

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



NGÔ MINH HIỀN

**NGHIÊN CỨU HỆ ĐỘNG LỰC XE BUÝT ĐIỆN
CỖ NHỎ PHÙ HỢP 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 11 năm 2025

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



NGÔ MINH HIỀN

**NGHIÊN CỨU HỆ ĐỘNG LỰC XE BUÝT ĐIỆN
CỖ NHỎ PHÙ HỢP THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Ngành : Kỹ Thuật ô tô

Mã số : 8520130

NGƯỜI HƯỚNG DẪN: PGS.TS. ĐỒNG VĂN HƯỚNG

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 11 năm 2025

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

Số: 251020-13/QĐ-UTH-SDH

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

TP. Hồ Chí Minh, ngày 20 tháng 10 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-HĐTĐHGTVT 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-SDH ngày 03 tháng 3 năm 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 **Ngô Minh Hiền** với đề tài: “Nghiên cứu hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp Thành phố Hồ Chí Minh”, người hướng dẫn: PGS.TS. Đồng Văn Hường, gồm các ông (bà) có tên sau:

- | | | |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1. TS. Lê Văn Vang | Trường ĐH GTVT TP.HCM | Chủ tịch Hội đồng; |
| 2. TS. Hoàng Văn Sĩ | Trường ĐH GTVT TP.HCM | Ủy viên, phản biện; |
| 3. PGS.TS. Lê Hữu Sơn | Trường ĐH Văn Lang | Ủy viên, phản biện; |
| 4. PGS.TS. Đoàn Văn Đồng | Trường ĐH GTVT TP.HCM | Ủy viên; |
| 5. TS. Đỗ Việt Dũng | 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
TRƯỜNG
ĐẠI HỌC
GIAO THÔNG VẬN TẢI
THÀNH PHỐ
HỒ CHÍ MINH
NGUYỄN TS. Lê 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: PGS.TS. Đồng Văn Hương

Đề án tốt nghiệp thạc sĩ được bảo vệ tại Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh ngày 27 tháng 10 năm 2025

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

(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị của Hội đồng chấm bảo vệ đề án tốt nghiệp thạc sĩ theo Quyết định)

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1. TS. Lê Văn Vang | Chủ tịch Hội đồng; |
| 2. TS. Hoàng Văn Sĩ | Ủy viên, phản biện; |
| 3. PGS.TS. Lê Hữu Sơn | Ủy viên, phản biện; |
| 4. PGS.TS. Đoàn Văn Đồng | Ủy viên; |
| 5. TS. Đỗ Việt Dũng | Ủy viên, thư ký. |

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG



PGS.TS. Đồng Văn Hương

LỜI CAM ĐOAN

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

Tôi xin chịu trách nhiệm về đề tài nghiên cứu của mình.

TP.Hồ Chí Minh, ngày 06 tháng 11 năm 2025

Tác giả Đề án

(Kí và ghi rõ họ tên)



Ngô Minh Hiền

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành đề án tốt nghiệp thạc sĩ ngành Kỹ Thuật Ô Tô với đề tài “**Nghiên cứu hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp Thành Phố Hồ Chí Minh**” là kết quả của quá trình nghiên cứu, tìm hiểu, nỗ lực cố gắng không ngừng của tôi trong suốt thời gian qua với sự giúp đỡ tận tình của quý thầy, cô giáo Trường Đại học Giao Thông Vận Tải Thành phố Hồ Chí Minh, các nhà khoa học trong ngành ô tô, bạn bè, đồng nghiệp.

Đặc biệt tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc và lời cảm ơn chân thành đến thầy hướng dẫn chính là thầy PGS.TS. Đồng Văn Hương đã trực tiếp hướng dẫn, định hướng tận tình, luôn giúp đỡ, hỗ trợ, quan tâm đôn đốc để đề án tốt nghiệp được hoàn thành đúng mục tiêu tiến độ của nhà trường.

Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới Ban Giám hiệu nhà trường, Viện Sau Đại Học, Ban lãnh đạo Viện Cơ Khí, các bộ môn chuyên môn đã tạo điều kiện giúp đỡ để tôi hoàn thành đề án tốt nghiệp thạc sĩ của mình.

Sau cùng, tôi xin cảm ơn gia đình, anh chị em, bạn bè đã luôn ở bên cạnh và động viên, ủng hộ, trong suốt thời gian qua để tôi hoàn thành tốt việc học cao học, cũng như hoàn thành tốt đề tài thạc sĩ của mình.

Xin trân trọng cảm ơn!

TP.Hồ Chí Minh, ngày 06 tháng 11 năm 2025

Tác giả Đề án

(Ký và ghi rõ họ tên)



Ngô Minh Hiền

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	vi
DANH MỤC BẢNG	viii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	ix
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài	1
2. Mục Tiêu nghiên cứu	2
3. Đối tượng nghiên cứu.....	2
4. Phạm vi nghiên cứu.....	3
5. Phương pháp nghiên cứu.....	4
6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	5
7. Bố cục của đề án tốt nghiệp	7
CHƯƠNG 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	8
1.1. Tình hình giao thông và vận tải hành khách tại Thành Phố Hồ Chí Minh.....	8
1.1.1. Hiện trạng giao thông và vận tải hành khách tại Thành Phố Hồ Chí Minh	8
1.1.2. Bất cập về cơ sở hạ tầng và phương tiện vận chuyển	9
1.1.3. Ùn tắc giao thông ở thành phố Hồ Chí Minh.....	11
1.1.4. Dự báo nhu cầu sử dụng xe điện tại thành Phố Hồ Chí Minh	12
1.2. Tổng quan về xe buýt điện cỡ nhỏ	14
1.2.1. Khái quát về xe buýt điện cỡ nhỏ.....	14
1.2.2. Ưu điểm và vai trò của xe buýt điện cỡ nhỏ trong giao thông đô thị	17
1.3. Cơ sở lý thuyết về cấu hình và thành phần chính hệ động lực điện trên xe buýt điện cỡ nhỏ	17
1.3.1. Khái niệm về hệ động lực điện	17
1.3.2. Cơ sở lý thuyết về cấu hình hệ động lực điện	20
1.3.3. Tầm quan trọng của hệ động lực điện trên xe buýt điện cỡ nhỏ	25
1.4. Giới thiệu phần mềm mô phỏng	25
1.4.1. Tổng quan về Matlab	25
1.4.2. Matlab Simulink.....	26

1.5. Các mô hình động lực đã được áp dụng cho xe buýt điện cỡ nhỏ	27
1.5.1. Nghiên cứu ngoài nước	27
1.5.2. Nghiên cứu trong nước.....	28
CHƯƠNG 2: TÍNH TOÁN CHỌN CẤU HÌNH XE BUÝT ĐIỆN CỠ NHỎ VÀ THIẾT KẾ HỆ ĐỘNG LỰC ĐIỆN	30
2.1. Phân tích lựa chọn và xây dựng bố trí chung xe buýt điện cỡ nhỏ	30
2.1.1. Phân tích các đặc tính chung của xe buýt cỡ nhỏ	30
2.1.2. Chọn cấu hình tổng thể xe buýt cỡ nhỏ.....	31
2.1.3. Xây dựng cấu hình tổng thể hệ truyền động điện	33
2.1.4. Chọn phương án bố trí hệ động lực điện cho xe buýt điện cỡ nhỏ	34
2.2. Tính toán, lựa chọn xây dựng các thành phần chính hệ động lực điện	36
2.2.1. Tính toán các thông số cần thiết để lựa chọn động cơ điện	36
2.2.2. Chọn động cơ điện cho xe thiết kế.....	40
2.2.3. Tính toán xác định tỉ số truyền và lựa chọn hộp giảm tốc cho xe	45
2.2.4. Lựa chọn bộ điều khiển động cơ.....	46
2.3. Tính toán, lựa chọn hệ thống pin cho hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ	56
2.3.1. Tổng quan pin điện áp cao cho xe điện.....	56
2.3.2. Các thành phần của bộ pin điện áp cao	59
2.3.3. Tính toán lựa chọn bộ pin xe buýt điện cỡ nhỏ.....	60
2.3.4. Hệ thống quản lí pin điện áp cao cho xe điện	67
2.3.5. Quản lý nhiệt hệ thống pin xe điện	68
CHƯƠNG 3: MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG HỆ ĐỘNG LỰC XE BUÝT ĐIỆN CỠ NHỎ.....	72
3.1. Xây dựng mô hình hệ động lực của xe buýt điện cỡ nhỏ	72
3.1.1. Mô hình hóa tổng thể hệ động lực của xe trên phần mềm matlab Simulink ..	72
3.1.2. Mô hình hóa thông số cấu hình xe và các tín hiệu đầu vào	73
3.1.3. Mô hình hóa động cơ điện và hộp giảm tốc cho xe	82
3.1.4. Mô hình hóa bộ điều khiển động cơ.....	86
3.1.5. Mô hình hóa hệ thống pin	91
3.2. Kết quả mô phỏng và phân tích đánh giá	93

3.2.1. Phân tích đánh giá kết quả mô phỏng vận tốc xe tham chiếu và thực tế theo chu trình lái	93
3.2.2. Phân tích, đánh giá khả năng tăng tốc, giảm tốc của xe	94
3.2.3. Phân tích, đánh giá kết quả mô phỏng đặc tính tốc độ, mô men và công suất của động cơ điện	95
3.2.4. Phân tích, đánh giá kết quả mô phỏng cường độ dòng điện và điện áp động cơ...	97
3.2.5. Phân tích, đánh giá quá trình sạc, xả của pin và quãng đường xe đi được	99
KẾT LUẬN	102
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	104

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

TT	TỪ VIẾT TẮT	GIẢI NGHĨA
1	AC	Dòng điện xoay chiều
2	BEV	Xe thuần điện sử dụng pin
3	BLDC	Động cơ điện một chiều không chổi than
4	BMS	Bộ quản lí pin
5	BJT	Transitor lưỡng cực có mối nối
6	CAN bus	Mạng khu vực điều khiển là là một mạng truyền thông đa điểm cho phép nhiều thiết bị cùng chia sẻ một đường truyền dữ liệu chung
7	CAD	Thiết kế được hỗ trợ bằng máy tính
8	DC	Một mạch điện cung cấp điện một chiều (DC) cho các thiết bị khác nhau trong hệ thống
9	DC bus	là một mạch điện cung cấp điện một chiều (DC) cho các thiết bị khác nhau trong hệ thống
10	DSP	Bộ xử lí tín hiệu số
11	ECU	Bộ điều khiển vi mạch điện tử
12	EV	Xe ô tô thuần điện
13	EM	Điện từ
14	EPA	Tiêu chuẩn mức tiêu hao năng lượng của Mỹ
15	FCEV	Xe điện dùng pin nhiên liệu
16	FOC	Điều khiển hướng từ trường (Điều khiển vector)
17	Filter	Bộ lọc
18	Fuzzy	Điều khiển mờ
19	FEM	Phương pháp phần tử hữu hạn
20	FTP-75	Chu trình lái xe cho đường đô thị, thành phố
21	GTO	Thyristor tắt bằng cổng điều khiển
22	GPS	Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu của Hoa Kỳ
23	HEV	Xe điện lai
24	Inverter	Bộ biến tần

25	IP67	Mức bảo vệ có khả năng chống nước, chống bụi
26	IGBT	Transistor lưỡng cực cổng cách điện
27	IM	Động cơ cảm ứng
28	Mini buýt	Xe buýt điện cỡ nhỏ từ 12- 16 chỗ ngồi
29	MRT	Hệ thống tàu điện vận tải hành khách công cộng
30	MOSFET	Transistor hiệu ứng trường ô xít kim loại
31	MCT	Thyristor điều khiển bằng MOSFET
32	MRAC	Điều khiển thích nghi theo mô hình tham chiếu
33	NEDC	Chu trình lái xe Châu Âu
34	NNC	Điều khiển bằng mạng nơ-ron nhân tạo
35	PDU	Bộ phân phối nguồn điện
36	PI	Bộ điều khiển tích phân tỷ lệ
37	PPI	Bộ điều khiển tỷ lệ- tích phân vị trí
38	PMSM	Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu
39	PMHM	Động cơ lai nam châm vĩnh cửu
40	PHEV	Xe điện lai có sạc điện
41	PWM	Điều chế độ rộng xung
42	Rectifier	Bộ chỉnh lưu
43	SEI	Giai đoạn trung gian chất điện phân rắn
44	SOC	Trạng thái sạc của pin
45	SOH	Trạng thái sức khỏe của pin
46	SOF	Trạng thái chức năng của pin
47	SRPM	Động cơ từ trở nam châm vĩnh cửu
48	SCR	Bộ chỉnh lưu có điều khiển (Thyristor)
49	STC	Điều khiển trượt
50	SRM	Động cơ từ trở
51	TP.HCM	Thành phố Hồ Chí Minh
52	VVVF	Biến đổi tần số và điện áp

DANH MỤC BẢNG

Bảng 2. 1 Bảng thông số cấu hình xe Kim Long X9.....	32
Bảng 2. 2 Các thông số tính toán cơ bản.....	36
Bảng 2. 3 Hệ số cản khí động ở các loại xe.....	38
Bảng 2. 4 Bảng giá trị tính toán từ Excel.....	39
Bảng 2. 5 Thông số của động cơ điện danfoss cho model EM-PMI375-T500-2300....	41
Bảng 2. 6 Thông số hộp giảm tốc đơn cấp ZF e.Gearbox 1-speed.....	46
Bảng 2. 7 Thông số bộ biến tần SIEMEN SINAMICS S120.....	49
Bảng 2. 8 Thông số kỹ thuật Cell pin Panasonic NCR18650BD.....	61
Bảng 2. 9 Chu trình lái xe đô thị (FTP-75).....	62
Bảng 2. 10 Công suất tiêu hao của các tải liên tục trên xe.....	63
Bảng 2. 11 Công suất tiêu hao các tải gián đoạn trên xe.....	64

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1. 1 Sơ đồ mạng lưới đường nhỏ và hẻm, khu dân cư nội bộ ở thành phố	11
Hình 1. 2 Dòng xe ùn tắc tại đường Cộng Hòa, TP.HCM	12
Hình 1. 3 Tỷ lệ sử dụng các loại phương tiện giao thông tại Việt Nam.....	14
Hình 1. 4 Mẫu xe mini buýt điện Karsan e Jest do Karsan sản xuất.....	14
Hình 1. 5 Xe mini buýt liên tỉnh (trái) và xe mini buýt trung chuyển Kim Long X9 của công ty Phương Trang - FUTA Buýt Lines.....	15
Hình 1. 6 Hình ảnh thực tế xe buýt điện cỡ nhỏ B30 EV tuyến 161	16
Hình 1. 7 Hệ động lực xe điện.....	18
Hình 1. 8 Sơ đồ khối chức năng của hệ động lực điện.....	19
Hình 1. 9 Sơ đồ cấu hình tổng quát xe điện	21
Hình 1. 10 Các cấu hình có thể của ô tô điện	22
Hình 1. 11 Phương án truyền động dùng hộp số cơ khí.....	23
Hình 1. 12 Phương án truyền động dùng động cơ điện, truyền lực chính và vi sai	23
Hình 1. 13 Hệ thống truyền động chỉ dùng động cơ điện	24
Hình 1. 14 Phần mềm Matlab	26
Hình 1. 15 Giao diện của phần mềm Matlab/Simulink.....	27
Hình 2.1 Các loại xe mini buýt ở Việt Nam hiện nay	31
Hình 2.2 Xe mini buýt Kim Long X9 từ 12-16 chỗ	31
Hình 2.3 Sơ đồ quá trình truyền tải năng lượng và điện của xe buýt điện.....	33
Hình 2.4 Sơ đồ khối hệ thống truyền động điện trên xe.....	34
Hình 2.5 Phương án bố trí hệ động lực điện phù hợp cho xe buýt điện cỡ nhỏ.....	35
Hình 2. 6 Sơ đồ nối ghép động cơ điện dựa trên xe nguyên thủy	35
Hình 2.7 Các lực tác động lên một chiếc xe đang di chuyển	37
Hình 2.8 Hình ảnh động cơ điện Danfoss cho model EM-PMI375-T500-2300	42
Hình 2.9 Sơ đồ cấu trúc cơ bản của biến tần.....	47
Hình 2.10 Sơ đồ cấu trúc phân động lực	47
Hình 2.11 Sơ đồ mạch công suất cơ bản	48
Hình 2.12 Sơ đồ khối cho bộ biến tần Siemen	50
Hình 2.13 Hình ảnh bên ngoài của mô hình biến tần	51

Hình 2.14 Cấu tạo bộ điều khiển động cơ BLDC	53
Hình 2.15 Sơ đồ khối điều khiển tốc độ động cơ điện theo $U/f = \text{constant}$	54
Hình 2.16 Sơ đồ mạch bộ chuyển đổi Buck	56
Hình 2.17 Sơ đồ mạch bộ chuyển đổi Boost	56
Hình 2.18 Bố trí lắp đặt khối pin trên xe thiết kế	66
Hình 2.19 Hệ thống làm mát bằng chất lỏng cho một khối pin	70
Hình 3. 1 Mô hình hóa hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ trên Matlab Simulink	72
Hình 3. 2 Mô hình hóa cấu hình thân xe	73
Hình 3. 3 Khối thân xe trong phần mềm Matlab Simulink	74
Hình 3. 4 Bảng thiết lập điều chỉnh các thông số khối cấu hình thân xe	75
Hình 3. 5 Khối lớp xe trong matlab Simulink	76
Hình 3. 6 Bảng hiệu chỉnh các thông số chính của lớp xe	76
Hình 3. 7 Mô hình khối các tín hiệu đầu vào	77
Hình 3. 8 Khối mô phỏng tín hiệu xe	78
Hình 3. 9 Mô phỏng khả năng tăng tốc của xe	78
Hình 3. 10 Khối chu trình lái xe FTP-75	79
Hình 3. 11 Khối mô phỏng người điều khiển xe	80
Hình 3. 12 Giá trị hiệu chỉnh thông số K_i , K_p	81
Hình 3. 13 Khối động cơ BLDC trong Matlab	82
Hình 3. 14 Bảng hiệu chỉnh các thông số cho động cơ điện	83
Hình 3. 15 Mô hình hóa hệ thống truyền lực của xe	84
Hình 3. 16 Khối vi sai	85
Hình 3. 17 Khối bánh răng đơn giản (hộp số)	85
Hình 3. 18 Thiết lập tỷ số truyền của hệ thống bánh răng	86
Hình 3. 19 Khối mô hình hóa bộ chuyển đổi tín hiệu PWM	86
Hình 3. 20 Khối H-Bridge trong Matlab/Simulink	87
Hình 3. 21 Thông số khối cầu H-Bridge trong mô hình mô phỏng	88
Hình 3. 22 Khối mô phỏng bộ điều khiển điện áp PWM	88
Hình 3. 23 Giá trị hiệu chỉnh các thông số trong khối PWM	89
Hình 3. 24 Khối kiểm soát nguồn điện	89
Hình 3. 25 Mô hình hóa khối Switch	90

Hình 3. 26 Khối mô phỏng điều khiển đóng mở Transistor.....	90
Hình 3. 27 Khối Three-Phase trên Matlab/Simulink.....	90
Hình 3. 28 Mô hình hóa khối xử lý tín hiệu	91
Hình 3. 29 Mô hình hóa hệ thống pin.....	92
Hình 3. 30 Thông số của bộ pin mô phỏng	92
Hình 3. 31 Biểu đồ vận tốc xe mong muốn và thực tế FTP-75	93
Hình 3. 32 Đồ thị tín hiệu tăng tốc-giảm tốc của xe theo chu trình lái FTP-75	94
Hình 3. 33 Đồ thị tốc độ động cơ theo chu trình lái FTP-75.....	95
Hình 3. 34 Đồ thị mô men xoắn động cơ	96
Hình 3. 35 Đồ thị công suất của động cơ	96
Hình 3. 36 Đồ thị cường độ dòng điện của động cơ	97
Hình 3. 37 Đồ thị điện áp của động cơ.....	98
Hình 3. 38 Đồ thị pin giảm sau khi mô phỏng	99
Hình 3. 39 Đồ thị quãng đường xe đã di chuyển sau khi mô phỏng.....	100
Hình 3. 40 Quãng đường xe đi được và phần tram pin còn lại sau mô phỏng.....	101

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Trong tình hình bối cảnh hiện nay, các đô thị lớn trên thế giới đang phải đối mặt với ô nhiễm môi trường, ô nhiễm không khí, kẹt xe và biến đổi khí hậu. Trong đó, giao thông vận tải đặc biệt là phương tiện sử dụng động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu hóa thạch, được xem là một trong những nguyên nhân chính gây ô nhiễm không khí và phát khí thải nhà kính. Trước xu hướng phát triển giao thông xanh toàn cầu, việc chuyển đổi sang các phương tiện giao thông sử dụng năng lượng sạch, điển hình như xe điện, đã được áp dụng tại nhiều thành phố lớn như Bắc Kinh, Luân Đôn và Singapore giảm thiểu tác động cực đoan đến môi trường và cải thiện chất lượng không khí. Tại Việt Nam, Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM), với vai trò là trung tâm kinh tế lớn nhất cả nước, chịu áp lực nặng nề từ sự tăng tốc nhanh chóng của dân số và phương tiện giao thông. Theo số liệu thống kê, Thành phố Hồ Chí Minh hiện có hơn 10 triệu dân và hàng triệu phương tiện tham gia lưu thông mỗi ngày, dẫn đến tình trạng ùn tắc giao thông nghiêm trọng và mức độ ô nhiễm không khí ngày càng tăng cao. Các chất gây ô nhiễm từ khí xả phương tiện như CO, NOx, PM2.5 đã vượt ngưỡng an toàn, ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe cộng đồng và chất lượng cuộc sống của người dân [1].

Trong bối cảnh đó, việc phát triển hệ thống giao thông công cộng hiện đại, thân thiện với môi trường như xe buýt điện trở thành một giải pháp cấp thiết để giải quyết các vấn đề trên. Đặc biệt, với đặc thù các tuyến đường nội đô thị thu hẹp và mật độ giao thông cao, xe buýt cỡ nhỏ là một lựa chọn phù hợp, giúp giảm thiểu ô nhiễm môi trường, cải thiện hiệu quả vận hành và đáp ứng nhu cầu di chuyển của người dân tại TP.HCM. Tuy nhiên, việc áp dụng xe buýt điện tại TP.HCM yêu cầu sự nghiên cứu kỹ lưỡng về hệ động lực phù hợp với điều kiện địa hình, giao thông và hạ tầng kỹ thuật đặc thù của thành phố. Trong đó, xe buýt cỡ nhỏ được xem là giải pháp khả thi để giải quyết các vấn đề chuyển đổi năng lượng xanh và mật độ giao thông cao tại các khu vực nội đô.

Mặc dù xe buýt điện đang dần trở thành xu hướng tại nhiều quốc gia, nhưng việc phát triển loại hình phương tiện này tại Thành phố Hồ Chí Minh vẫn còn nhiều vấn đề. Một trong những vấn đề chính là yêu cầu về thiết kế hệ động lực phù hợp với điều kiện địa hình, giao thông và hạ tầng kỹ thuật đặc thù của thành phố. Hệ thống động lực của

xe điện phải đảm bảo hiệu quả hoạt động cao, tiết kiệm năng lượng, đồng thời đáp ứng các tiêu chuẩn về an toàn và thân thiện với môi trường. Hiện nay, các nghiên cứu về hệ động lực xe buýt điện tại Việt Nam còn hạn chế, đặc biệt là các nghiên cứu tập trung vào phân khúc xe buýt cỡ nhỏ phù hợp với đường sá đô thị và điều kiện khí hậu tại TP. HCM. Vì vậy, việc lựa chọn đề tài “Nghiên cứu hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp Thành phố Hồ Chí Minh” là rất cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao.

2. Mục Tiêu nghiên cứu

❖ Mục tiêu tổng quát:

Đề tài này hướng đến việc nghiên cứu, phát triển một mô hình xe buýt điện cỡ nhỏ, phù hợp với điều kiện giao thông và môi trường tại Thành phố Hồ Chí Minh. Đặc biệt là đi sâu vào nghiên cứu, thiết kế lấy con người làm trung tâm, tối ưu hóa không gian và trải nghiệm của người sử dụng, đồng thời giảm thiểu các thành phần máy móc và hệ thống cơ khí, việc cung cấp không gian rộng rãi nhất có thể cho hành khách và thu gọn các thành phần cơ khí và công nghệ (máy tối thiểu) mà không làm giảm hiệu suất hoạt động của xe. Mục tiêu là nghiên cứu, phát triển giải pháp hệ động lực cho xe buýt điện cỡ nhỏ, đảm bảo tính hiệu quả, bền vững và phù hợp với điều kiện hạ tầng, môi trường giao thông đô thị tại Thành phố Hồ Chí Minh. Đóng góp vào lĩnh vực nghiên cứu phương tiện giao thông xanh, tạo cơ sở cho việc triển khai xe buýt điện cỡ nhỏ trong tương lai, góp phần cải thiện chất lượng giao thông công cộng và bảo vệ môi trường xanh.

❖ Mục tiêu cụ thể:

- Nghiên cứu về hiệu suất và an toàn của hệ động lực điện trên xe mini buýt điện.
- Nghiên cứu thiết kế hệ động lực nhỏ gọn cho xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp cho giao thông Thành phố Hồ Chí Minh.
- Nghiên cứu triển khai và tối ưu hóa công nghệ về hệ động lực điện vào xe buýt điện cỡ nhỏ một cách hiệu quả.
- Thiết kế phù hợp an toàn, tiết kiệm năng lượng, giảm khí NOx phát thải và ảnh hưởng đối với chất lượng không khí đô thị công cộng.

3. Đối tượng nghiên cứu

Dựa vào tình hình thực tế giao thông tại Thành phố Hồ Chí Minh hiện nay thì phương tiện giao thông thường có hai loại chính là phương tiện cá nhân (xe đạp, xe

máy,..) và phương tiện công cộng(xe buýt, xe taxi,..). Để giải quyết vấn đề đặt ra cho giao thông ở đô thị ngày nay thì ta tập trung vào đối tượng phương tiện giao thông công cộng và đặc biệt là phương tiện chở người công cộng xe buýt hay xe buýt cỡ nhỏ. Để đáp ứng vấn đề thực tế về giao thông ở đô thị cũng như các điều kiện giao thông đường sá nhỏ hẹp ở Thành phố Hồ Chí Minh hiện nay thì đối tượng cụ thể nghiên cứu trong đề tài này tập trung vào xe buýt cỡ nhỏ, dễ di chuyển linh hoạt trong các đường sá giao thông hẹp. Đặc biệt đi sâu tập trung vào nghiên cứu thiết kế hệ động lực điện nhỏ gọn, tiết kiệm và hiệu suất có thể tận dụng và tái chế được đáp ứng đúng yêu cầu xã hội đề ra bền vững thân thiện với môi trường.

Đối tượng nghiên cứu cụ thể là tập trung vào hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ phù hợp điều kiện Thành phố Hồ Chí Minh.

- Xây dựng cấu trúc bố trí và công nghệ: Nghiên cứu sẽ tập trung vào chọn cấu trúc và bố trí chung của xe buýt điện cỡ nhỏ bao gồm hệ thống tạo lực kéo, nguồn năng lượng cung cấp cho động cơ điện và các bộ phận điều khiển điện tử trên xe buýt cỡ nhỏ.
- Xây dựng lắp đặt khối pin hệ động lực nhỏ gọn của xe buýt điện cỡ nhỏ và các cụm liên quan (được chọn phù hợp), và nghiên cứu thiết kế xây dựng như thế nào để tối ưu hóa hệ động lực cho xe buýt điện cỡ nhỏ.
- Hiệu suất và tính năng kỹ thuật : Đánh giá hiệu suất vận hành của hệ động lực điện trên xe, tiện ích và khả năng an toàn của hệ thống vào môi trường vận tải công cộng ở Thành phố Hồ Chí Minh.

4. Phạm vi nghiên cứu

❖ Phạm vi nội dung:

- Nghiên cứu sẽ tập trung vào nghiên cứu, xây dựng và tối ưu hóa hệ động lực trên xe buýt điện cỡ nhỏ.
- Nghiên cứu sẽ tập trung vào chọn phương án bố trí hệ động lực và bố trí chung của xe buýt điện cỡ nhỏ bao gồm hệ thống tạo lực kéo, nguồn năng lượng cung cấp cho động cơ điện và các bộ phận điều khiển điện tử trên xe.
- Thiết kế tính toán xây dựng lắp đặt khối pin cho hệ động lực điện phù hợp xe buýt điện cỡ nhỏ và các cụm liên quan (được chọn phù hợp).

❖ Phạm vi không gian:

- Nghiên cứu sẽ được thực hiện tại các khu vực đông dân cư và đô thị lớn, nơi mà vận tải công cộng, đặc biệt là xe buýt, xe mini buýt đóng vai trò quan trọng.
- Các thành phố và khu vực chọn lựa khảo sát sẽ phản ánh đa dạng về điều kiện giao thông, môi trường và nhu cầu vận tải công cộng.

❖ Phạm vi thời gian:

- Thời gian nghiên cứu dự kiến là 06 tháng, bắt đầu từ tháng 03 năm 2025 nghiên cứu đến tháng 09 năm 2025 kết thúc.
- Phân chia thời gian nghiên cứu theo các giai đoạn, bao gồm nghiên cứu lý thuyết, xây dựng và mô phỏng hệ thống và đánh giá trong điều kiện thực tế.

5. Phương pháp nghiên cứu

❖ Thu thập dữ liệu

- **Nghiên cứu thứ cấp:** Thu thập dữ liệu từ các nghiên cứu đã công bố, báo cáo ngành, các bài báo khoa học uy tín, cơ sở dữ liệu chính phủ và quốc tế. Sử dụng các nghiên cứu này để hiểu rõ hơn về công nghệ hiện tại và xu hướng phát triển của xe buýt điện cỡ nhỏ trong tương lai.
- **Nghiên cứu sơ cấp:** Tiến hành khảo sát, phỏng vấn chuyên gia, và thăm dò ý kiến từ các nhà khoa học, chuyên gia ngành năng lượng, và các doanh nghiệp liên quan đến sản xuất và sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ.

❖ Phân tích dữ liệu

- **Phân tích định lượng:** Sử dụng phần mềm thống kê (như SPSS hoặc R) để phân tích số liệu thu được từ nghiên cứu thứ cấp và sơ cấp. Phân tích này bao gồm việc đánh giá mức độ phổ biến, hiệu quả, và chi phí của các công nghệ liên quan.
- **Phân tích định tính:** Phân tích nội dung từ các phỏng vấn và khảo sát để hiểu sâu hơn về quan điểm, kinh nghiệm, và đánh giá của chuyên gia và người dùng.

❖ Đánh giá tính toán hiệu suất hệ động lực điện

- Thu thập dữ liệu về các hệ động lực điện có sẵn tại Việt Nam từ các nguồn chính phủ và nghiên cứu chuyên ngành.
- Phân tích các phương án thiết kế bố trí phổ biến trên xe buýt điện cỡ nhỏ.
- Tính toán về hiệu suất, an toàn của từng phương án thiết kế hệ động lực dựa trên các yếu tố sẵn có, chi phí, và tác động môi trường.

❖ Phương pháp mô hình hóa và mô phỏng bằng phần mềm Matlab Simulink cho xe buýt điện cỡ nhỏ.

- Phát triển mô hình mô phỏng để đánh giá hiệu suất, khả năng đáp ứng của động cơ, chi phí, và tác động môi trường của xe buýt điện cỡ nhỏ.
- Mô hình hóa hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ.
- Mô phỏng hoạt động của hệ động lực điện bằng phần mềm Matlab Simulink.
- Đánh giá các điều kiện khác nhau dựa trên các kết quả tính toán mô phỏng.

❖ Đánh giá và kiểm định

- Sử dụng các phương pháp đánh giá và kiểm định tiêu chuẩn để đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy của kết quả nghiên cứu.
- Phân tích để xác định mức độ ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đối với kết quả nghiên cứu.

Phần này cung cấp chi tiết về cách thức thu thập và phân tích dữ liệu, cũng như các công cụ và phương pháp sẽ được sử dụng để đánh giá tiềm năng và khả năng áp dụng hệ động lực tại Thành phố Hồ Chí Minh. Mục tiêu là đảm bảo rằng nghiên cứu được tiến hành một cách có hệ thống, chính xác, khoa học và đáp ứng thực tiễn.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

❖ Ý nghĩa khoa học

Phát triển lý thuyết về hệ động lực cho xe điện: Đề tài này góp phần mở rộng cơ sở lý thuyết về hệ động lực cho xe điện, đặc biệt là cho dòng xe buýt điện cỡ nhỏ. Công việc nghiên cứu và tối ưu hóa hệ động lực trong cấu trúc hệ động lực nhỏ gọn là một nghiên cứu định hướng mới nhằm đáp ứng yêu cầu thiết kế tiết kiệm không gian, nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và tối ưu hóa hiệu suất hoạt động cho các dòng xe điện có kích thước nhỏ và trung bình.

❖ Ý nghĩa thực tiễn

Nghiên cứu về hệ động lực điện trên xe buýt điện cỡ nhỏ mang lại nhiều giá trị khoa học và ý nghĩa thực tiễn quan trọng, góp phần định hướng phát triển bền vững cho ngành giao thông vận tải trong tương lai ngoài ra còn giúp đánh giá hiệu quả vận hành và khả năng ứng dụng thực tế của xe buýt điện cỡ nhỏ trong điều kiện giao thông đô thị Thành phố Hồ Chí Minh. Dưới đây là một số ý nghĩa thực tiễn của nghiên cứu này:

- Giảm phát thải khí nhà kính: Phương tiện vận tải góp phần lớn vào phát thải khí nhà kính. Nghiên cứu này mục tiêu giảm phát thải bằng cách sử dụng xe buýt điện cỡ nhỏ giảm phát thải khí ô nhiễm ra môi trường.
- Các phương án thiết kế phù hợp thúc đẩy cho phát triển ngành công nghiệp xe điện: Phương án thiết kế một mẫu xe điện quan trọng nhất là thiết kế hệ động lực điện và thiết kế các hệ thống năng lượng khác trên xe điện, các phương án thiết kế này sẽ mang đến những thách thức mới để có thể làm chủ công nghiệp xe điện và đây chính là tương lai của ngành công nghiệp ô tô tại Việt Nam.
- Khuyến khích phát triển kỹ thuật và hệ động lực mới: Nghiên cứu này đòi hỏi sự phối hợp giữa các nhà nghiên cứu, các nhà sản xuất xe điện và các chuyên gia về hệ động lực, phát triển thiết kế công nghệ hệ thống truyền động trong xe buýt điện cỡ nhỏ. Điều này có thể tạo ra cơ hội phát triển thiết kế mới và tăng cường cạnh tranh trong lĩnh vực xe điện trong tương lai.
- Phát triển hệ thống vận tải công cộng: Nghiên cứu giúp nâng cao năng lực và tiện ích của hệ thống vận tải công cộng, cung cấp giải pháp sạch và hiệu quả, thúc đẩy sự đổi mới trong lĩnh vực vận tải công cộng.
- Sự chấp nhận từ phía cộng đồng và người sử dụng: Nghiên cứu không chỉ tập trung vào các khía cạnh kỹ thuật mà còn quan tâm đến sự chấp nhận từ phía cộng đồng và người sử dụng, đặt ra những giải pháp và điều chỉnh phù hợp với nhu cầu và ý kiến của khách hàng.
- Mô hình kinh doanh bền vững: Nghiên cứu có thể cung cấp cơ sở cho việc phát triển mô hình kinh doanh bền vững, thúc đẩy sự thay đổi về cách doanh nghiệp hoạt động trong ngành vận tải công cộng ở Việt Nam.

➤ Nói chung, nghiên cứu hệ thống truyền động điện trên xe buýt điện cỡ nhỏ có ý nghĩa quan trọng trong việc tối ưu thiết kế, bố trí hệ động lực với hiệu suất cao, độ tin cậy và an toàn. Đồng thời, đề tài nghiên cứu hệ động lực điện góp phần giảm phát thải, hạn chế ô nhiễm môi trường đô thị và mở ra giải pháp phát triển bền vững trong giao thông công cộng cũng như ngành công nghiệp năng lượng và thúc đẩy xu thế sử dụng phương tiện giao thông xanh, nâng cao chất lượng hệ thống giao thông công cộng.

7. Bố cục của đề án tốt nghiệp

Đề án tốt nghiệp được trình bày trong 3 chương. Trong đó, chương 1: Cơ sở lý thuyết, chương này trình bày tổng quan cơ sở lý thuyết về tình hình giao thông tại Thành phố Hồ Chí Minh hiện nay, tổng quan lý thuyết về xe buýt điện cỡ nhỏ và các thành phần chính hệ động lực điện và các nghiên cứu điển hình liên quan về đề tài nghiên cứu. Chương 2: Tính toán chọn cấu hình xe buýt điện cỡ nhỏ và thiết kế hệ động lực điện, Chương này xác định các thông số cơ bản của xe buýt điện cỡ nhỏ như tải trọng, khối lượng toàn xe, số chỗ ngồi và đặc tính khí động học. Dựa trên yêu cầu về quãng đường di chuyển, tốc độ tối đa và khả năng tăng tốc, tiến hành tính toán lực kéo và công suất cần thiết. Từ đó, lựa chọn loại động cơ điện phù hợp về công suất, mô men xoắn và tốc độ quay. Đồng thời tính toán dung lượng pin và số lượng cell pin cũng được tính toán để đáp ứng nhu cầu năng lượng cho xe di chuyển. Hệ truyền động và tỷ số truyền được lựa chọn sao cho đảm bảo hiệu suất vận hành và độ bền cơ học, các tính toán đảm bảo xe đáp ứng khả năng vận hành thực tế và tối ưu về hiệu quả. Chương 3: Mô hình hóa và đánh giá kết quả mô phỏng hệ động lực của xe buýt điện cỡ nhỏ. Chương này xây dựng mô hình hệ động lực tổng thể của xe trên phần mềm Matlab/Simulink, bao gồm các khối mô hình của động cơ điện, bộ truyền động, pin, bộ biến đổi công suất và bộ điều khiển động cơ. Hệ thống điều khiển được thiết lập với thuật toán PI, điều chỉnh tốc độ và mô men xoắn động cơ dựa trên phản hồi từ chu trình lái xe đô thị FTP-75. Quá trình mô phỏng bao gồm vận tốc xe mong muốn và thực tế, sự thay đổi mô men xoắn, công suất, điện áp – dòng điện, cũng như trạng thái sạc – xả của pin. Kết quả mô phỏng cho phép đánh giá khả năng đáp ứng của hệ động lực trong các điều kiện vận hành thực tế, phân tích tính ổn định và hiệu suất sử dụng năng lượng.

CHƯƠNG 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1.1. Tình hình giao thông và vận tải hành khách tại Thành Phố Hồ Chí Minh

1.1.1. Hiện trạng giao thông và vận tải hành khách tại Thành Phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh là đô thị lớn nhất Việt Nam. Diện tích của thành phố là 2.061 km², dân số đứng đầu cả nước khoảng hơn 9,5 triệu người thống kê vào năm 2024 [1]. Về giao thông vận tải, thành phố Hồ Chí Minh cũng đang gặp nhiều vấn đề của một đô thị đang phát triển với tốc độ nhanh. Cơ sở hạ tầng giao thông vận tải còn ở mức chậm phát triển. Các loại hình phương tiện giao thông vận tải cũng mới chỉ gồm: xe đạp, xe máy, xe ô tô cá nhân, taxi, xe buýt. Các loại hình phương tiện giao thông công cộng có sức chở lớn vẫn chỉ có trong quy hoạch. Trên thực tế, 3 năm gần đây, Thành phố Hồ Chí Minh đã xây dựng xong một số tuyến xe buýt nhanh, nhưng hoạt động của nó chưa đáp ứng được kỳ vọng. Tỷ lệ giao thông vận tải hành khách của Thành phố Hồ Chí Minh bằng phương tiện cá nhân vẫn chiếm tới 86% vào năm 2020. Các tuyến đường sắt đô thị đã khởi công xây dựng trên địa bàn thành phố cũng bị chậm tiến độ, nhiều lần điều chỉnh vốn. Đến nay, chưa tuyến nào bắt đầu hoạt động thương mại [2].

Giao thông công cộng bắt đầu được xây dựng và phát triển tại Thành Phố Hồ Chí Minh từ năm 2002 với sản lượng tăng dần và đã có lúc đáp ứng được nhu cầu đi lại khoảng 10 - 14% (trong đó xe buýt đạt sản lượng 411 triệu hành khách/năm – năm 2013, 6,5%). Tuy nhiên, khối lượng vận tải hành khách công cộng giai đoạn 2014-2018 có xu hướng giảm (khoảng 6%/năm), năm 2018 chỉ đạt 290 triệu hành khách, một phần do đoàn phương tiện đã xuống cấp, làm cho chất lượng dịch vụ giảm xuống, cùng với sự thu hút hành khách cũng giảm theo khi có sự gia tăng của xe công nghệ. phát triển xe buýt ở Hà Nội và các thành phố ở Việt Nam cũng tương tự. Theo thống kê, đến cuối năm 2023, TP. HCM có 10 triệu phương tiện giao thông với hơn 7,6 triệu xe máy, 700.000 ô tô và hơn 2 triệu phương tiện của người dân từ khu vực khác di chuyển vào thành phố. Mỗi năm, TP. HCM phát thải khoảng 35 triệu tấn CO₂, trong đó ngành công nghiệp là 20 triệu tấn và ngành giao thông khoảng 13 triệu tấn. Năm 2024, Thành Phố Hồ Chí Minh có 2.089 xe buýt các loại hoạt động trên 128 tuyến, (91 tuyến xe buýt có trợ giá - 1.982 km và 37 tuyến xe buýt không trợ giá - 1.555 km), khối lượng vận tải hành khách công cộng sẽ đạt 476 triệu lượt, dự kiến đáp ứng khoảng 13,15% nhu cầu, trong đó

xe buýt chiếm 6,25%. Theo kế hoạch của Sở Giao Thông Vận Tải Thành Phố Hồ Chí Minh, dự kiến năm 2025, tỷ lệ đáp ứng năm 2025 sẽ khoảng 15,20% nhu cầu, trong đó xe buýt chiếm 7,23%. Năm 2030, tỷ lệ đáp ứng sẽ khoảng 25,48% nhu cầu, trong đó xe buýt chiếm 12,13% (48,27% thị phần giao thông công cộng). Trong đó có 546 xe điện, xe chạy khí thiên nhiên; 1.663 xe sử dụng nhiên liệu diesel. Tổng lượng phát thải hiện tại phát thải CO₂ là 553.299 tấn/năm 2024. Dự kiến số lượng xe trên các tuyến mở mới giai đoạn năm 2025-2030 là 1.108 xe, nâng tổng phương tiện vận chuyển hành khách công cộng bằng xe buýt đến năm 2030 là 3.317 xe [3].

