22
Bảng 2.1: So sánh các loại động cơ dùng cho ô tô điện.....	31
Bảng 2.2: Các loại pin và đặc tính cụ thể [28].	36
Bảng 2.3: Cấu trúc hóa học của pin LFP.....	37
Bảng 3.1. Thông số cơ bản của xe buýt điện cỡ nhỏ.....	44
Bảng 3.2: Tính năng lượng tiêu thụ của xe khi đi trên đường bằng.....	53
Bảng 3.3: Thông số của động cơ cảm ứng AC (1PV5138-4WS24) [26]	55
Bảng 3.4: Tổng hợp công suất phụ tải.....	59
Bảng 3.5: Thông số kỹ thuật của một pack pin D173F230-50S1P	60
Bảng 3.6: Thông số kỹ thuật của cell pin L173F230	62
Bảng 3.6: Thông số tính toán ổn định	74
Bảng 3.7: Kết quả tính toán tọa độ trọng tâm.	76
Bảng 3.8: Tổng hợp kết quả tính toán ổn định	77
Bảng 3.9: Bảng lực kéo tại công suất danh định của động cơ điện.....	77
Bảng 3.10: Bảng lực kéo tại công suất cực đại của động cơ điện	79
Bảng 3.11: Tổng lực cản khi lái xe trên dốc 0 %; 5 %; 12 %; 20 %; 30 %	81
Bảng 3.12: Bảng tính toán gia tốc của xe theo tốc độ động cơ.....	82
Bảng 3.13: Thời gian cần thiết để xe đạt vận tốc tối đa	83
Bảng 3.14: Bảng thông số kỹ thuật, đặc điểm và các tính năng của xe	85

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1: Lượng khí thải CO ₂ theo từng năm trên thế giới.	6
Hình 1.2 : Các giải pháp xe xanh (Green Car)	9
Hình 1.3: So sánh mức tiết kiệm chi phí mỗi km của xe chạy bằng Xăng, Ethanol (E85), Hybrid, Diesel, BioDiesel, Khí hóa lỏng (LPG), Khí tự nhiên (CNG), và Điện.	10
Hình 1.4: Quy mô xe buýt tại Tp.HCM.....	11
Hình 1.5: Thị phần xe buýt Tp.HCM (tính theo số tuyến)	11
Hình 1.6: Xe Jeepney cũ ở Philippines.....	16
Hình 1.7: Mẫu xe Jeepney hiện đại hạng II của Isuzu	16
Hình 1.8: Xe tuk-tuk của Thái Lan.....	17
Hình 1.9: Xe mini buýt liên tỉnh (trái) và xe mini buýt trung chuyển X9.....	19
Hình 1.10: Xe điện 4 bánh di chuyển ở Tp.HCM, 2025.	20
Hình 1.11: Xe buýt điện Kim Long tại Tp. HCM và sơ đồ 17 tuyến kết nối Metro số 1	20
Hình 1.12: Tuyến đường của xe buýt điện B30 tại quận 10 và quận 3.	21
Hình 1.13: Xe buýt điện cho 27 tuyến mới	21
Hình 1.14: Bộ pin bố trí trên xe Kim Long B30	22
Hình 1.15: Xe buýt điện Kim Long B30 di chuyển trên đường ngập nước ở TpHCM	23
Hình 2.1: Phân loại các dòng xe điện hóa	26
Hình 2.2: Sơ đồ cấu hình tổng quát xe điện	26
Hình 2.3: Các cấu hình có thể của ô tô điện.....	28
Hình 2.4: Sơ đồ khối chức năng của hệ động lực điện.....	30
Hình 2.5: Các nguồn năng lượng cho xe điện	33
Hình 2.6: Mật độ năng lượng của các loại pin	35
Hình 2.7: Dòng sạc pin và công suất sạc pin cho các loại pin khác nhau.	35
Hình 2.8: Biểu đồ công suất và điện áp phóng điện của pin LFP	36
Hình 2.9: Các bộ phận trong hệ thống quản lý pin.....	38
Hình 2.10: Sơ đồ phân cấp hệ thống điều khiển của xe	39
Hình 3.1: Kiểu dáng ngoại thất và kích thước tổng thể của xe buýt điện cỡ nhỏ	43
Hình 3.2. Bản vẽ thiết kế 2D mặt bằng bố trí ghế và cửa lên xuống	44
Hình 3.3: Lựa chọn thiết kế sàn chịu lực kiểu sàn thấp	45

Hình 3.4: Phương án thiết kế khung, vỏ xe	46
Hình 3.5: Cầu lên xuống cho xe lăn	47
Hình 3.6: Lực tác dụng trực tiếp lên xe buýt điện cỡ nhỏ	49
Hình 3.7: Tải trọng tác dụng vào trọng tâm xe.....	51
Hình 3.8: Động cơ điện 1PV5138 – 4WS24. Đồ thị mô-men xoắn và công suất so với tốc độ của động cơ điện [26]	55
Hình 3.9: Sơ đồ bố trí tổng quát hệ thống truyền động xe buýt điện cỡ nhỏ.	56
Hình 3.10: Kích thước của 1 cell pin mã L173F230	62
Hình 3.11: Cấu trúc hệ thống BMS	63
Hình 3.12: Mối quan hệ giữa hệ thống điều khiển và BMS.....	63
Hình 3.13: Bộ điều khiển xe.....	64
Hình 3.14: Bộ điều khiển chính BMS	64
Hình 3.15: Đầu nối điện	65
Hình 3.16: Mạch CAN trong hệ thống trên xe	66
Hình 3.17: Mạch khởi động.....	67
Hình 3.18: Sơ đồ hệ thống làm mát.....	67
Hình 3.19: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển.....	68
Hình 3.20: Cấu hình mô-men xoắn với lệnh đầu vào 100 %	69
Hình 3.21: Phương án bố trí động cơ điện cầu sau chủ động.....	69
Hình 3.22: Khối pin bố trí phía sau xe	70
Hình 3.23: Khối pin bố trí phía sau và dưới ghế hành khách.....	71
Hình 3.24: Bố trí khối pin trên trần xe	71
Hình 3.25: Bản vẽ 2D bố trí pin trên mũ xe	72
Hình 3.26: Bản vẽ 2D bố trí vị trí ghế hành khách trên xe	73
Hình 3.27: Bản vẽ mặt cắt dọc và mặt cắt ngang thể hiện bố trí các cụm chi tiết	73
Hình 3.28: Đồ thị lực kéo theo vận tốc xe và công suất định mức của động cơ.....	79
Hình 3.29: Đồ thị lực kéo theo vận tốc xe ở công suất cực đại của động cơ.	80
Hình 3.30: Đồ thị lực kéo, trên đó biểu diễn các lực cản chuyển động khi leo dốc 5 %, 12 %, 20 % và 30 %	81
Hình 3.31: Đồ thị gia tốc của xe.....	83
Hình 3.32: Đồ thị thời gian tăng tốc.....	85

Hình 3.33: Bản vẽ bố trí khoang hành khách và bộ pin trên mui xe.....	88
Hình 3.34: Bản vẽ bố trí các cụm chi tiết trên xe.....	89
Hình 4.1: Các giai đoạn quy trình và các lĩnh vực phát triển trong một quy trình phát triển xe hoàn chỉnh điển hình theo công nghệ tiên tiến hiện nay	92
Hình 4.2: Giao diện phần mềm Simcenter Amesim.....	93
Hình 4.3: Vị trí của Simcenter Amesim trong mô phỏng.....	93
Hình 4.4: Chu trình lái thử FTP 72.....	94
Hình 4.5: Chu trình lái thử FTP 75.....	95
Hình 4.6: Vận tốc của xe trong chu trình NEDC	95
Hình 4.7: Chu trình lái thử WLTC.....	96
Hình 4.8: Mô hình hệ thống mô phỏng xe buýt điện cỡ nhỏ.....	99
Hình 4.9: Đồ thị mômen xoắn động cơ điện	100
Hình 4.10: Đồ thị cân bằng lực kéo tại góc dốc 0 độ	100
Hình 4.11: Đồ thị cân bằng lực kéo tại góc dốc thay đổi	101
Hình 4.12: Đồ thị đặc tính tăng tốc của xe.....	102
Hình 4.13: Đồ thị hoạt động của động cơ điện ở momen cực đại.....	103
Hình 4.14: Lựa chọn chu kỳ mô phỏng trong WLTC.....	104
Hình 4.15: So sánh giữa vận tốc điều khiển (mô phỏng) và vận tốc thực của xe	104
Hình 4.16: Tốc độ quay động cơ, SOC và phanh tái sinh	105
Hình 4.17: Đồ thị hoạt động của động cơ điện trên chu trình WLTC	105
Hình 4.18: Quãng đường xe di chuyển theo SOC.....	106
Hình 4.19: Phạm vi hoạt động của xe.....	107
Hình 4.20: Trạng thái sạc (SOC) và điện áp của pin (V)	107
Hình 4.21: Mô hình hệ thống xe buýt cỡ nhỏ sử dụng động cơ diesel.....	108
Hình 4.22: Kết quả đường đặc tính ngoài động cơ ($n_e = 2400$ rpm; $M_e = 425$ Nm) ...	109
Hình 4.23: Kết quả đường đặc tính ngoài động cơ ($n_e = 3200$ rpm; $N_e = 126$ kW)....	109
Hình 4.24: So sánh kết quả đồ thị đặc tính kéo của xe buýt điện cỡ nhỏ và xe buýt diesel cỡ nhỏ	109

MỞ ĐẦU

1. LÝ DO CHỌN ĐỀ TÀI

a. Thực trạng và hạn chế của hạ tầng giao thông công cộng ở Thành phố Hồ Chí Minh hiện nay.

Thành phố Hồ Chí Minh (Tp.HCM) là đô thị lớn và trung tâm giao thông quan trọng của Việt Nam, hiện có hơn 2.000 xe buýt hoạt động trên 128 tuyến. Tuy nhiên, tỷ lệ đáp ứng của vận tải hành khách công cộng còn thấp, dự kiến chỉ đạt 15,2 % nhu cầu vào năm 2025 và 25,48 % vào năm 2030, trong đó xe buýt chiếm tỷ trọng hạn chế. Nguyên nhân chính là do cơ sở hạ tầng giao thông yếu kém, mật độ đường thấp, tỷ lệ hạ tầng giao thông chưa đạt quy hoạch và phần lớn là các tuyến đường nhỏ, hẹp, khiến xe buýt khó tiếp cận người dân. Trong bối cảnh thành phố có khoảng 10 triệu phương tiện, chủ yếu là xe máy, tình trạng ùn tắc giao thông ngày càng nghiêm trọng. Hoạt động giao thông cũng góp phần lớn vào phát thải khí nhà kính và ô nhiễm không khí, ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và sức khỏe cộng đồng [1].

b. Ưu điểm của xe buýt cỡ nhỏ sử dụng ở Thành phố Hồ Chí Minh.

Xe buýt điện cỡ nhỏ có chiều dài 5–6 m, sức chứa 10–16 hành khách, phù hợp hoạt động trên các tuyến đường nhỏ hẹp và khu vực giao thông phức tạp tại Tp.HCM. Nhờ kích thước gọn nhẹ, loại hình này cho phép tăng tần suất khai thác, nâng cao khả năng tiếp cận của người dân, đồng thời giảm tiêu thụ năng lượng và chi phí vận hành, bảo trì. Việc sử dụng động cơ điện giúp giảm gần như hoàn toàn phát thải CO₂, góp phần cải thiện chất lượng không khí và sức khỏe cộng đồng. Vì vậy, tác giả đã lựa chọn đề tài “Nghiên cứu sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ cho Thành phố Hồ Chí Minh” là cần thiết, nhằm nâng cao hiệu quả vận tải hành khách công cộng và hướng tới hệ thống giao thông xanh, bền vững.

c. Xây dựng mô hình nghiên cứu.

Mô hình nghiên cứu được tác giả xây dựng qua 5 giai đoạn như : Phân tích, lựa chọn phương thức đi lại trong thành phố – Lựa chọn nguồn năng lượng cho phương tiện công cộng – Đánh giá vòng đời (LCA) của phương tiện công cộng sử dụng năng lượng đã chọn – Xây dựng phương án thiết kế - Áp dụng vào thực tế hướng đến di chuyển thông minh và bền vững ở thành phố.

2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

a. *Mục tiêu tổng quát*

Nghiên cứu xe buýt điện cỡ nhỏ cho Tp.HCM nhằm phát triển hệ thống giao thông xanh, giảm lượng khí thải nhà kính và ô nhiễm môi trường, đồng thời hướng tới các mục tiêu phát triển giao thông đô thị bền vững, giảm thiểu sự phụ thuộc vào nhiên liệu truyền thống, cải thiện chất lượng không khí và sức khỏe cộng đồng.

b. *Mục tiêu cụ thể*

Nghiên cứu cấu hình phù hợp, tính toán, lựa chọn động cơ điện, hệ năng lượng (pin và các phần tử phù hợp).

Tính bền vững: Phân tích lợi ích của xe buýt điện cỡ nhỏ vào mục tiêu giảm phát thải và phát triển phương tiện giao thông bền vững.

Nghiên cứu đánh giá hiệu suất hoạt động của xe buýt điện cỡ nhỏ cho Tp.HCM.

3. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU

a. *Đối tượng nghiên cứu*

Đối tượng nghiên cứu của đề án là xe buýt điện cỡ nhỏ sử dụng ở Tp.HCM.

b. *Phạm vi nghiên cứu*

- Nghiên cứu sẽ tập trung vào phát triển xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp với Tp.HCM tại các cung đường nhỏ hẹp, có mật độ dân cư đông mà các xe buýt khác không đáp ứng được
- Nghiên cứu lựa chọn các bộ phận của xe phù hợp với những yếu tố liên quan đến hiệu suất hoạt động.
- Phân tích khả năng vận hành và thương mại hóa của xe buýt điện cỡ nhỏ cho Tp.HCM.

4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Phương pháp nghiên cứu tổng hợp lý thuyết: Thu thập, đọc, nghiên cứu, phân tích các tài liệu liên quan đến lĩnh vực sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ như sách, báo, tạp chí chuyên ngành, luận văn, luận án, các văn bản quy phạm pháp luật của Nhà nước về giao thông xanh, xe điện và phát triển bền vững. Nghiên cứu một số mẫu xe buýt điện cỡ nhỏ tại một số quốc gia trên thế giới, rút ra bài học kinh nghiệm cho Việt Nam.

- Phương pháp khảo sát và phỏng vấn chuyên gia: Xây dựng bảng câu hỏi khảo sát về thực trạng sử dụng xe buýt và nhu cầu xe buýt điện cỡ nhỏ tại Thành phố Hồ Chí

Minh. Câu hỏi tập trung vào vấn đề nhận thức về giao thông xanh, chính sách hỗ trợ, tổ chức thực hiện, các khó khăn về hạ tầng và trạm sạc.

- Phương pháp phân tích định lượng và mô phỏng kỹ thuật: Sử dụng phần mềm tính toán, phân tích số liệu, lựa chọn động cơ điện, bộ pin và các phần tử phù hợp. Sử dụng phần mềm mô phỏng vật lý mô phỏng hiệu suất hoạt động của xe buýt điện cỡ nhỏ

Kết quả thu được từ các bước trên sẽ được so sánh với thực trạng xe buýt hiện hữu để đề xuất giải pháp xe buýt điện cỡ nhỏ khả thi về mặt kỹ thuật – kinh tế và phù hợp mục tiêu bền vững.

5. Ý NGHĨA THỰC TIỄN CỦA NGHIÊN CỨU

Đề tài "*Nghiên cứu sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ cho Thành phố Hồ Chí Minh*" mang ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong việc cải thiện chất lượng hệ thống giao thông đô thị. Xe buýt điện cỡ nhỏ giúp giảm thiểu khí thải, tiếng ồn, góp phần cải thiện chất lượng không khí cho thành phố. Với kích thước nhỏ gọn, xe buýt điện cỡ nhỏ có thể linh hoạt di chuyển trên các tuyến đường hẹp, tối ưu hóa hạ tầng giao thông hiện có và tăng cường khả năng tiếp cận GTCC cho người dân. Đồng thời, xe buýt điện cỡ nhỏ còn giúp tiết kiệm chi phí nhiên liệu và bảo trì, thúc đẩy chuyển đổi sang giao thông xanh, nâng cao hiệu quả dịch vụ công cộng, và tạo nền tảng cho việc phát triển các dự án giao thông thông minh trong tương lai.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Ô tô, ô nhiễm môi trường và biến đổi khí hậu

Ngành công nghiệp ô tô đã trở thành một trong những ngành công nghiệp quan trọng nhất trên thế giới, không chỉ từ quan điểm kinh tế mà còn từ quan điểm nghiên cứu và phát triển. Ngày càng có nhiều yếu tố công nghệ được đưa vào các phương tiện để cải thiện sự an toàn của hành khách và người đi bộ. Trong môi trường đô thị các chất ô nhiễm như vật chất dạng hạt, oxit nitơ (NO_x), CO, sulfur dioxide (SO_2), nồng độ của các chất ô nhiễm trong khí xả phụ thuộc vào loại động cơ và chế độ vận hành. Trong thực tế, sự hiện diện của các chất độc hại trong khí xả động cơ đốt trong với hàm lượng nhỏ khiến người dùng ít quan tâm đến sự nguy hiểm trước mắt mà nó gây ra. Tuy nhiên, sự thay đổi thành phần không khí trong những năm gần đây đã cho thấy sự gia tăng đáng lo ngại. Nếu không kịp thời có các giải pháp hạn chế sự gia tăng này thì tương lai toàn cầu sẽ phải đối mặt với sự thay đổi khắc nghiệt, thậm chí có thể hủy hoại hoàn toàn môi trường sống. Bảo vệ môi trường sống không chỉ là yêu cầu của từng nước, từng khu vực mà nó cần phải sự đồng lòng và thống nhất trên phạm vi toàn cầu. Ở Việt Nam, Luật Bảo vệ môi trường đã được thống nhất và ban hành từ ngày 10/01/1994 và ngày 18/10/1994 Chính phủ đã ban hành nghị định số 175/CP hướng dẫn việc thi hành Luật Bảo vệ môi trường.

1.1.1. Tác hại của các chất ô nhiễm trong khí xả động cơ đối với sức khỏe con người và môi trường.

Đối với sức khỏe con người: Carbon Monoxyt (CO) là một sản phẩm khí trong quá trình cháy không hoàn hảo tạo ra khí không mùi, không màu, không vị. CO ảnh hưởng trực tiếp đến sự lưu thông hồng cầu trong máu của cơ thể người. Con người có thể tử vong khi 70 % số hồng cầu bị khồng chế. Khi 20 % hồng cầu bị khồng chế thì nạn nhân bị nhức đầu, chóng mặt, buồn nôn. Ngoài ra, CO còn có thể gây ra các chứng bệnh về tim mạch và thần kinh nếu nồng độ chiếm 50 %. Một họ khác của oxit nitơ là NO_x , các thành phần trong NO_x bản chất khó hòa tan, do đó có thể theo đường hô hấp đi sâu vào phổi gây viêm và có thể phá hủy tế bào bên trong. Thành phần NO_2 trong không khí làm con người bị mất ngủ, ho, khó thở. Hydrocarbon (HC) cũng gây ra những căn bệnh quái ác như ung thư máu hoặc gây rối loạn hệ thần kinh hoặc các bệnh lý về gan. SO_2 Oxit lưu huỳnh rất háo nước, chúng có thể hòa tan vào nước mũi đi theo đường hô hấp

đề vào cơ thể con người và làm tổn hại cho phổi và giảm khả năng đề kháng của nạn nhân. Một sản phẩm của quá trình cháy trên động cơ sử dụng nhiên liệu diesel đặc biệt được quan tâm đến đó là muội than. Nó tồn tại trong không khí dưới dạng những hạt rắn (PM – Particulate Matter) có đường kính trung bình khoảng $0,3\text{ }\mu\text{m}$ rất dễ đi qua đường hô hấp và gây ra bệnh ung thư phổi cực cao, bệnh hen suyễn, viêm cuống phổi, gây tổn thương mắt, dị ứng mũi hoặc có thể gây ung thư da khi tiếp xúc thường xuyên. Đối với động cơ xăng, chì là thành phần trong khí xả, tồn tại dưới dạng hạt với đường kính rất bé nên rất dễ xâm nhập vào cơ thể con người qua da hoặc theo đường hô hấp. Tỷ lệ lượng chì hấp thụ vào máu khoảng 30 đến 40 % nếu nó đi vào cơ thể người. Nó tác động trực tiếp đến hệ thần kinh, làm chậm khả năng phát triển trí tuệ ở trẻ. Tuy nhiên, từ năm 2021 trên toàn thế giới đã cấm hoàn toàn nhiên liệu xăng pha chì [1].

Đối với môi trường: Các chất ô nhiễm trong không khí đặc biệt những chất gây hiệu ứng nhà kính ảnh hưởng đến quá trình cân bằng nhiệt của trái đất. Trong đó, carbon dioxide (CO_2) sản phẩm chính của quá trình cháy nhiên liệu có ảnh hưởng lớn đến sự trao đổi nhiệt giữa mặt trời và trái đất. Nếu mất đi sự cân bằng sẽ làm bầu khí quyển nóng thêm và kéo theo đó là hiệu ứng nhà kính. Trước tình hình gia tăng nồng độ khí cacbonic trong bầu khí quyển như hiện nay, dự đoán của các nhà khoa học khoảng giữa thế kỉ 22, nồng độ CO_2 có thể tăng lên gấp đôi. Sự gia tăng khí NO_x đặc biệt là N_2O sẽ góp phần làm phá hủy tầng ozon bảo vệ trái đất, giảm khả năng ngăn cản tia cực tím phát xạ từ mặt trời. Từ đó, gây ra các bệnh cho con người như ung thư da, đột biến sinh học, hoặc là đột biến sinh ra các vi trùng có khả năng gây ra các bệnh lạ. Hủy hoại môi trường sống của tất cả các sinh vật tồn tại trên trái đất. Ngoài ra, muội than bám vào hệ thực vật sẽ làm cản trở khả năng quang hợp, cây xanh dễ bị héo chết. Muội than dễ gây ra sự ăn mòn kim loại, phá hủy bê tông và đá xây dựng,... Mặt khác, các chất khí có tính axit như SO_2 , NO_2 bị oxy hóa thành axit sunfuric, axit nitric hòa tan trong mưa, trong tuyết, trong sương mù... gây ra mưa axit làm hủy hoại các loài thực vật trên trái đất và theo thời gian phá hủy các công trình xây dựng [1].

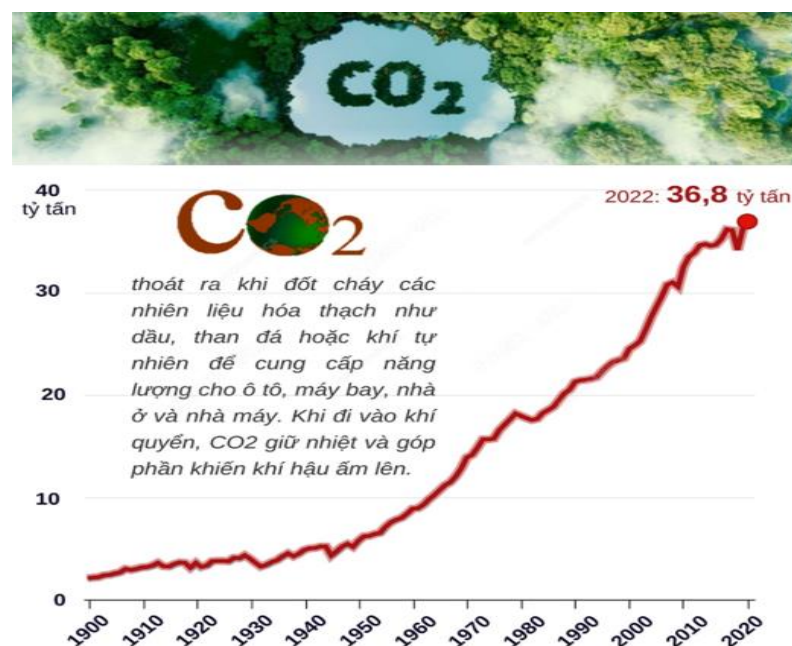
1.1.2. Ảnh hưởng đến biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu là một trong những thách thức môi trường nghiêm trọng nhất mà nhân loại đang đối mặt, trong đó ô tô đóng vai trò quan trọng như một nguồn phát thải khí nhà kính lớn, đặc biệt là carbon dioxide (CO_2). Sự gia tăng nồng độ CO_2 trong

khí quyển, từ mức khoảng 280 ppm thời kỳ tiền công nghiệp lên hơn 415 ppm vào năm 2020 theo EPA, chủ yếu xuất phát từ các hoạt động giao thông vận tải, bao gồm ô tô chạy bằng nhiên liệu hóa thạch. Các mô hình dự báo của IPCC cho thấy nhiệt độ trung bình toàn cầu có thể tăng từ 1,5 đến 4,5°C vào cuối thế kỷ 21 nếu không có biện pháp kiểm soát phát thải hiệu quả. Sự gia tăng nhiệt độ này dẫn đến nhiều hậu quả nghiêm trọng như mực nước biển dâng do băng tan, tần suất gia tăng của các hiện tượng thời tiết cực đoan (bão, lũ lụt, hạn hán) và suy giảm đa dạng sinh học. Khái niệm "sự bùng nổ khí hậu" ám chỉ điểm tới hạn mà tại đó các hệ thống khí hậu tự nhiên phản ứng không thể đảo ngược, chẳng hạn như sự giải phóng methane từ đáy đại dương hoặc tan chảy của băng Bắc Cực, làm trầm trọng thêm tình trạng nóng lên toàn cầu. Cân bằng carbon trong khí quyển, tức sự hài hòa giữa lượng CO₂ phát thải và lượng được hấp thụ bởi hệ sinh thái tự nhiên hoặc công nghệ là yếu tố then chốt để giảm thiểu những tác động này.

1.1.3. Các giải pháp hạn chế phát thải ô nhiễm môi trường và CO₂

Từ năm 1990 đến 2014, Mỹ và Trung Quốc là hai quốc gia phát thải nhiều nhất, Trong đó ngành giao thông vận tải phát ra 30,9 % tổng lượng khí thải CO₂ (2014), đường bộ chiếm hơn 70 %. Theo báo cáo thường niên mới nhất của IEA lượng khí thải CO₂ trong năm 2022 đạt mức 36,8 tỷ tấn, tăng 0,9 % so với năm 2021. Đây là mức cao kỷ lục trong 100 năm qua kể từ năm 1990. *Nguồn: Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA).*



Hình 1.1: Lượng khí thải CO₂ theo từng năm trên thế giới.

Trước tình hình đó, COP (Conference Of the Parties – Hội nghị các Bên tham gia Công ước Khung của Liên Hợp Quốc về Biến đổi khí hậu - UNFCCC) được tổ chức thường niên và là nền tảng quan trọng để các quốc gia hợp tác giải quyết khủng hoảng khí hậu toàn cầu.

COP 26, diễn ra tại Glasgow vào năm 2021, đã thông qua Hiệp ước Khí hậu Glasgow, đặt mục tiêu giảm 45 % lượng phát thải khí nhà kính vào năm 2030 so với mức năm 2010, đánh dấu bước tiến quan trọng trong việc kiểm soát ô nhiễm không khí (UNFCCC, 2021). Với hơn 100 quốc gia tham gia Cam kết Methane Toàn cầu, đặt mục tiêu giảm 30% lượng phát thải khí methane vào năm 2030, một biện pháp quan trọng để giảm thiểu ô nhiễm không khí do methane là tác nhân chính hình thành ozone tầng đối lưu. Và tuyên bố về ZEV được khởi xướng, với các quốc gia và nhà sản xuất cam kết đạt 100 % doanh số xe ô tô và xe tải nhỏ không phát thải vào năm 2040 trên toàn cầu, và sớm hơn vào năm 2035 tại các thị trường dẫn đầu. Để giải quyết vấn đề này, Việt Nam đã đề xuất chiến lược chuyển đổi sang năng lượng sạch, bao gồm phát triển phương tiện giao thông điện, hybrid và sử dụng nhiên liệu sinh học. Tại đây, Việt Nam đã cam kết đạt mức phát thải ròng bằng "0" (Net Zero) vào năm 2050, thể hiện quyết tâm mạnh mẽ trong việc giảm phát thải khí nhà kính (GHG) [2] [3] [4].

COP 27, tổ chức tại Sharm El-Sheikh vào năm 2022, chuyển trọng tâm sang triển khai thực tế và hỗ trợ tài chính, với việc thành lập quỹ tổn thất và thiệt hại nhằm hỗ trợ các quốc gia chịu ảnh hưởng từ biến đổi khí hậu, bao gồm các vấn đề ô nhiễm môi trường. Nhấn mạnh các giải pháp dựa vào tự nhiên, như tái trồng rừng và bảo tồn đất đai, nhằm hấp thụ carbon và giảm thiểu ô nhiễm nước từ dòng chảy nông nghiệp (UNFCCC, 2022). COP 27 tiếp tục mở rộng nỗ lực với Biên bản Ghi nhớ Toàn cầu về Phương tiện Trung và Nặng Không Phát thải, đặt mục tiêu 30 % doanh số bán xe không phát thải vào năm 2030 và 100 % vào năm 2040, giải quyết vấn đề phát thải từ các phương tiện chiếm 25 % lượng CO₂ trong giao thông đường bộ. Việt Nam đặt mục tiêu đến năm 2030, 30 % phương tiện giao thông đường bộ sẽ sử dụng năng lượng điện hoặc nhiên liệu sạch [5].

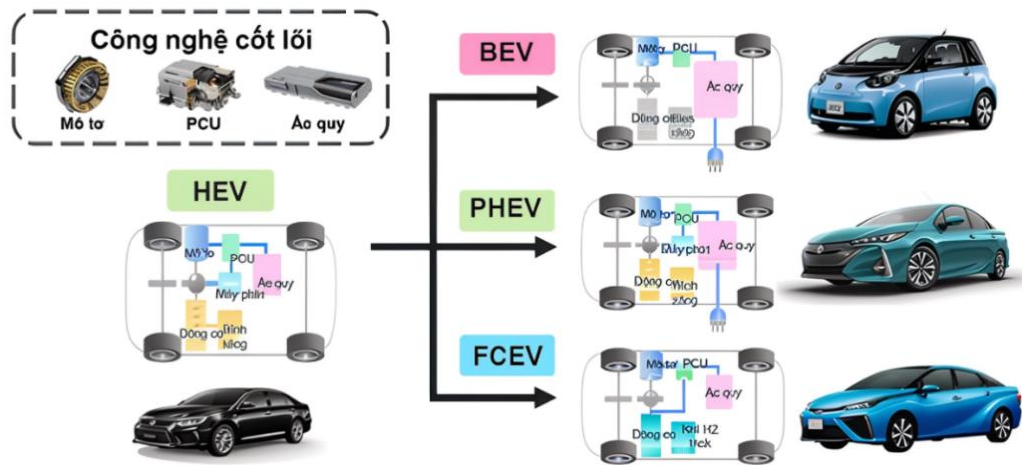
COP 28 diễn ra tại Dubai - Các Tiểu vương quốc Ả Rập Thống (2023), đánh dấu một bước ngoặt quan trọng trong nỗ lực toàn cầu giảm phát thải GHG và hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng không vào năm 2050. Trong khuôn khổ COP 28, các quốc gia

đã nhất trí đẩy mạnh giảm phát thải từ giao thông đường bộ thông qua phát triển cơ sở hạ tầng GTCC và triển khai nhanh chóng các phương tiện không phát thải hoặc phát thải thấp. Phản ánh cam kết toàn cầu đối với việc chuyển đổi sang giao thông bền vững và giảm thiểu tác động của ngành giao thông đối với biến đổi khí hậu [6]. Việt Nam đã khẳng định cam kết mạnh mẽ đối với chuyển đổi xanh và giảm phát thải trong lĩnh vực giao thông vận tải thông qua một loạt sáng kiến chiến lược. Việt Nam cùng các đối tác trong khuôn khổ JETP (Just Energy Transition Partnership) cam kết huy động 15,5 tỷ USD trong vòng 3–5 năm tới để thúc đẩy phát triển hạ tầng sạch và phương tiện giao thông không phát thải [7].

Hội nghị COP 29, diễn ra tại Baku, Azerbaijan (2024), được coi là “COP tài chính” với mục tiêu thiết lập quỹ hỗ trợ 300 tỷ USD mỗi năm đến năm 2035 cho các nước đang phát triển nhằm giảm phát thải khí nhà kính và ứng phó biến đổi khí hậu [8]. Vấn đề giao thông vận tải, đặc biệt là giao thông đường bộ, được nhấn mạnh như một lĩnh vực quan trọng trong chuyển đổi năng lượng. Việt Nam tái khẳng định cam kết đạt phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050, với trọng tâm là chuyển đổi sang phương tiện sử dụng năng lượng xanh, đặc biệt là xe điện. Quyết định 876/QĐ-TTg năm 2022 đặt mục tiêu đến năm 2050, 100 % phương tiện đường bộ sử dụng điện hoặc năng lượng xanh, giảm 32,6 % phát thải từ ngành năng lượng, bao gồm giao thông (COP 26). COP 29 nhấn mạnh vai trò của các chính sách tích hợp đa phương thức, thúc đẩy điện khí hóa GTCC và cơ sở hạ tầng sạch [9].

1.2. Xu hướng phát triển xe sạch, xanh và giao thông công cộng ở Thành phố Hồ Chí Minh.

Xe sử dụng động cơ đốt trong (ICE) là một phần nguyên nhân gây ra sự nóng lên toàn cầu. Trong cuộc đua cắt giảm khí thải, giảm tiêu hao nhiên liệu, ngày nay các nhà thiết kế, sản xuất từng bước sử dụng nguồn năng lượng mới thay thế nguồn năng lượng dầu mỏ sắp cạn kiệt. Dưới áp lực của luật bảo vệ môi trường, ô tô sạch không phát thải (ZEV) là mục tiêu hướng tới của các nhà nghiên cứu. Các cấp độ ô tô xanh được phân loại theo mức độ phát thải khí nhà kính (CO_2) ra môi trường, trên thị trường hiện nay có bốn loại chính (hình 1.2 tác giả tham khảo tài liệu số [10]) bao gồm, Hybrid (HEV - xăng lai điện), Plug-in Hybrid (PHEV – xe hybrid có cắm sạc), BEV (xe thuần điện chạy pin) và FCEV (xe điện sử dụng pin nhiên liệu hydro).

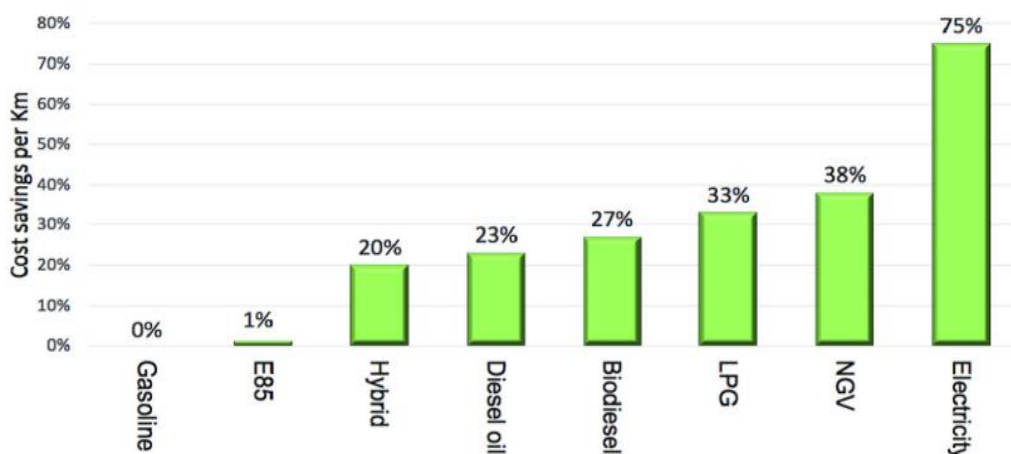


Hình 1.2 : Các giải pháp xe xanh (Green Car)

Những ưu điểm mà xe “xe sạch, xe xanh” mang lại gồm:

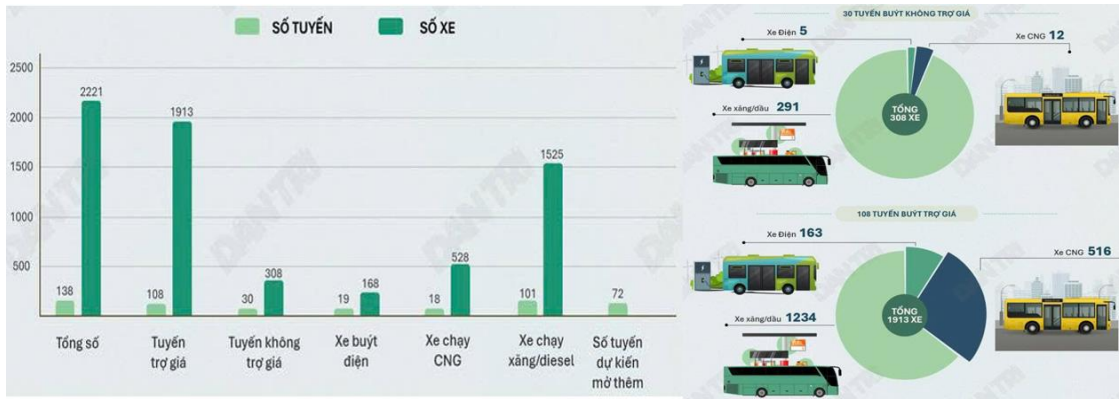
- Không phát thải: Xe điện không phát thải ra chất ô nhiễm như CO₂ hay NO₂. Quy trình sản xuất cũng có xu hướng thân thiện với môi trường, mặc dù vấn đề sản xuất pin có tác động tiêu cực đến lượng khí thải carbon.
- Đơn giản: Số lượng tổng thành các chi tiết trên xe điện ít, bảo trì ít và rẻ hơn. Động cơ điện đơn giản và nhỏ gọn hơn động cơ truyền thống, không cần làm mát, không cần ly hợp, hộp số hoặc các bộ phận giảm tiếng ồn của động cơ.
- Độ tin cậy: Do ít chi tiết nên giảm được khả năng hư hỏng và giảm được sự hao mòn của các chi tiết liên quan đến sự va chạm, rung động hoặc ăn mòn hóa học.
- Chi phí: Chi phí điện năng và chi phí về bảo dưỡng xe điện thấp hơn nhiều so với chi phí bảo dưỡng và nhiên liệu của xe động cơ đốt trong truyền thống (hình 1.3).
- Thoải mái: Việc di chuyển bằng xe điện thoải mái hơn do không có sự rung động và tiếng ồn từ động cơ.
- Khả năng tiếp cận: Xe điện cho phép di chuyển tại các khu vực đô thị, nơi các phương tiện truyền thống bị hạn chế do các quy định nghiêm ngặt về khí thải, mang lại sự linh hoạt và thuận tiện hơn cho việc đi lại trong thành phố.
- Hiệu quả: Xét hiệu suất tổng thể (Well to Wheel – WTW) phụ thuộc vào hiệu suất của toàn hệ thống điện cung cấp. WTW của xe xăng từ 11 % - 27 %, xe diesel từ 25 đến 37 %. Xe điện được cung cấp từ nhà máy điện khí tự nhiên thì WTW nằm trong khoảng từ 13 – 31 %, còn khi xe điện được cung cấp từ nguồn năng lượng tái tạo thì hiệu suất tổng thể của xe lên tới 70 %. Phần năng lượng còn lại của xe được chuyển hóa thành nhiệt phát ra môi trường, góp phần vào sự nóng lên toàn cầu. Việc áp dụng phân

tích “Well-to-Wheel” (bao gồm cả giai đoạn Well-to-Tank và Tank-to-Wheel) cho thấy xe buýt điện có thể giảm 50 – 60 % tổng phát thải khí nhà kính trong toàn chuỗi năng lượng so với xe động cơ đốt trong truyền thống. Mặc dù còn đối mặt với thách thức về đầu tư hạ tầng sạc và quản lý tuổi thọ pin, nhưng xe điện được hỗ trợ bởi cơ chế trợ giá và ưu đãi thuế nhập khẩu linh kiện, dự báo xe buýt điện sẽ tiệm cận hoặc đạt điểm hòa vốn so với xe diesel trong vòng 5 – 7 năm tới.



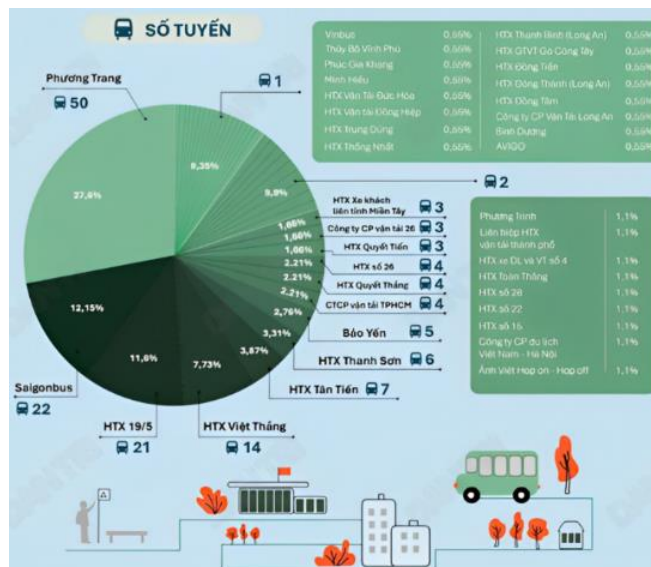
Hình 1.3: So sánh mức tiết kiệm chi phí mỗi km của xe chạy bằng Xăng, Ethanol (E85), Hybrid, Diesel, BioDiesel, Khí hóa lỏng (LPG), Khí tự nhiên (CNG), và Điện.

GTCC đóng vai trò rất quan trọng trong chức năng của không gian đô thị. Đặc biệt, GTCC đại diện cho xương sống của sự di chuyển đô thị bền vững. Tại Tp.HCM, đã mở rộng tỷ lệ xe buýt điện và xe buýt chạy khí CNG để giảm phát thải khí nhà kính và ô nhiễm không khí. Các dự án thí điểm khai thác xe buýt điện tại Tp.HCM đã chứng minh hiệu quả rõ rệt về giảm phát thải và độ tin cậy vận hành. Về quy mô mạng lưới xe buýt tại Tp.HCM, số liệu thống kê theo (hình 1.4) tính đến thời điểm khảo sát, toàn thành phố vận hành 138 tuyến với tổng cộng 2.221 xe. Trong đó, 108 tuyến trợ giá - đang khai thác 1.913 xe, chiếm gần 86 % tổng số phương tiện hiện có. Trong khi 30 tuyến không trợ giá - sử dụng 308 xe (khoảng 14 %). Có 19 tuyến xe buýt điện với 168 xe (chiếm khoảng 7,6 % tổng số xe), 18 tuyến CNG triển khai 528 xe (chiếm 23,8 %) và 101 tuyến xăng/diesel – chiếm ưu thế với 1.525 xe (khoảng 68,6 %). Ngoài ra, theo kế hoạch thành phố dự kiến mở thêm 72 tuyến tạo sự đa dạng hóa phương tiện và tiếp nhận xe xanh trong tương lai, tạo tiền đề cho phát triển phương tiện giao thông công cộng bền vững. Nguồn: Dân trí (2023).



Hình 1.4: Quy mô xe buýt tại Tp.HCM

Theo dữ liệu (hình 1.5) cơ cấu phân bổ các tuyến buýt tại Tp.HCM tập trung ở một số ít doanh nghiệp. Cụ thể, Phương Trang dẫn đầu với 50 tuyến, chiếm 27,6 % tổng số tuyến, tiếp theo là Saigonbus với 22 tuyến (12,15 %) và HTX 19/5 với 21 tuyến (11,6 %). Nhóm quy mô trung bình gồm HTX Việt Thắng (14 tuyến, 7,73 %) và HTX Tân Tiến (7 tuyến, 3,31 %) đóng góp tổng cộng 11,04 % mạng lưới. Các đơn vị nhỏ hơn như HTX Thanh Sơn (6 tuyến, 2,76 %) và Bảo Yến (5 tuyến, 2,21 %) cùng ba doanh nghiệp mỗi đơn vị 4 tuyến (CTCP Vận tải Tp.HCM, HTX Quyết Thắng, HTX số 26; đều 2,21 %/đơn vị) tiếp tục bổ sung thêm 13,6 % thị phần. Phần còn lại gồm 19 đơn vị vận tải với từ 3 đến 1 tuyến, chiếm tổng cộng 16,5 %, trong đó các hợp tác xã 3 tuyến chiếm 1,66 % mỗi đơn vị, 2 tuyến chiếm 1,1 % và 1 tuyến chiếm 0,55 %. *Nguồn: Dân trí (2023).*



Hình 1.5: Thị phần xe buýt Tp.HCM (tính theo số tuyến)

1.3. Tổng quan về lĩnh vực nghiên cứu trước có liên quan.

1.3.1. Nghiên cứu ngoài nước

Trong những năm gần đây, xe buýt điện cỡ nhỏ đã thu hút sự quan tâm đáng kể từ cộng đồng khoa học quốc tế. Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả vận hành, khả năng tiết kiệm năng lượng, cũng như tác động môi trường của loại phương tiện này trong bối cảnh đô thị hóa và phát triển GTCC. Các công trình này không chỉ cung cấp cơ sở lý luận vững chắc mà còn đóng vai trò định hướng cho việc triển khai và tối ưu hóa hệ thống xe buýt điện cỡ nhỏ ở nhiều quốc gia. Một số bài nghiên cứu điển hình trên thế giới được tác giả tham khảo và liệt kê sau đây:

- “Future Powertrain for Zero Emission Commercial Vehicles”. Takashi Sasaki, Hino Motors Ltd. SAE International by University of Minnesota (2018). Nghiên cứu này tập trung vào phát triển công nghệ hệ thống truyền động tương lai cho các phương tiện thương mại không phát thải, đặc biệt là xe buýt và xe tải. Bài viết mô tả những nỗ lực của Hino Motors, Ltd. trong việc phát triển xe hybrid từ năm 1991, sau đó mở rộng sang xe điện (EV), xe hybrid cắm điện (PHV) và xe pin nhiên liệu (FCV). Nghiên cứu của tác giả nhấn mạnh tầm quan trọng của việc giảm lượng khí thải CO₂ từ lĩnh vực giao thông vận tải và giới thiệu các giải pháp công nghệ để đạt được mục tiêu này. Bên cạnh đó, bài viết còn đưa ra thảo luận về những thách thức còn tồn tại trong việc thương mại hóa và phổ biến các phương tiện không phát thải, bao gồm các vấn đề về chi phí, cơ sở hạ tầng và sự hợp tác giữa các nhà sản xuất và chính phủ [11].

