

**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA  
KHOA CƠ KHÍ GIAO THÔNG**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP  
- CAPSTONE PROJECT**

**NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ  
CHUYÊN NGÀNH: CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC**

**ĐỀ TÀI:  
TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH  
TÁI SINH TRÊN Ô TÔ ĐIỆN**

**Giảng viên hướng dẫn: PGS.TS. PHẠM QUỐC THÁI  
KS. HOÀNG NGỌC CẢNH**

**Giảng viên phản biện: TS. LƯU ĐỨC LỊCH**

**Sinh viên thực hiện: THÁI VĂN TÂN**

**TỪ THÁI NGUYÊN**

**Số thẻ sinh viên: 103200137**

**103200129**

**Lớp: 20C4CLC2**

**Đà Nẵng, 6/2025**

**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA  
KHOA CƠ KHÍ GIAO THÔNG**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP  
-CAPSTONE PROJECT**

**NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ  
CHUYÊN NGÀNH: CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC**

**ĐỀ TÀI:  
TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH  
TÁI SINH TRÊN Ô TÔ ĐIỆN**

**Người hướng dẫn: PGS.TS. PHẠM QUỐC THÁI**

**KS. HOÀNG NGỌC CẢNH**

**Người phản biện: TS. LƯU ĐỨC LỊCH**

**Sinh viên thực hiện: THÁI VĂN TÂN**

**TỪ THÁI NGUYÊN**

**Số thẻ sinh viên: 103200137**

**103200129**

**Lớp: 20C4CLC2**

**Đà Nẵng, 6/2025**

## NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP – CAPSTONE PROJECT

### I. Thông tin chung:

- Họ và tên sinh viên: Thái Văn Tân  
Từ Thái Nguyên
- Lớp: 20C4CLC2 Số thẻ SV: 103200137  
103200129
- Tên đề tài: TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH TRÊN Ô TÔ ĐIỆN
- Giảng viên hướng dẫn: PGS.TS. Phạm Quốc Thái

### II. Nhận xét đồ án tốt nghiệp:

- Về tính cấp thiết, sáng tạo và ứng dụng của đồ án: (điểm đánh giá tối đa là 2đ)  
.....  
.....
- Về kết quả giải quyết các nội dung nhiệm vụ yêu cầu của đồ án: (điểm tối đa là 4đ)  
.....  
.....
- Về hình thức, cấu trúc, bố cục của đồ án tốt nghiệp: (điểm đánh giá tối đa là 2đ)  
.....  
.....
- NCKH: (nếu có bài báo khoa học hoặc ĐATN là đề tài NCKH: cộng thêm 1đ)  
.....  
.....
- Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:  
.....  
.....

### III. Tinh thần, thái độ làm việc của sinh viên: (điểm đánh giá tối đa 1đ)

.....  
.....  
**IV. Đánh giá:**

1. Điểm đánh giá: /10

2. Đề nghị: Được bảo vệ đồ án/ Bổ sung thêm đề bảo vệ/ Không được bảo vệ

*Đà Nẵng, ngày tháng năm 2025*

**Người hướng dẫn**

**PGS.TS. Phạm Quốc Thái**



2a	Bố cục hợp lý, lập luận rõ ràng, chặt chẽ, lời văn súc tích	15		
2b	Thuyết minh đồ án không có lỗi chính tả, in ấn, định dạng	5		
<b>3</b>	<b>Tổng điểm đánh giá: theo thang</b>	<b>100</b>		
	<i>Quy về thang điểm 10 (lấy đến 1 số lẻ)</i>			

1. Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:

.....  
.....  
.....

2. Ý kiến khác:

.....  
.....  
.....

Đề nghị: Được bảo vệ đồ án/ Bổ sung thêm để bảo vệ/ Không được bảo vệ

*Đà Nẵng, ngày tháng năm 2025*

**Người phản biện**

**TS. LƯU ĐỨC LỊCH**

## NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TT	Họ tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Thái Văn Tân	103200137	20C4CLC2	Kỹ thuật cơ khí
2	Từ Thái Nguyên	103200129	20C4CLC2	Kỹ thuật cơ khí

- Tên đề tài đồ án:* TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH TRÊN Ô TÔ ĐIỆN
- Đề tài thuộc diện:*  Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện
- Các số liệu và dữ liệu ban đầu:*

Thông số xe cơ sở:

Tổng tải trọng :1815 (Kg)

Chiều dài cơ sở: 2611 (mm)

Khoảng sáng gầm: 180 (mm)

Kích thước bao ngoài: 4300 x 1793 x 1613 (mm)

Trọng lượng bản thân: 1490 (Kg)

Công suất cực đại: 110 (KW)

Mômen xoắn cực đại: 242 (Nm)

Dung lượng pin Lithium-ion: 42 kWh

Quãng đường di chuyển mỗi lần sạc đầy khoảng 300 km

### A. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

- Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:*

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Từ Thái Nguyên	<b>LỜI NÓI ĐẦU</b>
2	Thái Văn Tân	<b>TÓM TẮT</b> <b>MỤC LỤC</b> <b>DANH MỤC BẢNG BIỂU, HÌNH ẢNH</b> <b>DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT</b> <b>MỞ ĐẦU:</b> 1. Lý do chọn đề tài 2. Mục đích nghiên cứu 3. Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu 3.1. Đối tượng nghiên cứu 3.2. Phạm vi nghiên cứu <b>KẾT LUẬN</b> <b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>

b. *Phần riêng:*

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Từ Thái Nguyên	<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN</b> 1.1. Giới thiệu về xe VFe34 1.2. Tổng qua về hệ thống phanh tái sinh 1.2.1. Tổng quan 1.2.2. Cấu tạo của hệ thống phanh tái sinh 1.2.3. Nguyên lý hoạt động phanh tái sinh trên xe Vfe 34 1.2.4. Ưu và nhược điểm của phanh tái sinh trên xe Vfe 34 1.3. Mô hình tổng quát xe điện 1.3.1. Động cơ điện ( Motor ) 1.3.2. Hộp giảm tốc ( Reduce) 1.3.3. Pin ( Battery) 1.3.4. Bộ sạc trên bo mạch ( On-Board charger ) 1.3.5. Bộ điều khiển nguồn điện (EPCU) 1.3.6. Phanh tái sinh <b>CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT</b> 2.1. Xác định các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả thu hồi năng lượng