Giai đoạn các năm 2020 – 2022, dịch COVID -19 đã tác động mạnh mẽ, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến các hoạt động vận tải đường bộ, ảnh hưởng đến khối lượng vận tải hành khách công cộng. Năm 2021 đạt 159,6 triệu lượt hành khách, giảm 58,6% so với năm 2020 (năm 2020 là 385,5 triệu lượt hành khách) và đạt 25% so với kế hoạch năm 2021 là 638,4 triệu lượt hành khách. Sau dịch COVID -19, năm 2023, khối lượng vận tải hành khách công cộng năm 2023 đạt 416 triệu lượt hành khách, tăng 20,4% so với cùng kỳ năm 2022, đáp ứng khoảng 11% nhu cầu, trong đó xe buýt chiếm 5,27%. Tuy nhiên, để có một hệ thống vận tải hành khách công cộng bền vững, giảm ùn tắc, giảm tai nạn giao thông, giảm ô nhiễm môi trường thì tỷ lệ đáp ứng nhu cầu phải đạt từ 30% - 40% trở lên, trong đó, vai trò của các loại xe buýt vẫn là lực lượng chủ lực từ 48% - 50% cùng với đường sắt đô thị (8 tuyến MRT). Do vậy, trong tương lai gần 2025 – 2035, phát triển hệ thống xe buýt công cộng vẫn vô cùng quan trọng và cần thiết cho giao thông [3].

Thành phố Hồ Chí Minh đang gặp những bất cập trong lĩnh vực giao thông vận tải: kẹt xe thường xuyên, liên tục; tốc độ lưu chuyển của các phương tiện giao thông chỉ đạt 15–18 km/h; an toàn giao thông vẫn không đạt chỉ tiêu đặt ra; ý thức tham gia giao thông của cộng đồng dân cư có được cải thiện nhưng chưa thật sự cao. Trong những năm gần đây, do biến đổi khí hậu diễn ra mạnh mẽ ở khu vực Đông Nam Bộ, Thành phố Hồ Chí Minh có thêm một vấn nạn trong hoạt động giao thông vận tải đó là hiện tượng triều cường gây ngập có khi tới 1/3 diện tích thành phố. Điều này gây trở ngại lớn cho cộng đồng dân cư ở đây [2].

1.1.2. *Bất cập về cơ sở hạ tầng và phương tiện vận chuyển*

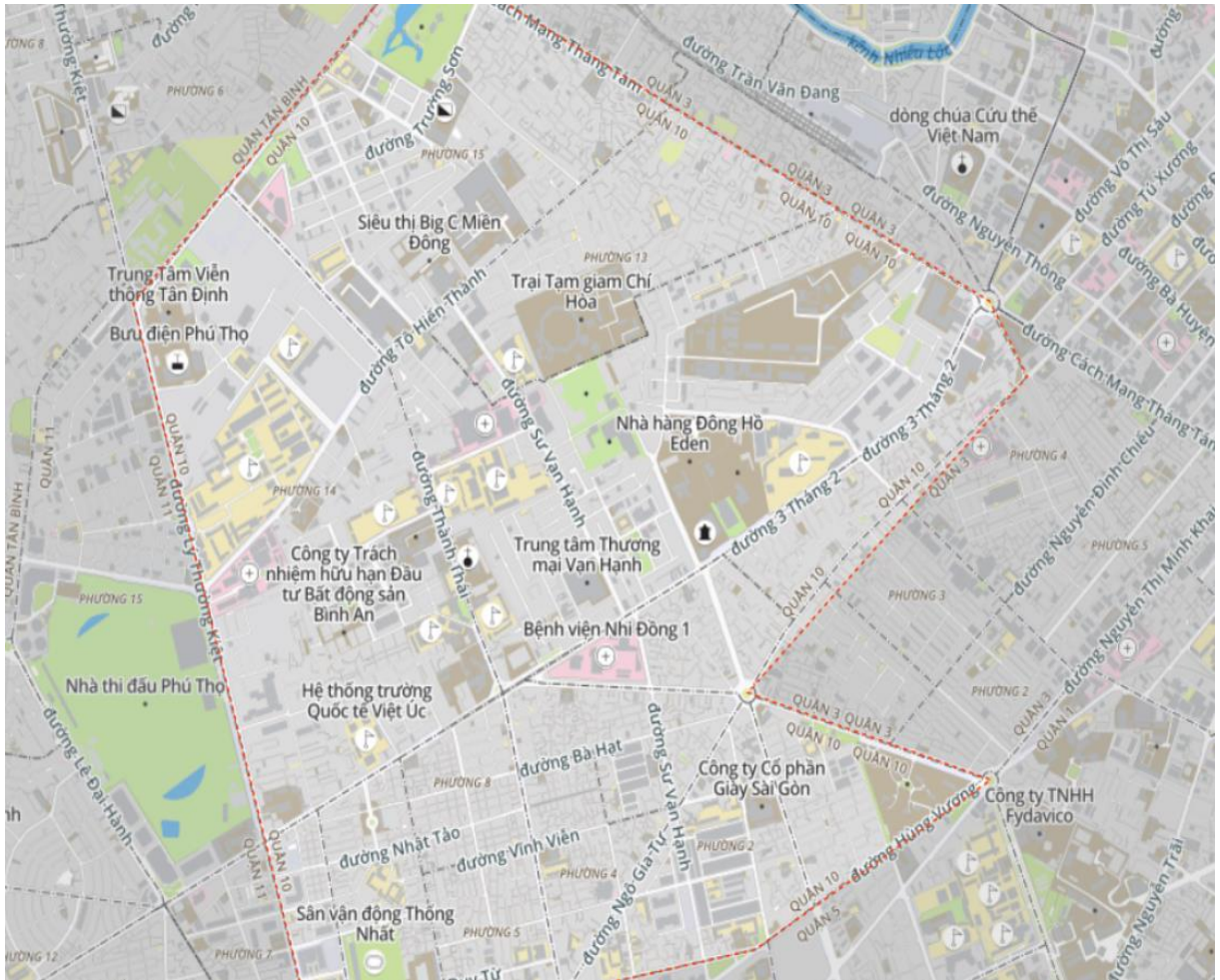
Tổng chiều dài các tuyến đường trên địa bàn Thành Phố Hồ Chí Minh khoảng 4.155km, đạt mật độ 2,44 km/km², rất thấp so với quy chuẩn xây dựng Việt Nam phải

đạt 10 - 13,3 km/km²; trong đó chỉ có 1.827 km đường có bề rộng lòng đường trên 7m (chiếm khoảng 44%). Diện tích đất dành cho giao thông khoảng 7.841 ha (theo Quy hoạch là 22.305 ha), tỷ lệ đất giao thông trên đất xây dựng đô thị đạt 14,4% (theo Quy hoạch là 22,3%). Điều này cũng ảnh hưởng không nhỏ đến tổ chức mạng lưới các tuyến xe buýt trên địa bàn Thành Phố Hồ Chí Minh [4].

Đặc điểm của mạng lưới đường ở các quận chính Thành Phố Hồ Chí Minh là ngoài các đường trục chính và nhánh được thiết lập cùng lúc với sự hình thành đô thị (chủ yếu là ở khu vực quận 1, quận 3 và quận 5), số còn lại là một số các đường trục đi kèm những mạng lưới đường nhỏ, đường khu dân cư nội bộ cũ được hình thành một cách tự phát do lịch sử để lại. Hầu như tất cả các quận huyện của Thành Phố Hồ Chí Minh đều có hệ thống đường nhỏ (hẻm), thậm chí đường hẻm còn tồn tại ngay cả ở quận 1 hay quận 3 vốn được Pháp quy hoạch theo ô bàn cờ từ thế kỷ trước. Những đường nhỏ, đường nội bộ tại các khu dân cư cũ thường không có vỉa hè, uốn lượn quanh co, có cảm giác chật chội, tù túng, đặc biệt với mật độ xây dựng dày đặc hai bên đường (hình 1.1).

Theo nghiên cứu của M. Gibert (Trung tâm Dự báo và Nghiên cứu Đô thị Paddi, Pháp), những con đường nhỏ này là cốt lõi của khung đô thị Thành phố Hồ Chí Minh và tạo nên không gian sống của gần 85% dân số. Đây cũng là những khu phố tập trung đông dân cư nhất, với mật độ có thể lên tới 80.000 người/km². Với 86% mạng lưới là đường nhỏ có lộ giới nhỏ hơn 12m, đặc thù của TP.HCM là hệ thống đường giao thông chiếm tỉ lệ rất thấp trong tổng diện tích đô thị. Cụ thể, chỉ 3% diện tích đô thị dành cho đường giao thông, trong đó chỉ 14% là đường xe hơi có thể lưu thông tốt. Việc thiếu đường thứ cấp dẫn tới hình thành những khu phố lớn với các đường nhỏ, đường nội bộ tự phát bên trong, không cân đối và không được quy hoạch [4].

Các đường nhỏ, đường nội bộ trong các khu dân cư cũ có chiều rộng thực tế từ 3,5-6m, thậm chí trong các khu dân cư mới được hình thành hiện nay cũng có khá nhiều tuyến đường nội khu rộng 6m, không phù hợp với hệ thống xe buýt hiện nay. Các tuyến xe buýt không thể đi sâu vào các khu vực đông dân và người dân rất khó tiếp cận với xe buýt vì khoảng cách thường khá xa (từ 600m đến trên 1.000m), trong khi theo khảo sát thì khoảng cách hợp lý cho sự đi đến bến xe buýt mà người dân mong muốn phải là 200 – 300m. Dạng đường nhỏ này đặc biệt chỉ có ở Thành phố Hồ Chí Minh và một số tỉnh thành phố lớn khác ở Việt Nam.



Hình 1.1 Sơ đồ mạng lưới đường nhỏ và hẻm, khu dân cư nội bộ ở Thành phố

Hồ Chí Minh

(Nguồn: Tạp chí thanh niên Việt, Hoài Tăng, 2024)

Mặt khác đáng chú ý là trong hệ thống đường chính của TP.HCM cũng tồn tại rất nhiều loại đường nhỏ, rộng từ 7m trở xuống chiếm đến 66%, không thích hợp cho xe buýt lớn và xe buýt cỡ trung, chỉ phù hợp cho xe mini buýt cỡ nhỏ từ 16 chỗ trở xuống. Đây cũng là một bất cập lớn của vận tải hành khách công cộng tại TP.HCM.

1.1.3. Ùn tắc giao thông ở thành phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ chí Minh có khoảng 11 triệu người, (9 triệu người chính thức và 2 triệu vắng lai), trong khi có 10 triệu xe các loại, với hơn 7,6 triệu xe máy, 700 nghìn ô tô và hơn 2 triệu phương tiện của người dân từ khu vực khác di chuyển ra vào hàng ngày. Năm 2023, Thành phố Hồ Chí Minh có hơn 4.400 vụ ùn tắc giao thông tại 24 điểm nóng. Ùn tắc giao thông là một vấn đề cần giải quyết ở Thành phố Hồ Chí Minh, trong đó

một trong những nguyên nhân chính là khả năng tiếp cận xe buýt khó khăn nên người dân đã phải sử dụng quá nhiều xe máy làm phương tiện đi lại [5].

Thực ra, công năng của hệ thống vận tải hành khách công cộng (chỉ riêng xe buýt) của Thành phố Hồ Chí Minh có thể đáp ứng được đến 15% - 20% nhu cầu, nhưng vì cơ sở hạ tầng yếu kém, chủ yếu là khả năng tiếp cận của người dân đối với hệ thống xe buýt còn nhiều bất cập với lý do chính là do như đã nói là có nhiều đường nhỏ hẹp, 66% là đường hẹp từ 7m trở xuống, nên xe buýt không thể tiếp cận tốt ở phạm vi 500m trở lại để người dân sử dụng. Do vậy, khi hệ thống vận tải hành khách công cộng không phát huy hiệu quả thì sự phát triển xe gắn máy trong điều kiện đa số đường thành phố chật hẹp dẫn đến lưu lượng xe máy trên các đường phố thường chiếm khoảng từ 75% - 95% trong dòng giao thông, ùn tắc giao thông xảy ra là không thể tránh khỏi.



Hình 1.2 Dòng xe ùn tắc tại đường Cộng Hòa, TP. Hồ Chí Minh

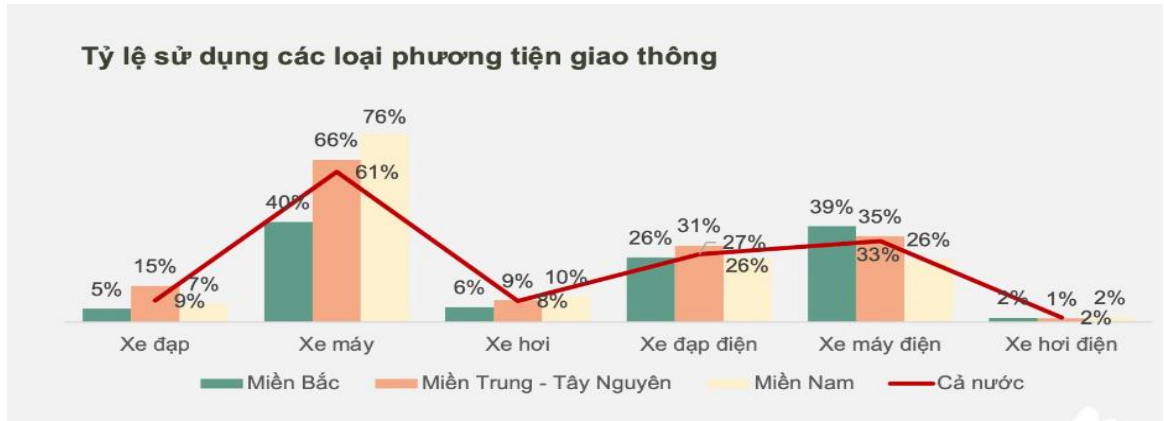
(Nguồn: Đức Phú, báo tuổi trẻ(2024))

1.1.4. Dự báo nhu cầu sử dụng xe điện tại thành Phố Hồ Chí Minh

Mục tiêu chung hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí carbon và khí mê-tan của ngành giao thông vận tải. Theo đó, đến năm 2030, 50% phương tiện giao thông đô thị và 100% xe buýt và taxi nội đô tại Việt Nam đều chạy bằng điện hoặc năng lượng xanh; và đến năm 2050, 100% các phương tiện giao thông đường bộ đều sẽ chạy bằng điện hoặc năng lượng xanh. Tổng nhu cầu thị trường về ô tô con chạy điện sẽ vào khoảng 4 triệu chiếc trong giai đoạn 2024 – 2035, chiếm khoảng 43% tổng

doanh số bán xe con nói chung trong giai đoạn này. Dự báo giai đoạn 2036 – 2050 có thể đạt 51 triệu chiếc, chiếm 93% tổng doanh số bán ô tô con, nhằm tăng tốc đạt mục tiêu tất cả phương tiện giao thông đường bộ chạy bằng điện hoặc năng lượng xanh vào năm 2050. Ngoài phân khúc xe cá nhân, việc chuyển đổi sang phương tiện giao thông chạy điện thuộc phân khúc xe buýt công cộng và xe thương mại cũng quan trọng không kém, đặc biệt là trên phương diện giảm phát thải các-bon. Mặc dù xe buýt/xe khách và xe tải chỉ chiếm 2% tổng số phương tiện được đăng ký tại Việt Nam nhưng lượng khí thải của những phương tiện này lại chiếm hơn 65% lượng khí thải nhà kính từ ngành giao thông đường bộ. Cùng với thúc đẩy chuyển đổi phương tiện chở người từ xe cá nhân sang hệ thống giao thông công cộng, cần có giải pháp can thiệp mạnh mẽ về chính sách để tạo điều kiện cho các loại xe buýt điện. Cụ thể, cần đặt ra các thông số kỹ thuật cho xe buýt điện và trạm sạc cho xe buýt điện, xây dựng hướng dẫn mua sắm liên quan, yêu cầu về bảo trì và định mức chi phí; và tìm hiểu các mô hình tài chính để cải thiện khả năng đáp ứng về tài chính của xe buýt điện [6]. Theo Sở Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, nếu không nhanh chóng triển khai kế hoạch và chính sách hỗ trợ chuyển đổi xe buýt công cộng sang sử dụng điện hoặc năng lượng xanh, ô nhiễm môi trường từ giao thông ở thành phố sẽ trầm trọng hơn vào năm 2030 do số lượng xe buýt tăng trên 50%, gây hại sức khỏe cộng đồng và thiệt hại kinh tế [3]. Xe điện cải thiện trải nghiệm cho khách hàng và mở rộng khả năng phục vụ đến các khu vực khó tiếp cận, từ đó nâng cao tỷ lệ sử dụng phương tiện công cộng. Xe điện không chỉ là một giải pháp giao thông hiệu quả mà còn thúc đẩy vào việc đầu tư cơ sở hạ tầng trạm sạc và các chính sách phát triển giao thông xanh bền vững của hệ thống giao thông đô thị tại Việt Nam. Tuân thủ theo đúng lộ trình trong “Quyết định số 876/QĐ-TTg ngày 22/07/2022 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí các-bon và khí mê-tan của ngành Giao thông vận tải” [7].

Như biểu đồ bên dưới cũng dự báo tình hình việc sử dụng các loại phương tiện trong nước như biểu đồ dưới đây. Miền Bắc đang có sự chuyển dịch mạnh sang phương tiện điện (xe đạp điện, xe máy điện) và tỷ lệ xe máy thấp hơn các vùng khác. Miền Trung – Tây Nguyên vẫn phụ thuộc nhiều vào xe máy truyền thống, thể hiện ở mức cao nhất cả nước (76%). Miền Nam có xu hướng gần với mặt bằng chung toàn quốc, với mức sử dụng xe hơi nhỉnh hơn một chút do đặc điểm đô thị hóa tại đô thị thành phố.



Hình 1.3 Tỷ lệ sử dụng các loại phương tiện giao thông tại Việt Nam

(Nguồn: *Chí Nhân. Báo tuổi trẻ (2023)*)

1.2. Tổng quan về xe buýt điện cỡ nhỏ

1.2.1. Khái quát về xe buýt điện cỡ nhỏ

Xe buýt cỡ nhỏ hay còn gọi là xe mini buýt là loại xe chở khách cỡ nhỏ có sức chứa từ 10 – 16 chỗ. Tại một số nước trên thế giới xe mini buýt được sử dụng như một phương tiện vận tải hành khách công cộng trong đô thị. Xe buýt chạy bằng pin thuần điện: lưu trữ tất cả năng lượng cần thiết trong một hệ thống pin. Năng lượng được truyền đến xe thông qua hệ thống sạc điện, tích trữ điện trên bộ pin và được sạc qua đêm hay sạc không liên tục (ngắt quãng) dọc theo lộ trình hoạt động, phanh tái sinh sẽ thu hồi năng lượng trong quá trình vận hành. Năng lượng cho xe buýt điện được lưu trữ trong pin (hoặc trong tụ điện dung lượng cao) để cung cấp cho động cơ điện. Xe buýt cỡ nhỏ hoạt động như dịch vụ vận tải hành khách một cách linh động. Ở Việt Nam, hãng ô tô Vinfast, Kim Long cũng đang sản xuất hàng loạt xe buýt điện cung cấp cho hệ thống giao thông công cộng ở Thành Phố Hồ Chí Minh.



Hình 1.4 Mẫu xe mini buýt điện Karsan e Jest do Karsan sản xuất

Một số loại xe mini buýt đang sử dụng tại đường sá giao thông thành phố Hồ Chí Minh hiện nay như là:

- **Mini buýt dùng cho các tuyến liên tỉnh – kết nối:** Trong những năm gần đây, Thành phố Hồ Chí Minh và một số tỉnh liền kề đã mở các tuyến liên tỉnh kết nối với loại xe mini buýt có số chỗ ngồi 24 chỗ phù hợp với nhu cầu đi lại của các thành phố và khu dân cư, khu công nghiệp liền kề TP. HCM. Điển hình là các tuyến liên tỉnh kết nối 603, 605, 607 giữa TP. HCM và tỉnh Đồng Nai (Thành phố Biên Hòa, khu công nghiệp Nhơn Trạch) sử dụng các loại xe mini buýt GAZ B24 (24 chỗ ngồi) của Công ty Cổ phần xe khách Phương Trang đảm nhận khai thác tuyến.

- **Mini buýt dùng cho đưa rước học sinh:** Đây là các tuyến dùng để đưa rước học sinh các trường từ mẫu giáo đến phổ thông trung học, đưa rước công nhân viên,... được ký hợp đồng giữa các trường, các doanh nghiệp và các đơn vị vận chuyển, không trợ giá. Sử dụng các xe như: Ford Transit, Hyundai Solati 16 chỗ,...

- **Mini buýt dùng cho trung chuyển hành khách:** Đây là các tuyến trung chuyển hành khách từ các đầu mối giao thông như bến xe khách liên tỉnh, sân bay,... về các tỉnh (trung chuyển liên tỉnh) hoặc trung tâm thành phố (về các khu đô thị, trung tâm thương mại, khách sạn,...) của TP. HCM. Sử dụng xe Ford Transit, Hyundai Solati 16 chỗ, xe mini buýt Kim Long X9 16 chỗ hoặc GAZ 19, 21, 24 chỗ,... có phù hiệu trung chuyển.



Hình 1.5 Xe mini buýt liên tỉnh (trái) và xe mini buýt trung chuyển Kim Long X9 của công ty Phương Trang - FUTA Buýt Lines

- **Xe điện 4 bánh vận chuyển hành khách du lịch:** Từ quý 1/2024, Sở Giao thông vận tải TP.HCM đã thí điểm xe điện 4 bánh chở khách tham quan, du lịch ở trung tâm TP.HCM ở các khu vực hạn chế. Đơn vị vận hành là Công ty TNHH Saigon Public Transport, loại xe 4 bánh có nguồn gốc xe điện 4 bánh trong các khu du lịch từ 5 - 14

chỗ ngồi, tốc độ lớn nhất là 30 km/h. Loại xe điện 4 bánh này có thiết kế đơn giản và không phù hợp với tiêu chuẩn của xe mini buýt trong giao thông đô thị, mặc dù ở các khu vực hạn chế nhưng vẫn trên các tuyến giao thông công cộng, dễ xung đột và va chạm với các phương tiện khác gây tai nạn giao thông.

- Trong bối cảnh giao thông xanh đang trở thành xu hướng toàn cầu, xe Mini buýt điện B30 EV của Kim Long Motor đã nhanh chóng thu hút sự chú ý và đảm bảo an toàn và đáp ứng nhu cầu khách hàng và môi trường.

Các loại xe mini buýt sẽ hoạt động trong các tiểu khu vực nội quận và liên quận ở một số khu vực, một số khu dân cư mới, nơi có nhiều đường nhỏ hẹp mà hệ thống xe buýt thông thường không tiếp cận được. Các tuyến xe 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, do vậy không xảy ra giao cắt hay xung đột với các dòng xe khác trên đường chính. Như thế, các loại xe mini buýt sẽ hoạt động một đoạn ngắn trên các tuyến xe buýt chính để lấy hoặc trả khách, sau đó lại tiếp tục vào đường nhỏ trong khu vực dân cư nội bộ, không để tình trạng mini buýt phải băng ngang qua các tuyến chính gây rối loại giao thông.



Hình 1.6 Hình ảnh thực tế xe buýt điện cỡ nhỏ B30 EV tuyến 161

tại TP. Hồ Chí Minh

Nhìn chung, các loại xe mini buýt kể trên: Xe buýt cỡ nhỏ dùng cho các tuyến liên tỉnh – kết nối, đưa rước học sinh và trung chuyển hành khách tương đối phù hợp và linh hoạt trong đô thị. Tuy nhiên, những loại xe này vẫn chưa đáp ứng được các yêu cầu và tiêu chuẩn cần thiết cho xe mini buýt, nhất là sử dụng năng lượng mới (điện) theo quy

định của nhà nước kể từ năm 2025 trở đi.

1.2.2. Ưu điểm và vai trò của xe buýt điện cỡ nhỏ trong giao thông đô thị

Xe buýt điện cỡ nhỏ mang đến nhiều lợi ích và ưu điểm nổi bật cho hạ tầng giao thông công cộng ở Việt Nam, từ việc cải thiện khả năng di chuyển đô thị đến thúc đẩy phát triển năng lượng bền vững.

- Với kích thước, động cơ điện nhỏ gọn, xe có thể dễ dàng di chuyển qua các con đường hẹp và khu vực đông đúc, giúp giảm tình trạng tắc nghẽn giao thông – vấn đề nghiêm trọng tại nhiều thành phố lớn ở Việt Nam nhất là vào những khung giờ cao điểm. Khả năng điều chỉnh lộ trình linh hoạt cũng cho phép xe phục vụ các khu vực ít được kết nối, từ đó gia tăng tiếp cận dịch vụ giao thông công cộng.

- Về mặt môi trường, xe buýt điện cỡ nhỏ không phát thải khí độc hại, góp phần rất lớn giảm ô nhiễm không khí và tiếng ồn vì hầu như không có tiếng kêu của động cơ, đồng thời cải thiện chất lượng cuộc sống của của xã hội.

- Về kinh tế, chi phí vận hành của xe điện thấp hơn nhờ vào việc sử dụng năng lượng điện và bảo trì, bảo dưỡng đơn giản, giúp giảm gánh nặng tài chính cho các doanh nghiệp khai thác xe buýt cỡ nhỏ.

- Tính đơn giản: số lượng cụm chi tiết xe buýt điện cỡ nhỏ ít hơn, vì vậy bảo trì rẻ hơn nhiều. Các động cơ đơn giản hơn và nhỏ gọn hơn, giảm tiếng ồn của động cơ. Với những thiết kế hiện đại và không gian thoải mái. Hiệu quả: Xe buýt điện cỡ nhỏ hiệu quả hơn các phương tiện sử dụng năng lượng truyền thống, khi dùng hiệu suất động cơ điện tổng thể đến bánh xe, để đánh giá cho thấy tổng hiệu suất của xe xăng từ 11% đến 27%, xe diesel từ 25% đến 37% còn xe mini buýt điện được cung cấp bởi một động cơ điện hiển thị hiệu suất đến bánh xe đến 31% cao hơn rất nhiều.

Xe buýt điện cỡ nhỏ không chỉ giúp cải thiện khả năng chuyển đổi trong đô thị, thành phố lớn mà còn đóng góp tích cực vào việc giảm ùn tắc giao thông, bảo vệ môi trường và nâng cao chất lượng cuộc sống của người dân. Đây là một giải pháp giao thông hiện đại, linh hoạt và phù hợp với xu hướng phát triển bền vững của các thành phố lớn và theo xu hướng toàn cầu.

1.3. Cơ sở lý thuyết về cấu hình và thành phần chính hệ động lực điện trên xe buýt điện cỡ nhỏ

1.3.1. Khái niệm về hệ động lực điện

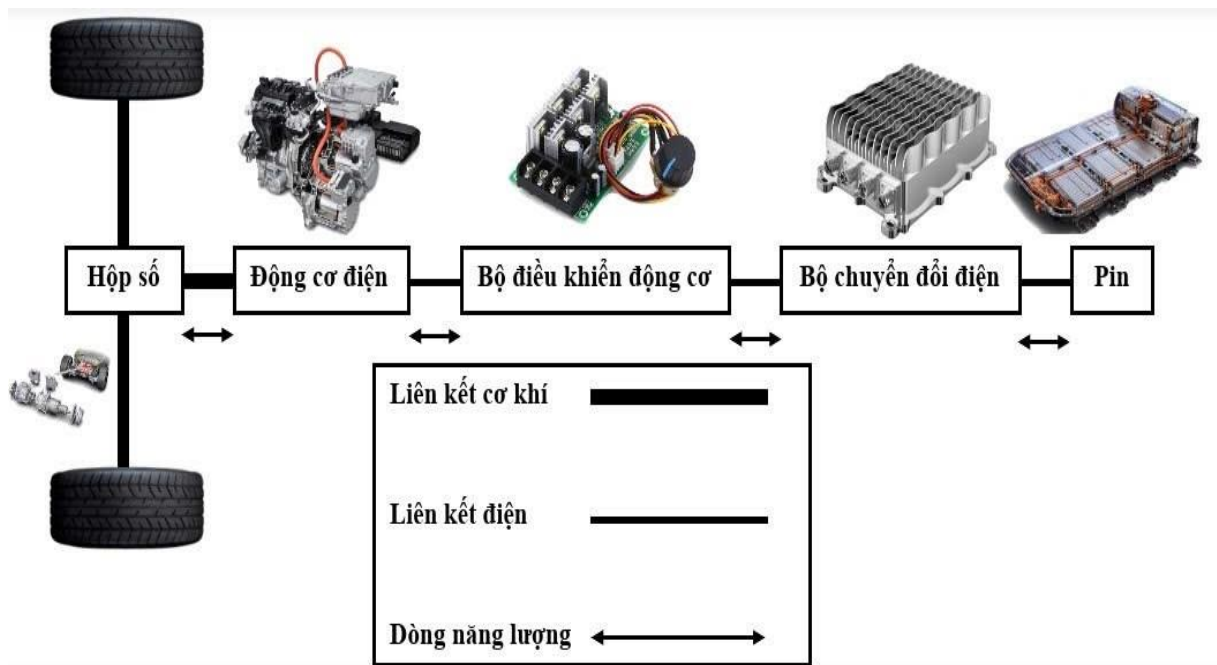
Hệ thống động lực điện của động cơ điện là nơi năng lượng từ động cơ được chuyển đổi thành sức mạnh đẩy xe. Là hệ thống động lực được thiết kế để có kích thước nhỏ gọn, nhẹ và hiệu suất cao. Điều này có thể áp dụng cho các loại xe ô tô điện khác nhau nơi việc giảm bớt kích thước và trọng lượng của hệ động lực có thể là mục tiêu chính để tối ưu hóa hiệu suất và hiệu quả năng lượng.

Hệ thống động lực xe điện là bộ phận trung tâm của xe thuần điện hay xe điện chạy pin nhiên liệu. Hệ thống này bao gồm động cơ điện, bộ chuyển đổi điện năng và bộ điều khiển điện tử động cơ điện.

Hệ thống truyền động của xe điện bao gồm:

- Hệ thống lưu trữ năng lượng — pin hoặc pin nhiên liệu;
- Điện tử công suất — biến tần/bộ chuyển đổi công suất và điều khiển;
- Máy điện — hệ thống chuyển đổi năng lượng (động cơ điện);
- Một hệ thống cơ khí — một hệ thống truyền động.

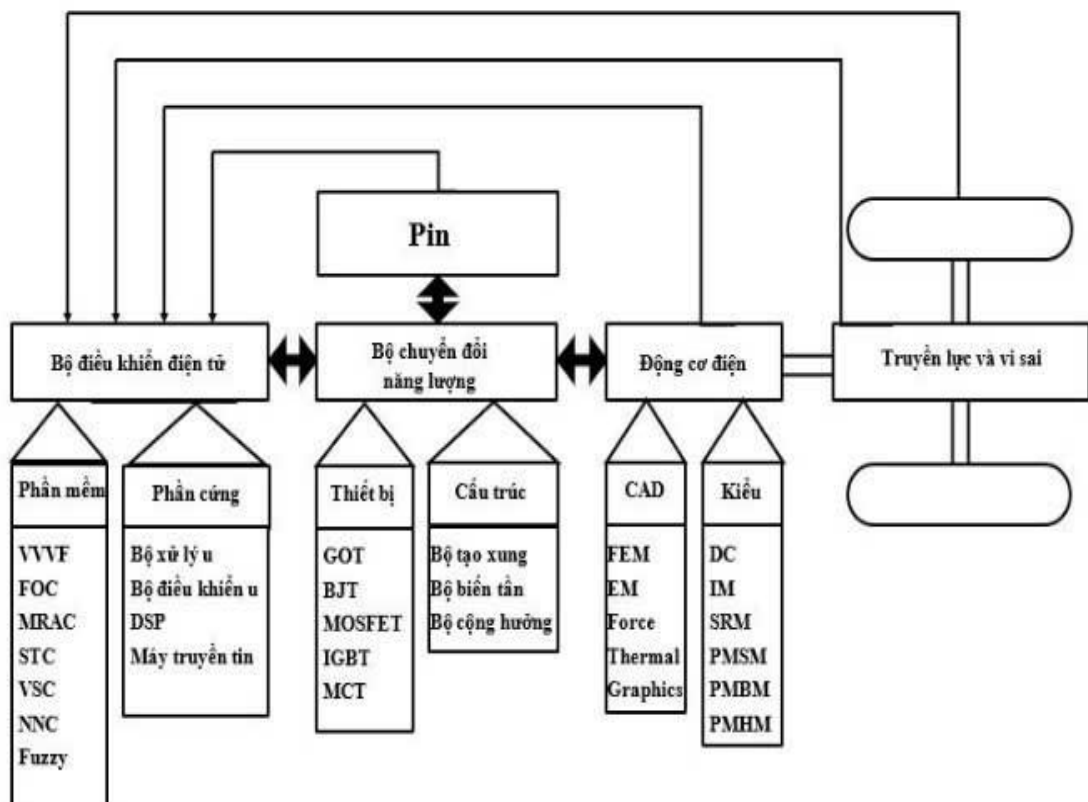
Lưu ý, hệ thống truyền động điện cũng bao gồm trục truyền động và các bộ phận cơ khí của nó. Ngoài ra, hệ thống truyền động điện không tạo ra khí thải trong quá trình vận hành, giúp cung cấp phương pháp vận chuyển xanh hơn.



Hình 1.7 Hệ động lực xe điện

Động cơ điện chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ học để chuyển thành lực kéo của xe và ngược lại, khi kích hoạt phanh tái sinh sẽ tạo ra điện để sạc bộ

lưu trữ năng lượng trên xe. Bộ chuyển đổi điện năng được sử dụng để cung cấp cho động cơ điện với điện áp và dòng điện thích hợp. Bộ điều khiển điện tử cung cấp tín hiệu điều khiển bộ chuyển đổi điện để điều khiển hoạt động của động cơ điện tạo ra mô-men xoắn và tốc độ thích hợp, theo yêu cầu của người lái xe. Bộ điều khiển điện tử đóng vai trò trung tâm trong việc điều khiển hoạt động của động cơ điện, đảm bảo động cơ có thể tạo ra mô-men xoắn và tốc độ phù hợp theo yêu cầu của người lái xe. Bộ điều khiển điện tử bao gồm ba bộ phận chính: cảm biến, mạch giao diện và bộ xử lý. Cảm biến có nhiệm vụ đo lường và thu thập các thông số quan trọng như dòng điện, điện áp, nhiệt độ, tốc độ quay, mô-men xoắn và từ thông,...Sau đó, các tín hiệu từ cảm biến được truyền qua mạch giao diện để chuyển đổi thành tín hiệu điện có mức độ phù hợp. Những tín hiệu này được xử lý và tính toán trong bộ xử lý trung tâm nhằm đưa ra quyết định điều khiển chính xác nhất, những tín hiệu này được điều chỉnh cho phù hợp mức yêu cầu trước khi được đưa vào bộ xử lý. Các tín hiệu đầu ra của bộ xử lý thường được khuếch đại thông qua mạch giao diện để điều khiển các thiết bị bán dẫn của bộ biến đổi công suất. Sơ đồ khối chức năng của hệ động lực điện được minh họa qua hình 1.8 [8].



Hình 1.8 Sơ đồ khối chức năng của hệ động lực điện

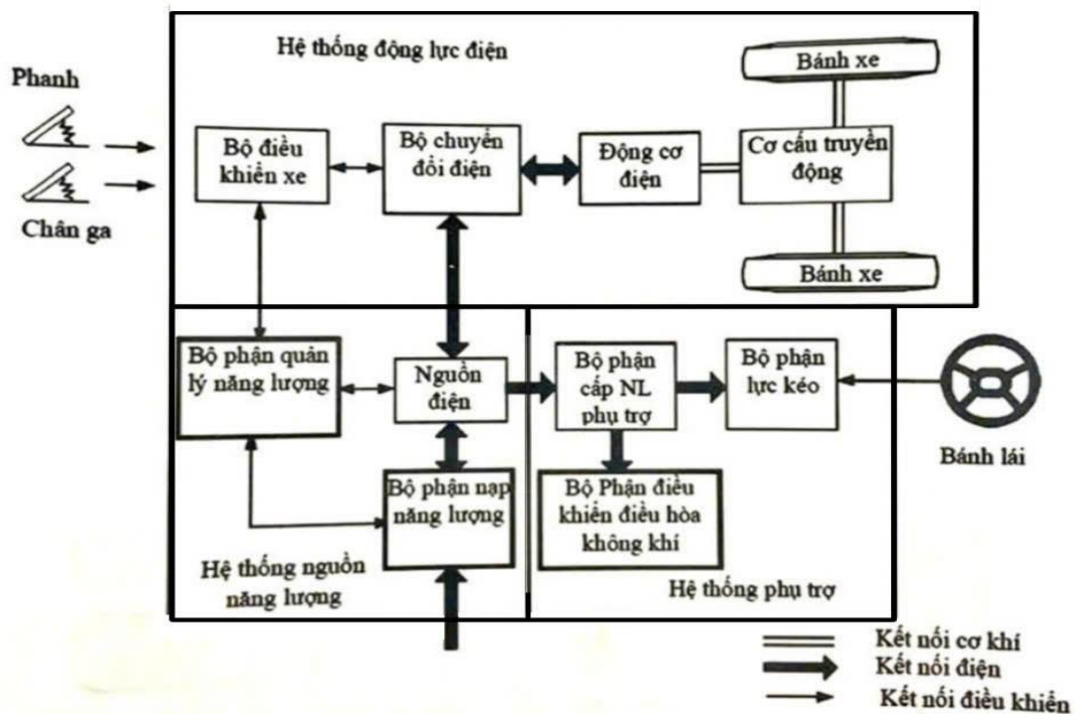
<i>VVVF: Biến đổi tần số và đi</i>	<i>GTO: Thyristor tắt bằng</i>	<i>EM: Điện từ</i>
<i>áp</i>	<i>cổng điều khiển</i>	
<i>FOC: Điều khiển hướng từ</i>	<i>BJT: Transistor lưỡng cực</i>	<i>DC: Động cơ điện một</i>
<i>trường (Điều khiển vector)</i>	<i>có mối nối</i>	<i>chiều</i>
<i>MRAC: Điều khiển thích</i>	<i>MOSFET: Transistor hiệu</i>	<i>IM: Động cơ cảm ứng</i>
<i>nghi theo mô hình tham</i>	<i>ứng trường ô xít kim loại</i>	
<i>chiều</i>		
<i>STC: Điều khiển trượt</i>	<i>IGBT: Transistor lưỡng cực</i>	<i>SRM: Động cơ từ trở</i>
	<i>cổng cách điện</i>	
<i>VSC: Điều khiển cấu trúc</i>	<i>MCT: Thyristor điều khiển</i>	<i>PMSM: Động cơ đồng bộ</i>
<i>biến</i>	<i>bằng MOSFET</i>	<i>nam châm vĩnh cửu</i>
<i>NNC: Điều khiển bằng</i>	<i>PWM: Điều chế độ rộng</i>	<i>PMPM: Động cơ không</i>
<i>mạng nơ-ron nhân tạo</i>	<i>xung</i>	<i>chổi than nam châm vĩnh</i>
		<i>cửu</i>
<i>Fuzzy: Điều khiển mờ</i>	<i>CAD: Máy tính hỗ trợ thiết</i>	<i>PMHM: Động cơ nam</i>
	<i>kế</i>	<i>châm vĩnh cửu</i>
<i>DSP: Bộ xử lý tín hiệu số</i>	<i>FEM: Phương pháp phân</i>	
	<i>tử hữu hạn</i>	

Việc lựa chọn hệ thống động lực xe điện cho EV và HEV phụ thuộc vào một số yếu tố, bao gồm yêu cầu di chuyển của người lái; kết cấu, thông số của phương tiện và nguồn năng lượng. Yêu cầu khi di chuyển của người lái xe bao gồm gia tốc, tốc độ tối đa, khả năng leo dốc, phanh và tầm hoạt động. Các kết cấu và thông số của phương tiện, bao gồm cả khối lượng và trọng lượng, phụ thuộc vào loại xe, trọng lượng xe và trọng tải. Nguồn năng lượng liên quan đến pin, tế bào nhiên liệu, siêu tụ điện, bánh đà và các nguồn hybrid khác nhau. Sự tương tác của các hệ thống con trong hệ động lực điện và các tác động trong sự thỏa hiệp trong lựa chọn hệ thống này phải được xem xét kỹ lưỡng.

1.3.2. Cơ sở lý thuyết về cấu hình hệ động lực điện

Xe điện về cơ bản có bố trí chung và thiết kế tương tự như xe động cơ đốt trong, chỉ khác nhau ở hệ động lực dùng động cơ điện, truyền động điện và dùng pin thay vì dùng xăng hay dầu. Các cụm và các hệ thống khác về cơ bản hoàn toàn giống một chiếc ô tô thông thường. Do vậy, nói về cấu hình bố trí chung xe điện là về động lực điện, hệ

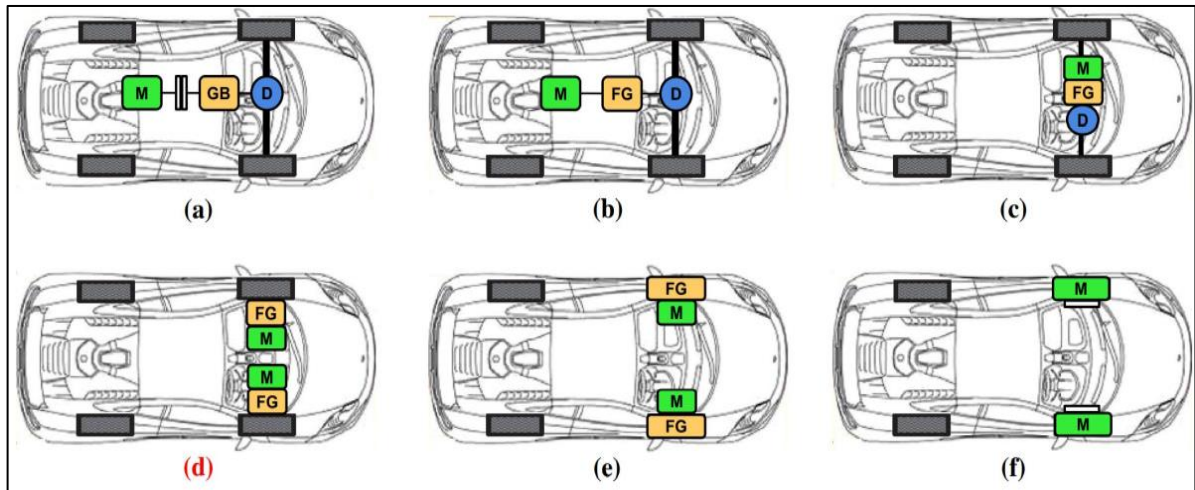
thống pin và nguồn năng lượng. Hệ thống động lực của xe điện bao gồm ba bộ phận chủ yếu: hệ thống tạo lực kéo, nguồn năng lượng cung cấp cho động cơ điện và các bộ phận phụ trợ. Hệ thống tạo lực kéo bao gồm bộ điều khiển, bộ chuyển đổi điện tử công suất, động cơ điện, cơ cấu truyền động, bánh xe chủ động. Hệ thống cung cấp năng lượng bao gồm nguồn năng lượng, hệ thống quản lý năng lượng và các bộ phận nạp năng lượng. Hệ thống phụ trợ bao gồm tay lái, hệ thống điều khiển điều hòa không khí,... Cấu hình tổng quát xe điện được mô tả trên hình 1.9 [8].