- “Critical evaluation of the battery electric vehicle for sustainable mobility”. Ross Milligan. School of Engineering and the Built Environment – Edinburgh Napier University (2016). Bài viết này đánh giá toàn diện về khả năng di chuyển bền vững của xe điện chạy bằng pin (BEV), tập trung vào hiệu suất thực tế, tác động kinh tế và môi trường của chúng. Tác giả đã trình bày chi tiết về công nghệ pin, bao gồm các phát triển hiện tại và tương lai, đồng thời phân tích cơ sở hạ tầng sạc, các chế độ sạc và tác động của chúng lên lưới điện. Nghiên cứu cũng kiểm tra chu kỳ lái xe và mức độ ô nhiễm liên quan đến BEV so với xe động cơ đốt trong (ICE), đặc biệt tại Scotland và Anh, đồng thời thảo luận về các chính sách của chính phủ và hành vi của người dùng ảnh hưởng đến việc áp dụng BEV. Ngoài ra, tác giả còn giới thiệu một hệ thống quản lý đội xe được sử dụng tại Cao đẳng Edinburgh để theo dõi và tối ưu hóa việc sử dụng BEV [12].

- “Design of Energy and Powertrain Systems for Electric Bused Based on Driving Cycles and Multiple Criteria” by Tiande Mo. Swinburne University of Technology, Australia (2022). Đây là một luận án tiến sĩ của Tiande Mo từ Đại học Công nghệ Swinburne (Úc), tập trung vào thiết kế, tối ưu hóa hệ thống năng lượng và hệ thống truyền động cho xe buýt điện (EBus). Luận án nghiên cứu các cấu hình động cơ đơn và động cơ kép, sử dụng mô phỏng Matlab/Simulink và dữ liệu thử nghiệm thực tế từ các tuyến xe buýt ở Hồng Kông để đánh giá hiệu suất. Nghiên cứu xác định rằng cấu hình động cơ kép tiết kiệm năng lượng hơn và nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét độ dốc địa hình trong chu trình lái xe tùy chỉnh để phản ánh chính xác các điều kiện vận hành trong thực tế. Ngoài ra, tài liệu còn bao gồm các phần về bối cảnh nghiên cứu, tổng quan tài liệu về tối ưu hóa hệ thống truyền động và năng lượng EV, chi tiết thiết kế EBus, cùng với kết quả thử nghiệm nguyên mẫu và so sánh dữ liệu [13].
- Tại Thổ Nhĩ Kỳ, Ahmet Apak và các cộng sự đã viết một nghiên cứu về xe minibus điện “Design and construction of an electric minibus” (2011). Bài báo trình bày nghiên cứu về thiết kế và thi công của một chiếc minibus điện sử dụng đưa đón trong khuôn viên trường đại học Istanbul. Xe minibus điện được cung cấp bởi động cơ điện và không sử dụng hộp số. Các tiêu chí được tác giả trình bày trong việc lựa chọn động cơ điện, pin và các bộ phận điện tử tương ứng. Các thông số thiết kế quan trọng, bộ điều khiển của xe và mạng giao tiếp cũng được nghiên cứu trong bài báo này. Các nghiên cứu mô phỏng được thực hiện để đánh giá mức tiêu thụ năng lượng và hiệu suất của các thành phần chọn. Cuối cùng là việc chế tạo thử nghiệm nguyên mẫu minibus [14].
- Tại hội nghị triển lãm quốc tế lần thứ 11 về kỹ thuật điện và năng lượng (EPE 2020) được tổ chức ở Romania. Tác giả Calin Husar và các cộng sự đã công bố bài báo “Model based design of an Urban Electric Minibus”, thiết kế dựa trên mô hình của một xe buýt điện cỡ nhỏ cho đô thị, nhằm giảm thiểu khí thải và cải thiện chất lượng không khí ở các thành phố. Các tác giả đã phát triển một mô hình mô phỏng hoạt động của xe buýt trong điều kiện giao thông đô thị, tập trung vào cân bằng năng lượng và hiệu suất tổng thể. Họ phân tích các hệ thống con quan trọng như hệ thống truyền động, mạng lưới điện và tổn thất nhiệt, cung cấp các phương trình và thông số để lựa chọn các bộ phận như pin và động cơ. Tác giả trình bày kết quả mô phỏng về tốc độ, hiệu suất, trạng

thải sạc pin và nhiệt độ linh kiện, minh họa tính khả thi của phương pháp thiết kế này để tối ưu hóa xe buýt điện [15].

1.3.2. Nghiên cứu trong nước

Trước áp lực từ vấn đề ô nhiễm không khí, biến đổi khí hậu, yêu cầu phát triển đô thị bền vững. Việt Nam đã và đang bắt đầu quan tâm, triển khai các kế hoạch, quyết định quan trọng về chống biến đổi khí hậu như “*Quyết định số 496/QĐ-TTg*”; Thông báo “*số 372/TB-VPCP*”, ngày 10 tháng 08 năm 2024 của Phó Thủ tướng Chính phủ Trần Hồng Hà tại cuộc họp về chính sách phát triển phương tiện giao thông xanh. Cùng với đó là những nghiên cứu, ứng dụng của nhiều tác giả về phương tiện giao thông vận tải thân thiện với môi trường. Đề cập đến các nghiên cứu tương tự trong nước, tuy rằng chưa có những nghiên cứu cụ thể về đề tài này một cách rõ ràng ở trong nước, nhưng tính đến thời điểm hiện tại cũng có rất nhiều những bài báo, hội thảo đề cập đến vấn đề này, điển hình như các bài báo được tác giả liệt kê sau đây:

- Tổ chức Hợp tác Phát triển Đức GIZ (2024). Báo cáo tóm tắt xây dựng kế hoạch hành động giao thông vận tải bằng phương tiện giao thông điện trên địa bàn Tp.HCM. Báo cáo này nhấn mạnh sự cần thiết phải phát triển giao thông vận tải điện tại Tp.HCM nhằm đạt mục tiêu giảm 10 % phát thải carbon vào năm 2030 và hướng tới nền kinh tế carbon thấp. Thành phố đang được quy hoạch để trở thành một đô thị xanh, thông minh. Để thực hiện điều này, báo cáo đưa ra ba kịch bản phát triển cho phương tiện giao thông điện (PTGTĐ) với các mục tiêu tăng trưởng khác nhau, dự kiến số lượng PTGTĐ sẽ tăng mạnh từ 2025 đến 2050, bao gồm xe máy, ô tô và xe buýt điện. Hệ thống sạc điện cũng cần được mở rộng, với dự kiến 6500 trạm vào năm 2050. Các chính sách về kiểm soát khí thải và khuyến khích sử dụng năng lượng sạch là rất quan trọng để thúc đẩy quá trình chuyển đổi này [16].
- Phạm Xuân Mai, Phạm Văn Hà và các cộng sự. Design Method of Electric Vehicle Power System – Phương pháp thiết kế hệ động lực xe điện. Bài viết được đăng tại Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng, 2022. Tác giả cung cấp một cái nhìn tổng quan toàn diện về phương pháp thiết kế hệ thống động lực xe điện, tập trung vào xe điện chạy bằng pin (BEV). Bài viết thảo luận chi tiết về thiết kế tổng thể của xe điện, bao gồm việc bố trí các thành phần chính như pin và động cơ, đồng thời giới thiệu các cấu hình truyền động điện đa dạng. Ngoài ra, bài báo còn đi sâu vào thiết kế các hệ

thống năng lượng, cụ thể là hệ thống pin lithium-ion và động cơ điện, nêu bật những thách thức và tiến bộ trong việc tối ưu hóa hiệu suất và an toàn. Bài báo cũng đề cập đến thiết kế hệ thống làm mát và tầm quan trọng của nó trong việc duy trì nhiệt độ tối ưu cho các bộ phận chính, nhấn mạnh vai trò của công nghệ và mô phỏng trong quá trình phát triển xe điện

1.4. Một số loại xe buýt cỡ nhỏ đang sử dụng ở khu vực ASEAN và Thành phố Hồ Chí Minh.

1.4.1. Xe buýt cỡ nhỏ sử dụng ở các nước trong khu vực ASEAN

Xe buýt cỡ nhỏ, thường được định nghĩa là những phương tiện có sức chứa dưới 30 hành khách, đóng vai trò quan trọng trong hệ thống GTVT của các quốc gia ASEAN. Những xe buýt này đặc biệt cần thiết để giải quyết các thách thức về di chuyển trong khu vực, chẳng hạn như ở các trung tâm đô thị đông đúc, nơi các con đường hẹp và tình trạng tắc nghẽn giao thông. Bên cạnh đó, xe buýt cỡ nhỏ còn là phương tiện kết nối thiết yếu giữa các cộng đồng nông thôn hẻo lánh với các thành phố lớn, tạo điều kiện tiếp cận các dịch vụ cơ bản và cơ hội kinh tế. Khả năng cơ động của chúng cho phép di chuyển qua các không gian chật hẹp và tiếp cận những khu vực mà xe buýt lớn không thể đến, khiến chúng trở thành một thành phần không thể thiếu trong hạ tầng GTCC của khu vực. Điểm mạnh về mức tiêu thụ nhiên liệu thấp hơn so với các loại xe buýt lớn giúp xe buýt cỡ nhỏ góp phần vào tính bền vững môi trường và giảm chi phí vận hành. Một số quốc gia trong khu vực Đông Nam Á cũng sử dụng phương tiện tương tự xe buýt cỡ nhỏ như:

Philippines: Xe Jeepney là phương tiện paratransit đặc trưng, mặc dù gặp nhiều khó khăn do thiếu quy định và sự cạnh tranh từ các ứng dụng gọi xe như Grab. Đây là phương tiện tiện ích nhất trong hệ thống GTCC quy mô nhỏ tại Philippines, đặc biệt phổ biến ở thủ đô Manila. Xe Jeepney là loại xe khách cải tiến từ xe quân sự cũ, có thiết kế mở với hai dãy ghế dài đối diện nhau, thường thì từ 8 – 12 hành khách hoặc hơn tùy từng nhà xe. Jeepney chủ yếu phục vụ các tuyến đường ngắn trong thành phố với tốc độ tối đa khoảng 50 km/h, có khả năng hoạt động trên các con đường đông đúc. Loại xe này chiếm khoảng 40 % thị phần GTCC tại Philippines và đóng vai trò trung chuyển hành khách từ khu dân cư đến các tuyến xe buýt lớn hoặc hệ thống đường sắt đô thị LRT, MRT. Jeepney có lộ trình xác định rõ ràng nhưng do không có trạm dừng cụ thể nên hành khách có thể lên xuống bất kỳ chỗ nào họ muốn.



Hình 1.6: Xe Jeepney cũ ở Philippines.

Năm 2017, Bộ Giao thông Vận tải (DOTr) Philippines triển khai chương trình Hiện đại hóa Giao thông Công cộng và thường được gọi là Chương trình Hiện đại hóa Xe công ích (PUVMP). Mục tiêu cốt lõi của chương trình này là nâng cao hiệu quả và phát triển môi trường bền vững của hệ thống GTCC quốc gia vào năm 2020. Để hiện thực hóa mục tiêu đó, PUVMP đặt ra yêu cầu loại bỏ và thay thế các phương tiện GTCC (PUV) đã hoạt động từ 15 năm trở lên, bao gồm jeepney và xe buýt, bằng các giải pháp thay thế hiện đại hơn, đảm bảo an toàn, tiện nghi và thân thiện với môi trường. Hình 1.7 là ví dụ điển hình nguyên mẫu xe Jeepney hiện đại hạng II của Isuzu do Almazora Motors thiết kế được tác giả tham khảo trên trang web jamesdeakin.ph/blog/2018. Cụ thể, các phương tiện thay thế bắt buộc phải trang bị động cơ đạt chuẩn Euro 4 hoặc động cơ điện nhằm giảm thiểu ô nhiễm. DOTr kỳ vọng rằng những lợi ích về môi trường và kinh tế từ chương trình sẽ tác động tích cực đến hành khách, nhà điều hành và tài xế, thông qua việc giảm ùn tắc giao thông và ô nhiễm, cải thiện thu nhập hàng tháng và phúc lợi cho tài xế, cũng như tối ưu hóa mạng lưới dịch vụ.



Hình 1.7: Mẫu xe Jeepney hiện đại hạng II của Isuzu

Thái Lan: Tại thủ đô Bangkok, nổi bật là xe tuk-tuk loại phương tiện giao thông điển hình cho xe buýt cỡ nhỏ. Tuk-tuk với thiết kế ba bánh đơn giản, có khả năng chở từ 4 đến 5 hành khách, chủ yếu phục vụ cho các lộ trình di chuyển ngắn trong khu vực đô thị. Với thiết kế nhỏ gọn, tốc độ tối đa khoảng 40 km/h, loại xe này có ưu điểm di chuyển linh hoạt, dễ dàng len lỏi qua những cung đường nhỏ hẹp. Mặc dù tuk-tuk thường được sử dụng nhiều bởi khách du lịch, nhưng nó cũng đóng vai trò quan trọng trong hệ thống GTCC, chiếm khoảng 5 % thị phần giao thông của thành phố. Tuk-tuk hoạt động trên các lộ trình cố định nhưng không có điểm dừng nhất định, cho phép hành khách lên xuống tại bất kỳ vị trí nào, góp phần làm phong phú thêm trải nghiệm di chuyển tại các khu vực đông dân cư. Ngoài ra, tuk-tuk cũng hoạt động như một phương tiện trung chuyển, kết nối các điểm nội khu với hệ thống xe buýt lớn và tàu điện trên cao (SkyTrain), tạo sự thuận tiện cho việc di chuyển của người dân trong thành phố [17].



Hình 1.8: Xe tuk-tuk của Thái Lan.

1.4.2. Một số loại xe buýt cỡ nhỏ đang sử dụng ở Thành phố Hồ Chí Minh

Trong những năm gần đây, việc ứng dụng xe buýt cỡ nhỏ tại Tp.HCM đã được triển khai một cách linh hoạt, đa dạng, đáp ứng nhiều mục đích vận tải khác nhau trong hệ thống giao thông đô thị và liên kết vùng. Cụ thể, loại hình phương tiện này được sử dụng trên các tuyến xe buýt liên tỉnh như tuyến 603, 605 và 607, kết nối Tp.HCM với các địa bàn lân cận, đặc biệt là thành phố Biên Hòa và khu công nghiệp Nhơn Trạch (tỉnh Đồng Nai). Đây là những tuyến có cự ly trung bình, sử dụng loại xe minibus 24 chỗ, thường là dòng GAZ hoặc các xe cải tiến trên nền khung xe tải nhẹ, với chiều dài

tổng thể khoảng 6.5–7.2 mét, động cơ diesel dung tích 2.8–3.0 L, tiêu chuẩn khí thải Euro 4 trở lên, vận tốc thiết kế tối đa ~100 km/h và khả năng vận hành linh hoạt trên các tuyến đường có mặt cắt nhỏ. Ngoài ra, xe buýt cỡ nhỏ còn được khai thác trong lĩnh vực vận chuyển hợp đồng, phục vụ đưa đón học sinh từ bậc mẫu giáo đến trung học phổ thông và công nhân viên tại các doanh nghiệp. Hình thức vận tải này không thuộc diện trợ giá ngân sách nhà nước, mà dựa trên các hợp đồng vận tải ký kết giữa nhà trường, doanh nghiệp và các đơn vị vận hành phương tiện. Các dòng xe được sử dụng phổ biến trong mô hình này bao gồm:

- Ford Transit 16 chỗ: sử dụng động cơ diesel dung tích 2.2 L TDCi, công suất 138 mã lực, hộp số sàn 6 cấp, tiêu chuẩn khí thải Euro 4 hoặc Euro 5, kích thước tổng thể 5.8x2.0x2.4 (mét), khả năng vận hành bền bỉ và dễ bảo trì.
- Hyundai Solati 16 chỗ: động cơ diesel 2.5 L CRDi, công suất 170 mã lực, hộp số 6 cấp, tiêu chuẩn khí thải Euro 4-5, chiều dài tổng thể 6.2 m, nội thất rộng rãi, phù hợp với nhu cầu đưa đón cao cấp hơn.

Một hình thức khai thác quan trọng khác là sử dụng xe buýt cỡ nhỏ để trung chuyển hành khách từ các đầu mối giao thông trọng yếu như bến xe khách liên tỉnh, sân bay quốc tế Tân Sơn Nhất... đến các địa điểm khác nhau trong khu vực trung tâm đô thị, khu dân cư, khách sạn hoặc trung tâm thương mại lớn. Đây là hoạt động vận tải mang tính hỗ trợ, đóng vai trò kết nối “cuối cùng” trong chuỗi hành trình của hành khách. Các phương tiện sử dụng cho mục đích này gồm:

- Kim Long X9 (16 chỗ): chiều dài tổng thể 6.4 m, động cơ diesel ISF2.8s (Cummins) công suất khoảng 130–150 mã lực, tiêu chuẩn khí thải Euro 4, hệ thống treo sau dạng nhíp lá, phù hợp với hoạt động vận tải ngắn và trung bình.
- GAZ 19/21/24 chỗ: dòng xe minibus nhập khẩu hoặc lắp ráp, thường sử dụng động cơ diesel dung tích từ 2.8 L đến 3.2 L, công suất 110–150 mã lực, chiều dài tổng thể từ 6.0 m đến 7.3 m, bán kính quay vòng nhỏ, phù hợp vận hành ở đô thị đông đúc. Các xe này được cấp phù hiệu “Trung chuyển” theo quy định của Sở Giao thông Vận tải TP.HCM, đảm bảo điều kiện pháp lý và nhận diện phương tiện trong hoạt động vận tải hành khách (hình 1.9). Nguồn: Báo pháp luật Tp.HCM, plo.vn (2024).



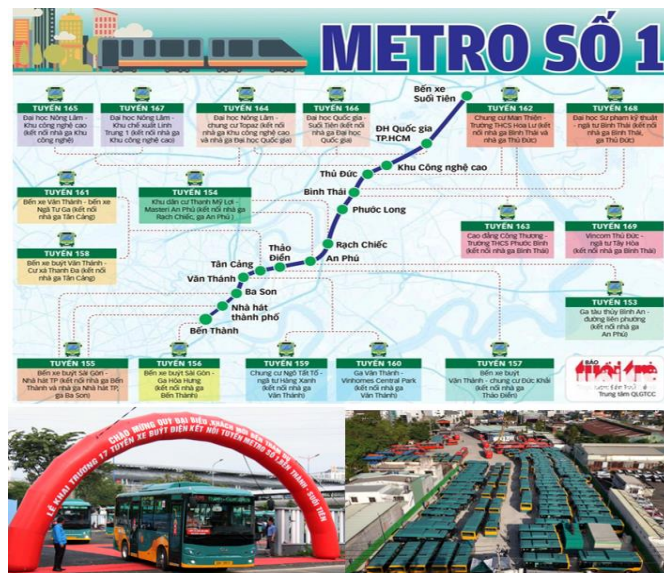
Hình 1.9: Xe mini buýt liên tỉnh (trái) và xe mini buýt trung chuyển X9

Việc triển khai xe buýt cỡ nhỏ trong các hoạt động nêu trên không chỉ góp phần đa dạng hóa loại hình vận tải hành khách công cộng mà còn giúp mở rộng phạm vi phục vụ của hệ thống vận tải, đặc biệt tại các khu vực có mật độ dân cư trung bình – thấp hoặc có điều kiện hạ tầng hạn chế đối với xe buýt lớn. Đồng thời, mô hình này cũng cho thấy tiềm năng cao trong việc phát triển xe buýt điện cỡ nhỏ trong tương lai, nhằm hướng đến mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính và nâng cao hiệu quả vận hành giao thông đô thị bền vững. Bắt đầu từ quý I năm 2024, Sở Giao thông Vận tải Tp.HCM đã triển khai chương trình thí điểm sử dụng xe điện bốn bánh phục vụ vận chuyển hành khách tham quan tại một số khu vực trung tâm, nơi có không gian lưu thông hạn chế. Chương trình này do Công ty TNHH Saigon Public Transport vận hành, với đội xe bao gồm các phương tiện có sức chứa từ 5 đến 14 chỗ ngồi, vận hành với vận tốc tối đa 30 km/h. Tuy nhiên, xét về khía cạnh kỹ thuật và chức năng vận hành, loại phương tiện này chưa đáp ứng được đầy đủ các tiêu chuẩn kỹ thuật theo quy định dành cho xe buýt cỡ nhỏ hoạt động trong đô thị, bao gồm tiêu chuẩn về kết cấu khung xe, hệ thống an toàn, khả năng tiếp cận của hành khách và sự đồng bộ với hạ tầng giao thông hiện hữu. Đặc biệt, với thiết kế đơn giản và không có phân làn riêng biệt, xe điện 4 bánh khi tham gia lưu thông trên các tuyến đường công cộng dễ dẫn đến xung đột giao thông với các phương tiện khác trong các khung giờ cao điểm. Sự khác biệt về vận tốc hoạt động và khả năng tăng giảm tốc độ có thể trở thành yếu tố tiềm ẩn nguy cơ gây tai nạn giao thông, ảnh hưởng đến tính an toàn và hiệu quả của hệ thống vận tải đô thị tổng thể (hình 1.10 được tác giả chụp thực tế tại Tp.HCM, 2024).



Hình 1.10: Xe điện 4 bánh di chuyển ở Tp.HCM, 2025.

Hệ thống GTCC TP. HCM đã chứng kiến bước chuyển mình quan trọng khi Sở Giao thông Vận tải TP. HCM phối hợp với Công ty CP Xe khách Phương Trang (FUTA Bus Lines) chính thức khai trương 17 tuyến xe buýt thuần điện do Kim Long Motor sản xuất, đạt chuẩn quốc tế, có sức chứa linh hoạt từ 30 đến 60 chỗ ngồi (hình 1.11). Nguồn: buyttphcm.com.vn



Hình 1.11: Xe buýt điện Kim Long tại Tp. HCM và sơ đồ 17 tuyến kết nối Metro số 1

Các tuyến xe mang mã hiệu từ 153 đến 169, chính thức khai thác song song với tuyến Metro số 1 (Bến Thành–Suối Tiên). Với tổng cộng 150 xe buýt thuần điện, mỗi tuyến vận hành từ 5 giờ đến 22 giờ, tần suất trung bình 8–20 phút/chuyến, mạng lưới “gom” tuyến trực tiếp kết nối đến 14/14 nhà ga đã nâng tổng số tuyến buýt tiếp cận Metro số 1 lên 61 tuyến, góp phần mở rộng bán kính phục vụ hành khách và tăng khả năng liên kết giữa các khu vực đô thị và ngoại ô thành phố (hình 1.12). Xe buýt điện Kim Long B30, B60 là một trong những mẫu xe buýt điện hiện đại được triển khai tại

Tp.HCM, hướng đến mục tiêu xanh hóa GTCC và giảm thiểu phát thải carbon. Mẫu xe này không chỉ đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật quốc tế mà còn phù hợp với điều kiện giao thông đô thị tại Việt Nam. Nguồn: Báo giao thông (2024)



Hình 1.12: Tuyến đường của xe buýt điện B30 tại quận 10 và quận 3.

Tính đến thời điểm sau sáp nhập, Tp.HCM hiện có 21 tuyến xe buýt điện với 170 xe, chiếm 7,3 % đoàn phương tiện (hình 1.13 tham khảo trên trang VTV.vn). Tiếp đà phát triển, Tp.HCM cho thấy sự quyết tâm hiện thực hóa tầm nhìn “Tp.HCM – đô thị đáng sống, văn minh, hiện đại, nghĩa tình” hướng đến mục tiêu dài hạn đạt 100 % xe buýt năng lượng xanh vào năm 2030 theo Quyết định 876/QĐ-TTg ngày 22/07/2022 của Chính phủ. Từ ngày 01/08/2025, Sở Xây dựng Tp.HCM phối hợp Công ty Phương Trang tiếp tục đưa vào hoạt động thêm 443 xe buýt điện Kim Long B30-EV và Kim Long B60-EV trên 27 tuyến, nâng tổng số xe buýt điện toàn thành phố lên 613 xe, chiếm 26,2 % tổng đoàn phương tiện vận tải công cộng. Nếu tính thêm khoảng 500 xe buýt công cộng sử dụng khí CNG hiện hữu thì tỷ lệ phương tiện xanh, thân thiện với môi trường tại Tp.HCM sẽ đạt khoảng 48 %.



Hình 1.13: Xe buýt điện cho 27 tuyến mới

Bảng 1.1: Thông số kỹ thuật xe buýt điện Kim Long B30

Thành phần	Thông số	Đơn vị
Trọng lượng bản thân	5450	kg
Số người cho phép chở (ngồi/đứng)	16/13	Người
Kích thước bao (DxRxC)	6570x2130x3000	mm
Chiều dài cơ sở	3320	mm
Vết bánh xe	1732/1626	mm
Công thức bánh xe	4x2	
Công suất lớn nhất/Số vòng quay	160	kW/rpm
Cỡ lốp	215/75R17.5	
Phanh chính	Khí nén	

Nguồn: Cục đăng kiểm đường bộ Việt Nam (2025)

Với lợi thế về mặt kích thước, xe có thể di chuyển linh hoạt trên các tuyến đường nội thành đông đúc tại Tp.HCM. Nội thất được thiết kế rộng rãi, thoáng mát, mang lại sự thoải mái cho hành khách trong các chuyến đi. Xe Kim Long B30, B60 sử dụng động cơ điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu với công suất tối đa 160 kW, phạm vi hoạt động khoảng 100 – 120 km cho một lần sạc, vận hành êm ái, không gây tiếng ồn lớn, đặc biệt không tạo ra khí thải góp phần bảo vệ môi trường. Xe buýt điện Kim Long B30 được trang bị pin LiFePO₄ hiện đại, đảm bảo độ an toàn và tuổi thọ cao (hình 1.14 tác giả chụp, 2025). Hệ thống năng lượng của xe gồm 4 bộ pin được lắp nối tiếp nhằm cung cấp điện áp phù hợp cho động cơ. Các bộ pin này được bố trí hợp lý, một phần đặt dưới sàn xe để tối ưu không gian và hạ thấp trọng tâm, phần còn lại đặt phía sau xe giúp cân bằng kết cấu, mang lại hiệu quả vận hành ổn định và quãng đường di chuyển phù hợp cho nhu cầu khai thác.

**Hình 1.14: Bộ pin bố trí trên xe Kim Long B30**

Cùng với đó là tiêu chuẩn và khả năng đáp ứng ở điều kiện khắc nghiệt cao nên xe buýt điện B30 vẫn có thể ổn định di chuyển một thời gian trên những cung đường

ngập nước ở Tp.HCM (hình 1.15). Xe hỗ trợ sạc nhanh trong 2-3 giờ tại các trạm sạc chuyên dụng. Ngoài ra, xe cũng có thể sạc chậm để tăng tuổi thọ pin, đáp ứng linh hoạt nhu cầu vận hành.



Hình 1.15: Xe buýt điện Kim Long B30 di chuyển trên đường ngập nước ở Tp.HCM

1.5. Sự cần thiết của xe buýt điện cỡ nhỏ và phương thức hoạt động ở Thành phố Hồ Chí Minh

Như đã trình bày tại Phần 1 – Lý do chọn đề tài và các phần trong chương 1 việc gia tăng sử dụng phương tiện giao thông cá nhân tại các đô thị lớn, điển hình là Tp.HCM đã và đang tạo ra nhiều hệ lụy nghiêm trọng về giao thông và môi trường. Cụ thể, sự phụ thuộc vào xe máy và ô tô cá nhân là nguyên nhân trực tiếp dẫn đến tình trạng ùn tắc giao thông kéo dài, đặc biệt tại các giao lộ trọng điểm vào giờ cao điểm, đồng thời góp phần gia tăng nồng độ khí thải gây ô nhiễm không khí, đe dọa sức khỏe cộng đồng và chất lượng môi trường sống đô thị. Bên cạnh đó, một đặc điểm đáng chú ý trong cấu trúc hạ tầng đô thị tại Tp.HCM là sự phân bố dày đặc của các khu dân cư cũ, tập trung chủ yếu tại các quận như Tân Bình, Tân Phú, Bình Tân, Bình Thạnh, Phú Nhuận, Gò Vấp, quận 10 và nhiều quận huyện khác. Các khu vực này chiếm tới khoảng 85% tổng dân số thành phố, trong đó phần lớn hệ thống đường nội bộ có chiều rộng trung bình chỉ từ 3 đến 6 mét, không đáp ứng yêu cầu kỹ thuật để khai thác các loại hình phương tiện vận tải công cộng có kích thước lớn như xe buýt tiêu chuẩn. Điều này đặt ra thách thức lớn trong việc mở rộng và phát triển mạng lưới xe buýt truyền thống nhằm đảm bảo khả năng tiếp cận của người dân đến các trục GTCC. Trong bối cảnh đó, việc triển khai xe buýt điện cỡ nhỏ như dòng xe Kim Long B30 được xem là một bước đi tích cực nhằm tăng cường kết nối giữa các khu dân cư với các tuyến vận tải khối lượng lớn, điển hình

là tuyến Metro số 1. Xe buýt điện B30 có sức chứa tối đa 30 hành khách, thân thiện với môi trường nhờ sử dụng năng lượng điện không phát thải khí xả và được trang bị đầy đủ các tiện ích như điều hòa, sàn thấp, hệ thống giám sát hành trình. Tuy nhiên, với chiều dài thân xe là 6,570 mét, loại phương tiện này vẫn còn khó khăn khi lưu thông vào các tuyến đường có bề rộng hạn chế. Hơn nữa, trong điều kiện giao thông đông đúc như ở Tp.HCM, đặc biệt vào giờ cao điểm, xe buýt B30 vẫn gặp bất lợi trong việc duy trì tốc độ lưu thông ổn định và đảm bảo đúng giờ theo lịch trình vận hành.

Có thể thấy rằng, để giải quyết triệt để bài toán tiếp cận GTCC tại các khu vực có đường nhỏ, mật độ dân cư cao, việc nghiên cứu và phát triển một loại hình phương tiện GTCC kích thước nhỏ, cơ động, thân thiện môi trường và phù hợp với đặc điểm hạ tầng hiện hữu là điều cần thiết. Đây cũng chính là cơ sở khoa học và thực tiễn để triển khai nghiên cứu chuyên sâu về xe buýt điện cỡ nhỏ như một giải pháp hỗ trợ vận tải hành khách công cộng trong đô thị đặc thù như Tp.HCM. Với mong muốn phát triển và giúp người dân dễ dàng tiếp cận phương tiện GTCC, tác giả đặt ra đề án nghiên cứu sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ vào hệ thống GTCC là phù hợp với tình hình thực tế. Sức chứa của xe buýt điện cỡ nhỏ từ 8 đến 16 người, kích thước nhỏ gọn (thân hẹp – 2,05 mét và ngắn – 5,8 mét), bán kính quay đầu chỉ vào khoảng 6,9 mét giúp xe dễ dàng cơ động qua những cung đường hẹp trong nội thành, nơi mà xe buýt điện Kim Long B30 khó tiếp cận. Xe buýt điện cỡ nhỏ được bố trí vận hành phù hợp cho từng khu vực ở các quận huyện của thành phố có nhiệm vụ thu gom, trung chuyển hành khách từ các khu vực dân cư có hệ thống đường nhỏ hẹp (dưới 7 mét) kết nối với các tuyến xe buýt cỡ lớn hay tuyến xe buýt điện Kim Long B30 – B60. Bên cạnh đó, hệ thống xe buýt điện cỡ nhỏ phải trải đều khắp các quận huyện của Tp.HCM, sao cho ở bất kỳ vị trí nào, người dân cũng có thể tiếp cận hệ thống xe buýt điện cỡ nhỏ trong vòng bán kính dưới 200 mét.

Các tuyến xe buýt điện cỡ nhỏ linh hoạt chạy theo hình vòng tròn khép kín, theo chiều kim đồng hồ, sao cho khi tiệm cận ra các tuyến buýt hoặc MRT, loại xe này sẽ trả khách ở các trạm dừng của buýt hay MRT và chạy cặp lề chiều bên phải để tiếp tục, do vậy không xảy ra giao cắt hay xung đột với các dòng xe khác trên đường chính. Các xe buýt điện cỡ nhỏ sẽ hoạt động một đoạn ngắn trên các tuyến buýt chính để đón hoặc trả khách, sau đó tiếp tục di chuyển vào đường nhỏ trong khu vực dân cư nội bộ, không để

xe băng qua tuyến chính gây rối loạn giao thông. Mô hình này có thể phục vụ việc đi lại nội quận và có thể liên quận ở một số khu vực trong thành phố hướng đến khách hàng di chuyển thường xuyên như học sinh, người đi mua sắm... Bề rộng mặt đường tối thiểu là 3,5 m, có bãi/trạm đậu xe trong các quận. Các tuyến buýt điện cỡ nhỏ chạy thường xuyên, liên tục, lên xuống dễ dàng. Với kết cấu xe đơn giản, thân hẹp và phải tuân thủ các quy định về tiêu chuẩn phương tiện giao thông đường bộ. Tần suất phù hợp với tần suất của các tuyến xe buýt. Hành khách có thể lên xuống bất kì vị trí nào trên lộ trình theo nhu cầu của mình.

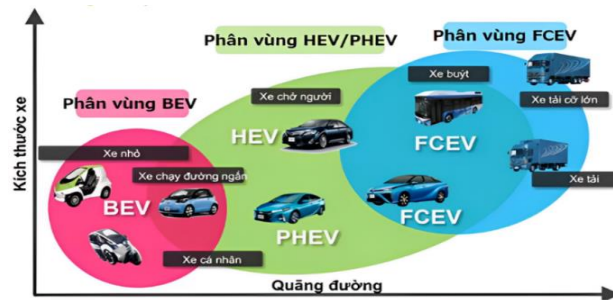
1.6. Kết luận.

Thành phố Hồ Chí Minh đang phải đối mặt với nhiều vấn đề liên quan đến giao thông và ô nhiễm môi trường. Nguyên nhân chính do cơ sở hạ tầng không đủ để đáp ứng nhu cầu đi lại, sự gia tăng nhanh chóng về số lượng phương tiện cá nhân, và mật độ dân số tập trung cao ở các khu vực đô thị trung tâm. Trong khi đó, hệ thống GTCC là cốt lõi để phát triển giao thông bền vững, đóng một vai trò quan trọng trong cung cấp khả năng di chuyển và tiếp cận các dịch vụ cho con người. Định hướng phát triển hệ thống GTCC Tp.HCM theo kế hoạch của Sở GTVT Tp.HCM, dự kiến năm 2025, tỷ lệ đáp ứng năm 2025 sẽ khoảng 15,20 % nhu cầu (xe buýt chiếm 7,23 %). Năm 2030, tỷ lệ đáp ứng khoảng 25,48 % nhu cầu (xe buýt chiếm 12,13 %). Do vậy, trong tương lai gần 2025 – 2035, phát triển hệ thống xe buýt, đặc biệt là xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp với hạ tầng cơ sở là vô cùng quan trọng và cần thiết

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

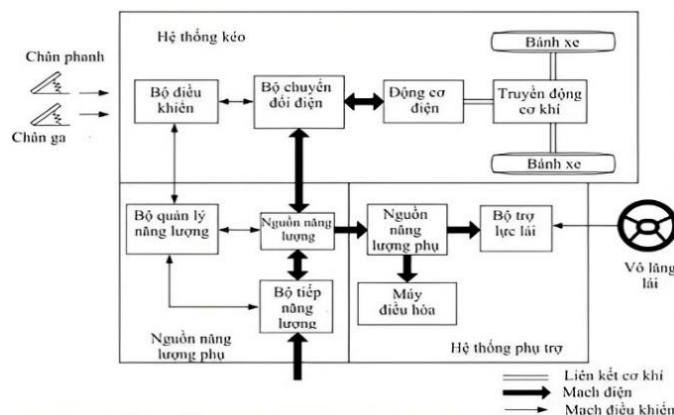
2.1. Tổng quan về ô tô điện

Xe thuần điện (BEV – Battery Electric Vehicle) đang là xu hướng của ngành công nghiệp ô tô thế giới và cả ở Việt Nam. Xe chỉ sử dụng khối pin phù hợp để cung cấp năng lượng cho động cơ điện. Với đặc điểm về gia tốc lớn tức thời của điện, xe điện không cần sử dụng hộp số nhiều cấp để chuyển đổi mô-men xoắn như xe truyền thống mà thay vào đó chỉ sử dụng hộp số 1 cấp. Xe thuần điện có ưu điểm không phát thải CO₂, các chi tiết tổng thành trên xe cũng khá đơn giản và dễ bảo dưỡng.



Hình 2.1: Phân loại các dòng xe điện hóa

Các bộ phận chính trên xe điện chủ yếu là: Hệ thống động lực điện (hệ thống tạo lực kéo, nguồn năng lượng cung cấp cho động cơ điện và các bộ phận phụ trợ); Hệ thống tạo lực kéo (bộ chuyển đổi điện tử công suất, bộ điều khiển và động cơ điện); Hệ thống cung cấp năng lượng (hệ thống pin, hệ thống quản lý năng lượng và các bộ phận nạp năng lượng). Ngoài ra, trên xe còn trang bị các bộ phận phụ trợ như bộ trợ lực tay lái, hệ thống phanh, hệ thống điều hòa không khí,... (hình 2.2)



Hình 2.2: Sơ đồ cấu hình tổng quát xe điện

Để điều chỉnh dòng điện cung cấp cho các động cơ điện, bộ chuyển đổi điện tử công suất (Inverter) nhận các tín hiệu điều khiển thích hợp được cung cấp bởi bộ điều

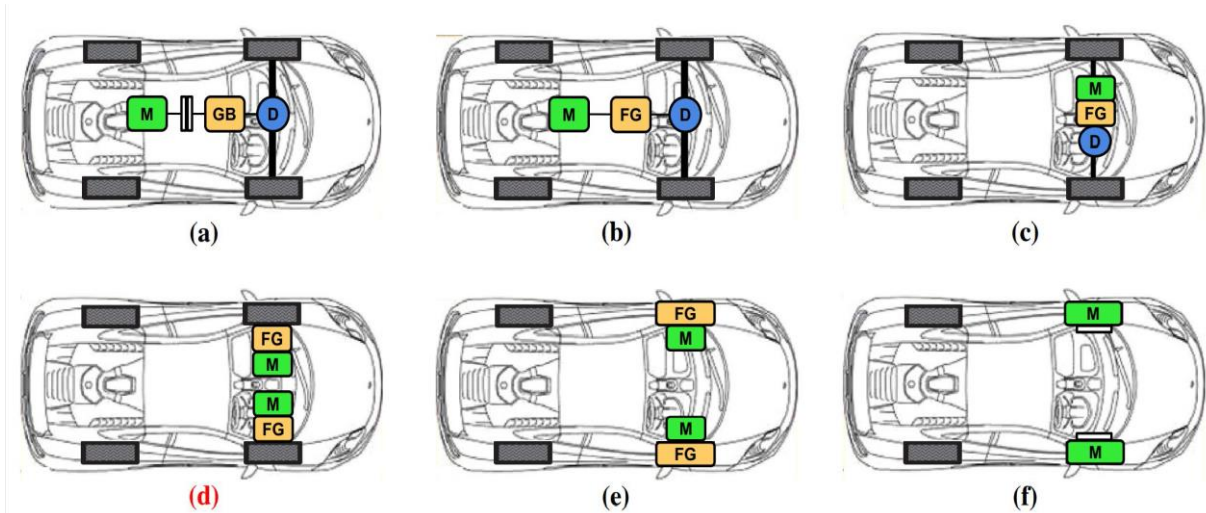
khuyến của xe, dựa trên các tín hiệu điều khiển từ bàn đạp ga và bàn đạp phanh. Trong quá trình phanh sẽ sinh ra một phần năng lượng, năng lượng này sẽ được thu hồi và nạp vào ắc quy (phanh tái sinh). Ngoài ắc quy, năng lượng tái tạo có thể tích lũy trong bánh đà hay trong tụ điện điện dung lớn. Phanh tái sinh được kiểm soát nhờ các bộ phận quản lý năng lượng kết hợp cùng bộ điều khiển xe. Bộ phận này cũng kết hợp cùng với bộ lưu trữ năng lượng để giám sát việc nạp điện và kiểm soát việc sử dụng năng lượng từ nguồn lưu trữ. Bộ phận cung cấp năng lượng phụ trợ sẽ cung cấp năng lượng cho các bộ phận như điều hòa không khí, trợ lực tay lái.

Vấn đề khó khăn mà BEV cần được nghiên cứu và phát triển là tăng khả năng lưu trữ năng lượng và giảm thời gian sạc điện cho pin. Hiện nay, các nhà khoa học đã nghiên cứu ra nhiều loại tế bào pin khác nhau như pin lithium-sulfur, lithium-không khí và pin thể rắn hoàn toàn. Đây đều là những loại pin có thể khắc phục được nhược điểm như khả năng lưu trữ năng lượng, tuổi thọ dài và chi phí thấp. Khả năng lưu trữ của pin lithium-ion đạt 300 Wh/kg và 750 Wh/L, còn các thế hệ pin mới mật độ năng lượng cao hơn khoảng 500 Wh/kg và 1.000 Wh/L. Riêng loại pin lithium-không khí có mật độ năng lượng theo lý thuyết rất cao, đạt 3.458 Wh/kg cho phép xe điện hoạt động lên đến 800 km. Tiến vào kỷ nguyên mới cùng với nhiều công nghệ được áp dụng, giá thành của pin nền lithium liên tục giảm từ 380 USD/kWh năm 2015 xuống còn khoảng 70 USD/kWh năm 2020. Đây được xem là yếu tố tích cực giúp ô tô điện nhanh chóng được thương mại hóa trên toàn thế giới ở tương lai gần.

2.2. Bố trí chung tổng thể của một ô tô điện

Hệ thống truyền động điện (Electric powertrain) bao gồm: thiết bị tích trữ điện năng (pin, ắc quy hoặc siêu tụ), thiết bị ổn định điện năng, thiết bị chuyển đổi điện năng tích trữ thành cơ năng dẫn động các bánh xe làm nguồn động lực cho xe di chuyển. BEV là xe cơ giới sử dụng hệ thống truyền động điện theo Thông tư số 53/2024 của Bộ Giao Thông Vận Tải.

Thiết kế và bố trí chung của xe BEV cơ bản gần giống như thiết kế của xe ICE. Sự khác biệt lớn nhất của xe điện đó là sử dụng động cơ điện thay động cơ đốt trong, truyền động điện và dùng pin thay bình chứa nhiên liệu. Khi các bộ phận trên hệ truyền động thay đổi, thì xe BEV cần có các phương án bố trí lại cấu hình của xe phù hợp [20].



Hình 2.3: Các cấu hình có thể của ô tô điện.

(D: bộ vi sai, FG: bộ giảm tốc cố định, GB: hộp số, M: động cơ điện)

Trong đó, động cơ điện và hộp số thường gắn liền với nhau và truyền động trực tiếp đến bánh xe chủ động, ngoài ra các cụm và hệ thống khác như bộ điều khiển điện tử, bộ biến đổi điện, bộ sạc trên xe và bộ pin thường được thiết kế đặt dưới sàn. Các hệ thống khác như phanh, lái, treo và nội, ngoại thất tương đồng với ô tô thông thường. Dựa trên các tín hiệu điều khiển từ bàn đạp ga và bàn đạp phanh, bộ điều khiển của xe cung cấp tín hiệu điều khiển thích hợp với bộ chuyển đổi điện tử để điều chỉnh dòng điện cung cấp cho động cơ điện. Khi phanh sẽ tạo ra năng lượng gọi là năng lượng tái tạo và được nạp lại vào ắc quy. Hình 2.3 thể hiện các kiểu bố trí phổ biến trên xe điện.

Hình 2.3a: Động cơ điện thay thế cho động cơ đốt trong của hệ thống truyền động trên xe thông thường. Bao gồm một động cơ điện, ly hợp, hộp số và vi sai. Ly hợp và hộp số có thể được thay thế bằng hộp số tự động.

Hình 2.3b: Động cơ điện có công suất không đổi hoạt động ở dải tốc độ rộng, hộp số không cần yêu cầu hộp số đa cấp và giảm nhu cầu ly hợp. Cấu hình này không chỉ làm giảm kích thước và trọng lượng của hộp số cơ học, nó còn đơn giản hóa việc điều khiển hệ thống truyền lực.

Hình 2.3c: Hộp số cố định và vi sai đã có thể được tích hợp thêm vào một cụm và truyền ra hai bánh xe. Toàn bộ hệ thống truyền lực được đơn giản hóa.

Hình 2.3d: Hệ thống truyền lực từ việc sử dụng một động cơ thành hai động cơ điện, không sử dụng một hệ thống lực mà sử dụng hai hệ truyền lực riêng biệt truyền tới từng bánh xe.

Hình 2.3e: Đề đơn giản hơn nữa trong hệ thống truyền động, động cơ điện và hộp số có thể gộp làm một cụm và đặt trong bánh xe. Sự bố trí này được gọi là bánh xe chủ động (wheel- drive). Một bộ bánh răng hành tinh có thể được sử dụng để giảm tốc độ động cơ và tăng mô men xoắn. Bộ bánh răng hành tinh có lợi thế về khả năng biến đổi tốc độ lớn, đơn giản và nhỏ gọn về mặt bố trí của bộ bánh răng hành tinh.

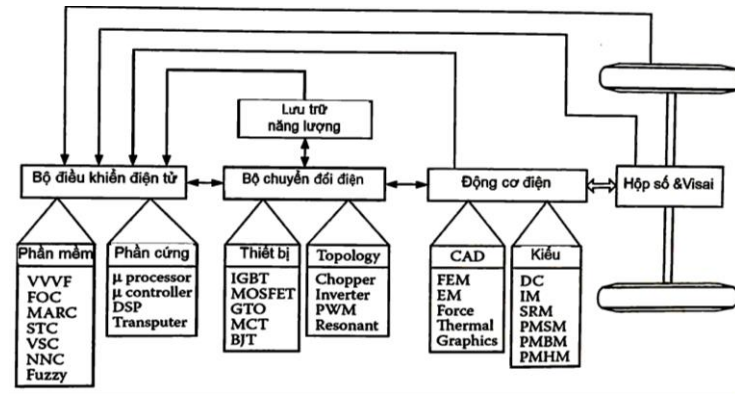
Hình 2.3f: Động cơ điện truyền động trực tiếp tới bánh xe chủ động, nghĩa là rotor của động cơ điện tốc độ thấp được đặt trong bánh xe có thể được kết nối với bánh xe. Việc kiểm soát tốc độ của động cơ điện tương đương với việc kiểm soát tốc độ của bánh xe. Tuy nhiên, sự sắp xếp này đòi hỏi động cơ điện phải có momen xoắn cao để đáp ứng khả năng khởi động và tăng tốc của xe [10].

Ở đề án này, khi nghiên cứu về xe buýt điện cỡ nhỏ cho đô thị, tác giả lựa chọn phương án bố trí động cơ đặt phía sau. Việc bố trí động cơ đặt sau, cầu sau dẫn động cho phép hạ thấp sàn xe đến mức có thể, qua đó làm tăng tính tiện ích của xe buýt với loại sàn 1 bậc, phù hợp thiết kế cầu lên xuống cho người sử dụng xe lăn. Tọa độ trọng tâm cũng được hạ thấp để nâng cao tính ổn định của xe.