		<p>2.2. Tính toán động lực quá trình phanh</p> <p>2.3. Tính toán mô hình ắc quy</p> <p>2.4. Mô hình tính toán quá trình phanh</p> <p>2.4.1. Tính toán phanh thủy lực</p> <p>2.4.2. Tính toán mô men phanh của hệ thống thu hồi năng lượng</p> <p>2.4.3. Thuật toán điều khiển hệ thống phanh</p>
2	Thái Văn Tân	<p><b>CHƯƠNG 3: GIỚI THIỆU CÔNG CỤ MATLAB SIMULINK</b></p> <p>3.1. Giới thiệu về MATLAB/ Simulink</p> <p>3.1.1. Đặc điểm chính của MATLAB/ Simulink</p> <p>3.1.2. Ứng dụng của MATLAB/ Simulink</p> <p>3.2. Ứng dụng của MATLAB Simulink trong ngành kỹ thuật ô tô</p> <p><b>CHƯƠNG 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH BẰNG CÔNG CỤ MATLAB SIMLINK</b></p> <p>4.1. Xây dựng mô hình toán học</p> <p>4.2. Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống phanh tái sinh bằng công cụ MATLAB SIMULINK</p> <p>4.2.1. Chu trình thử FTP 75</p> <p>4.2.2. Khối môi trường (Enviroment)</p> <p>4.2.3. Khối điều khiển dọc (Longitudinal Driver)</p> <p>4.2.4. Khối điều khiển (Controllers)</p> <p>4.2.5. Khối xe (Passenger Car)</p> <p>4.2.6. Khối pin (Battery)</p> <p>4.2.7. Khối động cơ (Motor)</p> <p>4.3. Kết quả và bàn luận</p> <p>4.3.1. Đồ thị vận tốc</p> <p>4.3.2. Đồ thị số vòng quay động cơ</p> <p>4.3.3. Đồ thị mô men động cơ</p> <p>4.3.4. Đồ thị % năng lượng còn lại của pin</p> <p>4.3.5. Đồ thị thể hiện dòng điện của pin</p> <p>4.3.6. Đồ thị thể hiện mức tiêu thụ năng lượng</p>

5. Các bản vẽ, đồ thị ( ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ ):

a. Phần riêng:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Thái Văn Tân	Bản vẽ tổng quát mô hình hệ thống thu hồi năng lượng xe điện Bản vẽ sơ đồ mô phỏng xe điện Bản vẽ tổng thể xe tham khảo Bản vẽ sơ đồ bố trí hệ thống phanh
2	Từ Thái Nguyên	Bản vẽ hệ thống điều khiển Bản vẽ sơ đồ mạch cảm biến Bản vẽ kết cấu phanh đĩa Bản vẽ sơ đồ hệ thống phanh thủy lực

6. Họ tên người hướng dẫn:	Phần/ Nội dung:
PGS.TS. Phạm Quốc Thái	<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN</b>
KS. Hoàng Ngọc Cảnh	<b>CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT</b>
	<b>CHƯƠNG 3: GIỚI THIỆU CÔNG CỤ MATLAB SIMULINK</b>
	<b>CHƯƠNG 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH BẰNG CÔNG CỤ MATLAB SIMLINK</b>

7. Ngày giao nhiệm vụ đồ án: ...../...../20.....

8. Ngày hoàn thành đồ án: ...../...../20.....

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2025

Trưởng Bộ môn.....

Người hướng dẫn

## TÓM TẮT

Tên đề tài: TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH TRÊN Ô TÔ ĐIỆN

Sinh viên thực hiện: Thái Văn Tân

Mã số sinh viên: 103200137

Từ Thái Nguyên

103200129

Lớp: 20C4CLC2

Báo cáo “Tính toán, mô phỏng hệ thống phanh tái sinh trên ô tô điện” trình bày quá trình nghiên cứu và đánh giá hiệu suất hệ thống phanh tái sinh (Regenerative Braking System – RBS) trên xe ô tô điện, sử dụng VinFast VF e34 làm trường hợp nghiên cứu. Mục tiêu chính của đề án là xây dựng mô hình toán học và triển khai mô phỏng bằng MATLAB/Simulink để phân tích cơ chế thu hồi năng lượng khi phanh, so sánh hiệu quả với phanh thủy lực truyền thống.

Trong phần lý thuyết, báo cáo tổng hợp nguyên lý hoạt động của phanh tái sinh, các thành phần chính: động cơ điện kèm máy phát, bộ điều khiển động cơ, pin và bộ điều phối phanh và phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi năng lượng như hệ số tốc độ, trạng thái sạc pin và phân bố lực phanh giữa trước và sau. Tiếp đó, mô hình toán học được xây dựng dựa trên phương trình động lực học của xe, phương trình tính mô men phanh thủy lực và mô men phanh tái sinh, cùng thuật toán điều phối giữa hai chế độ phanh.

Phần mô phỏng sử dụng chu trình thử FTP-75, bao gồm ba pha: đô thị (UDDS), nghỉ và đường trường. Kết quả mô phỏng cho thấy phanh tái sinh có thể thu hồi được một phần đáng kể động năng, giúp tăng quãng đường di chuyển so với chỉ dùng phanh cơ khí, đồng thời giảm mòn má phanh. Đồ thị vận tốc, mô men, dòng điện và trạng thái sạc pin (SOC) minh họa rõ sự phối hợp linh hoạt giữa RBS và phanh thủy lực, đảm bảo an toàn và êm ái khi vận hành.

Kết quả của đề án cho thấy hiệu quả của hệ thống phanh tái sinh trên ô tô điện khả thi và lợi ích thiết thực của RBS trên xe ô tô điện, đồng thời mở đường cho nghiên cứu sâu hơn về chiến lược quản lý năng lượng thích ứng, hướng tới nâng cao tính kinh tế và bền vững cho phương tiện điện thế hệ mới

## LỜI NÓI ĐẦU

Hành trình học tập tại ngôi trường Đại học Bách Khoa đã mang đến cho tôi nhiều trải nghiệm quý giá, để hôm nay, tôi sinh viên Khoá K20 chuyên ngành Cơ Khí Động Lực xin được giới thiệu đề án tốt nghiệp mang đề tài “ TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH TRÊN Ô TÔ ĐIỆN ”.