Hình 1. 9 Sơ đồ cấu hình tổng quát xe điện

Có nhiều phương án khác nhau về cấu hình ô tô điện phụ thuộc vào tính năng của nguồn động lực cũng như nguồn năng lượng cung cấp. Tùy thuộc theo quan điểm thiết kế và vị trí đặt động cơ điện, phương pháp truyền động điện mà người thiết kế có thể xây dựng nhiều cấu hình khác nhau cho bố trí chung tổng thể ô tô điện. Cấu hình hệ thống động lực ô tô điện được minh họa trên Hình 1.10 [8]. Trong đó phương án 1 như Hình 1.10a thể hiện cấu hình bộ truyền động điện với một hộp số (GB), bộ ly hợp (C), bộ vi sai (D) và động cơ điện (M) thay thế động cơ đốt trong đặt phía sau xe. Phương án 2 như Hình 1.10b là cấu hình bộ truyền động điện có bộ giảm tốc cố định FG và bộ vi sai D, không có hộp số và ly hợp. Phương án 3 như Hình 1.10c mô tả cấu hình của bộ truyền động điện dẫn động ngang bánh trước, có một bộ giảm tốc cố định FG và bộ vi

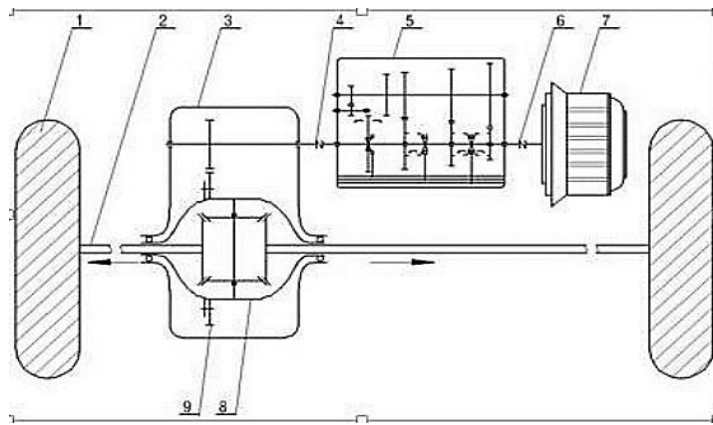
sai D như phương án 2, tuy nhiên, chúng được tích hợp vào một cụm duy nhất. Phương án 4 như Hình 1.10d là cấu hình bộ truyền động điện động cơ dẫn động kép. Trong cấu hình này, động cơ điện truyền động bánh xe thông qua bộ giảm tốc cố định bố trí ngoài bánh xe. Hoạt động vi sai của xe điện khi vào cua có thể được cung cấp điện từ hai động cơ điện riêng biệt. Phương án 5 như Hình 1.10e là cấu hình bộ truyền động điện động cơ dẫn động kép giống như Hình 1.10d, tuy nhiên, hộp giảm tốc cố định được tích hợp trong bánh xe giúp gọn nhẹ. Phương án 6 như Hình 1.10f là cấu hình bộ truyền động điện động cơ dẫn động kép giống như Hình 1.10 e, tuy nhiên, động cơ điện được tích hợp vào bánh xe, loại động cơ có rotor nằm ngoài gắn vào bánh xe, giúp gọn nhẹ hơn. Từ những phương án bố trí lắp đặt đó chúng ta có thể xem xét, phân tích các ưu và nhược điểm từ đó lựa chọn phương án bố trí tích hợp phù hợp cho từng loại xe giúp cho hệ thống động lực của xe đơn giản, gọn nhẹ, hiệu suất cao [8], [9], [10].



Hình 1.10 Các cấu hình có thể của ô tô điện

❖ *Hệ thống truyền động dùng hộp số cơ khí*

Phương án này có thiết kế giống như hệ thống truyền lực của động cơ đốt trong. Động cơ đốt trong được thay thế bằng động cơ điện. Thiết kế này có hộp số cơ khí đơn giản làm khuếch đại mô men cũng như công suất của động cơ ứng với từng tốc độ thực tế của xe khi di chuyển, đồng thời giúp cho xe tiết kiệm được năng lượng trong quá trình vận hành. Ngược lại phương án này làm cho khối lượng của xe tăng lên, kích thước lớn, chi phí giá thành tăng lên cũng như thất thoát năng lượng trong các cơ cấu cơ khí. Phương án này thích hợp cho xe có khối lượng lớn cũng như tốc độ cao. Sơ đồ hệ truyền động như trên hình 1.11[8].

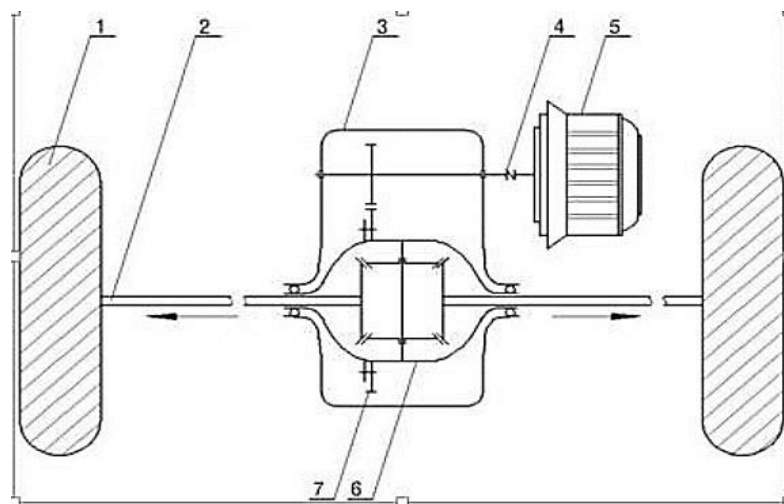


Hình 1.11 Phương án truyền động dùng hộp số cơ khí

1 - Bánh xe chủ động; 2 - Bán trục; 3- Vỏ cầu chủ động; 4- Trục nối; 5- Hộp giảm tốc; 6- Trục nối; 7- Động cơ điện; 8- Vi sai; 9- Bánh răng truyền lực chính

❖ *Hệ thống truyền động dùng động cơ điện, truyền lực chính và vi sai*

Phương án này dùng cặp bánh xe chủ động được kết nối với một bộ vi sai cầu sau. Phương án này có ưu điểm như khối lượng xe giảm, kết cấu nhỏ gọn nhờ vào kết cấu không sử dụng hộp số cơ khí và toàn bộ hệ động lực được đặt ở cầu sau, giảm được giá thành xe. Phương án này thích hợp với các loại ô tô đi với tốc độ trung bình, khả năng leo dốc không quá cao, phù hợp đi trong đô thị, thành phố. Sơ đồ hệ truyền động như trên hình 1.12[8].

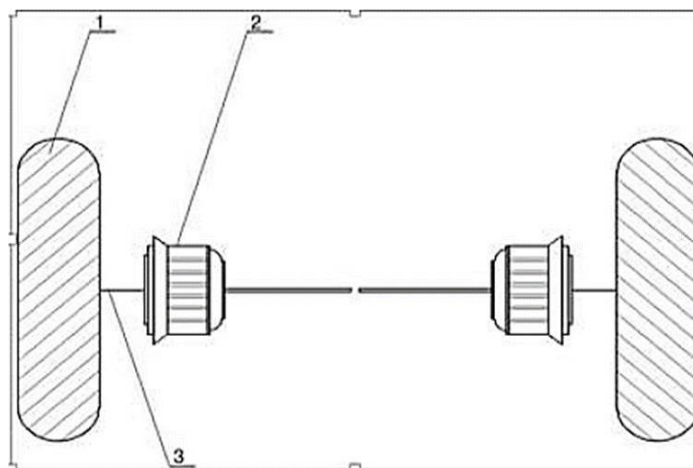


Hình 1.12 Phương án truyền động dùng động cơ điện, truyền lực chính và vi sai

1- Bánh xe chủ động; 2- Bán trục; 3- Vỏ cầu chủ động; 4- Trục nối; 5- Động cơ điện; 6 – Vi sai; 7 – Bánh răng truyền lực chính.

❖ *Hệ thống truyền động chỉ dùng động cơ điện*

Phương án này động cơ được gắn trực tiếp với bánh xe thông qua một trục, để loại bỏ hoàn toàn cơ cấu bánh răng cơ khí giữa động cơ điện và bánh xe chủ động. Người ta có thể sử dụng động cơ điện tốc độ thấp với rô to ngoài lắp trực tiếp vào bánh xe, có thể đặt ngoài hoặc đặt trong bánh xe, việc điều khiển tốc độ động cơ đồng nghĩa với việc điều khiển bánh xe, và vì vậy chính là điều khiển tốc độ. Các động cơ điện đặt trong bánh xe được các nhà sản xuất chế tạo sẵn, phần tĩnh của động cơ gắn với trục bánh xe, phần động của động cơ gắn với các bánh xe. Phương án này có ưu điểm: hiệu suất truyền lực 100%. Tuy nhiên động cơ này cần phải có mô men xoắn lớn để khởi động xe và tăng tốc xe. Phương án này phổ biến ở các dòng xe máy điện và xe đạp điện. Đặt động cơ ở mỗi bánh xe dẫn động sẽ tiết kiệm được không gian trên xe. Tuy nhiên nó ảnh hưởng đến bố trí hệ thống treo. Ngoài ra, động cơ có thiết kế đặc biệt và số lượng động cơ làm cho giá thành xe cao hơn. Sơ đồ hệ truyền động như trên hình 1.13[8].



Hình 1.13 Hệ thống truyền động chỉ dùng động cơ điện

1- Bánh xe chủ động; 2 – Động cơ điện; 3- Bán trục cầu chủ động

Bộ vi sai có thể loại bỏ bằng cách bố trí mỗi động cơ dẫn động mỗi bên bánh xe và dùng một cặp bánh răng đơn giản hoặc dùng bộ truyền đai răng hoặc cũng có thể loại bỏ hoàn toàn cơ cấu bánh răng cơ khí giữa động cơ điện và bánh xe chủ. Mô men xoắn cần phải được cân bằng cho mỗi bánh xe bằng bộ điều khiển điện tử. Phương án này có ưu điểm là khối lượng xe giảm đáng kể, kết cấu nhỏ gọn, không gian bên trong xe rộng rãi hơn. Tuy nhiên thiết kế này cần phải có bộ điều khiển điện tử phức tạp hơn. Ngoài ra khi dùng 2 động cơ có công suất nhỏ hơn có giá thành cao hơn một động cơ, chính vì thế làm tăng giá thành chung của xe.

1.3.3. Tầm quan trọng của hệ động lực điện trên xe buýt điện cỡ nhỏ

Hệ động lực điện trên xe buýt điện cỡ nhỏ có ưu điểm rất lớn với các lý do chính sau đây :

- Tích hợp hóa các thành phần: Một phương án phổ biến là tích hợp nhiều chức năng vào các thành phần của hệ động lực. Ví dụ, việc tích hợp bộ điều khiển và hệ thống chuyển đổi năng lượng vào một bộ phận duy nhất giúp giảm số lượng các thành phần cần thiết và giảm kích thước tổng thể của hệ thống.

- Sử dụng động cơ hiệu suất cao và tối ưu: Lựa chọn động cơ điện có hiệu suất cao và mật độ công suất lớn giúp giảm kích thước của động cơ, đồng thời tăng cường khả năng sản xuất công suất mà không tăng thêm kích thước.

- Sử dụng pin lithium-ion hiệu suất cao: Các nhà sản xuất có thể sử dụng pin lithium-ion có mật độ năng lượng cao để giảm kích thước của hệ thống pin mà vẫn đảm bảo hiệu suất và dự trữ năng lượng đủ cho xe điện di chuyển.

- Tối ưu hóa không gian cấu trúc xe: Thiết kế khung xe và cấu trúc chỗ ngồi sao cho phù hợp với vị trí của các thành phần trong hệ động lực, giúp tối đa hóa không gian bên trong và giảm kích thước tổng thể của xe.

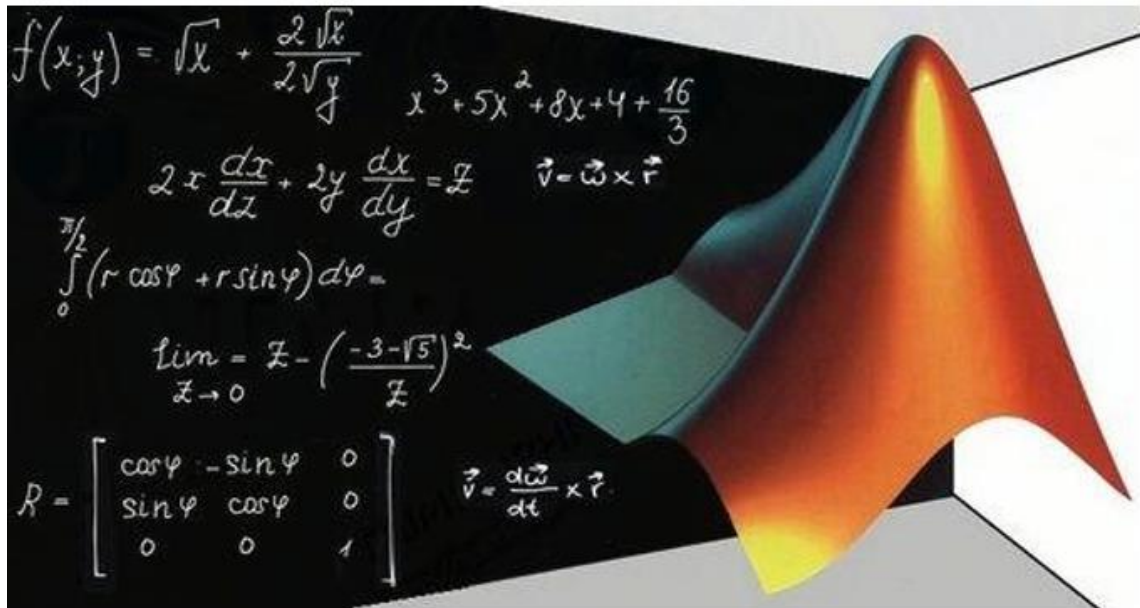
- Sử dụng vật liệu nhẹ bền và cấu trúc tối ưu giúp khối lượng của xe giảm đáng kể, giảm chi phí thiết kế, sản xuất : Sử dụng vật liệu nhẹ như hợp kim nhôm hoặc sợi carbon cùng với cấu trúc tối ưu giúp giảm trọng lượng của các thành phần và kích thước tổng thể của hệ động lực của xe.

Những ưu điểm này giúp hệ động lực điện nhỏ gọn trở thành lựa chọn lý tưởng cho xe buýt điện cỡ nhỏ, đặc biệt phù hợp với nhu cầu vận hành của xe buýt cỡ nhỏ chạy điện ở các thành phố, đô thị lớn.

1.4. Giới thiệu phần mềm mô phỏng

1.4.1. Tổng quan về Matlab

Matlab là ngôn ngữ lập trình được nghiên cứu bởi công ty Mỹ có tên là MathWorks, cho phép chúng ta tạo ma trận, vẽ đồ thị hàm hoặc tạo các biểu đồ từ dữ liệu, thực hiện các phép toán, tạo giao diện người dùng và viết bằng nhiều ngôn ngữ khác nhau như C, C++ và Java, Fortran. Matlab có khả năng phân tích dữ liệu, phát triển thuật toán, tạo mô hình và ứng dụng. Matlab được thiết kế với nhiều lệnh và hàm toán học giúp bạn thực hiện các chức năng này một cách dễ dàng.



Hình 1.14 Mô hình phần mềm Matlab

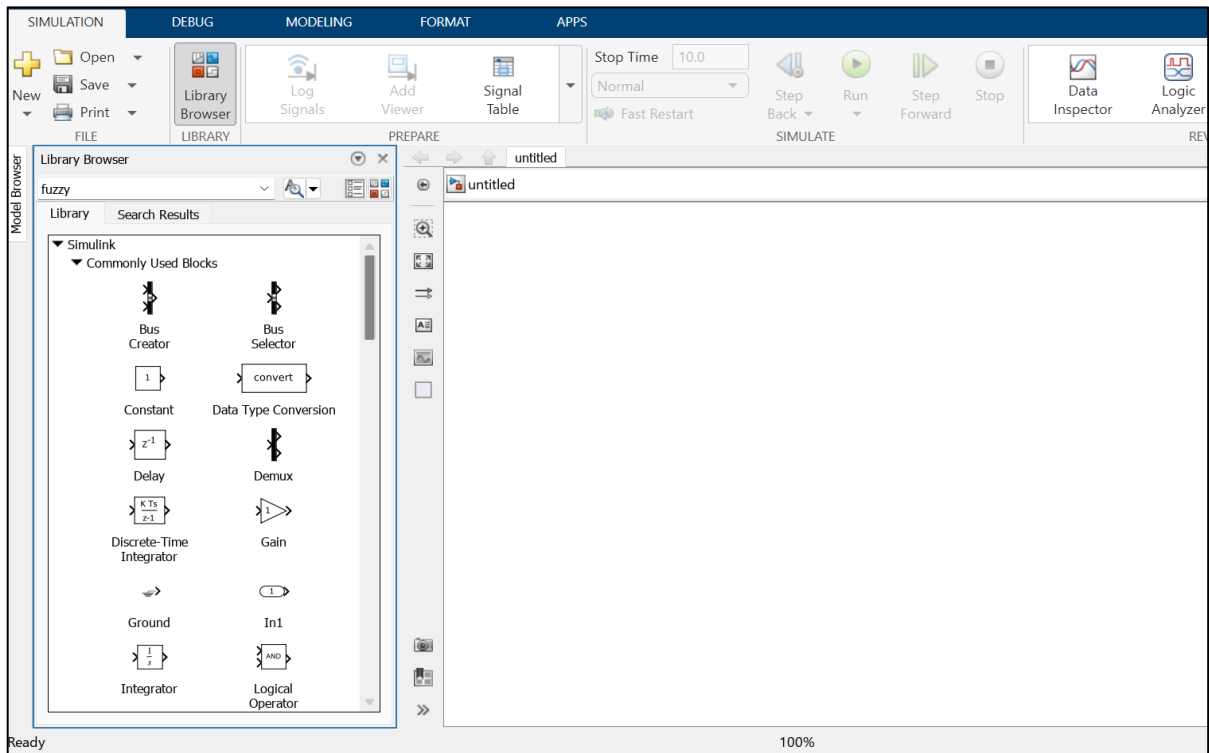
Matlab có các chức năng chính đó là:

- + Giải quyết được các vấn đề về toán học sơ cấp và cao cấp như vẽ đồ thị dạng 2D và 3D, giải các phương trình đại số và vi phân, mảng và ma trận, véc-tơ, phân tích và thống kê truy xuất dữ liệu.
- + Cung cấp các hàm để liên kết với các ứng dụng bên ngoài và các ngôn ngữ khác như C, Java, Microsoft Excel,...
- + Chứa các thư viện chứa đồ thị có sẵn để xử lý hình ảnh từ dữ liệu và các công cụ để tạo các dạng đồ thị khác.
- + Có sẵn nhiều hộp công cụ để tạo ra một môi trường Matlab để giải quyết các vấn đề đặc biệt như xử lý tín hiệu kỹ thuật số, hệ thống điều khiển, fuzzy logic, mô hình hóa, mô phỏng,...

1.4.2. Matlab Simulink

Simulink là một công cụ mở rộng quan trọng tích hợp trong MATLAB, mang lại khả năng mô hình hóa, mô phỏng, và phân tích các hệ thống động với giao diện trực quan sử dụng đồ họa. Điểm nổi bật của Simulink là việc cung cấp môi trường thao tác đơn giản, cho phép người dùng dễ dàng tạo lập và thao tác các mô hình bằng cách nhấp chuột và kéo thả các khối. Điều này làm cho quá trình thiết kế và phát triển các hệ thống phức tạp trở nên trực quan và dễ tiếp cận hơn, đặc biệt đối với người dùng không chuyên về lập trình. Nó cung cấp các khối con bên trong một thư viện

không lồ, mỗi khối lại có chức năng riêng có thể kết nối được với nhau, giúp người học dễ dàng tìm kiếm và sử dụng khối này cho việc tính toán. Simulink được ứng dụng ở nhiều lĩnh vực quan trọng như sinh học, kinh tế, tài chính, kỹ thuật điện, khí động học chuyển động cho ngành hàng không, ô tô,...



Hình 1.15 Giao diện của phần mềm Matlab/Simulink

1.5. Các mô hình động lực đã được áp dụng cho xe buýt điện cỡ nhỏ

1.5.1. Nghiên cứu ngoài nước

Power HIL simulation of an electric Minibus powertrain: Năm 2017, tác giả là Pitchapa Lotrakul nghiên cứu luận văn thạc sĩ cho Khoa Kỹ thuật điện, Điện tử, Máy tính và hệ thống thuộc trường Đại học OVIEDO đã công bố chương trình nghiên cứu thạc sĩ của mình về: mô phỏng hệ động lực điện HIL trên xe mini buýt điện. Mục tiêu của dự án này là sử dụng băng ghế thử nghiệm tại Viện Kỹ thuật Coimbra - Học viện Bách khoa Coimbra (ISEC-IPC, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra - Instituto Politécnico de Coimbra), Coimbra, Bồ Đào Nha, để thực hiện mô phỏng phần cứng trong vòng lặp (HIL). Điều này liên quan, trước tiên, để tiếp xúc và nghiên cứu các thành phần khác nhau của bàn thử nghiệm và do đó cải thiện quy trình sạc để cho phép sạc

trong môi trường an toàn. Sau đó, kỹ thuật hình thức đồ họa Energetic Macroscopic Representation (EMR) đã được sử dụng để tổ chức mô phỏng [11].

Reliability Study of BEV Powertrain System and Its Components: Năm 2021, nhóm tác giả Qian Tang, Xiong Shu, Guanghui Zhu, Jiande Wang, Huan Yang, bài báo khoa học. Nội dung của bài báo: Trong nghiên cứu hiện nay, một mô hình cây lỗi của toàn bộ hệ thống truyền động và các hệ thống con của nó đã được phát triển. Dựa trên mô hình này, tỷ lệ hỏng hóc của tất cả các thành phần được tính toán đầu tiên. Hơn nữa, qua nghiên cứu so sánh, chúng tôi nhận thấy rằng mô-đun pin là thành phần không đáng tin cậy nhất không chỉ của hệ thống pin, mà là toàn bộ hệ thống truyền động. Ngoài ra, thật thú vị khi thấy rằng độ tin cậy của thành phần động cơ cao hơn so với các thành phần hệ thống con khác, nhưng độ tin cậy các chỉ số cho toàn bộ động cơ không phải là cao nhất trong số tất cả các hệ thống con truyền động được nghiên cứu ở tờ giấy này. Chúng tôi tin rằng những phát hiện của nghiên cứu này sẽ có ý nghĩa to lớn đối với việc cải thiện hiểu biết về thiết kế độ tin cậy và bảo trì BEV [12].

Electric vehicle powertrain architecture and control global optimization: Năm 2009, nhóm tác giả Noëlle Janiaud, François-Xavier Vallet, Marc Petit, Guillaume Sandou, tạp chí xe điện thế giới. Nội dung bài báo: Một nền tảng cho hệ thống truyền động xe điện có được trình bày trong bài báo này. Pin, bộ chuyển đổi và động cơ kéo xe được mô hình hóa bằng mục đích tối ưu hóa hiệu suất và hiệu suất hệ thống truyền động (có liên quan chặt chẽ với xe phạm vi). Kết quả so sánh thu được với nền tảng mô phỏng. Nền tảng này đã chứng minh được khả năng của mình về tính hiệu quả và đã mang lại nhiều hơn kết quả thỏa đáng cho sự hiểu biết sâu sắc về đề xuất luật điều khiển tối ưu và kiến trúc [13].

1.5.2. Nghiên cứu trong nước

Hiện nay, dù chưa có nhiều nghiên cứu cụ thể và rõ ràng về chủ đề này trong nước, nhưng đã có nhiều bài báo và hội thảo, thảo luận tiếp cận các vấn đề liên quan, đặc biệt là năng lượng xanh, năng lượng tái tạo, cũng như việc sản xuất hydro từ các nguồn năng lượng dồi dào và vô tận như năng lượng mặt trời, gió, thủy điện và sinh khối, bắt kịp xu hướng năng lượng xanh của thế giới.

Đặc biệt, trong tạp chí khoa học và công nghệ Đại học Đà Nẵng năm 2022 tác giả chính: PGS.TS Phạm Xuân Mai đã nghiên cứu về phương pháp thiết kế hệ động lực xe

điện. Bài báo này trình bày những nghiên cứu về phương pháp thiết kế xe điện, nhất là hệ thống động lực của xe điện như động cơ điện, hộp số và phương pháp thiết kế tối ưu hệ động lực trên xe điện, hệ thống pin và phương pháp lựa chọn kiểu loại phù hợp. Ngoài ra, bài báo cũng phân tích về các hệ thống điện động lực khác như hệ thống sạc pin thông qua cổng sạc hoặc sạc trong quá trình phanh xe, sạc thường hoặc sạc nhanh; hệ thống điều khiển gồm các hệ thống điện, điện tử, các thiết bị cảm biến cung cấp khả năng điều khiển cho xe phù hợp với thực tế sử dụng ở Việt Nam [14].

Bên cạnh đó còn có bài báo nghiên cứu về quy trình thiết kế hệ động lực điện xe điện của nhóm tác giả: PGS.TS Phạm Xuân Mai, Bùi Văn Ga, Hà Phạm, Lê Hoàng Phú Phạm Trường Đại học Bách Khoa TP.Hồ Chí Minh năm 2022 đã nghiên cứu về quá trình thiết kế và tối ưu hóa hệ thống truyền lực của xe điện như bố trí chung của xe điện, thiết kế động cơ điện, hệ thống truyền động, hệ thống ốc quy cũng như lựa chọn thiết kế bố trí phù hợp. Ngoài ra, bài viết phân tích các mô hình tính toán của hệ thống truyền động điện, hệ thống năng lượng và tính toán hiệu suất của các hệ thống này phù hợp với nhu cầu sử dụng thực tế. Cuối cùng, việc tính toán thiết kế và mô phỏng hệ truyền động và năng lượng của xe điện được thực hiện bằng phần mềm Simcenter Amesim [15].

Ngoài ra tại hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ V-VCME 2018 cũng có bài báo:Nghiên cứu tính toán nguồn động lực dùng năng lượng điện cho xe du lịch 5 chỗ của nhóm tác giả Nguyễn Huy Trường, Phạm Việt Thành. Bài báo nghiên cứu về việc lựa chọn nguồn động lực là động cơ điện thay thế cho động cơ xăng của xe nguyên thủy, nên về cơ bản kết cấu của các hệ thống trên xe đã có sẵn. Ngoài ra, động cơ điện cũng đã được các nhóm nghiên cứu tính toán, chế tạo và cung cấp theo từng chủng loại và công suất phù hợp [16].

CHƯƠNG 2: TÍNH TOÁN CHỌN CẤU HÌNH XE BUÝT ĐIỆN CỖ NHỎ VÀ THIẾT KẾ HỆ ĐỘNG LỰC ĐIỆN

2.1. Phân tích lựa chọn và xây dựng bố trí chung xe buýt điện cỡ nhỏ

2.1.1. Phân tích các đặc tính chung của xe buýt cỡ nhỏ

Như đã trình bày lý do chọn đề tài ở trên, đề tài sẽ gồm các loại xe mini buýt: là loại xe từ 8 đến 12 chỗ sẽ được dùng cho các khu dân cư cũ, khu vực hay nội quận có hệ thống đường nhỏ hẹp (3m – 6m), dựa vào tình hình thực tế giao thông công cộng tại Thành phố Hồ Chí Minh: xe mini buýt với nhiều mục đích sử dụng, bao gồm chở khách trong các tuyến đường ngắn hoặc các dịch vụ vận chuyển hành khách nhỏ như dịch vụ đón tiễn khách sân bay, đưa đón nhân viên, hoặc dịch vụ du lịch. Một số mini buýt được thiết kế đặc biệt để phục vụ các nhu cầu đặc biệt như vận chuyển hành khách của trường học hoặc công ty. Mini buýt thường có thiết kế linh hoạt, dễ vận hành và có thể dễ dàng điều khiển trong các khu vực hẹp và giao thông đông đúc, di chuyển trong các đường hẻm, đường hẹp sẽ dùng các loại mini buýt para-transit có thiết kế đặc thù, được ủy ban nhân dân thành phố Hồ Chí Minh cho phép sử dụng như cơ chế xe hoạt động trong khu vực hạn chế (như cơ chế đặc thù đã dùng cho xe điện 4 bánh vừa qua). Hoặc dùng loại xe thân hẹp lưu thông một chiều trên các tuyến đường hẻm, đường hẹp này. Đặc điểm khác của dòng xe mini buýt là chúng thường có một thiết kế hình hộp hoặc hình chữ nhật, tạo ra không gian nội thất rộng rãi và thoải mái cho hành khách, cũng như di chuyển dễ dàng, thuận lợi ở đường sá giao thông công cộng tại thành phố Hồ Chí Minh.

Hiện nay đã có một số các mẫu xe mini buýt từ 12 – 16 chỗ thân hẹp khá phù hợp cho các loại đường nội bộ thành phố hẻm nhỏ. Hình 2.1 thể hiện sự so sánh về kích thước tổng thể (chiều dài, rộng, cao) của các dòng xe 16 chỗ hiện nay tại Việt Nam. Trong đó, xe mini buýt Kim Long X9 nổi bật với lợi thế thiết kế thân hẹp, có chiều rộng chỉ 1.880 mm, trong khi các mẫu xe khác trên thị trường dao động từ 2.040 – 2.070 mm. Sự khác biệt này giúp Kim Long X9 dễ dàng di chuyển trong các con hẻm nhỏ, linh hoạt khi quay đầu hoặc dừng đỗ trên những tuyến phố chật hẹp, từ đó mở rộng phạm vi hoạt động, tăng tần suất phục vụ, nâng cao doanh thu. Hơn nữa, với việc tối ưu kích thước mà không ảnh hưởng đến sức chứa hành khách, Kim Long X9 vẫn đảm bảo được sự thoải mái cho người ngồi bên trong.

HẠNG MỤC	KIM LONG X9	FORD TRANSIT TREND	HYUNDAI SOLATI	IVECO DAILY
HÌNH ẢNH & KÍCH THƯỚC TỔNG THỂ (MM)				
				
				
				

Hình 2.1 Các loại xe mini buýt ở Việt Nam hiện nay

2.1.2. Chọn cấu hình tổng thể xe buýt cỡ nhỏ

Hiện nay, các công ty ô tô truyền thống trên thế giới đã phát triển và thương mại hóa các dòng xe hybrid và xe điện. Bên cạnh công việc nghiên cứu, chế tạo các mẫu xe mới, một hướng đi khác của đề tài này là tận dụng khung gầm xe cũ sử dụng nhiên liệu hóa thạch để chuyển đổi sang dùng hệ động lực điện. Do đó, công việc tính toán và lựa chọn nguồn động lực điện phù hợp khi chuyển đổi từ động cơ đốt trong sang động cơ điện là một vấn đề quan trọng cần nghiên cứu. Với những tiêu chí vấn đề đặt ra của đề tài cần giải quyết cùng với những phân tích so sánh các loại xe mini buýt ở trên ta có thể chọn xe mini buýt Kim Long X9 làm cấu hình tổng thể xe mini buýt giữ nguyên kích thước tổng thể của xe chỉ tính toán lựa chọn hệ động lực điện phù hợp thay thế động cơ đốt trong của xe nguyên thủy nhưng vẫn đáp ứng tốt các khả năng của xe. Hình dáng ngoài xe mini buýt Kim Long X9 từ 12-16 chỗ được mô tả trên hình 2.2 [17].



Hình 2.2 Xe mini buýt Kim Long X9 từ 12-16 chỗ

Các thông số chính của xe Kim Long X9 như trình bày trong bảng 2.1[17].

Bảng 2.1 Các thông số cấu hình của xe Kim Long X9

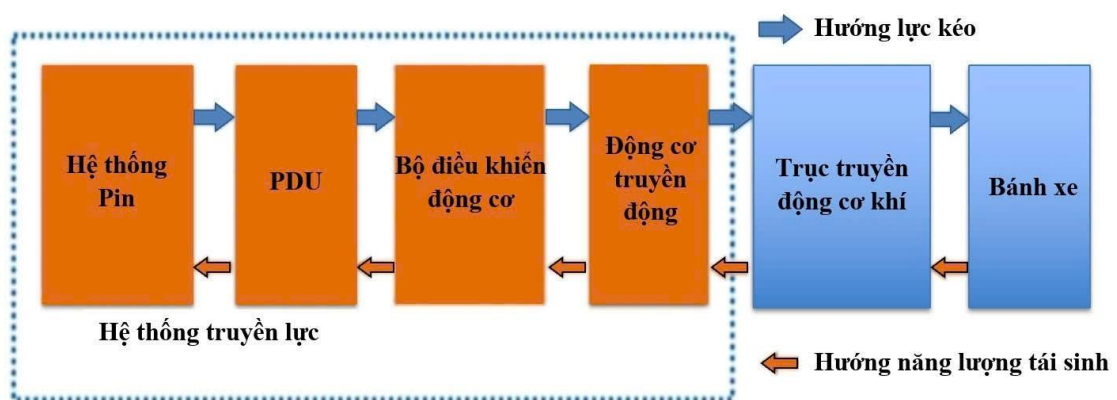
Loại xe	Kim Long X9
Kích thước	
Kích thước tổng thể: dài x rộng x cao (mm)	6,050 x 1,880 x 2,340
Khoảng cách trục (mm)	3,720
Khoảng sáng gầm xe (mm)	160
Vệt bánh trước/ sau (mm)	1,655/1,650
Bán kính quay vòng (mm)	8,500
Trọng lượng	
Tự trọng (kg)	2,640
Trọng lượng toàn bộ (kg)	3,680
Dung tích nhiên liệu (lít)	70
Động cơ	
Kiểu Model	DK5E
Dung tích xy lanh (cc)	2,982
Công suất cực đại (Ps/rpm)	150/3,100
Mô men xoắn (Nm/rpm)	350/1,600-2,400
Tiêu chuẩn khí thải	Euro 5
Hộp số	Số sàn 5 cấp
Cơ cấu lái	Trợ lực thủy lực
Lốp xe	215/75R16C
Hệ thống treo	
Trước	Độc lập – Tay đòn kép
Sau	Phụ thuộc, nhíp lá
Hệ thống phanh (Hệ thống chống bó cứng phanh ABS)	
Trước	Đĩa
Sau	Tang trống

Xe điện về cơ bản có bố trí chung và thiết kế tương tự ô tô xăng hay Diesel, chỉ khác nhau ở hệ thống động lực dùng động cơ điện, truyền động điện và dùng pin thay

vì dùng xăng hay dầu. Còn các cụm và hệ thống khác hoàn toàn giống một chiếc ô tô thông thường; Cấu tạo cơ bản của một ô tô điện thông thường như chúng ta có thể thấy, điểm khác biệt lớn là sàn xe được bố trí làm nơi đặt hệ thống pin, còn phía trước là tổ hợp hệ động lực điện, các bộ chuyển đổi điện, bộ điều khiển điện tử, hệ thống tản nhiệt, bộ sạc điện dẫn ra công sạc.

2.1.3. Xây dựng cấu hình tổng thể hệ truyền động điện

Là hệ thống cốt lõi của xe buýt điện cỡ nhỏ, hệ thống truyền động điện tương tự như động cơ và hệ thống truyền động trong một chiếc xe chạy bằng diesel hoặc xăng truyền thống. Tuy nhiên, về chuyển đổi năng lượng và truyền tải điện, xe mini buýt thuần điện khác với xe diesel hoặc xe xăng truyền thống. Để dễ hiểu hơn, sơ đồ quá trình truyền tải năng lượng và điện trong xe buýt điện được thể hiện trong hình 2.3 [12]. Từ hình vẽ, chúng ta có thể thấy rõ rằng hệ thống truyền động của xe thuần điện chủ yếu bao gồm hệ thống pin, bộ phân phối điện (PDU), bộ điều khiển động cơ và động cơ truyền động. Khi xe mini buýt điện hoạt động bình thường, năng lượng điện được lưu trữ trong hệ thống pin trước tiên được đưa vào bộ phân phối điện, sau đó đến bộ điều khiển động cơ thông qua bộ phân phối điện. Cuối cùng, năng lượng điện được chuyển thành năng lượng cơ học để vận hành xe thuần điện bằng cách điều khiển hệ thống động cơ. Ngược lại, khi xe thuần điện phanh hoặc xe lên dốc hay xuống dốc, năng lượng phản hồi sẽ được lưu trữ trong hệ thống pin thông qua hệ thống truyền động [12].

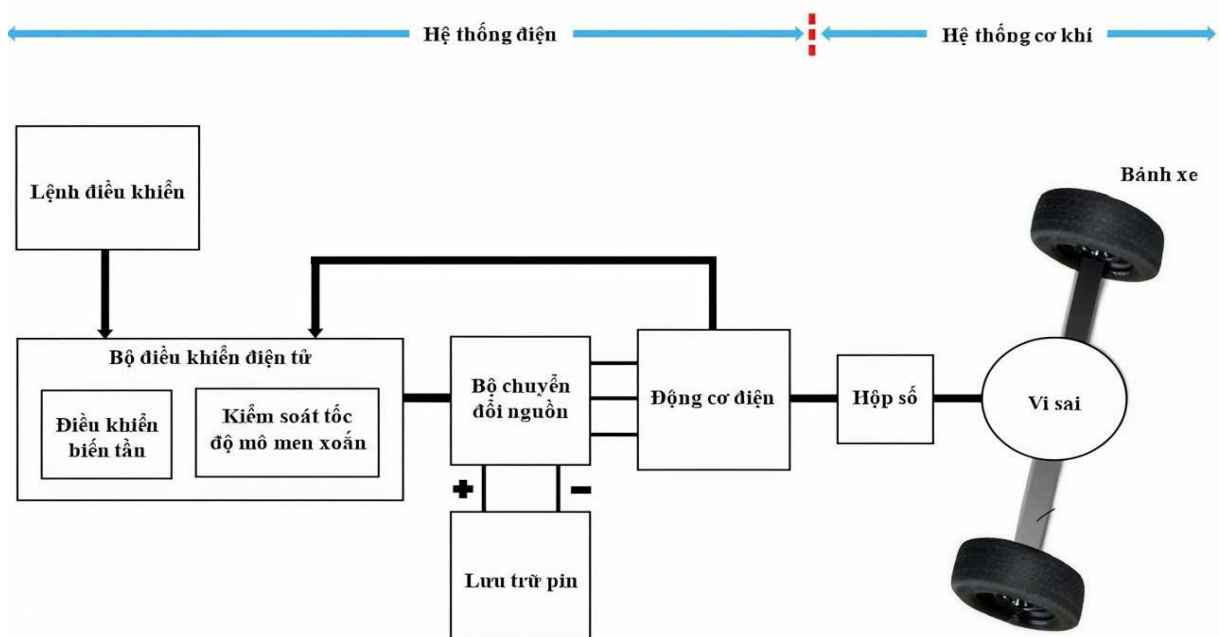


Hình 2.3 Sơ đồ quá trình truyền tải năng lượng và điện của xe buýt điện

Trên thực tế, hệ động lực, bao gồm động cơ điện, bộ chuyển đổi năng lượng và bộ điều khiển điện tử, là cốt lõi của hệ thống truyền lực điện. Các yêu cầu chính của hệ động lực điện bao gồm:

- 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 rất 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 giá thành kinh tế hợp lý.

Khi thiết kế cấu hình tổng thể hệ truyền lực điện, việc lựa chọn hệ truyền lực điện cho xe điện chủ yếu phụ thuộc vào ba yếu tố: sự mong muốn của người lái xe, các ràng buộc của phương tiện và nguồn năng lượng. Sơ đồ khối hệ thống truyền động điện trên xe ô tô như mô tả trên hình 2.4.

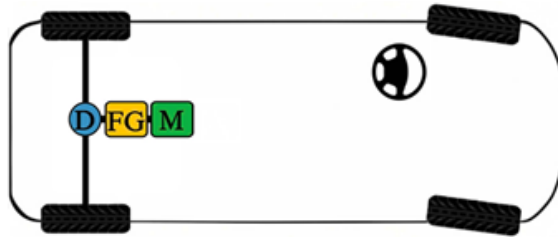


Hình 2.4 Sơ đồ khối hệ thống truyền động điện trên xe

2.1.4. Chọn phương án bố trí hệ động lực điện cho xe buýt điện cỡ nhỏ

Để đạt được cấu hình mong muốn hệ động lực điện ta chọn phương án thiết kế như hình dưới đây, bố trí động cơ điện thay thế cho động cơ đốt trong, giữ nguyên hộp số hoặc thay thế bằng hộp giảm tốc đơn cấp, bộ vi sai và cầu chủ động giúp giảm chi phí

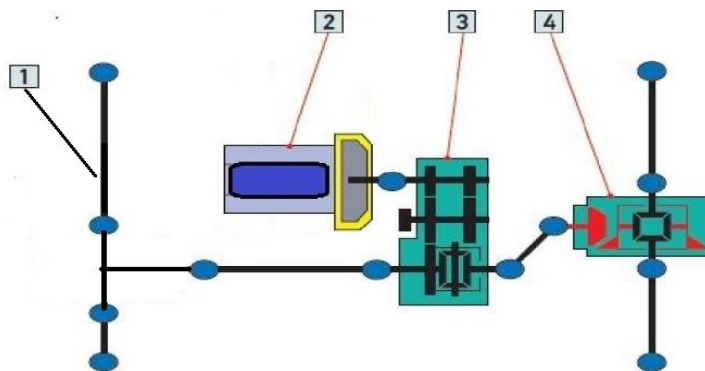
thiết kế hệ động lực của xe mini buýt điện theo hướng tiện lợi, nhỏ gọn hiệu suất cao và phù hợp với điều kiện vận hành giao thông công cộng ở đô thị Thành phố Hồ Chí Minh. Dựa trên khung sườn sắt xi của xe mini buýt có sẵn là xe Kim long X9 để bố trí lắp ráp hệ động lực điện đặt ở cầu sau và bố trí lắp đặt pin trên sàn xe giúp cân bằng ổn định và tối ưu không gian và tiết kiệm chi phí thi công thiết kế. Phương án bố trí hệ động lực điện phù hợp cho xe buýt điện cỡ nhỏ như trên hình 2.5.