2.3. Hệ truyền lực điện

2.3.1. Tổng quan về hệ truyền động trên xe ô tô điện

Hệ thống truyền lực điện là cốt lõi của xe điện, bao gồm: động cơ điện, bộ chuyển đổi điện năng (power converters) và bộ điều khiển điện tử (electronic controllers). Động cơ điện chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ học để chuyển thành lực kéo cho xe hoặc ngược lại, kích hoạt phanh tái sinh và tạo ra điện để sạc bộ lưu trữ năng lượng trên xe (on-board energy storage). Bộ chuyển đổi điện thay đổi điện áp và dòng điện thích hợp để cung cấp cho động cơ điện. Bộ điều khiển điện tử cung cấp tín hiệu điều khiển bộ chuyển đổi điện để điều khiển động cơ điện tạo ra mô-men xoắn và tốc độ thích hợp theo điều kiện lái xe. Bộ chuyển đổi điện tử gồm: cảm biến, mạch giao diện và bộ xử lý. Cảm biến chuyển dòng điện, điện áp, nhiệt độ, tốc độ, mô-men xoắn và từ thông,...thành tín hiệu điện qua mạng giao diện và được điều chỉnh phù hợp trước khi đưa vào bộ xử lý. Mạch giao diện khuếch đại các tín hiệu đầu ra từ bộ xử lý để điều khiển các thiết bị bán dẫn của bộ biến đổi công suất. Hình 2.4 thể hiện sơ đồ khối chức năng của hệ thống động lực điện [18].



Hình 2.4: Sơ đồ khối chức năng của hệ động lực điện

Lựa chọn hệ thống động lực cho xe điện phụ thuộc vào các yêu cầu khi di chuyển của người lái xe (gia tốc, tốc độ tối đa, khả năng leo dốc, phanh và tầm hoạt động); Kết cấu, thông số của phương tiện (khối lượng và trọng lượng, phụ thuộc vào loại xe, trọng lượng xe và tải trọng); Nguồn năng lượng (loại pin,...). Động cơ điện dùng cho xe điện yêu cầu phải khởi động và dừng thường xuyên, tốc độ thay đổi liên tục theo yêu cầu người lái. Với ưu điểm về giá thành, tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường thì động cơ điện được coi là loại động cơ của tương lai. Đặc biệt, động cơ điện có khả năng đáp ứng mô-men xoắn chính xác và nhanh gấp 100 lần so với động cơ đốt trong. Để đạt được hiệu suất tốt, động cơ EV cần đạt các yêu cầu sau:

- Công suất tức thì cao và mật độ công suất cao.
- Mô-men xoắn cao ở tốc độ thấp để khởi động và leo dốc, cũng như công suất cao ở tốc độ cao để chạy đường dài.
- Phạm vi tốc độ phải rộng bao gồm mô-men xoắn không đổi và vùng công suất không đổi.
- Đáp ứng mô-men xoắn nhanh.
- Hiệu suất cao trên phạm vi tốc độ và mô-men xoắn rộng.
- Hiệu suất phanh tái sinh cao.
- Độ tin cậy và độ bền cao ở các điều kiện vận hành khác nhau.
- Chi phí hợp lý.

Vì đây là bộ phận quan trọng nhất của xe điện, nên hiệu suất của động cơ điện ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất của xe nên khi lựa chọn động cơ điện cần được xem xét một cách kỹ lưỡng, ưu tiên xét về độ tin cậy cao và hoạt động ít cần bảo trì. Có hai loại động cơ điện phổ biến là động cơ DC và động cơ AC. Cả hai động cơ AC và DC

đều phục vụ cho cùng một mục đích là cung cấp năng lượng cho ô tô điện. Động cơ DC có các điều khiển ít tùy chỉnh hơn và khó điều chỉnh hơn, trong khi động cơ AC có thể điều chỉnh tốt hơn. Mặc dù động cơ AC yêu cầu các thiết bị điện tử và sơ đồ điều khiển phức tạp, nhưng tiềm năng và phạm vi tốc độ của chúng nhiều hơn so với động cơ DC. Thực hiện với điều khiển động cơ AC tốt hơn và bộ điều khiển phức tạp, chúng có thể tái tạo một lượng lớn năng lượng phanh và truyền nó trở lại pin (thông qua biến tần) và triển khai lại khi cần. Động cơ ô tô điện AC tạo ra đường cong mô-men xoắn dễ kiểm soát và ít đột ngột hơn, do đó tăng tuổi thọ của hệ thống truyền động và ít gây hư hỏng cho các bộ phận quan trọng như khớp các đăng, trục truyền động và hộp số [10] [19].

2.3.2. Lựa chọn động cơ điện phù hợp

Khi nói đến động cơ AC, có 3 lựa chọn chính trong ngành công nghiệp ô tô. Một số công ty sản xuất động cơ nam châm vĩnh cửu DC không chổi than (BLDC) rẻ, mặc dù phù hợp với các ứng dụng EV và HEV hơn, nhưng chúng thường thiếu điện. Một giải pháp thay thế khác và là một trong những giải pháp thay thế phổ biến nhất hiện nay là động cơ cảm ứng đồng bộ với nam châm vĩnh cửu (PMSM), kết hợp với mật độ công suất cao và điều khiển động cơ dễ dàng. Hiện nay, nhờ sự phát triển của khoa học kỹ thuật các nhà khoa học đã cung cấp ra thị trường động cơ cảm ứng (IM) cho các ứng dụng ô tô, điều đó đã cho thấy tiềm năng lớn trong việc giảm chi phí và tăng độ bền bỉ.

Bảng 2.1: So sánh các loại động cơ dùng cho ô tô điện [10] [18]

Thông số	DC Motor	Induction Motor (IM)	PMSM	SRM
Mật độ công suất	5	7	10	7
Hiệu suất	5	7	10	7
Tính năng điều khiển	10	7	8	7
Độ tin cậy	5	10	8	10
Cấu trúc	10	10	8	8
Chi phí	8	10	6	7
Tổng cộng	43	51	50	46

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).

Ở nghiên cứu này, tác giả lựa chọn động cơ điện IM (Induction Motor) là một loại động cơ điện xoay chiều, không có chổi than, cấu trúc đơn giản, hoạt động bền bỉ

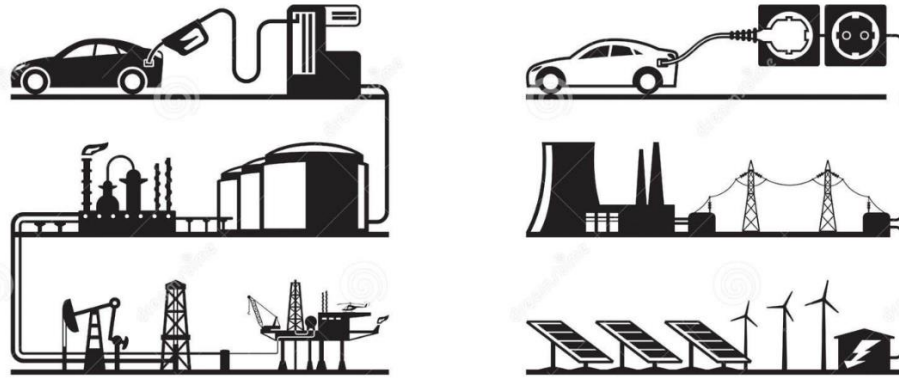
và ổn định dưới nhiều điều kiện môi trường khác nhau. Do động cơ không sử dụng nam châm vĩnh cửu như động cơ PM nên giảm được chi phí sản xuất khi phụ thuộc vào vật liệu hiếm. Tuổi thọ của động cơ IM cao do ít bộ phận hao mòn và ít phải bảo dưỡng sửa chữa. Bên cạnh đó, động cơ IM cũng có những nhược điểm nhất định như: điều khiển phức tạp, hiệu suất thấp hơn so với động cơ PM khi chạy ở tốc độ thấp. Tuy nhiên, xét ưu tiên về mặt kinh tế hay khả năng sửa chữa, tái chế thì động cơ IM là khả thi. Bởi vì hiện nay, nhờ sự tiến bộ về khoa học công nghệ nên các bộ điều khiển vector và bộ biến tần sử dụng cho động cơ IM ngày càng được cải tiến và hiện đại, giải quyết được bài toán điều khiển động cơ IM [20].

Dưới góc độ phân tích của tác giả và tham khảo các nguồn tài liệu, tác giả lựa chọn động cơ điện cho xe buýt điện cỡ nhỏ là loại động cơ cảm ứng IM được cung cấp bởi Siemens (Đức). Đây là loại động cơ có nhiều tiềm năng ứng dụng cho xe điện và có thể được nghiên cứu thiết kế, chế tạo tại Việt Nam, vừa theo kịp xu thế hiện tại, phù hợp với điều kiện Việt Nam.

2.4. Hệ thống pin xe điện

2.4.1. Tổng quan về pin trên ô tô điện

Hình 2.5 cho thấy các nguồn năng lượng có thể chuyển năng lượng cho xe điện, bao gồm các loại năng lượng như nhiệt điện từ nhiên liệu hóa thạch (dầu mỏ, than đá, khí đốt), hay năng lượng từ thủy điện, từ năng lượng hạt nhân, cũng có thể điện được sản xuất từ các nguồn sạch như năng lượng gió, năng lượng mặt trời,... Có nhiều nguồn năng lượng cho các loại xe điện với công nghệ khác nhau, mỗi loại đều có ưu điểm và nhược điểm riêng. Hiện nay, trên thế giới và cả ở Việt Nam đang dần chuyển đổi qua sử dụng nguồn năng lượng sạch. Các nhà máy điện chạy bằng nhiên liệu hóa thạch đều có nguy cơ gây ô nhiễm môi trường khi phát thải ra khí ảnh hưởng đến tầng Ozon và ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu ứng nhà kính. Còn nguồn điện được cung cấp từ các nhà máy thủy điện có thể ảnh hưởng đến rừng phòng hộ, lũ lụt, hạn hán hay xói mòn đất,... thì đây cũng không được coi là năng lượng sạch. Hay các nhà máy năng lượng mặt trời, nếu không có phương án xử lý các tấm pin qua sử dụng hiệu quả cũng làm ảnh hưởng trực tiếp đến bầu khí quyển.



Hình 2.5: Các nguồn năng lượng cho xe điện

Pin là bộ phận quan trọng và đắt tiền nhất cung cấp năng lượng cho vận hành xe điện. Với sự phát triển nhanh chóng của các công nghệ này và tầm quan trọng của chúng đối với sự phát triển của xe điện, điều quan trọng là phải nghiên cứu từng công nghệ hiện có hoặc mới nổi, để có thể xác định công nghệ phù hợp nhất cho một mẫu xe điện. Khi kiểm tra các đặc tính chính của pin, một số khía cạnh đáng chú ý gồm:

Mật độ năng lượng: Đó là lượng năng lượng có thể được lưu trữ trong một thể tích nhất định, thường được chỉ định bằng đơn vị khối lượng (Wh/kg) hoặc đơn vị thể tích (Wh/l). Lưu trữ năng lượng điện hiệu quả và tiết kiệm chi phí đặt ra một thách thức lớn, thúc đẩy đầu tư đáng kể vào việc phát triển pin với hiệu quả và độ tin cậy được cải thiện. [10].

Dung lượng pin: Được đo bằng ampe-giờ (Ah) hoặc watt-giờ (Wh), rất quan trọng đối với EV vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến phạm vi hoạt động của xe. Những tiến bộ trong công nghệ pin cho phép lưu trữ năng lượng cao hơn trong khung thời gian ngắn hơn là điều cần thiết cho sự thành công của xe điện.

Mật độ công suất: Cho biết tốc độ mà năng lượng có thể được chiết xuất từ một khối lượng hoặc khối lượng pin nhất định. Đại lượng này thường được chỉ định theo đơn vị khối lượng là (W/kg). Pin cho các ứng dụng xe điện thường yêu cầu dòng điện cao để điều khiển động cơ. Do đó, mật độ công suất cao thường được mong muốn.

Vòng đời/tuổi thọ: Với tính chất chu kỳ của việc sử dụng xe ô tô, các hóa chất và chất trong pin có thể bị hư hỏng, xuống cấp theo thời gian. Do đó, khi trải qua nhiều chu kỳ sạc và xả, các hóa chất trong pin bắt đầu phân hủy làm giảm tổng dung lượng pin, do đó giảm phạm vi hoạt động cũng như giảm hiệu suất của xe. Tuổi thọ của pin cũng có thể bị ảnh hưởng nếu pin trải qua quá trình xả sâu trong đó SOC của pin vượt quá mức

tối thiểu đã đặt, điều này đặc biệt phù hợp với các ứng dụng ô tô dựa vào chu kỳ xả sâu. Tuổi thọ pin cũng có thể bị rút ngắn nếu pin hoạt động ở nhiệt độ khắc nghiệt hoặc bị sạc và xả nhanh [10].

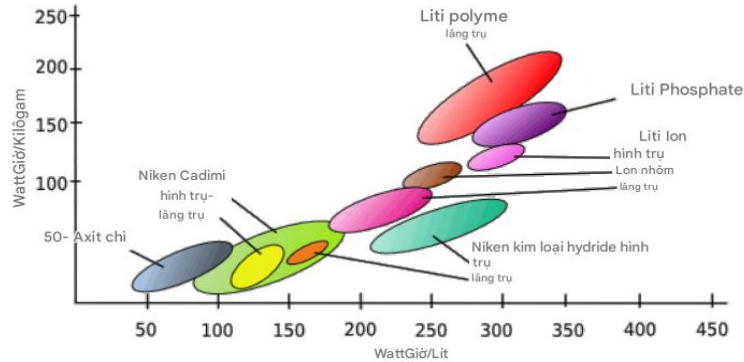
Quản lý nhiệt: Pin công suất cao cho xe điện dễ bị quá nhiệt khi trải qua chu kỳ xả hoặc sạc nhanh, cuối cùng dẫn đến cháy hoặc nổ. Nguyên nhân này xảy ra trong quá trình sạc không kiểm soát, do lạm dụng điện hoặc vật lý của tế bào. Những rủi ro này hiện được giải quyết bằng cách thiết kế một vỏ bọc đóng vai trò như một rào cản vật lý và sử dụng bộ điều khiển pin để giám sát hiệu suất, thông số của từng tế bào như nhiệt độ, điện áp pin [10].

Chi phí: Với quy trình sản xuất phức tạp và nhiều loại hóa chất có trong pin, chi phí sản xuất là một mối quan tâm lớn. Ngay cả khi tất cả các chỉ số hiệu suất khác được tối ưu hóa, nếu chi phí pin vẫn cao, xe điện sẽ không thể cạnh tranh với xe xăng và việc triển khai hàng loạt sẽ khó xảy ra

Hiện nay, các xe điện đều đang sử dụng một số dạng pin lithium-ion (Li-Ion), loại pin này được thương mại hóa và sử dụng phổ biến do mật độ năng lượng và hiệu suất sạc cao, khả năng sạc nhanh tốt (30 phút có thể nạp được 80 %), tuổi thọ có thể lên tới 10 năm. So với pin chì-axit, thì đây là loại pin đầu tiên trên thế giới, được sử dụng rất phổ biến vì giá thành rẻ, vận hành an toàn (nguy cơ cháy nổ thấp). Tuy nhiên, loại pin chì-axit cho mật độ năng lượng thấp nên rất nặng, tuổi thọ chỉ khoảng 3 năm (nếu vận hành đúng kỹ thuật), nạp chậm và khó tái chế. Ngoài ra, chì còn là kim loại nặng, ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người và môi trường nếu không xử lý đúng cách khi nó hết hạn. Tuy nhiên, ắc quy chì-axit vẫn được lựa chọn do giá thành rẻ, sử dụng đơn giản. Bên cạnh 2 loại pin trên, thì hiện nay còn có thêm loại pin nhiên liệu – Fuel Cell, nhưng công nghệ pin này vẫn còn khá mới để đưa vào làm sản phẩm thương mại vì nó liên quan đến tính an toàn [10] [21].

Pin lithium có năng lượng riêng lớn hơn 300 Wh/kg, xấp xỉ gấp 10 lần so với pin axit chì và trọng lượng chỉ bằng một phần ba. Thông thường, điện áp của một cell pin Lithium ion là 3,7 V (3,0 – 4,2 V). Để có điện áp 400-500 V có khi đến 800 V để sử dụng cho xe điện, nhà sản xuất phải lắp ghép từ 100 – 200 viên pin đơn. Một khối pin (pack) trên xe điện cần 8 kg Lithium, 35 kg Nickel, 20 kg Manganese và 14 kg Cobalt nên giá thành khá cao vì sử dụng nhiều kim loại hiếm [22]. Pin lithium iron phosphate

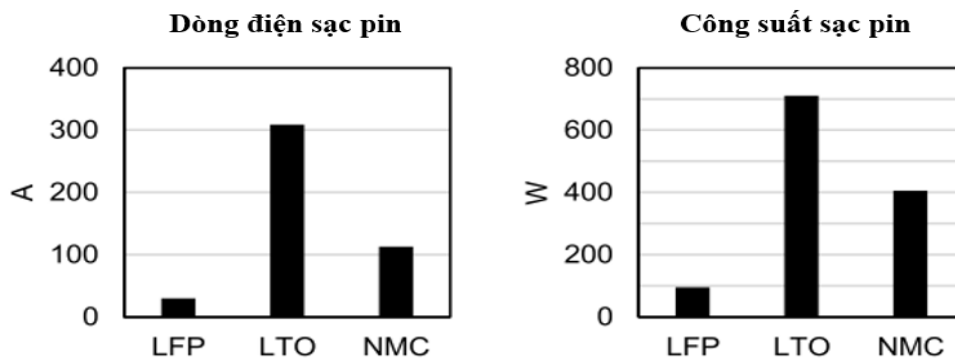
(LFP), lithium titanium oxide (LTO) và lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC) là những loại tế bào pin phổ biến nhất được sử dụng trong xe buýt điện. Hình 2.6 và bảng 2.2 cho thấy mật độ năng lượng của các loại pin phổ biến hiện nay.



Hình 2.6: Mật độ năng lượng của các loại pin

Đáng chú ý, pin LFP (Lithium iron phosphate – LiFePO_4), hay còn gọi là Lithium ferrophosphate, là loại pin có thể sạc lại thuộc dòng pin Lithium ion, các cực của pin được sử dụng vật liệu khoáng chất tự nhiên LiFePO_4 thuộc họ olivin (triphylite), chất này được sử dụng làm vật liệu cathode. Do giá thành rẻ, không độc hại với môi trường, nguyên liệu sẵn có trong tự nhiên, độ ổn định nhiệt độ, tính chất hóa điện và khả năng lưu điện (170 mA h/g, hoặc 610 C/g). Pin có thời gian hoạt động dài, mật độ năng lượng cao và an toàn nên Pin LFP đã được một số thị trường như quân sự, giao thông,... nhanh chóng chấp nhận [10] [22].

Bảng 2.2, cho thấy các thông số điển hình cho các loại tế bào pin này từ danh mục, vì mục đích so sánh nên chỉ xét các tế bào pin loại túi (pouch-type) hình 2.7.



Hình 2.7: Dòng sạc pin và công suất sạc pin cho các loại pin khác nhau.

Đặc tính kỹ thuật của pin Pb-PbO_2 , Ni-Cd, Ni-Mh, Zn- Br_2 , Na-NiCl, Na-S, Li-Ion, Li-Fe- PO_4 được tác giả tham khảo và xây dựng ở bảng 2.2

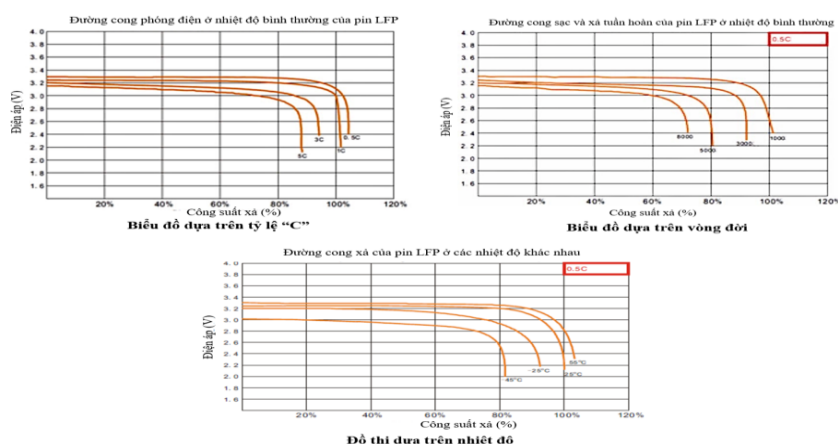
Bảng 2.2: Các loại pin và đặc tính cụ thể [23].

Thuộc tính/Loại pin	Chi-PbO ₂	Ni-Cd	Ni-MH	Zn-Br ₂	Na-NiCl	Na-S	Li-Ion	Li-Fe-Po ₄
Nhiệt độ làm việc °C	0 đến 45	0 đến 50	(-40) đến 50	20 đến 40	300 đến 350	300 đến 350	(-40) đến 60	(-45) đến 85
Năng lượng riêng Wh/kg	161	236	300	430	794	795	275	250
Mật độ năng lượng Wh/l	60 đến 80	60 đến 90	100 đến 150	60 đến 70	110 đến 120	120 đến 130	150 đến 200	120 đến 175
Công suất riêng W/kg	75 đến 100	120 đến 150	140 đến 200	80 đến 100	150 đến 200	150 đến 200	350 đến 400	250 đến 340
Điện áp di động (đã sạc)	2.1	1,35	1,35	1,79	2,58	2.08	3.6	4

2.4.2. Lựa chọn loại pin cho xe buýt điện cỡ nhỏ.

Hiện nay, pin Lithium Ion và Lithium Polymer là những loại pin công nghệ tiên tiến nhất. Chúng có tính di động cao và hiệu suất của chúng tốt hơn các loại pin khác. Mặt khác, pin LFP cũng có một số hạn chế (bảng 2.2.) mật độ năng lượng thấp hơn so với một số loại khác, khối lượng nặng hơn và giá thành cũng cao hơn. Nhưng nó vẫn được ứng dụng rộng rãi trên xe điện nhờ vào tính an toàn, tuổi thọ cao và hiệu suất tốt. Kết luận rằng, pin LFP được xem là lựa chọn hợp lý cho các ứng dụng xe điện nơi an toàn và tuổi thọ là yếu tố tiên quyết.

Trong ứng dụng trên xe buýt điện cỡ nhỏ, Pin LiFePO₄ được lựa chọn sử dụng làm nguồn năng lượng cho xe và động cơ điện, do quãng đường yêu cầu của xe buýt điện cỡ nhỏ di chuyển dài. Vòng đời của pin có thể được xác định từ các biểu đồ về công suất xả và điện áp của pin (hình 2.8 tham khảo trang web evparts.alle.bg)

**Hình 2.8: Biểu đồ công suất và điện áp phóng điện của pin LFP**

Các loại pin Lithium Iron Phosphate có cấu trúc hóa học bao gồm Sắt, Phosphate, Mn, Ca, Graphite, Na, C, Li, PE, Cu, Al, Lix, F. tỷ lệ phần trăm của chúng được thể hiện ở Bảng 2.3.

Bảng 2.3: Cấu trúc hóa học của pin LFP

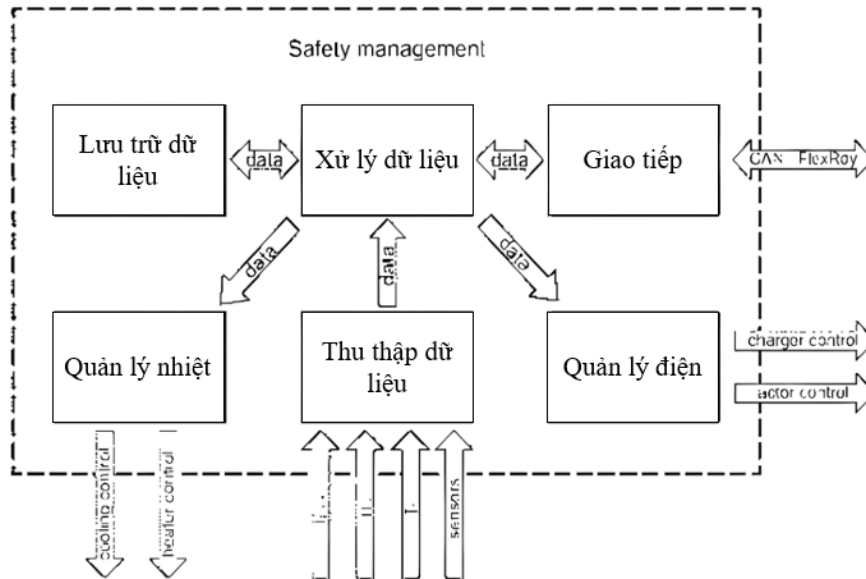
LFP	
Thành phần	Tỷ lệ %
Fe	42%
P	16%
Mn	0.5%
Ca	0.3%
Graphite	5%
Na	0.01%
C	3.1%
Li	3.4%
PE	3.3%
Cu	10%
Al	6%
Lix	8%
F	3.3%

Phạm vi nhiệt độ cũng được nghiên cứu cho ba trạng thái: lưu trữ, xả và sạc. Khi pin ở trạng thái lưu trữ, nhiệt độ duy trì liên tục tối đa là 30°C. Nhiệt độ gián đoạn (tức là chỉ xảy ra trong thời gian ngắn) cho lưu trữ nằm trong khoảng từ - 45°C đến 85°C. Trong quá trình xả, nhiệt độ vận hành liên tục được chấp nhận nằm trong khoảng từ 30°C đến 85°C và nhiệt độ gián đoạn có thể dao động từ - 45°C đến 85°C. Ngoài ra, trong quá trình sạc, cả nhiệt độ liên tục và gián đoạn được giới hạn trong khoảng từ 0°C đến 75°C.

2.4.3. Quản lý năng lượng và kiểm soát điện năng

Hệ thống quản lý pin (BMS) đóng một vai trò quan trọng, có nhiệm vụ tối ưu hóa hiệu suất pin, đảm bảo an toàn và kéo dài tuổi thọ pin. Trong số các chức năng chính của nó là quản lý cung cấp năng lượng cho pin, nhằm giảm thiểu quá tải trong chu kỳ sạc và xả. Hoạt động như một bộ điều khiển trung tâm, BMS điều chỉnh dòng điện để ngăn chặn sự gián đoạn đột ngột và tốc độ xả cao, có thể làm giảm hiệu năng của pin theo thời gian. Các bộ điều khiển này làm tăng đáng kể trọng lượng, chi phí và độ phức

tạp của bộ pin, nhưng là điều cần thiết góp phần đáng kể vào việc kéo dài tuổi thọ tổng thể và độ tin cậy của pin.



Hình 2.9: Các bộ phận trong hệ thống quản lý pin

Hệ thống quản lý nhiệt pin (BTMS) là hệ thống con chịu trách nhiệm giám sát nhiệt độ của bộ pin (pack) và là thành phần không thể thiếu đối với pin lithium-ion kích thước lớn. Cung cấp phạm vi nhiệt độ thích hợp cho pin hoạt động, do đó cải thiện tuổi thọ và độ an toàn của pin. Hệ thống BTMS cũng cần được thiết kế tốt có tính đến chi phí, trọng lượng và tính thực tế [24]. Hệ thống này theo dõi nhiệt độ tại các vị trí khác nhau của pack và điều khiển hệ thống làm mát để giữ cho pin ở nhiệt độ hoạt động tối ưu, không phải từ -15°C đến 60°C . Có nghĩa là trong điều kiện lạnh, hệ thống sẽ phải làm nóng pin để tránh suy giảm tế bào trong khi sử dụng quá nhiều hoặc sạc nhanh, hệ thống sẽ phải làm mát pin.

Kiểm soát điện tích: Một trong những khía cạnh độc đáo của Li-ion so với các tế bào khác là giao thức sạc của chúng yêu cầu điện tích dòng điện không đổi tối đa là 4.2 V cho đến khi đạt đến dòng điện tối thiểu được chỉ định. Để đạt được mục tiêu này và tạo ra một khoản phí tiết kiệm, BMS sẽ kiểm soát toàn bộ quá trình sạc, dừng lại tại điểm mong muốn hoặc ngắt bất kỳ lúc nào nếu pin vượt quá giới hạn sạc như quá dòng, quá nhiệt hoặc quá áp.

Cân bằng tế bào: Do hầu hết các cụm pin yêu cầu kết nối nối tiếp để đạt được điện áp mong muốn, bộ pin sẽ cần các đầu dò giám sát cho từng ô được kết nối nối tiếp, để theo dõi điện áp tế bào song song riêng lẻ. Điều này là do bản chất không ổn định và

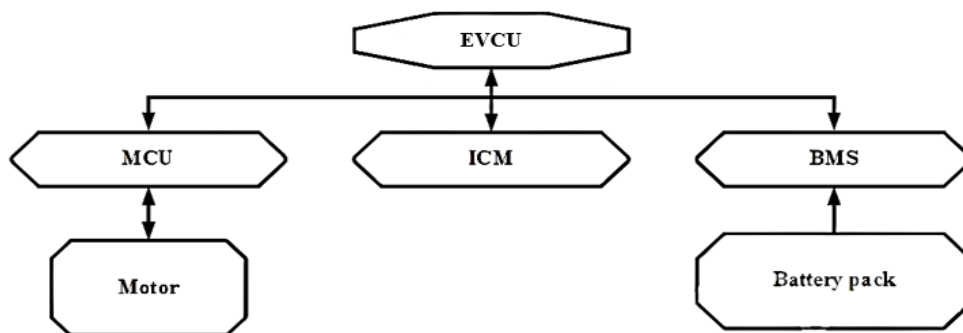
dễ bay hơi của các tế bào lithium khi chịu các tình huống dưới hoặc quá áp. Mục tiêu là có tất cả các tế bào được kết nối nối tiếp trong một điện áp đã đặt và tránh bất kỳ sai lệch nào.

Bảo vệ quá dòng: BMS đóng vai trò quan trọng trong việc theo dõi trạng thái (SOC) của pin và ước tính phạm vi lái xe dựa trên mức năng lượng hiện tại. Nó cũng giám sát việc phân phối điện cho các hệ thống phụ trợ như đèn pha, điều hòa không khí, tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng mà không ảnh hưởng đến hiệu suất của xe. Những tiến bộ liên tục trong kiến trúc BMS của các nhà nghiên cứu và kỹ sư kết hợp các tính năng tiên tiến như xử lý dữ liệu, quản lý nhiệt và giao thức an toàn, đảm bảo hoạt động hiệu quả và đáng tin cậy của xe điện đồng thời tối đa hóa tuổi thọ của hệ thống pin.

2.5. Hệ thống điều khiển xe buýt điện cỡ nhỏ.

2.5.1. Bộ điều khiển xe điện (EVCU – Electric Vehicle Control Unit)

Bộ điều khiển xe điện (EVCU) được coi là bộ não trung tâm của xe điện, điều phối và giám sát các hệ thống cơ – điện tử chính, như hệ thống pin, động cơ điện, bộ sạc và hệ thống phanh tái sinh để đảm bảo xe vận hành ổn định, hiệu quả. EVCU tích hợp nhiều chức năng điều khiển vốn được phân chia cho các bộ điều khiển con (như điều khiển động cơ, quản lý pin và hệ thống truyền lực), cho phép đồng bộ hóa các thành phần khác nhau và tối ưu hóa phân phối năng lượng. Cụ thể, EVCU quản lý phân phối công suất cho các hệ thống trên xe (động cơ điện, hệ thống truyền động, bộ sạc, quạt gió,...) nhằm nâng cao hiệu suất năng lượng và kéo dài phạm vi hoạt động. Đồng thời, EVCU chuyển đổi các tín hiệu đầu vào của người lái như bàn đạp ga, bàn đạp phanh, cần số, thành các lệnh điều khiển mô-men xoắn và tốc độ cho động cơ điện, giúp xe tăng tốc hoặc giảm tốc chính xác theo ý muốn.



Hình 2.10: Sơ đồ phân cấp hệ thống điều khiển của xe

Ngoài ra, EVCU còn đảm nhiệm vai trò quan trọng trong quản lý pin, liên tục theo dõi các thông số của bộ pin như điện áp, dòng điện và nhiệt độ, đảm bảo pin luôn hoạt động trong giới hạn an toàn, đồng thời quản lý hệ thống sạc và bộ chuyển đổi điện áp trên xe. Hệ thống phanh tái sinh, trong đó năng lượng từ quá trình phanh được biến thành điện năng tích trữ trở lại pin cũng được EVCU điều khiển chặt chẽ để tối ưu hóa khả năng thu hồi năng lượng, góp phần cải thiện hiệu suất và tăng phạm vi hoạt động của xe điện. Công nghệ EVCU là yếu tố then chốt giúp các hệ thống cơ khí – điện tử trên xe điện tích hợp một cách trơn tru, bảo đảm vận hành an toàn, ổn định và tiết kiệm năng lượng.

2.5.2. Bộ điều khiển động cơ (MCU – Motor Control Unit)

Hệ thống điều khiển động cơ có cấu trúc đơn giản, có tính tích hợp cao, mạnh mẽ, nhanh chóng, kích thước nhỏ, tiêu thụ điện năng thấp, dễ sử dụng, đáng tin cậy, bảo trì dễ dàng và chi phí thấp..., ứng dụng trên nhiều lĩnh vực bao gồm cả công nghiệp. Là một hệ thống điều khiển động cơ bộ xử lý chip đơn nhưng giúp giảm đáng kể chi phí, cũng đơn giản hóa đáng kể việc đi dây điện. Với sự phát triển của công nghệ sản xuất và nhu cầu thiết bị tự động hóa, đòi hỏi hệ thống điều khiển động cơ có hiệu quả cao, độ chính xác cao và độ tin cậy cao, vì vậy hệ thống điều khiển động cơ chip đơn đã trở thành xu hướng tất yếu.

Ở mỗi loại động cơ điện sẽ có phương pháp điều khiển động cơ khác nhau. Đối với ứng dụng động cơ điện cảm ứng AC (IM) có ba phương pháp điều khiển chính: Điều khiển biến đổi điện áp và tần số (VVVF – Variable-Voltage Variable-Frequency), điều khiển tốc độ theo từ thông (FOC – Field-Oriented Control) và điều khiển trực tiếp mô men (DTC – Direct Torque Control). Để cải thiện hiệu suất truyền động của động cơ cảm ứng, FOC được ưu tiên hơn điều khiển VVVF. Có hai cách triển khai FOC cho động cơ cảm ứng đó là: tiếp cận trực tiếp và gián tiếp. FOC trực tiếp là điều khiển vector trực tiếp, xác định tức thì độ liên kết từ thông của rotor bằng phép đo từ thông của khe hở không khí hoặc ước lượng từ thông từ điện áp và dòng điện stator đo được. Do vấn đề về rung động cơ học và sự thay đổi nhiệt độ trong môi trường hoạt động khắc nghiệt của xe nên khó có thể đo được từ thông khe hở không khí. FOC gián tiếp là điều khiển vector gián tiếp, nó tính toán tốc độ trượt cần thiết để suy ra vị trí từ thông tức thời của rotor có định hướng từ trường đúng đắn. FOC gián tiếp được ứng dụng rộng rãi cho

động cơ cảm ứng hiệu suất cao [10]. Bên cạnh đó vẫn còn những nhược điểm nhất định như, hằng số thời gian của rotor ảnh hưởng đến điều kiện ngắt khi bị thay đổi ở nhiệt độ hoạt động và độ bão hòa từ tính. Để khắc phục nhược điểm này, mô hình điều khiển thích ứng tham chiếu (model-reference adaptive control - MRAC) đã được sử dụng rộng rãi cho FOC gián tiếp trên động cơ cảm ứng. Ưu điểm của sơ đồ MRAC là không cần định dạng thông số một cách rõ ràng.

2.5.3. Bộ chuyển đổi (Converter DC-DC) và biến tần (Inverter) cho động cơ cảm ứng

Bộ chuyển đổi đóng vai trò cốt lõi trong hệ thống truyền động của xe buýt điện cỡ nhỏ, đảm bảo quản lý hiệu quả về năng lượng và điều khiển với độ chính xác cao. Trong xe điện, bộ chuyển đổi được chia thành hai loại chính: Bộ chuyển đổi DC-DC và Bộ chuyển đổi DC-AC. Bộ chuyển đổi DC-DC điều chỉnh năng lượng từ pin nguồn để phù hợp với yêu cầu của hệ thống, trong khi Bộ chuyển đổi DC-AC chuyển đổi dòng điện một chiều (DC) từ pin thành dòng điện xoay chiều (AC) để cung cấp nguồn cho động cơ điện. Đối với xe buýt điện cỡ nhỏ, bộ chuyển đổi DC-DC đặc biệt quan trọng trong việc quản lý năng lượng từ nhiều nguồn, như pin chính hoặc nguồn năng lượng tái tạo (ví dụ: năng lượng mặt trời), cung cấp dòng điện ổn định cho động cơ và các hệ thống phụ trợ như điều hòa không khí và chiếu sáng. Bộ điều khiển (control unit) đi kèm thực hiện các thuật toán điều khiển mô-men, điều khiển dòng hoặc điều khiển vector (vector control), giúp động cơ đạt được hiệu suất cao và khả năng phản hồi nhanh trong mọi điều kiện làm việc.

Lựa chọn bộ biến tần phù hợp với động cơ điện: Trong đề án này, hệ thống truyền động sử dụng biến tần Brusa DMC534 EVAC [25] kết hợp với động cơ cảm ứng AC Siemens 1PV5135-4WS24. Brusa DMC534 EVAC là dòng biến tần sử dụng công nghệ IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) trong các mô-đun chuyển mạch, cho phép linh hoạt cấu hình theo yêu cầu tải và ứng dụng. Biến tần hỗ trợ dải công suất rộng (từ 0,12 kW đến trên 1000 kW), có khả năng điều khiển chính xác cho động cơ cảm ứng cũng như động cơ đồng bộ, và đặc biệt hỗ trợ điều khiển vector và điều khiển servo. Bên cạnh đó, Brusa DMC534 EVAC tích hợp nhiều giao thức truyền thống như Profinet, Profibus, và Drive-CliQ hoặc có thể là CANBUS, cho phép kết nối dễ dàng với hệ thống điều khiển trung tâm (EVCU), đồng thời hỗ trợ các chức năng an toàn như STO (Safe Torque Off). Việc lựa chọn Brusa DMC534 EVAC cho hệ thống truyền động xe buýt điện cỡ

nhỏ không chỉ dựa trên khả năng điều khiển hiệu quả, chính xác mà còn nhờ vào tính ổn định, độ tin cậy kỹ thuật cao và khả năng mở rộng, mô phỏng dễ dàng trong các phần mềm thiết kế hệ thống như Simcenter Amesim. Đây là giải pháp tối ưu, cân bằng giữa hiệu suất, tích hợp hệ thống và khả năng giám sát điều khiển toàn diện.

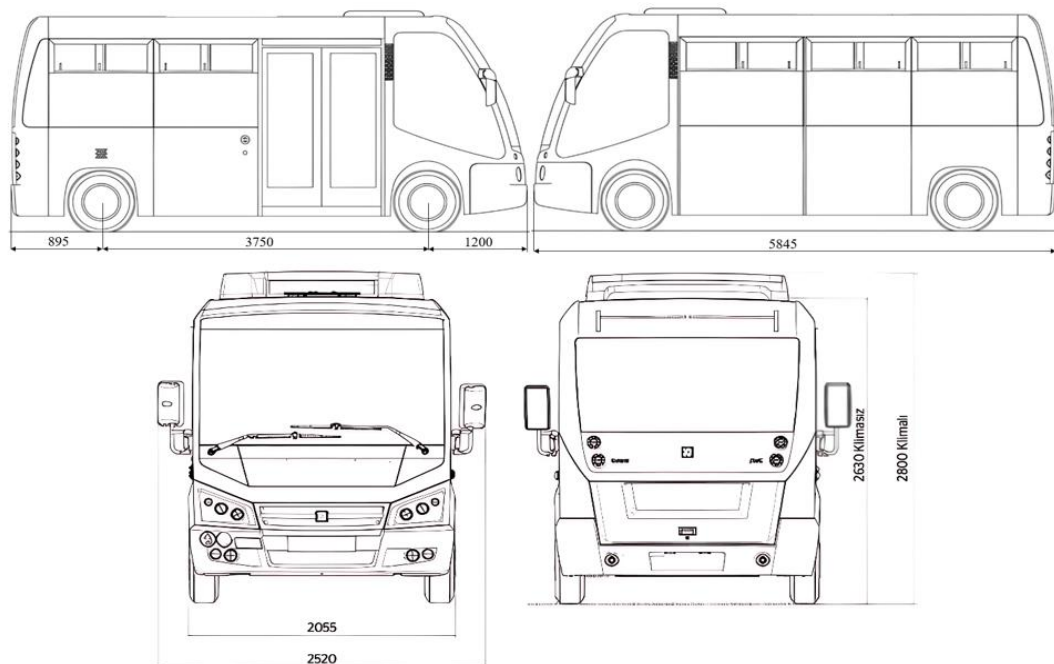
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ XE BUÝT ĐIỆN CỖ NHỎ.

3.1. Thiết kế bố trí chung

3.1.1. Chọn kiểu dáng, nội ngoại thất cho xe buýt điện cỡ nhỏ

Việc lựa chọn và xác định kích thước, kiểu dáng ngoại thất cơ bản của xe buýt điện cỡ nhỏ là bước tiền đề quan trọng trong quá trình thiết kế phương tiện vận tải hành khách phù hợp với điều kiện hạ tầng đô thị và nhu cầu sử dụng thực tế. Các thông số kích thước tổng thể (chiều dài, chiều rộng, chiều cao), bán kính quay vòng, chiều dài cơ sở, cũng như kiểu dáng hình học bên ngoài và không gian nội thất của xe cần được xác định dựa trên các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành, khả năng khai thác trên mạng lưới giao thông, và đặc điểm hành vi di chuyển của hành khách. Ngoài ra, yếu tố thẩm mỹ, tính khí động học và khả năng tích hợp các công nghệ hỗ trợ vận hành cũng cần được cân nhắc nhằm bảo đảm hiệu quả vận tải, mức độ tiện nghi và khả năng cạnh tranh của phương tiện trong hệ thống GTCC hiện đại. Kiểu dáng ô tô thường được phân chia theo một số các tiêu chí khác nhau, tại Việt Nam thiết kế theo tiêu chuẩn TCVN 7271:2023 hoặc ISO 6549. Đối với ô tô khách, là loại xe chở người có số lượng hành khách từ 12 chỗ trở lên, thân xe thường là loại thân kín [26].

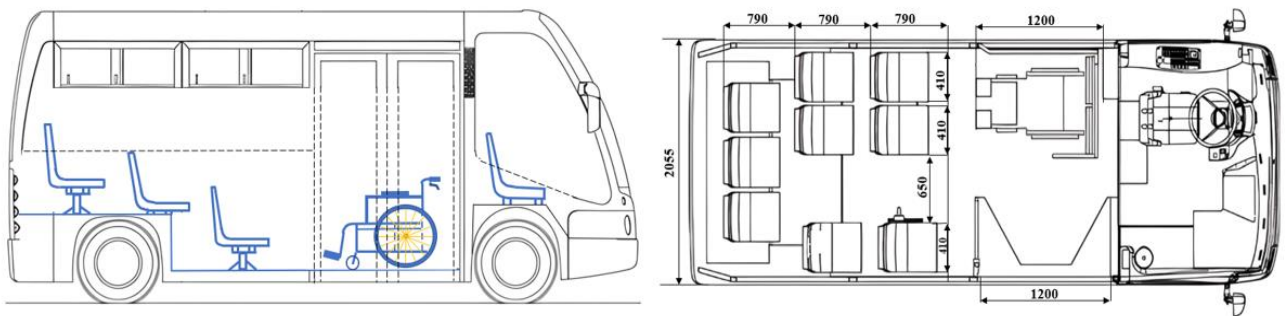
Tham khảo các mẫu minibus hiện đại, kích thước sơ bộ của xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp cho Tp.HCM được tác giả phác họa sơ bộ như hình 3.1.



Hình 3.1: Kiểu dáng ngoại thất và kích thước tổng thể của xe buýt điện cỡ nhỏ

Để đưa ra phương án lựa chọn kiểu dáng nội thất phù hợp với ngoại thất đã chọn, việc thiết kế cần phải tập trung vào tối ưu hóa không gian hành khách và trải nghiệm tiện nghi trong khi vẫn đảm bảo tính khí động học và hiệu quả năng lượng. Theo tiêu chuẩn thiết kế, xe buýt cỡ nhỏ nên có chiều cao trần cabin tối thiểu là 1,900 mm để hành khách có thể đứng thoải mái, đồng thời lối đi cần rộng ít nhất 500 mm để đáp ứng tiêu chuẩn di chuyển dễ dàng (bao gồm cả người sử dụng xe lăn). Ngoài ra, việc lựa chọn thiết kế nội thất phù hợp cho mẫu xe buýt điện cỡ nhỏ còn phải cân đối giữa việc bố trí hàng ghế với khoảng cách ghế trung bình từ 750 đến 800 mm để đảm bảo sự thoải mái khi ngồi. Đồng thời, nên sử dụng những vật liệu nhẹ và chịu nhiệt tốt nhằm giảm trọng lượng tổng thể của xe. Việc phối hợp màu sắc, chất liệu bọc ghế và chiếu sáng nội thất cũng đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ấn tượng thẩm mỹ và nâng cao sự hài lòng của hành khách, đồng thời hỗ trợ nhận diện thương hiệu cho nhà sản xuất.

Từ những phân tích trên, tác giả phác thảo thiết kế bản vẽ 2D thể hiện nội, ngoại thất của xe buýt điện cỡ nhỏ, bao gồm việc bố trí các vị trí ghế hành khách, tài xế và vị trí của cửa lên xuống xe (hình 3.2).



Hình 3.2. Bản vẽ thiết kế 2D mặt bằng bố trí ghế và cửa lên xuống

Tham khảo tài liệu, lựa chọn các thông số kỹ thuật cơ bản, tác giả xây dựng bảng 3.1 kích thước tổng thể cho xe buýt điện cỡ nhỏ.