Trong bối cảnh ô tô điện đang trở thành xu hướng phát triển bền vững của ngành công nghiệp ô tô toàn cầu, việc tối ưu hóa hiệu suất thu hồi năng lượng tích trữ qua hệ thống tái sinh phanh không chỉ góp phần nâng cao quãng đường di chuyển, mà còn giảm thiểu tác động môi trường. Đề án này được thực hiện với mục tiêu phân tích chi tiết quá trình chuyển đổi cơ năng thành năng lượng điện, xây dựng mô hình toán học và triển khai mô phỏng trên phần mềm matlab simulink, từ đó đánh giá hiệu quả thu hồi năng lượng.

Quá trình thực hiện đề án là một hành trình học hỏi kiến thức từ những công đoạn đầu tiên như tổng hợp lý thuyết về động lực học xe điện, hệ thống phanh tái sinh đến việc xây dựng sơ đồ khối, xác định phương trình điều khiển và tham số mô phỏng, tôi đã tích lũy cho mình kiến thức thực tiễn và kỹ năng phân tích hệ thống phức hợp.

Tôi xin chân thành cảm ơn Thầy **PGS.TS Phạm Quốc Thái, KS. Hoàng Ngọc Cảnh** người đã tận tâm chỉ dẫn, giúp tôi định hướng rõ ràng và giải đáp từng khúc mắc. Xin tri ân đến gia đình tôi là nơi chỗ dựa vững chắc về tinh thần và kinh tế cho hành trình 5 năm tại trường Đại Học Bách Khoa Đà Nẵng. Và tôi không quên những người bạn luôn đồng hành trong suốt quá trình làm đề án đã trao đổi, góp ý và chia sẻ để đề án được hoàn thiện.

Kết quả thu được từ nghiên cứu này tuy còn nhiều giới hạn, thiếu sót nhưng là tiền đề cho những bước tiếp theo trong công cuộc phát triển công nghệ tái sinh năng lượng cho ô tô điện. Tôi hy vọng những cái tôi trình bày ở đề án sẽ đóng góp phần nhỏ vào nâng cao hiệu suất và bảo vệ môi trường trong tương lai.

Cuối cùng, nhóm em xin chân thành cảm ơn!

Đà Nẵng, ngày      tháng      năm 2025  
Sinh viên thực hiện

Thái Văn Tân      Từ Thái Nguyên

## MỤC LỤC

TÓM TẮT.....	i
LỜI NÓI ĐẦU.....	ii
DANH MỤC BẢNG BIỂU, HÌNH ẢNH.....	vi
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT.....	viii
MỞ ĐẦU.....	1
1. Lý do chọn đề tài.....	1
2. Mục đích nghiên cứu.....	1
3. Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu.....	2
3.1. Đối tượng nghiên cứu.....	2
3.2. Phạm vi nghiên cứu.....	2
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN.....	3
1.1. Giới thiệu về xe VFe 34.....	3
1.2. Tổng quan về hệ thống phanh tái sinh.....	4
1.2.1. Tổng quan.....	4
1.2.2. Cấu tạo của hệ thống phanh tái sinh.....	5
1.2.3. Nguyên lý hoạt động của phanh tái sinh trên VF e34.....	5
1.1.4. Ưu và nhược điểm của phanh tái sinh trên Vf e34.....	6
1.3. Mô hình tổng quát xe điện.....	6
1.3.1. Động cơ điện / Motor điện.....	8
1.3.2. Hộp giảm tốc ( Reducer ).....	9
1.3.3. Pin.....	9
1.3.4. Bộ sạc trên bo mạch (On-Board Charger).....	13
1.3.5. Bộ điều khiển nguồn điện (EPCU).....	14
1.3.6. Phanh tái sinh.....	15
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....	17
2.1. Xác định các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả thu hồi năng lượng.....	17

2.2. Tính toán động lực quá trình phanh.....	18
2.3. Tính toán mô hình pin .....	22
2.4. Mô hình tính toán quá trình phanh .....	23
2.4.1. Tính toán phanh thủy lực.....	23
2.4.2. Tính toán mô men phanh của hệ thống thu hồi năng lượng.....	23
2.4.3. Thuật toán điều khiển hệ thống phanh .....	26
CHƯƠNG 3: GIỚI THIỆU CÔNG CỤ MATLAB SIMULINK .....	27
3.1. Giới thiệu về MATLAB/ Simulink.....	27
3.1.1. Đặc điểm chính của MATLAB/ Simulink.....	27
3.1.2. Ứng dụng của MATLAB/Simulink .....	29
3.2. Ứng dụng của MATLAB Simulink trong ngành kỹ thuật ô tô.....	31
CHƯƠNG 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH BẰNG CÔNG CỤ MATLAB SIMMULINK .....	33
4.1. Xây dựng mô hình toán học .....	33
4.2. Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống phanh tái sinh bằng công cụ MATLAB SIMULINK.....	37
4.2.1. Chu trình thử FTP 75.....	38
4.2.2. Khối môi trường (Enviroment).....	38
4.2.3. Khối điều khiển dọc (Longitudinal Driver).....	39
4.2.4. Khối điều khiển (Controllers).....	40
4.2.5. Khối xe (Passenger Car) .....	42
4.2.6. Khối pin ( Battery).....	44
4.2.7. Khối động cơ (Motor).....	45
4.3. Kết quả và bàn luận .....	45
4.3.1. Đồ thị vận tốc .....	45
4.3.2. Đồ thị số vòng quay động cơ.....	47
4.3.3. Đồ thị mô men động cơ .....	48
4.3.4. Đồ thị % năng lượng còn lại của pin.....	49
4.3.5. Đồ thị thể hiện dòng điện của pin.....	50