Hình 2.5 Phương án bố trí hệ động lực điện phù hợp cho xe buýt điện cỡ nhỏ

(M: Động cơ điện, FG: Hộp số cố định, D: Bộ vi sai)

Việc nối ghép các thành phần chi tiết được thực hiện bằng việc thay thế động cơ đốt trong thành động cơ điện của xe và đặt động cơ ở cầu sau và giữ nguyên lại các hệ thống khác của xe. Việc lắp đặt lại hộp số nguyên bản cho xe là hoàn toàn khả thi, hộp số sàn thường mang lại hiệu suất và hiệu quả cao hơn nhưng lại đi kèm với sự kém hiệu quả về mặt cơ khí và chi phí vận hành và kém hiệu quả ở tốc độ động cơ điện thấp. Vì vậy đối với đề án này hộp số sàn được loại bỏ và thay vào đó là dùng hộp giảm tốc đơn cấp được kết nối với bộ vi sai cầu sau, để tận dụng phạm vi tốc độ rộng của động cơ điện để cung cấp hiệu quả công suất cần thiết cho xe [16]. Phương án ghép nối động cơ điện dựa trên xe nguyên thủy được mô tả trên hình 2.6.



Hình 2. 6 Sơ đồ nối ghép động cơ điện dựa trên xe nguyên thủy

1- Cầu trước; 2 – động cơ điện; 3 – Hộp số đơn cấp; 4 – Bộ vi sai cầu sau.

2.2. Tính toán, lựa chọn xây dựng các thành phần chính hệ động lực điện

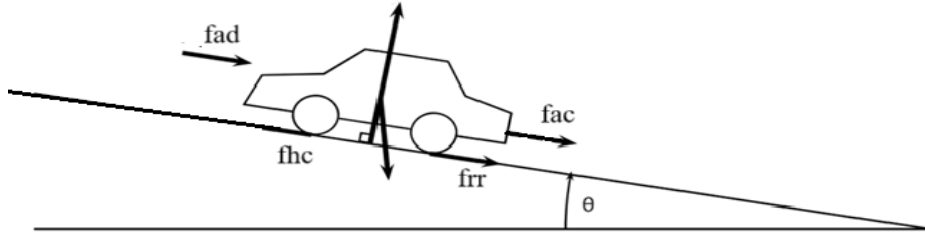
2.2.1. Tính toán các thông số cần thiết để lựa chọn động cơ điện

Để tính toán lựa chọn động cơ điện phù hợp cho xe buýt cỡ nhỏ trên xe cơ sở Kim Long X9 ta có thể tham khảo dựa vào kết cấu tổng thể của xe, các thông số kỹ thuật và số liệu mà nhà sản xuất đưa ra để có thể tính toán được công suất cần thiết để lựa chọn động cơ điện phù hợp cho xe để chuyển đổi thành xe điện. Các thông số tính toán cơ bản và kết quả tính toán cần thiết như trong bảng 2.2.

Bảng 2.2 Các thông số tính toán cơ bản

Xe cơ sở	Giá trị
Khối lượng xe (m)	3680 Kg
Tốc độ xe quy định chạy trong đô thị	khoảng từ 50- 60km/h
Hệ số cản lăn (φ_{rr})	0,012
Hệ số cản khí động học (C_d)	0,5-0,7
Diện tích bề mặt phía trước (A)	4,4 (m ²)
Bán kính bánh xe (r)	0,36 (m)
Góc của dốc (θ)	10°
Gia tốc trọng trường (g)	9,81 (m/s ²)
Gia tốc của xe (a)	0,661 (m/s ²)
Mật độ không khí (ρ)	1,25 (kg/m ³)
Tỉ số truyền hộp số (i_t)	4,0
Tỉ số truyền cầu sau	5,0

Để tính toán lựa chọn động cơ điện phù hợp chúng ta cần áp dụng các công thức tính các đặc tính, tính toán động lực học theo các công thức trình bày trong tài liệu tham khảo [19]. Các lực thành phần chi tiết khi xe di chuyển được minh họa trên hình 2.7 [26] bao gồm các lực sau:



Hình 2.7 Các lực tác động lên một chiếc xe đang di chuyển

- Phương trình tổng lực cản của xe được mô tả như sau [26]:

$$F_t = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{ac} \quad (2.1)$$

Trong đó:

- F_t là tổng lực cản của xe (N)
 - F_{rr} là lực cản lăn (N)
 - F_{ac} là lực quán tính (N)
 - F_{hc} là lực cản khi xe leo dốc (N)
 - F_{ad} là lực cản khí động học của xe (N)
- Lực cản lăn: Lực cản lăn tạo ra do ma sát của lốp xe khi tiếp xúc với bề mặt đường trong quá trình lăn bánh. Lực cản lăn được xác định bởi công thức sau:

$$F_{rr} = \varphi_{rr} \cdot mg \cdot \cos(\theta) \quad (N) \quad (2.2)$$

Trong đó:

- φ_{rr} : Hệ số cản lăn chạy trên đường bê tông nhựa và bê tông xi măng
 - θ : Độ dốc mặt đường trong khu đô thị, thành phố ta chọn góc nghiêng 10°
 - m : Khối lượng tổng của xe (kg)
 - g : Gia tốc trọng trường (9.81 m/s^2)
- Lực cản khí động học:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2 \quad (N) \quad (2.3)$$

Trong đó:

- ρ : Mật độ không khí ở nhiệt độ 25°C và áp suất $0,103 \text{ MPa}$ (1.25 kg/m^3)
- A : Diện tích bề mặt phía trước của xe (m^2)
- C_d : Hệ số cản khí động học (Ns^2/m^4) (được xác định theo kinh nghiệm như trong bảng 2.3 [26]).
- v : Vận tốc của xe (m/s)

Bảng 2.3 Hệ số cản khí động ở các loại xe

Loại xe		Hệ số cản C_d (Ns^2/m^4)
Xe du lịch	Loại thường	0,35 – 0,5
	Loại đuôi xe cao	0,3 – 0,45
	Loại mui trần	0,5 – 0,65
Xe tải		0,6 – 0,85
Xe khách		0,5 – 0,7

- Lực cản dốc: $F_{hc} = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$ (N) (2.4)
- Lực quán tính (F_{ac}): Khi ô tô chuyển động không ổn định, lực quán tính của các khối lượng chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay xuất hiện.

$$F_{ac} = F'_{ac} + F''_{ac} \quad (2.5)$$

+ Lực quán tính do gia tốc các khối lượng chuyển động tịnh tiến của ô tô, kí hiệu là (F'_{ac}) và được xác định theo công thức:

$$F'_{ac} = \frac{m}{g} \cdot j \quad (2.6)$$

Với: $j = \frac{dv}{dt}$ là gia tốc tịnh tiến của ô tô.

+ Lực quán tính (F''_{ac}) xuất hiện do gia tốc các khối lượng chuyển động quay của ô tô. Nhưng do đại lượng này nhỏ, ít ảnh hưởng đến kết quả nên trong tính toán chúng ta có thể bỏ qua.

Tham khảo tài liệu thông số từ nhà sản xuất và tham khảo các chu trình lái xe độ thị (FTP-75, NEDC,..), ta có xe chạy với tốc độ trung bình không đổi chuyển động trên đường bằng đô thị thành phố với a là gia tốc của xe [31].

$$\text{Ta có} \quad F_{ac} = m \cdot a \quad (\text{N}) \quad (2.7)$$

- Ta xét hai trường hợp: Lực kéo cần thiết với trường hợp ô tô lên dốc với vận tốc nhỏ, đều và trường hợp lên dốc với tốc độ tối đa.

$$F_{t1} = F_{rr} + F_{ad} \quad (2.8)$$

$$F_{t2} = F_{rr} + F_{hc} \quad (2.9)$$

Với: F_{t1} là lực kéo cần thiết với trường hợp ô tô đi với tốc độ tối đa.

F_{t2} là lực kéo cần thiết với trường hợp ô tô lên dốc với vận tốc nhỏ và đều.

➤ Ta chọn trường hợp xe chạy ở tốc độ trung bình ở đô thị để xác định cân bằng công suất cho động cơ. Khi đó xe sử dụng hết công suất của động cơ điện.

Công suất cần của xe (P_c):

$$P_c = F_t \cdot v \text{ (kw)} \quad (2.10)$$

Công suất cần thiết của động cơ (P_{ct}) phải cân bằng với công suất cần của xe trong trường hợp này:

$$P_{ct} = \frac{P_c}{\eta_g \cdot \eta_e} \text{ (kw)} \quad (2.11)$$

Trong đó $\eta_e = 0,96$ là hiệu suất của động cơ điện, còn $\eta_g = 0,96$ là hiệu suất của hệ thống truyền lực.

Do ô tô chạy trong đường đô thị, đường bằng ta chọn hệ số an toàn (K_{at}) là 1,0

- Vì thế công suất động cơ (P_{dc}) được chọn là: $P_{dc} = P_{ct} \cdot 1 \text{ (Kw)}$ 2.12)
- Tính tốc độ cực đại của động cơ (n_{max}) khi xe chạy ở tốc độ tối đa:

$$n_{max} = 9,55 \cdot \frac{v_{max}}{r} \cdot i_t \quad (2.13)$$

Trong đó: n_{max} : số vòng quay cực đại của động cơ

Kết quả tính toán các thông số gồm: lực cản lăn, lực quán tính, lực cản dốc, lực cản khí động học, công suất kéo của xe, công suất cần thiết và tốc độ quay của động cơ như trong bảng 2.4 dưới đây.

Bảng 2.4 Bảng kết quả tính toán từ Excel các thông số động lực kéo

Tính toán	Giá trị
Lực cản lăn (F_{tr})	426,62 (N)
Lực quán tính (F_{ac})	2435,81 (N)
Lực cản dốc (F_{hc})	6294,7 (N)
Lực cản khí động học (F_{ad})	765,11 (N)
Tổng lực kéo của xe (F_t)	9922,26 (N)
Công suất kéo của xe (P_c)	137,92 (kW)
Công suất cần thiết của xe (P_{ct})	149,6 (kW)
Tốc độ cực đại của động cơ (n_{max})	2950 (vòng/phút)

Như vậy ta cần chọn động cơ điện thỏa mãn: $P_{dm} \geq P_{dc} = 149,6 \text{ (kw)}$

$$n_{dm} \geq n_{max} = 2950 \text{ (vòng/phút)}$$

2.2.2. Chọn động cơ điện cho xe thiết kế

Trong hệ thống truyền động của xe điện, động cơ điện có nhiệm vụ cung cấp động lực cho cơ cấu truyền động. Tùy theo điều kiện vận hành và đặc điểm của mỗi loại hệ thống truyền động sẽ có các yêu cầu đặt ra cho mỗi loại động cơ điện khác nhau. Để hệ thống truyền động điện trên ô tô điện làm việc được tốt, có hiệu suất và tính ổn định cao thì giữa động cơ điện và cơ cấu truyền động phải đảm bảo có một sự phù hợp tương ứng nhất định. Chính vì vậy, việc chọn lựa động cơ để đáp ứng tốt các yêu cầu của cơ cấu dẫn động có ý nghĩa hết sức to lớn không chỉ về mặt kỹ thuật và còn về mặt kinh tế. Do vậy muốn phân tích để lựa chọn được một động cơ điện hợp lý phải xem xét dựa trên các đặc điểm về mặt kinh tế và kỹ thuật để có được một động cơ điện phù hợp nhất, vận hành tốt trong điều kiện kinh tế, hạ tầng và môi trường của nước ta.

Trong quá trình lựa chọn động cơ cho xe buýt điện cỡ nhỏ, việc đầu tiên là xác định loại động cơ phù hợp với yêu cầu thiết kế và đặc tính vận hành của phương tiện. Cần xem xét các dạng động cơ điện khác nhau như động cơ một chiều (DC) hoặc xoay chiều (AC), động cơ đồng bộ hay không đồng bộ, và kiểu kích từ – độc lập hoặc nối tiếp – để lựa chọn cấu hình tối ưu. Trên cơ sở các thông số kỹ thuật đã được tính toán ở phần trước, đặc biệt là mô men xoắn và công suất định mức cần thiết, động cơ phải được chọn sao cho đảm bảo khả năng đáp ứng yêu cầu về lực kéo, tốc độ và hiệu suất năng lượng. Bên cạnh đó, việc lựa chọn cần dựa trên các yếu tố thực tế như không gian lắp đặt, kết cấu khung sườn, hệ truyền động và khả năng bố trí hệ thống điện. Dựa vào cấu trúc khung gầm và kích thước của xe mini buýt Kim Long X9 nguyên bản, có thể lựa chọn loại động cơ điện có thông số phù hợp, đáp ứng yêu cầu vận hành, độ tin cậy và tính ổn định của hệ thống truyền động trong điều kiện giao thông đô thị. Ta có thể tham khảo lựa chọn động cơ điện Danfoss mã động cơ EM-PMI375-T500-2300 đáp ứng được các tiêu chí trên. Là một dòng động cơ điện đồng bộ một chiều không chổi than (BLDC) có dải công suất từ 80 kW đến 150 kW, hiệu suất cao, được thiết kế chuyên biệt cho các ứng dụng trong xe thương mại ô tô điện, xe buýt, xe tải và hệ truyền động công nghiệp được nhiều hãng ô tô tin dùng. Tham khảo catalogue của hãng để lấy thông số kỹ thuật của động cơ điện như trong bảng 2.5 [20].

Bảng 2.5 Thông số của động cơ điện danfoss cho model EM-PMI375-T500-2300

Thông số	Giá trị
Loại động cơ	EM-PMI375-T500-2300(BLDC- Đồng cơ đồng bộ không chổi than)
Khối lượng động cơ	172 (Kg)
Vật liệu	Nhôm
Kích thước (dài x đường kính)	368 mm x 450 mm
Công suất định mức (P_s)	80 (kW)
Công suất cực đại ($P_{s,max}$)	150 (kW)
Mô-men xoắn định mức (τ_s)	497 (Nm)
Mô-men xoắn cực đại ($\tau_{s,max}$)	1170 (Nm)
Tốc độ quay định mức (ω_s)	2300 (rpm)
Tốc độ quay tối đa ($\omega_{s,max}$)	4000 (rpm)
Điện áp định mức (U)	500 (V) (giữa các dây)
Dòng điện định mức (I)	200 (A)
Hiệu suất định mức	96%
Mô men quán tính (J)	0,46 (kg.m ²)
Điện trở stato (R_s)	0,03 (Ω)
Độ tự cảm trục d (L_d)	0,6e-3 (H)
Độ tự cảm trục q (L_q)	0,6e-3 (H)
Từ thông nam châm vĩnh cửu (λ_{pm})	0,15 (Wb)
Số cặp cực	4
Hệ số ma sát (B)	0,001 (N.m.s)



Hình 2.8 Hình ảnh động cơ điện Danfoss cho model EM-PMI375-T500-2300

Cấu tạo cơ bản của động cơ điện:

- Rotor: Được hình thành từ nam châm vĩnh cửu. Số cặp cực khoảng 2 đến 8 với các cực nam và bắc xếp xen kẽ với nhau.
- Stator: Stator của BLDC hầu như cũng giống như các động cơ cảm ứng khác, gồm các lá thép cùng các cuộn dây quấn xung quanh.
- Cảm biến Hall: Dùng xác định đúng vị trí quay của rotor từ đó đưa ra các tín hiệu ở mức cao hoặc thấp đến bộ phận chuyển mạch điện tử.
- Bộ phận chuyển mạch điện tử: Xác định vị trí của rotor thông qua tín hiệu từ cảm biến Hall và sau đó xác định các cặp cuộn dây trong stator mà cần được kích hoạt để tạo ra một trường từ đúng phù hợp với vị trí hiện tại của rotor. Bằng cách kích hoạt và tắt các transistor tương ứng, bộ chuyển mạch điện tử điều khiển dòng điện trong cuộn dây theo một thứ tự xác định, tạo ra một trường từ quay đi theo hướng mong muốn và tác động lên rotor để tạo ra lực quay.

Động cơ điện được chia làm hai phần là phần điện và phần cơ [21].

❖ Phần điện của động cơ điện BLDC đồng bộ một chiều không chổi than được mô hình hóa theo các phương trình dưới đây:

$$V_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_e L_q i_q \quad (2.14)$$

$$V_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega_e L_d i_d + \omega_e L_d i_d + \omega_e \lambda_{pm} \quad (2.15)$$

$$P_{EM} = \frac{3}{2} (V_d i_d + V_q i_q) \quad (2.16)$$

Trong đó:

- V_d : Điện áp trục d (V)
- V_q : Điện áp trục q (V)
- i_d : Dòng điện trục d (A)

- i_q : Dòng điện trục q (A)
- R_s : Điện trở pha của stato (Ω)
- L_d : Điện cảm trục d (H)
- L_q : Điện cảm trục q (H)
- λ_{pm} : Liên kết từ thông của nam châm vĩnh cửu (Wb)
- ω_e : Tần số góc của stato (rad/s)
- P_{EM} : Công suất điện đầu vào của động cơ (W)

❖ Phần cơ khí của động cơ điện BLDC đồng bộ một chiều không chổi than được mô hình hóa theo các phương trình dưới đây:

$$\tau_e = J_s \frac{d\omega_s}{dt} + \beta_v \omega_s + \tau_c \quad (2.17)$$

$$P_s = \tau_s \omega_s. \quad (2.18)$$

Trong đó:

- J_s : Mô men quán tính của trục (kg.m^2)
- τ_e : Mô men động cơ (Nm)
- τ_c : Mô men Coulomb (Nm)
- β_v : Hệ số ma sát nhớt (Nms/rad)

Sự liên kết giữa phần điện và phần cơ của động cơ điện BLDC đồng bộ một chiều không chổi than được mô hình hóa qua công thức sau:

$$\tau_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} (\lambda_{pm} i_q + (L_d - L_q) i_d i_q) \quad (2.19)$$

$$\omega_e = \frac{P}{2} \omega_s \quad (2.20)$$

Trong đó:

p : là số cặp cực

Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện được giả định là $\emptyset EM, nom = 0,55 \text{ (rad)}$ tương ứng với hệ số công suất $\cos(\emptyset EM, nom) = 0,85$ [21]. Tốc độ góc trục tại các điểm (công suất cực đại, mô-men xoắn cực đại), (công suất cực đại, mô-men xoắn liên tục) do đó tốc độ quay tối đa là:

$$\omega_s = \frac{n_s}{60} \cdot 2\pi = 240,8 \text{ (rad/s)} \quad (2.21)$$

$$\omega_{slt} = \frac{P_{s,max}}{\tau_s} = 301,8 \text{ (rad/s)} \quad (2.22)$$

$$\omega_{smax} = \frac{n_{smax}}{60} \cdot 2\pi = 418,8 \text{ (rad/s)} \quad (2.23)$$

Trong đó:

ω_s : Tốc độ góc định mức

ω_{slt} : Tốc độ góc lúc công suất cực đại và mô men xoắn liên tục

ω_{smax} : Tốc độ góc tối đa

n_s : Số vòng quay trục động cơ định mức

$P_{s,max}$: Công suất cực đại động cơ

τ_s : Mô men xoắn định mức

τ_{smax} : Mô men xoắn cực đại

n_{smax} : Số vòng quay trục động cơ cực đại

Mối quan hệ giữa mô men xoắn liên tục và cực đại được xác định như sau:

$$a_{EM} = \frac{\tau_{smax}}{\tau_s} = 2,4 \quad (2.24)$$

Động cơ sẽ được thiết kế ở tốc độ danh nghĩa ω_{slt} , công suất cực đại P_{max} với điện áp tối thiểu V_{min} . Tốc độ gần như tỷ lệ thuận với điện áp đầu cuối. Ở điện áp tối thiểu, động cơ có thể chạy ở tốc độ tối đa với chỉ số điều chế $m_i=1$. Vì động cơ được thiết kế ở tốc độ danh nghĩa, nhưng ở điện áp pin tối thiểu, chỉ số điều chỉnh là:

$$m_i = \frac{\omega_s}{\omega_{smax}} = 0,574 \quad (2.25)$$

Do đó điện áp của động cơ điện là:

$$\hat{V}_p = m_i \frac{V_{Bat,min}}{2} \quad (2.26)$$

$$V_d = -\hat{V}_p \sin(\phi_{EM,nom}) \quad (2.27)$$

$$V_q = \hat{V}_p \cos(\phi_{EM,nom}) \quad (2.28)$$

Với:

$\hat{V}_p$: Biên độ điện áp pha danh định của máy điện

$V_{Bat,min}$: Điện áp pin tối thiểu

V_d, V_q : Các thành phần điện áp trong hệ trục d,q (hệ tọa độ quay) của máy điện tại điều kiện danh định.

$\phi_{EM,nom}$: Góc điện từ danh định là góc giữa vector điện áp và dòng điện (hoặc từ thông), dùng trong điều khiển vector.

Có thể áp dụng một số thuộc tính điều khiển của động cơ BLDC đồng bộ một chiều không chổi than. Do triển khai đơn giản nên thuộc tính $I_d=0$ được chọn mặc dù sau đó

không thể sử dụng được mức độ cường ép. Do đó, khi sử dụng điều khiển $I_d=0$, các tham số máy có thể được tính như sau [21]:

$$P_{EM,max} = \frac{P_{s,max}}{\eta_{EM,a}} \quad (2.29)$$

$$I_{q,cont} = \frac{2}{3} \frac{P_{EM,max}}{V_q} \quad (2.30)$$

$$\lambda_{pm} = \frac{2}{3} \frac{2}{p} \cdot \frac{\tau_e}{I_q} \quad (2.31)$$

$$\omega_e = \omega_{slt} \cdot \frac{P}{2} \quad (2.32)$$

$$L_q = -\frac{V_d}{\omega_e i_q} \quad (2.33)$$

$$R_s = \frac{V_q - \omega_e \lambda_{pm}}{I_q} \quad (2.34)$$

Trong đó:

$P_{EM,max}$: Công suất điện từ cực đại của động cơ điện BLDC

$P_{s,max}$: Công suất cực đại động cơ

$\eta_{EM,a}$: Hiệu suất trung bình của máy điện

$I_{q,cont}$: Thành phần dòng điện trục q liên tục— tham gia sinh mô-men xoắn.

V_q : Điện áp trục q tại điều kiện danh định

λ_{pm} : Liên kết từ thông của nam châm vĩnh cửu (Wb)

i_q : Dòng điện trục q (A)

R_s : Điện trở cuộn dây của stato (Ω)

τ_e : Mô men xoắn điện từ liên tục

L_q : Độ tự cảm trục q

ω_e : Tốc độ góc điện định mức

2.2.3. Tính toán xác định tỉ số truyền và lựa chọn hộp giảm tốc cho xe

Tham khảo thông số kỹ thuật của xe Kim Long X9 từ hãng ta có thông số chi tiết lốp xe là 215/75R16C nên ta có bán kính bánh xe $r = 0,36$ m, vận tốc cực đại $V = 100$ km/h [17].

Tỉ số truyền được tính theo công thức:

$$i_t = \frac{\omega_e}{\omega_{bx}} = \frac{n_e}{n_{bx}} \quad (2.35)$$

Trong đó:

i_t : là tỉ số truyền

ω_e, n_e : là vận tốc góc và số vòng quay tại công suất cực đại của động cơ điện

ω_{bx}, n_{bx} : là vận tốc góc và số vòng quay cần thiết lớn nhất của bánh xe.

$$n_{bx} = \frac{30 \cdot v_{max}}{\pi \cdot r} = 737,42 \text{ (vòng/phút)} \quad (2.36)$$

$$\Rightarrow i_t = \frac{n_e}{n_{bx}} = \frac{4000}{737,42} = 5,42$$

Ta có tốc độ tối đa của động cơ điện đã tính toán lựa chọn ở bảng trên là $n_e=4000$ (vòng/Phút) với hệ số dự phòng hoặc hệ số trượt tải của bộ vi sai là $n_{tr} = 1,1$ (thường 5–10%) [19]. do đó tỉ số truyền cần thiết của bộ vi sai là:

$$G_{\text{vi sai}} = \frac{n_e}{v_{max}} \cdot \frac{2\pi \cdot r}{60 \cdot n_{tr}} = 5 \quad (2.37)$$

Trong đó:

n_{tr} : hệ số dự phòng hoặc hệ số trượt tải của bộ vi sai

$G_{\text{vi sai}}$: Tỉ số truyền của bộ vi sai

Tham khảo công thức tính tỉ số truyền hệ thống ta có [27]:

$$i_t = i_{hs} \cdot G_{\text{vi sai}} \quad (2.38)$$

Với: i_{hs} là tỉ số truyền các cấp số

Từ những tính toán tỷ số truyền trên ta cần chọn hộp giảm tốc để giảm tốc độ quay cao của động cơ để: Tăng mô men xoắn tại bánh xe, phù hợp với giới hạn tốc độ và khả năng truyền lực của hệ truyền động, đảm bảo hiệu suất và độ bền. Ta có thể chọn hộp giảm tốc đơn cấp ZF e.Gearbox 1-speed của hãng ZF Friedrichshafen AG (Đức), thiết kế một cấp dễ tích hợp, khối lượng nhẹ, hiệu suất cao, làm mát tốt. Thông số hộp giảm tốc được thể hiện ở bảng 2.6 [34].

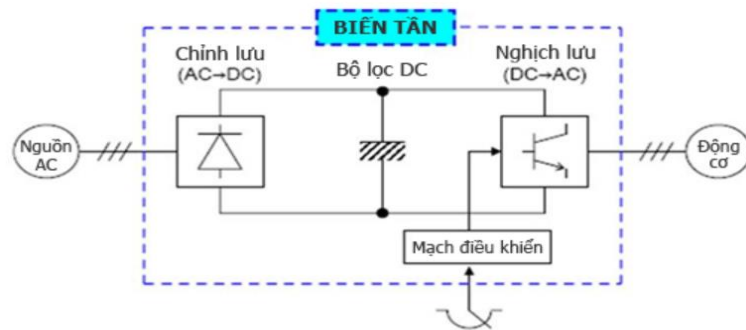
Bảng 2.6 Thông số hộp giảm tốc đơn cấp ZF e.Gearbox 1-speed

Thông số	Giá trị
Công suất	150 kW
Mô men xoắn tối đa	1500 Nm
Tỷ số truyền	Từ 4,0 - 5,5:1

2.2.4. Lựa chọn bộ điều khiển động cơ

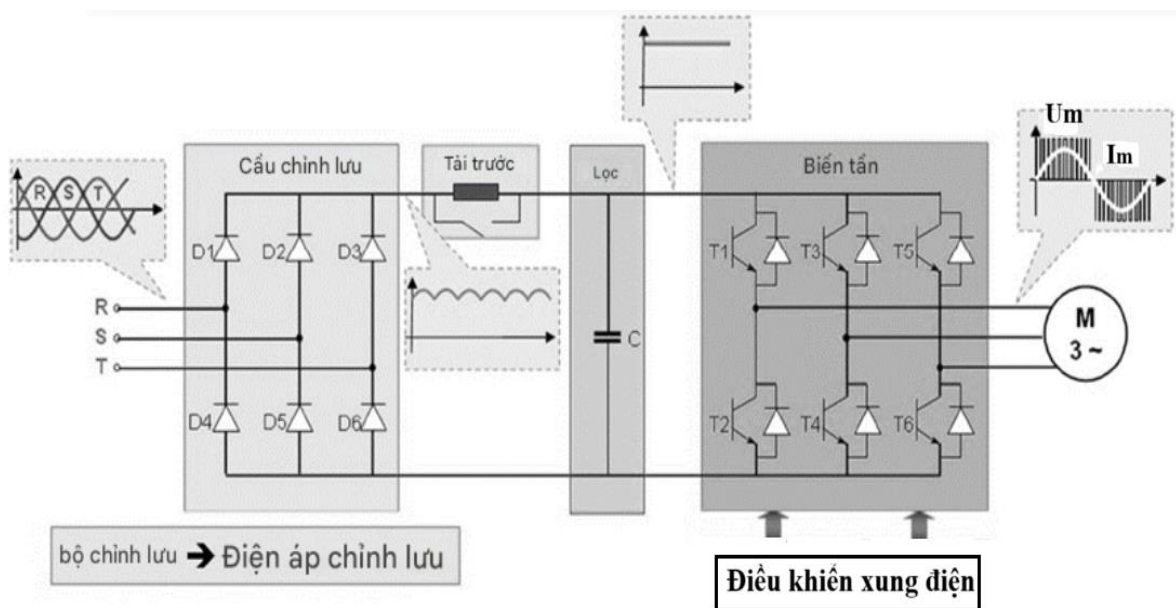
a. Cấu tạo bộ điều khiển động cơ

Các bộ điều khiển biến tần điện tử ngày nay được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, nhằm mục đích: Điều khiển dòng điện khởi động, thời gian tăng tốc và giảm tốc, thay đổi tốc độ khi có tải, giới hạn dòng điện, bảo vệ động cơ và bộ biến tần với các tính năng điều khiển cho các ứng dụng thực tế. Sơ đồ cấu trúc cơ bản của biến tần được mô tả trên hình 2.9.

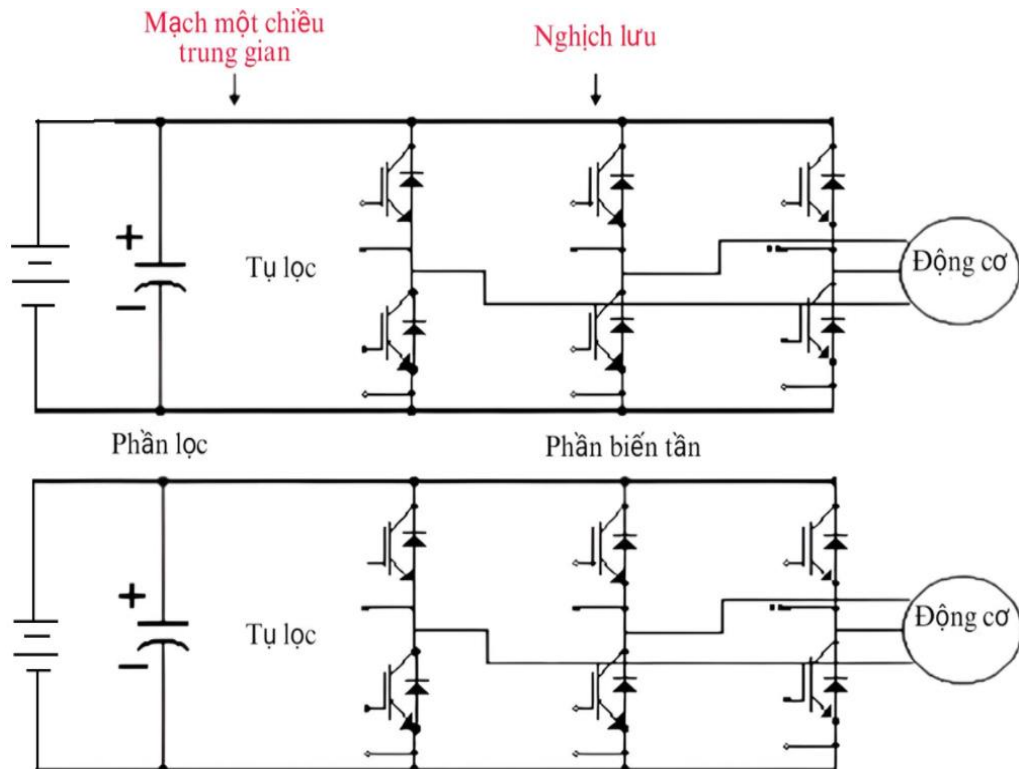


Hình 2.9 Sơ đồ cấu trúc cơ bản của biến tần

Trên sơ đồ hình 2.9 bộ biến tần bao gồm 03 khâu cơ bản: Bộ chỉnh lưu có tác dụng điều chỉnh dòng xoay chiều sang một chiều, bộ lọc có chức năng loại bỏ các thành phần nhiễu, làm sạch dòng điện, giúp cho hệ thống hoạt động trơn tru hơn và bộ nghịch lưu có tác dụng nghịch lưu dòng một chiều thành dòng xoay chiều 3 pha cấp cho động cơ tại tần số xác định bằng mạch điều khiển. Cấu trúc phần động lực cơ bản của biến tần như trên hình 2.10 [23] và mạch công suất cơ bản được biểu diễn trên hình 2.11 [23].



Hình 2.10 Sơ đồ cấu trúc phần động lực



Hình 2.11 Sơ đồ mạch công suất cơ bản

- Mạch chỉnh lưu trong biến tần có thể dùng mạch chỉnh lưu diode hoặc chỉnh lưu có điều khiển SCR. Nếu dùng mạch chỉnh lưu diode thì khi cấp điện cho biến tần, dòng điện ban đầu đi qua bộ chỉnh lưu để nạp cho tụ trên DC bus sẽ rất lớn, khi đó phải mắc thêm điện trở vào DC bus để giảm dòng điện sau thời gian nạp của tụ nối tắt điện trở đưa mạch về trạng thái làm việc hoặc cũng có thể dùng cuộn kháng.

- Mạch nghịch lưu trong biến tần dùng biến đổi điện áp một chiều sau chỉnh lưu thành điện áp xoay chiều 3 pha đối xứng. Công đoạn này hiện nay được thực hiện thông qua hệ IGBT (transistor lưỡng cực có công cách ly) hoặc SCR... bằng phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM).

Hệ thống điện áp xoay chiều 3 pha ở đầu ra có thể thay đổi giá trị biên độ và tần số vô cấp tùy theo yêu cầu phụ tải mà chúng ta tác động đến bộ điều khiển. Theo lý thuyết, giữa tần số và điện áp có một quy luật nhất định tùy theo chế độ điều khiển. Đối với tải có mô men không đổi, tỉ số điện áp - tần số là không đổi. Tuy vậy với tải bơm và quạt, quy luật này lại là hàm bậc 4. Điện áp là hàm bậc 4 của tần số. Điều này tạo ra đặc tính mô men là hàm bậc hai của tốc độ phù hợp với yêu cầu của tải bơm/quạt do bản thân mô men cũng lại là hàm bậc hai của điện áp.

b. Lựa chọn bộ điều khiển động cơ

Bộ biến tần đóng vai trò quan trọng trong hệ thống truyền động của xe buýt điện cỡ nhỏ, có chức năng biến đổi nguồn điện một chiều từ bộ pin thành điện xoay chiều ba pha để điều khiển động cơ điện, điều khiển tốc độ và mô-men của động cơ. Trong hệ thống này, động cơ điện được sử dụng là loại động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (BLDC) mã động cơ là EM-PMI375-T500-2300 của Danfoss, do đó bộ biến tần cần lựa chọn phải đảm bảo tương thích hoàn toàn với đặc tính điện và cơ của loại động cơ này. Để điều khiển chính xác loại động cơ này, biến tần được lựa chọn là Siemens SINAMICS S120 Power Module PM240, mã 6SL3120-2TE21-0AA4. Việc lựa chọn đúng bộ biến tần không chỉ đảm bảo sự tương thích và ổn định của hệ thống truyền động, mà còn giúp tối ưu hóa hiệu suất năng lượng, kéo dài tuổi thọ thiết bị và giảm thiểu chi phí bảo trì. Đây là yếu tố then chốt để nâng cao chất lượng vận hành của xe buýt điện cỡ nhỏ trong điều kiện khai thác thực tế tại đô thị. Căn cứ theo cataloge của hãng, thông số của biến tần SIEMEN SINAMICS S120 như trong bảng 2.7 [22].

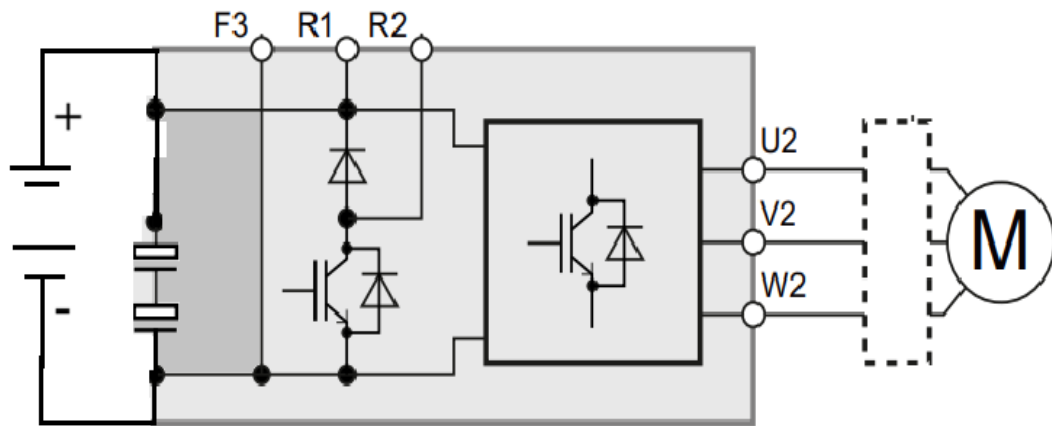
Bảng 2.7 Thông số bộ biến tần SIEMEN SINAMICS S120

Thông số	Giá trị
Mã sản phẩm	6SL3120-2TE21-0AA4
Loại động cơ có hỗ trợ	Động cơ đồng bộ
Dòng biến tần	SINAMICS S120 – Power Module PM240
Điện áp đầu vào	550 DC
Điện áp đầu ra tối đa	3 pha 550 VAC
Dòng điện đầu ra định mức	250 A
Công suất định mức	160 Kw
Tần số chuyển mạch	4, 8, 12, 16 kHz
Tần số đầu ra	0 – 550 Hz
Giao tiếp	FOC, PROFIBUS, PROFINET, CANopen (tùy chọn)
Cấp bảo vệ	IP20 / UL Type Open

Dựa vào đặc tính kỹ thuật của động cơ điện đã lựa chọn tính toán trên làm cơ sở để lựa chọn các yêu cầu cơ bản đối với bộ biến tần như sau:

- Điện áp đầu ra: Bộ biến tần cần có khả năng làm việc với mức điện áp đầu ra tương thích với hệ thống điện áp một chiều 550 VDC, nhằm đảm bảo hoạt động ổn định và hiệu suất tối ưu của động cơ điện công suất lớn.
- Dòng điện đầu ra liên tục: ≥ 200 A để đáp ứng dòng định mức của động cơ.
- Công suất đầu ra: ≥ 150 kW để đảm bảo hoạt động cả ở chế độ công suất cực đại.
- Khả năng điều khiển động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (BLDC): Bộ biến tần cần hỗ trợ điều khiển tần số, điện áp, điều khiển từ thông.
- Tần số chuyển mạch: ≥ 4 kHz, đảm bảo điều khiển mượt và giảm nhiễu.
- Chuẩn bảo vệ: IP67 để đảm bảo độ bền và khả năng làm việc trong điều kiện môi trường khắc nghiệt.
- Giao tiếp: Hỗ trợ CAN bus để tích hợp với hệ thống điều khiển trung tâm và bộ quản lý pin (BMS).

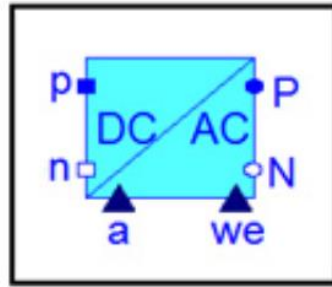
Sơ đồ khối cho bộ biến tần Siemen như trên hình 2.12 [22].



Hình 2.12 Sơ đồ khối cho bộ biến tần Siemen

Mô hình biến tần được phát triển bằng cách sử dụng mã tính toán, về cơ bản thực hiện chuyển đổi dòng điện một chiều thành dòng điện xoay chiều dựa trên sự cân bằng giữa công suất đầu vào, lấy từ pin, và công suất đầu ra, được cung cấp cho động cơ. Như có thể thấy trong hình 2.13, mô hình bao gồm hai chân đầu vào (p, n), hai chân đầu ra (P, N) và hai đầu nối (a, we). Các chân n và N được nối với đất; các chân p và P chịu trách nhiệm kết nối với pin và động cơ điện. Đầu nối đầu tiên a biểu thị tín hiệu đầu vào

điều khiển được sử dụng để điều chỉnh biên độ của điện áp ba pha và đầu nối thứ hai we là tần số góc điện của động cơ. Mô hình biến tần như mô tả trong hình 2.13 [24].



Hình 2.13 Hình ảnh bên ngoài của mô hình biến tần

Khía cạnh tính toán quan trọng nhất đã được xem xét trong quá trình mô hình hóa bộ biến tần là đảm bảo sự cân bằng giữa công suất đầu vào và công suất đầu ra. Mỗi quan hệ này được đưa ra bởi:

$$P_i = \eta_u \cdot P_b \quad (2.39)$$

Với: P_i : Công suất điện đầu ra của biến tần (kW)

η_u : Hiệu suất nghịch đảo của biến tần

P_b : Công suất điện đầu vào của biến tần (kW)

Cả hai công suất điện P_b và P_i đều được tính bằng tích giữa điện áp v và dòng điện i ở đầu vào và ở đầu ra của bộ biến tần, tương ứng:

$$P_b = (P \cdot v - n \cdot v) \cdot p \cdot i \quad (2.40)$$

Với: v : Điện áp đầu vào tại mỗi pha hoặc tại các điểm kết nối (V)

p : Chỉ số pha hoặc vector pha trong hệ tọa độ

P_b : Công suất điện đầu vào của biến tần (kW)

i : Dòng điện đầu vào (A)

$P \cdot v - n \cdot v$: Hiệu điện áp giữa các điểm đầu vào (một dạng điện áp tổn thất)

$$P_i = (P \cdot pin \cdot v - N \cdot pin \cdot v) \cdot P \cdot pin \cdot i \quad (2.41)$$

Với: v : Điện áp đầu vào tại mỗi pha hoặc tại các điểm kết nối (V)

p : Chỉ số pha hoặc vector pha trong hệ tọa độ

P_b : Công suất điện đầu vào của biến tần (kW)

i : Dòng điện đầu vào (A)

$P \cdot pin \cdot v$: Điện áp tại chân (pin) đầu ra P của bộ biến tần

$N \cdot pin \cdot v$: Điện áp tại chân đầu ra N (thường là điểm trung tính hoặc tham chiếu)

$P \cdot pin \cdot i$: Dòng điện tại chân đầu ra P

Điện áp đầu ra của bộ biến tần là điện áp hình sin ba pha lệch nhau $2\pi / 3$ [25].