Bảng 3.1. Thông số cơ bản của xe buýt điện cỡ nhỏ

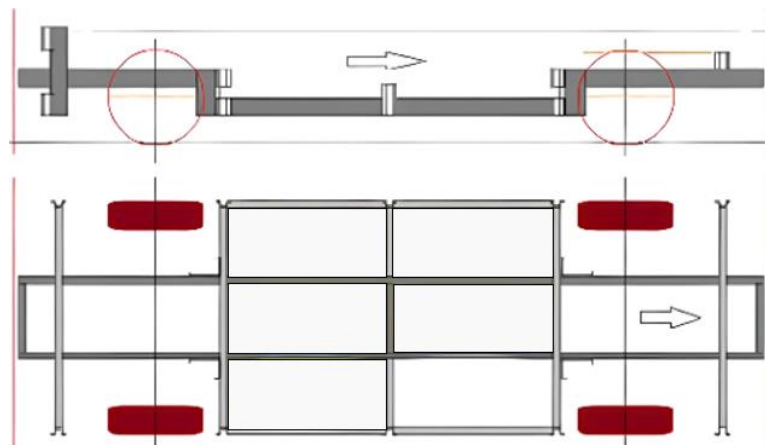
Các thông số	Ký hiệu	Kích thước	Đơn vị
Chiều dài tổng thể	L	5,845	mm
Chiều rộng tổng thể	B ₀	2,520	mm
Chiều rộng cơ sở	B	2,055	mm
Chiều cao tổng thể	H	2,800	mm

Chiều cao bên trong		2,380	mm
Chiều dài cơ sở	L_0	3,750	mm
Khoảng sáng gầm xe		250	mm
Phần nhô ra phía trước		1,200	Mm
Phần nhô ra phía sau		895	Mm
Số chỗ đứng	n_2	5	Chỗ
Số chỗ cho xe lăn	n_3	1	Chỗ
Số ghế ngồi	n_1	10	Chỗ
Tổng trọng lượng xe (dự kiến)	G_a	4.870	kg
Cỡ lốp		225/75R17.5	
Tốc độ tối đa		80	km/h

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025)

3.1.2. Chọn thân xe, khung xương, thân vỏ

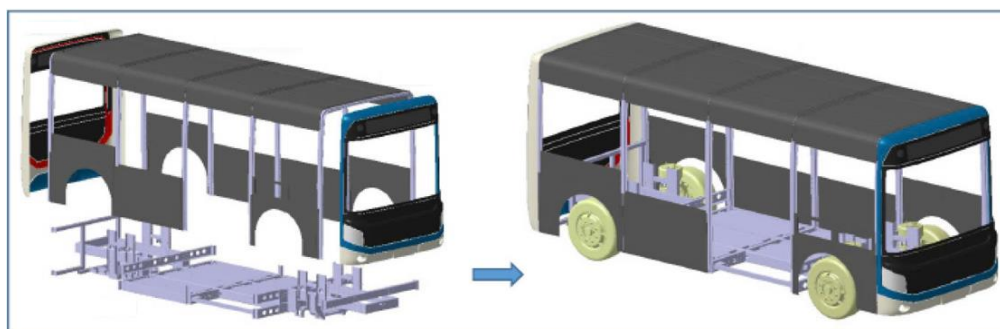
Trước bối cảnh phát triển phương tiện giao thông thân thiện với môi trường, việc tối ưu hóa cấu trúc khung vỏ xe buýt điện cỡ nhỏ là một yếu tố then chốt nhằm giảm khối lượng toàn xe, nâng cao hiệu suất sử dụng năng lượng, đồng thời đảm bảo các tiêu chuẩn an toàn và độ bền cơ học. Tác giả lựa chọn thiết kế loại sàn chịu lực kiểu sàn thấp, để đảm bảo hành khách đi xe buýt tiếp cận tốt nhất, sàn được hạ xuống mức của bậc thang đầu tiên trong khu vực trung tâm và khu vực phía trước, thiết kế được tác giả xây dựng tổng quát như hình 3.3.



Hình 3.3: Lựa chọn thiết kế sàn chịu lực kiểu sàn thấp

Trên cơ sở tổng hợp các xu hướng thiết kế hiện đại và yêu cầu thực tiễn tại đô thị lớn như Tp.HCM, đề án này lựa chọn phương án thiết kế khung vỏ sử dụng công nghệ

mô-đun composite nhẹ chịu lực (Lightweight Load-bearing Composite Module – LKD) hình 3.4. Đây là giải pháp tiên tiến kết hợp giữa khả năng chịu tải trọng cao và đặc tính nhẹ của vật liệu composite, cho phép giảm đáng kể khối lượng khung xe so với các cấu trúc khung thép truyền thống. Cấu trúc mô-đun hóa giúp đơn giản hóa quy trình sản xuất, bảo trì và thay thế bộ phận, đồng thời tạo điều kiện linh hoạt trong việc tùy biến thiết kế theo các cấu hình vận hành khác nhau. Việc áp dụng công nghệ LKD trong thiết kế khung vỏ xe buýt điện cỡ nhỏ không chỉ là một bước tiến về mặt kỹ thuật mà còn phù hợp với định hướng phát triển giao thông bền vững và hiện đại của đô thị Việt Nam.



Hình 3.4: Phương án thiết kế khung, vỏ xe

Thiết kế khung vỏ ô tô hiện đại, đặc biệt là đối với các dòng xe điện, công nghệ mô-đun composite nhẹ chịu lực đang nổi lên như một giải pháp tiên tiến thay thế khung thép truyền thống. So với thép, mô-đun LKD có khả năng giảm khối lượng kết cấu từ 30–50 %, đồng thời vẫn đảm bảo độ cứng vững và khả năng chịu tải cần thiết nếu được thiết kế hợp lý [27] [28]. Vật liệu composite như sợi carbon hoặc sợi thủy tinh gia cường không những có độ bền mỏi, khả năng kháng ăn mòn vượt trội mà còn cho phép tích hợp nhiều chức năng (dây điện, cách nhiệt, kết cấu) trong một mô-đun duy nhất, giúp tối ưu hóa quy trình sản xuất và giảm số lượng chi tiết lắp ráp [29] [30]. LKD cũng tồn tại một số nhược điểm, chủ yếu liên quan đến chi phí vật liệu cao, khó khăn trong sửa chữa sau va chạm và thách thức trong tái chế [28] [31]. Ngoài ra, quá trình thiết kế – chế tạo đòi hỏi chuyên môn cao về vật liệu composite và mô phỏng kết cấu. Do đó, công nghệ LKD phù hợp hơn với các ứng dụng yêu cầu khối lượng nhẹ, khả năng tích hợp cao và được sản xuất với sản lượng trung bình trở lên, chẳng hạn như xe điện thương mại, xe tải nhẹ hoặc xe chuyên dụng hiện đại [27] [32].

Một trong những yếu tố thiết kế quan trọng được áp dụng cho xe buýt điện cỡ nhỏ là trang bị bộ lên xuống dạng dốc (access ramp) nhằm hỗ trợ hành khách tiếp cận

xe dễ dàng hơn. Thiết kế này có thể hoạt động tự động, đáp ứng nhu cầu của người khuyết tật, người cao tuổi và phụ huynh có xe đẩy em bé. Bộ dốc được thiết kế với khả năng chịu tải tốt, bề mặt chống trượt và viền vàng dễ nhận biết, đảm bảo an toàn khi sử dụng. Đây là minh chứng rõ ràng cho định hướng thiết kế “thân thiện với người dùng” và “tiếp cận toàn diện” trong phát triển xe buýt điện cỡ nhỏ hiện đại.



Hình 3.5: Cầu lên xuống cho xe lăn

3.1.3. Lựa chọn các cụm dàn gầm cho xe buýt điện cỡ nhỏ

a) Lựa chọn cầu dẫn hướng bị động và cầu sau chủ động

Cầu dẫn hướng có kết cấu khác hẳn cầu chủ động của ô tô, các bánh xe lắp trên cầu dẫn hướng thông qua cam quay, có tác dụng tạo ra các hướng chuyển động hay quay vòng khác nhau theo mục đích của người lái. Ngoài ra, cầu dẫn hướng dùng để đỡ toàn bộ trọng lượng phần được treo của ô tô, tiếp nhận và truyền các lực tương tác giữa mặt đường và thân xe, cùng với hệ thống treo chịu các ngoại lực và mô-men khi xe chuyển động. Kết cấu của cầu dẫn hướng phụ thuộc vào kiểu loại hệ thống treo. Cầu dẫn hướng bị động của ô tô có thể có 2 loại: loại dầm cầu liền đi kèm là hệ thống treo phụ thuộc và loại dầm cầu cắt rời đi kèm là hệ thống treo độc lập. Loại dầm cầu liền có ưu điểm là kết cấu cứng vững, chịu được tải trọng lớn tuy nhiên, về độ êm dịu thì bị hạn chế. Trong đề tài này, tác giả lựa chọn loại dầm cầu cắt rời khi nó khắc phục được nhược điểm của loại trên, tạo cảm giác êm dịu cho hành khách.

Cầu sau tác giả lựa chọn loại dầm cầu liền kết hợp hệ thống treo phụ thuộc, nhằm mục đích chịu được tải trọng lớn. Vì động cơ điện và hộp giảm tốc được đặt phía sau. Để đáp ứng yêu cầu truyền động hiệu quả trong môi trường đô thị, việc lựa chọn cầu sau sẽ được tác giả lựa chọn tính toán chi tiết ở phần sau.

b) Lựa chọn hệ thống treo

Khi ô tô hoạt động trên các loại đường khác nhau sẽ tạo ra các giao động làm ảnh hưởng đến hành khách. Chính vì vậy, độ êm dịu của xe phụ thuộc rất nhiều vào kết cấu

và trước hết là phụ thuộc hệ thống treo. Kiểu loại hệ thống treo còn phụ thuộc vào kết cấu của bộ phận dẫn hướng hệ thống treo. Như đã lựa chọn ở trên, đối với trường hợp cầu trước, tác giả lựa chọn hệ thống treo độc lập kiểu MacPherson. Với ưu điểm giảm dao động và chấn động đạt tỷ lệ giảm chấn tối thiểu 40 %. Thiết kế này đảm bảo sự ổn định khi vận hành ở điều kiện đường đô thị phức tạp. Kết hợp với đó, hệ thống treo sau sử dụng loại lò xo cuộn và ty phuộc giảm chấn bằng thủy lực.

c) Lựa chọn hệ thống lái

Hệ thống lái của ô tô đảm bảo các bánh xe dẫn hướng di chuyển đáp ứng động học quay vòng của ô tô một cách ổn định. Đảm bảo quay vòng đúng về bên trái hay về bên phải ở tất cả các bán kính quay vòng của ô tô, hiệu suất lái cao, tổn thất ma sát ít, không truyền chấn động từ mặt đường lên vô lăng nhưng vẫn đảm bảo cảm giác lái, có khả năng ổn định bánh xe dẫn hướng khi quay vòng, đảm bảo độ tin cậy khi chuyển động lái. Đối với đề tài này, tác giả lựa chọn cơ cấu lái kiểu trực vít thanh răng và dẫn động lái có hình thang lái phân chia với hệ thống treo độc lập. Hệ thống lái trợ lực điện (EPS) và tích hợp bộ điều khiển điện tử (ECU), với mức tiêu thụ công suất tối đa 0,3 kW. Thiết kế này cải thiện độ chính xác và tốc độ phản hồi của tay lái, đồng thời loại bỏ sự phụ thuộc vào hệ thống thủy lực truyền thống, phù hợp với xu hướng tối ưu hóa năng lượng trên xe điện.

d) Lựa chọn hệ thống phanh

Hệ thống phanh có ảnh hưởng đến an toàn chuyển động của ô tô, ngoài các yêu cầu chung đối với kết cấu ô tô, hệ thống phanh phải đảm bảo các yêu cầu về hiệu quả phanh cao khi phanh đột ngột với cường độ lớn trong trường hợp nguy hiểm, phanh êm dịu, dẫn động phanh đảm bảo độ phản hồi nhanh, điều khiển nhẹ nhàng và phân bố lực phanh phù hợp. Các yêu cầu đối với hệ thống phanh được cụ thể hóa trong các tiêu chuẩn quốc gia. Đối với Việt Nam, Quy chuẩn QCVN 09:2015/BGTVT là “Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng kỹ thuật và bảo vệ môi trường đối với xe ô tô” quy định về hệ thống phanh tại mục 2.5, áp dụng trong việc kiểm định và cấp phép lưu hành phương tiện cơ giới đường bộ. Tiêu chuẩn TCVN 6919:2001 “quy định về Phương tiện cơ giới đường bộ - Thiết bị phanh của xe cơ giới, rơ moóc, bán moóc – Yêu cầu và phương pháp thử trong phê duyệt”.

Hệ thống phanh được sử dụng trong trường hợp này là phanh đĩa cho hai bánh trước và phanh tang trống cho hai bánh sau, đạt khả năng tản nhiệt tối đa 80 kW. Phanh tái sinh được tích hợp nhằm phục hồi khoảng 15 % năng lượng trong quá trình giảm tốc, kết hợp với hệ thống chống bó cứng phanh (ABS) và phân phối lực phanh điện tử (EBD) để đảm bảo an toàn tối ưu trong các tình huống vận hành đô thị.

3.2. Tính chọn động cơ điện.

3.2.1. Tính toán sức kéo

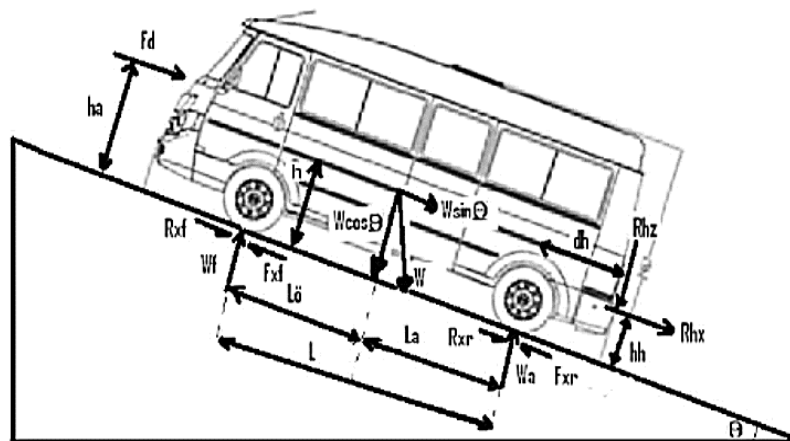
Các tính toán động lực học của phương tiện giao thông đường bộ dựa trên Định luật thứ hai của Newton. Công thức thể hiện mối quan hệ giữa khối lượng và gia tốc để tạo ra lực mà hệ có được tác giả tham khảo trong các tài liệu [18] [33] [34], ta có:

$$\sum F_x = m \cdot a_x \quad (3.1)$$

Trong đó: F_x là tổng lực theo phương x
 m là khối lượng của xe
 a_x là gia tốc theo phương x

Khối lượng xe được nghiên cứu trong các tính toán này đối với xe trống và xe đầy đủ hành khách và hành lý. Các giới hạn và hạn chế chủ yếu được thể hiện trong tính toán động lực học của xe. Chúng giúp hiểu được xe buýt nhỏ chạy điện có thể di chuyển như thế nào. Những giới hạn này ảnh hưởng trực tiếp đến thiết kế của xe. Tốc độ 30 km/h được coi là tốc độ danh nghĩa của xe buýt điện cỡ nhỏ trong phạm vi nội thành Tp.HCM. Các bộ phận của xe có thể được lựa chọn như động cơ điện, pin, hệ thống lái, vị trí các bộ phận trên thân xe,...

Các thành phần lực tác dụng lên xe được tác giả xây dựng như trong hình 3.6.



Hình 3.6: Lực tác dụng trực tiếp lên xe buýt điện cỡ nhỏ

Trong đó:

W là trọng lượng tác dụng lên trọng tâm của xe (kg)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ gia tốc trọng trường

W_f và W_a là lực động tác dụng lên bánh xe vuông góc với bề mặt bánh xe.

F_{xf} và F_{xr} là các lực tác dụng lên diện tích tiếp xúc giữa bề mặt đường và bánh xe.

F_d là lực cản khí động học

Nếu tốc độ xe không đổi, các thành phần lực có mối quan hệ như công thức dưới đây:

$$(W_f \cdot L) + (F_d \cdot h_a) + \left(\frac{W}{g} \cdot a_x \cdot h\right) + (R_{hx} \cdot d_h) + (R_{hz} \cdot d_h) + (W \cdot h \cdot \sin \theta) - (W \cdot L_a \cdot \cos \theta) = 0 \quad (3.2)$$

Hiệu suất tăng tốc của xe điện: Bị giới hạn bởi hai thông số đó là, hiệu suất tăng tốc có giới hạn công suất và hiệu suất tăng tốc hạn chế lực kéo.

Hiệu suất giới hạn lực kéo dựa trên hệ số ma sát tối đa (μ), R_{xf} và R_{xr} là các lực tác dụng lên bánh xe do ma sát. Lực kéo F_x được tạo thành từ các lực trên.

$$F_x = \mu \cdot R \quad (3.3)$$

$$F_{xf} = \mu \cdot R_{xf} \text{ (Đối với bánh trước)} \quad (3.4)$$

$$F_{xr} = \mu \cdot R_{xr} \text{ (Đối với bánh sau)} \quad (3.5)$$

F_x tỷ lệ thuận với tải trọng trên bánh xe.

Tính toán chọn công suất động cơ điện: Có 4 yếu tố chính ngăn cản sự chuyển động của phương tiện khi di chuyển trên đường gồm lực cản lăn, lực cản dốc, lực khí động học, lực gia tốc và tổng lực cản. Trong đó, tổng lực của xe được nhân với tốc độ của xe để hiệu được công suất cần thiết mà xe cần.

a. Lực cản lăn

Lực cản lăn biểu thị sự tổn hao công suất do biến dạng của lốp với đường, tổn hao do ma sát giữa đường với lốp và các dạng tổn thất khác có liên quan đến quá trình lăn của bánh xe. Lực cản lăn tạo ra lực bổ sung để di chuyển lốp xe. Do đó, có mối quan hệ trực tiếp giữa lực cản lăn và năng lượng cần thiết để xe di chuyển [33] [34].

Lực cản lăn được tính theo công thức sau:

$$F_{RR} = f_R \cdot G_a \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (3.6)$$

Trong đó: $f_R = f_o \cdot \left(1 + \frac{v^2}{1500}\right)$ là hệ số cản lăn.

m là khối lượng của xe;

f_0 là hệ số cản lăn ứng với vận tốc chuyển động của xe $V \leq 22,2$ (m/s).

f_0 được chọn là 0,013

Lực cản lăn của xe là:

$$F_{RR} = 0,0173 \cdot 4870 \cdot 9,81 \cdot 1 = 826,5 \text{ (N)} \quad (3.7)$$

b. Lựa chọn bán kính hiệu dụng của bánh xe [33] [34].

$$r_b = \lambda \cdot r_0 = 0,945 \cdot 0,391 \approx 0,37 \text{ (m)} \quad (3.8)$$

Trong đó: r_0 : bán kính thiết kế của bánh xe $r_0 = \frac{225 \cdot 75}{100} + \frac{444 \cdot 5}{2} = 391 \text{ (mm)}$

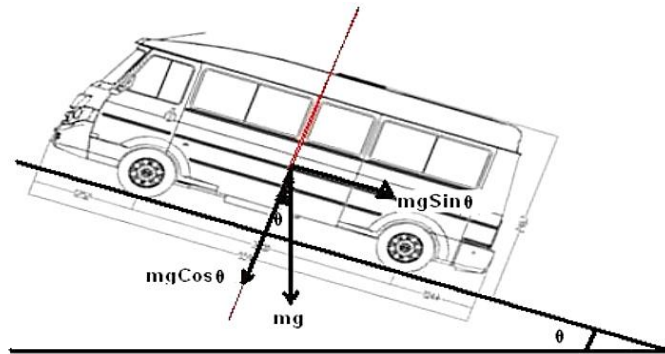
λ : hệ số tính đến ảnh hưởng của sự biến dạng lốp xe

Lốp áp suất thấp: $\lambda = 0,930 \div 0,935$

Lốp áp suất cao: $\lambda = 0,945 \div 0,950$

c. Lực cản lên dốc (F_i)

Lực cản lên dốc là lực cản dương hoặc âm của xe. Trong khi xe đi xuống, lực cản này là dương vì cùng chiều với chiều chuyển động của xe. Nó là âm khi xe đi lên dốc (hình 3.7) [33] [34].



Hình 3.7: Tải trọng tác dụng vào trọng tâm xe

Khối lượng của xe được mô tả là vuông góc với mặt đường và không vuông góc với bề mặt dốc (hình 3.7). Vector vuông góc này có hai thành phần là $(m \cdot g \cdot \cos \theta)$ và $(m \cdot g \cdot \sin \theta)$.

$m \cdot g \cdot \cos \theta$ là tải trọng tác dụng của khối lượng xe lên mặt dốc. Có một lực tác dụng lên lốp xe cùng chiều với chiều xe buýt điện cỡ nhỏ, Lực này bảo vệ xe khỏi bị lăn xuống. Vì vậy nên $(m \cdot g \cdot \sin \theta)$ được tác dụng ngược lại.

Lực cản lên dốc là một trong những thành phần của khối lượng xe và lực này được quyết định bởi độ dốc của xe.

$$F_i = G_a \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3.9)$$

Độ dốc của đường theo tiêu chuẩn cho phép thay đổi trong khoảng từ 5 - 26 %.
Độ dốc của đường được tính theo công thức sau:

$$i = \frac{C}{D} = \tan \theta \quad (3.10)$$

Trong đó: C là chiều cao lớn nhất của mặt dốc so với mặt đường.

D là chiều dài của dốc

Theo QCVN 10:2024/BGTVT “*Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng an toàn kỹ thuật và bảo vệ môi trường đối với ô tô khách thành phố*”, yêu cầu về khả năng leo dốc của xe buýt thành phố đảm bảo không nhỏ hơn 20 %, độ dốc lớn nhất xe vượt được khi đầy tải. Trong tính toán xe buýt điện cỡ nhỏ, độ dốc được tác giả chọn theo điều kiện đường xá tại TpHCM là 20 %.

Với góc dốc $\theta \leq \frac{\pi}{18}$ gần đúng có thể coi $\cos \theta \approx 1$ và $\sin \theta \approx \tan \theta = i$,

Ta có: $0,2 = \tan(\theta) \Rightarrow \theta \approx 11,31$ (độ)

Thay góc dốc vào công thức (3.9) ta được:

$$F_i = G_a \cdot g \cdot \sin(11,31) = 4870 \cdot 9,81 \cdot \sin(11,31) = 9369,4 \text{ (N)} \quad (3.11)$$

d. Lực cản không khí

Khi xe chuyển động trong môi trường không khí xuất hiện lực cản không khí tác dụng lên xe. Lực cản không khí bao gồm hai thành phần là lực cản chính diện, lực cản do ma sát giữa vỏ xe với không khí và giữa các lớp khí ở gần vỏ xe với nhau [33] [34].

Công thức tính lực cản không khí:

$$F_w = K.F.V_{\max}^2 \quad (3.12)$$

Trong đó: K là hệ số cản không khí, F là diện tích cản chính diện của ô tô và $V_{\max}$ là vận tốc cực đại của ô tô. Đối với xe vận tải khách $K = 0,25 \div 0,4 \text{ (Ns}^2/\text{m}^4)$; có thể chọn $K = 0,4 \text{ (Ns}^2/\text{m}^4)$

F có thể được tính theo công thức kinh nghiệm sau:

$$F = \alpha.B.H \quad (3.13)$$

Với: α : Hệ số cản chính diện, chọn $\alpha = 0,85$

B - chiều rộng cơ sở của ô tô, $B = 2,055 \text{ (m)}$

H - chiều cao lớn nhất của ô tô, $H = 2,380 \text{ (m)}$

Lực cản không khí của xe buýt điện cỡ nhỏ được tính ở vận tốc lớn nhất là 80km/h (22,22 m/s), thay số vào (3.12) và (3.13) ta được:

$$F_w = 0,4 \cdot 0,85 \cdot 2,055 \cdot 2,380 \cdot 22,22^2 \approx 821,02 \text{ (N)} \approx 0,821 \text{ kN} \quad (3.14)$$

e. Lực gia tốc.

Nếu người lái đạp ga khi xe bắt đầu chuyển động thì xe sẽ tăng tốc. Đường đi và các điều kiện môi trường gây ra một lực cản ngược chiều với gia tốc này có cùng giá trị, lực này gọi là lực gia tốc. Lực kéo dương được sử dụng để tăng tốc. Lực này được truyền từ đường truyền tới các bánh dẫn động và là lực tác dụng lên tốc độ gió, lực cản lăn,...Khối lượng xe được nhân với một hệ số gọi là hệ số khối lượng quay (λ) sinh ra do chuyển động quay của các bộ phận truyền lực [33] [34]. Vì vậy lực gia tốc được tính như sau:

$$F_a = \lambda \cdot m \cdot a \quad (3.15)$$

f. Tổng lực cản

Tổng lực cản được cấu thành bởi lực cản lăn, lực nghiêng, lực cản không khí và lực gia tốc. Lực cản lăn và lực nghiêng không phụ thuộc vào tốc độ của xe. Lực cản không khí và lực tăng tốc phụ thuộc vào tốc độ xe. Tổng lực cản có thể được xây dựng như sau [33] [34]:

$$F_{\Sigma} = F_{RR} + F_i + F_w + F_a \quad (3.16)$$

Tốc độ của xe được coi là không đổi khi xe đi lên dốc, nên lực gia tốc được xem là bằng không. Từ biểu thức (3.6); (3.9); (3.12) tính ra được tổng công suất cần thiết là:

$$F_{\Sigma} = F_{RR} + F_i + F_w \quad (3.17)$$

$$F_{\Sigma} = 826,5 + 9369,4 + 821,02 = 11016,92 \text{ (N)}$$

Kết quả tính toán được tác giả xây dựng và trình bày cụ thể trong Bảng 3.2 dưới đây.

Bảng 3.2: Tính năng lượng tiêu thụ của xe khi đi trên đường bằng

f_R	$F_{RR} \text{ (N)}$	$F_w \text{ (N)}$	$V \text{ (km/h)}$	$V \text{ (m/s)}$	$F_{\Sigma} \text{ (N)}$	$P \text{ (kW)}$
0,0130	621,07	0,00	0	0,00	621,07	0,00
0,0130	621,87	3,21	5	1,39	625,08	0,87
0,0131	624,27	12,83	10	2,78	637,10	1,77
0,0132	628,26	28,87	15	4,17	657,13	2,74
0,0133	633,85	51,32	20	5,56	685,17	3,81
0,0134	641,04	80,19	25	6,94	721,23	5,01
0,0136	649,82	115,48	30	8,33	765,30	6,38
0,0138	660,21	157,18	35	9,72	817,39	7,95

0,0141	672,19	205,30	40	11,11	877,49	9,75
0,0144	685,77	259,83	45	12,50	945,60	11,82
0,0147	700,94	320,78	50	13,89	1021,72	14,19
0,0150	717,71	388,14	55	15,28	1105,85	16,89
0,0154	736,08	461,92	60	16,67	1198,00	19,97
0,0158	756,05	542,11	65	18,06	1298,16	23,44
0,0163	777,62	628,72	70	19,44	1406,34	27,35
0,0168	800,78	721,75	75	20,83	1522,53	31,72
0,0173	825,54	821,19	80	22,22	1646,73	36,59
0,0178	851,90	927,04	85	23,61	1778,94	42,00
0,0184	879,85	1039,32	90	25,00	1919,17	47,98
0,0190	909,40	1158,00	95	26,39	2067,41	54,56
0,0197	940,55	1283,11	100	27,78	2223,66	61,77

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).

Ở điều kiện xe di chuyển trên đường bằng phẳng, công suất cần thiết lớn nhất là 37 (kW). Với công suất này, tốc độ tối đa là 80 (km/h) và tổng lực là 1646,73 (N)

3.2.2. Lựa chọn động cơ điện

Để lựa chọn động cơ điện phù hợp cho xe, cần phải đáp ứng các tiêu chí nhất định. Các tiêu chí chính được sử dụng để tính toán là độ dốc tối đa mà xe phải vượt qua khi lái đều ở tốc độ mong muốn, tốc độ tối đa mà xe phải đạt được và khả năng tăng tốc (nếu cần thiết) [18]. Khi tính toán công suất cần thiết trên bánh xe, phải kể đến sự mất mát do ma sát của hệ thống truyền lực. Do đó, hiệu suất của hệ thống truyền lực được lựa chọn phù hợp theo tài liệu, hiệu suất của hệ thống truyền lực là $\eta_t = 0,9$. Vậy công suất của động cơ điện là:

$$P_{EM} = \frac{P}{\eta_t} = \frac{37}{0,9} \approx 41 \text{ (kW)} \quad (3.18)$$

- Tiêu chí tốc độ cực đại: Sau khi thực hiện tính toán, thu được dữ liệu (bảng 3.2) cho thấy công suất cần thiết để xe đạt vận tốc 80 km/h là 37 kW.
- Tiêu chí leo dốc: Như đã đề cập, khả năng leo dốc của xe được tính toán ở độ dốc 20 % hay 11,31 độ và xe di chuyển với vận tốc đều, không đổi là 30 km/h. Khi đó công suất yêu cầu được tính toán như sau:

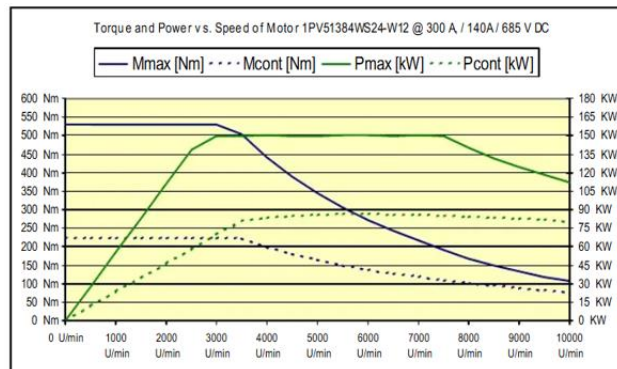
$$P_{\text{yêu cầu}} = \frac{F_{\Sigma} \cdot V}{\eta} = \frac{11016,92 \cdot 8,33}{0,9} \approx 101967,7 \text{ (W)} = 102 \text{ (kW)} \quad (3.19)$$

Từ giá trị công suất cực đại cần thiết để đạt vận tốc cực đại $V_{\max} = 80 \text{ km/h}$, thì công suất thực tế của động cơ phải lớn hơn từ 20 % đến 30 % vì phải tính đến các trang thiết bị phụ khác như máy điều hòa không khí, bơm nước làm mát động cơ điện cũng như các trang thiết bị khác như đèn, còi, motor cửa,... Tức là động cơ điện phải có công suất định mức trong khoảng: $P_{EM} \approx 80 \text{ (kW)}$

Như vậy, động cơ điện mà tác giả đã lựa chọn theo lý thuyết cho xe buýt điện cỡ nhỏ là động cơ cảm ứng AC được cung cấp bởi Siemens. Thông số kỹ thuật như (bảng 3.3). Và đồ thị Mô-men, công suất của động cơ được thể hiện trong (hình 3.8)

Bảng 3.3: Thông số của động cơ cảm ứng AC (1PV5138-4WS24) [20]

STT	Dữ liệu	Thông số	Đơn vị
1	Phương pháp làm mát	Dung dịch nước	
2	Điện áp định mức DC	650	V
3	Công suất định mức	85	kW
4	Công suất cực đại	150	kW
5	Mô-men xoắn định mức	220	Nm
6	Mô-men xoắn tối đa	530 tại 300	Nm – A
7	Dòng điện định mức	142	A
8	Tốc độ tối đa	10.000	Vòng/phút
9	Khối lượng	120	Kg
10	Kích thước (DxRxH)	510 x 245 x 245	mm
11	Nhiệt độ môi trường	-30 đến 70	Độ C
12	Cấp độ bảo vệ (Chống bụi, nước)	IP 65/9k	



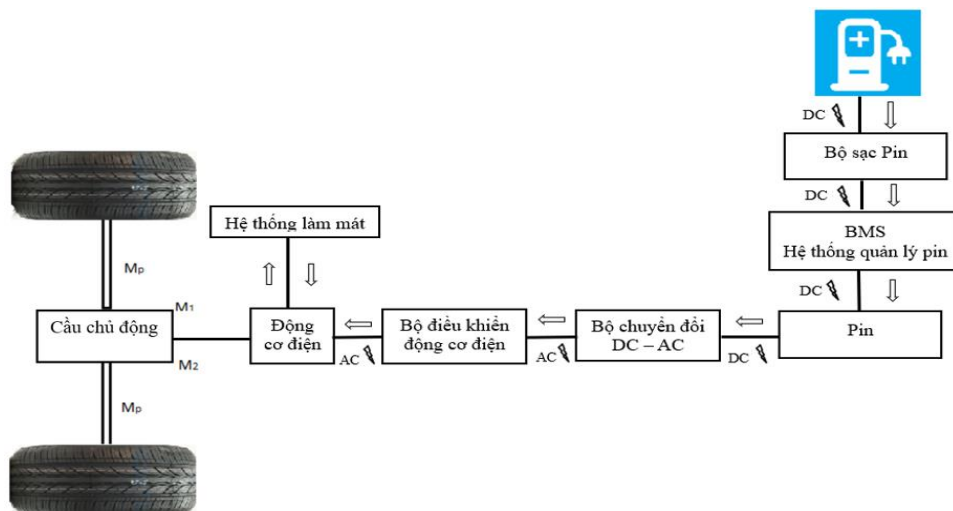
Hình 3.8: Động cơ điện 1PV5138 – 4WS24. Đồ thị mô-men xoắn và công suất so với tốc độ của động cơ điện [20]

3.3. Nghiên cứu bố trí chung và các tổng thành cho xe buýt điện cỡ nhỏ.

3.3.1. Bố trí chung cho xe buýt điện cỡ nhỏ

Việc bố trí tổng thể các cụm hệ thống, đặc biệt là hệ thống truyền lực, đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo hiệu suất vận hành, khả năng tối ưu hóa không gian cũng như giảm khối lượng tổng thể của xe. Khác với các hệ truyền động truyền thống sử dụng động cơ đốt trong (ICE), hệ truyền động điện mang lại khả năng linh hoạt cao trong bố trí, đồng thời giảm thiểu đáng kể sự phức tạp về mặt cơ khí. Dựa trên các cấu hình tiêu biểu được trình bày trong Chương 2: cơ sở lý thuyết (hình 2.1), có thể thấy xu hướng phát triển của hệ truyền lực điện là ngày càng đơn giản hóa cấu trúc, tích hợp cao giữa các cụm chức năng và hướng đến phân bố truyền động trực tiếp tại các bánh xe. Các bố trí này không chỉ giảm khối lượng và thể tích hệ truyền động mà còn góp phần nâng cao hiệu quả điều khiển, khả năng phản ứng và tính linh hoạt trong thiết kế không gian sàn xe – yếu tố rất quan trọng đối với các phương tiện vận tải hành khách đô thị có kích thước nhỏ gọn như xe buýt điện cỡ nhỏ [10] [18].

Việc lựa chọn phương án bố trí phù hợp cần được cân nhắc trên nhiều khía cạnh như đặc điểm quãng đường hoạt động, yêu cầu tải trọng, khả năng bảo trì, chi phí sản xuất và công nghệ hiện có nhằm đáp ứng các tiêu chí kỹ thuật, kinh tế và vận hành của xe buýt điện cỡ nhỏ. Hình 3.9 tác giả xây dựng thể hiện sơ đồ tổng quát của hệ thống truyền động xe buýt điện cỡ nhỏ.



Hình 3.9: Sơ đồ bố trí tổng quát hệ thống truyền động xe buýt điện cỡ nhỏ.

3.3.2. Lựa chọn cầu chủ động phù hợp.

Xe buýt điện cỡ nhỏ thường được sử dụng trong các tuyến đường đô thị với yêu cầu về khả năng tăng tốc, khả năng leo dốc và hiệu suất năng lượng cao. Trong thiết kế ô tô, thông thường các cụm tổng thành trên hệ thống truyền lực được lựa chọn phù hợp để lắp ráp [33]. Để đảm bảo hiệu suất, độ tin cậy và chi phí vận hành của phương tiện. Việc lựa chọn cầu chủ động và hộp số phù hợp là rất quan trọng. Khi lựa chọn cầu chủ động và hộp số cho xe buýt điện cỡ nhỏ, các kỹ sư cần xem xét các yếu tố như công suất động cơ, mô-men xoắn, tỷ số truyền, trọng lượng, kích thước và chi phí.

Vì mô-men xoắn của động cơ điện được truyền đến bánh xe thông qua cầu chủ động nên cần phải tính toán mô-men xoắn cực đại truyền đến bánh xe. Sử dụng lực kéo tối đa F_{Σ} là 13889,87 (N) cần thiết để xe vượt qua độ dốc 20 % ở tốc độ 30 km/h và bán kính động học của bánh xe r_d là 0,37 (m)

Mô-men xoắn cần thiết trên bánh xe dẫn động là:

$$M_b = F_{\Sigma} \cdot r_b = 11016,92 \cdot 0,37 = 4076,3 \text{ (N.m)} \quad (3.20)$$

Tính tỷ số truyền tổng cần thiết cho xe: So sánh mô-men xoắn tại động cơ (theo lý thuyết) và mô-men xoắn tại bánh xe

$$i_{\text{tổng}} = \frac{M_b}{M_{\text{max}} \cdot \eta} = \frac{4076,3}{530 \cdot 0,9} \approx 10 \quad (3.21)$$

Tính tốc độ góc của bánh xe ($\omega_{\text{bánh}}$) tương ứng với vận tốc 80 km/h và tỷ số truyền tổng ở kết quả (3.21), ta có: $V = 80 \text{ (km/h)} = 22,22 \text{ (m/s)}$

$$\omega_{\text{bánh}} = \frac{V}{r_b} = \frac{22,22}{0,37} \approx 60,1 \text{ (rad/s)} \quad (3.22)$$

$$n_{\text{bánh}} = \frac{44,44 \cdot 60}{2\pi} = 424,4 \text{ (vòng/phút)} \quad (3.23)$$

Từ (3.21); (3.23) tính tốc độ động cơ điện cần thiết ở vận tốc cực đại:

$$n_{\text{ĐC}} = i_{\text{tổng}} \cdot n_{\text{bánh}} = 10 \cdot 424,4 \approx 4244 \text{ (vòng/phút)} \quad (3.24)$$

Một trong những yêu cầu nêu trên mà xe phải đáp ứng là đạt tốc độ 80 km/h khi di chuyển trên đường bằng phẳng. Chọn tốc độ quay tối đa của động cơ điện ($n_{\text{el max}}$) mà công suất cực đại vẫn không đổi và ổn định là 7500 vòng/phút (hình 3.6). Sử dụng công thức (3.25) và sử dụng tỷ số truyền tổng được tính toán trong biểu thức (3.21), ta có tốc độ mà xe hiện có thể đạt được là:

$$V_{\text{max}} = \frac{n_{\text{el}} \cdot \pi \cdot r_b \cdot 3,6}{i_{\text{tổng}} \cdot 30} \approx 95 \text{ (km/h)} \quad (3.25)$$

Kết luận: Với tỷ số truyền tổng là 10 sẽ cho ra được tốc độ của xe khi xe hoạt động ở vận tốc phù hợp với yêu cầu vận hành đô thị của xe buýt điện cỡ nhỏ. Và không cần hộp giảm tốc trung gian vì vận tốc của xe thỏa mãn điều kiện hoạt động ổn định của động cơ ở công suất cực đại 3000 đến 7500 vòng/phút (hình 3.8). Do đó, cần lựa chọn loại cầu chủ động có tỷ số truyền tương đương phù hợp với điều kiện hoạt động của xe. Tác giả lựa chọn cầu chủ động Hande, loại cầu chủ động có tùy chọn tỷ số truyền từ 10 đến 11,45 phù hợp với tỷ số tính toán là 10. Đặc biệt loại cầu chủ động đã được ứng dụng tại Việt Nam trên một số mẫu xe buýt TMT và một số mẫu nhỏ dòng Thaco.

3.3.3. Lựa chọn Pin

Tính toán, lựa chọn khối pin phù hợp đóng vai trò then chốt trong thiết kế hệ thống truyền động điện cho xe buýt cỡ nhỏ, nhằm đảm bảo khả năng vận hành, phạm vi di chuyển và độ bền của phương tiện. Quá trình tính toán dựa trên việc xác định dung lượng năng lượng cần thiết (kWh) để đáp ứng các yêu cầu khai thác như quãng đường di chuyển mong muốn đạt $R_{des} = 130$ km, điều kiện vận hành, hiệu suất hệ thống truyền động và tỷ lệ dự phòng năng lượng. Trên cơ sở đó, cấu hình khối pin được thiết kế bằng cách lựa chọn loại cell pin có thông số phù hợp về điện áp danh định, dung lượng (Ah), tỷ lệ phóng điện (C-rate), hiệu suất và tuổi thọ chu kỳ [10] [18]. Và các công thức tính toán được tham khảo trên phần mềm Simcenter Amesim. Ở chương 2 tác giả đã lựa chọn loại pin LiFePO_4 cho dòng xe buýt điện cỡ nhỏ. Thông số cơ bản của mỗi cell LiFePO_4 có: Điện áp danh định là 3,22 V; Điện áp sạc đầy là 3,65 V; Điện áp xả là 2,0 – 2,5 V. Việc tính toán chi tiết còn bao gồm cân nhắc các yếu tố như khối lượng, thể tích, hệ số an toàn, hệ thống quản lý pin (BMS) và mức độ tương thích với hệ thống sạc nhanh, đồng thời đảm bảo khả năng làm mát và bảo trì thuận tiện.

a) Các thông số đầu vào cho tính toán gói pin gồm:

- + Công suất định mức động cơ điện: $P_{dm} = 85$ kW
- + Công suất max: $P_{max} = 150$ kW
- + Điện áp động cơ: $U_{dc} = 650$ V
- + Khối lượng toàn bộ của ô tô: 4870 kg
- + Vận tốc chuyển động (giả thiết ô tô chuyển động đều): 30 km/h.
- + Vận tốc tối đa: 80 km/h
- + Hiệu suất truyền động: $\eta = 0,9$

+ Độ sâu phóng điện: $DoD_{util} = 0,9$

+ Suất tiêu thụ ước tính (điều kiện xe minibus đô thị): $E = 0,984 \text{ kWh/km}$

- Ấc quy điện áp cao ngoài cung cấp cho hệ thống truyền lực còn cung cấp năng lượng cho hệ thống phụ trợ được tác giả xây dựng và thể hiện trong Bảng 3.4.

Bảng 3.4: Tổng hợp công suất phụ tải

Tải hoạt động liên tục	Số lượng	Công suất tối đa (W)
Máy nén của hệ thống điều hòa không khí	1	850
Bơm trợ lực lái	1	100
Tải hoạt động gián đoạn trong thời gian dài	Số lượng	Công suất tối đa (W)
Radio	1	15
Các đèn báo trên đồng hồ táp lô	2	2
Đèn kích thước	4	2
Đèn cốt	2	30
Đèn pha	2	40
Đèn soi biển số	1	1
Tải hoạt động gián đoạn trong thời gian ngắn	Số lượng	Công suất tối đa (W)
Đèn báo rẽ	4	10
Đèn sương mù	2	20
Quạt điều hoà nhiệt độ	2	80
Mô tơ phun nước rửa kính	1	20
Mô tơ gạt nước	1	50
Còi	1	40
Đèn lùi	2	10
Đèn sương mù	2	20
Motor điều khiển mở cửa xe	1	100
Tổng công suất các loại tải		1631 (W)

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025)

b) Tính toán lựa chọn pack pin

- Năng lượng cần cho phạm vi thiết kế đặt ra là 130 km,

$$E_{use} = E \cdot R_{des} = 0,984 \cdot 130 = 127,92 \text{ (kWh)} \quad (3.27)$$

- Tính toán năng lượng định mức của hệ pin cần thiết cho xe:

$$E_{sys,nom} = \frac{E_{use}}{DoD_{util}} = \frac{127,92}{0,9} = 142,133 \text{ (kWh)} \quad (3.28)$$

Trong ứng dụng xe buýt điện cỡ nhỏ, tác giả lựa chọn bộ pin có mã sản phẩm là D173F230-50S1P, được cung cấp từ nhà sản xuất CALB Group Co.,Ltd sản xuất pin cho động cơ của xe thương mại, xe buýt,... Thông số một pack pin D173F230-50S1P đã chọn được hiển thị trong bảng 3.5.

Bảng 3.5: Thông số kỹ thuật của một pack pin D173F230-50S1P

Thông số kỹ thuật	Giá trị
Mã sản phẩm	D173F230-1P50S
Điện áp danh định	160 V
Mã cell pin	L173F230
Cấu trúc vật liệu cell pin	Lithium Sắt Photphate (LiFePO ₄)
Khối lượng bộ pin	225 ± 6,8 kg
Dung lượng danh định	57 Ah
Năng lượng danh định	36.800 kWh
Nhà sản xuất	CALB Group Co., Ltd.

- Tính toán số pack cần thiết để đạt yêu cầu vận hành xe:

$$N_{\text{pack}} = \frac{E_{\text{sys,nom}}}{E_{\text{pack}}} = \frac{142,133}{36,8} = 3,86 \approx 4 \quad (3.29)$$

Kết luận: Để xe đạt được hiệu suất mong muốn ta cần có 4 pack pin và được kết nối dạng nối tiếp với nhau để đạt điện áp phù hợp

- c) Cấu hình điện và điện áp hệ thống pin

Điện áp mỗi pack (từ cell):

$$V_{\text{cell,nom}} \approx 3,22 \text{ V} \Rightarrow U_{\text{pack,nom}} = 50 \cdot 3,22 = 161 \text{ (V)} \quad (3.40)$$

Lắp 4 pack mắc nối tiếp (4S1P), ta có:

$$U_{\text{sys,nom}} = 4 \cdot U_{\text{pack,nom}} = 4 \cdot 161 = 644 \text{ (V)} \quad (3.41)$$

$$U_{\text{sys,max}} = 4 \cdot (50 \cdot 3,65) = 730 \text{ (V)} \quad (3.42)$$

$$U_{\text{sys,min}} = 4 \cdot (50 \cdot 2,80) = 560 \text{ (V)} \quad (3.43)$$

Ta thấy điện áp của động cơ điện là 650 V nằm trong dải điện áp max và pin.