4.3.6. Đồ thị thể hiện mức tiêu thụ năng lượng.....	51
KẾT LUẬN .....	53
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	54
PHỤ LỤC .....	55

## DANH MỤC BẢNG BIỂU, HÌNH ẢNH

Bảng 4. 1. Các thông số kỹ thuật của xe Vfe 34. ....	36
Bảng 4. 2. Các thông số Pin của xe Vfe 34. ....	44
Hình 1. 1. Các thông số cơ bản về xe VFe 34. ....	4
Hình 1. 2. Các thành phần chính của xe điện. ....	7
Hình 1. 3. Động cơ điện. ....	8
Hình 1. 4. Hộp giảm tốc. ....	9
Hình 1. 5. Khối pin. ....	10
Hình 1. 6. Hệ thống quản lý pin. ....	11
Hình 1. 7. Hệ thống quản lý pin BMS ( Battery Management system ). ....	12
Hình 1. 8. Hệ thống sưởi ấm pin. ....	13
Hình 1. 9. Bộ on-Board charger. ....	14
Hình 1. 10. Bộ điều khiển nguồn điện. ....	15
Hình 1. 11. Sơ đồ phanh tái sinh. ....	16
Hình 2. 1. Giảm đồ phân phối lực phanh bánh trước và bánh sau hệ thống phanh thu hồi ưu tiên hiệu quả phanh. ....	17
Hình 2. 2. Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô khi phanh. ....	19
Hình 2. 3. Mô hình ắc quy. ....	22
Hình 2. 4. Cấu tạo phanh đĩa. ....	23
Hình 2. 5. Đường đặc tính của động cơ điện 3 pha có chổi than. ....	24
Hình 2. 6. Quan hệ giữ $K_v$ và vận tốc. ....	25
Hình 2. 7. Quan hệ giữa hệ số $K_{SOC}$ và %SOC. ....	25
Hình 2. 8. Thuật toán điều khiển hệ thống phanh. ....	26
Hình 3. 1. Giao diện phần mềm mô phỏng Matlab. ....	27
Hình 3. 2. Giao diện trực quan mô hình Matlab/ Simulink. ....	28
Hình 3. 3. Thư viện Matlab/Simulink. ....	29
Hình 3. 4. Mode hệ thống phanh tái sinh. ....	32
Hình 4. 1. Mô hình tổng quát mô phỏng hệ thống thu hồi năng lượng trên xe ô tô điện. ....	37
Hình 4. 2. Mô hình mô phỏng xe điện. ....	38
Hình 4. 3. Chu trình thử FPT 75. ....	38
Hình 4. 4. Khối Enviroment. ....	39
Hình 4. 5. Khối Longitudinal Driver. ....	40
Hình 4. 6. Khối controllers. ....	41
Hình 4. 7. Sơ đồ hệ thống trong khối controllers. ....	41
Hình 4. 8. Khối Passenger Car. ....	42
Hình 4. 9. Mô Hình hệ thống truyền lực. ....	42

Hình 4. 10. Khối vi sai.....	43
Hình 4. 11. Thông số khối vi sai.....	43
Hình 4. 12. Khối Pin.....	44
Hình 4. 13. Khối Mapped Motor. ....	45
Hình 4. 14. Thông số khối Mapped Motor. ....	45
Hình 4. 15. Biểu đồ thể hiện vận tốc theo thời gian của xe VFe 34.....	46
Hình 4. 16. Biểu đồ thể hiện số vòng quay theo thời gian của xe VFe 34.....	47
Hình 4. 17. Biểu đồ thể mô men theo thời gian của xe VFe 34. ....	48
Hình 4. 18. Biểu đồ thể hiện mức độ % năng lượng còn lại trong pin của xe VFe 34. ....	49
Hình 4. 19. Biểu đồ thể hiện dòng điện của pin trên xe VFe 34. ....	50
Hình 4. 20. Biểu đồ thể hiện mức tiêu thụ năng lượng trên xe VFe 34. ....	51

## DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Giải thích
AC	Alternating Current (Dòng điện xoay chiều)
ACC	Adaptive Cruise Control (Điều khiển hành trình thích ứng)
ACIM	AC Induction Motor (Động cơ cảm ứng xoay chiều)
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems (Hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến)
APCU	Electric Power Control Unit (Bộ điều khiển nguồn điện)
AWD	All-Wheel Drive (Dẫn động 4 bánh toàn thời gian)
BMS	Battery Management System (Hệ thống quản lý pin)
BLDC	Brushless DC Motor (Động cơ một chiều không chổi than)
DC	Direct Current (Dòng điện một chiều)
DC-DC	DC-to-DC Converter (Bộ chuyển đổi DC-DC)
ECU	Electronic Control Unit (Bộ điều khiển điện tử)
EBD	Electronic Brakeforce Distribution (Phân bổ lực phanh điện tử)
EMS	Energy Management System (Hệ thống quản lý năng lượng)
EPCU	Electric Power Control Unit (Bộ điều khiển nguồn điện)
EV	Electric Vehicle (Ô tô điện)
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment (Thiết bị cấp điện cho xe điện)
ESC	Electronic Stability Control (Hệ thống kiểm soát ổn định điện tử)
FTP-75	Federal Test Procedure 75 (Chu trình thử tiêu chuẩn của EPA)
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Xe lai điện)
HIL	Hardware-in-the-Loop (Mô phỏng tích hợp phần cứng)
ICE	Internal Combustion Engine (Động cơ đốt trong)
IM	Induction Motor (Động cơ cảm ứng)
IPA	Inter-Process Automation (Tự động hóa liên quy trình – nếu được dùng)
KV	Velocity constant (Hệ số vận tốc – trong biểu đồ đặc tính máy phát)

LVDC	Low-Voltage DC-DC Converter (Bộ chuyển đổi DC-DC điện áp thấp)
MATLAB	MATrix LABoratory (Môi trường tính toán ma trận)
MIL	Model-in-the-Loop (Mô phỏng tích hợp mô hình)
MPGe	Miles Per Gallon Equivalent (Đơn vị đo hiệu suất năng lượng tương đương)
OBC	On-Board Charger (Bộ sạc tích hợp trên xe)
PID	Proportional-Integral-Derivative (Bộ điều khiển tỉ lệ-tích phân-đạo hàm)
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor (Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu)
RBS	Regenerative Braking System (Hệ thống phanh tái sinh)
RPM	Revolutions Per Minute (Số vòng quay/phút)
SoC	State of Charge (Trạng thái sạc pin)
UDDS	Urban Dynamometer Driving Schedule (Chu trình mô phỏng đô thị)
VCU	Vehicle Control Unit (Đơn vị điều khiển phương tiện)