Ví dụ, biểu thức của pha điện áp đầu ra được cho bởi phương trình sau:

$$P \cdot pin \cdot v - N \cdot pin \cdot v = V_{eff} \sin(\omega_e t) \quad (2.42)$$

Với: V_{eff} : Giá trị điện áp hiệu dụng đầu ra pha

ω_e : Tốc độ góc điện (rad/s), tính theo tần số đầu ra: $\omega_e = 2\pi f$

t: Thời gian (s)

Điện áp hiệu dụng V_{eff} được tính bằng cách khuếch đại điện áp pin V_b như sau:

$$V_{eff} = a \cdot \frac{V_b}{2} \quad (2.43)$$

Với: a : Hệ số điều chế (hệ số điều chế sin-PWM), thường $a \leq 1$

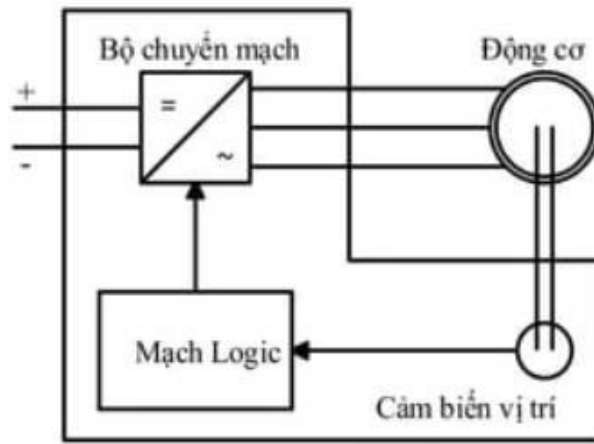
V_b : Điện áp của bộ nguồn DC (thường là điện áp pin/ắc quy)

c. Điều khiển tốc độ động cơ điện dùng biến tần

Để điều khiển chính xác động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu không chổi than (BLDC), trước hết cần xác định chính xác vị trí góc của rotor. Thông tin này thường được cung cấp bởi các cảm biến Hall hoặc cảm biến từ trường, đóng vai trò phản hồi cho bộ điều khiển điện tử. Dựa trên tín hiệu phản hồi vị trí rotor, bộ điều khiển xác định thứ tự đóng cắt của các cuộn dây trong stato. Trình tự kích hoạt này quyết định cách dòng điện được phân bố trong các pha, từ đó hình thành từ trường quay đồng bộ với vị trí rotor. Trong hệ thống điều khiển, các bộ chuyển mạch bán dẫn công suất như MOSFET hoặc IGBT được sử dụng để đóng ngắt dòng điện cấp cho các cuộn dây. Bộ điều khiển điện tử (Bộ điều khiển vi mạch điện tử (ECU) hoặc bộ nghịch lưu) sẽ phát ra các xung điều khiển theo đúng trình tự và thời điểm, tạo thành chuỗi đóng cắt nhanh chóng. Quá trình này đảm bảo sự tương tác đồng bộ giữa từ trường stato và từ trường nam châm vĩnh cửu trên rotor, qua đó sinh ra mô-men xoắn làm quay trục động cơ.

Ngoài ra, bằng cách thay đổi tần số đóng cắt và độ rộng xung PWM (Pulse Width Modulation), bộ điều khiển có thể điều chỉnh tốc độ quay và hướng quay của động cơ theo yêu cầu tải. Việc tối ưu chiến lược điều khiển này giúp động cơ đạt được khả năng phản hồi nhanh, hiệu suất cao và độ ổn định trong nhiều điều kiện vận hành khác nhau,

đặc biệt trong ứng dụng ô tô điện, nơi yêu cầu mô-men lớn khi khởi động và khả năng kiểm soát tốc độ chính xác khi tăng tốc/giảm tốc. Cấu trúc cơ bản của bộ điều khiển động cơ BLDC như trên hình 2.14 [23].

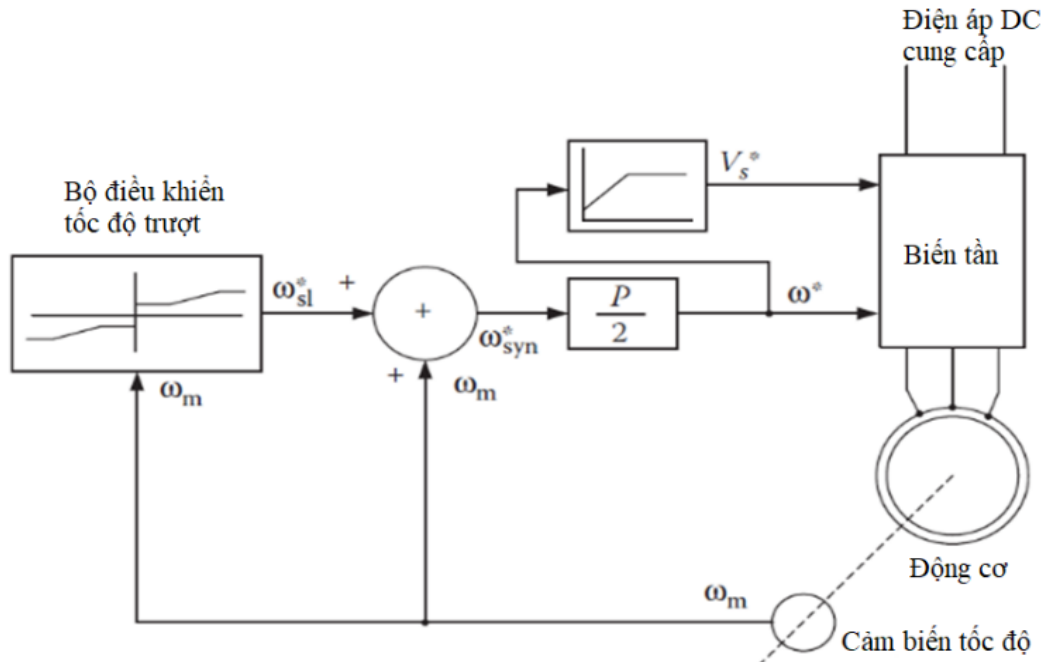


Hình 2.14 Cấu tạo bộ điều khiển động cơ BLDC

Như chúng ta biết cả động cơ điện cảm ứng và máy điện đồng bộ đều khá thích hợp để hoạt động với nguồn cung cấp tần số thay đổi. Điều khiển U/f của máy điện từ trường quay theo một cách nào đó tương tự như điều khiển động cơ DC bằng nguồn cung cấp điện áp, mặc dù đối với máy điện trường quay, đầu vào chính là tần số chứ không phải biên độ của điện áp. Để duy trì mức từ thông mong muốn, điện áp phải được điều chỉnh theo tỷ lệ với tần số (đối với tần số thấp hơn tần số định mức) hoặc cần phải được giới hạn (tức là vùng từ thông yếu đối với tần số cao hơn) do giới hạn cách điện và/hoặc điện áp khả dụng. Về nguyên tắc, điều khiển tốc độ U/f có thể áp dụng như nhau đối với động cơ đồng bộ cũng như động cơ cảm ứng. Vấn đề duy nhất là động cơ đồng bộ phải luôn đồng bộ (không bị trượt), nghĩa là tần số phải thay đổi đủ chậm để không vượt quá mô men kéo ra khi tăng tốc hoặc giảm tốc. Trước đây, điều khiển U/f không được sử dụng thường xuyên vì lý do đó. Tuy nhiên, ngày nay với kỹ thuật điều khiển phát triển, đã phát triển các phương pháp điều khiển phù hợp có thể điều khiển U/f của động cơ đồng bộ trở nên khả thi và thiết thực.

Trong các ứng dụng truyền động cho phương tiện vận tải, đặc biệt là xe điện, yêu cầu điều khiển tốc độ trong một dải rộng, và mô men yêu cầu ở dải tốc độ cao thường khá thấp. Do đó, hệ thống cần hoạt động vượt ra ngoài vùng công suất không đổi. Để giới hạn mô men không vượt quá giá trị cực đại cho phép, chế độ điều khiển sẽ duy trì

tốc độ trượt ở mức cố định, giúp dòng điện và công suất đầu ra của động cơ giảm dần – điều này được thể hiện trong, hình 2.15 trình bày sơ đồ khối tổng quát thực hiện điều khiển điện áp/tần số không đổi (U/f không đổi) [29].



Hình 2.15 Sơ đồ khối điều khiển tốc độ động cơ điện theo $U/f = \text{constant}$

Phương pháp điều khiển động cơ BLDC dựa trên việc đóng mở các MOSFET hoặc IGBT ở các nhánh mạch và tuân theo các nguyên tắc cơ bản sau:

- Trong cùng một nhánh điều khiển, nếu MOSFET hoặc IGBT phía trên đang ở trạng thái mở thì MOSFET hoặc IGBT phía dưới phải được ngắt và ngược lại, nhằm tránh hiện tượng trùng dẫn gây hỏng các linh kiện điều khiển.

- Tín hiệu điều khiển tại chân G là tín hiệu PWM phát ra từ bộ điều khiển và cần được đồng bộ với các linh kiện để điều khiển động cơ một cách chính xác.

Động cơ BLDC yêu cầu cảm biến hiệu ứng Hall để xác định vị trí từ trường của rotor so với các pha của cuộn dây stator.

Các phương pháp điều khiển động cơ BLDC:

- Phát hiện vị trí bằng cảm biến hoặc không cảm biến Hall: Vị trí của rotor được xác định thông qua cảm biến vị trí như cảm biến hiệu ứng Hall hoặc bằng các kỹ thuật không cần cảm biến như cảm biến phản lực và phương pháp dựa trên người quan sát.

- Điều khiển vòng kín: Sử dụng hệ thống điều khiển vòng kín để điều chỉnh tốc độ và vị trí của động cơ. Các thuật toán điều khiển phổ biến bao gồm bộ điều khiển tỷ lệ-

tích phân (PI) để điều khiển tốc độ và bộ điều khiển tỷ lệ-tích phân vị trí (PPI) để điều khiển vị trí.

- Cảm biến tải: Để kiểm soát tải, cần có cảm biến để nhận biết tải, như cảm biến tải trọng, bộ mã hóa, hoặc cảm biến dòng điện. Thông tin về tải sau đó được tích hợp vào hệ thống điều khiển.

- Kiểm soát dòng điện: Sử dụng vòng điều khiển dòng điện để quản lý dòng điện cung cấp cho cuộn dây động cơ, giúp kiểm soát mô-men xoắn và quản lý tải một cách hiệu quả.

- Kiểm soát tốc độ: Điều chỉnh điểm đặt tốc độ tham chiếu của hệ thống điều khiển dựa trên tốc độ mong muốn. Bộ điều khiển sẽ điều chỉnh điện áp hoặc dòng điện cung cấp cho động cơ để đạt và duy trì tốc độ mong muốn.

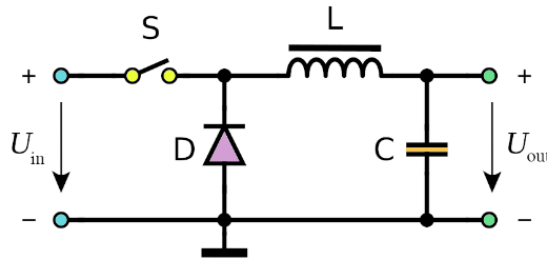
- Kiểm soát vị trí: Để đạt được điều khiển vị trí chính xác, sử dụng vòng điều khiển vị trí cùng với bộ mã hóa hoặc bộ phân giải để nhận phản hồi chính xác.

- Phản hồi và điều chỉnh: Liên tục theo dõi các tín hiệu phản hồi từ hệ thống (tốc độ, vị trí, dòng điện) và điều chỉnh các tham số điều khiển (như độ lợi PI) để tối ưu hóa hiệu suất và độ ổn định của hệ thống.

d. Bộ chuyển đổi DC-DC

Bộ chuyển đổi DC/DC là thiết bị được sử dụng để chuyển đổi nguồn dòng điện một chiều DC từ một cấp điện áp sang cấp điện áp khác. Đơn giản hơn, bộ chuyển đổi DC/DC lấy điện áp DC đầu vào và tạo ra điện áp DC đầu ra khác. Điện áp DC đầu ra có thể cao hơn hoặc thấp hơn so với điện áp DC đầu vào. Bộ chuyển đổi DC/DC chỉ hoạt động với nguồn dòng điện một chiều DC, không hoạt động với nguồn dòng điện thay đổi AC. Có hai bộ chuyển đổi phổ biến là bộ chuyển đổi buck và boost [23].

Bộ chuyển đổi Buck là bộ chuyển đổi DC/DC bước xuống, chuyển đổi nguồn DC/DC làm giảm điện áp đầu ra, đồng thời tăng dòng điện đầu ra. Nó gồm ít nhất bốn thành phần: Một bóng bán dẫn điện được sử dụng như một phần tử chuyển mạch (S), diode chỉnh lưu (D), một cuộn cảm (L) làm phần tử lưu trữ năng lượng một tụ lọc (C). Trong ứng dụng trên phương tiện giao thông điện, bộ chuyển đổi Buck thường được sử dụng để cung cấp nguồn điện ổn định cho các bộ điều khiển, cảm biến và hệ thống phụ trợ có điện áp thấp hơn so với điện áp của bộ pin chính. Sơ đồ mạch bộ chuyển đổi Buck như trên hình 2.16 [23].

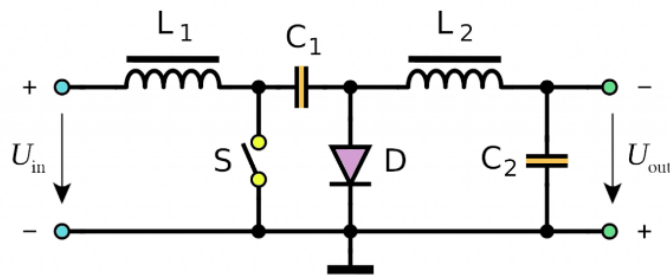


Hình 2.16 Sơ đồ mạch bộ chuyển đổi Buck

Trong các ứng dụng xe điện, bộ chuyển đổi buck được sử dụng để giảm điện áp cao của pin chính (ví dụ: 400 V) xuống các giá trị thấp hơn (12-14 V) theo yêu cầu của các hệ thống phụ trợ của xe (đ đa phương tiện, điều hướng, radio, sét, cảm biến, v.v.).

Bộ chuyển đổi Boost là bộ chuyển đổi DC/DC bước lên, là bộ chuyển đổi nguồn DC/DC giúp tăng điện áp đầu ra, đồng thời giảm dòng điện đầu ra. Nó chứa các thành phần giống như bộ chuyển đổi Buck DC/DC nhưng được sắp xếp cấu trúc liên kết khác. Sơ đồ mạch bộ chuyển đổi Boost như trên hình 2.17 [23].

Trong các hệ thống xe điện lai (HEV), bộ chuyển đổi DC/DC tăng áp được sử dụng để nâng điện áp từ ắc quy, ví dụ từ mức 202 V lên đến 500 V nhằm đáp ứng yêu cầu của động cơ điện. Điện áp của ắc quy bị giới hạn bởi số lượng cell mắc nối tiếp, trong khi số lượng cell lại bị hạn chế do ràng buộc về không gian và trọng lượng. Vì vậy, bộ DC/DC tăng áp đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao điện áp đầu ra, giúp hệ thống truyền động điện hoạt động ở mức công suất và hiệu suất tối ưu.



Hình 2.17 Sơ đồ mạch bộ chuyển đổi Boost

2.3. Tính toán, lựa chọn hệ thống pin cho hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ

2.3.1. Tổng quan pin điện áp cao cho xe điện

Việc phát triển hệ thống pin điện áp cao xuất phát từ nhu cầu lưu trữ năng lượng và cung cấp công suất phù hợp cho các ứng dụng cụ thể, đồng thời phải đáp ứng các giới hạn kỹ thuật của công nghệ hiện hành. Trong số các công nghệ lưu trữ điện năng

hiện có, pin lithium-ion được xem là giải pháp ưu việt nhất nhờ có mật độ năng lượng và công suất vượt trội so với các loại pin truyền thống như ắc quy chì-axit hoặc pin nickel-metal hydride. Một tế bào pin đơn lẻ chỉ hoạt động hiệu quả trong một khoảng điện áp nhất định, phụ thuộc vào bản chất hóa học của vật liệu điện cực và chất điện phân. Ngoài ra, khả năng chịu dòng điện của từng tế bào cũng bị giới hạn, khiến chúng không thể đáp ứng yêu cầu về công suất của các hệ thống công suất lớn. Do đó, để đạt được điện áp và công suất phù hợp cho các ứng dụng như xe điện, cần thiết phải cấu thành hệ thống pin điện áp cao bằng cách ghép nối nhiều tế bào pin đơn lẻ theo cấu trúc nối tiếp và song song.

Việc sử dụng điện áp cao trong bộ pin dựa trên định luật vật lý cơ bản:

$$P = U \cdot I \quad (2.44)$$

Trong đó:

P: Công suất điện (W)

U: Hiệu điện thế hay điện áp (V)

I: Cường độ dòng điện (A)

Như vậy, để cung cấp cùng một công suất, điện áp càng cao thì dòng điện càng thấp. Việc truyền tải dòng điện từ bộ pin đến bộ biến tần và động cơ điện phải qua vật liệu dẫn như đồng hoặc nhôm, gây ra tổn hao tính theo công thức:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \quad (2.45)$$

Trong đó:

ΔP : Mức tổn hao công suất trên đường dây dẫn điện (W)

R: Điện trở của dây dẫn (Ω)

Có thể thấy rõ rằng để giảm tổn hao năng lượng và tăng hiệu suất, cần giảm dòng điện (tức là tăng điện áp) và giảm điện trở (R) của hệ thống. Ngoài ra, dòng điện lớn cần cáp dẫn dày và nặng, vì vậy việc sử dụng điện áp cao giúp giảm trọng lượng, chi phí và tăng phạm vi hoạt động của xe điện. Trước khi thiết kế pin cho các loại xe điện, cần xem xét điều kiện sử dụng thực tế – tức là cách xe được vận hành, mối quan hệ giữa sạc và xả theo thời gian. Các điều kiện này khác nhau tùy vào khu vực, người lái, loại xe,... nên rất quan trọng trong việc lựa chọn loại xe điện phù hợp (EV, HEV, PHEV) và mức độ điện hóa. Lý tưởng nhất, điều kiện sử dụng được thể hiện qua chuỗi dữ liệu vận hành theo thời gian (thường là vận tốc mỗi giây). Dữ liệu này có thể thu thập từ xe thực tế

hoặc mô phỏng từ các chu trình lái xe tiêu chuẩn. Từ đó, ta xác định được các thông số như tốc độ, thời gian dừng, số lần khởi động/dừng,... giúp thiết kế pin phù hợp [30].

Ắc quy là thiết bị điện hóa chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng hóa học trong suốt quá trình nạp và ngược lại trong suốt quá trình phóng điện. Một thông số rất quan trọng của ắc quy là trạng thái sạc (SOC). Trạng thái sạc được định nghĩa như tỉ số của dung lượng điện đang duy trì với dung lượng điện khi nạp đầy. Với định nghĩa này thì một ắc quy nạp đầy có SOC là 100% và khi ắc quy hoàn toàn phóng hết điện thì có SOC bằng 0%. Sự thay đổi SOC trong một khoảng thời gian dt với dòng phóng hay dòng nạp I có thể được biểu diễn như sau:

$$\Delta_{SOC} = \frac{i\eta_{bat} dt}{3600Q_i} \quad (2.46)$$

Trong đó:

- Δ_{SOC} : Sự thay đổi của trạng thái sạc của pin trong khoảng thời gian
- $i\eta_{bat}$: Dòng điện nạp hoặc xả của pin (A)
- Q_i : dung lượng danh định của pin (Ah)
- dt : Khoảng thời gian lấy mẫu (s)

Trong đó Q_i là dung lượng pin Ah của bộ pin tại dòng điện i . Đối với trường hợp phóng thì i dương còn nạp thì i âm. Vì vậy, trạng thái sạc xả của ắc quy có thể được biểu diễn như sau:

$$SOC = SOC_0 - f \frac{i\eta_{bat} dt}{3600Q_i} \quad (2.47)$$

Trong đó:

- SOC_0 : là giá trị ban đầu của SOC.
- f : Hệ số hiệu chỉnh

Chu kỳ hoạt động là một yếu tố quan trọng phản ánh cách thức sử dụng của phương tiện, đặc biệt đối với các loại xe vận hành liên tục như xe buýt hay taxi. Chu kỳ này bao gồm nhiều thông số ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính làm việc của hệ thống lưu trữ năng lượng, chẳng hạn như tải trọng, địa hình vận hành, tình trạng sử dụng hệ thống điều hòa và các phụ tải khác. Những yếu tố này chi phối đáng kể đến yêu cầu công suất tức thời, mức tiêu thụ năng lượng tổng thể cũng như tốc độ suy giảm của bộ pin. Đặc biệt, việc duy trì công suất cao trong thời gian dài sẽ làm tăng tốc độ lão hóa và suy giảm dung lượng của pin. Trong quá trình thiết kế và phát triển hệ thống truyền động cho xe điện,

các nhà nghiên cứu và kỹ sư thường sử dụng các chu kỳ hoạt động tiêu chuẩn hóa (chu kỳ lái giả lập) nhằm đánh giá hiệu suất và độ bền của pin. Dù những chu kỳ này không thể phản ánh chính xác hoàn toàn điều kiện vận hành thực tế, nhưng chúng vẫn đại diện cho một mô hình đánh giá trung bình đáng tin cậy, giúp tạo ra cơ sở so sánh giữa các thiết kế pin khác nhau, cũng như tăng cường mối liên hệ giữa mô phỏng và thử nghiệm thực tế. Để nâng cao độ tin cậy và tính ổn định của hệ thống trong các điều kiện hoạt động khác nhau, việc áp dụng nhiều chu trình hoạt động đa dạng trong quá trình thiết kế và kiểm thử là rất cần thiết. Do mỗi tế bào pin lithium-ion chỉ cung cấp một điện áp danh định khoảng 3,7 V, nên để đạt được điện áp cao đáp ứng yêu cầu của hệ truyền động điện, các tế bào này phải được kết nối theo cấu hình nối tiếp. Trong trường hợp cần tăng dung lượng lưu trữ, có thể sử dụng cấu trúc kết nối song song. Một hệ thống pin điện áp cao tiêu chuẩn sử dụng trong xe điện thường có điện áp danh định khoảng 355 V, tương ứng với việc ghép nối nối tiếp 96 tế bào pin đơn.

2.3.2. Các thành phần của bộ pin điện áp cao

Thiết kế của bộ pin cao áp và các thành phần bên trong phụ thuộc nhiều vào yêu cầu của từng ứng dụng cụ thể. Các loại xe điện lai (HEV) và xe thuần điện (BEV) có yêu cầu khác nhau về công suất và dung lượng năng lượng. Khái niệm xe xác định kích thước và hình dạng (không gian thiết kế) cũng như các giao diện cơ học, điện và nhiệt của bộ pin. Ví dụ, xe điện dùng pin nhiên liệu (FCEV) cần pin có dung lượng thấp nhưng mật độ công suất cao để phục vụ gia tốc và thu hồi năng lượng. Trong khi đó, pin của xe thuần điện (BEV) có mật độ năng lượng cao và dung lượng pin lớn, nhưng lại có mật độ công suất thấp.

Trong các loại nguồn điện hiện nay thì pin lithium dần được dùng rộng rãi hơn so với acquy dùng hóa chất. Pin Lithium được nghiên cứu và phát triển nghiêm ngặt, nên khả năng chịu đựng môi trường cao hơn so với ắc quy chì. Nó có thể chống nước, bụi bẩn và chống va đập (tùy theo pin sở hữu thêm công nghệ nổi bật của mỗi hãng), dĩ nhiên khả năng chịu nhiệt độ trung bình từ -20 đến 45 độ C, thậm chí có loại đến 60 độ C. Mức độ an toàn của pin Lithium cao hơn, vì dù có xảy ra hiện tượng hư hỏng, nó không làm giải phóng chì và axit bên trong như loại bình ắc quy. Một cell Li-ion có điện áp khoảng 4 Volt. Hoàn toàn có thể tạo ra cell pin to hơn và có dung lượng lớn hơn (đo bằng Watt/giờ, hay nói cho đúng kỹ thuật hơn là Ah), nhưng điện áp của nó thì vẫn chỉ

có 4 Volt mà thôi. Đó không phải con số lý tưởng để điều khiển một chiếc xe điện.

Các thành phần chính của bộ pin bao gồm:

- Các mô-đun pin chứa các tế bào pin lithium-ion, thường được thiết kế với điện áp đầu ra dưới 60 V để đảm bảo an toàn khi thao tác vận hành, các mô-đun này được nối nối tiếp với nhau.

- Hệ thống quản lý pin (BMS) có nhiệm vụ giám sát các mô-đun pin. Vì pin lithium-ion không an toàn nếu vận hành ngoài dải cho phép, BMS sẽ giám sát điện áp tế bào, dòng điện, nhiệt độ, và có thể ngắt kết nối hệ thống pin khỏi xe để tránh hư hỏng hoặc tai nạn nguy hiểm như sạc quá mức hoặc xả sâu.

- Bộ công tắc chứa các công tắc ngắt pin, cùng với các thành phần như bộ giám sát cách điện và cảm biến dòng điện.

- Hệ thống làm mát đảm bảo pin hoạt động trong một dải nhiệt độ ổn định, tránh lão hóa do quá nóng hoặc mất hiệu suất khi nhiệt độ quá thấp.

- Toàn bộ các thành phần của bộ pin được bao bọc trong vỏ pin, được cố định chắc chắn để chịu được điều kiện khắc nghiệt trong suốt vòng đời xe. Vỏ này còn bao gồm các giao diện với xe, như giắc cắm điện áp cao, cổng giao tiếp dữ liệu và kết nối hệ thống làm mát để giải nhiệt cho hệ thống pin.

2.3.3. Tính toán lựa chọn bộ pin xe buýt điện cỡ nhỏ

Bộ pin đóng vai trò then chốt trong hệ thống truyền động của xe điện, không chỉ là nguồn cung cấp năng lượng duy nhất mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất, phạm vi hoạt động, thời gian sạc và tuổi thọ của toàn bộ phương tiện. Trong thực tiễn phát triển xe điện ngày nay, đã có nhiều loại công nghệ pin được nghiên cứu và ứng dụng, tiêu biểu có thể kể đến như: ắc quy axit-chì (Lead-acid), pin nickel-kim loại hydride (NiMH), và pin lithium-ion (Li-ion). Mỗi loại pin kể trên đều có những ưu điểm và hạn chế riêng. Ắc quy axit-chì có giá thành rẻ và công nghệ sản xuất đơn giản nhưng có trọng lượng nặng, mật độ năng lượng thấp và tuổi thọ ngắn. Pin NiMH cải thiện được một phần các hạn chế trên nhưng vẫn không thể so sánh với pin lithium-ion về mật độ năng lượng. Trong đó, pin lithium-ion nổi bật hơn cả nhờ sở hữu mật độ năng lượng cao, khả năng xả/sạc nhanh, hiệu suất sử dụng tốt và độ bền cao, trở thành sự lựa chọn hàng đầu trong hầu hết các dòng xe điện hiện nay trên thị trường toàn cầu. Chính vì những ưu điểm đó, trong phạm vi của đề tài này, mô hình hệ thống pin sẽ được tính toán xây dựng

dựa trên loại pin cell lithium-ion mã hiệu Panasonic NCR18650B [32]. Đây là một loại cell hình trụ kích thước nhỏ gọn nhưng có dung lượng cao, được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng yêu cầu hiệu suất cao và độ tin cậy lớn như xe điện, xe máy điện hoặc các hệ thống lưu trữ năng lượng. Các thông số kỹ thuật cơ bản của Cell pin Panasonic NCR18650B sẽ được trình bày chi tiết trong bảng 2.8 [32], bao gồm điện áp định mức, dung lượng định mức, hệ số xả (C-rate) và khối lượng. Những thông số này sẽ làm cơ sở cho việc tính toán thiết kế hệ thống pin điện áp cao phù hợp với yêu cầu công suất và phạm vi hoạt động của xe buýt điện cỡ nhỏ trong mô hình đề xuất.

Bảng 2.8 Thông số kỹ thuật Cell pin Panasonic NCR18650BD

Thông số	Giá trị
Model	NCR18650BD
Điện áp định mức (U_{cell})	3,6 (V)
Điện áp sạc tối đa (U_{max})	4,2 (V)
Dung lượng pin (Q_{cell})	3,4 (Ah)
Chiều dài (L_{bc})	0,0653 (m)
Đường kính (D_{bc})	0,0185 (m)
Trọng lượng (m_{bc})	0,046 (kg)

Công suất của một hệ thống pin bất kỳ phụ thuộc vào điện áp của hệ thống pin đó. Ta có công suất P được tính theo công thức: $P = UI$. Dựa vào công thức này, khi ta muốn điện áp nhỏ thì cần cường độ dòng điện lớn, do đó ta cần phải sử dụng dây dẫn lớn hơn, năng lượng dễ bị mất mát. Do vậy điện áp hệ thống pin cần phải cao. Điện áp danh định của hệ thống pin bằng với điện áp định mức cung cấp cho động cơ điện ta đã tính toán lựa chọn ở phần trên là $U = 540$ (V). Để tính toán được kích thước và số lượng pin cần sử dụng chúng ta cần phải có hai thông số chính là mức tiêu hao năng lượng trung bình và quãng đường mà xe đi được trong một lần sạc để lựa chọn pin cho xe điện.

Để tính được mức tiêu hao năng lượng trung bình ta phải đưa xe lên băng thử công suất và sử dụng các chu trình lái xe khác nhau để xác định mức tiêu hao năng lượng. Trong đề án này chưa có thực nghiệm thực tế trên cơ sở mô phỏng đánh giá nên ta có

thể sử dụng chu trình lái xe đô thị (FTP-75), chu trình lái FTP-75 là một loạt các bài kiểm tra do cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ để xác định mức khí thải và mức tiêu hao nhiên liệu của các loại xe xăng, xe Hybrid hay xe điện [31], khi so sánh các loại xe khác nhau về mức tiêu thụ năng lượng, người ta sử dụng một chu trình lái xe tiêu chuẩn. Chu trình lái xe thường được sử dụng là chu trình lái xe đô thị FTP-75 của Mỹ vì chu trình lái xe này bao gồm các lái xe trong thành phố với nhiều lần dừng và khởi động, mô phỏng nhiều lần dừng đèn đỏ, kẹt xe đô thị và kể cả lái xe trên đường cao tốc, đây được coi là một đại diện phù hợp cho môi trường lái xe thực tế. Các thông số của chu trình lái xe đô thị (FTP-75) như trong bảng 2.9 [31].

Bảng 2.9 Chu trình lái xe đô thị (FTP-75)

Thông số	FTP-75
Thời gian chu trình (s)	1874
Quảng đường (km)	17,8
Tốc độ trung bình có dừng (km/h)	34,1
Tốc độ tối đa (km/h)	91,2
Gia tốc dương cực đại (m/s^2)	1,46
Gia tốc dương trung bình (m/s^2)	0,35

Chu trình lái xe đô thị FTP-75 này có tốc độ tối đa là 91,2 km/h, tốc độ trung bình có dừng của xe là 34,1 km/h, thời gian của chu trình là 1874 giây và quãng đường đi được là 17,8 km. Đầu vào cho ứng dụng mô phỏng sẽ là chu trình lái xe FTP-75 được mô phỏng với khoảng 23 lần dừng xe, thời gian dừng trung bình khoảng 17 giây [31].

Trong phần tính toán để lựa chọn pin ta sẽ sử dụng các thông số tiêu chuẩn của chu trình lái xe đô thị (FTP-75) trên để có thể tính toán xác định mức tiêu hao năng lượng của xe. Từ những thông số trên ta có thể tính toán công suất tổng cần thiết để lựa chọn pin cho phù hợp hiệu quả, tối ưu tiết kiệm nhất theo chu trình lái đô thị, thành phố.

- Ta có tổng các lực cản của xe theo chu trình lái xe đô thị FTP-75 là:

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{ac} = 1911,66 \text{ (N)} \quad (2.48)$$

Trong đó:

+ F_{te} : Tổng các lực cản của xe (N)

- + F_{rr} : Lực cản lăn (N)
- + F_{ad} : Lực cản khí động học (N)
- + F_{hc} : Lực cản dốc (N)
- + F_{ac} : Lực cản quán tính (N)
- Tính công suất kéo cần thiết của xe:

$$P_t = F_{te}v = 17,97 \text{ (kW)} \quad (2.49)$$

Trong đó:

- + P_t : Công suất kéo của xe (kW)
- + F_{te} : Tổng lực cản của xe (N)
- + v : Vận tốc thiết kế của xe (m/s)
- Công suất kéo xe qui đổi về cực pin (P_{mot-in}):

$$P_{mot-in} = \frac{P_t}{\eta_g \eta_e} = 19,50 \text{ (kW)} \quad (2.50)$$

Trong đó:

- + P_{mot-in} : Công suất kéo xe qui đổi về cực pin (kW)
- + P_t : Công suất kéo xe (kW)
- + η_e : là hiệu suất của động cơ điện và hệ truyền động động cơ là 0,96
- + η_g : là hiệu suất của bộ truyền động là 0,96
- Tính tổng tải trọng phụ: Một chiếc xe hiện đại ngoài việc cung cấp năng lượng cho xe di chuyển, hệ thống pin còn phải cung cấp điện cho các hệ thống phụ khác. Tải trọng phụ bao gồm các hệ thống 12 V, hệ thống làm mát, hệ thống sưởi, các thiết bị tiện nghi sinh hoạt ... Công suất các tải trọng phụ liên tục được cho trong bảng 2.10 và công suất các tải trọng phụ không liên tục được cho trong bảng 2.11 [33].

Bảng 2.10 Công suất tiêu hao của các tải liên tục trên xe

Tải liên tục	Công suất (W)
Đuôi đèn và đèn hai bên, đèn biển số	40
Đèn pha chính, đèn cốt, đèn tap-lô	205
Radio/Casette/CD	15
Tổng	260

Bảng 2. 11 Công suất tiêu hao các tải gián đoạn trên xe

Tải gián đoạn	Công suất (W)
Máy sưởi, các chỉ số	100
Gạt mưa trước, gạt mưa sau	130
Nâng kính điện	150
Quạt dàn nóng	150
Motor quạt thổi, motor cửa sổ trời	230
Xông kính sau, đèn nội thất, còi	180
Đèn phanh, đèn sương mù sau, đèn lùi, Các đèn phụ	200
Thiết bị châm thuốc	100
Rửa đèn pha	100
Chỉnh ghế điện, gương điện	160
Sưởi ghế	200
Tổng cộng	1700

Để tính được công suất của các tải gián đoạn ta phải nhân với hệ số hoạt động được ước tính khoảng 10% (10%. 1700=170W). Sau đó ta cộng với công suất tiêu tốn với các hệ thống phụ:

$$P_{ac} = 260 + 170 = 430 \text{ (W)} = 0,43 \text{ (kW)} \quad (2.51)$$

Với P_{ac} là công suất tổng tải phụ (kW)

- Tính công suất của pin (P_{pin}):

$$P_{pin} = P_{mot-in} + P_{ac} = 19,93 \text{ (kW)} \quad (2.52)$$

- Năng lượng mà pin cần để cung cấp đi hết quãng đường trên là:

$$E = P_{pin}.t = 91,68 \text{ (kWh)} \quad (2.53)$$

Trong đó:

E: Năng lượng mà hệ thống pin cần để cung cấp đi hết quãng đường (kWh)

t: Là thời gian dự kiến xe đi được khoảng 155 km trong một lần sạc

- Năng lượng của một cell pin là:

$$E_{\text{cell}} = Q_{\text{cell}} \cdot U_{\text{cell}} = 3,4.3,6 = 12,24 \text{ (Wh)} \quad (2.54)$$

Trong đó:

E_{cell} : Năng lượng của một cell pin (Wh)

Q_{cell} : Dung lượng của một cell pin (Ah)

U_{cell} : Điện áp định mức của một cell pin (V)

$$\text{- Số cell pin mắc nối tiếp là: } N_{\text{nt}} = \frac{U}{U_{\text{cell}}} = \frac{540}{3,6} = 150 \quad (2.55)$$

- Năng lượng của một chuỗi cell nối tiếp (E_{nt}):

$$E_{\text{nt}} = N_{\text{nt}} \cdot E_{\text{cell}} = 150.12,24 = 1836 \text{ (Wh)} \quad (2.56)$$

- Số nhánh nối tiếp mắc song song là (N_{ss}):

$$N_{\text{ss}} = \frac{E}{E_{\text{nt}}} = \frac{91680}{1836} = 49,93 \quad (2.57)$$

Vì số nhánh song song phải là số nguyên nên là ta phải làm tròn đến số nguyên lớn nhất, $N_{\text{ss}} = 50$. Khi đó chúng ta sẽ tính lại năng lượng của hệ thống pin theo số nhánh mắc song song mới là:

$$E_t = E_{\text{nt}} \cdot N_{\text{ss}} = 1836 \cdot 50 = 91,8 \text{ (kWh)} \quad (2.58)$$

- Tổng số cell pin có trong hệ thống pin là (N):

$$N = N_{\text{nt}} \cdot N_{\text{ss}} = 150 \cdot 50 = 7500 \text{ (cell)} \quad (2.59)$$

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

$$V_{\text{cc}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L_{\text{bc}} = 1,755 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^3\text{)} \quad (2.60)$$

Trong đó:

V_{cc} : là thể tích của mỗi cell pin (m^3)

D_{bc} : Đường kính 1 cell pin (m)

L_{bc} : Chiều dài 1 cell pin (m)

- Năng lượng riêng theo thể tích (U_V):

$$U_V = \frac{E_{\text{cell}}}{V_{\text{cc}}} = 697435,9 \text{ (Wh/m}^3\text{)} \quad (2.61)$$

- Năng lượng theo khối lượng:

$$U_G = \frac{E_{\text{cell}}}{m_{\text{bc}}} = 266,1 \text{ (Wh/kg)} \quad (2.62)$$

Trong đó:

U_G : Năng lượng theo khối lượng (Wh/kg)

m_{bc} : Khối lượng của một cell pin (kg)

- Dung lượng của hệ thống pin (C_{bp}):

$$C_{bp} = N_{ss} \cdot Q_{cell} = 50 \cdot 3,4 = 170 \text{ (Ah)} \quad (2.63)$$

- Dòng xả cực đại của một chuỗi là (I_{spc}):

$$I_{spc} = C_{-rate} \cdot Q_{cell} = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{ (A)} \quad (2.64)$$

- Dòng xả cực đại của hệ thống pin là (I_{bpp}):

$$I_{bpp} = I_{spc} \cdot N_{ss} = 6,8 \cdot 50 = 340 \text{ (A)} \quad (2.65)$$

- Điện áp của hệ thống pin (U_{bp}):

$$U_{bp} = N_{nt} \cdot U_{cell} = 150 \cdot 3,6 = 540 \text{ (V)} \quad (2.66)$$

- Công suất cực đại của hệ thống pin (P_{bpp}):

$$P_{bpp} = I_{bpp} \cdot U_{bp} = 340 \cdot 540 = 183,6 \text{ (kW)} \quad (2.67)$$

- Khối lượng của hệ thống pin (m_{bp}):

$$m_{bp} = m_{bc} \cdot N = 0,046 \cdot 7500 = 345 \text{ (kg)} \quad (2.68)$$

- Thể tích của hệ thống pin (V_{bp}):

$$V_{bp} = V_{cc} \cdot N = 1,755 \cdot 10^{-5} \cdot 7500 = 0,1316 \text{ (m}^3\text{)} \quad (2.69)$$

Từ những tính toán lựa chọn hệ thống pin trên ta có thể chọn loại pin là Lithium-ion loại cell pin hình trụ kích thước nhỏ gọn về khả năng tận dụng không gian lắp đặt trên xe, kết cấu chịu lực tốt, tuổi thọ trung bình của pin cao hơn, dễ tích hợp hệ thống tản nhiệt, và có độ an toàn cao. Dung lượng của hệ thống pin của xe thiết kế tính toán là 170 (Ah) với công suất cực đại của hệ thống pin là 183,6 (kW) giúp xe đi được quãng đường dài hơn cho một lần sạc và đáp ứng đủ (thậm chí tốt hơn) các điều kiện về công suất của một chiếc xe. Và ta có thể lắp đặt khối pin ở giữa thân sàn xe như hình dưới đây giúp xe ổn định cân bằng tải trọng và tối ưu thiết kế không gian cho xe. Bố trí lắp đặt khối pin trên xe thiết kế như thể hiện trên hình 2.18.



Hình 2.18 Bố trí lắp đặt khối pin trên xe thiết kế

2.3.4. Hệ thống quản lý pin điện áp cao cho xe điện

a. Tổng quát chung

Hệ thống quản lý pin (BMS) đóng vai trò trung tâm trong việc giám sát, điều phối và bảo vệ hoạt động của bộ pin nhằm đảm bảo hiệu suất tối ưu, kéo dài tuổi thọ và duy trì tính an toàn trong quá trình vận hành. Hệ thống quản lý pin có nhiệm vụ theo dõi liên tục các thông số quan trọng bao gồm nhiệt độ, điện áp, dòng điện và tổng năng lượng tiêu thụ của hệ thống lưu trữ. Các đại lượng trên có mối liên hệ chặt chẽ với nhau và đều chịu ảnh hưởng bởi quá trình sử dụng cũng như điều kiện môi trường bên ngoài. Trong đó, nhiệt độ và điện áp cần được kiểm soát nghiêm ngặt do tính chất nhạy cảm của vật liệu hóa học trong pin lithium-ion. Khi vượt quá giới hạn an toàn, pin không những bị suy giảm hiệu năng nhanh chóng mà còn tiềm ẩn nguy cơ cháy nổ. Dòng điện là một thông số phức tạp hơn trong kiểm soát vì biến thiên liên tục tùy theo chế độ tải của phương tiện (tăng tốc, giảm tốc, leo dốc, phanh tái sinh...). Tuy nhiên, việc giám sát dòng điện vẫn đóng vai trò quan trọng nhằm tránh quá tải hoặc xả quá sâu gây tổn hại cho pin. Ngoài ra, tổng năng lượng tiêu thụ được ghi nhận qua thời gian sử dụng giúp đánh giá chính xác mức độ khai thác sử dụng pin, từ đó hỗ trợ dự đoán chu kỳ thay thế cũng như tối ưu quá trình sạc-xả và bảo trì hệ thống năng lượng.

Trong xe điện (EV) hoặc xe hybrid (HEV, PHEV), pin thường xuyên sạc và xả với cường độ cao, yêu cầu BMS phải phản ứng theo thời gian thực với các điều kiện lái xe thay đổi nhanh chóng. Hệ thống này không chỉ điều chỉnh hiệu suất, mà còn bảo vệ pin khỏi những rủi ro như sạc quá mức, xả quá sâu hay mất cân bằng giữa các tế bào pin.

Các chức năng chính của BMS bao gồm:

- Theo dõi và điều khiển tình trạng sạc (SOC), tình trạng sức khỏe (SOH), và khả năng hoạt động (SOF) của pin.
- Chẩn đoán lỗi, cảnh báo rủi ro, và cân bằng pin.
- Giữ pin trong phạm vi an toàn về điện áp, nhiệt độ và dòng điện.
- Ngắt kết nối pin khi phát hiện sự cố nghiêm trọng để bảo vệ cả hệ thống.