Tổng năng lượng định mức khi nối 4 pack theo dạng nối tiếp là:

$$E_{\text{sys}} = 4 \cdot E_{\text{pack}} = 4 \cdot 36,8 = 147,2 \text{ (kWh)} \quad (3.44)$$

- d) Kiểm tra công suất – dòng – C-rate của hệ thống pin

- Công suất trung bình trên hành trình. Giả sử xe vận hành trung bình $V_{\text{avg}} = 35$ (km/h) ở điều kiện đường đô thị:

$$P_{avg} = e \cdot V_{avg} = 0,984 \cdot 35 = 34,44 \text{ (kW)} \quad (3.45)$$

- Công suất lấy từ pin:

$$P_{bat,avg} = \frac{P_{avg}}{\eta} = \frac{34,44}{0.9} = 38,27 \text{ (kW)} \quad (3.46)$$

- Dòng trung bình tại $U_{sys,nom}$:

$$I_{avg} = \frac{P_{bat,avg}}{U_{sys,nom}} = \frac{38,27 \cdot 1000}{644} = 59.43 \text{ (A)} \quad (3.48)$$

- C-rate trung bình:

$$C_{avg} = \frac{I_{avg}}{C_{pack}} = \frac{59.43}{230} = 0,258 \text{ C} \quad (3.49)$$

Xét hiệu suất công suất cực đại từ pin:

$$P_{bat,max} = \frac{P_{max}}{\eta} = \frac{150}{0.9} = 166.66 \text{ (kW)} \quad (3.50)$$

Dòng điện cực đại và C-rate cực đại theo hiệu suất lớn nhất:

$$I_{max} = \frac{P_{bat,max}}{U_{sys,nom}} = \frac{166.66 \cdot 1000}{644} = 258.79 \text{ (A)} \quad (3.51)$$

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{C_{pack}} = \frac{258.79}{230} = 1.12 \text{ C} \quad (3.52)$$

Đánh giá: các giá trị C-rate (0,26 C trung bình và 1.12 C đỉnh) đều nằm trong giới hạn an toàn của cell LiFePO₄, 230 Ah (thường cho phép ~ 1 C liên tục, 2 - 3 C ngắn hạn với làm mát tốt)

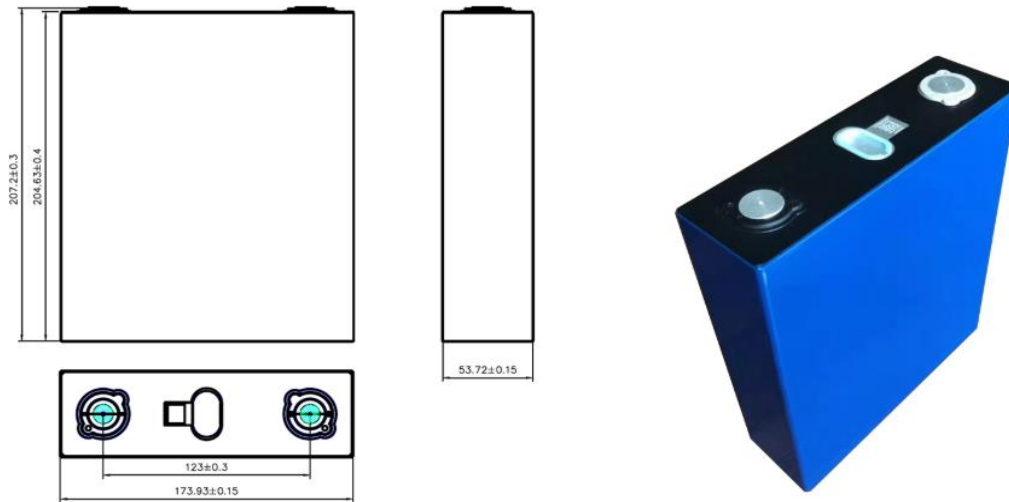
- Khối lượng hệ thống pin và tỷ lệ trên tổng xe

Khối lượng mỗi pack: $m_{pack} \approx 225$ (theo datasheet), ta có: $m_{bat} = 4 \cdot 225 = 900 \text{ (kg)}$

Tỷ lệ so với tổng trọng lượng:

$$\frac{m_{bat}}{m_{veh}} = \frac{900}{4870} = 0,18 = 18 \% \Rightarrow \text{phù hợp với khối lượng của xe buýt điện cỡ nhỏ.}$$

Mỗi pack pin có 50 cell được mắc nối tiếp, kích thước của cell pin được thể hiện trong hình 3.10 và thông số kỹ thuật của cell pin được thể hiện trong bảng 3.6. Trong một pack các cell pin được bố trí thành ba hàng, mỗi hàng được ghép từ 16 cell pin. Kích thước tổng thể của một pack pin bao gồm cả hệ thống làm mát và các chi tiết vỏ của pack pin cho xe buýt điện cỡ nhỏ là: 924 x 562 x 257 (mm) - (DxRxH).



Hình 3.10: Kích thước của 1 cell pin mã L173F230

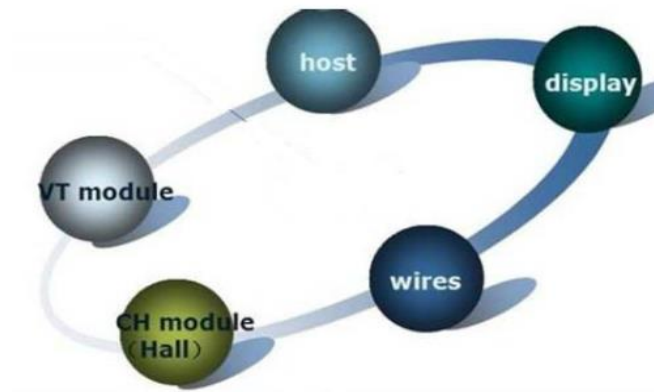
Bảng 3.6: Thông số kỹ thuật của cell pin L173F230

STT	Dữ liệu	Thông số	Đơn vị
1	Mô-đun	L173F230	
2	Điện áp định mức	3,2	V
3	Công suất danh nghĩa	57	Ah
4	Kích thước (DxRxC)	173,4 x 53,7 x 207,2	mm
5	Sức trở kháng bên trong	0,3	mΩ
6	Thời gian sạc tiêu chuẩn	~ 4	Giờ
7	Thời gian sạc nhanh	~ 1	Giờ
8	Dòng điện sạc/xả liên tục tối đa	230,000	A(1C)
9	Nhiệt độ sạc	0 ~ 55	Độ C
10	Nhiệt độ xả	-36 ~ 65	Độ C
11	Khối lượng	1,61	kg
12	Vật liệu vỏ	Nhôm	
13	Vòng đời	≥ 4000	Chu kỳ

e) Hệ thống BMS

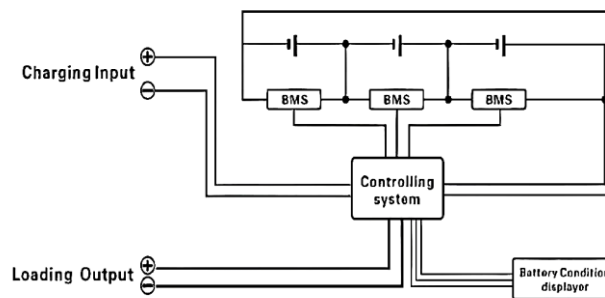
BMS là hệ thống quản lý pin kiểm soát các bộ pin. Tiêu chí quan trọng để lựa chọn hệ thống BMS là điện áp, giá trị dòng điện và số lượng cell mà nó điều khiển. Tiêu chí còn lại là dung lượng báo cáo tức là thuộc tính của các ô mà hệ thống BMS có thể ghi lại. Trong ứng dụng xe buýt điện cỡ nhỏ, BMS sẽ ghi lại tất cả trạng thái của các giá trị điện tích, nhiệt độ, điện áp và dòng điện của các ô. Quá trình này có thể được thực hiện không chỉ trong tình huống sạc mà còn cả tình huống xả. Hệ thống quản lý pin trong ứng dụng xe buýt điện cỡ nhỏ bao gồm Host là bộ điều khiển chính cho các cell pin, CH

là mô-đun dòng điện bảo vệ hệ thống khởi hiệu ứng Hall, VT là mô-đun điện áp, nhiệt độ và màn hình hiển thị để xem xét kết quả (hình 3.11).



Hình 3.11: Cấu trúc hệ thống BMS

Mối quan hệ giữa hệ thống điều khiển và BMS: Hệ thống quản lý pin có thuật toán điều khiển như hình 3.12.



Hình 3.12: Mối quan hệ giữa hệ thống điều khiển và BMS

Đầu vào sạc trong hệ thống hoạt động khi pin được sạc và nó được liên kết với hệ thống điều khiển. BMS được hệ thống điều khiển đảm nhiệm. Display là màn hình để xem tình trạng trên hệ thống. Tải tại đầu ra là công suất để di chuyển xe được gửi khi hệ thống hoạt động. Hệ thống có thể kết nối song song hoặc nối tiếp, trong ứng dụng xe buýt điện cỡ nhỏ, các ô được mắc nối tiếp và các mô-đun BMS cũng được nối tiếp. Hệ thống BMS có một mạch điện tử để theo dõi và ngăn chặn các ô bị hư hỏng do sạc quá mức và xả quá mức.

3.3.4. Hệ thống điều khiển

a. Bộ điều khiển

Thiết kế điều khiển phương tiện của xe buýt điện cỡ nhỏ được thực hiện bằng Microautobox D-space 1401 và giao tiếp qua mạng Control Area Network (CAN) được

sử dụng để truyền tải các thuật toán điều khiển với nhau. Bộ điều khiển xe Microautobox D-space 1401 được thể hiện trên hình 3.13.



Hình 3.13: Bộ điều khiển xe

Trước hết, việc điều khiển phương tiện và thiết kế của nó bao gồm các thuật ngữ cơ bản. Nếu kỹ sư ứng dụng không thể hiểu chính xác các thuật ngữ này thì có thể có vấn đề chính ở thiết kế điều khiển mềm và thiết kế điều khiển nhúng. Các thuật ngữ bao gồm: Bộ chuyển đổi số tương tự (ADC) là thuật ngữ cho phép đầu vào analog chuyển đổi đầu ra kỹ thuật số. Bộ chuyển đổi tương tự số (DAC) cung cấp cho bộ điều khiển hệ thống DAQ hoàn chỉnh, với chiết áp được gắn vào bàn đạp ga, có ba chân cắm nối đất, chiết áp có sự chênh lệch điện áp giữa mặt đất và DAC nên DAC có thể được mô tả là nguồn của hệ thống DAQ này cho phép cung cấp điện áp. Bộ xử lý tín hiệu số (DSP) là bộ xử lý tín hiệu số, là bộ điều khiển phương tiện trong hệ thống này. Đầu ra số (DO).

b. Bộ điều khiển chính của BMS

Máy chủ cung cấp CAN Bus được sử dụng để kết nối với bộ điều khiển của phương tiện. Bộ điều khiển chính của BMS có 7 kết nối trên phần cứng được giải thích trong (hình 3.14) về điện áp nguồn, giao diện CAN, kết nối RS và giao diện USB. Bộ điều khiển này cho phép lưu trữ tất cả dữ liệu.

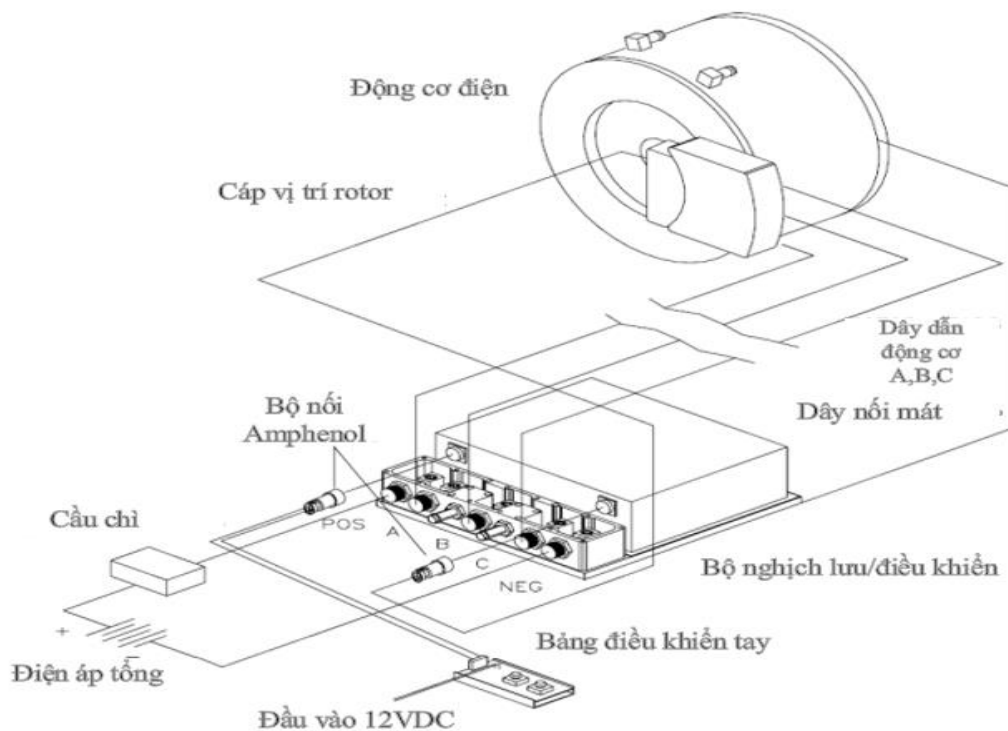


Hình 3.14: Bộ điều khiển chính BMS [28]

- Trong đó:
- 1 – là kết nối điện áp nguồn 12 volt và được kích hoạt bằng pin.
 - 2 – là kết nối thêm 7 chân ra.
 - 3 – là giao tiếp truyền thống CAN có 4 chân.
 - 4 – là giao diện giao tiếp của mô-đun thu thập dữ liệu và đầu ra cảnh báo tiếng bíp.
 - 5 – là điện áp đầu ra DC là 3 pin và được cung cấp bởi 12 volt.
 - 6 – là kết nối RS 422 với giao diện giao tiếp màn hình cảm ứng
 - 7 – là giao diện USB cho phép tải dữ liệu xuống máy chủ.

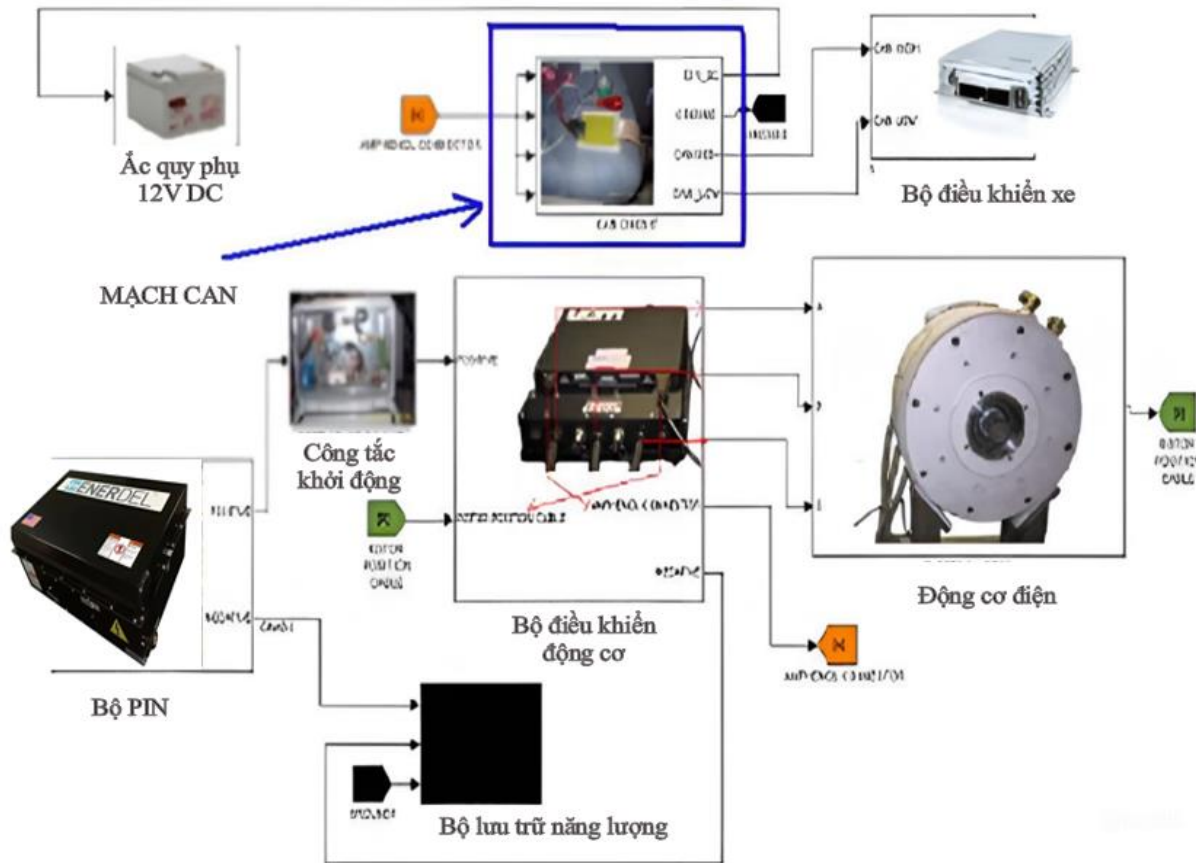
c. Kết nối điện

Các kết nối điện của động cơ và bộ điều khiển có thể được hiển thị trong (hình 3.15). Dây dẫn động cơ A, B và C là các kết nối ba pha từ động cơ đến bộ điều khiển động cơ. Đầu nối Amphenol cho phép hai kết nối khác nhau. Một trong số đó là cấp định vị rotor cung cấp thông tin vị trí rotor và cáp còn lại đến bàn điều khiển bằng tay.



Hình 3.15: Đầu nối điện

Các giao diện mạch điện và các kết nối cần thiết được đánh dấu để kết nối các hệ thống của xe. Các tín hiệu bao gồm kết nối RS, kết nối CAN, điện áp nối đất và cung cấp tín hiệu 12 V DC. Các tín hiệu này được kết nối với hệ thống trên xe bằng mạch CAN, được thể hiện như sơ đồ (hình 3.16)



Hình 3.16: Mạch CAN trong hệ thống trên xe

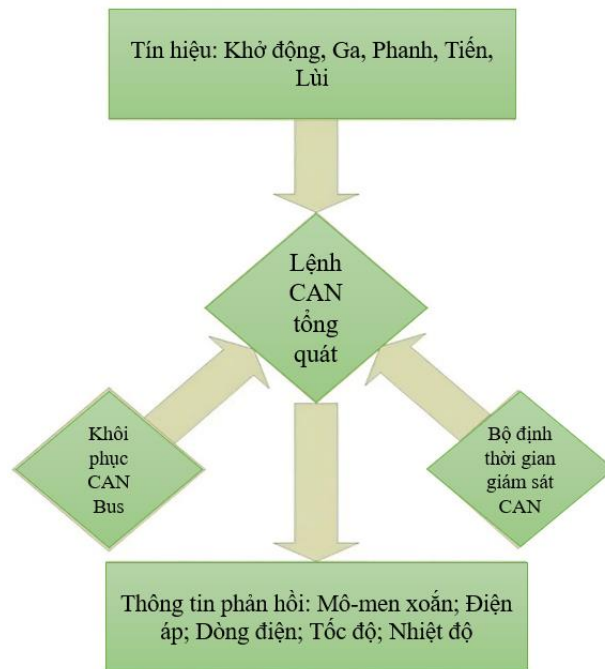
Nguyên lý làm việc của xe buýt điện cỡ nhỏ: Các kết nối của các bộ phận trên xe (tức là động cơ điện và bộ điều khiển, pin và dSpace Microautobox) được thể hiện trong Hình 3.17. Động cơ điện (IM) là 1PV5135 – 4WS24 có kết nối ba pha với bộ điều khiển của nó được cung cấp bởi pin DC Lithium iron phosphate. Tín hiệu giữa bộ điều khiển động cơ điện và EM được xác định bằng cấp vị trí rotor, giao tiếp CAN với Microautobox được cung cấp với một đường dây khác mang thông tin thấp CAN high và CAN, mặt đất của người dùng, điện áp 12 V DC và kết nối RS 232. Pin được kết nối với mạch khởi động mềm được thiết lập để tránh dòng khởi động cao vào biến tần như trong Hình 3.17 Vấn đề này xuất phát từ điện tích điện dung bên trong

Trong (hình 3.17), công tắc Y1 và điện trở R1 cho phép sạc các tụ biến tần bên trong trước khi đóng công tắc chính Y2. Có thể thấy cầu chì và mạch khởi động có nhiệm vụ tránh dòng điện cao bảo vệ động cơ cũng như bộ điều khiển động cơ. Mạch khởi động được hiển hiện bên dưới trong hình 3.17 dưới dạng sơ đồ bố trí.

d. Hệ thống làm mát

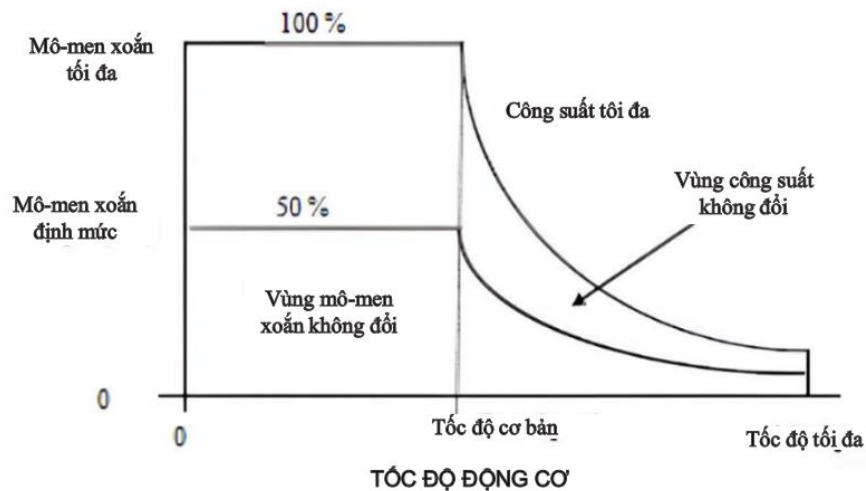
Hình 3.18: Sơ đồ hệ thống làm mát

e. Thiết kế hệ thống điều khiển

**Hình 3.19: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển**

D-Space Microautobox được sử dụng để điều khiển xe yêu cầu cung cấp điện trong phạm vi từ 6 VDC đến 40 VDC, do đó pin gel 12 VDC được sử dụng. Các Quá trình thiết kế bộ điều khiển xe có thể được đánh giá trong hai phần: Điều khiển cơ bản của phương tiện chẳng hạn như lái xe tiến lùi, bắt đầu chuyển động, cắt điện áp và Mạng truyền thông phương tiện (cụ thể là Giao tiếp CAN). Lúc đầu, tín hiệu xe được truyền dưới dạng lệnh phổ quát và sau đó chúng được xử lý bằng mạng điều khiển. Các thao tác cơ bản được thiết kế và gửi đến khối lệnh chung trong hộp công cụ D-Space như trong hình 3.19. Tín hiệu gia tốc được kích hoạt bởi một chiết áp xác định tốc độ xe và tín hiệu phanh đến từ bàn đạp phanh cho phép xe dừng lại. Ngoài ra, lệnh khởi động được sử dụng để cung cấp điện áp pin (330 VDC) cho EM để chuẩn bị cho xe chạy. Các tín hiệu tiến và lùi ra lệnh cho xe theo hướng tiến và lùi. Tất cả các tín hiệu này và những tín hiệu khác được chuyển từ các khối lệnh được kết nối với chân Microautobox đến khối lệnh tổng quát. Lệnh tổng quát là một khối giao tiếp CAN bao gồm các loại điều khiển là điều khiển mô-men xoắn, điều khiển điện áp hoặc điều khiển tốc độ được truyền tín hiệu dưới dạng gói thông tin. Khi các lệnh là xử lý các phản hồi Thông tin là cần thiết để hiểu các điều kiện như điện áp, mô-men xoắn, tốc độ, dòng điện, nhiệt độ.

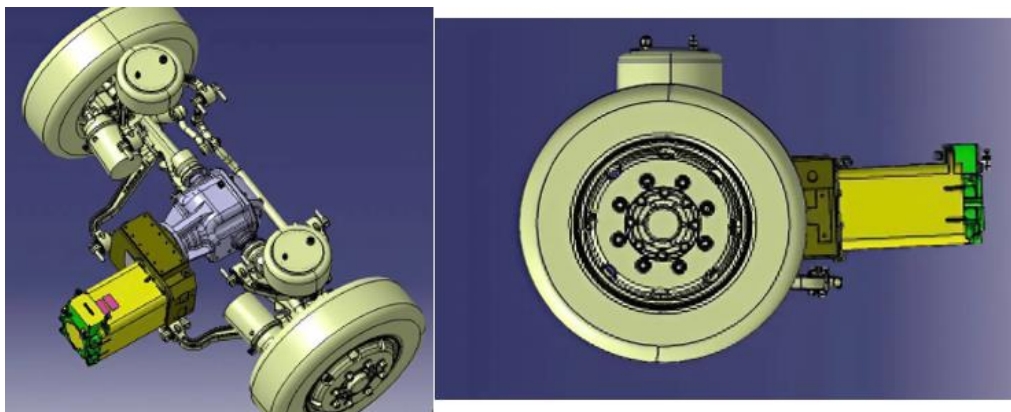
Chế độ điều khiển xe buýt điện cỡ nhỏ là kiểm soát mô-men xoắn nhờ chân ga và chân phanh. Khi chân ga lớn hơn 0 và phanh nhỏ hơn 0, cấu hình mô-men xoắn cho mức lệnh đầu vào 100 % được hiển thị bên dưới, trong hình 3.20. Đường cong mô-men xoắn cho phép tính toán mô-men xoắn đầu ra mong muốn. Về cơ bản nó phụ thuộc vào lệnh đầu vào đã cho. Lệnh mô-men xoắn trong hình 3.20 hiển thị mô-men xoắn đang chạy ở mức lệnh 100 % và 50 %. Lệnh mô-men xoắn có liên quan đến tốc độ động cơ, nếu tỷ lệ phần trăm đầu vào nhỏ hơn 100 % thì mô-men xoắn cực đại sẽ giảm dựa trên tỷ lệ phần trăm của lệnh đầu vào [18].



Hình 3.20: Cấu hình mô-men xoắn với lệnh đầu vào 100 %

3.3.5. Thiết kế bố trí trên xe buýt điện cỡ nhỏ

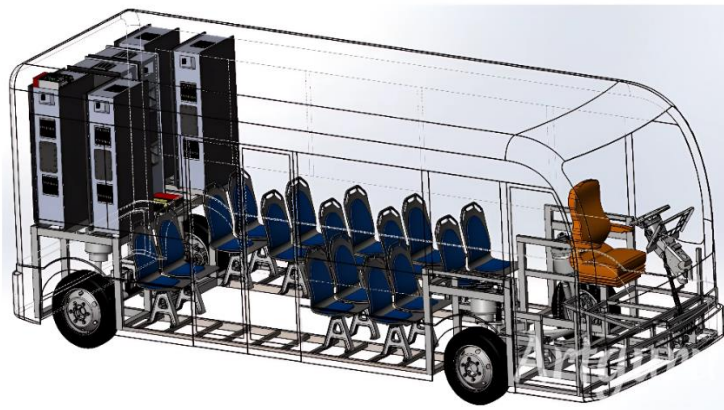
Lựa chọn hệ thống treo, cầu chủ động cho cầu sau phù hợp và việc bố trí kết hợp động cơ điện đặt ở cầu sau như (hình 3.21), nhằm thiết kế cấu trúc gọn giúp giảm tối đa chiều dài tổng thể phía sau, từ đó giúp xe buýt cỡ nhỏ đạt được yêu cầu sàn xe thấp và cấu trúc phần nhô ra phía sau ngắn.



Hình 3.21: Phương án bố trí động cơ điện cầu sau chủ động

Vấn đề quan trọng hơn hết là việc sắp xếp bố trí hệ thống pin sao cho phù hợp. Dưới đây là một số vị trí lắp đặt hệ thống pin có thể có trên xe buýt điện cỡ nhỏ. Phân tích chi tiết về ưu điểm và nhược điểm của từng kiểu bố trí để lựa chọn vị trí phù hợp nhất cho hệ thống pin.

Phương án 1 (hình 3.22): Tất cả các khối pin được đặt phía sau xe. Ưu điểm, khoang hành khách tối thiểu bị chiếm bởi hệ thống truyền động, trọng tâm của xe buýt điện cỡ nhỏ nằm cao hơn và gần trục sau hơn, chiều cao của khoang hành khách vẫn được giữ nguyên, sàn thấp được bảo quản. Nhược điểm, chiếm diện tích hàng ghế phía sau, phân bố trọng lượng không đồng đều, do trọng tâm cao nên xe mất tính ổn định.



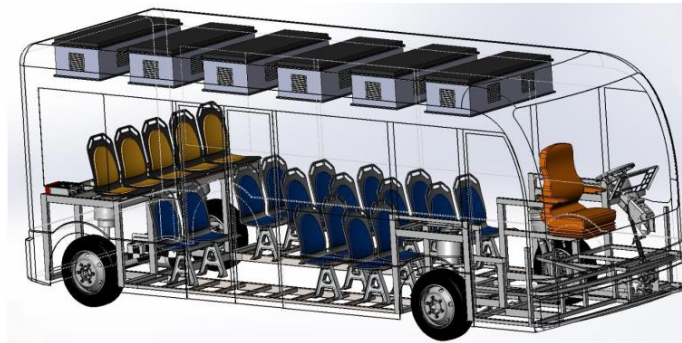
Hình 3.22: Khối pin bố trí phía sau xe

Phương án 2 (hình 3.23): Bố trí hệ thống pin dưới sàn. Việc bố trí hệ thống pin dưới sàn xe là một lựa chọn thiết kế phổ biến trong các dòng xe buýt điện cỡ nhỏ nhờ những ưu điểm vượt trội về phân bố trọng lượng và tối ưu hóa không gian nội thất. Cụ thể, khi pin được đặt dưới sàn, trọng tâm của xe được hạ thấp đáng kể, từ đó cải thiện tính ổn định khi vận hành, đặc biệt trong các tình huống vào cua hoặc di chuyển ở tốc độ cao. Ngoài ra, cách bố trí này giúp giải phóng không gian trong khoang hành khách, tạo điều kiện thuận lợi cho thiết kế sàn phẳng, hỗ trợ tiếp cận dễ dàng cho hành khách, đặc biệt là người khuyết tật hoặc người cao tuổi. Tuy nhiên, bố trí pin dưới sàn cũng tồn tại một số nhược điểm nhất định. Thứ nhất, yêu cầu về không gian dưới khung gầm khiến cấu trúc sàn xe phải được thiết kế gia cường, từ đó làm tăng khối lượng và chi phí chế tạo. Thứ hai, hệ thống pin đặt gần mặt đất dễ bị ảnh hưởng bởi điều kiện môi trường như ngập nước hoặc va đập từ bên dưới, do đó cần các giải pháp bảo vệ cơ khí và cách điện nghiêm ngặt. Việc bảo trì hoặc thay thế pin cũng trở nên phức tạp hơn do vị trí lắp đặt khó tiếp cận.



Hình 3.23: Khối pin bố trí phía sau và dưới ghế hành khách

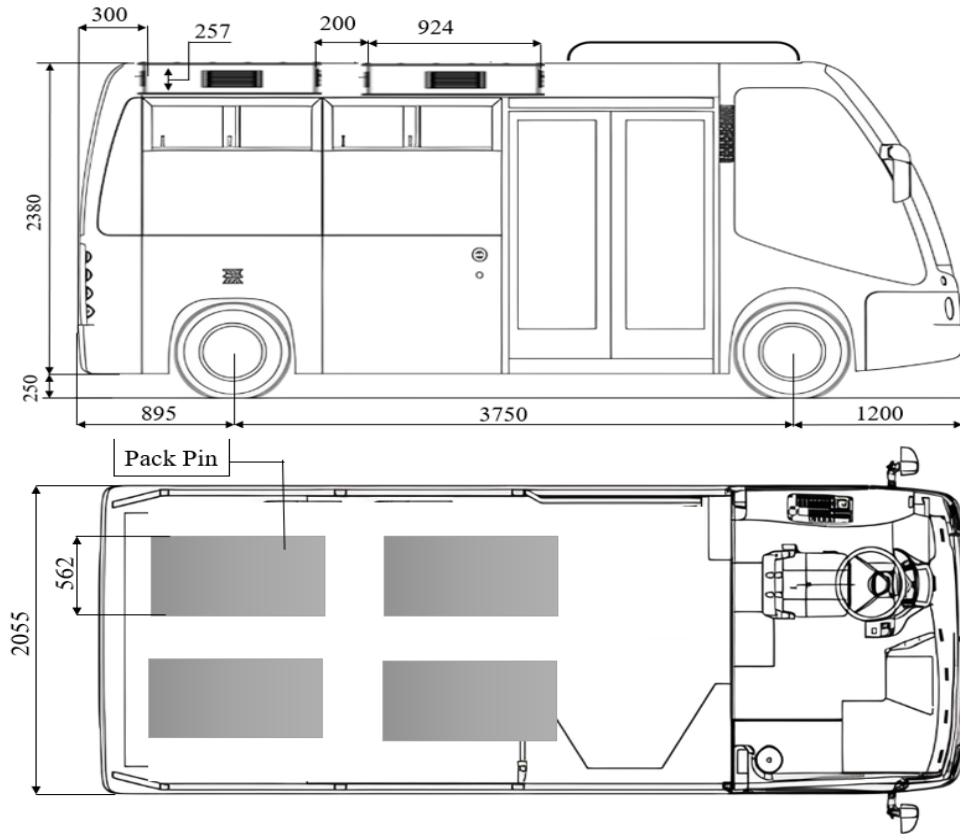
Phương án 3 (hình 3.24): Bố trí hệ thống pin trên trần của xe buýt điện cỡ nhỏ. Ưu điểm, có thể chứa nhiều ghế hơn, trọng lượng phân bố trên xe đều hơn hai loại trước, ngoài ra việc bố trí hệ thống pin trên trần xe giúp giữ được thiết kế sàn xe thấp phù hợp cho xe lăn và người cao tuổi. Việc làm mát, thay thế và bảo trì hệ thống pin cũng dễ dàng hơn. Tránh cho hệ thống pin tiếp xúc trực tiếp với nước khi xe di chuyển trên những cung đường ngập nước. Nhược điểm trọng tâm cao hơn, làm hạn chế sự ổn định. Tuy nhiên, điều kiện xe buýt điện cỡ nhỏ hoạt động không cần di chuyển với vận tốc lớn, nên vấn đề này không ảnh hưởng đáng kể.



Hình 3.24: Bố trí khối pin trên trần xe

Tổng kết, cân nhắc ưu điểm và nhược điểm của các phương án, tác giả lựa chọn bố trí hệ thống pin cho xe buýt điện cỡ nhỏ, đảm bảo điều kiện sàn xe thấp. Nếu chiều cao của xe vẫn giữ nguyên và pin được đặt trên mui xe thì chiều cao của không gian đứng sẽ bị giảm, nhưng chiều cao của khoang hành khách là 2.380 mm và chiều cao của khối pin là 257 mm, sau khi trừ đi là 2.123 mm. Nếu tính đến độ dày của ván khuôn ngăn cách pin và khoang hành khách, thì chiều cao khoang hành khách là khoảng 2.000 mm, khá phù hợp với chiều cao trung bình của người ở Việt Nam. Ngoài ra, việc bố trí pin trên mui xe còn gặp phải một số nhược điểm như trọng tâm của xe cao, làm giảm sự

ổn định của xe. Tuy nhiên, vì là xe buýt hoạt động trong khu đô thị có hệ thống đường hẹp, nhỏ nên không cần đảm bảo vận tốc cao do đó mà nhược điểm này không ảnh hưởng đáng kể đến hoạt động của xe. Hình 3.25 thể hiện bản vẽ 2D mô phỏng vị trí bố trí bộ pin cho xe buýt điện cỡ nhỏ theo lựa chọn của tác giả.

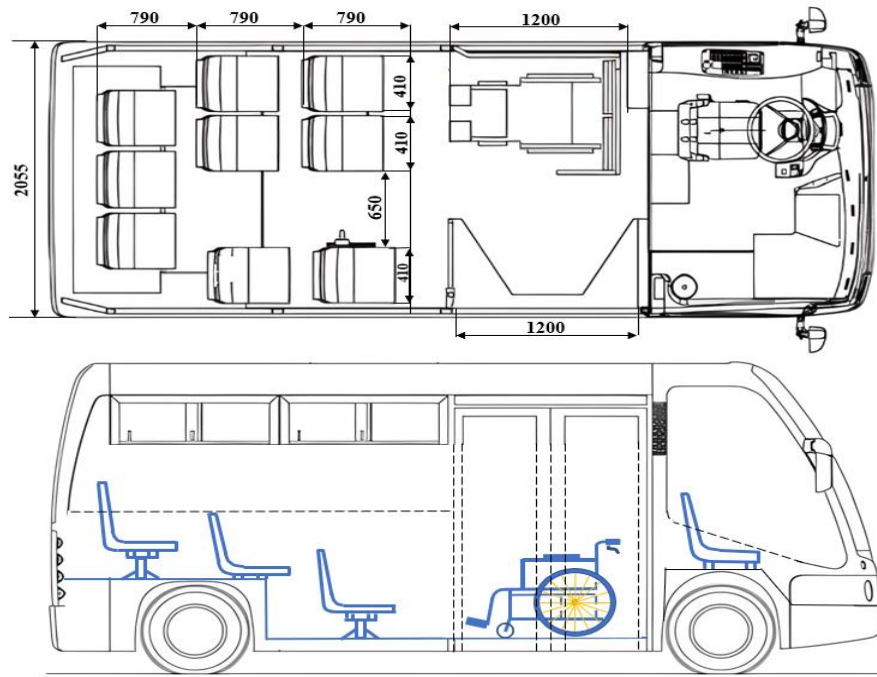


Hình 3.25: Bản vẽ 2D bố trí pin trên mũ xe

Việc bố trí khoang khách cũng được thay đổi cho phù hợp với điều kiện hoạt động của xe buýt nội thành, hành khách thường xuyên lên xuống và xe chỉ có 1 cửa.

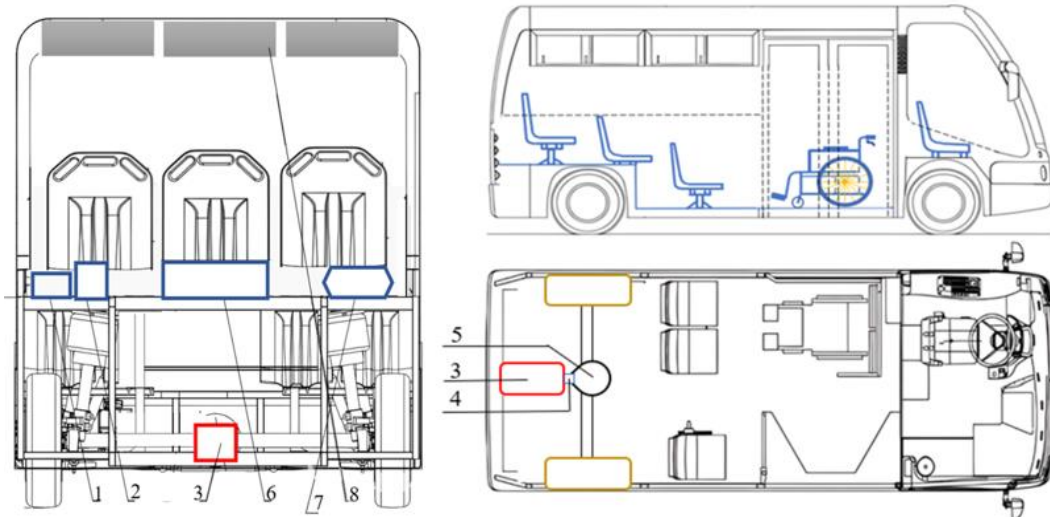
Những nội dung cần bố trí trên khoang khách như sau:

- Toàn bộ ghế hành khách sử dụng bằng ghế nhựa, loại chuyên dùng cho xe buýt nội thành.
- Khoang hành khách được thiết kế với chiều rộng (lọt lòng) 1900 mm. Ghế được bố trí thành hai dãy, phía bên trái (bên tài xế) được bố trí ghế đôi, phía bên phải được bố trí dãy ghế đơn với bước ghế 7900 mm (22TCN302-06). Ở giữa là lối đi có bề rộng 650 mm.
- Cửa lên xuống điều khiển điện, dẫn động thủy lực có kết cấu 02 cánh gập.
- Vị trí của người ngồi xe lăn đặt sau ghế tài xế
- Bố trí cầu lên xuống cho xe lăn ở cửa ra vào.



Hình 3.26: Bản vẽ 2D bố trí vị trí ghế hành khách trên xe

Trên cơ sở lựa chọn các cụm chi tiết và vị trí bố trí các bộ phận đặc biệt là động cơ điện, bộ pin và các bộ phận khác liên quan, tác giả phác thảo vị trí bố trí các cụm chi tiết như trên hình 3.27.



Hình 3.27: Bản vẽ mặt cắt dọc và mặt cắt ngang thể hiện bố trí các cụm chi tiết

Các chi tiết trong (hình 3.26) gồm:

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 – Bộ chuyển đổi DC/DC | 2 – Bộ điều khiển động cơ |
| 3 – Động cơ điện | 4 – Trục các đăng |
| 5 – Cầu chủ động | 6 – Bộ chuyển đổi DC/AC |
| 7 – Bộ sạc | 8 – Pin |

3.3.6. Xác định phân bố trọng lượng ô tô

Tham khảo công thức tính toán trong giáo trình [33], trên cơ sở kích thước và kết cấu của khung vỏ xe, các số liệu của trọng lượng ô tô cơ sở có thể xác định được phân bố trọng lượng của ô tô lên các cầu xe khi đầy tải [26].

- Trọng lượng không tải W_0
- Trọng lượng hành khách W_n
- Trọng lượng toàn bộ của ô tô: $W = W_0 + W_n = W_0 + A \cdot (n + m + 2) = 4870 \text{ kg}$ (3.28)

A – Trọng lượng trung bình của 1 hành khách: 70 kg/người

n – số chỗ ngồi; m – số chỗ đứng

$$\Rightarrow W_0 = 4870 - 70 \cdot (10 + 5 + 1) = 3750 \text{ kg} \quad (3.29)$$

- Hiệu suất truyền lực: $\eta_{tl} = 0.9$

Tính toán phân bố tải của ô tô ra các trục bánh xe, đối với ô tô một cầu sau chủ động.

Trường hợp đầy tải G_a :

$$+ \text{ Cầu trước: } G_{1a} = (0,32 \div 0,45) \cdot G_a \Rightarrow \text{Chọn } G_{1a} = 0,38 \cdot 4870 = 1850.6 \text{ (kg)} \quad (3.30)$$

$$+ \text{ Cầu sau: } G_{2a} = (0,55 \div 0,68) \cdot G_a \Rightarrow \text{Chọn } G_{2a} = 0,62 \cdot 4870 = 3019.4 \text{ (kg)} \quad (3.31)$$

Trường hợp không tải G_0 :

$$+ \text{ Cầu trước: } G_{10} = (0,32 \div 0,45) \cdot G_0 \Rightarrow \text{Chọn } G_{10} = 0,4 \cdot 3750 = 1500 \text{ (kg)} \quad (3.32)$$

$$+ \text{ Cầu sau: } G_{20} = (0,55 \div 0,68) \cdot G_0 \Rightarrow \text{Chọn } G_{20} = 0,6 \cdot 3750 = 2250 \text{ (kg)} \quad (3.33)$$

3.3.7. Tính toán kiểm tra ổn định của xe

a) Tính toán tọa độ trọng tâm

Qua bảng phân bố trọng lượng ta có các thông số để tính ổn định cho xe buýt điện như sau.

Bảng 3.6: Thông số tính toán ổn định

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài cơ sở	L_0	mm	3750
Vết bánh xe trước	B_1	mm	2055
Vết bánh xe sau phía ngoài	B_2	mm	2055
Trọng lượng bản thân	G_0	kG	3750
+ Cầu trước	G_{10}	kG	1500
+ Cầu sau	G_{20}	kG	2250

Trọng lượng toàn bộ	G_a	kG	4870
+ Cầu trước	G_{1a}	kG	1850.6
+ Cầu sau	G_{2a}	kG	3019.4
Bán kính quay vòng nhỏ nhất	R_{qmin}	m	6.9

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).

Tọa độ trọng tâm ô tô là thông số quan trọng ảnh hưởng đến khả năng ổn định của ô tô. Vì vậy cần xác định vị trí trọng tâm ô tô theo chiều dọc và chiều ngang cả khi không tải và đầy tải. Theo chiều ngang, ta xem ô tô đối xứng dọc và trọng tâm ô tô nằm trong mặt phẳng đối xứng dọc của ô tô.

Tọa độ trọng tâm theo chiều dọc :

Khi không tải:

$$a_0 = \frac{G_{20} \cdot L_0}{G_0} = \frac{2250 \cdot 3750}{3750} = 2250 \text{ (mm)} \quad (3.34)$$

Trong đó : a_0 là khoảng cách từ trọng tâm đến tâm cầu trước

Suy ra khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau b_0 :

$$b_0 = L_0 - a_0 = 3750 - 2250 = 1500 \text{ (mm)} \quad (3.35)$$

$$\text{Khi đầy tải: } a = \frac{G_{2a} \cdot L_0}{G_a} = \frac{2922 \cdot 3750}{4870} = 2320 \text{ (mm)} \quad (3.36)$$

Suy ra khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau b:

$$b = L_0 - a = 3750 - 2320 = 1430 \text{ (mm)} \quad (3.37)$$

Tọa độ trọng tâm theo chiều cao: Chiều cao trọng tâm ô tô được xác định trên cơ sở cân bằng chiều cao khối tâm các thành phần trọng lượng. Căn cứ vào trị số trọng lượng các thành phần và chiều cao trọng tâm ta có thể xác định được chiều cao trọng tâm của ô tô thiết kế theo công thức sau đây:

$$h_g = \frac{\sum G_i \cdot h_{gi}}{G_a} \quad (3.38)$$

Trong đó:

- h_g : Chiều cao trọng tâm ô tô thiết kế
- G_i : Trọng lượng các thành phần (sắt xi, khung vỏ, sàn xe, điều hòa, ghế hành khách, hành khách, pin, động cơ điện,...)
- h_{gi} : Chiều cao trọng tâm các thành phần trọng lượng

- G_a : Trọng lượng toàn bộ xe.

Ta có bảng số liệu tọa độ trọng tâm theo chiều cao như sau:

Bảng 3.7: Kết quả tính toán tọa độ trọng tâm.

Ký hiệu	Phân loại	$G_i(\text{kg})$	$h_{gi}(\text{mm})$	$G_i.h_{gi} (\text{kg.mm})$
$G_{đc}$	Khối lượng cụm động cơ	120	400	48 000
G_{aq}	Khối lượng pin	900	2251,5	2 026 350
G_{kh}	Khối lượng khung xe và cơ cấu lái	500	480	240000
G_t	Khối lượng cầu trước + bánh xe + hệ thống treo	432	350	151 200
G_s	Khối lượng cầu sau + bánh xe + hệ thống treo	670	400	268 000
G_{kvs}	Khối lượng khung vỏ, sàn xe và điều hòa	1362	650	885 300
G_{gh}	Khối lượng ghế ngồi	40	1130	45 200
G_0	Khối lượng bản thân của ô tô	3750	$h_{g0} = 977.08$	3 664 050
Q	Khối lượng hành khách	1120	1455	17 31 450
G_a	Khối lượng toàn bộ của ô tô	4870	$h_{ga} = 1107$	5 395 500

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).

Từ công thức trên sau khi tính toán ta nhận được:

- Chiều cao trọng tâm khi không tải: $h_{g0} = 977.08$ mm. Tương ứng 34 % chiều cao tổng thể.
- Chiều cao trọng tâm khi đầy tải: $h_{ga} = 1107$ mm. Tương ứng 39 % chiều cao tổng thể.

b) Tính toán góc giới hạn ổn định của xe

- Góc giới lật khi lên dốc: $\alpha_L = \arctg \frac{b}{h_g}$ (3.39)

- Góc giới hạn lật khi xuống dốc: $\alpha_x = \arctg \frac{a}{h_g}$ (3.40)

- Góc giới hạn lật trên đường nghiêng ngang: $\beta = \arctg \frac{b}{2h_g}$ (3.41)

Trong đó: B là khoảng cách tâm 2 bánh xe trên cầu trước

Bảng 3.8: Tổng hợp kết quả tính toán ổn định

Xe buýt điện cỡ nhỏ	Thông Số					
	a(m)	b(m)	hg(m)	α_L (độ)	α_X (độ)	β (độ)
Khi không tải	2.250	1.500	0,977	56.9	66.5	39.8
Khi đầy tải	2.320	1.430	1.107	52.8	64.9	35.9

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).

Nhận xét: Các giá trị giới hạn về ổn định của xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp với tiêu chuẩn và điều kiện đường xá thực tế, bảo đảm ô tô hoạt động ổn định trong các điều kiện chuyển động.