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Tính quan trọng của đề tài: Hệ thống phanh là một phần quan trọng trong bất kỳ phương tiện thông tin nào. Nó đảm bảo sự an toàn cho người lái, hành khách và các phương tiện xung quanh. Với nguy cơ nguồn tài nguyên tiêu thụ và hợp tác tiêu cực cho môi trường, việc nghiên cứu và phát triển hệ thống phanh tái sinh có thể cải thiện đáng kể hiệu suất và tiết kiệm năng lượng.

Ứng dụng thực tế: Công nghệ tái sinh năng lượng đã trở nên quan trọng hơn trong ngành công nghiệp ô tô. Một hệ thống phanh tái sinh có thể tái sinh sử dụng năng lượng từ quá trình phanh để nạp lại chốt hoặc cung cấp năng lượng cho các hệ thống khác trong xe, giúp cải thiện hiệu suất nhiên liệu và giảm khí thải nhà kính.

Đóng góp vào sự phát triển bền vững: Xe hơi đóng vai trò quan trọng trong nguy cơ gây ra biến đổi khí hậu. Bằng cách nghiên cứu và phát triển hệ thống phanh tái sinh, có thể đóng góp vào mục tiêu của ngành công nghiệp trong việc giảm thiểu tác động xấu đối với môi trường và thúc đẩy phát triển bền vững.

Tính công thức và phát triển nghề nghiệp: Đề tài này yêu cầu kiến trúc chuyên sâu về cơ khí, điện tử và công nghệ phòng thí nghiệm, cùng với khả năng nghiên cứu và phát triển công nghệ mới. Thực hiện đề án này sẽ giúp chúng em phát triển kỹ năng quan trọng và có thể tạo điều kiện tốt cho sự phát triển nghề nghiệp trong lĩnh vực công nghệ xanh.

Việc chọn đề tài “ TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH TRÊN Ô TÔ ĐIỆN ” không những có ý nghĩa quan trọng về mặt kỹ thuật và môi trường mà còn có tiềm năng đóng góp vào sự phát triển bền vững và sự nghiệp của chính bản thân trong công nghiệp chuyên nghiệp.

### 2. Mục đích nghiên cứu

Đề tài này trình bày rõ nội dung lý thuyết về phanh tái sinh trên ô tô điện. Nghiên cứu tính toán năng lượng thu hồi từ phanh tái sinh trên ô tô điện. Việc mô phỏng hệ thống bằng Matlab giúp sinh viên có thể hiểu sâu hơn về đặc tính ô tô điện. Đó là những kiến thức cần thiết để ứng dụng trong tương lai gần khi xe lai và xe điện đang dần thay thế xe động cơ đốt trong thông thường.

### **3. Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu**

#### **3.1. Đối tượng nghiên cứu**

Đề tài nghiên cứu về **Tính toán, mô phỏng hệ thống phanh tái sinh trên ô tô điện** tập trung vào việc tìm hiểu nguyên lý hoạt động, cấu tạo và hiệu suất của hệ thống này trong việc chuyển đổi động năng thành điện năng để tái sử dụng. Cụ thể, nghiên cứu sẽ xây dựng mô hình toán học và sử dụng các phần mềm mô phỏng như MATLAB Simulink để đánh giá hiệu suất thu hồi năng lượng.

#### **3.2. Phạm vi nghiên cứu**

##### **❖ Tình hình nghiên cứu ngoài nước**

Tất cả hãng xe trên thế giới đều đang tìm cách nghiên cứu để phát triển xe điện, xe lai các dòng xe thân thiện với môi trường, tiết kiệm nhiên liệu và nhằm thay thế xe sử dụng động cơ đốt trong trong tương lai sắp tới. Có thể kể đến một trong những giải pháp tiết kiệm năng lượng là sử dụng phanh tái sinh.

##### **❖ Tình hình nghiên cứu trong nước**

Ô tô Hybrid và ô tô điện đang dần xuất hiện rất nhiều ở nước ta. Nhận thấy được rằng các nguồn năng lượng truyền thống là có giới hạn và sử dụng nguồn này gây nên ô nhiễm môi trường rất trầm trọng.

Hiện nay nước ta rất đang tích cực nghiên cứu việc sử dụng năng lượng điện thay cho năng lượng hóa thạch truyền thống. Điển hình, ở nước ta có hãng xe VinFast đã và đang sản xuất xe điện để sử dụng trong nước và xuất khẩu sang nước ngoài.

---

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

### 1.1. Giới thiệu về xe VFe 34

VinFast là công ty sản xuất ô tô và xe máy điện thuộc Tập đoàn Vingroup, được thành lập vào năm 2017 với mục tiêu trở thành thương hiệu xe điện toàn cầu. Trụ sở chính của VinFast đặt tại Việt Nam, với nhà máy sản xuất hiện đại tại Hải Phòng, có công suất lên đến hàng trăm nghìn xe mỗi năm. Ban đầu, VinFast ra mắt các dòng ô tô chạy xăng như Fadil, Lux A2.0 và Lux SA2.0, nhưng từ năm 2021, hãng chính thức chuyển hướng sang xe điện, với các mẫu xe nổi bật như VF e34, VF 5, VF 6, VF 7, VF 8 và VF 9. Ngoài ra, VinFast còn sản xuất xe máy điện như VinFast Evo200, Feliz, Klara và Theon. Không chỉ tập trung vào thị trường trong nước, VinFast đã mở rộng hoạt động ra quốc tế, đặc biệt tại Mỹ, Canada và châu Âu. Công ty xây dựng hệ thống showroom, trung tâm bảo hành, trạm sạc điện và nhà máy sản xuất tại nhiều quốc gia nhằm cạnh tranh với các thương hiệu xe điện hàng đầu thế giới. Với tầm nhìn trở thành hãng xe điện thông minh và bền vững, VinFast liên tục đổi mới công nghệ, tích hợp trí tuệ nhân tạo, hệ thống tự lái và các tính năng kết nối hiện đại, hướng tới giao thông xanh và bảo vệ môi trường.