Hệ thống quản lý pin hoạt động như một cầu nối giữa pin và hệ thống điều khiển xe. Nó có thể sử dụng dữ liệu từ GPS hoặc thông tin giao thông để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng, đặc biệt với xe HEV/PHEV. Đối với xe EV, hệ thống quản lý pin còn dự đoán quãng đường còn lại dựa trên dữ liệu thực tế như nhiệt độ, điện áp và dòng điện.

Bên cạnh đó, hệ thống quản lý pin cũng giám sát hành vi lâu dài của pin, ghi lại lịch sử sử dụng, điều kiện môi trường (nhiệt độ, rung động, va đập), để phát hiện sớm lỗi và kéo dài tuổi thọ pin. Hệ thống này gồm nhiều thiết bị như cảm biến, mạch bảo vệ, công cụ chẩn đoán để đảm bảo hoạt động an toàn.

Thiết kế hệ thống quản lý pin có thể mang tính tập trung hoặc mô-đun. Hệ thống quản lý pin tập trung được trang bị một bộ điều khiển duy nhất được kết nối với các tế bào pin thông qua vô số dây dẫn và bộ điều khiển này được sử dụng để đo lường, ước tính và dự đoán khả năng hoạt động của pin. Các thiết kế mô-đun dựa trên một số bộ điều khiển riêng biệt, mỗi bộ xử lý một số tế bào nhất định, với giao tiếp giữa các bộ điều khiển và với các bộ điều khiển của xe [30].

b. Các yêu cầu của hệ thống quản lý pin

Hệ thống quản lý pin cho xe điện có một số mục tiêu chính, bao gồm:

- Tăng độ an toàn và độ tin cậy cho hệ thống pin.
- Bảo vệ các tế bào pin riêng lẻ và toàn bộ hệ thống pin khỏi hư hại.
- Cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng của pin (tức là tăng phạm vi di chuyển của xe).
- Kéo dài tuổi thọ của pin.

Hiện chưa có thuật ngữ tiêu chuẩn cho hệ thống pin đa tế bào, ở đây chúng ta thống nhất một số khái niệm sau:

- “Module pin” dùng để chỉ đơn vị gồm tối đa 12 tế bào nối tiếp, với tổng điện áp tối đa 60V.
- “Bộ pin” chỉ một tập hợp nhiều module nối tiếp hoặc song song tạo thành hệ thống pin điện áp cao có thể lên tới 600V.

Các điều kiện vận hành nghiêm ngặt của pin lithium-ion (và phần lớn cũng áp dụng cho các hóa học pin khác) cùng với các mục tiêu nêu trên dẫn đến nhóm các yêu cầu cụ thể mà hệ thống quản lý pin cần đáp ứng.

2.3.5. Quản lý nhiệt hệ thống pin xe điện

a. Sự sinh nhiệt và ảnh hưởng nhiệt độ trong hệ thống pin

❖ Sự sinh nhiệt trong hệ thống pin

Trong quá trình hoạt động, các tế bào pin lithium-ion thường phát sinh nhiệt do các phản ứng hóa học bên trong, sự phân cực, điện trở bên trong và dòng điện di chuyển

trong chất điện phân. Ngoài ra, dòng nhiệt còn có thể bị truyền từ tế bào này sang tế bào khác thông qua liên kết cơ khí hoặc tấm dẫn nhiệt, ảnh hưởng đến toàn bộ mô-đun pin và cả hệ thống pin. Nếu nhiệt lượng không được kiểm soát hiệu quả, sự tích tụ nhiệt sẽ gây tăng nhiệt độ cục bộ trong mô-đun, dẫn đến sự suy giảm hiệu suất, giảm tuổi thọ pin, hoặc thậm chí gây ra rủi ro an toàn nghiêm trọng như phồng rộp, cháy nổ.

Các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ sinh nhiệt bao gồm: tốc độ sạc/xả, chu kỳ vận hành, thiết kế hệ thống truyền nhiệt và điều kiện môi trường. Trong điều kiện thời tiết nóng, đặc biệt khi xe không có lớp cách nhiệt tốt hoặc vận hành trong môi trường điều kiện thời tiết như Thành phố Hồ Chí Minh, hiện tượng tăng nhiệt diễn ra nhanh hơn. Ngoài ra, sạc nhanh nhiều lần trong ngày hoặc bảo dưỡng không đúng quy trình cũng có thể làm trầm trọng thêm vấn đề. Nhiệt độ cao cũng gây ra hiện tượng phân hủy lớp SEI (Solid Electrolyte Interphase), gia tăng điện trở bên trong và làm suy giảm khả năng cấp điện, từ đó làm giảm công suất cũng như hiệu quả làm việc của pin. Ngược lại, khi hoạt động ở nhiệt độ thấp (dưới 0°C), hiệu suất của phản ứng hóa học trong pin giảm đáng kể, làm giảm dung lượng hiệu dụng và gây nguy cơ phát sinh lithium kim loại (lithium plating) trong quá trình sạc, dẫn đến giảm tuổi thọ pin [8].

❖ Tác động của nhiệt độ đến độ bền, tốc độ sạc và hiệu suất pin

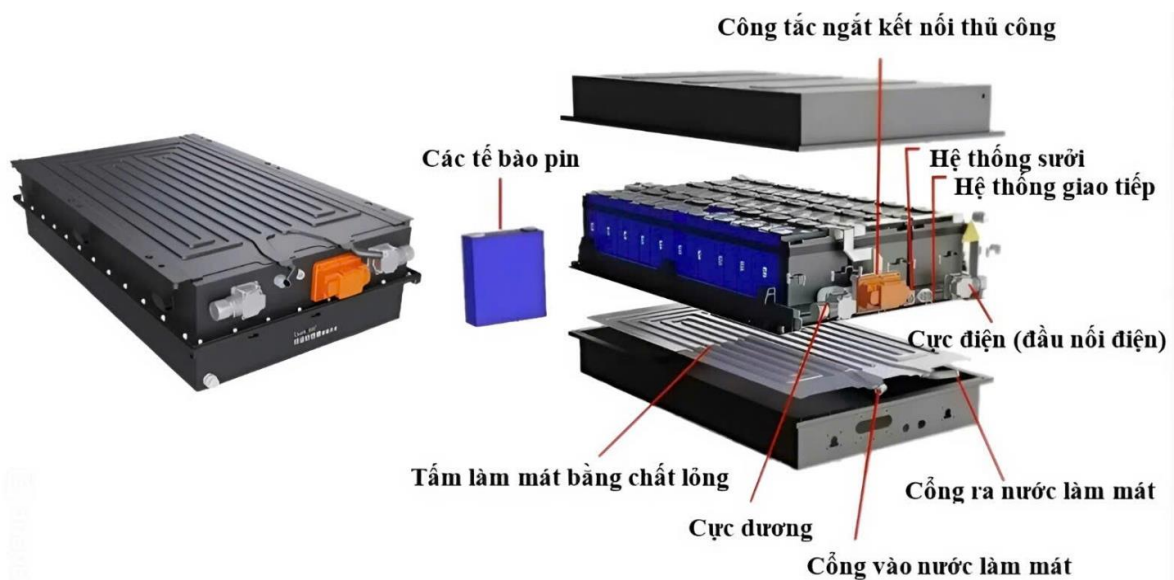
Tuổi thọ của cell pin bị ảnh hưởng rõ rệt khi phải hoạt động ở nhiệt độ vượt quá giới hạn khuyến nghị, thường là trên 40°C hoặc dưới 0°C . Nếu nhiệt độ lên đến 60°C và duy trì trong thời gian dài, nguy cơ thoát nhiệt không kiểm soát sẽ tăng lên, làm hỏng cấu trúc bên trong và có thể gây sự cố mất an toàn. Quá trình lão hóa hóa học và lão hóa cơ học của cell diễn ra nhanh hơn khi nhiệt độ tăng, làm giảm khả năng lưu trữ và hiệu suất cấp điện. Một vấn đề khác phát sinh khi nhiệt độ giữa các cell pin không đồng đều, khiến dòng điện phân phối không cân bằng. Hậu quả là các cell pin sạc/xả ở tốc độ khác nhau, làm giảm khả năng cân bằng điện áp và ảnh hưởng đến hiệu suất toàn bộ hệ thống. Theo nghiên cứu, việc duy trì nhiệt độ toàn bộ khối pin trong khoảng từ 5°C đến 50°C là cần thiết để đảm bảo hoạt động an toàn. Nếu độ lệch nhiệt độ giữa các cell pin vượt quá 5°C , hiệu suất sạc có thể giảm đến 10% và tuổi thọ pin có thể giảm 25%. Tăng nhiệt độ trung bình của cell pin lên 10°C đến 15°C có thể làm giảm tuổi thọ đến 30–50% [8].

Nhiệt độ ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ sạc, đặc biệt trong các hệ thống sạc nhanh DC. Khi các cell pin chưa được làm mát đầy đủ, nhiệt lượng sinh ra trong quá trình sạc

tăng nhanh, gây khó khăn cho việc kiểm soát nhiệt và có thể dẫn đến giới hạn dòng sạc. Vì vậy, các chiến lược quản lý nhiệt phải tích hợp chặt chẽ với hệ thống điều khiển trạng thái sạc (SOC), nhằm đảm bảo vận hành tối ưu và kéo dài tuổi thọ pin.

b. Làm mát xe điện bằng dung dịch làm mát chuyên dụng

Trong hệ thống quản lý nhiệt pin sử dụng làm mát bằng chất lỏng, sự truyền nhiệt giữa pin và chất lỏng làm mát đạt được bằng cách lắp đặt các đường ống xung quanh các cell pin với một áo nước làm mát khoắc xung quanh các cell pin đặt chất lỏng được làm mát hoặc tấm làm mát vào bề mặt cell pin hoặc nhấn chìm các cell pin trong chất lỏng điện môi. Trường hợp hệ thống sử dụng làm mát bằng chất lỏng sử dụng phương pháp tiếp xúc không trực tiếp, nước, ethylene glycol hoặc chất làm lạnh có thể được sử dụng làm chất làm mát đây là phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất trên các xe điện thương mại, đặc biệt là dòng xe buýt hay xe buýt cỡ nhỏ, vì hiệu suất truyền nhiệt cao và khả năng kiểm soát nhiệt độ chính xác. Hệ thống làm mát bằng chất lỏng gián tiếp dùng chất lỏng chạy qua ống dẫn quanh pin, không tiếp xúc trực tiếp với pin. Bộ làm mát, bơm tuần hoàn, cảm biến nhiệt độ và bộ điều khiển điện tử phối hợp để duy trì dải nhiệt độ tối ưu (thường từ 20–40°C). Phương pháp làm mát bằng chất lỏng tiếp xúc gián tiếp có nhược điểm bảo gồm yêu cầu về không gian lớn hơn do sự cần thiết của các thành phần phụ trợ như máy làm lạnh và tụt nhiệt, quán tính lớn do khối lượng nhiệt lớn hơn và tổng trọng lượng xe cũng tăng lên. Chi tiết hệ thống làm mát bằng chất lỏng cho một khối pin như trên hình 2.19.



Hình 2.19 Hệ thống làm mát bằng chất lỏng cho một khối pin

Trong hệ thống quản lý nhiệt của xe điện (EV), phương pháp làm mát trực tiếp bằng chất lỏng là một giải pháp tiên tiến nhằm kiểm soát nhiệt độ pin hiệu quả hơn. Tuy nhiên, do đặc tính dẫn điện của các linh kiện trong bộ pin, chất lỏng sử dụng trong làm mát trực tiếp bắt buộc phải là chất điện môi, nhằm ngăn ngừa rủi ro đoản mạch và phóng điện không mong muốn. Các loại chất điện môi thường được lựa chọn bao gồm các hợp chất có gốc silicone, este tổng hợp hoặc dầu khoáng tinh chế, vốn có độ ổn định nhiệt và điện rất cao, đồng thời không ăn mòn vật liệu tiếp xúc trong module pin.

Ưu điểm nổi bật của làm mát bằng chất lỏng trực tiếp nằm ở khả năng truyền nhiệt vượt trội, mang lại hiệu suất làm mát cao hơn nhiều so với hệ thống làm mát bằng không khí cưỡng bức hoặc bằng tấm kim loại. Nhờ tiếp xúc trực tiếp với bề mặt các cell pin, nhiệt lượng sinh ra trong quá trình sạc, xả hoặc vận hành cao tải được phân tán nhanh chóng, giúp giảm chênh lệch nhiệt độ giữa các cell, từ đó kéo dài tuổi thọ pin và nâng cao tính an toàn tổng thể của hệ thống. Đồng thời, thiết kế này còn giúp tối ưu hóa không gian, phù hợp với các mẫu xe điện hiện đại có yêu cầu cao về mật độ năng lượng và tính linh hoạt về bố trí hệ thống pin.

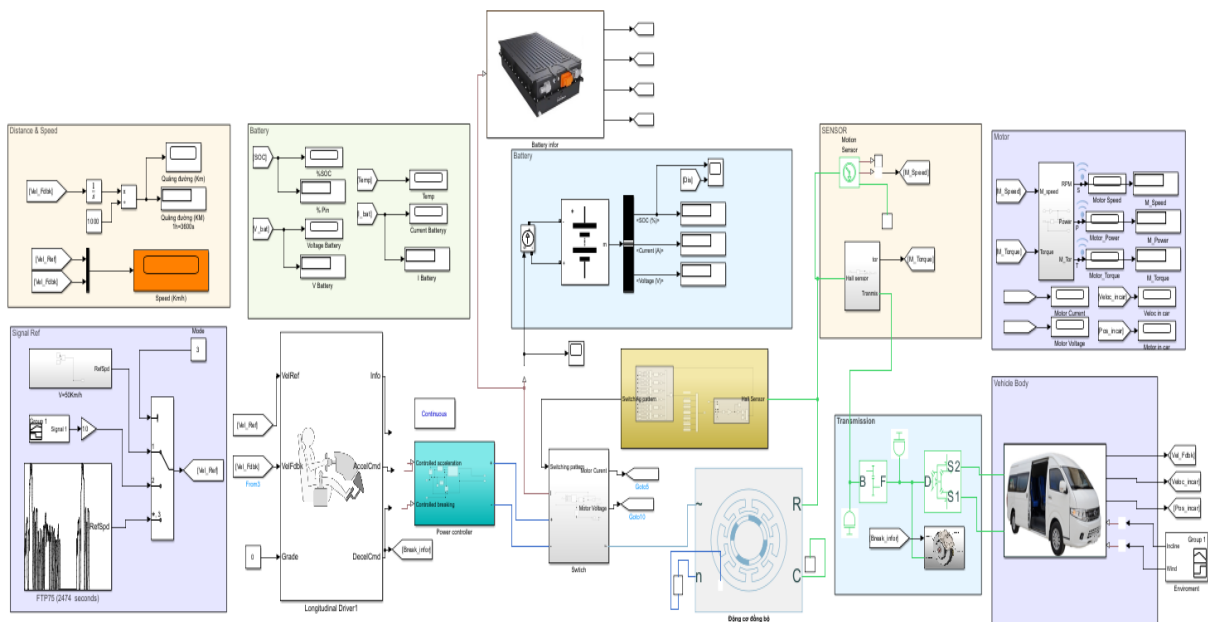
Tuy nhiên, phương pháp này cũng tồn tại một số hạn chế cần được xem xét kỹ trong giai đoạn thiết kế hệ thống. Điển hình là việc hệ thống làm mát phụ thuộc hoàn toàn vào nguồn cấp điện để bơm chất lỏng tuần hoàn, dẫn đến nguy cơ mất hiệu suất làm mát trong các tình huống khẩn cấp hoặc khi xe đang ở trạng thái tắt máy. Ngoài ra, vào mùa đông hoặc trong điều kiện nhiệt độ môi trường thấp hơn 0°C , pin yêu cầu chức năng sưởi nhiệt chủ động để duy trì hiệu suất và ngăn chặn hiện tượng kết tinh chất điện phân. Tuy nhiên, các hệ thống làm mát trực tiếp bằng chất lỏng thường không thể tích hợp chức năng gia nhiệt này vào cùng một mạch, do các giới hạn vật lý và điện môi của chất lỏng sử dụng.

CHƯƠNG 3: MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG HỆ ĐỘNG LỰC XE BUÝT ĐIỆN CỖ NHỎ

3.1. Xây dựng mô hình hệ động lực của xe buýt điện cỡ nhỏ

3.1.1. Mô hình hóa tổng thể hệ động lực của xe trên phần mềm matlab Simulink

Hệ động lực của xe thiết kế được xây dựng bằng phần mềm Matlab Simulink thông qua mô hình hóa dựa trên các phương trình giúp tính toán thông số tốt hơn và rút ngắn được thời gian mô phỏng. Dựa trên phần mềm mô phỏng Matlab Simulink ta có thể xây dựng, mô hình hóa các thành phần hệ động của xe điện chạy bằng pin (BEV), với các thuật toán điều khiển hệ thống truyền lực liên quan. Sử dụng ứng dụng tham chiếu cho xe điện để phân tích kết hợp hệ thống truyền lực và lựa chọn các thông số thành phần phù hợp. Mô hình xe điện lấy giá trị tốc độ tham chiếu làm đầu vào và hiện thị các biểu đồ như: biểu đồ trạng thái sạc xả của pin, điện áp, dòng điện, mô men động cơ, cùng với tốc độ thực tế tham chiếu của xe làm đầu ra sau khi mô hình được mô phỏng. Mô hình hóa hệ động lực xe buýt điện trên Matlab Simulink được thiết kế như trên hình 3.1.



Hình 3.1 Mô hình hóa hệ động lực xe buýt điện cỡ nhỏ trên Matlab Simulink

Nguyên lý hoạt động của hệ thống:

Khi nhận được tín hiệu từ khối chu trình lái, khối người lái sẽ phân tích dữ liệu từ tín hiệu này để đưa ra các quyết định điều khiển vật lý như đạp ga hoặc phanh. Sau đó, các tín hiệu điều khiển sẽ được truyền đến bộ chuyển đổi PWM, nơi tín hiệu vật lý được

chuyển đổi thành tín hiệu điện dưới dạng PWM. Bộ chuyển đổi PWM tiếp tục xử lý và hiệu chỉnh sang tín hiệu điện phù hợp trước khi truyền đến bộ cấp nguồn cho động cơ.

Bộ cấp nguồn này có nhiệm vụ cung cấp điện áp phù hợp đến các pha trong động cơ BLDC làm cho động cơ quay. Mặt khác tại bộ cấp nguồn cho động cơ BLDC ta tiến hành đo cường độ dòng điện tại đây để đưa về khối dung lượng (%) pin để quan sát và nhận biết được quá trình sạc-xả của pin.

Sau khi động cơ hoạt động thì ta có thể thu được chính xác góc quay cũng như vị trí của các cực từ ở rotor nhờ cảm biến Hall và gửi về trung tâm xử lý tín hiệu Hall sensor sau đó cấp ngược lại tín hiệu cho bộ cấp nguồn, lúc này điện áp về các cực từ của stator có độ chính xác cao đưa động cơ nhanh chóng về trạng thái ổn định.

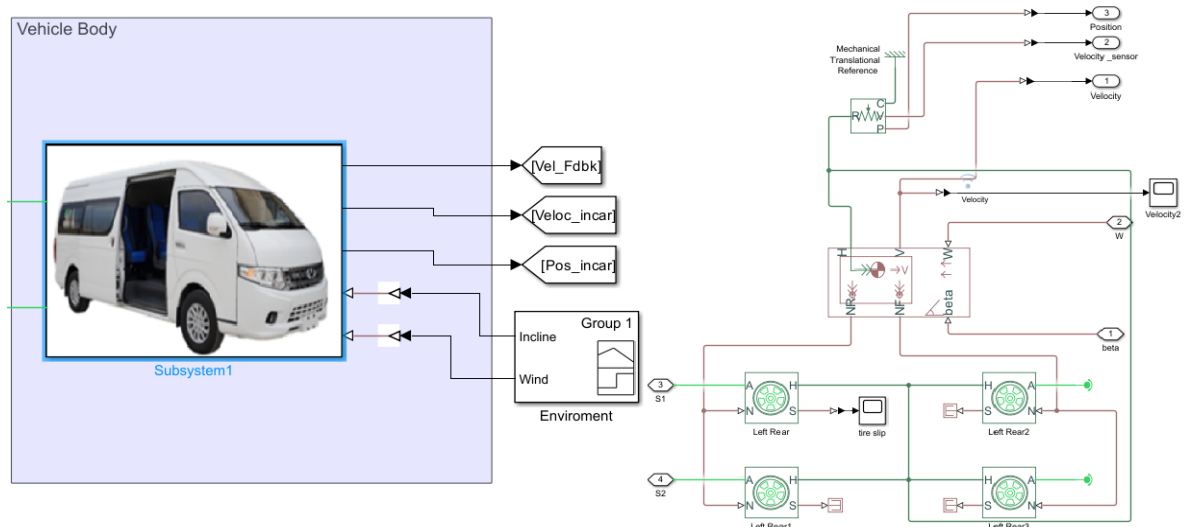
Lực kéo được tạo ra từ động cơ sẽ được đưa đến hệ thống truyền động hộp số, tại đây ta có thể chuyển đổi các tỷ số truyền phù hợp giúp xe tăng tốc, giảm tốc theo mong muốn. Momen tiếp tục đến khối Vehicle, tại đây lực sẽ được đưa đến hệ thống vi sai và đưa ra các bán trục rồi đến các lốp xe giúp tạo lực đẩy cho xe di chuyển.

Và trong khối Vehicle body này ta tiến hành đo chính xác tốc độ thực tế di chuyển của xe và gửi lại về khối người lái giúp người lái nhận biết được vận tốc thực tế của xe đã đạt tới giá trị mong muốn hay chưa từ đó đưa ra các quyết định đạp ga hoặc phanh.

3.1.2. Mô hình hóa thông số cấu hình xe và các tín hiệu đầu vào

a. Mô hình hóa thông số cấu hình xe điện

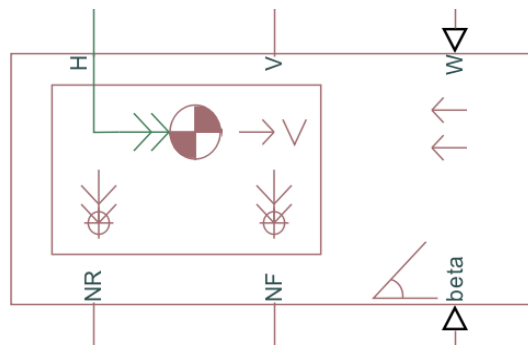
Mô hình hóa cấu hình thân xe được thiết kế như trên hình 3.2.



Hình 3. 2 Mô hình hóa cấu hình thân xe

Ta xây dựng các khối trong Matlab, khối mô hình thân xe được sử dụng để biểu diễn hai trục chính của xe trong quá trình chuyển động theo phương dọc. Thành phần này cho phép thiết lập số lượng bánh trên từng trục nhằm đáp ứng yêu cầu tính toán của từng loại xe cụ thể. Bên cạnh đó, khối còn hỗ trợ khai báo các thông số đầu vào như khối lượng toàn bộ, đặc tính hình học, cũng như hệ số cản khí động học của xe...

Khối Vehicle Body: Đây là khối mô hình mô phỏng xe đang di chuyển, ở khối này ta có thể cài đặt các điều kiện đường (đường nhựa, đường cát...), mô phỏng vận tốc gió, độ nghiêng mặt đường, và thiết lập được các thông số kỹ thuật của xe (chiều dài cơ sở, khối lượng....), Từ đó có thể đánh giá được khả năng di chuyển của xe. Mô hình khối thân xe trong Matlab Simulink được thiết lập như trong hình 3.3.



Hình 3.3 Khối thân xe trong phần mềm Matlab Simulink

Khối này chứa 6 cổng có thể được sử dụng để mô hình hóa các khía cạnh khác nhau của thân xe. Các cổng được đề cập và giải thích dưới đây:

- + Cổng H: Cổng này được nối ra kết quả của lực kéo bánh xe.
- + Cổng V, NF và NR: Thể hiện vận tốc đầu ra của xe, lực tác dụng từ thân xe lên bánh trước và bánh sau.
- + Cổng W và beta: cổng tín hiệu đầu vào tương ứng với tốc độ gió và góc nghiêng mặt đường.

Trong phần mềm Matlab, việc tùy chỉnh các thông số của khối thân xe được thực hiện rất thuận tiện. Người dùng chỉ cần nhấp đúp chuột vào khối để truy cập giao diện thiết lập, từ đó có thể quan sát và thay đổi các tham số một cách trực quan, nhanh chóng. Các giá trị này bao gồm khối lượng xe, kích thước hình học, phân bố tải trọng hay hệ số cản khí động học, tất cả đều có thể hiệu chỉnh phù hợp với yêu cầu thiết kế ban đầu của xe. Các bước thiết lập sẽ được phần mềm hiển thị rõ ràng thông qua giao diện minh họa, như được trình bày trong hình 3.4.

Block Parameters: Vehicle Body1
✕

Vehicle Body
✓ Auto Apply
?

SettingsDescription

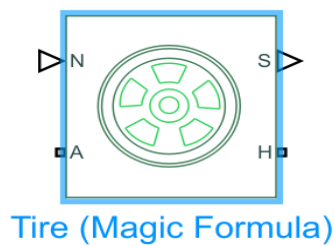
NAME	VALUE	
Main		
> Mass	3680	kg
> Number of wheels per axle	2	
> Horizontal distance from CG to front axle	1860	mm
> Horizontal distance from CG to rear axle	1860	mm
> CG height above ground	160	mm
Externally-defined additional mass	Off	
> Gravitational acceleration	9.81	m/s ²
Negative normal force warning	Off	
Drag		
> Frontal area	4.4	m ²
> Drag coefficient	0.5	
> Air density	1.25	kg/m ³
Pitch		
Initial Targets		

Hình 3.4 Bảng thiết lập điều chỉnh các thông số khối cấu hình thân xe

Từ hình trên cho thấy các thông số cài đặt cho xe lần lượt là: khối lượng toàn bộ của xe (Mass) là 3680kg, tiếp theo là số bánh xe trên mỗi trục (Number of wheels per axle) là 2, tiếp theo là khoảng cách CG đến phía trước (Horizontal distance from CG to front axle) là 1,86m, khoảng cách CG đến trục sau (Horizontal distance from CG to rear axle) là 1,86m và khoảng sáng gầm (CG height above ground) là 160mm, gia tốc trọng trường (Gravitational acceleration) là 9,81 m/s². Diện tích bề mặt phía trước (Frontal area) là 4,4m², hệ số cản khí động học (Drag coefficient) là 0,5, cuối cùng là mật độ không khí (Air density) là 1,25 kg/m³.

Khối lớp xe sẽ được mô hình hoá các lớp xe đang di chuyển theo chiều dọc và được tính toán dựa vào các thông số lớp xe như: Tải trọng phân bố lên mỗi bánh xe, lực kéo tiếp tuyến, hệ số trượt, bán kính bánh xe, hệ số cản lăn,... Chúng cũng cho phép chúng ta mô hình hóa các hiệu ứng bổ sung như quán tính lớp xe, độ cứng cho phép, độ

chính xác cao hơn của các điều kiện trong điều kiện thế giới thực. Mô hình khối lốp xe trong matlab Simulink như trong hình 3.5.



Hình 3. 5 Khối lốp xe trong matlab Simulink

A (Axle): Đây là đầu vào kết nối với trục bánh xe. Nó thường dùng để nhận mô-men xoắn từ động cơ.

H (Hub): Kết nối này đại diện cho lực đẩy dọc trục tạo ra nhờ ma sát giữa bánh xe với mặt đường giúp xe di chuyển về phía trước.

N (Normal force): Đây là đầu vào cho lực bình thường, cho phép mô phỏng áp lực lên bánh xe từ mặt đường.

S (Slip): Thể hiện độ trượt của bánh xe.

Block Parameters: Left Rear			×
Tire (Magic Formula)			☒ Auto Apply ?
Settings	Description		
NAME	VALUE		
▼ Main			
Parameterize by	Constant Magic Formula coefficients ▼		
➤ Magic Formula B coefficient	19.25		
➤ Magic Formula C coefficient	1.65		
➤ Magic Formula D coefficient	0.92		
➤ Magic Formula E coefficient	0.6		
▼ Geometry			
➤ Rolling radius	0.36	m	▼

Hình 3. 6 Bảng hiệu chỉnh các thông số chính của lốp xe

Ta thiết lập các thông số B, C, D, E. Đây là các thông số phụ thuộc vào đặc tính vật lý của lốp và trạng thái hoạt động của xe.

Các thông số B, C, D, E là các thông số phụ thuộc vào đặc tính vật lý của lốp và trạng thái hoạt động của xe với dạng công thức cơ bản là:

$$\mu = D \sin(C \tan(B2 - E(B\lambda - \tan''(B2)))) \quad (3.1)$$

Trong đó:

μ : là hệ số ma sát lốp-đường

λ : là hệ số trượt dọc,

B: là hệ số cứng của mặt đường tác dụng lên lốp ảnh hưởng đến lực kéo của xe.

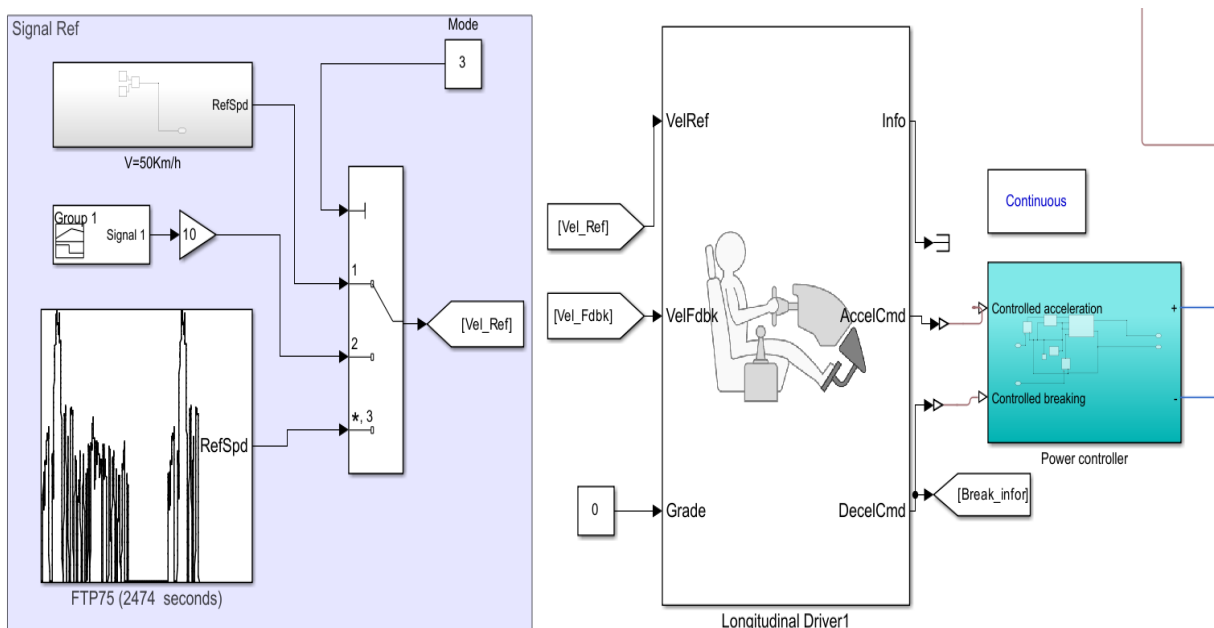
C: Hệ số đại diện cho lực kéo của xe

D: Hệ số cực đại của lực kéo mà xe có thể đạt được

E: Xác định mức độ uốn cong của đồ thị lực kéo của xe

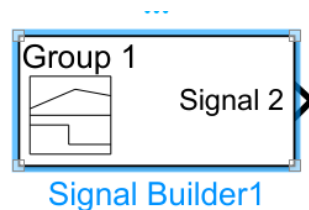
b. Các khối tín hiệu đầu vào

Khối xử lý tín hiệu đầu vào được xây dựng với nhiệm vụ tiếp nhận dữ liệu từ chu trình lái xe tiêu chuẩn (FTP-75) và giá trị vận tốc thực đặt ban đầu của ô tô. Trong khối này, hệ thống sẽ tiến hành so sánh giữa vận tốc mục tiêu (theo yêu cầu từ chu trình lái) và vận tốc thực tế của xe. Dựa trên sai lệch vận tốc thu được, bộ điều khiển PI được áp dụng để hiệu chỉnh, từ đó tạo ra tín hiệu điều khiển phù hợp cho quá trình tăng tốc hoặc giảm tốc, mô phỏng đúng hành vi vận hành thực tế của xe. Các bộ phận chính trong khối này bao gồm: Drive cycle source, Longitudinal driver. Mô hình khối các tín hiệu đầu vào được mô tả trên hình 3.7.



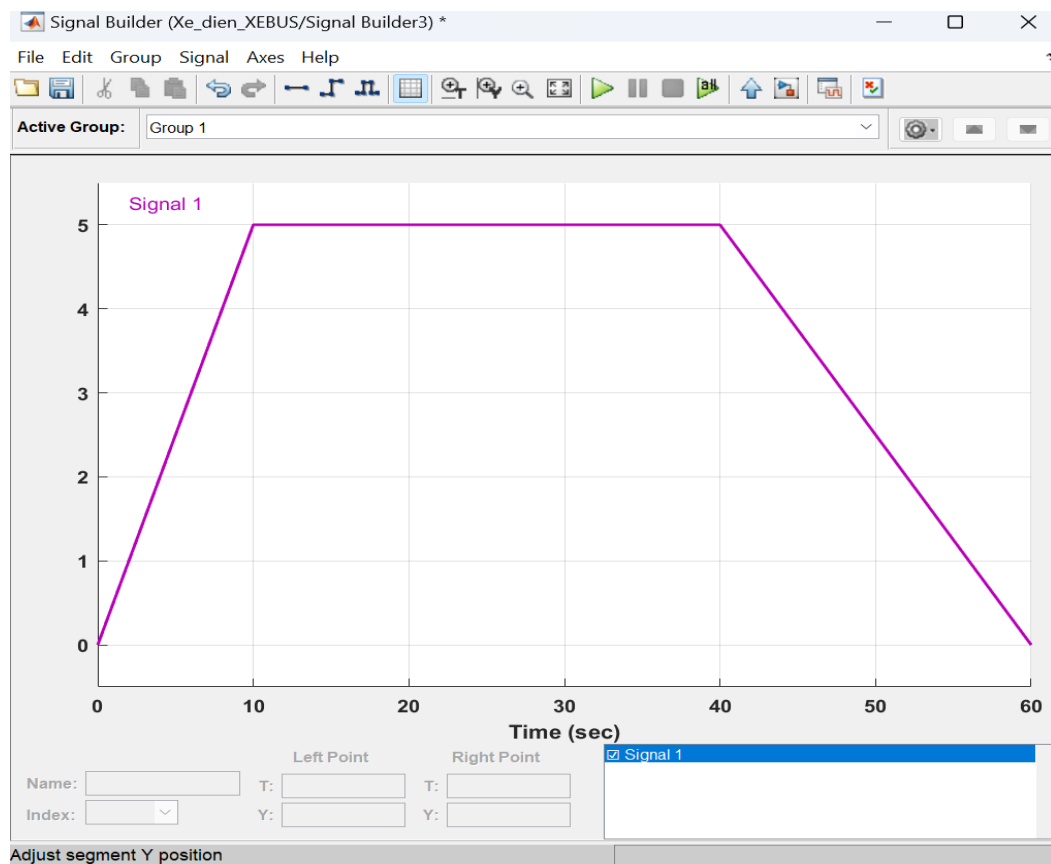
Hình 3.7 Mô hình khối các tín hiệu đầu vào

- **Khối tín hiệu đầu vào Signal Builder:** Dùng để tạo và quản lý các tín hiệu đầu vào phục vụ cho quá trình mô phỏng hệ thống động lực học và điều khiển. Nó cho phép người dùng thiết kế thủ công hoặc nhập các dạng tín hiệu khác nhau (ví dụ: dạng bậc, xung, tuyến tính, ngẫu nhiên...) để kiểm thử phản ứng của mô hình trong nhiều điều kiện hoạt động. Mô hình khối mô phỏng tín hiệu xe như trên hình 3.8.



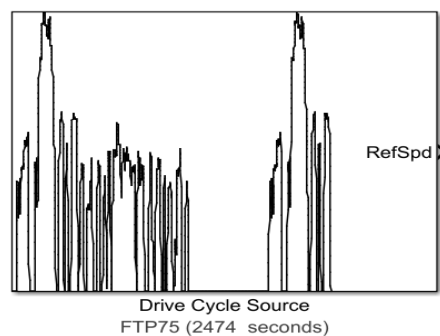
Hình 3.8 Khối mô phỏng tín hiệu xe

Với tín hiệu chu kỳ này em đã thiết lập thời gian mô phỏng là 60s. Chu kỳ này em dùng để xem khả năng tăng tốc của xe tăng tốc từ 0-50km/h trong 10s với 50km/h là vận tốc đặt đầu vào của xe, để xem có đáp ứng vận tốc động cơ mình thiết kế có ổn định không. Kết quả mô phỏng khả năng tăng tốc của xe tăng tốc từ 0-50km/h được biểu diễn trên hình 3.9.



Hình 3.9 Mô phỏng khả năng tăng tốc của xe

- **Khối chu trình lái xe:** Khối này có chức năng tạo ra các chu trình lái tiêu chuẩn hoặc chu trình được xây dựng dựa trên các thông số đầu vào do người dùng xác định trong một khoảng thời gian nhất định. Về nguyên lý, dữ liệu được xuất ra thể hiện mối quan hệ giữa thời gian và các đại lượng động học của phương tiện như vận tốc dọc, gia tốc và quá trình giảm tốc. Chu kỳ lái xe sẽ là một biểu đồ về vận tốc so với thời gian và được tạo ra để giống với các đặc tính được thiết lập nhằm tái hiện gần giống nhất các điều kiện vận hành thực tế như các pha tăng tốc, giảm tốc, chạy đều và dừng xe của ô tô trên đường mà người dùng có thể tự trải nghiệm. Kết quả mô phỏng chu trình lái xe FTP-75 được biểu diễn trên hình 3.10.



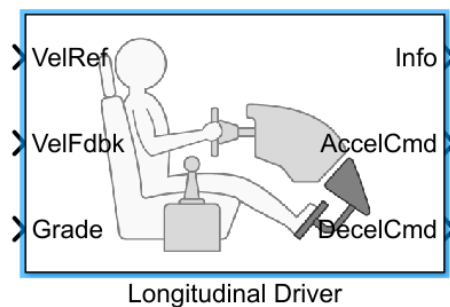
Hình 3.10 Khối chu trình lái xe FTP-75

Ví dụ, họ có thể mô hình hóa các tình huống lái xe trên đường cao tốc, lái xe trong khu vực đô thị hoặc lái xe với toàn bộ công suất, v.v. Các chu kỳ lái xe được các công ty ô tô sử dụng cho nhiều quy trình thử nghiệm khác nhau như quãng đường đi được, thử nghiệm ô nhiễm và thử nghiệm tăng tốc và tốc độ tối đa. Khối chu trình lái cho phép người sử dụng chọn các các chu trình lái khác nhau như: FTP75, US06, FTP72, NEDC... Trong phạm vi nghiên cứu của đề tài, ta chọn chu trình lái xe đô thị FTP-75 được nhiều nhà khoa học đánh giá là gần sát với điều kiện giao thông đô thị thực tế, để kiểm tra xe thiết kế lựa chọn có đạt với yêu cầu mà các tiêu chuẩn ban đầu đặt ra.

Có ba giai đoạn trong chu trình lái FTP-75 lái xe trong đô thị, cụ thể là khởi động nguội, ổn định và khởi động nóng. Giai đoạn khởi động nguội: 0-505 giây, mô phỏng điều kiện lái xe từ khi động cơ nguội, pha ổn định: 506-1372 giây, giai đoạn khởi động nóng: 1373-1874 giây, mô phỏng việc khởi động xe sau khi đã chạy một lúc. Tuy nhiên, trước khi bắt đầu giai đoạn thứ ba khởi động nóng, động cơ sẽ dừng lại trong 10 phút. Tổng thời gian của chu trình lái FTP75 là 1874 giây. Tốc độ trung bình của chu trình

lái FTP75 là 34,1 km/h với tốc độ tối đa là 91,2 km/h. Tổng quãng đường mô phỏng xe là 17,77km.

Khối mô phỏng người lái (Longitudinal Driver): thường được sử dụng để điều khiển sự vận hành của xe, khối này sẽ điều khiển lấy tốc độ thực tế của phương tiện và so sánh với khối chu trình lái, từ đó đưa ra các tính hiệu đạp ga hoặc phanh một cách phù hợp để hệ thống có thể bám sát theo vận tốc mong muốn. Nếu tại bất cứ điểm nào mà hệ thống di chuyển lệch khỏi vận tốc mong muốn ban đầu thì khối này sẽ điều khiển đạp ga hoặc phanh để đưa vận tốc của hệ thống về gần với vận tốc mong muốn ban đầu. Mô hình khối mô phỏng người điều khiển xe như trên hình 3.11.



Hình 3.11 Khối mô phỏng người điều khiển xe

Các cổng vào:

- VelRef (Reference Velocity): Tốc độ mong muốn tham chiếu cung cấp cho hệ thống, hệ thống sẽ lấy tốc độ của xe và so sánh với tốc độ này từ đó đưa ra các lệnh điều khiển cần thiết.
- VelFdbk (Feedback velocity): Tốc độ thực tế của xe, đây là tính hiệu đầu vào được sử dụng để so sánh với VelRef nhằm điều chỉnh xe tăng tốc hoặc giảm tốc để hệ thống đạt được giá trị mong muốn.
- Grade (Độ nghiêng đường): Giá trị này giúp xe nhận biết được độ dốc của đoạn đường xe di chuyển, ta xét đoạn đường đô thị bằng phẳng bằng 0, hay nói cách khác là cho xe di chuyển trên đường bằng.

Các cổng ra:

- Info: Thông tin đầu ra này để thông báo lỗi hoặc trạng thái điều khiển, do hệ thống chỉ đề cập tới vấn đề tăng tốc và giảm tốc của xe nên cổng này ta không dùng đến.
- AccelCmd (Acceleration Command): Đây là lệnh điều khiển gia tốc giúp điều khiển xe tăng tốc để đạt tốc độ mong muốn tham chiếu ban đầu.

- DecelCmd (Deceleration Command): Đây là lệnh điều khiển giảm tốc hay nói cách khác là lệnh đạp phanh, giúp xe giảm tốc độ để đạt vận tốc mong muốn của giá trị tham chiếu ban đầu.

Xe sử dụng bộ điều khiển PI (bộ điều khiển tích phân- tỷ lệ) để điều chỉnh và làm giảm các tín hiệu sai số giữa vận tốc tham chiếu và vận tốc thực tế của xe sao cho phù hợp nhất. Bộ điều khiển này được đặc trưng bởi các tham số như K_i (độ lợi tích phân), K_p (hệ số tỷ lệ). Khi hiệu chỉnh 2 thông số này thì kết quả mô phỏng sẽ thay đổi tương ứng với từng trạng thái.