3.3.8. Tính toán hiệu suất của xe buýt điện cỡ nhỏ.

Sau khi sử dụng các lực cản chuyển động của xe được tính toán ở phần 3.2 để tính toán công suất cần thiết của động cơ điện, cũng như xác định tỷ số truyền của cầu chủ động, ta tiếp tục tính toán các thông số hiệu suất có thể đạt được của hệ truyền động đã chọn. Cụ thể như: Xác định lực kéo theo vận tốc thực tế của xe, lực kéo tại công suất danh định và lực kéo tại công suất cực đại không đổi của động cơ. Tính toán thời gian cần thiết để xe đạt vận tốc tối đa. Xác định gia tốc của xe. Xác định độ dốc tối đa mà xe có thể vượt qua tương ứng với công suất danh định và công suất cực đại của động cơ điện. Tất cả kết quả được minh họa chi tiết trong biểu đồ và bảng số liệu đề cập dưới đây [18] [33].

a) Biểu đồ lực kéo

Trong bảng 3.8 sẽ trình bày giá trị lực kéo của xe phụ thuộc vào tốc độ vận hành, tương ứng với công suất danh định (tức mô-men xoắn động cơ ở công suất danh định), còn trong bảng 3.9 sẽ trình bày giá trị lực kéo khi động cơ điện hoạt động ở công suất cực đại (tức mô-men xoắn cực đại).

Bảng 3.9: Bảng lực kéo tại công suất danh định của động cơ điện.

n (vòng/phút)	M_e (Nm)	V (km/h)	F_k (N)	F_{lt} (N)
0	225	0,000	5525,239	
250	225	3,454	5525,239	88588,31
500	225	6,908	5525,239	44294,15
750	225	10,363	5525,239	29529,44
1000	225	13,817	5525,239	22147,08
1250	225	17,271	5525,239	17717,66

1500	225	20,725	5525,239	14764,72
1750	225	24,179	5525,239	12655,47
2000	225	27,633	5525,239	11073,54
2250	225	31,088	5525,239	9843,15
2500	225	34,542	5525,239	8858,83
2750	225	37,996	5525,239	8053,48
3000	225	41,450	5525,239	7382,36
3250	225	44,904	5525,239	6814,49
3500	225	48,359	5525,239	6327,74
3750	215	51,813	5279,673	5905,89
4000	200	55,267	4911,323	5536,77
4250	190	58,721	4665,757	5211,08
4500	180	62,175	4420,191	4921,57
4750	170	65,629	4174,625	4662,54
5000	160	69,084	3929,059	4429,42
5250	155	72,538	3806,276	4218,49
5500	148	75,992	3634,379	4026,74
5750	140	79,446	3437,926	3851,67
6000	135	82,900	3315,143	3691,18
6250	130	86,355	3192,360	3543,53
6500	125	89,809	3069,577	3407,24
6750	120	93,263	2946,794	3281,05
7000	118	96,717	2897,681	3163,87
7250	110	100,171	2701,228	3054,77
7500	105	103,625	2578,445	2952,94

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).

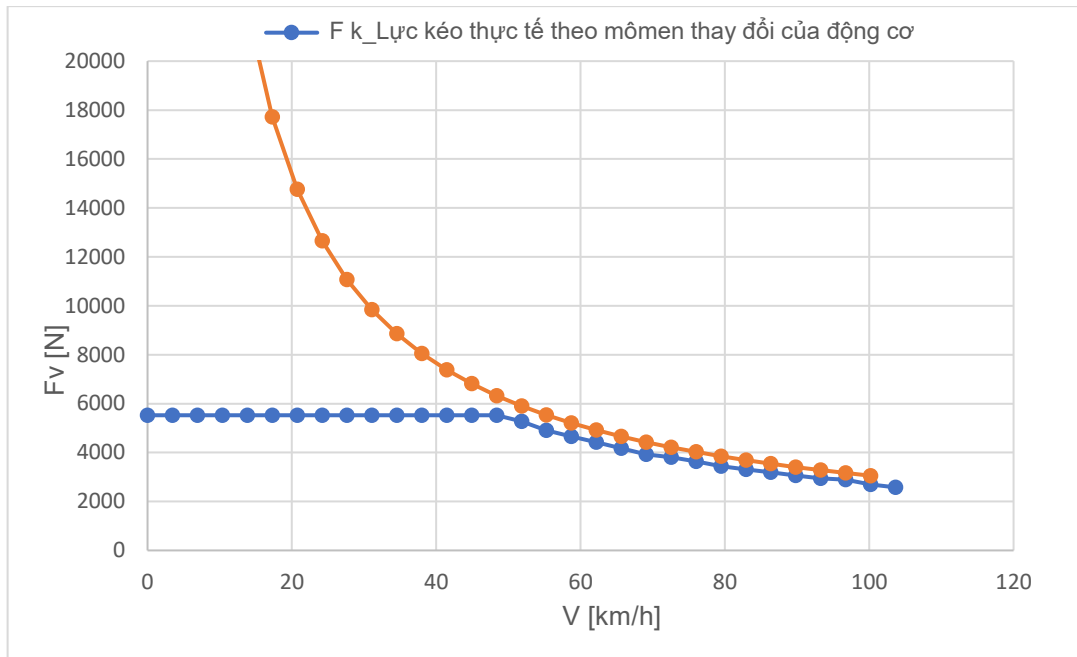
Từ dữ liệu bảng 3.9, tác giả xây dựng được đồ thị công suất của xe ở công suất động cơ điện mức danh định (Hình 3.28).

Trong đó:

$$V = \frac{n \cdot \pi \cdot r_b \cdot 3,6}{30 \cdot i_{tl}} \quad (\text{km/h}) \quad (3.42)$$

$$F_k = \frac{M_e \cdot i_{tl} \cdot \eta_{tl}}{r_b} \quad (\text{N}) \quad (3.43)$$

$$F_{\text{conti}} = \frac{P_{\text{Conti}} \cdot 1000 \cdot 3,6}{V} \quad (\text{N}) \quad (3.44)$$



Hình 3.28: Đồ thị lực kéo theo vận tốc xe và công suất định mức của động cơ

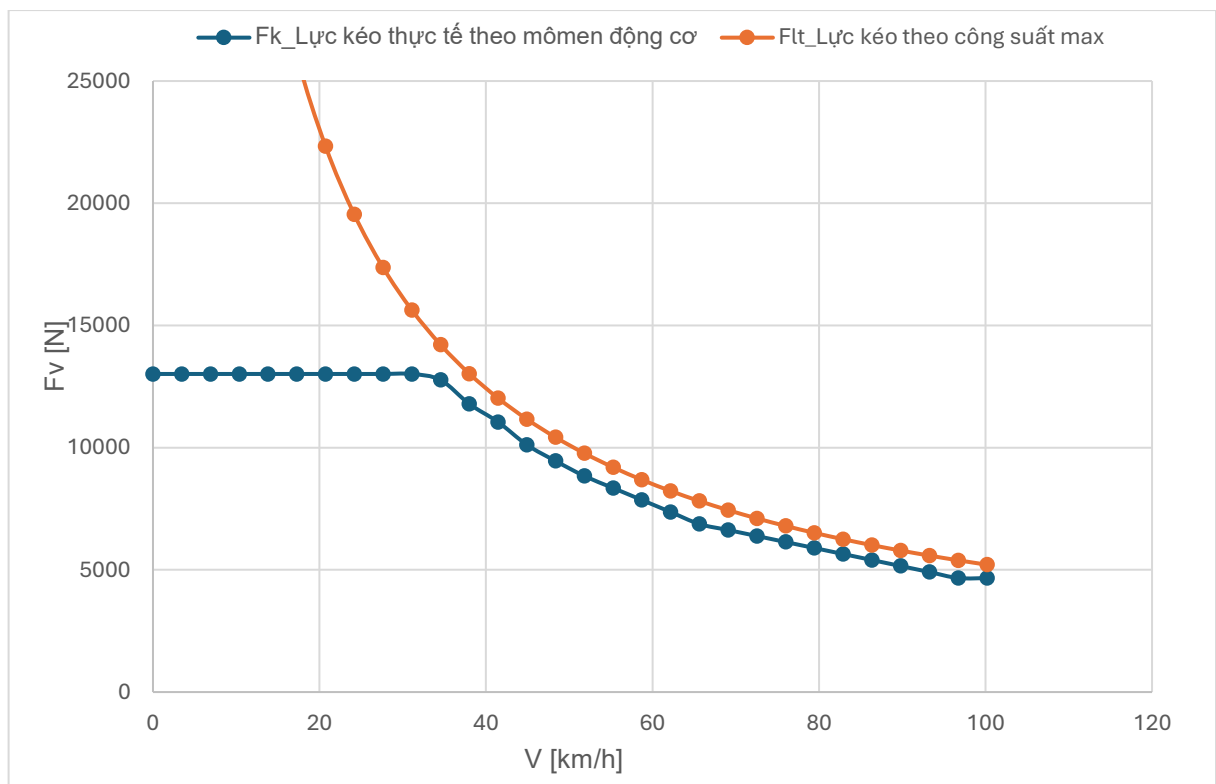
Bảng 3.10: Bảng lực kéo tại công suất cực đại của động cơ điện

n (vòng/phút)	M _e (Nm)	V (km/h)	F _k (N)	F _{lt} (N)
0	530	0,00	13015,01	
250	530	3,45	13015,01	156332,31
500	530	6,91	13015,01	78166,15
750	530	10,36	13015,01	52110,77
1000	530	13,82	13015,01	39083,08
1250	530	17,27	13015,01	31266,46
1500	530	20,73	13015,01	26055,38
1750	530	24,18	13015,01	22333,19
2000	530	27,63	13015,01	19541,54
2250	530	31,09	13015,01	17370,26
2500	530	34,54	13015,01	15633,23
2750	520	38,00	12769,44	14212,03
3000	480	41,45	11787,18	13027,69
3250	450	44,90	11050,48	12025,56
3500	412	48,36	10117,33	11166,59
3750	385	51,81	9454,30	10422,15
4000	360	55,27	8840,38	9770,77
4250	340	58,72	8349,25	9196,02

4500	320	62,18	7858,12	8685,13
4750	300	65,63	7366,98	8228,02
5000	280	69,08	6875,85	7816,62
5250	270	72,54	6630,29	7444,40
5500	260	75,99	6384,72	7106,01
5750	250	79,45	6139,15	6797,06
6000	240	82,90	5893,59	6513,85
6250	230	86,35	5648,02	6253,29
6500	220	89,81	5402,46	6012,78
6750	210	93,26	5156,89	5790,09
7000	200	96,72	4911,32	5583,30
7250	190	100,17	4665,76	5390,77
7500	190	103,63	4665,76	5211,08

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).

Từ dữ liệu bảng 3.10, tác giả xây dựng được đồ thị công suất của xe ở công suất động cơ điện mức danh định (Hình 3.29).



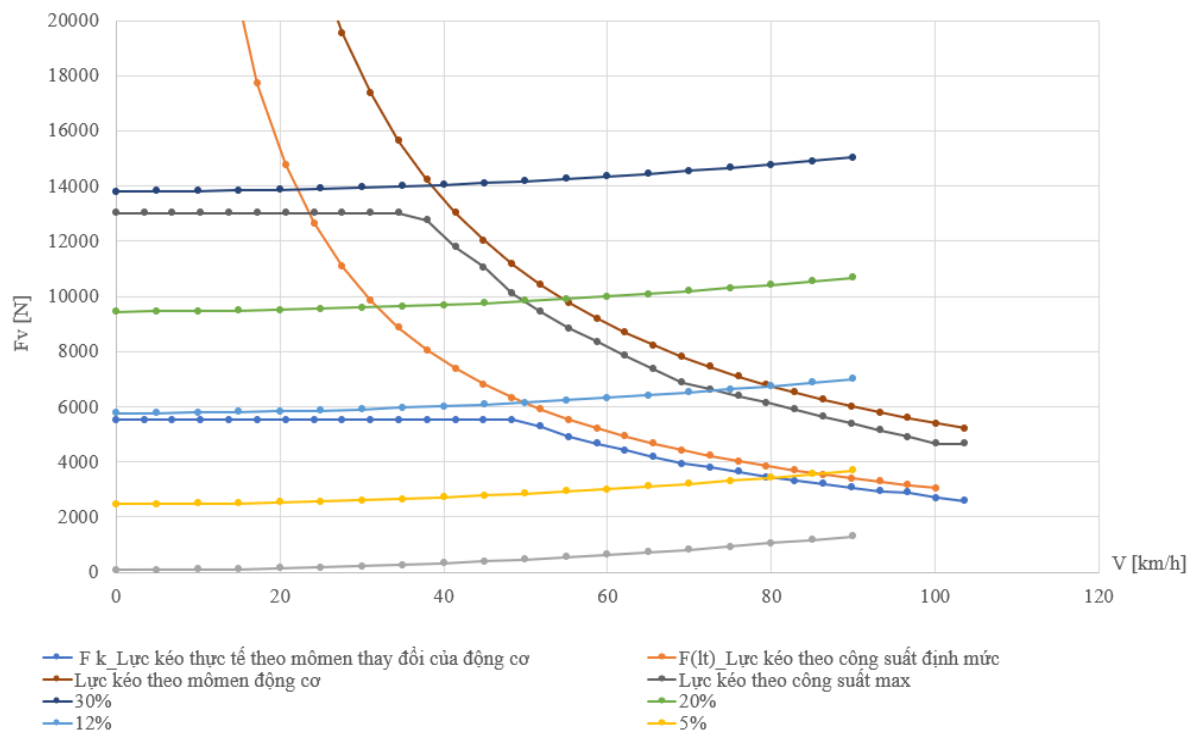
Hình 3.29: Đồ thị lực kéo theo vận tốc xe ở công suất cực đại của động cơ.

Tiếp theo đó, ở bảng 3.11 tác giả thể hiện tính toán các lực cản khi xe chạy trên những đoạn đường có độ dốc khác nhau như: 0 %; 5 %; 12 %; 20 % hoặc 30 %

Bảng 3.11: Tổng lực cản khi lái xe trên dốc 0 %; 5 %; 12 %; 20 %; 30 %

V [km/h]	V [m/s]	$F_{RR,0}$ [N]	$F_{RR,5}$ [N]	$F_{RR,12}$ [N]	$F_{RR,20}$ [N]	$F_{RR,30}$ [N]	$F_{i,5}$ [N]	$F_{i,12}$ [N]	$F_{i,20}$ [N]	$F_{i,30}$ [N]	F_w [N]	$F_{\Sigma,0}$ [N]	$F_{\Sigma,5}$ [N]	$F_{\Sigma,12}$ [N]	$F_{\Sigma,20}$ [N]	$F_{\Sigma,30}$ [N]
0	0,00	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	0,00	84,25	2469,90	5775,78	9452,00	13808,66
5	1,39	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	3,77	88,02	2473,67	5779,55	9455,78	13812,43
10	2,78	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	15,10	99,35	2485,00	5790,87	9467,10	13823,75
15	4,17	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	33,96	118,22	2503,87	5809,74	9485,97	13842,62
20	5,56	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	60,38	144,63	2530,28	5836,16	9512,39	13869,04
25	6,94	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	94,35	178,60	2564,25	5870,12	9546,35	13903,00
30	8,33	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	135,86	220,11	2605,76	5911,64	9587,86	13944,52
35	9,72	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	184,92	269,17	2654,82	5960,70	9636,92	13993,58
40	11,11	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	241,53	325,78	2711,43	6017,30	9693,53	14050,18
45	12,50	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	305,68	389,93	2775,58	6081,46	9757,69	14114,34
50	13,89	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	377,38	461,64	2847,28	6153,16	9829,39	14186,04
55	15,28	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	456,63	540,89	2926,54	6232,41	9908,64	14265,29
60	16,67	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	543,43	627,68	3013,33	6319,21	9995,44	14352,09
65	18,06	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	637,78	722,03	3107,68	6413,56	10089,78	14446,44
70	19,44	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	739,67	823,92	3209,57	6515,45	10191,68	14548,33
75	20,83	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	849,11	933,37	3319,02	6624,89	10301,12	14657,77
80	22,22	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	966,10	1050,35	3436,00	6741,88	10418,11	14774,76
85	23,61	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	1090,64	1174,89	3560,54	6866,42	10542,64	14899,30
90	25,00	84,251	84,15	83,65	82,61	80,70	2385,75	5692,13	9369,39	13727,96	1222,73	1306,98	3692,63	6998,50	10674,73	15031,38

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025)



Hình 3.30: Đồ thị lực kéo, trên đó biểu diễn các lực cản chuyển động khi leo dốc 5 %, 12 %, 20 % và 30 %

Phân tích đồ thị tại Hình 3.30 cho thấy rằng, khi động cơ điện hoạt động ở công suất danh định, xe buýt cỡ nhỏ có khả năng vượt qua được các đoạn đường có độ dốc lên tới 12 %, đồng thời xe đảm bảo ổn định khi đi trên tất cả các tuyến đường có độ dốc thấp hơn ngưỡng 12 % này. Mặt khác, khi động cơ điện duy trì ở công suất cực đại, khả năng leo dốc được mở rộng đáng kể, cho phép xe buýt cỡ nhỏ vượt qua các đoạn đường có dốc từ 20 %–30 % hoặc thậm chí lớn hơn mức 30 % mà vẫn giữ được hiệu năng vận hành. Tuy nhiên, do tỷ lệ đường có độ dốc trong khoảng 20 %–30 % tại Tp.HCM là hạn chế, xe buýt điện cỡ nhỏ chủ yếu sẽ hoạt động dưới điều kiện công suất danh định, góp phần tối ưu hóa hiệu suất năng lượng và độ bền của hệ thống truyền động.

b) Gia tốc của xe buýt điện cỡ nhỏ

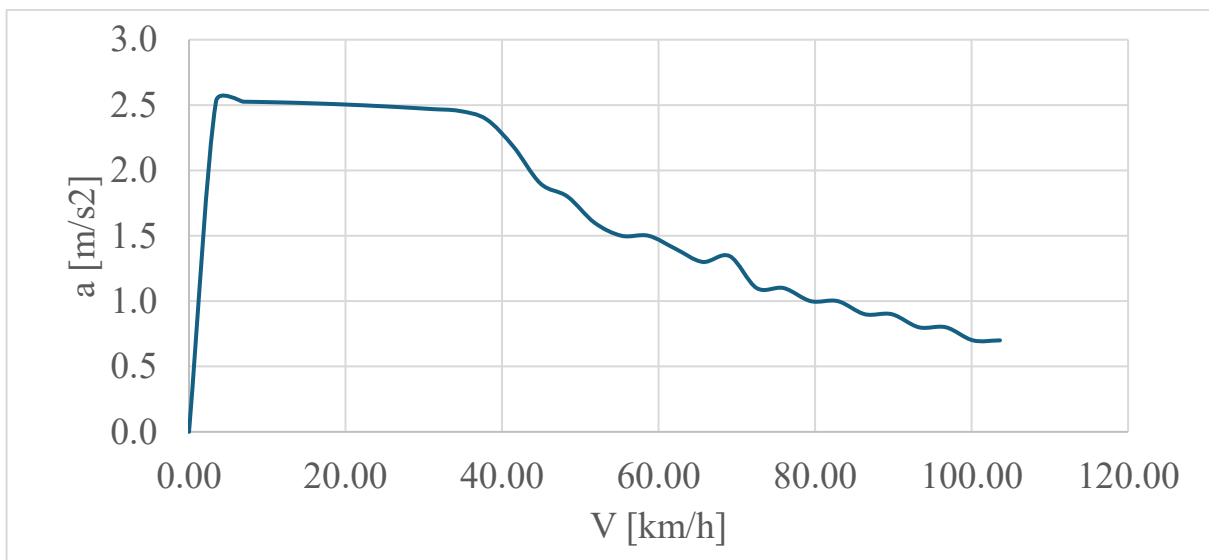
Khi tính toán gia tốc của xe buýt điện cỡ nhỏ, sẽ sử dụng công suất cực đại của động cơ điện. Theo nhà sản xuất, động cơ điện được lựa chọn có thể hoạt động ở công suất cực đại trong thời gian hơn 3 phút. Thời gian cần thiết để động cơ tăng tốc đến tốc độ lớn nhất, sẽ được trình bày trong các bảng số liệu 3.12 và biểu đồ hình 3.31.

Bảng 3.12: Bảng tính toán gia tốc của xe theo tốc độ động cơ

n (vòng/phút)	P_e [kW]	F_k (N)	a [m/s²]
0	0,00	13015,01	0,0
250	13,88	13015,01	2,5
500	27,75	13015,01	2,5
750	41,63	13015,01	2,5
1000	55,50	13015,01	2,5
1250	69,38	13015,01	2,5
1500	83,25	13015,01	2,5
1750	97,13	13015,01	2,5
2000	111,00	13015,01	2,5
2250	124,88	13015,01	2,5
2500	138,75	13015,01	2,5
2750	149,75	12769,44	2,4
3000	150,80	11787,18	2,2
3250	153,15	11050,48	1,9
3500	151,01	10117,33	1,8
3750	151,19	9454,30	1,6
4000	150,80	8840,38	1,5
4250	151,32	8349,25	1,5
4500	150,80	7858,12	1,4

4750	149,23	7366,98	1,3
5000	146,61	6875,85	1,3
5250	148,44	6630,29	1,1
5500	149,75	6384,72	1,1
5750	150,53	6139,15	1,0
6000	150,80	5893,59	1,0
6250	150,53	5648,02	0,9
6500	149,75	5402,46	0,9
6750	148,44	5156,89	0,8
7000	146,61	4911,32	0,8
7250	144,25	4665,76	0,7
7500	149,23	4665,76	0,7

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).



Hình 3.31: Đồ thị gia tốc của xe

c) Đặc tính thời gian tăng tốc

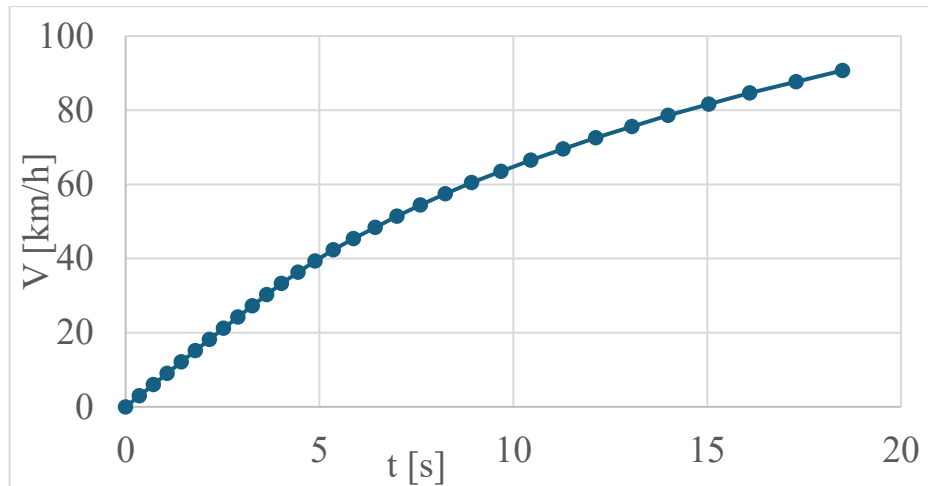
Bảng 3.13 và biểu đồ ở Hình 3.32 sẽ minh họa thời gian cần thiết để xe buýt điện cỡ nhỏ đạt gia tốc đến 60 km/h, cũng như thời gian để đạt vận tốc tối đa là 80 km/h.

Bảng 3.13: Thời gian cần thiết để xe đạt vận tốc tối đa

sn [vòng/phút]	V [km/h]	t [s]
0	0,00	0,00
250	3,02	0,36
500	6,05	0,72

750	9,07	1,08
1000	12,10	1,44
1250	15,12	1,80
1500	18,15	2,16
1750	21,17	2,53
2000	24,20	2,90
2250	27,22	3,27
2500	30,25	3,64
2750	33,27	4,02
3000	36,30	4,45
3250	39,32	4,89
3500	42,35	5,36
3750	45,37	5,88
4000	48,39	6,44
4250	51,42	7,00
4500	54,44	7,60
4750	57,47	8,25
5000	60,49	8,92
5250	63,52	9,69
5500	66,54	10,45
5750	69,57	11,29
6000	72,59	12,13
6250	75,62	13,06
6500	78,64	14,00
6750	81,67	15,05
7000	84,69	16,10
7250	87,72	17,30
7500	90,74	18,50

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).



Hình 3.32: Đồ thị thời gian tăng tốc

Từ đồ thị ở Hình 3.32 cho thấy rằng phương tiện đạt vận tốc 60 km/h trong vòng 8,92 giây, trong khi để đạt vận tốc tối đa 90 km/h thì mất 18,5 giây. Ngoài ra, động cơ điện sẽ không bị quá nhiệt, vì nhà sản xuất xác nhận khả năng chịu quá tải, tức là có thể vận hành ở công suất cực đại trong thời gian hơn 3 phút, thời gian này vượt xa so với thời gian cần để xe đạt đến vận tốc tối đa.

Bảng 3.14: Bảng thông số kỹ thuật, đặc điểm và các tính năng của xe

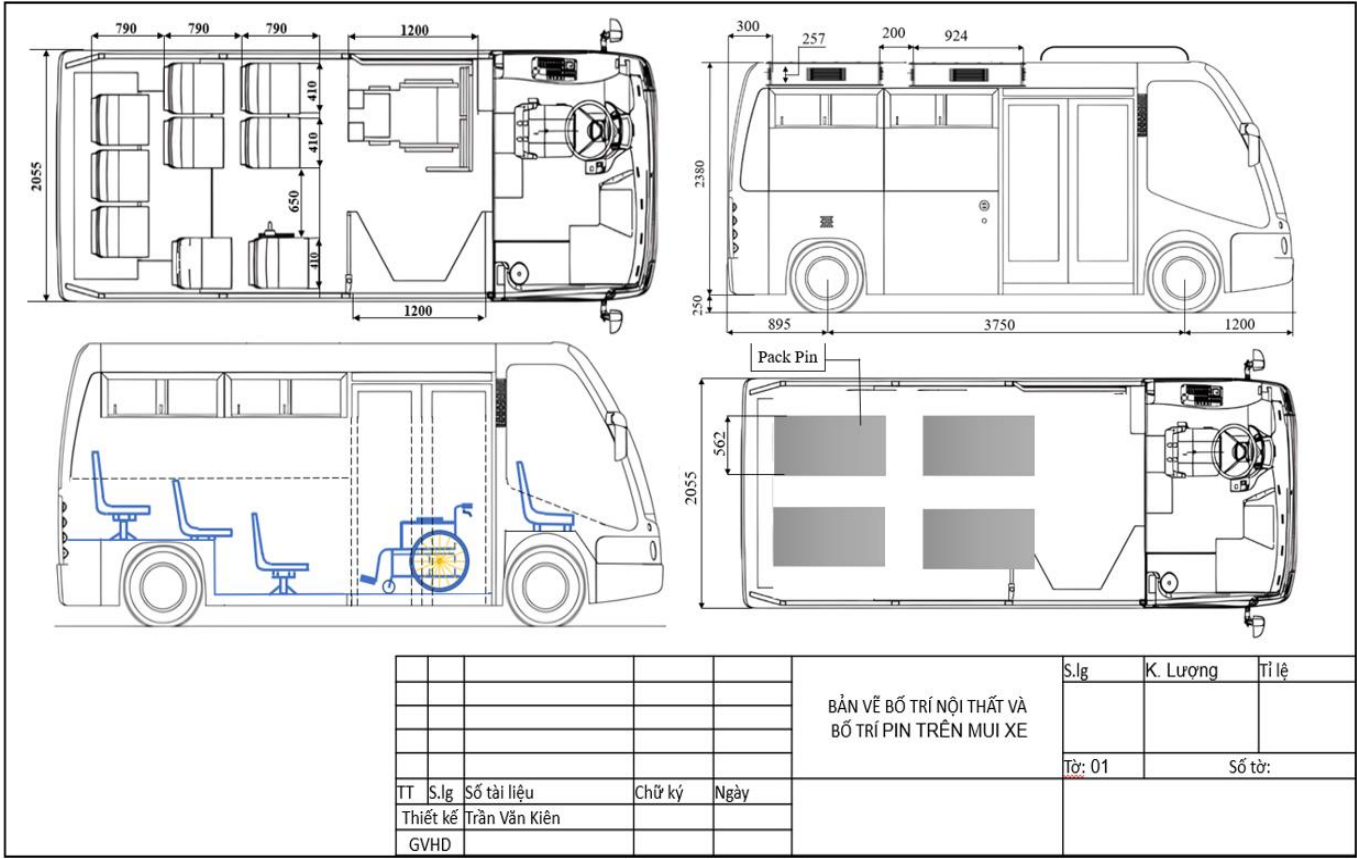
STT	DANH MỤC	ĐẶC ĐIỂM/TÍNH NĂNG	THÔNG SỐ KỸ THUẬT	GHI CHÚ
1	Kích thước tổng thể			
	Chiều dài tổng thể	L	5,845 mm	
	Chiều rộng tổng thể	Bo	2,520 mm	
	Chiều rộng cơ sở	B1	2,055 mm	
	Chiều cao tổng thể	Ho	2,800 mm	
	Chiều cao khoang hành khách	Sau khi bố trí pin, tính cả ván khuôn	2,100 mm	
	Chiều dài cơ sở	Lo	3,750 mm	
	Phần nhô ra phía trước		1,200 mm	
	Phần nhô ra phía sau		895 mm	
	Khoảng sáng gầm xe		250 mm	
2	Sức chứa			
	Số chỗ ngồi	n1	10 chỗ	
	Số chỗ đứng	n2	5 chỗ	
	Số chỗ cho xe lăn	n3	1 chỗ	
3	Trọng lượng			
	Trọng lượng không tải	Wo	3750 kg	

	Trọng lượng toàn tải	Tính cho 16 hành khách	4870 kg	
4	Hiệu suất vận hành			
	Tốc độ tối đa	Vmax	80 km/h	
	Phạm vi hoạt động		100 km	
	Mức tiêu thụ năng lượng trung bình		250 Wh/km	
	Bán kính quay vòng		6,9 m	
	Khả năng leo dốc		20 % - 11,31 độ	
5	Động cơ điện			
	Loại động cơ	Động cơ cảm ứng AC (IM - Induction Motor) của Siemens	1PV5138-4WS24	
	Công suất định mức		85 kW	
	Công suất cực đại		150 kW	
	Mô-men xoắn định mức		220 Nm	
	Mô-men xoắn cực đại		530 Nm ở 300 A	
	Điện áp định mức DC		650 V	
	Tốc độ tối đa	Công suất cực đại ổn định ở 7500 vòng/phút	10,000 vòng/phút	
	Phương pháp làm mát	Dung dịch nước		
6	Hệ thống pin			
	Loại pin	Lithium Iron Phosphate – D173F230-50S1P		
	Mã cell pin	L173F230		
	Điện áp danh định		161 V	
	Cấu trúc vật liệu	Lithium Sắt Photphate (LiFePO4)		
	Số cell pin/1 pack		50 cell	
	Khối lượng pack pin		225 ± 6,8 kg	
	Dung lượng danh định		57 Ah	
	Năng lượng danh định		35,57 kWh	
	Kích thước (DxRxC)		924x562x257 mm	
	Hệ thống làm mát	Làm mát bằng không khí hoặc chất lỏng		
	Vòng đời pin tối thiểu	Khi độ xả sâu 80%	4000 lần	
	Phạm vi nhiệt độ hoạt động	Gián đoạn Sạc liên tục	- 45 đến 85 độ C 0 đến 75 độ C	
7	Hệ thống truyền động			
	Kiểu truyền động	Cầu sau chủ động		
	Hộp số	Không		

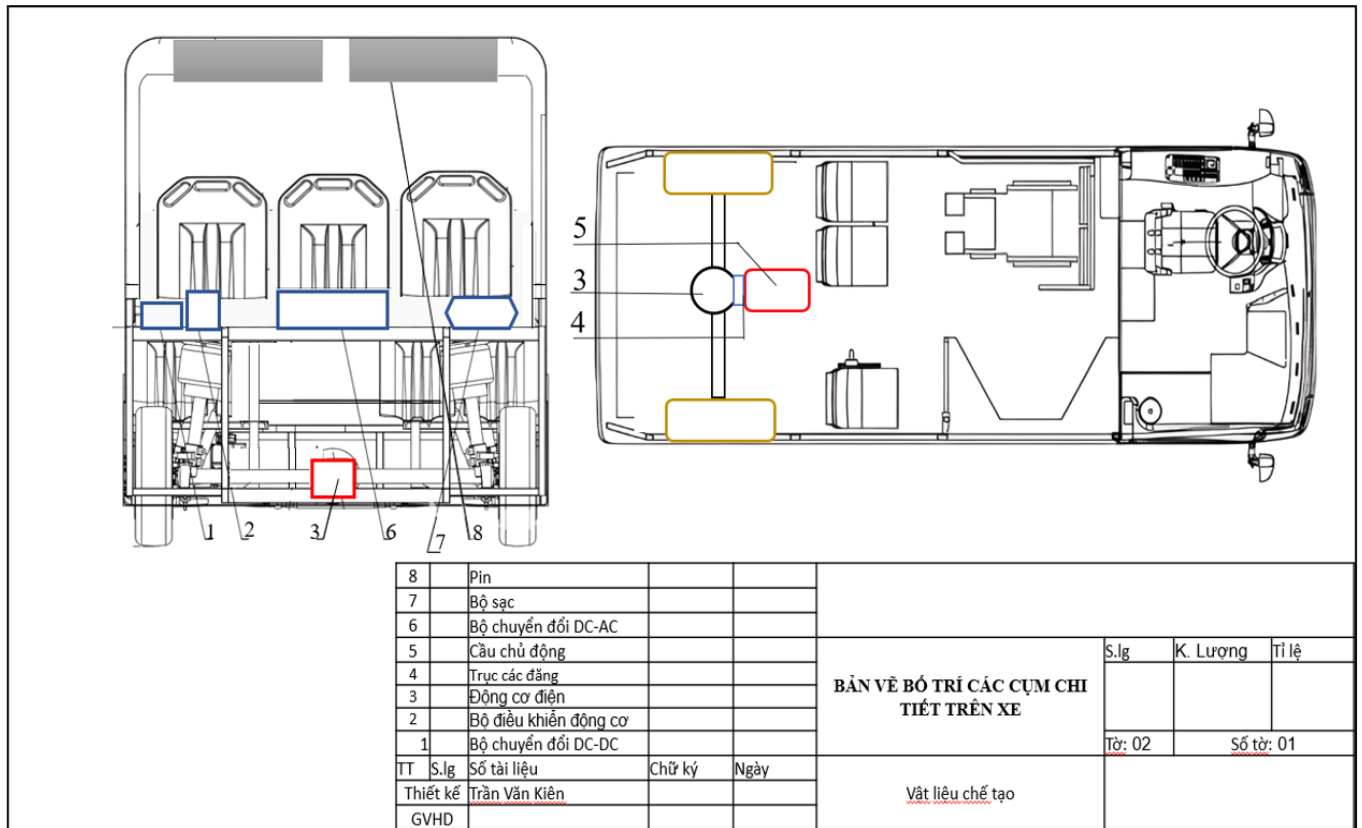
	Tỷ số truyền cầu chủ động		10	
	Cỡ lốp		225/75R17.5	
	Bán kính hiệu dụng bánh xe	rb	0.37 m	
8	Khung và thân vỏ			
	Loại thiết kế	Sàn thấp, phù hợp cho xe lăn		
	Công nghệ	Mô-đun composite nhẹ chịu lực (LKD)		
	Vật liệu	Composite		
9	Hệ thống treo			
	Cầu trước	Hệ thống treo độc lập (MacPherson)		
	Cầu sau	Dầm cầu liên kết hợp hệ thống treo phụ thuộc		
	Giảm chấn	Lò xo cuộn và ty phuộc giảm chấn bằng thủy lực		
10	Hệ thống lái			
	Cơ cấu lái	Trục vít thanh răng		
	Trợ lực	Trợ lực điện (EPS), tích hợp bộ điều khiển điện tử (ECU), công suất tối đa 0.3 kW		
11	Hệ thống phanh			
	Cấu hình	Phanh đĩa cho bánh trước Phanh tang trống cho bánh sau		
	Tính năng an toàn	Hệ thống chống bó cứng phanh (ABS)		
	Khả năng tản nhiệt	Tối đa 80 kW		
12	Hệ thống quản lý pin (BMS)			
	Chức năng chính	Kiểm soát tình trạng sạc (SOC)		
	Giao diện	CAN Bus kết nối với bộ điều khiển xe		
13	Hệ thống điều khiển			
	Bộ điều khiển xe (EVCU)	Kết nối với bàn đạp ga, phanh, bộ điều khiển động cơ điện, hệ thống ắc quy và quản lý ắc quy, các nút		

		tiền/lùi (Microautobox D-space 1401)		
	Bộ điều khiển động cơ (MCU)	PM150DZ 800V 300ARMS		
	Bộ chuyển đổi (Converter DC/DC)	Brusa BSC 618		
	Biến tần (Inverter)	Brusa DMC534 EVAC		
	Bộ nạp điện	Bộ sạc Brusa NLG664 22 kW Battery		
14	Bố trí tổng thể trên xe			
	Động cơ điện và hộp giảm tốc	Đặt phía sau xe		
	Hệ thống pin	Trên mũ xe		

Nguồn: Tác giả xây dựng (2025).



Hình 3.33: Bản vẽ bố trí khoang hành khách và bộ pin trên mũ xe



Hình 3.34: Bản vẽ bố trí các cụm chi tiết trên xe

3.4. Kết luận

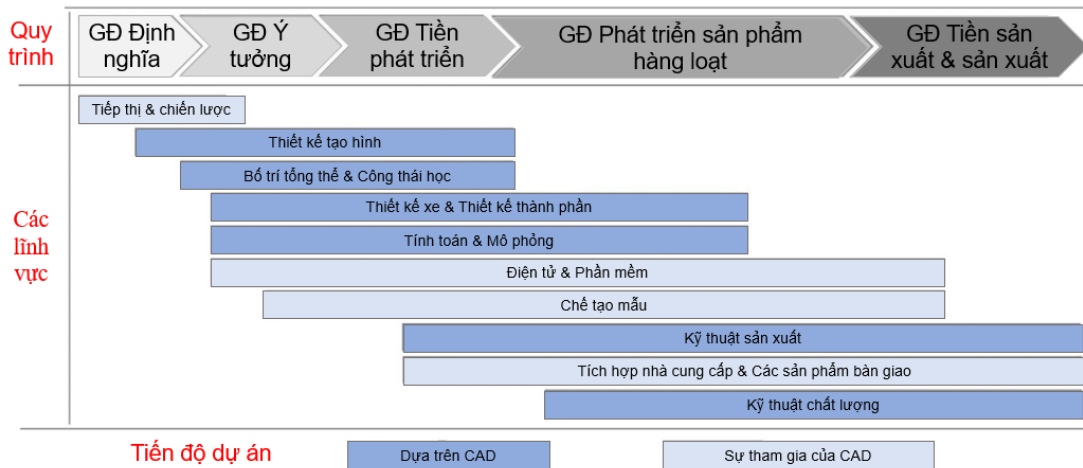
Chương 3 của đề án đã tập trung nghiên cứu và xây dựng phương án thiết kế tổng thể cho xe buýt điện cỡ nhỏ, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đặt ra về hiệu suất, khả năng vận hành và tối ưu hóa không gian bố trí linh kiện. Trên cơ sở phân tích các đặc điểm hình học và yêu cầu sử dụng thực tế, đề án đã đề xuất phương án thiết kế khung vỏ có sàn thấp, đảm bảo tính tiện nghi, an toàn cho hành khách, thuận lợi trong bố trí các hệ thống kỹ thuật trên xe. Quá trình tính toán sức kéo đã được tiến hành dựa trên đặc điểm tải trọng, điều kiện vận hành và các tham số chuyển động của xe. Từ đó, đề án đã lựa chọn được động cơ điện phù hợp, đảm bảo khả năng đáp ứng mô-men xoắn và công suất trong các chế độ hoạt động khác nhau. Cùng với đó, cầu chủ động và hộp số đơn cấp cũng được lựa chọn nhằm đảm bảo hiệu suất truyền động cao, đồng thời phù hợp với cấu trúc dẫn động cầu sau của xe. Hệ thống pin và bộ quản lý pin (BMS) được lựa chọn trên cơ sở dung lượng yêu cầu, khả năng cung cấp dòng điện phù hợp với đặc điểm làm việc của động cơ và đảm bảo tiêu chuẩn an toàn trong vận hành. Việc tích hợp hệ thống điều khiển điện tử đồng bộ với các thiết bị truyền động và lưu trữ năng lượng đã được nghiên cứu nhằm tăng cường độ tin cậy và khả năng kiểm soát tối ưu trong quá trình

vận hành. Phương án bố trí tổng thể các hệ thống và linh kiện trên xe buýt điện cỡ nhỏ đã được xây dựng hợp lý, đảm bảo khả năng lắp ráp thực tế, tính bảo trì và an toàn trong sử dụng. Những kết quả đạt được ở chương này là cơ sở quan trọng cho việc phát triển nguyên mẫu xe buýt điện cỡ nhỏ trong giai đoạn tiếp theo và góp phần định hướng cho việc nội địa hóa sản phẩm trong ngành công nghiệp ô tô điện tại Việt Nam.

CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

4.1. Giới thiệu

Thiết kế hỗ trợ bởi máy tính (CAD) đóng vai trò trung tâm trong phát triển ô tô hiện đại, chủ yếu diễn ra trong môi trường ảo, cung cấp mô hình sản phẩm toàn diện và liên kết chặt chẽ với các quy trình tính toán như kỹ thuật yêu cầu tương ứng (REQ ENG – Requirements Engineering) và tạo kiểu dáng (CAS – Computer Aided Styling). Quy trình được chia thành năm giai đoạn chính: Định nghĩa (Definition Phase) tập trung khảo sát nhu cầu khách hàng, ràng buộc pháp lý và đánh giá công nghệ; Ý tưởng và tiền phát triển (Concept và Pre-Development Phase) tích hợp bề mặt kiểu dáng với bố trí CAD để hài hòa thiết kế thẩm mỹ - kỹ thuật; Sau đó hình thành các cụm lắp ráp từ thân xe đến toàn bộ cấu trúc. Mô hình kỹ thuật số (DMU – Digital Mock-Up) dựa trên dữ liệu hình học rút gọn từ CAD hỗ trợ nghiên cứu bố trí tổng thể, công thái học, mô phỏng lắp ráp và sản xuất, kết nối với thực tế ảo/tăng cường (Virtual Reality - VR/Augmented Reality - AR) để tái tạo chân thực bề mặt xe, giao diện người dùng và thao tác làm việc của công nhân trong quá trình sản xuất. Kỹ thuật hỗ trợ mô phỏng tính toán (Computer-Aided Engineering - CAE) hỗ trợ qua phân tích phần tử hữu hạn (Finite-Elements - FEM), hệ đa vật thể (Multi-Body System - MBS) và động lực học chất lỏng (Computational Fluid Dynamics simulation - CFD), từ concept đến chi tiết cụm hệ thống, trong khi kỹ thuật sản xuất (Computer-Aided Production engineering - CAP) và tạo mẫu nhanh (Rapid Prototyping - RP) tối ưu hóa chế tạo với sự tham gia nhà cung cấp. Thử nghiệm hỗ trợ kiểm tra hệ thống (Computer-Aided Testing engineering - CAT) đánh giá chức năng thân xe, truyền động và va chạm dựa trên dữ liệu CAD. Giai đoạn Phát triển sản xuất hàng loạt (Series Development Phase) xây dựng dây chuyền sản xuất (dập, hàn, sơn, lắp ráp); Giai đoạn Tiền sản xuất hàng loạt (Pre-Series Phase) tối ưu hóa cho mốc bắt đầu sản xuất (Start of Production - SOP), kết hợp kỹ thuật chất lượng (Computer-Aided Quality engineering - CAQ) đảm bảo tiêu chuẩn chất lượng sản phẩm và sản xuất. Toàn bộ dữ liệu đa dạng được quản lý qua nền tảng Product data management platforms - PDM [35].



Hình 4.1: Các giai đoạn quy trình và các lĩnh vực phát triển trong một quy trình phát triển xe hoàn chỉnh điển hình theo công nghệ tiên tiến hiện nay [35]

Hiện nay, các nền tảng phần mềm kỹ thuật số hàng đầu thế giới trong lĩnh vực ô tô bao gồm MATLAB/Simulink, ANSYS, CATIA-3D Experience và bộ công cụ PLM của Siemens (Đức), dẫn dắt sự đổi mới trong thiết kế và sản xuất. Trong đề án này tác giả ứng dụng và triển khai Siemens PLM Software – giải pháp được áp dụng rộng rãi tại các tập đoàn ô tô quốc tế lẫn doanh nghiệp Việt Nam. Hệ sinh thái phần mềm Siemens cung cấp chuỗi công cụ toàn diện, từ mô hình hóa đến phân tích, hỗ trợ xây dựng bản sao số (Digital Twin) chính xác cho mọi mẫu xe, tích hợp đầy đủ các thành phần cơ khí, điện tử và hệ thống điều khiển.

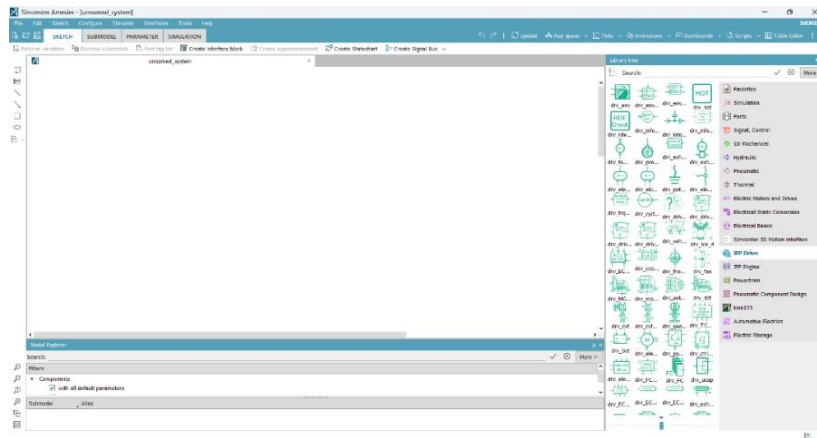
Các công cụ chính của Siemens dành cho ngành ô tô gồm:

- Teamcenter: Hệ thống quản lý vòng đời sản phẩm (PLM).
- Siemens NX: Nền tảng thiết kế hỗ trợ máy tính cho ô tô.
- Simcenter 1D Amesim: Công cụ mô phỏng hệ thống một chiều (1D) trong xe hơi.
- Simcenter 3D: Phần mềm phân tích 3D về độ bền, động lực học cho các cụm, chi tiết.
- Simcenter Star-CCM+: Giải pháp mô phỏng dòng chảy khí động học cho phương tiện.