Một trong những mẫu xe được xem là bước chuyển mình mạnh mẽ của VinFast khi chuyển từ sản xuất xe xăng qua sản xuất xe điện là dòng xe VFe34.

VinFast VFe34 là mẫu xe ô tô điện đầu tiên do VinFast - một thương hiệu ô tô Việt Nam thuộc Tập đoàn Vingroup - phát triển và sản xuất. Ra mắt vào năm 2021, VFe34 đánh dấu một bước tiến quan trọng trong ngành công nghiệp ô tô Việt Nam khi trở thành mẫu xe điện đầu tiên được sản xuất nội địa. Với thiết kế hiện đại, công nghệ tiên tiến và hiệu suất vận hành bền bỉ, VFe34 nhanh chóng thu hút sự quan tâm của đông đảo người tiêu dùng. Xe sở hữu thiết kế năng động, trẻ trung với các đường nét mạnh mẽ và tinh tế, kiểu dáng SUV cỡ nhỏ phù hợp với nhu cầu di chuyển trong đô thị. Đặc biệt, hệ thống đèn LED hiện đại cùng mặt ca-lăng kín đặc trưng của xe điện tạo nên vẻ ngoài khác biệt và mang tính tương lai. Về công nghệ, VFe34 được trang bị hệ thống trí tuệ nhân tạo (AI) giúp hỗ trợ lái xe thông minh, cùng với đó là các tính năng an toàn tiên tiến như cảnh báo va chạm, hỗ trợ giữ làn, kiểm soát hành trình chủ động. Ngoài ra, xe cũng có khả năng cập nhật phần mềm từ xa (OTA), giúp cải thiện hiệu suất và thêm nhiều tính năng mới mà không cần đến trung tâm bảo dưỡng. VFe34 sử dụng động cơ điện có công suất 110 kW (tương đương khoảng 147 mã lực), mô-men xoắn cực đại 242 Nm, mang lại khả năng tăng tốc mạnh mẽ và vận

hành êm ái. Xe được trang bị bộ pin dung lượng 42 kWh, cho phép di chuyển quãng đường lên tới khoảng 300 km sau mỗi lần sạc đầy. Hệ thống sạc nhanh giúp xe có thể nạp 70% dung lượng pin trong vòng 18 phút, đáp ứng nhu cầu di chuyển linh hoạt. VinFast VFe34 không chỉ mang đến giải pháp giao thông xanh, thân thiện với môi trường mà còn góp phần thúc đẩy sự phát triển của ngành công nghiệp ô tô điện tại Việt Nam. Việc sử dụng xe điện giúp giảm lượng khí thải CO<sub>2</sub>, hạn chế ô nhiễm không khí, đồng thời tiết kiệm chi phí nhiên liệu và bảo dưỡng so với xe chạy xăng truyền thống. Ngoài ra, việc VinFast phát triển và sản xuất xe điện còn góp phần nâng cao vị thế của Việt Nam trên bản đồ công nghiệp ô tô toàn cầu, tạo thêm nhiều cơ hội việc làm và thúc đẩy sự phát triển của hệ sinh thái giao thông thông minh trong nước. VinFast VFe34 là một sản phẩm đột phá của ngành công nghiệp ô tô Việt Nam, mang đến nhiều giá trị về công nghệ, kinh tế và môi trường. Với những ưu điểm vượt trội về thiết kế, công nghệ và hiệu suất vận hành, VFe34 không chỉ là sự lựa chọn lý tưởng cho người tiêu dùng mà còn góp phần định hình tương lai của giao thông xanh tại Việt Nam và thế giới.



Hình 1. 1. Các thông số cơ bản về xe VFe 34.

## 1.2. Tổng quan về hệ thống phanh tái sinh

### 1.2.1. Tổng quan

Phanh tái sinh (**Regenerative Braking**) là một công nghệ quan trọng trên xe điện giúp thu hồi động năng của xe khi phanh hoặc giảm tốc và chuyển đổi nó thành điện năng để sạc lại pin. Trên các phương tiện sử dụng động cơ đốt trong (xe chạy xăng, dầu), khi người lái đạp phanh, ma sát giữa má phanh và đĩa phanh sẽ làm giảm tốc độ xe, nhưng đồng thời cũng tạo ra nhiệt năng bị thất thoát ra môi trường. Điều này dẫn đến lãng phí năng lượng và làm mòn các bộ phận của hệ thống phanh. Ngược lại, xe điện tận dụng một phần năng lượng bị mất này thông qua phanh tái sinh. Khi xe giảm tốc, động cơ điện sẽ hoạt động

ngược lại như một máy phát điện, giúp tái tạo năng lượng và đưa nó trở lại pin. Nhờ vậy, hệ thống này không chỉ giúp tiết kiệm năng lượng mà còn giảm hao mòn phanh, kéo dài tuổi thọ của hệ thống phanh cơ khí.

### 1.2.2. Cấu tạo của hệ thống phanh tái sinh

Trên VinFast VF e34, hệ thống phanh tái sinh bao gồm các thành phần chính sau:

**Động cơ điện (Electric Motor):** Đóng vai trò vừa là nguồn động lực cho xe, vừa có thể hoạt động như một máy phát điện khi xe giảm tốc.

**Bộ điều khiển động cơ (Motor Controller):** Kiểm soát quá trình chuyển đổi giữa chế độ truyền động và chế độ tái tạo năng lượng.

**Bộ pin (Battery Pack):** Lưu trữ năng lượng tái tạo từ phanh tái sinh để sử dụng cho quá trình vận hành sau đó.

**Bộ điều khiển phanh (Brake Controller):** Điều phối giữa phanh tái sinh và phanh cơ học để đảm bảo hiệu suất phanh và an toàn.