Block Parameters: Longitudinal Driver1

► External Actions

Control type, cntrlType: PI

Shift type, shftType: None

Reference and feedback units, velUnits [velUnits]: m/s

☐ Output gear signal

▼ Control

Nominal Gains

Proportional gain, Kp []: 100

Integral gain, Ki []: 5

Velocity feed-forward, Kff []: 0.05

Grade angle feed-forward, Kg [1/deg]: 0.07

Nominal speed, vnom [velUnits]: 100

Anti-windup, Kaw []: 0.1

Error filter time constant, tauerr [s]: .03 0.03

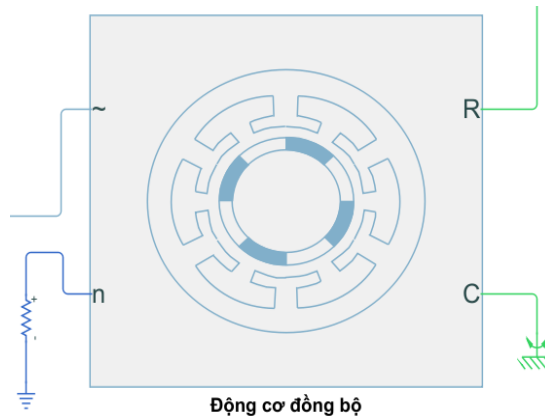
Hình 3.12 Giá trị hiệu chỉnh thông số K_i , K_p

Hoạt động của khối điều khiển dọc trục rất đơn giản. Dữ liệu vận tốc tham chiếu đến từ nguồn chu kỳ truyền động được so sánh với dữ liệu vận tốc phản hồi đến từ khối thân xe đã thiết lập. Nếu vận tốc tham chiếu lớn hơn vận tốc phản hồi, lệnh tăng tốc sẽ được đưa ra làm đầu ra cho nguồn điện áp được điều khiển. Nếu vận tốc tham chiếu nhỏ hơn vận tốc phản hồi, lệnh giảm tốc sẽ được đưa ra làm đầu ra cho nguồn điện áp được điều khiển khác.

3.1.3. Mô hình hóa động cơ điện và hộp giảm tốc cho xe

a. Mô hình hóa động cơ điện

Để xây dựng mô hình động cơ điện cho xe thiết kế, ta có thể chọn sử dụng khối động cơ điện đồng bộ làm động cơ cho mô hình thiết kế. Do những ưu điểm đã phân tích ở phần cơ sở lý thuyết cũng như tính ứng dụng của đề tài. Mô hình khối động cơ điện BLDC trong Matlab như trên hình 3.13.



Hình 3.13 Khối động cơ BLDC trong Matlab

Khối động cơ BLDC trong mô phỏng được sử dụng để mô phỏng động cơ điện với stato ba pha có cuộn dây đầu hình sao. Khối này cung cấp bốn phương pháp khác nhau để xác định phân bố từ thông của nam châm vĩnh cửu theo góc quay của rotor. Hai phương pháp đầu cho phép thiết lập tham số một cách đơn giản bằng cách giả định suất điện động ngược có dạng hình thang lý tưởng, trong đó người dùng có thể chỉ định trực tiếp liên kết từ thông hoặc giá trị suất điện động ngược do rotor tạo ra. Ngược lại, hai phương pháp còn lại mang lại độ chính xác cao hơn nhờ sử dụng dữ liệu thực nghiệm dạng bảng, cho phép xác định đặc tính động cơ thông qua đạo hàm riêng của liên kết từ thông hoặc thông qua hằng số suất điện động ngược được đo ở một tốc độ rotor cụ thể. Với sự linh hoạt này, khối BLDC có thể được sử dụng trong cả mô phỏng khái niệm, nơi ưu tiên tính đơn giản, lẫn mô phỏng chi tiết, nơi yêu cầu độ chính xác cao dựa trên dữ liệu thực nghiệm.

~ (Dòng điện xoay chiều 3 pha): Dòng điện 3 pha được cung cấp từ khối Switch để cung cấp năng lượng cho động cơ BLDC.

n (Cổng nối đất hoặc âm): Đây là cổng nối đất hoặc cổng âm của động cơ. Cổng này giúp ổn định mạch và tạo ra một mức điện áp chuẩn để động cơ hoạt động ổn định.

R (Cảm biến Hall): Lấy tín hiệu đầu ra của cảm biến Hall, giúp dễ phát hiện vị trí của rotor và xác định thời điểm kích hoạt cuộn dây tạo ra từ trường quay đúng pha.

C (Phản hồi điều khiển): Tín hiệu này cho phép hệ thống điều khiển theo dõi tốc độ thực tế của động cơ và so sánh với tốc độ mong muốn (giá trị tham chiếu).

Để hiệu chỉnh các thông số phù hợp với loại động cơ điện đã được tính toán và lựa chọn ở chương 2, người dùng có thể thao tác trực tiếp trên mô hình bằng cách nhấp đúp vào khối BLDC. Khi thực hiện, cửa sổ tham số của khối sẽ hiển thị, cho phép truy cập toàn bộ các đặc tính kỹ thuật của động cơ. Tại đây, ta có thể điều chỉnh các giá trị định mức như công suất, điện áp, dòng điện, hằng số mô-men xoắn, hằng số suất điện động ngược cũng như các đặc tính về quán tính và hệ số ma sát để bảo đảm mô phỏng sát với điều kiện thực tế.


Block Parameters: Động cơ đồng bộ

BLDC

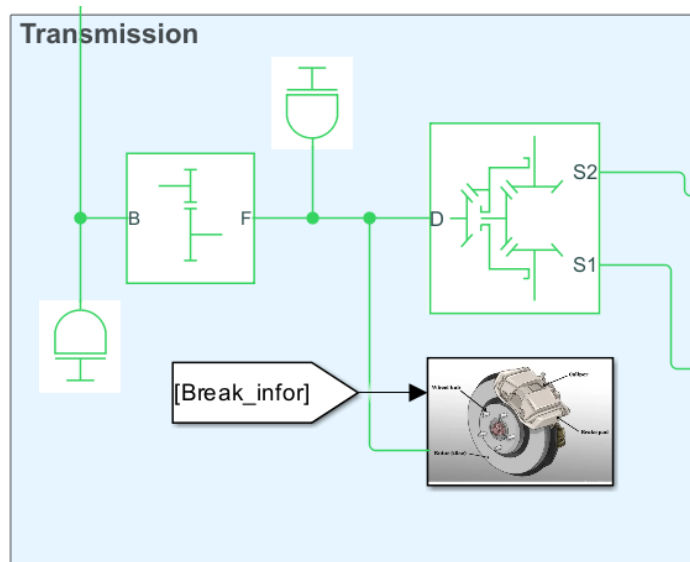
☒ Auto Apply

Settings	Description	VALUE
NAME		VALUE
Electrical connection		Composite three-phase ports
Back EMF profile		Perfect trapezoid - specify maximum rotor-induced back emf
> Rotor angle over which back emf is constant	180/(2*4)	22.5 deg
> Maximum rotor-induced back emf	48	V
> Rotor speed used for back emf measurem...	380	rpm
> Number of pole pairs	4	
Rotor angle definition		Angle between the a-phase magnetic axis and the q-axis
Stator		
Winding type		Wye-wound
Stator parameterization		Specify Ld, Lq, and L0
Modeling fidelity		Constant Ld and Lq
> Stator d-axis inductance, Ld	0.6e-3	H
> Stator q-axis inductance, Lq	0.6e-3	H
> Stator zero-sequence inductance, L0	0.00016	H
> Stator resistance per phase, Rs	0.03	Ohm

Hình 3.14 Bảng hiệu chỉnh các thông số cho động cơ điện

b. Mô hình hóa hộp giảm tốc cho xe

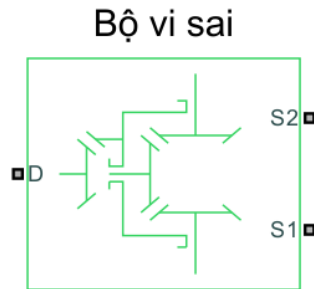
Mô hình hóa hộp giảm tốc trong Matlab/Simulink được sử dụng để tái hiện quá trình truyền công suất từ trục động cơ điện đến bánh xe chủ động. Hộp giảm tốc được biểu diễn dưới dạng một khối truyền động với các tham số chính gồm tỷ số truyền, hiệu suất truyền động và momen quán tính của các phần tử quay. Trong mô phỏng, khối này thực hiện biến đổi mô-men xoắn và tốc độ quay theo quan hệ cơ bản của cơ cấu bánh răng: mô-men được khuếch đại theo tỷ số truyền, trong khi tốc độ quay được giảm tương ứng. Việc đưa mô hình hộp giảm tốc vào Simulink giúp phản ánh chính xác đặc tính động lực học của hệ thống truyền lực, hỗ trợ đánh giá khả năng tăng tốc, hiệu suất năng lượng cũng như sự tương thích giữa động cơ điện và hệ truyền động của xe. Mô hình hóa hộp giảm tốc trong Matlab/Simulink được mô tả trên hình 3.15.



Hình 3.15 Mô hình hóa hệ thống truyền lực của xe

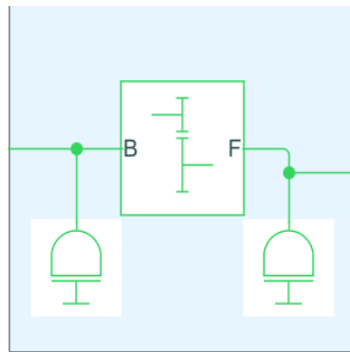
- Khối bộ vi sai: Được sử dụng để mô phỏng cơ cấu truyền lực dạng bánh răng cho phép các trục dẫn động quay với tốc độ khác nhau, phù hợp với nguyên lý làm việc thực tế của vi sai trên ô tô. Cơ cấu này đóng vai trò quan trọng trong việc phân phối mô-men xoắn và điều chỉnh tốc độ giữa các bánh xe, đặc biệt khi xe vào cua, nhờ đó hạn chế hiện tượng trượt lốp và nâng cao tính ổn định động học. Trong cấu hình khối, các cổng D, S1 và S2 lần lượt đại diện cho trục truyền động dọc và hai trục bánh răng mặt trời của vi sai. Đặc điểm của mô hình là cho phép bất kỳ trục nào trong ba trục cũng có thể đóng vai trò dẫn động, đồng thời truyền công suất đến hai trục còn lại theo quan hệ động học của cơ cấu bánh răng hành tinh. Nhờ đó, khối vi sai không chỉ phản ánh chính xác chức

năng phân phối mô-men trong hệ thống truyền lực mà còn hỗ trợ linh hoạt trong các kích bản mô phỏng động lực học xe. Mô hình hóa khối vi sai được mô tả trên hình 3.16.



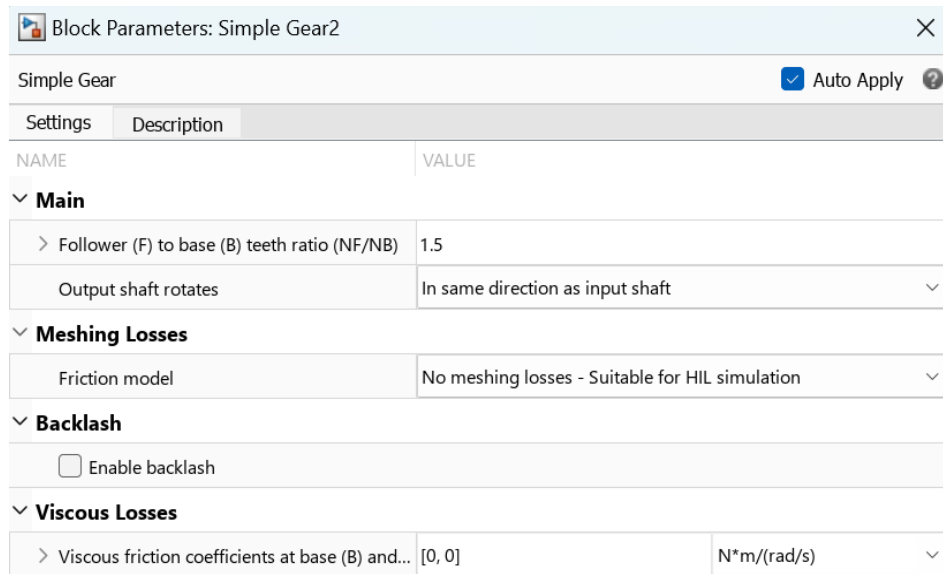
Hình 3.16 Khối vi sai

- Khối bánh răng đơn giản: Mô hình hóa hệ thống truyền động có thể được thực hiện bằng cách sử dụng khối Simple Gear trong Matlab Simulink, nhằm đơn giản hóa việc biểu diễn các thông số động lực học của cụm bánh răng. Khối này mô phỏng một cặp bánh răng ăn khớp với tỷ số truyền cố định, bỏ qua ảnh hưởng của mô men quán tính và ma sát nội tại của bánh răng, từ đó giúp rút gọn mô hình nhưng vẫn giữ được quan hệ cơ bản giữa tốc độ quay và mô-men xoắn ở đầu vào và đầu ra. Hình minh họa của khối bánh răng đơn giản được thể hiện bên dưới. Do tốc độ ban đầu của động cơ điện rất lớn đồng nghĩa với việc momen kéo ban đầu không cao làm khả năng tăng tốc của xe không tối ưu, vì vậy ta chọn khối gear tăng tỷ số truyền lên lúc này momen kéo động cơ sẽ được tối ưu hơn. Mô hình hóa khối hộp số được mô tả trên hình 3.17.



Hình 3.17 Khối bánh răng đơn giản (hộp số)

Ngoài ra, khối Simple Gear cho phép người dùng hiệu chỉnh các đặc tính liên quan đến quá trình ăn khớp răng, như hiệu suất truyền động hoặc độ cứng ăn khớp, để phản ánh gần hơn với điều kiện thực tế. Nhờ vậy, khối này vừa đảm bảo tính đơn giản trong mô phỏng, vừa cung cấp đủ độ chính xác để nghiên cứu các đặc tính chính của hệ thống truyền lực.

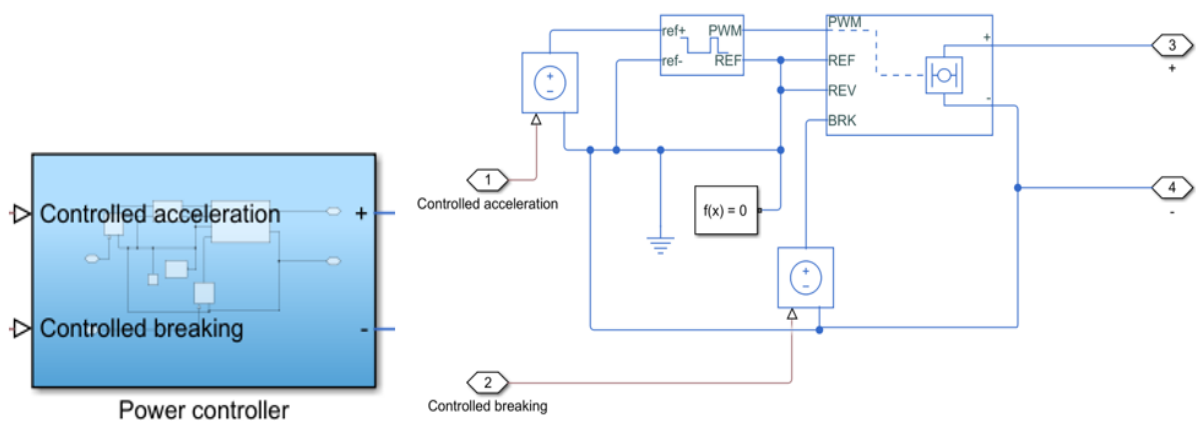


Hình 3.18 Thiết lập tỷ số truyền của hệ thống bánh răng

Khối Simple Gear cho phép thiết lập tỷ số quay của hệ thống bánh răng. Tỷ số quay này xác định mối quan hệ giữa tốc độ quay của cổng vào và tốc độ quay của cổng ra theo công thức: Tỷ số quay = NF/NB . Với NF là số răng của bánh răng bị dẫn, NB là số răng của bánh răng chủ động.

3.1.4. Mô hình hóa bộ điều khiển động cơ

Mô hình hóa bộ điều khiển động cơ trong Matlab/Simulink được sử dụng để tái hiện thuật toán điều khiển điện – cơ của hệ truyền động điện trên ô tô. Bộ điều khiển thường bao gồm các khối chính như bộ biến đổi tọa độ, bộ điều khiển dòng điện PI, bộ điều khiển tốc độ, khối điều chế PWM. Cấu trúc này cho phép kiểm soát độc lập mô-men và từ thông, bảo đảm động cơ đáp ứng nhanh, ổn định và đạt hiệu suất cao trong nhiều chế độ vận hành. Bộ chuyển đổi tín hiệu PWM được mô tả trong hình 3.19.

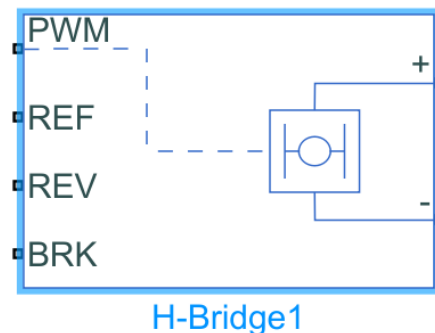


Hình 3.19 Khối mô hình hóa bộ chuyển đổi tín hiệu PWM

Các tín hiệu đặt đầu vào được cảm nhận từ tín hiệu lái của khối mô phỏng người lái xe sau đó tín hiệu của xe hồi về đưa đến thiết bị bộ điều khiển công suất (power Controller) lúc đó sẽ chuyển từ tín hiệu lái sang tín hiệu dạng xung PWM. Lúc này tín hiệu PWM sẽ đưa ra bộ chuyển đổi để đưa vào hệ thống chuyển đổi khối công tắc Swich để đưa các tín hiệu đến công tắc đóng ngắt để điều khiển tốc độ động cơ.

Trong hình 3.19 là mô hình hóa khối power contronller bao gồm các khối nhỏ để điều khiển như sau:

- **Bộ chuyển đổi nguồn điện:** Bộ chuyển đổi nguồn điện để cung cấp điện áp từ pin của xe đến động cơ điện để nó có thể hoạt động bình thường với các thông số cần thiết. Khối này kiểm soát công suất đầu vào của motor dựa theo tải yêu cầu. Khối này sẽ hoạt động theo hai chế độ: Xung PWM và trung bình. Trên khối này có các chân +, - dùng để kết nối với chân nguồn của motor. Chân PWM là chân tín hiệu PWM từ khối control PWM. Chân REF và REV được nối mass. Chân BRK được nối với tín hiệu giảm tốc hoặc phanh tái sinh. Ở khối này ngoài việc cung cấp nguồn điện lý tưởng cho động cơ thì còn có chức năng ngắt dòng điện khi đạp phanh, lúc này động cơ sẽ có chức năng giống như là máy phát, phát điện sạc lại cho pin. . Mô hình hóa khối H-Bridge được mô tả trên hình 3.20.



Hình 3.20 Khối H-Bridge trong Matlab/Simulink

Cầu H có 2 mặt: mặt trái dùng để điều khiển tín hiệu điện áp và mặt phải dùng để các đầu cực cung cấp điện áp được điều khiển cho động cơ điện. Các cổng bên trái của khối cầu H là: PWM -cung cấp xung điện áp cho cầu H ở chế độ PWM hoặc chế độ trung bình, REF -Tham khảo, REV -đảo ngược, BRK - phanh. Nhấn đúp vào khối để mở khối H – Bridge để hiệu chỉnh các thông số được hiển thị bên dưới hình 3.21:

Block Parameters: H-Bridge

H-Bridge

Auto Apply

Settings

Description

NAME

VALUE

Power supply

Internal

Simulation mode

Averaged

Regenerative braking

Depends on REV flag and current sign

Load current characteristics

Smoothed

Input Thresholds

> Enable threshold voltage

10

V

> PWM signal amplitude

20

V

> Reverse threshold voltage

10

V

> Braking threshold voltage

10

V

Bridge Parameters

> Output voltage amplitude

380

V

> Total bridge on resistance

0.1

Ohm

Freewheeling diode on resistance

0.1

Ohm

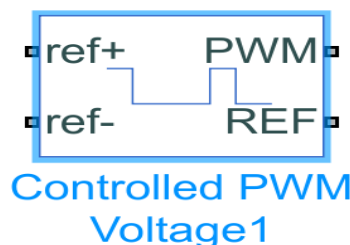
Freewheeling diode off-state conductance

1e-6

S

Hình 3.21 Thông số khối cầu H-Bridge trong mô hình mô phỏng

- **Khối điều khiển điện áp:** Khối điều khiển điện áp PWM đại diện cho một nguồn xung PWM đã được điều chỉnh. Chân ref+ và ref- dùng để tính toán chu trình vận hành dựa trên điện áp mong muốn. Chân PWM là chân tín hiệu điện đã được điều chỉnh độ rộng xung. Chân REF được nối mass. Cần phải điều chỉnh khối H-bridge và controlled PWM voltage cùng một chế độ trung bình thì mô hình mới hoạt động được. Mô hình hóa bộ điều khiển điện áp PWM như trên hình 3.22.



Hình 3.22 Khối mô phỏng bộ điều khiển điện áp PWM

Tần số PWM hoạt động của xe là 1000 (Hz), Biên độ điện áp ra của xe bằng với biên độ điện áp đầu ra của khối H-bridge của xe. Tín hiệu đầu vào của khối bắt đầu từ 0 đến 1. Tín hiệu này phụ thuộc vào tín hiệu tăng tốc và giảm tốc.

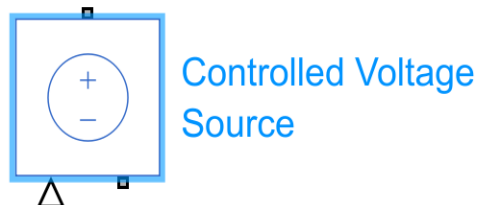
Block Parameters: Controlled PWM Voltage

☒ Auto Apply

Settings	Description
NAME	VALUE
Modeling option	Electrical input ports
▼ PWM	
PWM frequency	1000 Hz
Simulation mode	Averaged
▼ Input Scaling	
> Input voltage for 0% duty cycle	0 V
> Input voltage for 100% duty cycle	1 V
▼ Output Voltage	
▼ Output voltage amplitude	360 V
Configurability	Compile-time

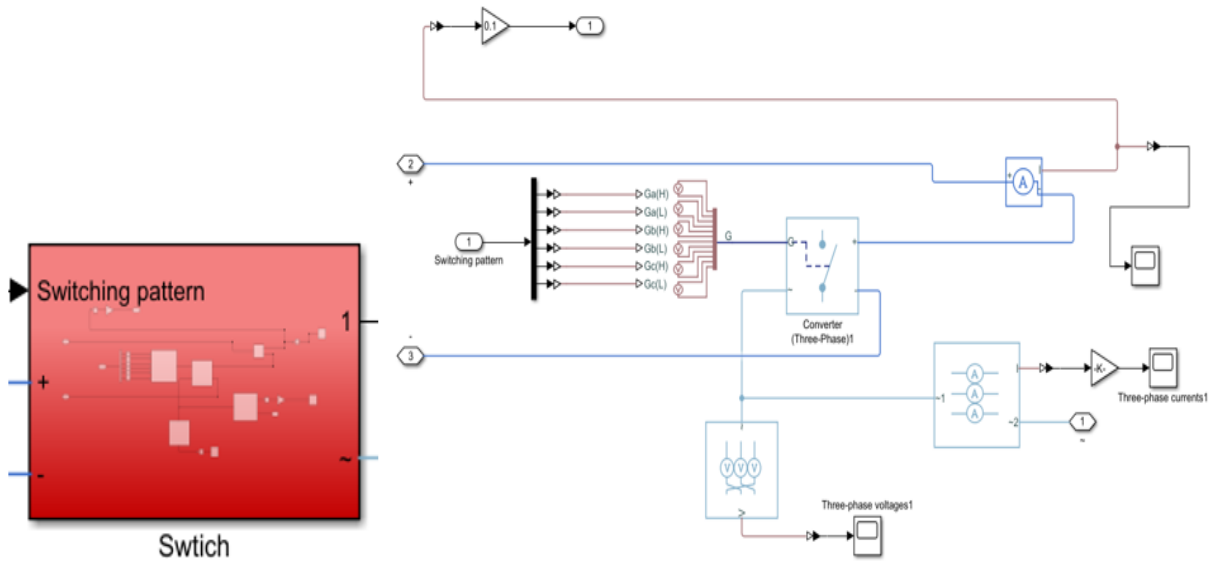
Hình 3.23 Giá trị hiệu chỉnh các thông số trong khối PWM

- **Khối kiểm soát nguồn điện (Controlled voltage Source):** Thông thường, Pin bên ngoài sẽ phụ trách phân cung cấp năng lượng cho bộ điều khiển này, tuy nhiên để tránh hệ thống phức tạp thì ta chọn khối Controlled voltage source này để mô phỏng cung cấp nguồn năng lượng điều khiển cho động cơ. Ta sử dụng 2 khối để lấy tín hiệu từ phanh và ga từ đó có thể điều khiển dòng điện phù hợp. Mô hình hóa khối kiểm soát nguồn điện như trên hình 3.24.



Hình 3.24 Khối kiểm soát nguồn điện

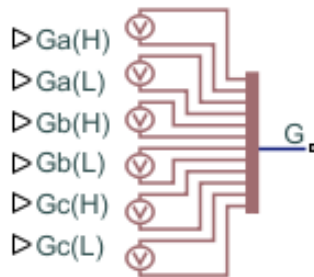
- **Khối cấp nguồn cho động cơ (Switch):** được hiểu như là một công tắc đóng mở và chuyển đổi hợp lý các pha a,b,c trong động cơ BLDC dựa vào tín hiệu cảm biến Hall. Mô hình hóa khối cấp nguồn cho động cơ như trên hình 3.25.



Hình 3.25 Mô hình hóa khối Switch

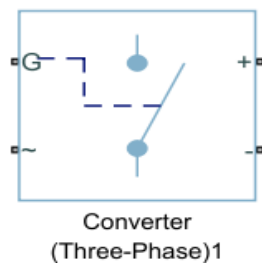
Hệ thống bao gồm các khối điều khiển chính sau:

- Six-Pules Gate: Ta chọn khối này để mô phỏng và điều khiển đóng mở 6 con Transistor để cấp nguồn phù hợp cho các pha a, b, c. Mô hình hóa khối mô phỏng điều khiển đóng mở Transistor như hình 3.26.



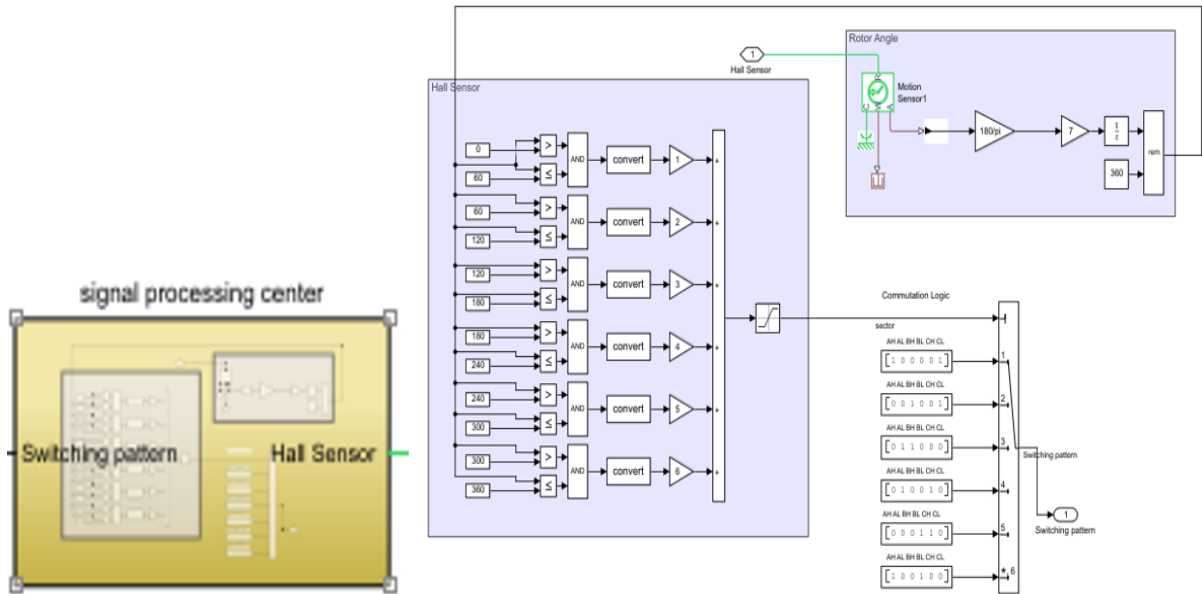
Hình 3.26 Khối mô phỏng điều khiển động mở Transistor

- Converter (Three-Phas): Sau khi tổng hợp lại thông tin cấp nguồn từ Six-Pules thông qua chân G, khối này sẽ chuyển đổi dòng DC thành nguồn điện 3 phase để cung cấp hợp lý các pha trên động cơ BLDC. Mô hình khối Converter như hình 3.27.



Hình 3.27 Khối Three-Phase trên Matlab/Simulink

- **Khối trung tâm xử lý tín hiệu Hall Sensor:** đây được ví như bộ não của hệ thống, giúp điều khiển chính xác thời gian cấp nguồn cho các phase (thời điểm đóng ngắt các Transistor). Sau khi các thông tin được mã hóa thì sẽ được gửi đến Switch để điều khiển phù hợp các phase động cơ. Mô hình hóa khối trung tâm xử lý tín hiệu Hall như hình 3.28.

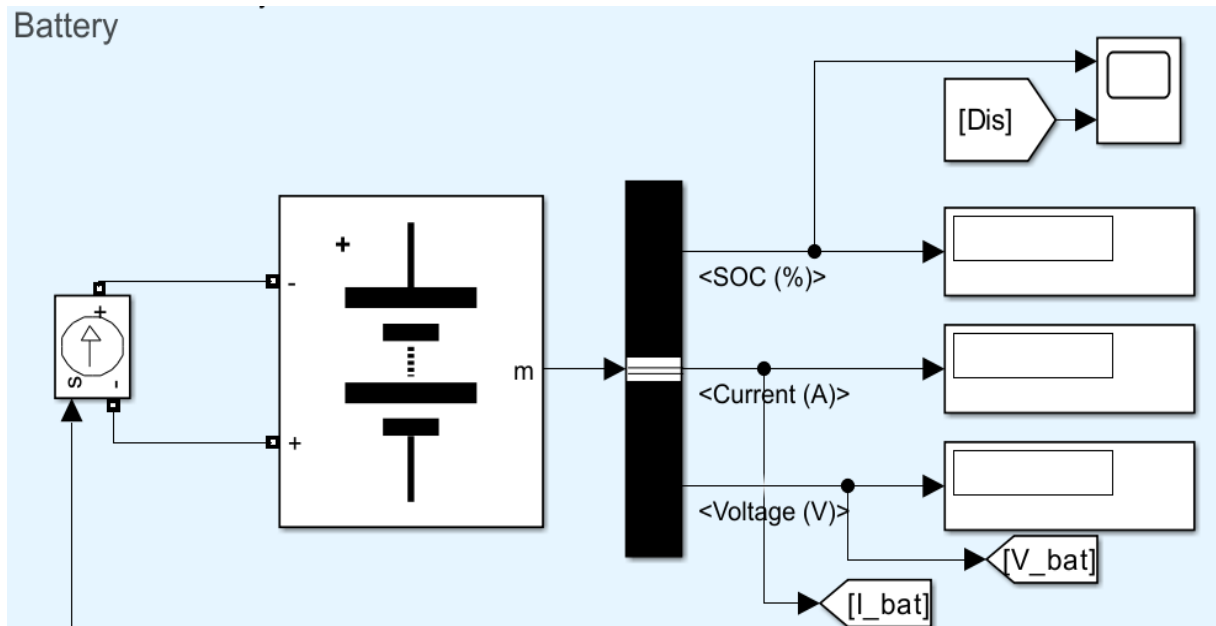


Hình 3.28 Mô hình hóa khối xử lý tín hiệu

3.1.5. Mô hình hóa hệ thống pin

Mô hình hóa hệ thống pin trong Matlab Simulink cho phép mô phỏng đặc tính điện hóa và động học của bộ nguồn trên ô tô điện. Thông qua các khối chuyên dụng, mô hình có thể tái hiện trạng thái sạc (SOC), nhiệt độ và dòng điện tải. Việc xây dựng mô hình này giúp đánh giá khả năng cung cấp công suất, hiệu suất nạp xả. Đây là cơ sở quan trọng để thiết kế, tối ưu hệ thống quản lý năng lượng (BMS) và đảm bảo hoạt động ổn định cho toàn bộ hệ thống truyền động điện.

- Ngoài ra, mô hình pin trong Simulink còn hỗ trợ kiểm tra khả năng đáp ứng tức thời của pin khi thay đổi phụ tải, phân tích sự sụt áp trong quá trình phóng điện, cũng như dự báo giới hạn làm việc an toàn. Mô hình có thể tích hợp với các mô-đun khác như bộ điều khiển, động cơ điện hoặc bộ sạc nhằm mô phỏng toàn diện chu trình vận hành của xe. Nhờ vậy, kỹ sư có thể thực hiện các bài toán tối ưu như giảm tổn hao năng lượng, cân bằng dòng giữa các cell và tăng độ tin cậy cho hệ thống. Mô hình hóa hệ thống pin trong Matlab Simulink như hình 3.29.



Hình 3.29 Mô hình hóa hệ thống pin

Từ hình trên cho thấy đây là khối mô phỏng toàn bộ hệ thống pin của xe và các kết quả của pin. Khi động cơ hoạt động thì hệ thống sẽ phụ thuộc vào tín hiệu dòng điện đo được ở Switch để đưa ra các hiển thị SOC (%), Voltage(V), Current (A) giúp ta có thể quan sát được khả năng nạp xả. Dưới đây là thông số của khối pin mô phỏng.

Block Parameters: Battery

Battery (mask) (link)

Implements a generic battery model for most popular battery types. Temperature and aging (due to cycling) effects can be specified for Lithium-Ion battery type.

Parameters Discharge Aging

Type: Lithium-Ion

Temperature

☐ Simulate temperature effects

Aging

☒ Simulate aging effects

Nominal voltage (V) 380

Rated capacity (Ah) 170

Initial state-of-charge (%) 100

Battery response time (s) 30

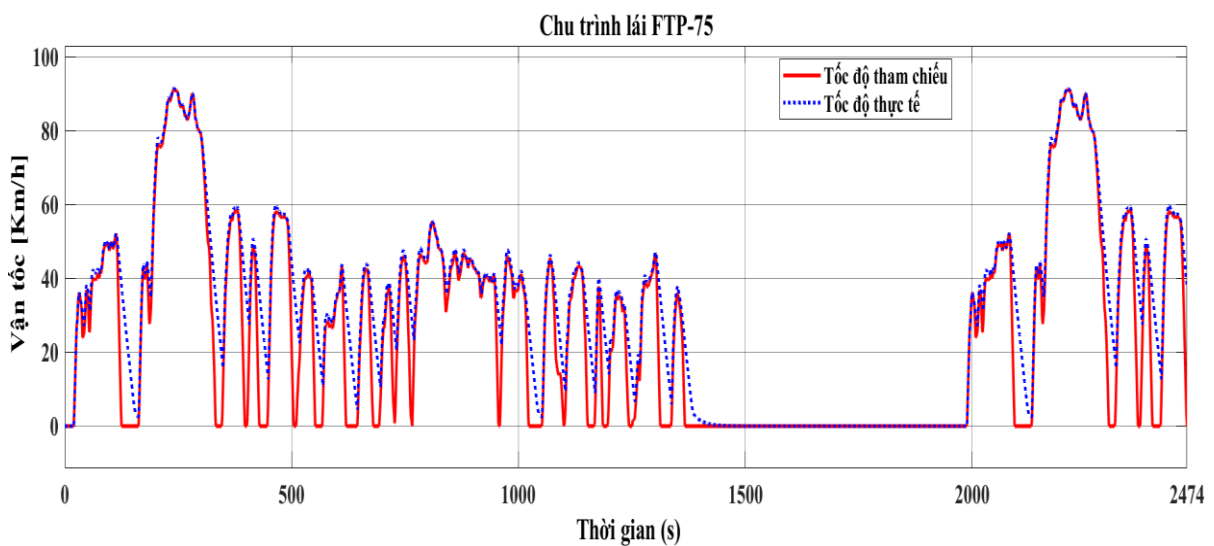
Hình 3.30 Thông số của bộ pin mô phỏng

3.2. Kết quả mô phỏng và phân tích đánh giá

Trong nghiên cứu này, chu trình mô phỏng được lựa chọn là chu trình lái xe đô thị FTP-75 với tổng thời gian 2474 giây. Đây là một trong những chu trình thử nghiệm tiêu chuẩn được các cơ quan quản lý và tổ chức kiểm định quốc tế quy định, nhằm đánh giá mức tiêu thụ năng lượng, khí thải cũng như khả năng vận hành của phương tiện trong điều kiện giao thông đô thị đặc trưng. Trước khi một mẫu xe được thương mại hóa và đưa ra thị trường, các nhà sản xuất đều phải tiến hành thử nghiệm và chứng minh khả năng đáp ứng yêu cầu theo chu trình này. Trong phần mềm Matlab/Simulink, chu trình FTP-75 đã được tích hợp sẵn dưới dạng dữ liệu mô phỏng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc nghiên cứu và kiểm chứng. Để đảm bảo tính khách quan và sát thực tế, quá trình mô phỏng lựa chọn bề mặt đường nhựa khô làm điều kiện thử nghiệm. Đây là loại mặt đường có hệ số bám cao, ổn định và phản ánh rõ đặc tính động lực học của phương tiện. Đồng thời, đường nhựa khô cũng phù hợp với phần lớn điều kiện giao thông đô thị trong thực tế, từ đó giúp kết quả mô phỏng có độ chính xác và khả năng ứng dụng cao hơn.

3.2.1. Phân tích đánh giá kết quả mô phỏng vận tốc xe tham chiếu và thực tế theo chu trình lái

Khi thực hiện mô phỏng chu trình FTP-75 trong khoảng thời gian 2474 giây, đồ thị vận tốc thu được ở trên cho thấy rằng trong các giai đoạn tăng tốc và giảm tốc, không có sự khác biệt đáng kể giữa vận tốc của chu trình và vận tốc thực tế của xe thiết kế. Biểu đồ vận tốc xe mong muốn và thực tế FTP-75 như trong hình 3.31.

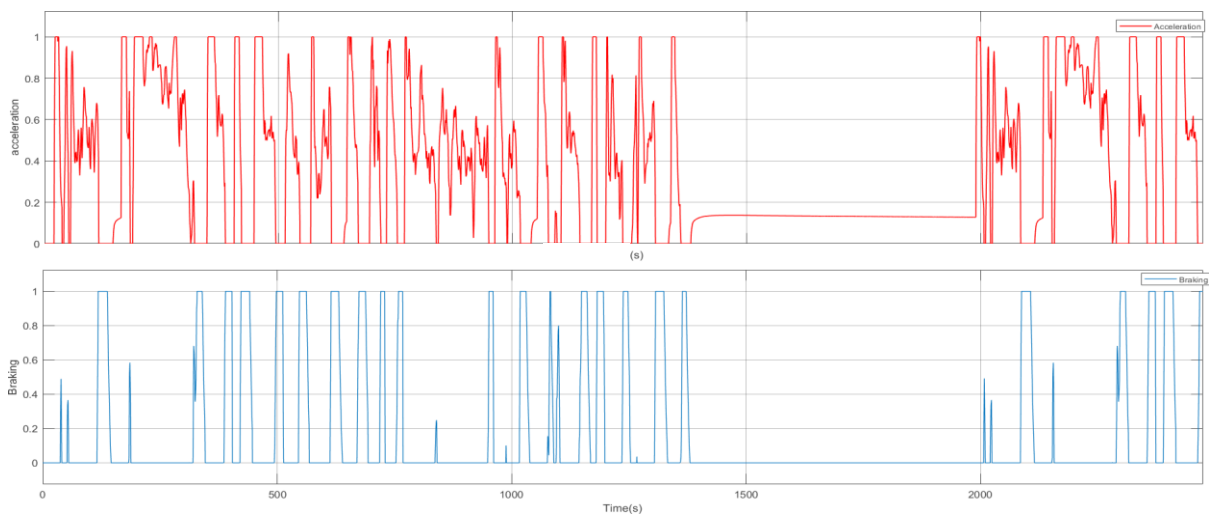


Hình 3.31 Biểu đồ vận tốc xe mong muốn và thực tế FTP-75

Về tổng thể, tốc độ thực tế bám theo tín hiệu tham chiếu rất tốt, đường tốc độ thực tế (màu xanh chấm) trùng khít với đường tốc độ tham chiếu (màu đỏ) hầu hết thời gian mô phỏng. Biểu đồ cho thấy hệ thống điều khiển hiện tại đạt hiệu quả tốt trong đa số điều kiện của chu trình FTP-75, với sai số nhỏ và khả năng bám theo tham chiếu tốt. Sai số nhỏ còn tồn tại chủ yếu ở những pha chuyển tiếp nhanh do quán tính của xe thực tế khi phanh và giảm tốc từ từ về 0. Ngoài ra, do xe có khối lượng tương đối lớn dẫn đến khi phanh hoặc khi giảm tốc sẽ dẫn đến hiện tượng quán tính đẩy xe về phía trước. Điều này chứng minh rằng các thông số tính toán thiết lập ban đầu đã được tính toán lựa chọn hiệu chỉnh phù hợp, đảm bảo xe đáp ứng được yêu cầu của chu trình lái xe đô thị FTP-75 một cách chính xác và ổn định.