4.1.1. Phần mềm mô phỏng Simcenter Amesim

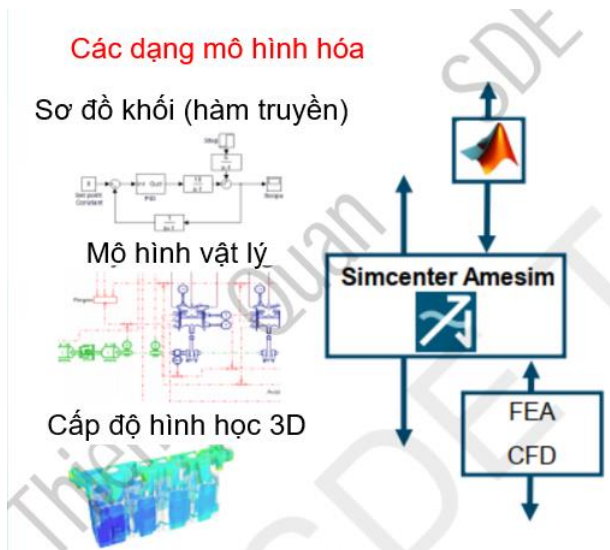
Simcenter Amesim là một phần mềm mô phỏng hệ thống cơ điện tử (mechatronic systems simulation), thuộc hệ sinh thái Simcenter của Siemens Digital Industries Software. Simcenter Amesim là một phần mềm mô phỏng đa miền (multi-domain system simulation) cho phép phân tích và đánh giá động lực học của hệ thống trước khi có mô hình CAD chi tiết. Phần mềm cung cấp một giao diện đồ họa trực quan với thư viện mô hình phong phú gồm các khối chức năng kéo-thả, hỗ trợ nhiều lĩnh vực như cơ

khí, thủy lực, điện, nhiệt và điều khiển. Điều này giúp các kỹ sư nhanh chóng xây dựng mô hình mô phỏng mà không cần lập trình phức tạp, từ đó rút ngắn thời gian phát triển sản phẩm [36].



Hình 4.2: Giao diện phần mềm Simcenter Amesim

Bên cạnh khả năng mô phỏng độc lập, Simcenter Amesim còn nổi bật trong việc tích hợp và giao tiếp với các phần mềm khác. Cụ thể, phần mềm có thể kết nối trực tiếp với MATLAB/Simulink để triển khai mô hình điều khiển, đồng bộ với các phần mềm thiết kế CAD/CAE như NX, Solid Edge, Simcenter 3D hoặc ANSYS để trao đổi dữ liệu hình học và tải trọng (hình 4.3). Amesim còn hỗ trợ tiêu chuẩn FMI và ngôn ngữ Modelica, giúp mở rộng khả năng đồng bộ mô phỏng với các công cụ khác như STAR-CCM+ hoặc các bộ mô phỏng động lực học chất lỏng và nhiệt. Việc tích hợp này mang lại lợi thế lớn trong việc xây dựng mô hình số toàn diện, cho phép mô phỏng đa chiều (1D/3D), từ đó cải thiện đáng kể độ chính xác và hiệu quả trong quá trình thiết kế [36].



Hình 4.3: Vị trí của Simcenter Amesim trong mô phỏng

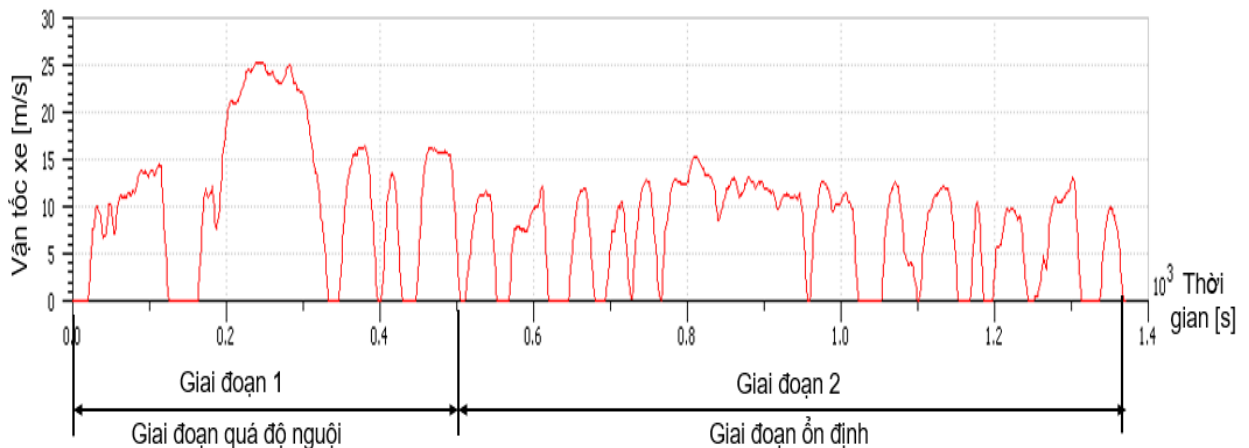
Đây là một giải pháp phần mềm mô phỏng đánh giá hiệu suất hệ thống cơ điện tử. Trong lĩnh vực ô tô, Simcenter Amesim cung cấp một hệ thống các thư viện chi tiết, cụm chi tiết ô tô giúp người dùng nhanh chóng xây dựng và mô phỏng thiết kế một cách chính xác, tính toán các tính năng hoạt động của ô tô trên các loại đường.

4.1.2. Chu trình thử nghiệm xe trên phần mềm mô phỏng Simcenter Amesim

Quy trình thử nghiệm được dựa trên nguyên lý mô phỏng điều kiện lái xe thực tế trên bộ thử công suất khung gầm trong môi trường phòng thí nghiệm được kiểm soát. Phương tiện mô phỏng tuân theo một đồ thị vận tốc định sẵn gọi là chu trình lái xe, chu trình này xác định trạng thái làm việc của động cơ bằng cách áp dụng chuỗi và biên độ thích hợp của mô-men xoắn và tốc độ động cơ. Một chu trình lái xe lý tưởng cần đáp ứng các yêu cầu như: Tính thực tiễn, dễ thực hiện trong phòng thí nghiệm; Có tính lặp lại và tái lập hoàn toàn; Đại diện thống kê cho các điều kiện lái xe thực tế đa dạng.

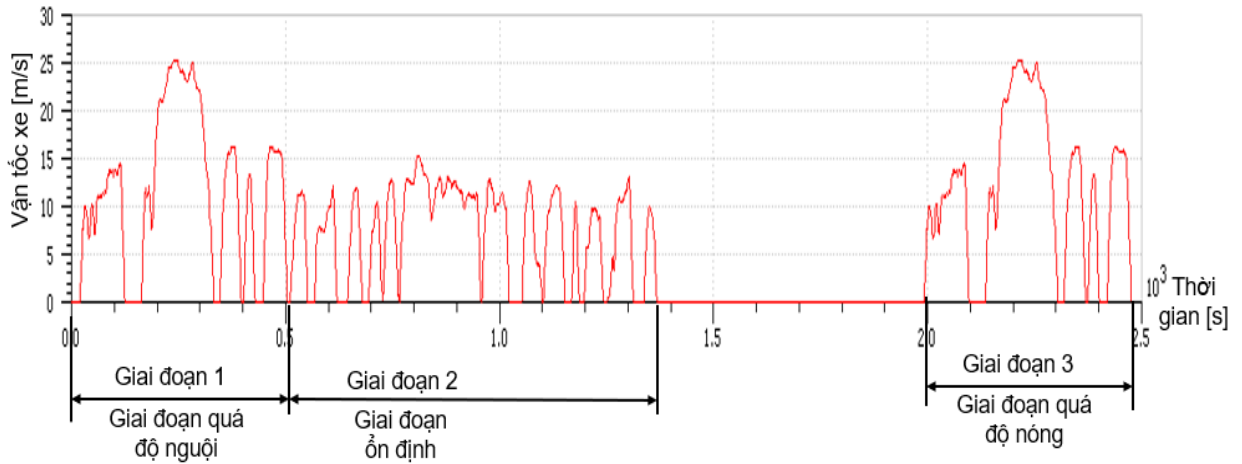
a) Chu trình lái xe FTP 72 và FTP 75

Chu trình FTP 72 (Federal Test Procedure) của Mỹ (hình 4.4) gồm hai giai đoạn có tổng thời gian là 1370 giây. Giai đoạn 1 kéo dài trong khoảng 505 giây, tương ứng 5,78 km với vận tốc trung bình đạt 41,2 km/h. Giai đoạn 2 trong 867 giây và được bắt đầu sau khi tạm dừng hoàn toàn động cơ trong 10 phút.



Hình 4.4: Chu trình lái thử FTP 72

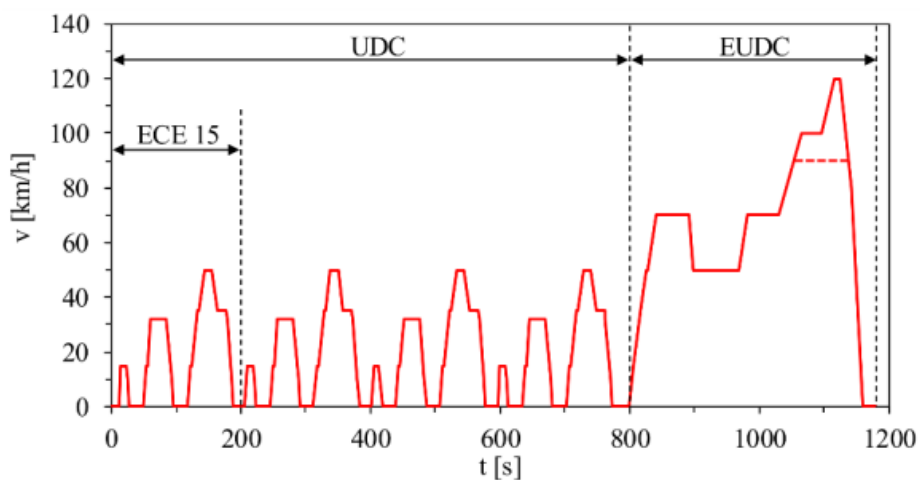
Chu trình FTP 75 bao gồm ba giai đoạn và tổng thời gian của chu kỳ là 2480 giây. Hai giai đoạn đầu tương tự như chu trình FTP 72. Giai đoạn 3 giống như giai đoạn 1 của chu trình trước (hình 4.5) và được khởi động lại sau khi đã dừng động cơ 10 phút kể từ lúc kết thúc giai đoạn 2. Tổng quãng đường đi là 17,86 km với tốc độ trung bình 34,3 km/h



Hình 4.5: Chu trình lái thử FTP 75

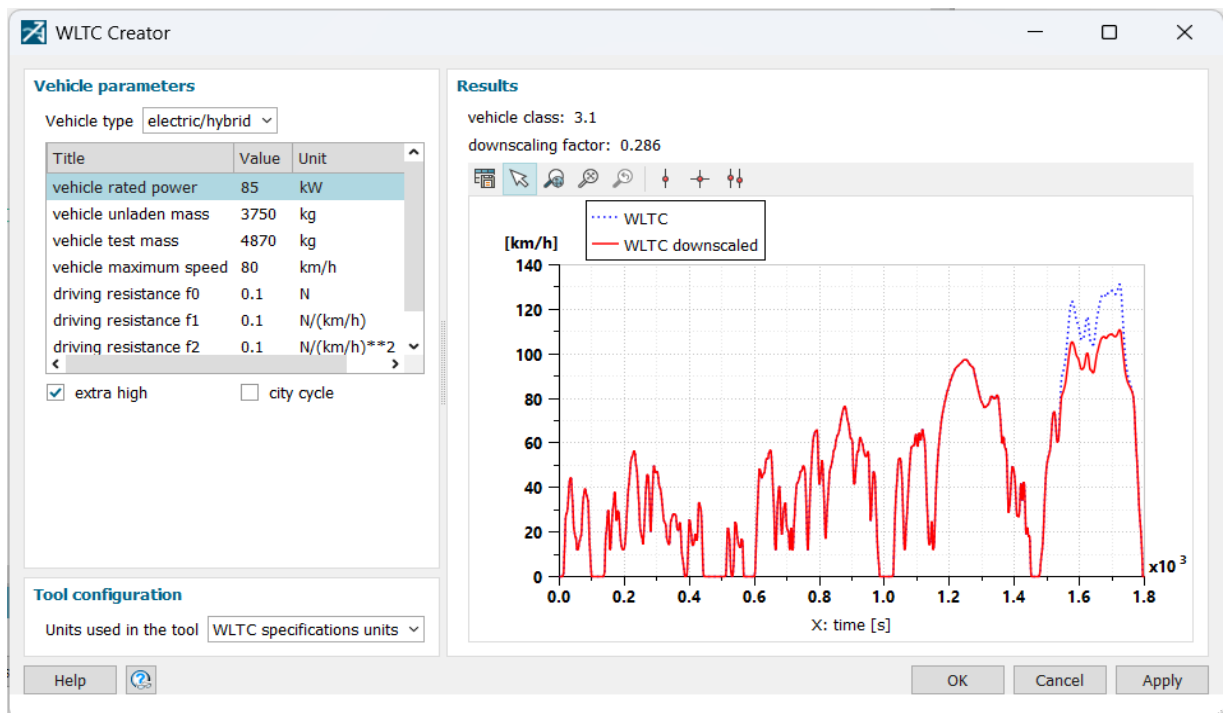
b) Chu trình lái xe NEDC; WLTC

NEDC (New European Driving Cycle) là chu trình lái xe được sử dụng phổ biến ở Châu Âu cho mục đích đánh giá mức độ phát thải khí thải và tiêu thụ nhiên liệu của phương tiện. NEDC bao gồm hai giai đoạn: Chu trình lái xe đô thị (UDC), mô phỏng giao thông thành phố; Chu trình lái xe ngoài đô thị (EUDC), đại diện cho thử nghiệm ở đường nông thôn và đường cao tốc. Thời gian của chu trình NEDC kéo dài 1180 giây và đi được quãng đường 11,02 km (hình 4.6) tác giả tham khảo trên phần mềm Simcenter Amesim. Tốc độ trung bình (kể cả dừng) là 33,62 km/h và tốc độ tối đa đạt 120 km/h. Trong NEDC, có gần 40 % thời gian là lái xe ở tốc độ không đổi, chưa đến 37 % là tăng tốc hoặc giảm tốc và gần 24 % là dừng (chạy không tải). Chu trình có cấu trúc đơn giản, dễ vận hành do chỉ bao gồm các chế độ ổn định, đảm bảo tính lặp lại cao và NEDC chưa phản ánh hoàn toàn điều kiện giao thông thực tế



Hình 4.6: Vận tốc của xe trong chu trình NEDC

Chu trình WLTC (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle): Chu trình lái xe thuộc tiêu chuẩn Châu Âu, thay thế cho chu trình NEDC. Chu trình WLTC phản ánh điều kiện thực tế của xe chính xác hơn so với chu trình cũ. WLTC chia thành 4 giai đoạn vận hành chính, tổng thời gian thực hiện là 1800 giây và quãng đường khoảng 23,72 km, như (hình 4.7) tác giả tham khảo trên phần mềm Simcenter Amesim. Đối với xe điện hoặc hybrid, WLTC có lợi thế với tỷ lệ thời gian giảm tốc âm cao hơn đáng kể (39,94 % so với 15,76 % của NEDC). Các pha dừng chiếm khoảng 13 % thời gian, ít hơn nhiều so với NEDC (25 %).



Hình 4.7: Chu trình lái thử WLTC

Chu trình WLTC, được tác giả lựa chọn để mô phỏng hoạt động của xe buýt điện cỡ nhỏ trong đề án này. Bên cạnh đó, nhằm phù hợp với điều kiện hoạt động thực tế của xe, tác giả chỉ lựa chọn mô phỏng xe ở điều kiện đô thị (city cycle) nên khoảng thời gian mô phỏng giảm từ 1800 s còn khoảng 1000 s.

c) Chu trình Lái xe Cá nhân (Personal Driving Cycle)

Trong mô phỏng đặc tính kéo cho xe buýt điện cỡ nhỏ, kiểm tra về hiệu suất năng lượng của xe buýt điện cỡ nhỏ, việc sử dụng chu trình lái xe cá nhân, đặc biệt là việc thiết lập vận tốc tối đa ngay từ lần đạp ga đầu tiên để mô phỏng đặc tính kéo là một phương pháp luận cần thiết nhằm bổ sung cho những hạn chế của các chu trình lái xe tiêu chuẩn như NEDC hay WLTC. Chu trình cá nhân cho phép người nghiên cứu có thể

kiểm soát chính xác biên độ gia tốc cực đại và trạng thái làm việc của động cơ vượt ngoài phạm vi hoạt động trung bình mà các chu trình NEDC, WLTC, FTP 72 – 75,... cũng cấp. Điều này đặc biệt quan trọng để đánh giá khả năng đáp ứng và hiệu suất kéo của hệ thống truyền động điện trong các tình huống yêu cầu công suất cao nhất.

Vì vậy, ngoài việc sử dụng chu trình WLTC để mô phỏng cho đề án, tác giả còn kết hợp sử dụng chu trình lái cá nhân để kiểm tra đặc tính kéo, mô-men xoắn và công suất cho xe buýt điện cỡ nhỏ mà tác giả thiết kế, làm cơ sở cho việc tối ưu hóa hệ thống truyền động và kiểm định các chỉ tiêu kỹ thuật của xe.

4.2. Mô phỏng buýt điện cỡ nhỏ trên phần mềm Simcenter Amesim.

Các công cụ mô hình hóa đồ họa được thiết kế để cải thiện những khía cạnh của thiết kế. Cung cấp một môi trường tổng quát và thống nhất, đồng thời giảm độ phức tạp của thiết kế bằng cách chia mô hình thành một hệ thống phân cấp của các mô-đun thiết kế. Do đó, kỹ sư có thể đạt được nhiều cấp độ thử nghiệm chính xác của mô hình bằng cách thay thế các phần tử khối này bằng phần tử khối khác. Gói phần mềm Simcenter Amesim được sử dụng trong quá trình mô hình hóa và mô phỏng xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp cho đô thị. Tác giả sử dụng phương pháp thiết kế dựa trên các mô hình vật lý trong thư viện IFP-DRIVER của phần mềm Amesim Simcenter 1D, mô hình xe buýt điện cỡ nhỏ được tác giả xây dựng như Hình 4.8.

Các hệ thống con trong mô hình (hình 4.8) bao gồm:

- Mô hình người lái (Driver – DRVDRVA01B): được sử dụng trong quá trình mô phỏng xe điện và được thiết kế để tuân theo cấu hình tốc độ yêu cầu. Dựa trên thông tin nhận được, mô hình sẽ tính toán các tín hiệu điều khiển cần thiết để đạt được cấu hình tốc độ.
- Mô hình Vehicle (DRVVEH01): Được sử dụng để mô phỏng chuyển động dọc của xe buýt điện cỡ nhỏ, bao gồm các thông số kỹ thuật về khối lượng, kích thước của xe, lực cản khí động, lực cản lăn. Kết hợp với đó là khối đặt điều kiện cho xe di chuyển trên đường với nhiều độ dốc khác nhau, đảm bảo phù hợp khi xe di chuyển ngoài điều kiện thực tế.
- Khối VCU - Vehicle Control Unit (DRVVCUE03): Việc truyền lực giữa động cơ điện và các bánh xe dẫn động được người điều khiển phương tiện giám sát bằng cách sử dụng mô hình chức năng DRVDRVA01B kết hợp với bộ điều khiển của xe điện

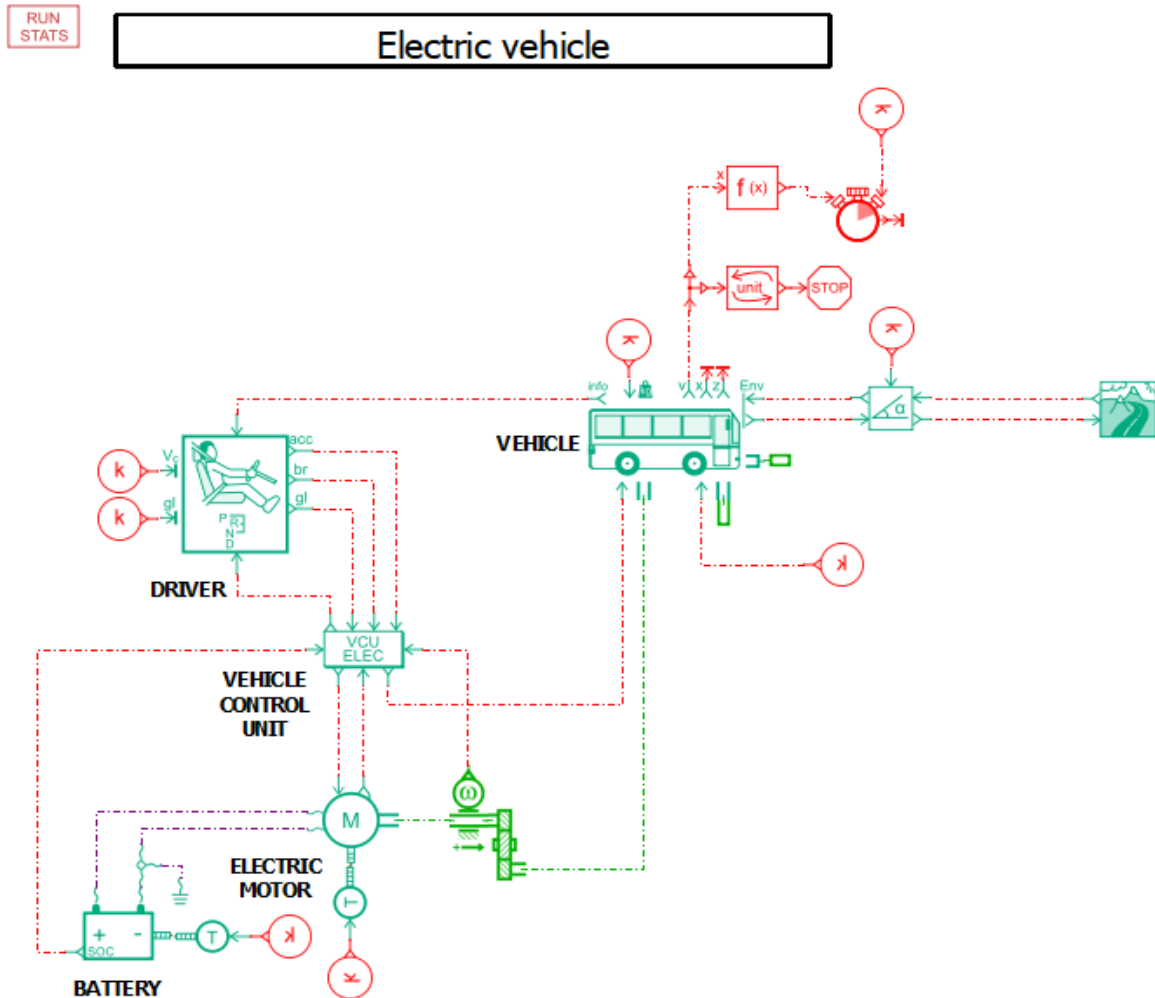
DRVVCUE03 từ thư viện IFP-Drive của Amesim. Các tín hiệu đầu vào gồm: Cổng 2 là thông tin mô-men xoắn tối đa và tối thiểu của động cơ điện (Nm); Cổng 4 là tốc độ động cơ (vòng/phút); Cổng 5 là tín hiệu tăng tốc từ người lái; Cổng 6 là tín hiệu bàn đạp phanh của người lái. Cổng 7 là vị trí cần số và Cổng 9 là trạng thái sạc ắc quy (%)

- Khối mô hình Battery (DRVBAT001): Lấy từ thư viện động cơ và truyền động điện được sử dụng để mô phỏng pin cho xe buýt điện. Khối pin này là sự kết hợp của các cell pin mắc nối tiếp và song song. DRVBAT001 được sử dụng để cung cấp năng lượng cho các thiết bị điện như động cơ điện, phụ kiện điện trên xe,...

- Khối động cơ điện (Electric Motor): DRVEM01 là một mô hình đại diện cho động cơ điện/máy phát điện với bộ chuyển đổi riêng. Mô-men xoắn đầu ra và tổn thất công suất có thể được xác định bằng cách sử dụng các tệp dữ liệu hoặc các thông số đặc trưng. Đây là mô hình động cơ hai chiều và độc lập với công nghệ của động cơ và bộ chuyển đổi của nó.

- Ngoài ra, để mô hình mô phỏng được sát với thực tế, một khối RN001 đại diện cho cầu chủ động. Khối này được đặt sau động cơ điện với tỷ số truyền phù hợp cho cấu hình truyền động theo thiết kế của tác giả trên xe buýt điện cỡ nhỏ.

Mô phỏng được thực hiện dựa trên các thông số thiết kế từ chương 3, bao gồm: Khối lượng xe toàn tải là 4870 kg; Động cơ điện với công suất định mức 85 kW và công suất tối đa là 150 kW, mô-men xoắn cực đại 530 Nm; Tỷ số truyền cầu chủ động là 10; Bán kính hiệu dụng của bánh xe là 0,37 mét; Hệ số cản lăn tương ứng là 0,0173; Diện tích cản chính diện của xe là 4,16 m². Các công thức tính toán lý thuyết về lực kéo, lực cản, gia tốc và khả năng leo dốc được tác giả tham khảo từ tài liệu “Tính toán sức kéo ô tô – máy kéo” (Phạm Xuân Mai et al., 2007), cụ thể là các phân xây dựng đồ thị cân bằng lực kéo (mục 1.6), đặc tính tăng tốc (mục 1.8) và đặc tính động lực học để đánh giá khả năng vượt dốc (mục 1.7) [33]



Hình 4.8: Mô hình hệ thống mô phỏng xe buýt điện cỡ nhỏ

Mục tiêu xác định độ tin cậy và tính khả thi của thiết kế, đánh giá hiệu suất vận hành trong điều kiện đô thị (tốc độ di chuyển trung bình là 7,92 m/s; độ dốc tối đa mà xe có thể vượt qua là 20 %; xe có phạm vi hoạt động khoảng 120 km với dung lượng pin 142 kW). Các kịch bản mô phỏng gồm:

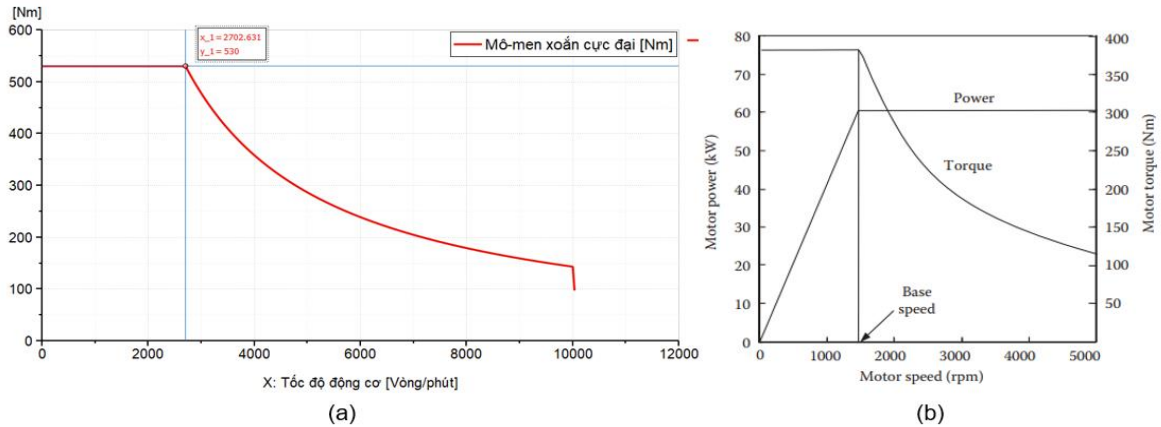
- Áp dụng chu trình Personal: Cho xe chuyển động với vận tốc cực đại trên đường bằng phẳng để xây dựng đồ thị cân bằng lực kéo và công suất; Tăng tốc từ 0-80 km/h và xe leo dốc ở các mức độ khác nhau; Kết quả cuối cùng được so sánh với các đồ thị lý thuyết nhằm chứng minh độ tin cậy của mô hình mô phỏng và phần mềm mô phỏng Simcenter Amesim trong nghiên cứu khoa học.

- Áp dụng chu trình WLTC vào mô hình để mô phỏng hiệu suất làm việc của xe buýt điện cỡ nhỏ trong điều kiện giao thông thành phố.

Các đồ thị kết quả vẽ ra từ dữ liệu đầu ra của Simcenter Amesim được thể hiện trong các hình dưới đây.

4.2.1. Kết quả mô phỏng trên chu trình lái Personal

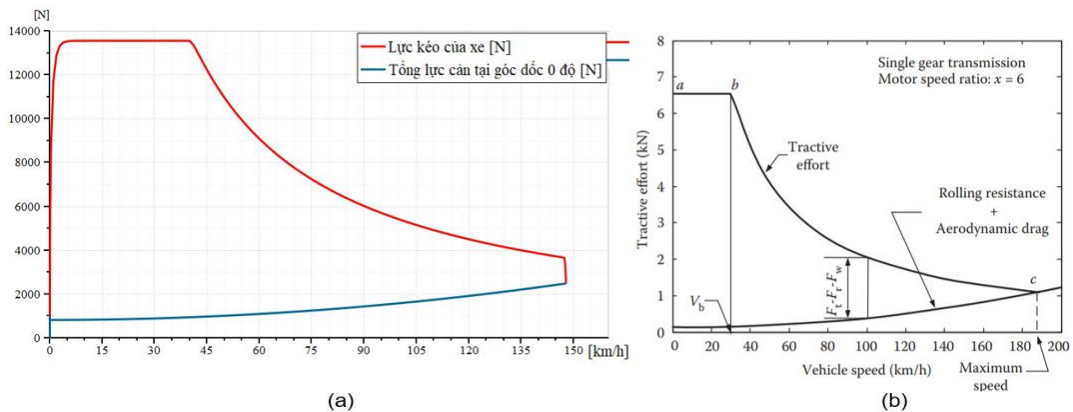
a) Đặc tính mô-men xoắn động cơ điện



Hình 4.9: Đồ thị mômen xoắn động cơ điện

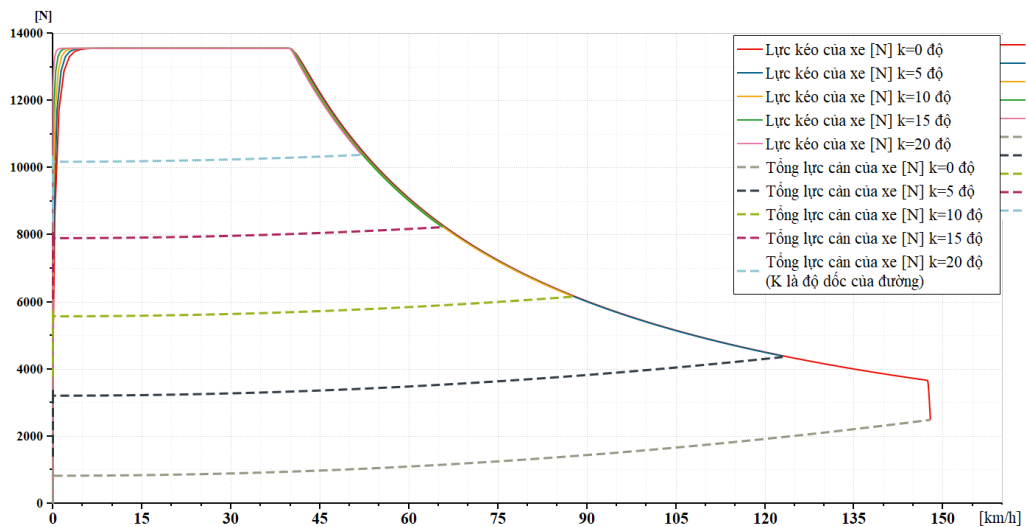
Đồ thị kết quả mô phỏng (Hình 4.9a) thể hiện mô-men xoắn của động cơ điện trên phần mềm Amesim so với tốc độ động cơ. Đường cong mô-men xoắn đạt mức cực đại (530 Nm) ngay từ khi vừa khởi động. Sau khoảng hơn 2700 vòng/phút đường đặc tính mô-men giảm dần và gần như đường hyperbolic về mức 0 Nm tại tốc độ vòng quay tối đa. So sánh giữa đồ thị lý thuyết (hình 4.9b) [18] và đồ thị kết quả từ Amesim (hình 4.9a) cho thấy sự tương đồng đáng kể về hình dạng tổng thể: cả hai đều thể hiện mô-men quay giảm khi tốc độ tăng, phản ánh quy luật vật lý cơ bản của động cơ điện. Sự phù hợp giữa mô phỏng và lý thuyết khẳng định độ tin cậy của phần mềm Simcenter Amesim trong việc mô phỏng đặc tính động cơ điện. Kết quả này hỗ trợ việc ứng dụng phần mềm mô phỏng Simcenter Amesim để tối ưu hóa thiết kế trước khi thử nghiệm thực tế, giảm chi phí và thời gian phát triển sản phẩm.

b) Đồ thị kết quả cân bằng lực kéo



Hình 4.10: Đồ thị cân bằng lực kéo tại góc dốc 0 độ

Đồ thị (Hình 4.10a) là đồ thị kết quả được tác giả mô phỏng trên phần mềm Amesim với điều kiện đường bằng phẳng. Đồ thị (Hình 4.9b) là đồ thị cân bằng lực kéo theo lý thuyết được tác giả tham khảo trong giáo trình [18]. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa lực kéo của xe và tổng lực cản chuyển động theo vận tốc tuyến tính cho thấy đặc tính động lực học cơ bản của phương tiện (hình 4.10a). Ở giai đoạn đầu (từ 0 đến 40 km/h), lực kéo duy trì ở mức cao và gần như không đổi, đạt khoảng 13.000 N, trong khi lực cản chuyển động của xe buýt điện chỉ dưới 1.000 N. Điều này phản ánh khả năng tăng tốc mạnh mẽ của xe ở vận tốc thấp, đảm bảo tính năng khởi hành và tăng tốc ban đầu, đáp ứng tốt các yêu cầu vận hành trong đô thị. Khi vận tốc tăng trên 40 km/h, lực kéo bắt đầu giảm dần theo dạng hàm nghịch biến, trong khi tổng lực cản lại tăng gần như tuyến tính với vận tốc. Sự biến thiên này chủ yếu do ảnh hưởng của lực cản khí động học, tỷ lệ thuận với bình phương vận tốc. Đây là một yếu tố quan trọng để đánh giá khả năng vận hành và cũng là cơ sở kỹ thuật để tối ưu hóa đặc tính động lực học của xe trong quá trình thiết kế.

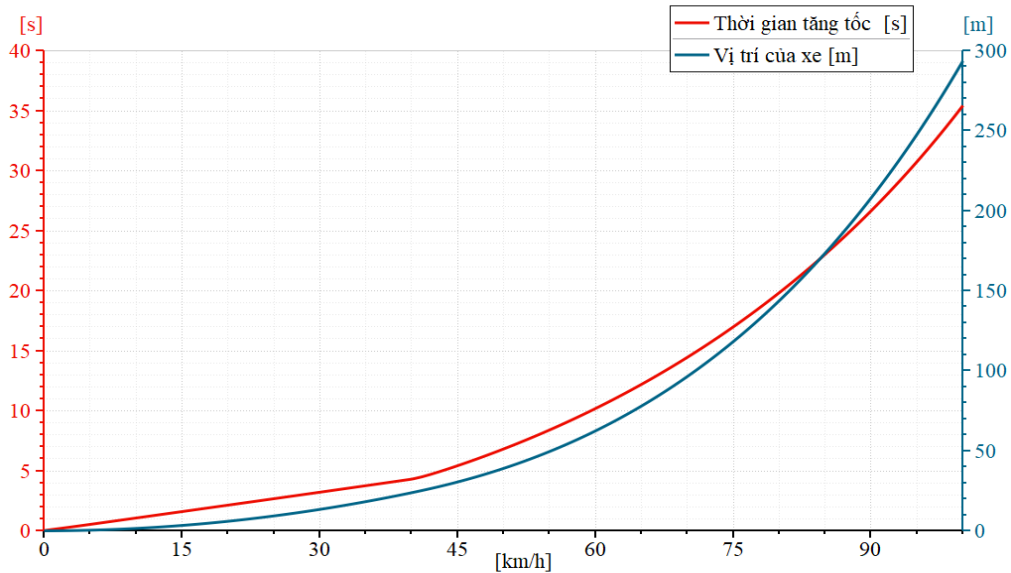


Hình 4.11: Đồ thị cân bằng lực kéo tại góc dốc thay đổi

Đồ thị hình 4.11 được tác giả xuất ra từ kết quả mô phỏng trên phần mềm, sự chênh lệch giữa lực kéo và lực cản cho thấy khả năng vận hành của xe trong các điều kiện khác nhau. Ở độ dốc thấp (0° – 5°), lực kéo vẫn duy trì lớn hơn lực cản trong suốt dải vận tốc, đảm bảo xe có thể đạt vận tốc cao và vận hành ổn định. Ngược lại, khi góc dốc tăng lên 15° – 20° , lực cản chuyển động tăng đáng kể, nhanh chóng tiến gần và cân bằng với lực kéo ở vận tốc thấp hơn. Đồ thị là cơ sở để đánh giá khả năng leo dốc và xác định giới hạn vận tốc ứng với từng điều kiện khai thác. Việc phân tích mối quan hệ

lực kéo – lực cản trong các trường hợp khác nhau cho phép đưa ra giải pháp tối ưu về công suất động cơ, tỷ số truyền hoặc cải tiến thiết kế khí động học. Từ kết quả này, giúp tác giả định hướng áp dụng xe buýt điện cỡ nhỏ vào môi trường khai thác phù hợp với điều kiện thực tế tại Tp.HCM.

c) Đồ thị đặc tính tăng tốc và vị trí của xe



Hình 4.12: Đồ thị đặc tính tăng tốc của xe

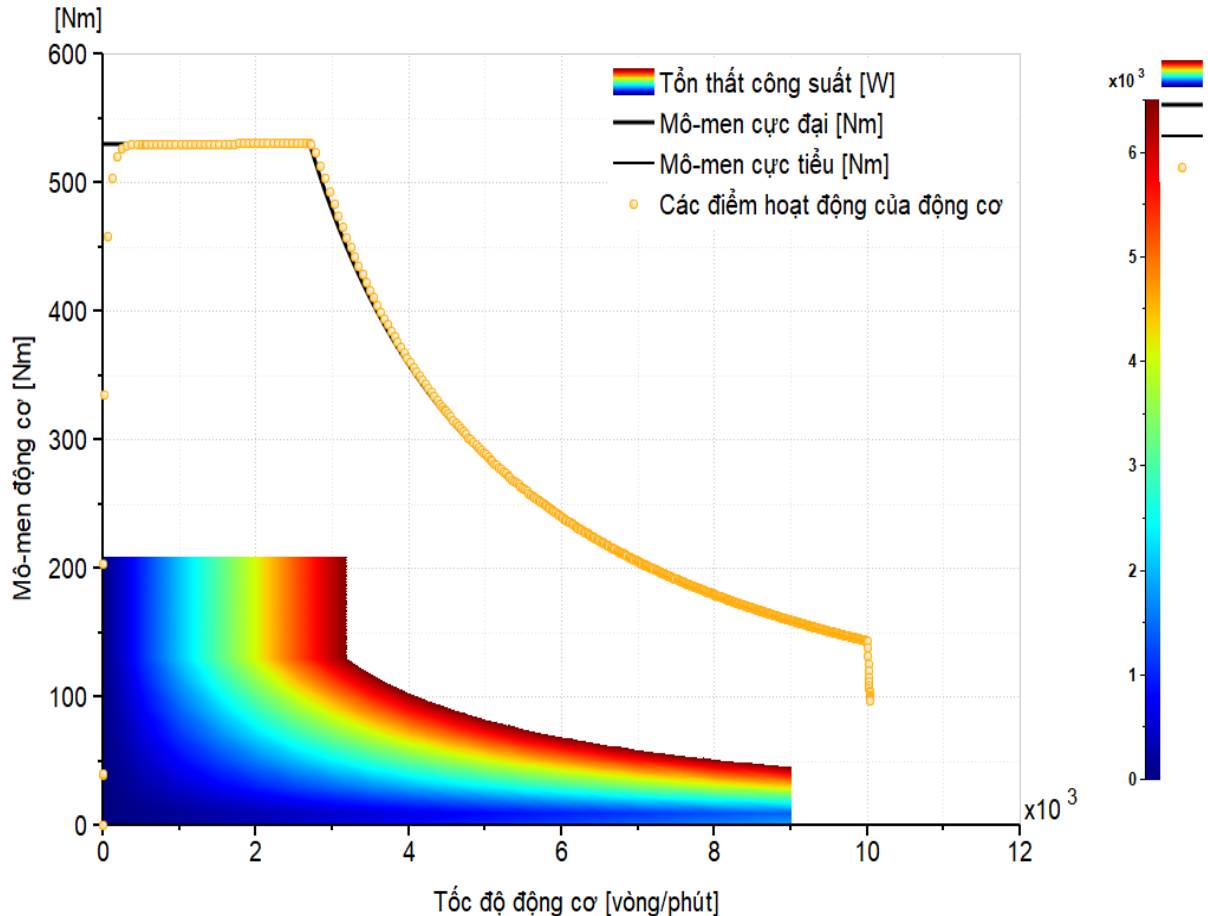
Đồ thị (hình 4.12) của tác giả thể hiện mối quan hệ giữa vận tốc tuyến tính của xe với thời gian tăng tốc và quãng đường di chuyển tương ứng. Đường màu đỏ biểu diễn thời gian tăng tốc, trong khi đường màu xanh biểu diễn quãng đường xe đã đi được khi đạt đến vận tốc nhất định. Kết quả cho ta thấy, ở dải vận tốc thấp (0 – 40 km/h), thời gian tăng tốc tăng chậm, chứng tỏ xe có khả năng đạt được các vận tốc này trong thời gian ngắn, phản ánh đặc tính lực kéo lớn ở giai đoạn khởi hành. Tuy nhiên, khi vận tốc tăng lên trên 60 km/h, thời gian tăng tốc tăng nhanh hơn, cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của sự suy giảm lực kéo và gia tăng lực cản khí động học ở vận tốc cao. Quãng đường xe đi được cũng thể hiện xu hướng tăng nhanh theo vận tốc. Ở vận tốc thấp, xe chỉ cần quãng đường ngắn để đạt được tốc độ mong muốn; nhưng từ 60 km/h trở lên, quãng đường cần thiết tăng rất nhanh, đạt tới xấp xỉ 300 m khi vận tốc đạt 100 km/h. Để đạt vận tốc cao, phương tiện cần cả thời gian và không gian đủ lớn, đặc biệt trong bối cảnh thử nghiệm hoặc vận hành trên đường trường.

Kết quả mô phỏng là cơ sở để đánh giá khả năng tăng tốc và hiệu quả vận hành của xe trong các điều kiện khai thác khác nhau. Các đặc tính tăng tốc nhanh ở vận tốc

thấp giúp xe thích hợp với môi trường đô thị (yêu cầu tăng tốc và dừng khởi hành thường xuyên) phù hợp với mục tiêu đề ra.

d) Đồ thị hoạt động của động cơ điện

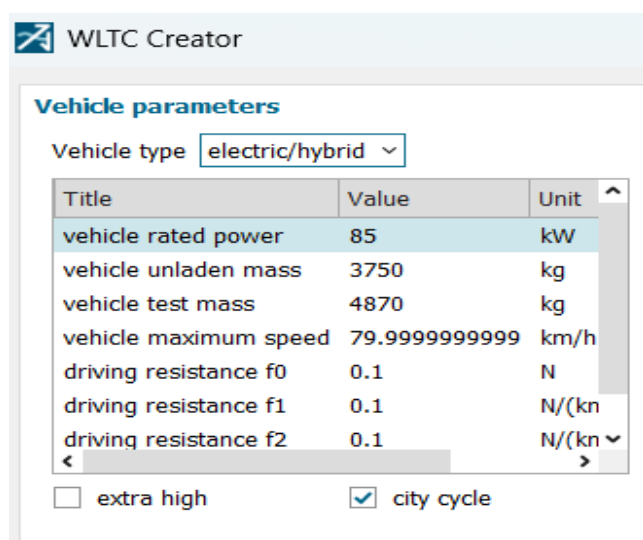
Kết quả tổn thất công suất và các điểm hoạt động của động cơ điện theo hình 4.13 tác giả mô phỏng từ phần mềm Amesim phản ánh đúng tính chất hoạt động của động cơ ở mô-men xoắn cực đại theo chu trình lái cá nhân mà tác giả cài đặt.



Hình 4.13: Đồ thị hoạt động của động cơ điện ở momen cực đại

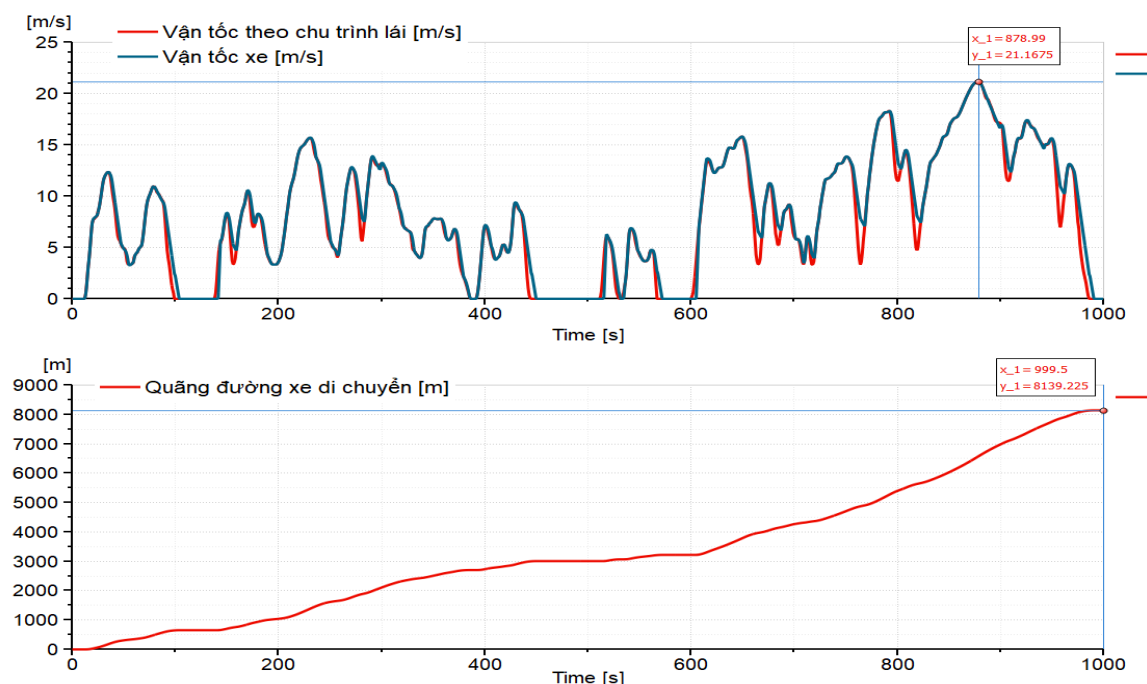
4.2.2. Kết quả mô phỏng xe trên chu trình lái WLTC

Trong phần mô phỏng xe buýt điện cỡ nhỏ theo chu trình lái WLTC này, tác giả lựa chọn chu kỳ mô phỏng theo điều kiện xe chạy trong đô thị (city cycle) như hình 4.14 được tác giả xuất ra từ phần mềm mô phỏng Simcenter Amesim. Loại bỏ các giai đoạn xe chạy ở tốc độ cao, để tập trung vào điều kiện giao thông đô thị điển hình với tốc độ thấp, nhiều điểm dừng và khởi động phù hợp với xe buýt điện cỡ nhỏ. Chu trình này có thời gian xe di chuyển khoảng 1000 giây cho hai giai đoạn, tốc độ trung bình khoảng 30 km/h và tốc độ tối đa khoảng 77 km/h.