Hệ thống này được lập trình để hoạt động tự động dựa trên thao tác của người lái, giúp xe giảm tốc một cách mượt mà mà vẫn tối ưu hóa việc tái tạo năng lượng.

### 1.2.3. Nguyên lý hoạt động của phanh tái sinh trên VF e34

Hệ thống phanh tái sinh trên VinFast VF e34 hoạt động theo trình tự sau:

**Bước 1: Khi xe di chuyển bình thường**

Khi người lái nhấn ga, động cơ điện sử dụng năng lượng từ pin để tạo ra chuyển động, giúp xe tăng tốc và di chuyển trên đường.

**Bước 2: Khi người lái nhả chân ga hoặc đạp phanh nhẹ**

Lúc này, hệ thống điều khiển động cơ sẽ chuyển đổi chế độ hoạt động của động cơ từ truyền động sang phát điện.

Động cơ điện tạo ra một lực cản để làm giảm tốc độ xe (thay vì sử dụng hoàn toàn hệ thống phanh cơ khí như trên xe chạy xăng).

Năng lượng cơ học từ bánh xe sẽ được chuyển thành điện năng và nạp lại vào pin.

**Bước 3: Khi cần giảm tốc nhanh hoặc dừng xe**

Nếu người lái đạp phanh mạnh hoặc trong trường hợp phanh khẩn cấp, hệ thống phanh đĩa truyền thống sẽ được kích hoạt để đảm bảo an toàn.

Trong trường hợp này, phanh tái sinh vẫn hoạt động nhưng không thể đảm nhận toàn bộ nhiệm vụ phanh, mà chỉ đóng vai trò hỗ trợ.

**Bước 4: Lưu trữ năng lượng tái tạo**

Năng lượng tái tạo từ quá trình phanh sẽ được lưu trữ vào pin để sử dụng sau này, giúp tăng phạm vi hoạt động của xe.

#### **1.1.4. Ưu và nhược điểm của phanh tái sinh trên Vf e34**

##### **Ưu điểm :**

Tận dụng lại năng lượng , giảm lãng phí : Thông thường, khi xe giảm tốc, năng lượng bị mất đi dưới dạng nhiệt qua hệ thống phanh cơ. Nhưng với phanh tái sinh, một phần lớn năng lượng này được thu hồi và chuyển thành điện năng, giúp xe tiết kiệm pin và kéo dài quãng đường di chuyển.

Tăng phạm vi hoạt động của xe điện : Do hệ thống phanh tái sinh giúp sạc lại pin trong quá trình di chuyển, nó có thể giúp xe điện đi được xa hơn sau mỗi lần sạc đầy, tối ưu hóa phạm vi di chuyển.

Giảm mài mòn hệ thống phanh cơ : Phanh tái sinh giúp xe giảm tốc độ mà không cần sử dụng nhiều đến phanh đĩa, làm giảm sự hao mòn của má phanh và đĩa phanh , điều này giúp người dùng tiết kiệm chi phí bảo dưỡng và kéo dài tuổi thọ của hệ thống phanh.

Trải nghiệm lái một cách mượt mà hơn : Khi người lái quen với phanh tái sinh, họ có thể kiểm soát xe tốt hơn mà không cần sử dụng phanh nhiều, đặc biệt là trong điều kiện giao thông đô thị.

##### **Nhược điểm :**

Giảm hiệu quả khi đầy pin : Khi pin đã sạc đầy, hệ thống phanh tái sinh có thể không hoạt động hiệu quả vì không có chỗ để lưu trữ thêm điện năng. Lúc này, xe sẽ phải dựa nhiều hơn vào hệ thống phanh cơ truyền thống.

Cảm giác so lái khác với xe chạy xăng : Do phanh tái sinh tạo ra lực cản khi người lái nhả chân ga, xe có thể giảm tốc nhanh hơn so với xe chạy xăng. Điều này có thể khiến người mới sử dụng xe điện cảm thấy lạ lẫm và cần thời gian để làm quen.

Không hoàn toàn có thể thay thế được phanh cơ : Trong các tình huống cần giảm tốc nhanh hoặc phanh gấp, hệ thống phanh cơ vẫn là yếu tố quan trọng để đảm bảo an toàn. Phanh tái sinh chỉ đóng vai trò hỗ trợ chứ không thể thay thế hoàn toàn phanh truyền thống.

### **1.3. Mô hình tổng quát xe điện**

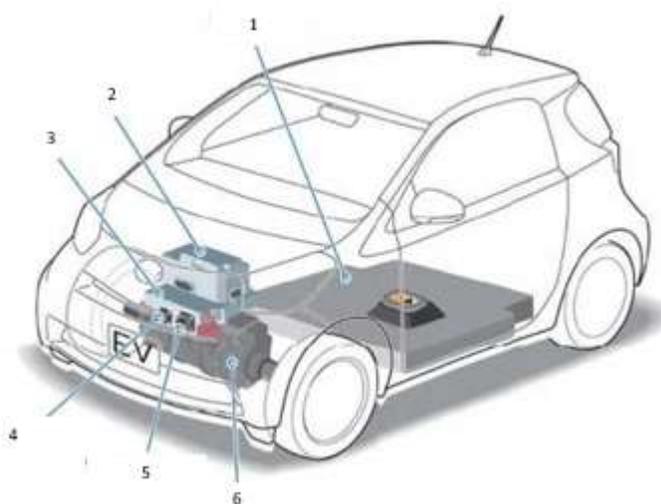
Ô tô điện (Electric Vehicles–EVs) đã trở thành một phần tất yếu của đời sống hiện đại; khả năng tiết kiệm nhiên liệu cao, thân thiện với môi trường cùng cảm giác lái xe êm dịu đã dần hấp dẫn nhiều người tiêu dùng hiện đại hơn.

Ô tô điện tương đối khác biệt so với các phương tiện thông thường như xăng từ thiết kế và nguyên tắc hoạt động cho đến cách vận hành và bảo trì. Cả hai loại xe trên hoàn toàn khác nhau ở nhiều phương diện.

Hiểu rõ những khác biệt trên sẽ là yếu tố quan trọng giúp người mua có thể quyết định được lựa chọn của họ về xe điện.