3.2.2. Phân tích, đánh giá khả năng tăng tốc, giảm tốc của xe

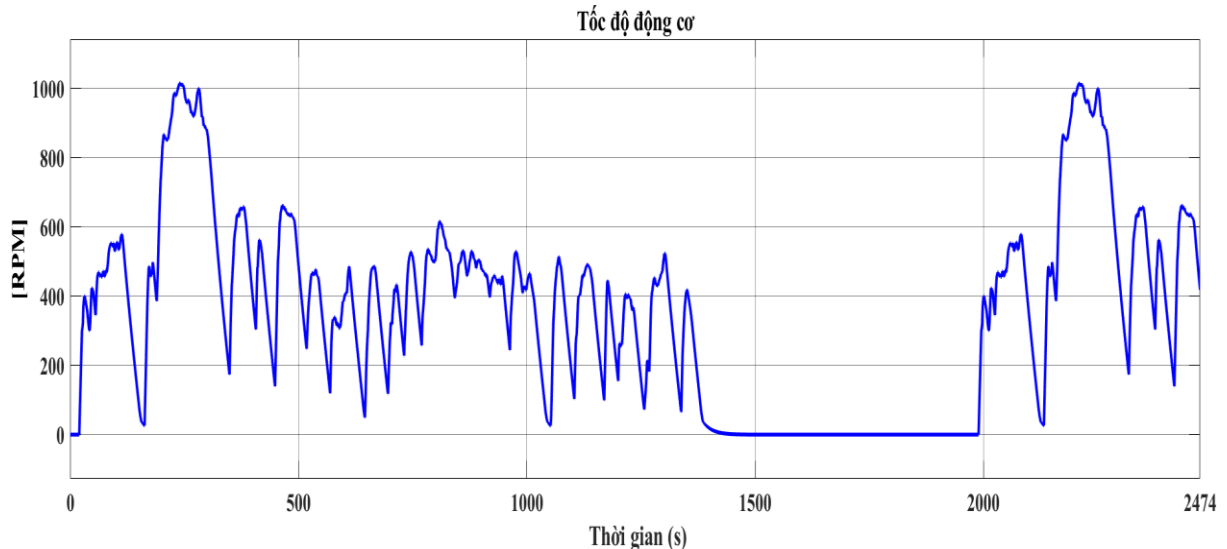
Kết quả mô phỏng quá trình tăng tốc và giảm tốc (phanh) trong quá trình mô phỏng được thể hiện trên biểu đồ hình 3.32. Tín hiệu này được lấy từ khối điều khiển người lái (Longitudinal Driver) và dựa vào chu trình lái xe đô thị FTP-75. Tín hiệu tăng tốc (Acceleration): dao động liên tục trong khoảng 0...1, nhiều xung ngắn và vùng giữ cao; xuất hiện nhiều lệnh tăng tốc đột ngột. Ở giữa chu trình xuất hiện một vùng gần phẳng (giai đoạn chạy đều/dừng dài của chu trình lái FTP-75), tín hiệu phanh giảm tốc (Braking): có dạng rời rạc, gần như ON/OFF (0 hoặc ~1) với rất nhiều chuyển đổi liên tiếp. Khoảng thời gian giữa khởi động lạnh và khởi động nóng thực sự không có phanh (brake = 0). Nhận xét rằng trên đồ thị tăng tốc có những đoạn đường tín hiệu bé nhất, đồng thời trên đồ thị giảm tốc những đoạn đó lại là giá trị cực đại và ngược lại.



Hình 3.32 Đồ thị tín hiệu tăng tốc-giảm tốc của xe theo chu trình lái FTP-75

3.2.3. Phân tích, đánh giá kết quả mô phỏng đặc tính tốc độ, mô men và công suất của động cơ điện

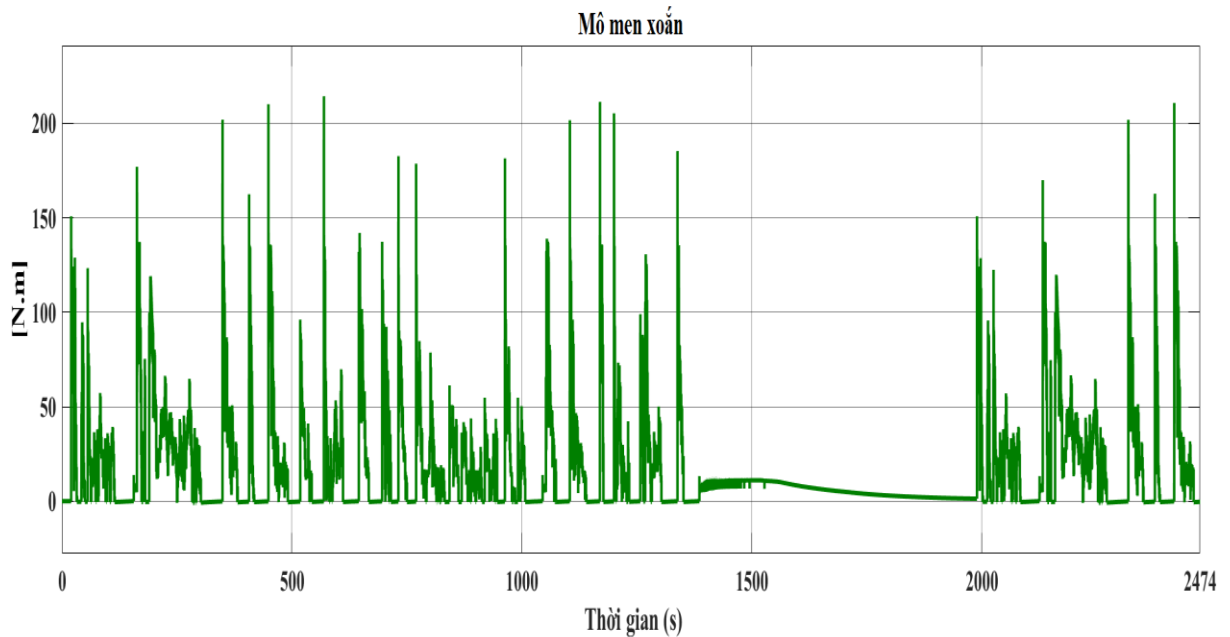
Kết quả mô phỏng tốc độ động cơ theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.33.



Hình 3.33 Đồ thị tốc độ động cơ theo chu trình lái FTP-75

Phạm vi tốc độ: tốc độ rotor dao động chủ yếu khoảng từ 0 -1050 rpm, với các đỉnh lớn gần 1050rpm. Hình thái theo thời gian: nhiều pha tăng/giảm nhanh ở đoạn đầu và cuối chu trình (đặc trưng chu trình FTP-75), vùng giữa có đoạn dừng lâu (gần 0 rpm) tương ứng giai đoạn nghỉ 10 phút. Phân bố thời gian: phần lớn thời gian motor hoạt động ở vùng tốc độ thấp-trung (khoảng 100–600 rpm). Động cơ không đổi chiều quay: tốc độ động cơ luôn dương → không thấy đảo chiều (xe không chạy lùi). Các đỉnh cao xuất hiện ngắn (xung tăng tốc). Độ mượt: tốc độ có các nhấp nhô trong các pha tăng/giảm - biểu hiện quán tính hệ, giới hạn điều khiển. Vì motor thường chạy nhiều ở vùng tốc độ thấp và trung bình với mô-men lớn nên cần đảm bảo làm mát đủ để tản nhiệt tổn hao liên tục. Từ những phân tích, đánh giá trên và cùng với đồ thị trên hình 3.31 ở phần trên cho thấy đường đồ thị vận tốc mô phỏng bám sát với vận tốc tham chiếu nên tốc độ động cơ mô phỏng **cũng đáp ứng đạt yêu cầu theo chu trình chạy của xe**. Tốc độ của động cơ tăng giảm theo chu kỳ mô phỏng cho thấy được tính chính xác của động cơ khi tăng tốc và giảm tốc.

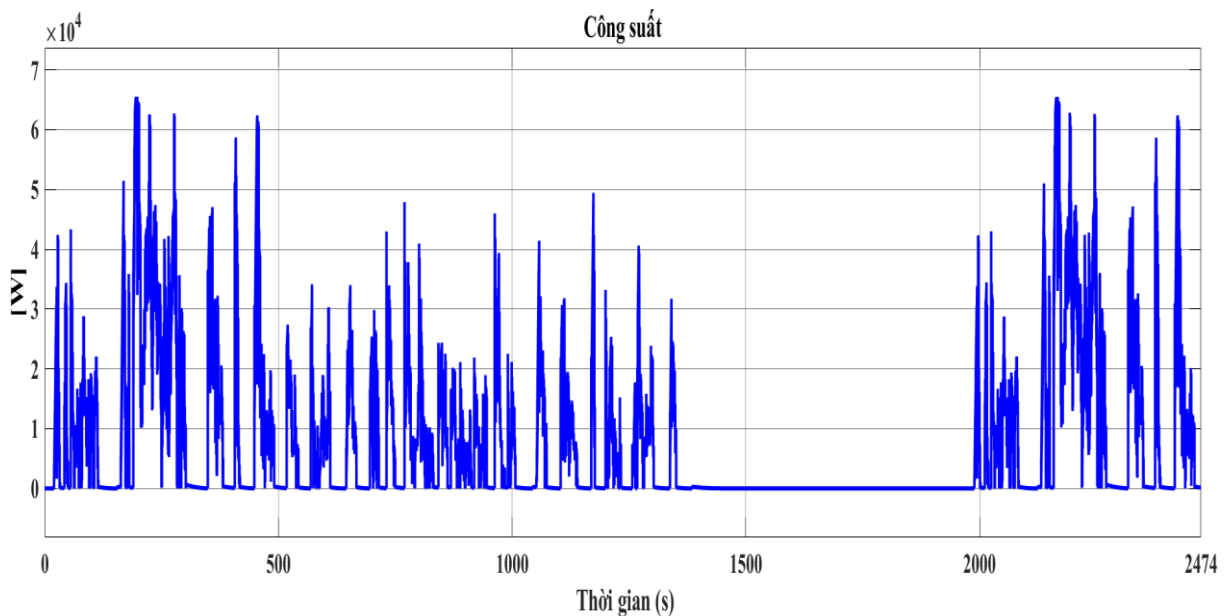
Kết quả mô phỏng mô men xoắn động cơ từ Matlab/Simulink theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.34.



Hình 3.34 Đồ thị mô men xoắn động cơ

Mô-men dao động chủ yếu trong khoảng 0 đến 220 N.m, với nhiều đỉnh nhọn lên đến 200–220 N.m. Đặc điểm thời gian: nhiều xung ngắn và lặp lại (đặc trưng chu trình lái xe đô thị FTP-75), xen kẽ nhiều trạng thái gần bằng N.m (dừng/chạy đều). Có một đoạn dài gần 0 tương ứng khoảng dừng 10 phút giữa khởi động lạnh và khởi động nóng của động cơ. Phân bố năng lượng làm việc: phần lớn thời gian motor làm việc ở vùng mô-men thấp đến trung (0–50 N.m), chỉ có các pha ngắn cần mô-men lớn.

Kết quả mô phỏng công suất động cơ theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.32.



Hình 3.35 Đồ thị công suất của động cơ

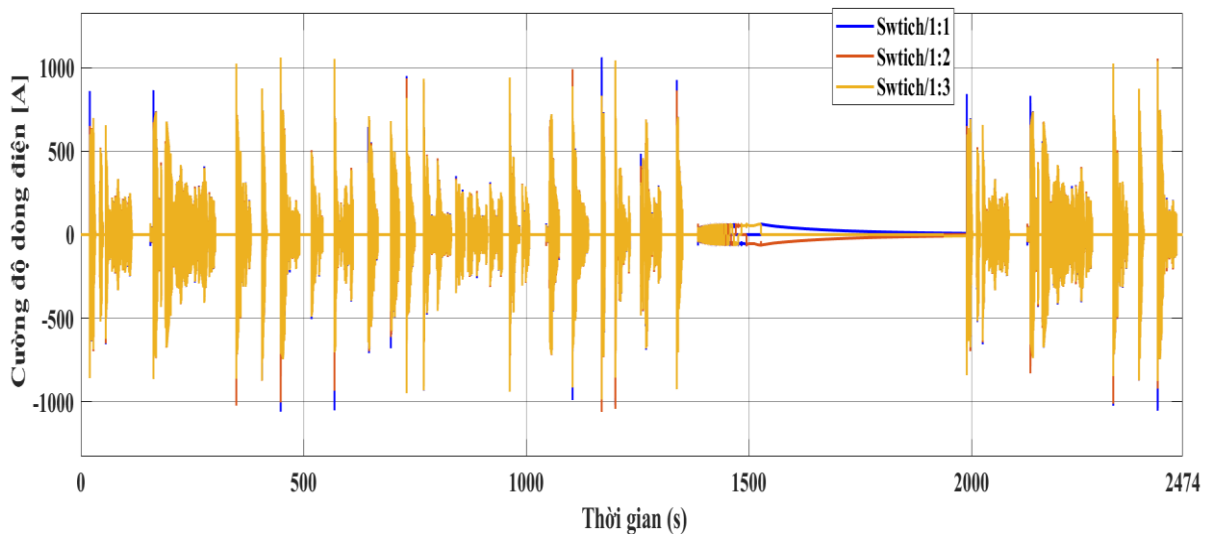
Đồ thị giá trị công suất dao động từ 0 đến khoảng 70 kW. Đa phần thời gian, công suất dao động trong vùng từ 5 đến 30 kW Công suất trung bình thấp, chủ yếu dưới 30 kW phù hợp với yêu cầu năng lượng cho chu trình đô thị, chỉ có các đỉnh công suất cao (~60–70 kW) xuất hiện ở các pha tăng tốc mạnh hoặc tốc độ cao. Thời gian công suất bằng 0 chiếm tỷ lệ đáng kể (khoảng giữa chu trình 1500–2000s và nhiều khoảng ngắn khác), phản ánh các pha dừng xe. Mật độ dao động: công suất thay đổi nhanh và liên tục trong khoảng 0 đến 1000s và 2000 đến 2400s, đúng với đặc trưng chu trình lái xe đô thị FTP-75 (nhiều pha tăng/giảm tốc ngắn). Động cơ điện sử dụng trên xe điện có thể thực hiện hai chức năng như: Chức năng là động cơ điện chuyển đổi điện năng thành cơ năng và chức năng thứ hai là máy phát điện chuyển đổi cơ năng thành điện năng sạc lại cho hệ thống pin. Ta có nhận xét sau đây:

➤ Trường hợp mô men dương (tăng), vận tốc góc dương (động cơ quay cùng chiều) và công suất dương (tăng). Thì động cơ đang hoạt động ở chế độ động cơ biến đổi điện năng thành cơ năng giúp cho xe di chuyển về phía trước.

➤ Trường hợp mô men âm (giảm), vận tốc góc dương (động cơ quay cùng chiều), công suất âm (giảm). Động cơ đóng vai trò như máy phát biến đổi cơ năng thành điện năng sạc lại cho hệ thống pin.

3.2.4. Phân tích, đánh giá kết mô phỏng cường độ dòng điện và điện áp động cơ

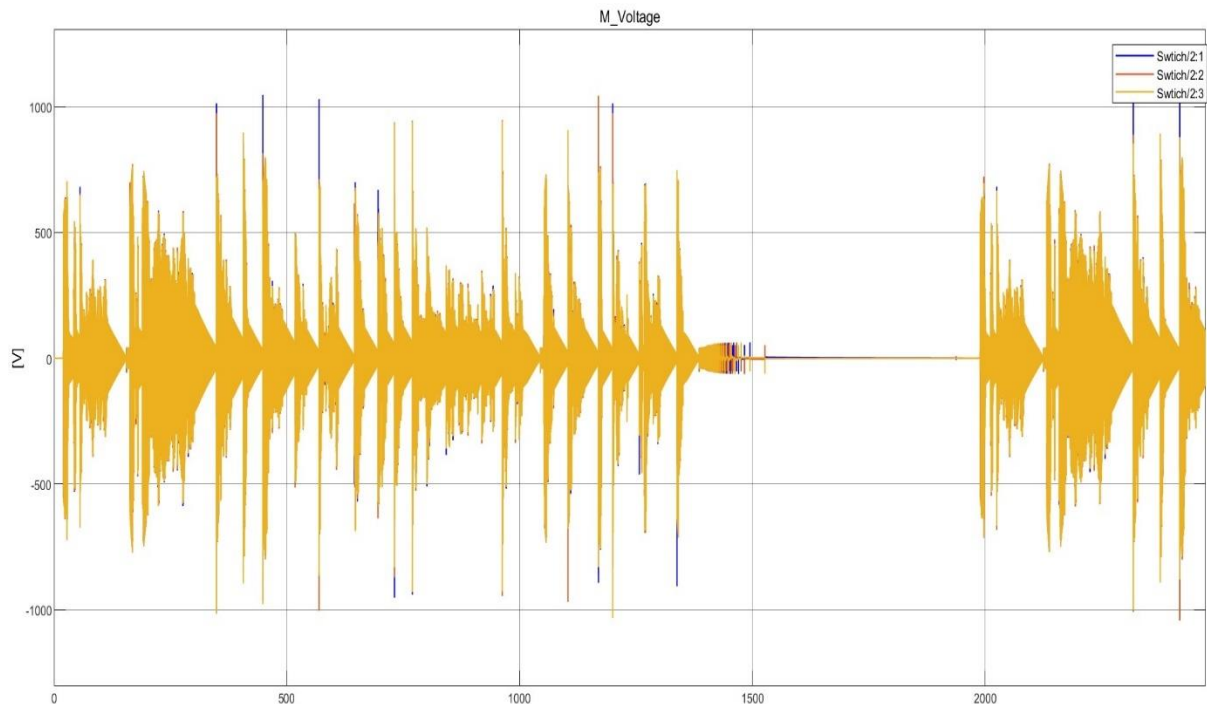
Kết quả mô phỏng cường độ dòng điện động cơ theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.36 dưới đây.



Hình 3.36 Đồ thị cường độ dòng điện của động cơ

Biểu đồ hiển thị cường độ dòng điện 3 pha của động cơ (Switch/1:1, Switch/1:2, Switch/1:3). Dòng điện dao động trong khoảng ± 1000 A, phù hợp với hệ truyền động điện công suất lớn (50–100 kW). Các pha dòng điện có sự đối xứng nhất định và thay đổi liên tục theo tải và tốc độ động cơ. Có sự khác biệt rõ giữa các giai đoạn tăng tốc – chạy ổn định – giảm tốc – dừng. Giai đoạn 0 – 1500s: Dòng điện dao động mạnh, biên độ lớn. Biên độ tăng cao (tới ± 1000 A) khi động cơ tăng tốc nhanh hoặc chịu tải nặng. Khi xe chạy ổn định, dòng điện giảm biên độ nhưng vẫn duy trì dao động PWM cung cấp mô-men xoắn duy trì tốc độ. Sóng dòng điện giữa các pha chồng khít $\rightarrow$ hệ thống nghịch lưu 3 pha làm việc đồng bộ. Giai đoạn 1500 – 2000s: Dòng điện giảm về gần 0, chỉ còn nhiễu rất nhỏ động cơ ngừng hoạt động (xe dừng nghỉ trong chu trình FTP-75). Đây là đặc điểm mong muốn: bộ điều khiển ngắt cấp dòng để tiết kiệm năng lượng. Sau 2000s: Dòng điện tăng trở lại, dao động lớn khi động cơ tăng tốc. Đặc tính tương tự giai đoạn đầu: biên độ dòng lớn khi tăng tốc, giảm xuống khi chạy ổn định. Các pha vẫn giữ đối xứng hệ thống điều khiển dòng điện ổn định. Biên độ dòng lớn ở giai đoạn tăng tốc cho thấy khả năng cung cấp mô-men xoắn mạnh, đảm bảo hiệu suất tăng tốc của xe, phù hợp với đặc tính vận hành của động cơ điện trong chu trình lái thực tế.

Kết quả mô phỏng điện áp động cơ theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.37.

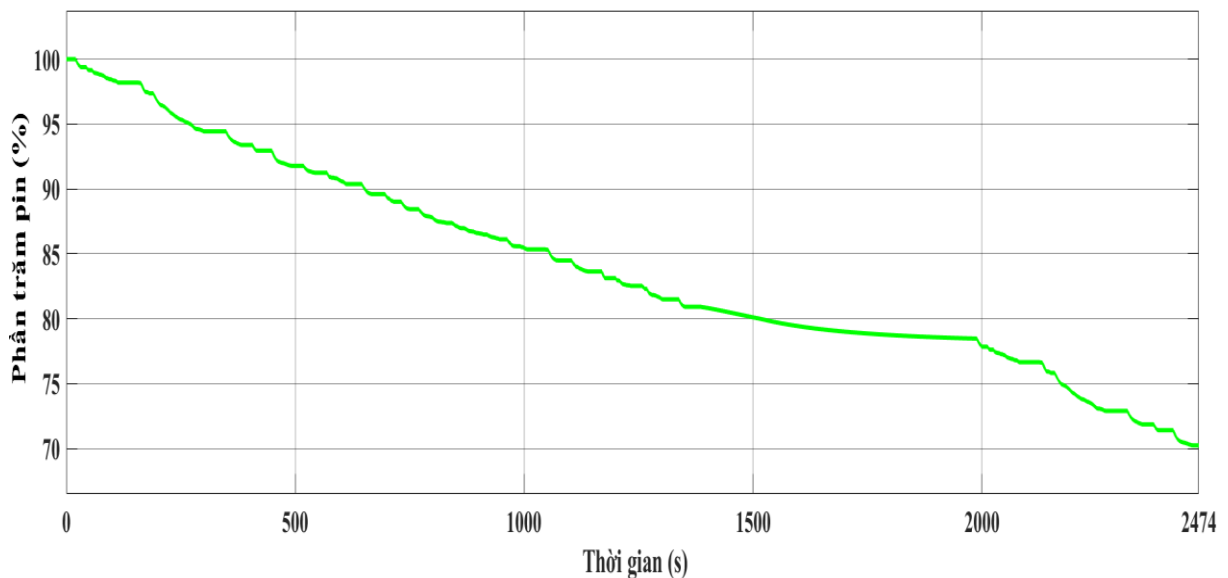


Hình 3.37 Đồ thị điện áp của động cơ

Biểu đồ thể hiện điện áp đầu ra động cơ (các pha) do bộ nghịch lưu điều khiển (Switch/2:1, Switch/2:2, Switch/2:3). Điện áp dao động trong khoảng ± 1000 V, phù hợp với điện áp hệ thống trung–cao áp của xe điện (600–800 VDC sau nghịch lưu ba pha PWM). Dạng sóng đặc trưng: điện áp chuyển mạch xung PWM nên có biên độ cao, thay đổi nhanh theo tải. Có nhiều đoạn biến thiên theo chu kỳ (dao động mạnh khi tăng tốc/tải nặng) và đoạn bằng 0 (xe dừng, không tải hoặc phanh tái sinh), phản ánh đúng đặc trưng vận hành theo chu trình lái thực tế. Biểu đồ điện áp cho thấy bộ nghịch lưu và động cơ hoạt động ổn định, điện áp phân bố cân bằng giữa các pha. Đối với đồ thị điện áp những khoảng tăng và giảm tương ứng với quá trình tăng tốc và giảm tốc hoặc phanh của xe. Ở những khoảng điện áp bằng 0 chính là lúc xe đang dừng lại, lúc này động cơ không hoạt động nên hệ thống pin không cung cấp điện áp cho động cơ hoạt động.

3.2.5. Phân tích, đánh giá quá trình sạc, xả của pin và quãng đường xe đi được

Kết quả mô phỏng quá trình xả pin theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.38.

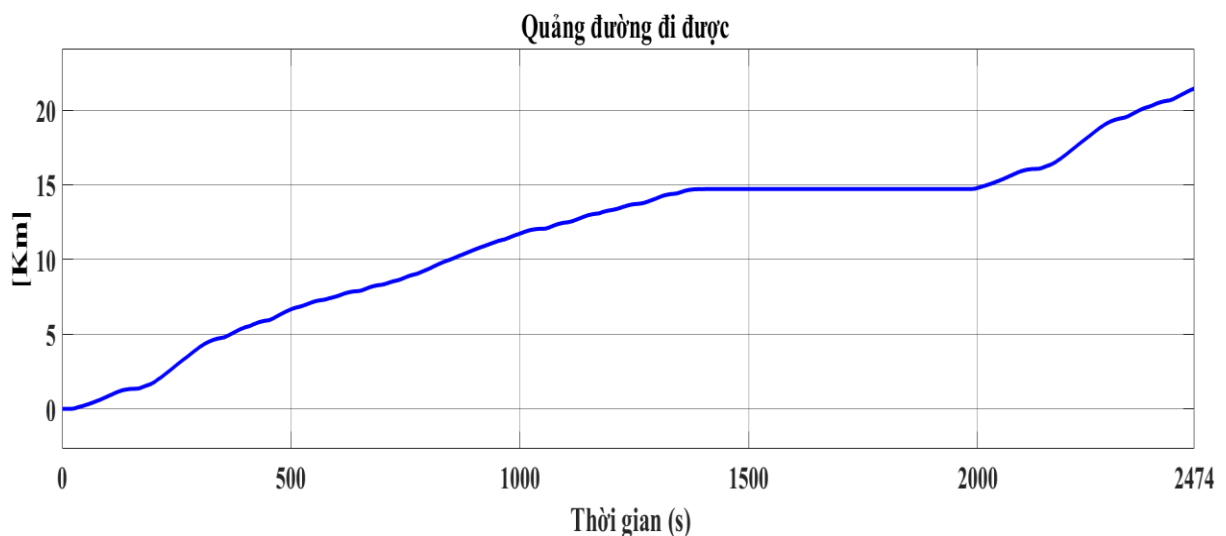


Hình 3.38 Đồ thị pin giảm sau khi mô phỏng

Biểu đồ thể hiện sự suy giảm dung lượng pin theo thời gian trong suốt chu trình lái xe FTP-75 (tổng thời gian mô phỏng là 2474 giây). SOC ban đầu là 100% và giảm dần xuống khoảng hơn 70% khi kết thúc chu trình. Đường cong giảm khá đều, có những đoạn giảm nhanh và những đoạn giảm chậm phản ánh mức tiêu thụ năng lượng thay đổi theo điều kiện vận hành (tăng tốc, giảm tốc, chạy ổn định, dừng). Giai đoạn 0-500 giây SOC giảm nhanh từ 100% xuống khoảng 94-95%. Nguyên nhân: xe thường xuyên tăng

tốc và phanh trong môi trường đô thị, dòng điện xả cao, làm SOC tụt nhanh. Giai đoạn 500-1500 giây: Tốc độ giảm SOC chậm hơn, dao động đều đặn quanh mức khoảng 85-90%. Cho thấy xe chạy nhiều ở chế độ ổn định công suất yêu cầu không quá cao, dòng điện xả ổn định hơn. Giai đoạn 1500 – 2000s đường SOC gần như giảm rất chậm, gần ngang vì tiêu tốn ít năng lượng ở tải phụ đây là giai đoạn xe dừng lâu, động cơ tiêu thụ điện năng rất nhỏ. Giai đoạn 2000-2474 giây, SOC giảm nhanh hơn trở lại, từ khoảng 78% xuống còn khoảng 70%. Phản ánh giai đoạn tăng tốc – giảm tốc liên tục cuối chu trình, tải động cơ cao hơn nên pin xả nhiều hơn. Mức SOC giảm từ 100% xuống khoảng 70% trong 2474 giây (khoảng 41 phút), chứng tỏ mức tiêu hao năng lượng lớn trong chu trình đô thị, phù hợp với đặc trưng "tăng tốc – giảm tốc liên tục" của chu trình FTP-75. Sự thay đổi tốc độ giảm SOC đồng bộ với các pha hoạt động của động cơ (tốc độ, mô-men, công suất). Pin vẫn giữ được điện áp ổn định, không có dấu hiệu tụt dốc SOC bất thường, hệ thống quản lý năng lượng hoạt động tốt. Biểu đồ SOC cho thấy hệ thống pin cung cấp năng lượng ổn định, phù hợp với nhu cầu vận hành của động cơ điện trong chu trình đô thị FTP-75.

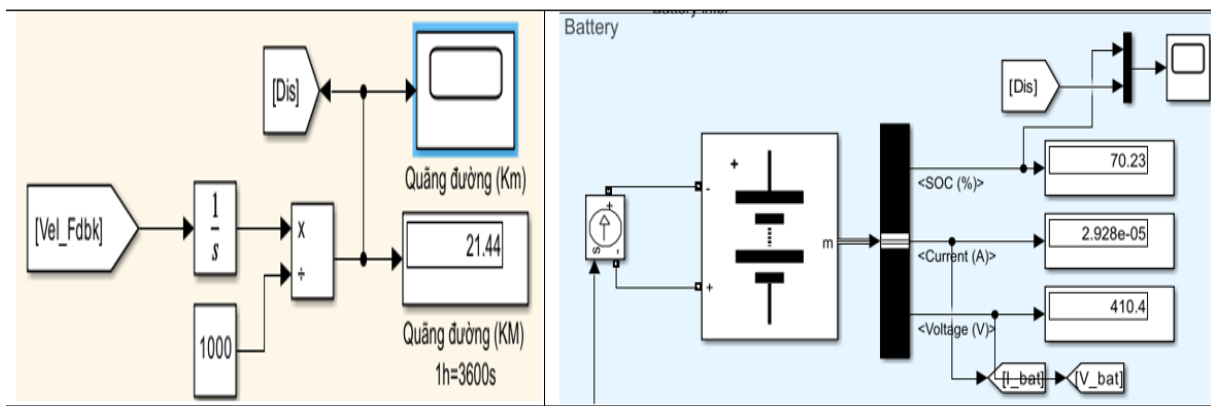
Kết quả mô phỏng quãng đường xe đã di chuyển theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.39. Trên hình ta có thể thấy rằng quãng đường mô phỏng của xe đi được tăng dần theo thời gian, biểu thị các khoảng thời gian mà xe tăng tốc, giảm tốc và dừng lại. Điều này phản ánh đúng thực tế khi xe không di chuyển, quãng đường không thay đổi. Với tổng quãng đường xe di chuyển là 21,44 Km.



Hình 3.39 Đồ thị quãng đường xe đã di chuyển sau khi mô phỏng

Mỗi lần xe tăng tốc SOC giảm nhanh, quãng đường tăng theo độ dốc lớn. Khi xe chạy ổn định hoặc dừng lâu SOC giảm chậm (hoặc gần như không đổi), quãng đường tăng chậm hoặc nằm ngang. Quãng đường tăng theo đường bậc thang: có đoạn dốc cao (tăng tốc), đoạn dốc thấp (chạy ổn định), và đoạn nằm ngang (dừng). Sự thay đổi này hoàn toàn khớp với xu hướng tiêu hao SOC trong các giai đoạn tương ứng. Có đoạn từ 1500 giây đến khoảng 2000 giây, SOC giảm rất ít và quãng đường gần như không tăng đây là pha dừng của xe trong chu trình FTP-75.

Kết quả mô phỏng quãng đường xe đã di chuyển và phần trăm pin còn lại theo chu trình lái FTP-75 như trên hình 3.40.



Hình 3.40 Quãng đường xe đi được và phần trăm pin còn lại sau mô phỏng

SOC ban đầu là 100% và giảm xuống còn 70,23% sau khi hoàn thành toàn bộ chu trình FTP-75 (khoảng 2474 giây). Trong cùng khoảng thời gian này, xe đã đi được 21,44 km. Điều này cho thấy để đi được khoảng 22 km, pin tiêu hao khoảng 30% dung lượng pin theo chu trình lái xe đô thị FTP-75. Đồ thị quãng đường và trạng thái xả sạc của pin cho thấy khả năng cung cấp năng lượng của pin đáp ứng tốt nhu cầu quãng đường di chuyển, không có đoạn tụt áp SOC bất thường. Mối quan hệ SOC và quãng đường phù hợp với đặc điểm vận hành đô thị: tăng tốc/giảm tốc nhiều, dừng lâu, tải thay đổi liên tục. Kết quả phản ánh sự ổn định và độ tin cậy của hệ thống pin, đồng thời là cơ sở để đánh giá hiệu quả năng lượng và phạm vi hoạt động của phương tiện.

KẾT LUẬN

1. Kết quả đạt được

Đề tài đã thực hiện việc nghiên cứu, tính toán và mô phỏng hệ động lực cho xe buýt điện cỡ nhỏ, góp phần cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc ứng dụng phương tiện giao thông xanh công cộng tại các đô thị lớn, đặc biệt là Thành phố Hồ Chí Minh. Một số kết quả chính của nghiên cứu như sau:

- Xác định đặc tính tổng thể của xe buýt điện cỡ nhỏ: Các thông số cơ bản như khối lượng toàn xe, tải trọng hành khách, số chỗ ngồi, lực cản lăn và lực cản khí động đã được tính toán, từ đó làm cơ sở cho việc xác định yêu cầu về động cơ điện và hệ thống truyền động.

- Tính toán và lựa chọn hệ động lực điện: Dựa trên yêu cầu về công suất, mô men xoắn, vận tốc cực đại và khả năng tăng tốc, đề tài đã lựa chọn loại động cơ điện có công suất, tốc độ quay và mô men phù hợp. Đồng thời, dung lượng pin và cấu hình ghép nối các cell được tính toán để đảm bảo quãng đường di chuyển theo yêu cầu.

- Xây dựng mô hình, mô phỏng bằng Matlab/Simulink: Xây dựng, mô hình hóa bao gồm các thành phần chính của hệ động lực như động cơ điện, bộ truyền động, bộ pin, bộ biến đổi điện tử công suất và bộ điều khiển. Chu trình lái xe đô thị FTP-75 được sử dụng làm điều kiện thử nghiệm chuẩn.

- Kết quả mô phỏng vận hành: Các thông số quan trọng như tốc độ xe, mô men xoắn, công suất, điện áp – dòng điện của động cơ và trạng thái sạc – xả của pin được phân tích chi tiết. Kết quả cho thấy hệ động lực đảm bảo khả năng vận hành ổn định, hiệu suất đáp ứng yêu cầu và tiềm năng giảm phát thải rõ rệt.

2. Hạn chế của đề tài

Mặc dù đã đạt được nhiều kết quả tích cực, đề tài vẫn còn tồn tại một số hạn chế nhất định sau đây:

- Giới hạn về phạm vi nghiên cứu: Công trình mới dừng ở mức mô hình tính toán và mô phỏng, chưa được kiểm chứng trên mô hình thực nghiệm hoặc nguyên mẫu xe thật. Do đó, độ chính xác của các kết quả vẫn phụ thuộc nhiều vào giả định lý thuyết.

- Chưa phân tích toàn diện ảnh hưởng thực tế: Các yếu tố như biến thiên tải trọng hành khách, điều kiện đường sá, nhiệt độ môi trường, và quá trình lão hóa pin chưa được

đưa vào mô hình. Điều này có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất và độ tin cậy trong thực tế vận hành.

- Chưa đánh giá kinh tế – xã hội: Đề tài chủ yếu tập trung vào khía cạnh kỹ thuật, trong khi các yếu tố như chi phí đầu tư, chi phí vòng đời, hiệu quả khai thác và tác động kinh tế – xã hội chưa được phân tích.

3. Kiến nghị

Để hoàn thiện và nâng cao tính ứng dụng của đề tài vào thực tế, một số hướng nghiên cứu và phát triển tiếp theo được đề xuất như sau:

- Xây dựng nguyên mẫu thực nghiệm: Cần thiết kế và chế tạo mô hình thực tế hoặc nguyên mẫu xe buýt điện cỡ nhỏ để kiểm chứng các kết quả mô phỏng. Việc thử nghiệm trên đường sẽ giúp đánh giá toàn diện hơn về hiệu suất vận hành, mức tiêu thụ năng lượng và khả năng thích ứng với điều kiện giao thông đô thị.

- Phân tích ảnh hưởng của điều kiện vận hành: Nghiên cứu chi tiết tác động của tải trọng hành khách, độ dốc đường, điều kiện khí hậu nóng ẩm, cũng như quá trình lão hóa pin đến hiệu suất và tuổi thọ hệ động lực.

- Tối ưu chiến lược điều khiển năng lượng: Phát triển các thuật toán quản lý năng lượng tiên tiến, kết hợp điều khiển động cơ, bộ biến đổi và hệ thống quản lý pin để nâng cao hiệu suất, kéo dài tuổi thọ pin và cải thiện khả năng tái sinh năng lượng khi phanh.

- Nghiên cứu khía cạnh kinh tế – xã hội: Cần có những phân tích bổ sung về chi phí đầu tư, chi phí vận hành, hiệu quả khai thác và lợi ích môi trường để đề xuất lộ trình triển khai xe buýt điện cỡ nhỏ trong giao thông công cộng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dương Liễu. “Mật độ dân số Thành phố Hồ Chí Minh gấp 1,7 lần so với Hà Nội”. Báo Tuổi trẻ. 23/02/2025.
- [2]. Trần Đỗ Bảo Trung, Lương Quang Huy, Trần Đỗ Trà My. “Tính toán một số đồng lợi ích của các kịch bản giảm phát thải khí nhà kính trong giao thông vận tải hành khách trên nền số liệu quy hoạch phát triển giao thông vận tải của Thủ đô Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh”. Tạp chí khí tượng thủy văn. Tập 718, trang 11–21. 25/10/2020.
- [3]. Văn Quyết. “Tiềm năng phát triển xe buýt điện tại Thành Phố Hồ Chí Minh”. Tạp chí Giao Thông Vận Tải Việt Nam .28/09/2024.
- [4]. Marie Gibert. “Mạng lưới đường hầm Thành phố Hồ Chí Minh trong quá trình hiện đại hóa dự án phát triển cục bộ, thách thức chung cho toàn đô thị”. Trung tâm Dự báo và Nghiên cứu Đô thị - PADDI. 02/2016.
- [5]. Đức Phú. “Cả năm 2023, TP.HCM có hơn 4.400 vụ ùn ứ giao thông tại 24 điểm nóng kẹt xe”. Báo tuổi trẻ. 04/01/2024.
- [6]. Khánh Ly. “Dự báo bùng nổ nhu cầu xe điện trong giai đoạn tới”. Báo điện tử của bộ tài nguyên và môi trường.16/12/2024.
- [7]. Văn bản chính phủ. “Phê duyệt Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí các bon và khí mê-tan của ngành giao thông vận tải”. 10/11/2024.<https://vanban.chinhphu.vn/pageid=27160&docid=206188>.
- [8]. Phạm Xuân Mai, Trần Văn Nam và nhóm đồng tác giả “Ô tô điện & ô tô tự lái: (BEV, HEV, PHEV, FCEV, CAEV) Kết cấu, Công nghệ, Thiết kế, Bảo trì, Tái chế”. Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh. 2023.
- [9]. Đặng Quý, Đỗ Văn Dũng, Dương Tuấn Tùng, “Thiết kế ô tô”, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP.Hồ chí Minh. 2021.
- [10]. Gwangmin Park, Seonghun Lee, Sungho Jin, Sangshin Kwak, “Integrated modeling and analysis of dynamics for electric vehicle powertrains”. Expert Systems with Applications. Elsevier. Tập 41, số 5, trang 2595-2607. (04/2014).
- [11]. Pitchapa Lotrakul. “Power HIL simulation of an electric Minibus powertrain”. Đại học OVIEDO. 2017.
- [12]. Qian Tang, Xiong Shu, Guanghui Zhu, Jiande Wang, Huan Yang. “Reliability Study of BEV Powertrain System and Its Components”. Nhà xuất bản MDPI. 04/2021.

- [13]. Noëlle Janiaud, François-Xavier Vallet, Marc Petit, Guillaume Sandou. “Electric Vehicle Powertrain Architecture and Control Global Optimization”. Tạp chí xe điện thế giới. 2009.
- [14]. Phạm Xuân Mai, Phạm Văn Hà, Trần Thị Mỹ Tiên, Tiêu Hà Hồng Nhân. “Phương pháp thiết kế hệ động lực xe điện”. Tạp chí Khoa Học Và Công Nghệ- Đại học Đà Nẵng. Vol 20, No 2. 2022.
- [15]. Phạm Xuân Mai, Bùi Văn Ga, Hà Phạm, Lê Hoàng Phú Phạm. “Design Process of Electric Vehicle Power System”. Tạp chí cơ học ứng dụng và vật liệu. Tập 907(5), trang 101-114. 06/2022.
- [16]. Nguyễn Huy Trường, Phạm Việt Thành. “Nghiên cứu tính toán nguồn động lực dùng năng lượng điện cho xe du lịch 5 chỗ”. Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ V-VCME 2018. Đại học Công Nghiệp Hà Nội. 2018.
- [17]. KimLong Motor. “Thông tin Sản phẩm Kim Long”. Truy cập 25/02/2025. Available: <https://kimlongmotor.com.vn/san-pham/kimlong-x9>
- [18]. Wangmin Park, Seonghun Lee, Sungho Jin, Sangshin Kwak. “Integrated modeling and analysis of dynamics for electric vehicle powertrains”. Expert Systems with Applications. Tập 41, số 5, trang 2595-2607. 04/2014.
- [19]. James Larminie, John Lowry. “Electric vehicle technology explained-second edition”. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom. 2012.
- [20]. Danfoss, "Data sheet EM-PMI375-T500: Electric machine, permanent magnet internal," [Online]. Available: https://www.danfoss.com/en/products/dps/electric-converters-motors-and-systems/electric-motors/high-voltage-multipurpose-motors/?utm_source=chatgpt.com#tab-overview. [Accessed: Apr. 9, 2025].
- [21]. Erick Shaltz. “Electric Vehicles – Modelling and Simulations”. Publisher In Tech. Aalborg University Denmark. 09/2011.
- [22]. Siemens AG. “SINAMICS S120 Power Module PM240 – Hardware Installation Manual.” Doc ID: 109738072.
- [23]. Đồng Văn Hướng. “Cơ sở truyền động điện”. Nhà xuất bản Giao thông vận tải Hà Nội. 2011.

- [24]. Amir Guizani, Moncef Hammadi, Jean-Yves Choley, Thierry Soriano, Mohamed Slim Abbas and Mohamed Haddar. “Electric vehicle design, modelling and optimization”. *Mechanics & Industry* 17, 405. 2016.
- [25]. J. Regnier. “Conception de systèmes hétérogènes en génie électrique par optimisation évolutionnaire multicritère”. Institut National Polytechnique de Toulouse. 2003.
- [26]. Đặng Quý. “Lý thuyết ô tô”. Nhà xuất bản Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh. 2012.
- [27]. Nguyễn Hữu Trí, “Tính toán thiết kế ô tô”. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, trang 154-156. 2006.
- [28]. Muhammad H. Rashid. “Power Electronics Devices, Circuits, and Applications”. Pearson Education. 2013.
- [29]. M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, and K. Ebrahimi, “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles”, 3rd ed., Oxfordshire, UK: Taylor & Francis Group, LLC. 2018.
- [30]. Đồng Văn Hương, Hoàng Anh Tuấn, Cao Đào Nam, “Giáo trình ô tô điện”. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. 2025.
- [31]. Bielaczyc, P., Woodburn, J., & Szczotka, A. (2016), “Exhaust emissions of gaseous and solid pollutants measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC chassis dynamometer driving cycles”, SAE Technical Paper 2016-01-1008, SAE International. DOI: 10.4271/2016-01-1008.
- [32]. Panasonic Co., “NCR18650B Lithium-ion Rechargeable Cell Datasheet”, [Online]. Available: <https://www.batteryspace.com/prod-specs/ncr18650b.pdf>. Truy cập ngày 04/07/2025.
- [33]. Đỗ Văn Dũng, “Trang bị điện và điện tử trên ô tô hiện đại”. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh. 2021.
- [34]. ZF Friedrichshafen AG. (2025). “ZF e.Gearbox 1-speed – Hộp giảm tốc điện một cấp dùng cho phương tiện điện”. Truy cập ngày 15 tháng 7 năm 2025, từ <https://www.zf.com/products/en/cars/edrive/select.html>.