Hình 4.14: Lựa chọn chu kỳ mô phỏng trong WLTC

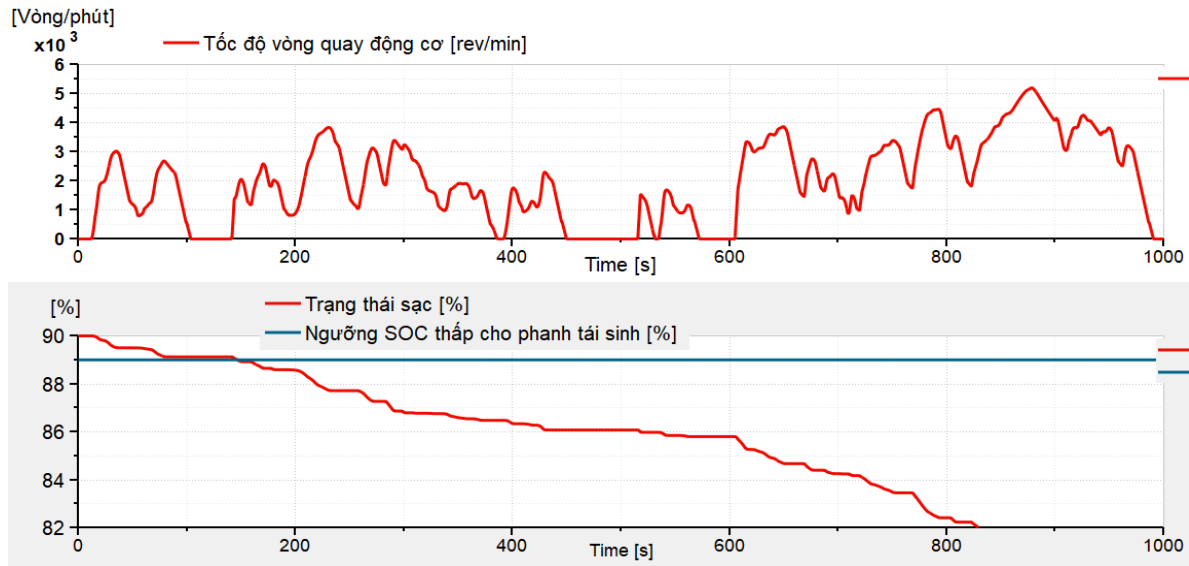
Kết quả mô phỏng về vận tốc thực tế được so sánh với vận tốc thu được từ quá trình mô phỏng, tác giả đã xây dựng trên hình 4.15. Quan sát trên hình 4.15, có thể thấy sự tương đồng tốt giữa hai giá trị vận tốc. Ngoài ra, như thông thường, quãng đường xe di chuyển trong bài thử nghiệm trùng với giá trị thu được từ phân tích mô phỏng là 83,2 km.



Hình 4.15: So sánh giữa vận tốc điều khiển (mô phỏng) và vận tốc thực của xe

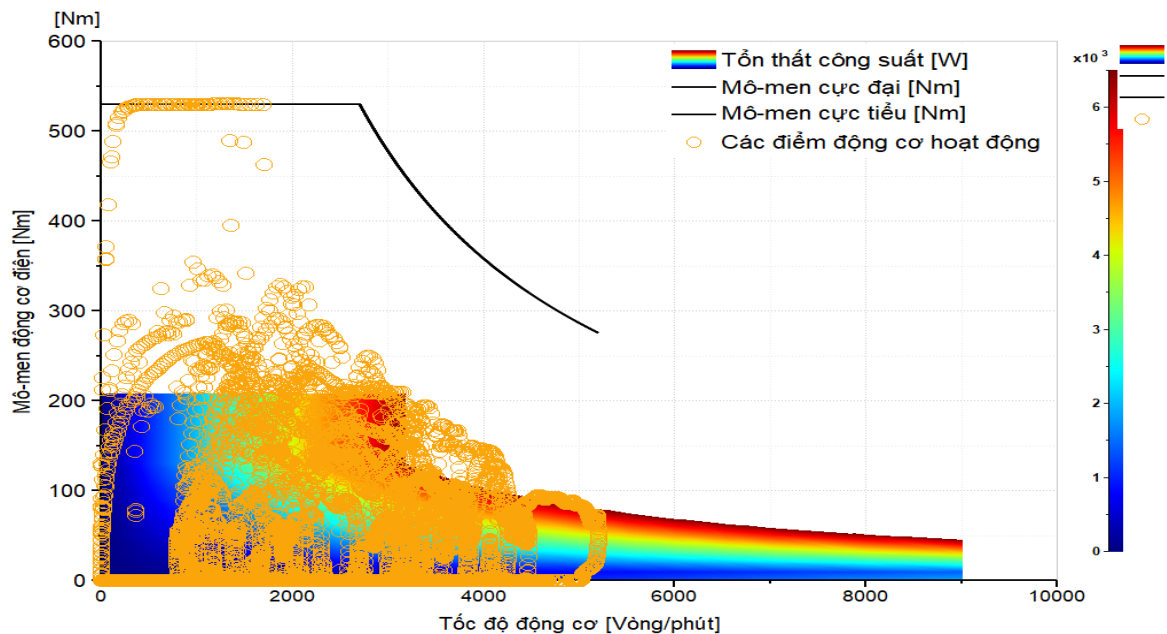
Ở hình 4.16 tác giả xuất kết quả ra từ phần mềm cho thấy để đạt được tốc độ yêu cầu theo chu trình tốc độ quy định, người lái cần phải ra lệnh tăng tốc và phanh cho phương tiện. Trong quá trình phanh, phanh thu hồi (regenerative braking) xảy ra khi

trạng thái sạc pin (SOC – State of Charge) giảm xuống dưới mức quy định. Hình 4.16 thể hiện thời điểm mà phanh tái sinh được điều khiển bởi đơn vị điều khiển ECU.



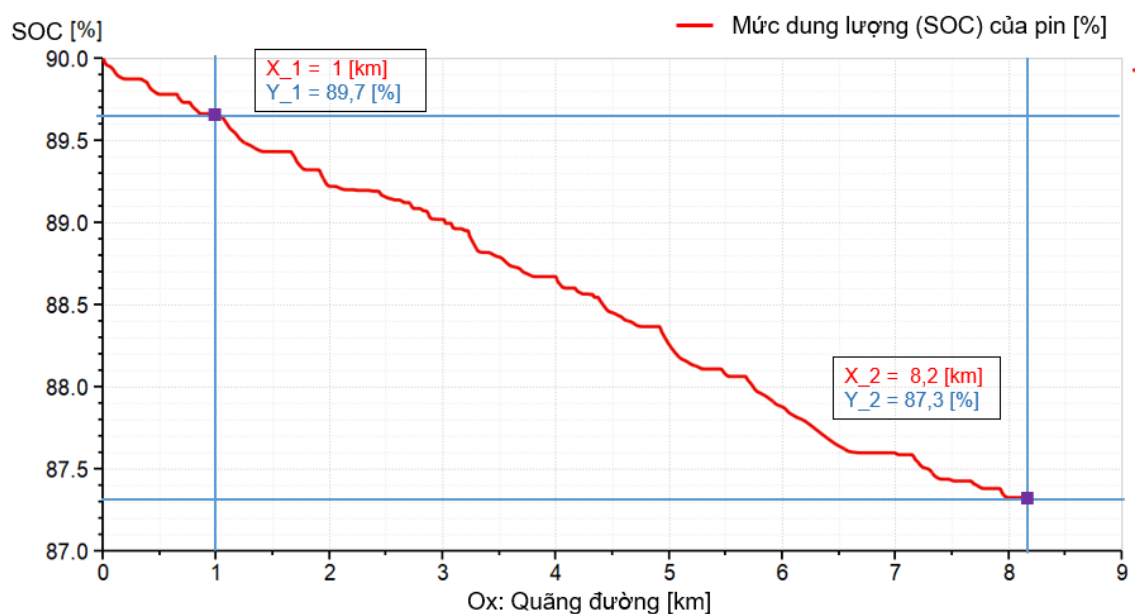
Hình 4.16: Tốc độ quay động cơ, SOC và phanh tái sinh

Đặc tính mô-men và tốc độ động cơ được tác giả xuất ra trong quá trình mô phỏng (hình 4.17) thể hiện sự suy giảm của mô-men xoắn động cơ từ khoảng 520 Nm ở tốc độ vòng quay thấp (< 200 vòng/phút) xuống dưới 100 Nm ở tốc độ cao (> 8000 vòng/phút). Vị trí các điểm động cơ hoạt động có trong đồ thị nhân mạnh hiệu suất làm việc hiệu quả và tổn hao điện hóa, nơi giới hạn mô-men xoắn, hiệu suất gia tốc và cân bằng năng lượng qua các chu kỳ lái xe.



Hình 4.17: Đồ thị hoạt động của động cơ điện trên chu trình WLTC

Kết quả mô phỏng quãng đường xe buýt điện chạy được theo dung lượng của bộ pin (SOC) được tác giả xây dựng trên hình 4.18. Đường đồ thị giảm dần tuyến tính với SOC khởi đầu tại 90 % và giảm xuống 87.3 % sau khi xe di chuyển được quãng đường khoảng 8,2 km.



Hình 4.18: Quãng đường xe di chuyển theo SOC

Các điểm dữ liệu nổi bật như trong hình 4.18 cho ta thấy độ dốc giảm trung bình của đồ thị vào khoảng 0.37 % (SOC/km). Tham khảo công thức tính mức tiêu thụ năng lượng (kWh/km) trong phần mềm Simcenter Amesim ta có:

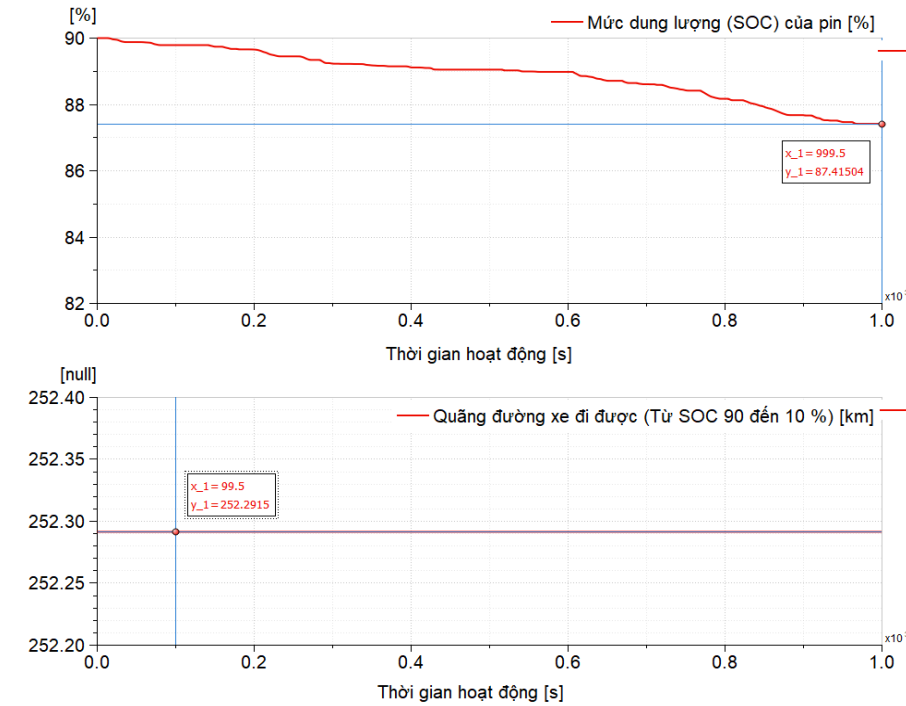
$$E_{\text{cons}} = \frac{C_{\text{battery}} \cdot SOC_{\text{loss}}}{100} \quad (4.1)$$

Trong đó:

- E_{cons} : Năng lượng tiêu thụ (kWh/km)
- C_{battery} : Dung lượng pin danh định (kWh)
- SOC_{loss} : Mức giảm SOC trên mỗi km (%/km)

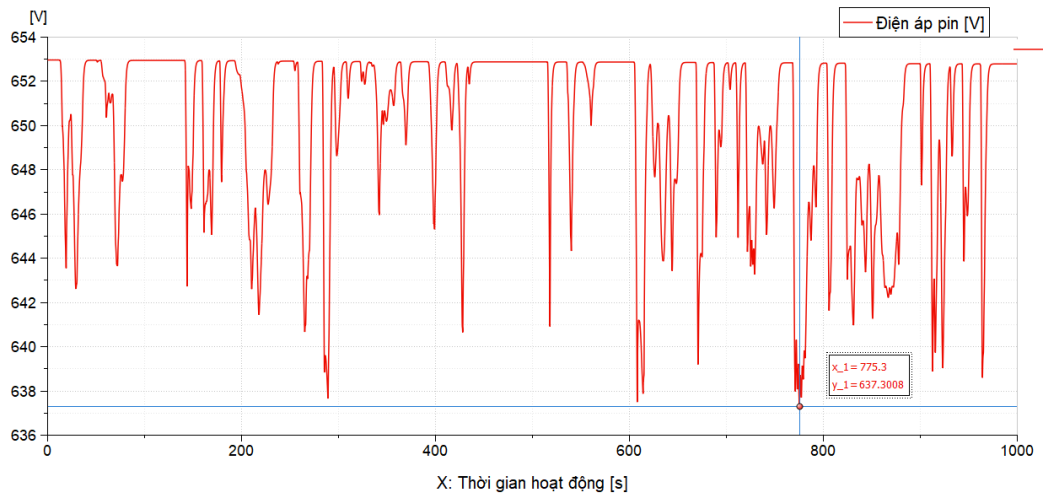
Thay giá trị $SOC_{\text{loss}} = 0.37$ (%/km) vào công thức (4.1), ta được:

$$E_{\text{cons}} = \frac{35.564 \cdot 4 \cdot 0.37}{100} \approx 0.53 \text{ (kWh/km)} \quad (4.2)$$



Hình 4.19: Phạm vi hoạt động của xe

Với mức tiêu thụ năng lượng theo kết quả mô phỏng trong hình 4.18 và kết quả thu được ở hình 4.19 cho ta thấy phạm vi hoạt động của xe buýt điện cỡ nhỏ sử dụng 4 pack pin, duy trì được quãng đường khoảng 252 km cho một lần sạc với điều kiện đường đô thị (chu trình WLTC).



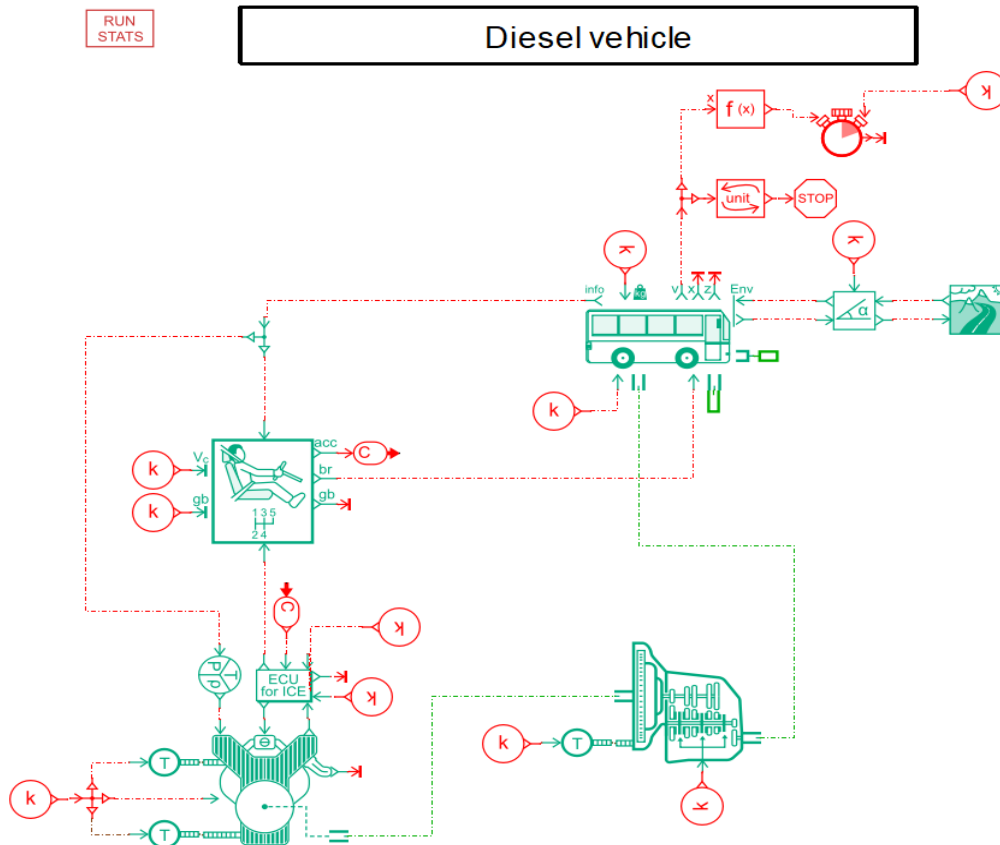
Hình 4.20: Trạng thái sạc (SOC) và điện áp của pin (V)

Đồ thị kết quả về điện áp của pin trong hình 4.20 được tác giả xuất ra từ mô hình trong phần mềm Amesim. Trong đó, đường đồ thị màu đỏ thể hiện sự biến thiên điện áp phù hợp, dao động trong khoảng 637 – 653 V phù hợp với đặc

tính làm việc của hệ thống điện áp cao. Các dao động điện áp xuất hiện liên tục tương ứng với các pha tăng/giảm tốc và phanh tái sinh, phản ánh đúng điều kiện vận hành của chu trình WLTC và không có hiện tượng điện áp rơi về 0 hoặc vượt ngưỡng cho phép.

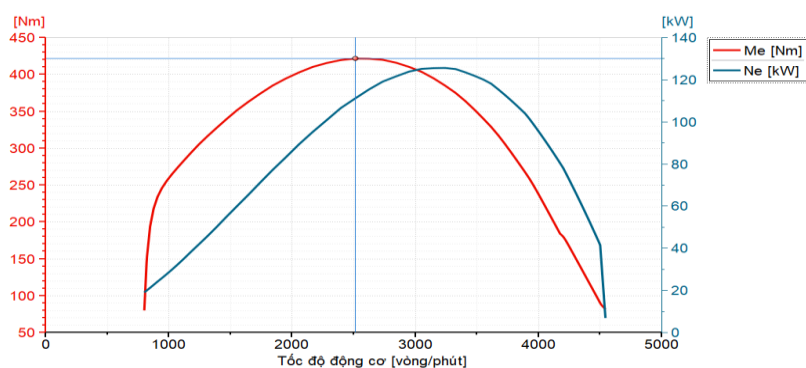
4.3. Mô phỏng xe buýt cỡ nhỏ sử dụng động cơ diesel trên phần mềm Simcenter Amesim.

Mô hình mô phỏng được xây dựng trên phần mềm Simcenter Amesim nhằm phân tích đặc tính kéo của xe buýt cỡ nhỏ sử dụng động cơ diesel. Cấu trúc mô hình giữ nguyên các thông số đầu vào của xe buýt điện cỡ nhỏ của tác giả thiết kế như khối lượng toàn tải, hệ thống truyền động, chu trình lái personal, điều kiện môi trường và thông số khí động học. Tuy nhiên, trong mô hình này (hình 4.20) tác giả thay thế động cơ điện bằng động cơ đốt trong diesel và bổ sung thêm hộp số 6 cấp đề phù hợp với đặc tính vận hành của hệ thống truyền động. Khối điều khiển lái xe tạo tín hiệu ga và phanh theo chu trình lái personal, đảm bảo so sánh khách quan giữa xe điện và xe diesel. Kết quả sẽ giúp làm nổi bật ưu điểm của xe điện về hiệu suất năng lượng và giảm phát thải.

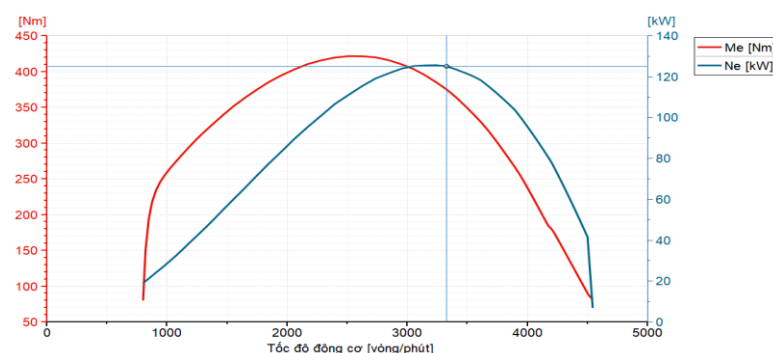


Hình 4.21: Mô hình hệ thống xe buýt cỡ nhỏ sử dụng động cơ diesel

Hình 4.22 và hình 4.23 là đồ thị kết quả mô phỏng đường đặc tính ngoài động cơ diesel về mô-men và công suất trên phần mềm Simcenter Amesim.



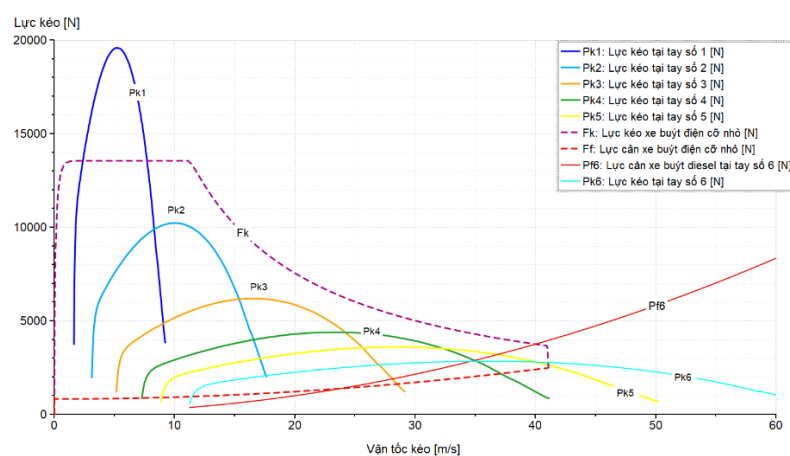
Hình 4.22: Kết quả đường đặc tính ngoài động cơ ($n_e = 2400$ rpm; $M_e = 425$ Nm)



Hình 4.23: Kết quả đường đặc tính ngoài động cơ ($n_e = 3200$ rpm; $N_e = 126$ kW)

4.4. So sánh và đánh giá kết quả đặc tính kéo của hai xe

Hình 4.24 là kết quả đồ thị đặc tính kéo của xe buýt cỡ nhỏ sử dụng động cơ diesel kết hợp hộp số 6 cấp và động cơ điện được tác giả sử dụng phần mềm Amesim mô phỏng.



Hình 4.24: So sánh kết quả đồ thị đặc tính kéo của xe buýt điện cỡ nhỏ và xe buýt diesel cỡ nhỏ

Cả hai kết quả đều được mô phỏng trên chu trình lái cá nhân, điều khiển động cơ điện và động cơ diesel đạt mô-men xoắn cực đại ngay từ giây đầu tiên. Kết quả mô phỏng đặc tính kéo của hai loại xe buýt cỡ nhỏ cho thấy sự khác biệt rõ rệt về khả năng phát triển lực kéo theo vận tốc. Đối với xe buýt điện cỡ nhỏ, đường đặc tính kéo (F_k) đạt lực kéo cực đại ngay tại thời điểm khởi hành và duy trì ổn định trong dải tốc độ thấp, sau đó giảm dần khi vận tốc tăng. Đặc điểm này phản ánh đúng bản chất của động cơ điện có mô-men lớn ở tốc độ thấp và giảm dần theo đặc tính công suất không đổi ở vùng tốc độ cao. Nhờ đó, xe buýt điện cỡ nhỏ có khả năng tăng tốc tức thời mạnh mẽ, đáp ứng nhanh, đặc biệt hiệu quả trong môi trường đô thị với nhiều pha khởi hành và dừng ngắn.

Ngược lại, xe buýt diesel cỡ nhỏ với động cơ đốt trong kết hợp cùng hộp số cơ khí 6 cấp, thể hiện các đường đặc tính rời rạc ($P_{k1} - P_{k6}$) tương ứng với từng tay số. Mỗi đường cong có điểm cực đại mô-men riêng và giới hạn tốc độ tối đa của cấp số. Khi chuyển số, lực kéo giảm tạm thời rồi tăng lại ở tay số tiếp theo, tạo nên đường đặc tính kéo gián đoạn. So với xe điện, lực kéo cực đại ở tay số 1 của xe diesel lớn hơn nhưng chỉ đạt giá trị cao nhất trong một dải tốc độ hẹp. Ở tốc độ cao, nhờ lợi thế hộp số nhiều cấp, xe diesel vẫn duy trì được lực kéo tương đối ổn định, trong khi xe điện bắt đầu giảm do giới hạn công suất định mức của động cơ và bộ biến tần.

Kết quả mô phỏng trên chu trình lái cá nhân cho thấy sự khác biệt rõ rệt về đặc tính động lực học giữa xe buýt điện cỡ nhỏ và xe buýt sử dụng động cơ diesel. Xe buýt điện thể hiện ưu thế vượt trội với khả năng đạt lực kéo cực đại ngay tại thời điểm khởi hành và duy trì ổn định trong dải tốc độ thấp trước khi giảm dần theo đặc tính công suất không đổi, giúp xe tăng tốc tức thời mạnh mẽ và vận hành mượt mà trong môi trường đô thị có mật độ dừng-khởi hành cao,. Ngược lại, xe buýt diesel với hộp số 6 cấp có đường đặc tính kéo gián đoạn do quá trình chuyển số, mặc dù có khả năng duy trì lực kéo ổn định hơn ở dải tốc độ cao nhờ ưu thế của hộp số đa cấp,. Tuy nhiên, xét về hiệu suất truyền động và mục tiêu giảm phát thải, mô hình xe buýt điện cỡ nhỏ là lựa chọn tối ưu cho hạ tầng giao thông công cộng tại Thành phố Hồ Chí Minh, đáp ứng tốt các yêu cầu về tính cơ động và bảo vệ môi trường. Do đó, mô hình xe buýt điện cỡ nhỏ là lựa chọn tối ưu cho giao thông đô thị, hướng tới vấn đề giảm phát thải và nâng cao hiệu quả năng lượng.

4.5. So sánh hiệu quả vận hành với xe buýt cỡ nhỏ hiện có ở Thành phố.

Thực trạng mạng lưới giao thông tại Thành phố Hồ Chí Minh cho thấy sự bất cập lớn khi 86% tổng số tuyến đường có lộ giới dưới 12m (trong đó 66% dưới 7m), khiến các dòng xe buýt cỡ lớn và trung bình khó tiếp cận sâu vào các khu dân cư nội bộ – nơi tập trung gần 85% dân số,.. Ngay cả dòng xe buýt điện Kim Long B30 hiện nay, dù được đánh giá là hiện đại, nhưng với chiều dài 6,570 m, vẫn gặp nhiều trở ngại khi lưu thông và xoay xở trong các tuyến hẻm nhỏ hẹp,. So với các phương tiện này, mô hình nghiên cứu của tác giả sở hữu ưu thế vượt trội về khả năng cơ động với chiều dài thân xe được tối ưu hóa chỉ còn 5,8 m và bán kính quay vòng nhỏ (6,9 m), cho phép xe dễ dàng tiếp cận các khu vực mà hệ thống GTCC truyền thống đang bỏ ngỏ.

Về khía cạnh kỹ thuật và tiêu chuẩn vận hành, các loại xe điện bốn bánh thí điểm hiện nay thường thiếu sự đồng bộ về kết cấu khung gầm và các tính năng an toàn, dẫn đến nguy cơ xung đột giao thông cao trong giờ cao điểm,. Ngược lại, mô hình xe buýt điện cỡ nhỏ đề xuất được thiết kế dựa trên các tiêu chuẩn kỹ thuật khắt khe, tích hợp công nghệ khung vỏ composite nhẹ (LKD) và hệ thống sàn thấp một bậc kết hợp cầu lên xuống cho xe lăn, đảm bảo tính tiếp cận toàn diện cho mọi đối tượng hành khách,..

Đặc biệt, so với các dòng minibus sử dụng động cơ diesel (như Ford Transit hay Hyundai Solati) vốn có đặc tính lực kéo gián đoạn và phát thải khí nhà kính lớn, hệ truyền động điện với động cơ cảm ứng AC Siemens trong nghiên cứu cho phép đạt mô-men xoắn cực đại ngay từ thời điểm khởi hành, giúp xe vận hành êm ái và tối ưu hóa hiệu suất năng lượng trong chu trình dừng-đỗ liên tục tại đô thị. Giải pháp này không chỉ giải quyết bài toán "kết nối cuối cùng" mà còn khắc phục triệt để các hạn chế về diện tích chiếm dụng và ô nhiễm môi trường của các dòng xe buýt hiện hữu.

4.6. Kết luận

Chương 4 đã hoàn thành việc xây dựng mô hình và đánh giá hiệu suất toàn diện của mô hình xe buýt điện cỡ nhỏ thông qua môi trường mô phỏng của phần mềm Simcenter Amesim. Bằng cách áp dụng phương pháp mô hình hóa hệ thống cơ điện tử đa miền 1D cùng với chu trình lái xe cá nhân (Personal) và chu trình lái xe WLTC (city cycle), nghiên cứu đã khẳng định tính tin cậy của mô hình khi các kết quả về đặc tính mô-men xoắn và cân bằng lực kéo của mô hình có sự tương đồng với kết quả lý thuyết. Kết quả đánh giá hiệu suất động lực học cho thấy xe buýt điện cỡ nhỏ duy trì được lực

kéo cao ở dải vận tốc thấp, phù hợp với yêu cầu tăng tốc trong đô thị, đồng thời đáp ứng khả năng leo dốc lên đến 20 %. Về hiệu suất năng lượng, mô phỏng trên chu trình lái WLTC đã xác định được mức tiêu thụ năng lượng lý tưởng, ước tính phạm vi hoạt động của xe đạt khoảng 252 km trong điều kiện đô thị. Sự so sánh với xe buýt diesel truyền thống đã nhấn mạnh ưu thế của xe điện về đường đặc tính lực kéo liên tục, cung cấp khả năng tăng tốc mượt mà và hiệu quả hơn, củng cố luận điểm rằng việc chuyển đổi sang sử dụng xe buýt điện là phương án kỹ thuật khả thi và cần thiết để phát triển hạ tầng giao thông đô thị thân thiện với môi trường.

KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Đề án tốt nghiệp thạc sĩ “Nghiên cứu sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ cho Thành phố Hồ Chí Minh” của tôi đã hoàn thành mục tiêu nghiên cứu là phát triển một giải pháp giao thông công cộng xanh và bền vững, đặc biệt cần thiết cho Tp.HCM do hạ tầng giao thông hiện tại yếu kém (chỉ đáp ứng khoảng 15 – 20 % nhu cầu di chuyển và mật độ đường nhỏ/hẻm cao (chiếm 86 % tổng số đường có lộ giới dưới 12 mét, nơi gần 85 % dân số đang sinh sống). Đây vốn là nguyên nhân gây ra ùn tắc nghiêm trọng và phát thải khoảng 13 triệu tấn CO₂ hàng năm từ ngành giao thông. Nghiên cứu đã đề xuất một phương án kỹ thuật khả thi và phù hợp cho xe buýt điện cỡ nhỏ với thiết kế nhỏ gọn (chiều dài 5.845 mm, chiều rộng cơ sở 2.055 mm), xe có sàn thấp, sử dụng khung vỏ composite nhẹ, chịu lực. Xe buýt điện cỡ nhỏ có nhiệm vụ đón khách từ các khu vực đường hẹp (dưới 7 mét) đến các tuyến giao thông công cộng có xe lớn hơn. Xe được thiết kế với 10 ghế ngồi, 5 vị trí đứng và 1 vị trí cho xe lăn, sử dụng động cơ điện cảm ứng AC (IM) Siemens (công suất định mức 85 kW, công suất cực đại là 150 kW). Kết hợp 4 pack pin Lithium Iron Phosphate bố trí trên mui xe để đạt tổng năng lượng danh định 143 kWh, cùng với cầu chủ động và hộp số giảm tốc có tỷ số truyền là 10. Thông qua mô phỏng trên phần mềm Simcenter Amesim sử dụng chu trình lái cá nhân (Personal) và WLTC (city cycle), mô hình đã khẳng định độ tin cậy của nghiên cứu, cho thấy khả năng leo dốc của xe lên đến 20 % và suất tiêu thụ năng lượng lý tưởng là 0.53 kWh/km, giúp xe đạt phạm vi hoạt động khoảng 252 km trong điều kiện đô thị, đồng thời thể hiện đặc tính lực kéo liên tục, mượt mà và hiệu quả vượt trội so với xe buýt diesel cỡ nhỏ.

Qua đó, đề án đã cung cấp một giải pháp then chốt để tăng cường phương án tiếp cận giao thông công cộng cho người dân, giảm phát thải khí nhà kính, hướng tới mục tiêu giao thông xanh và bền vững của Tp.HCM.

2. HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Nghiên cứu của tác giả đã thiết lập một nền tảng kỹ thuật vững chắc thông qua việc hoàn thiện phương án thiết kế tổng thể (Chương 3) và xác nhận tính khả thi động lực học bằng mô phỏng 1D đa miền (Chương 4). Tuy nhiên, để chuyển đổi thiết kế thành

sản phẩm thương mại hóa có độ tin cậy cao, hướng phát triển tiếp theo phải được tiến hành theo các trọng tâm kỹ thuật chuyên sâu và chiến lược ứng dụng cụ thể:

2.1. *Mô phỏng đa chiều 3D và tối ưu hóa thiết kế nâng cao*

Trước khi tiến hành chế tạo nguyên mẫu vật lý, cần thiết phải thực hiện giai đoạn kiểm chứng thiết kế bằng mô hình số hóa với độ phân giải cao hơn nhằm giảm thiểu rủi ro kỹ thuật và tối ưu hóa khối lượng cấu trúc.

Tích hợp mô phỏng đa miền (1D/3D Co-simulation): Mở rộng mô hình 1D động lực học và truyền động trên Simcenter Amesim sang mô phỏng đa chiều bằng cách tích hợp trực tiếp với các mô hình thiết kế CAD/CAE (ví dụ: Simcenter 3D hoặc ANSYS). Việc này nhằm trao đổi dữ liệu hình học và tải trọng để phân tích chi tiết các đặc tính phi tuyến tính.

Phân tích độ bền và ứng suất (Durability & Stress Analysis): Tập trung đánh giá độ cứng vững và khả năng chịu tải của cấu trúc khung vỏ mô-đun composite nhẹ chịu lực (LKD) trong các điều kiện mô phỏng vận hành khắc nghiệt (như chạy trên đường gồ ghề, tải trọng động và chu kỳ môi). Phân tích này là tối quan trọng để xác nhận tính bền kết cấu trước khi sản xuất hàng loạt.

Tối ưu hóa hệ thống quản lý nhiệt (BMS): Tiến hành mô phỏng nhiệt chi tiết để đánh giá hiệu quả làm mát của hệ thống pin Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4) và động cơ điện cảm ứng AC (IM) trong điều kiện nhiệt độ môi trường đô thị cao tại Tp.HCM. Mục tiêu là đảm bảo pin hoạt động trong dải nhiệt độ tối ưu, qua đó kéo dài tuổi thọ chu kỳ (cycle life) và tối đa hóa độ an toàn của hệ thống.

2.2. *Phát triển nguyên mẫu và kiểm chứng thực nghiệm*

Sau khi mô hình số hóa được tối ưu hóa, giai đoạn tiếp theo là phát triển nguyên mẫu kỹ thuật để xác thực các thông số hoạt động đã tính toán.

Chế tạo nguyên mẫu và hiệu chỉnh (Prototyping & Calibration): Tiến hành chế tạo nguyên mẫu dựa trên thiết kế sàn thấp, bố trí pin trên mui xe và hệ truyền động đã chọn. Thực hiện các thử nghiệm thực nghiệm (physical testing) để kiểm chứng định lượng các đặc tính hiệu suất chính, bao gồm thời gian tăng tốc (xác nhận khả năng đạt 60 km/h trong < 8,92 giây), khả năng vượt dốc (ổn định trên 12 % ở công suất danh định) và suất tiêu thụ năng lượng thực tế (Wh/km) so với dự kiến.

2.3. *Phát triển trạm sạc và phương pháp sạc*

Hạ tầng trạm sạc và phương thức sạc là những yếu tố kỹ thuật then chốt, quyết định tính khả thi và hiệu quả khai thác vận hành của mô hình xe buýt điện cỡ nhỏ trong mạng lưới giao thông đô thị. Dựa trên cấu hình hệ thống năng lượng sử dụng pin Lithium Iron Phosphate (LFP) với các cell pin mã L173F230, phương thức sạc được đề xuất dựa trên quy trình sạc dòng không đổi và áp không đổi (CC-CV) nhằm đảm bảo an toàn nhiệt và tối ưu hóa tuổi thọ hóa học của pin.

Theo kết quả nghiên cứu đặc tính linh kiện, hệ thống cho phép triển khai linh hoạt hai chế độ: sạc tiêu chuẩn (thời gian nạp đầy khoảng 4 giờ) và sạc nhanh (thời gian nạp đầy khoảng 1 giờ). Việc tích hợp bộ sạc Brusa NLG664 công suất 22 kW vào thiết kế cho phép xe tương thích tốt với các trạm sạc chuyên dụng, đồng thời hỗ trợ khả năng tái nạp năng lượng hiệu quả trong các khoảng thời gian chờ giữa các lượt tuyến.

Về chiến lược bố trí hạ tầng, các trạm sạc cần được thiết lập tại các điểm đầu - cuối tuyến hoặc bãi đỗ tập trung trong các quận để hỗ trợ mô hình vận hành vòng tròn khép kín. Giải pháp này không chỉ đảm bảo duy trì trạng thái sạc (SOC) ổn định cho hành trình di chuyển liên tục mà còn góp phần hiện thực hóa mục tiêu chuyển đổi 100% phương tiện giao thông xanh của Thành phố Hồ Chí Minh vào năm 2030 theo lộ trình phát triển bền vững

Hoàn thiện hệ thống điều khiển: Nâng cấp thuật toán điều khiển động cơ IM, chuyển từ điều khiển cơ bản sang các phương pháp tiên tiến hơn như điều khiển tốc độ theo từ thông (FOC) hoặc điều khiển thích ứng tham chiếu (MRAC). Điều này nhằm tối đa hóa hiệu suất động cơ trên toàn dải tốc độ và mô-men xoắn, đồng thời cải thiện khả năng thu hồi năng lượng (phanh tái sinh).

2.4. *Chiến lược ứng dụng và nội địa hóa công nghệ*

Các kết quả nghiên cứu kỹ thuật sẽ tạo đòn bẩy chiến lược cho việc triển khai thực tế ứng dụng phù hợp hạ tầng đô thị. Đề xuất triển khai các tuyến buýt điện cỡ nhỏ (với kích thước thân hẹp và ngắn) nhằm tăng cường khả năng tiếp cận GTCC tại các khu vực dân cư có hệ thống đường nhỏ hẹp (dưới 7m) và mật độ dân cư cao ở Tp.HCM. Định hướng thúc đẩy phát triển, góp phần quan trọng vào việc nội địa hóa sản phẩm trong chuỗi cung ứng công nghiệp ô tô điện tại Việt Nam. Tích hợp công nghệ giám sát và quản lý đội xe thông minh (Fleet Management Systems) để tối ưu hóa lịch trình, phát

triển giao thông thông minh, kiểm soát trạng thái sạc (SOC) của pin và nâng cao hiệu quả dịch vụ công cộng, từ đó góp phần vào mục tiêu phát triển giao thông xanh và bền vững theo đúng kim chỉ nam của Chính phủ và thành phố trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y.-F. Xing, Y.-H. Xu, M.-H. Shi và Y.-X. Lian, “The impact of PM2.5 on the human respiratory system,” *National Library of Medicine*, 06 3 2025.
- [2] L. T. Tung, “Net-zero ở Việt Nam và vai trò của năng lượng tái tạo,” 15 12 2021. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/5EI6>. [Đã truy cập 06 03 2025].
- [3] V. Toàn, “COP26: Quốc tế ấn tượng với cam kết đạt phát thải ròng bằng “0” của Việt Nam,” 03 11 2021. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/gPVm>. [Đã truy cập 06 03 2025].
- [4] T. Giang, “Nỗ lực thực hiện cam kết của Việt Nam tại Hội nghị COP 26,” 14 07 2023. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/VSEf>. [Đã truy cập 06 03 2025].
- [5] C. T. Hương, “COP 27: Việt Nam nâng mục tiêu của Đóng góp do quốc gia tự quyết định,” 10 11 2022. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/cfie>. [Đã truy cập 06 03 2025].
- [6] CALSTART, “COP28: Stronger zero-emission transport ambition, policies needed now to lessen climate impacts, reach climate goals,” 05 12 2023. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/IdsU>. [Đã truy cập 07 03 2025].
- [7] H. Giang, “Việt Nam công bố kế hoạch huy động nguồn lực triển khai JETP tại Dubai,” 01 12 2023. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/Scom>. [Đã truy cập 07 03 2025].
- [8] U. Nation, “Financing a Sustainable Future: How the Private Sector Can Lead at COP29,” 06 11 2024. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/0vCJ>. [Đã truy cập 09 03 2025].
- [9] “COP29 Presidency publishes final texts of Declarations and Pledges for upcoming UN Climate Summit,” 21 10 2024. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/8CPg>. [Đã truy cập 09 03 2025].
- [10] P. X. Mai, T. V. Nam và N. đ. t. g. , Ô tô điện và ô tô tự lái: (BEV, HEV, PHEV, FCEV, CAEV) Kết cấu, Công nghệ, Thiết kế, Bảo trì, Tái chế, Thành phố Hồ Chí Minh: Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2023.

- [11] T. Sasaki và v. c. c. sự, “Future Powertrain for Zero Emission Commercial Vehicles,” *Hino Motors Ltd*, 2018.
- [12] R. Milligan, “Critical evaluation of the battery electric vehicle for sustainable mobility. School of Engineering and the Built Environment,” Edinburgh Napier University, 2016.
- [13] T. Mo, “Design of Energy and Powertrain Systems for Electric Bused Based on Driving Cycles and Multiple Criteria,” Swinburne University of Technology, Australia, 2022.
- [14] A. Apak, Y. K. và V. c. c. s. , “Design and Construction an Electric Minibus,” *2011 IEEE International Conference on Mechatronics*, 2011.
- [15] C. Husar, C. I. M. G. và V. c. c. s. , “Model based design of an Urban Electric Minibus,” *2020 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)*, 23 10 2020.
- [16] N. T. Hằng và N. T. Anh, “Báo cáo tóm tắt xây dựng kế hoạch hành động giao thông vận tải bằng phương tiện giao thông điện trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh,” Tổ chức Hợp tác Phát triển Đức GIZ, Thành phố Hồ Chí Minh, 2024.
- [17] S. C. Phathinan Thaithatkul, “New Mobility Services in Bangkok's Urban Transport System,” *The Nippon Foundation - JTTRI*, 03 2025.
- [18] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo và K. Ebrahimi, Third edition - Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles., U.S: Taylor & Francis Group, LLC, 2018.
- [19] B. Tabbache, S. Djebbari và V. c. c. s. , “A Power Presizing Methodology for Electric Vehicle Traction Motors,” *HAL - Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved.*, 2013.
- [20] C. Ars, “Elfa Components Data Sheets,” 05 06 2014. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/MFhb>. [Đã truy cập 12 06 2025].
- [21] P. X. Mai, P. V. Hà và V. c. c. s. , “Design Method of Electric Vehicle Power System,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 19 01 2022.

- [22] X. Zhang, H. Peng và V. c. c. s. , “Hybrid Lithium Iron Phosphate Battery and Lithium Titanate Battery Systems for Electric Buses,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 956-965 - Tập 67, Số 2, 2 2018.
- [23] C. B. -. G. Pavaskar, “Electric Buses in India: Technology, policy and Benefits,” Global Green Growth Institute, India, 2016.
- [24] R. Zhao, J. Gu và J. Liu, “Performance Assessment of a Passive Core Cooling Design for Cylindrical Lithium-Ion Batteries,” *International Journal of Energy Research*, 25 06 2018.
- [25] Siemens, “Catalog Motion Control Drives,” [Trực tuyến]. Available: Siemens.com/d21-4. [Đã truy cập 07 05 2025].
- [26] P. X. Mai, N. P. T. Lưu, N. V. Đông, P. V. Hà và T. T. M. Tiên, Thiết kế ô tô, Thành phố Hồ Chí Minh: NXB: Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2021.
- [27] J. J. Koo và D. H. Kim, “Lightweight composite materials in automotive engineering: State-of-the-art and future trends,” *Composite Structures*, 2021.
- [28] M. Kumar và et al, “Advances of composite materials in automobile applications,” *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [29] P. Mahato và V. K. Patel, “Lightweight composite materials for automotive - A review,” *IRJET*, 2020.
- [30] L. Z. e. al, “Application Research on the Lightweight Design and Optimization of Composite Floor,” *Procedia Engineering*, 2017.
- [31] F. C. e. al, “Recycling issues of fiber-reinforced composites: From technology to sustainability,” *Polymers*, 2020.
- [32] J. Anderson, “Composite structures in commercial EV manufacturing,” *Automotive Engineering International*, SAE, 2022.
- [33] P. X. Mai, N. H. Hường và N. X. Ngát, Tính toán sức kéo ô tô - máy kéo, Thành phố Hồ Chí Minh: Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2007.
- [34] N. P. Hiên và V. Đ. Lập, Lý thuyết ô tô Quân sự, Hà Nội: Quân đội Nhân dân, 2002.

- [35] M. Hirz, P. Rossbacher và J. Gulanova, “Future trends in CAD – from the perspective of automotive industry,” *Computer-Aided Design & Application*, 2017.
- [36] S. AG, *Training Simcenter Amesim 17 AME1*, 2018.
- [37] L. An, “Thúc đẩy giao thông xanh tại Thành phố Hồ Chí Minh,” 20 1 2025. [Trực tuyến]. Available: <https://bitly.li/INzC>. [Đã truy cập 06 3 2025].
- [38] T. T. C. Phủ, “Quyết định số: 496/QĐ-TTg,” Thư viện pháp luật, Hà Nội, 2024.
- [39] V. p. C. Phủ, “Thông báo số: 372/TB-VPCP "Kết luận của Phó Thủ Tướng Chính phủ Trần Hồng Hà tại cuộc họp về chính sách phát triển phương tiện giao thông xanh và chính sách phát triển trạm sạc điện cho phương tiện giao thông xanh",” Thư viện pháp luật, Hà Nội, 2024.
- [40] G. R.Gatarin, “Modernising the "king of the road": Pathways for just transitions for the,” *Urban Governance*, 06 11 2023.
- [41] B. G. T. V. Tải, *Thông tư số: 53/2024/TT-BGTVT "Thông tư quy định về phân loại phương tiện giao thông đường bộ và dấu hiệu nhận biết xe cơ giới sử dụng năng lượng sạch, năng lượng xanh, thân thiện môi trường"*, Hà Nội: Thư viện pháp luật, 2024.