Việc khai phá một lĩnh vực mới sẽ vẫn là một thách thức lớn nhưng chắc chắn việc điện hoá ô tô là một điều tất yếu của tương lai. Vì vậy, series ô tô điện từ A-Z này sẽ mang tới cho bạn đọc đầy đủ thông tin từ cơ bản đến nâng cao của từng loại ô tô điện hiện nay.

### Những thành phần chính của ô tô điện:



Hình 1. 2. Các thành phần chính của xe điện.

1-Ắc quy; 2- Bộ điều khiển công suất động cơ; 3- Bộ biến tần; 4- Cổng sạc AC; 5- Cổng sạc nhanh DC; 6- Động cơ điện

Ô tô điện có thiết kế đơn giản hơn nhiều so với xe sử dụng động cơ đốt trong (ICE). Trong khi một động cơ đốt trong có khoảng 2.000 bộ phận chuyển động, hệ thống động cơ của ô tô điện chỉ bao gồm khoảng 20 bộ phận. Điều này giúp giảm thiểu hao mòn, tăng độ bền và giảm chi phí bảo dưỡng đáng kể.

Khác biệt cốt lõi giữa ô tô điện và ô tô truyền thống nằm ở cách tạo ra và sử dụng năng lượng. Ô tô điện vận hành bằng năng lượng lưu trữ trong hệ thống pin, cung cấp điện cho động cơ để tạo ra động lực di chuyển. Trong khi đó, xe sử dụng động cơ đốt trong dựa vào quá trình đốt cháy nhiên liệu hóa thạch hoặc sinh học để sinh công. Chính nhờ cơ chế vận hành này, ô tô điện được coi là thân thiện với môi trường hơn, do không tạo ra khí thải và giúp giảm đáng kể ô nhiễm không khí.

Một chiếc ô tô điện không cần đến động cơ đốt trong, hộp số phức tạp hay bộ truyền động truyền thống. Thay vào đó, xe được trang bị các thành phần chính như: động cơ điện, bộ giảm tốc, pin (ắc quy), bộ sạc trên bo mạch, bộ điều khiển nguồn và hệ thống phanh tái sinh. Những bộ phận này phối hợp với nhau để chuyển đổi năng lượng từ pin thành động năng, giúp xe vận hành mượt mà và hiệu quả.

Nhờ cấu trúc đơn giản, hiệu suất cao và khả năng tận dụng năng lượng tái tạo, ô tô điện đang trở thành xu hướng tất yếu trong ngành công nghiệp ô tô, hướng đến một tương lai giao thông bền vững hơn.

### 1.3.1. Động cơ điện / Motor điện



Hình 1. 3. Động cơ điện.

Động cơ điện chuyển đổi năng lượng điện thành động năng để truyền động bánh xe. Sử dụng động cơ điện thay cho động cơ đốt trong có nhiều ưu điểm, trong đó: Động cơ điện chuyển đổi năng lượng điện thành động năng để truyền động bánh xe.

Sử dụng động cơ điện thay cho động cơ đốt trong có nhiều ưu điểm, trong đó: Tiếng ồn và độ rung: Nhiều hành khách lần đầu lái xe điện rất ngạc nhiên trước cảm giác lái êm ái và thoải mái.

Động cơ điện có thể truyền một lượng mô-men xoắn rất lớn khi khởi động hoặc ở tốc độ thấp nên xe khởi động rất nhanh và tăng tốc ngay lập tức.

Ngoài ra, hệ truyền động của xe điện luôn nhỏ hơn và êm hơn so với hệ truyền động sử dụng động cơ đốt trong, giúp cung cấp thêm không gian cho các thiết kế xe hiệu quả hơn, chẳng hạn như nội thất và cốp xe lớn hơn .

Các loại động cơ điện được sử dụng chủ yếu hiện nay là động cơ đồng bộ ba pha, động cơ không đồng bộ ba pha và động cơ từ trở. Việc sử dụng loại động cơ này đã dẫn đến việc loại bỏ hoàn toàn hệ truyền động ở hầu hết các mẫu ô tô điện, khiến chúng dễ lái hơn nhiều.

Ngoài ra, do động cơ điện rất nhỏ, gọn, với trọng lượng nhẹ nên nhiều hãng xe thậm chí còn trang bị từng động cơ điện cho từng bánh xe, giúp xe có khả năng dẫn động 4 bánh toàn thời gian mà không cần trang bị bộ vi sai.

Một phần của động cơ cũng là một máy phát điện, nó chuyển đổi động năng được tạo ra khi ở Neutral Gear hay số N (ví dụ như khi ô tô đang xuống dốc) thành năng lượng điện và được lưu trữ vào pin.

### 1.3.2. Hộp giảm tốc ( Reducer )



Hình 1. 4. Hộp giảm tốc.

Bộ giảm tốc là một phần của hệ thống truyền lực. Tuy nhiên, thuật ngữ hộp số không được sử dụng thay cho bộ giảm tốc mà vì có lý do: Động cơ điện nhanh hơn nhiều so với động cơ đốt trong. Trong khi hộp số thay đổi momen xoắn được truyền từ động cơ đốt trong đến các bánh xe chủ động để phù hợp với nhu cầu của tài xế, bộ giảm tốc phải luôn giảm tốc độ vòng quay xuống một mức độ thích hợp. Với tốc độ vòng quay giảm, hệ thống truyền động của ô tô điện có thể tận dụng lợi thế của momen xoắn cao hơn.

### 1.3.3. Pin

#### ❖ Khôì Pin

Hệ thống Pin là trái tim của ô tô điện, có kích thước lớn và nằm dưới sàn ô tô. Ô tô điện ngày nay sử dụng công nghệ pin lithium-ion có thể sạc lại nhiều lần. Trong quá trình sạc, các ion lithium di chuyển từ cực dương sang cực âm và ngược lại trong quá trình phóng điện.



Hình 1. 5. Khối pin.

Pin xe điện đóng vai trò như bình nhiên liệu của xe động cơ đốt trong, quyết định quãng đường di chuyển tối đa. Dung lượng pin càng lớn, xe đi được càng xa, giúp giảm tần suất sạc.

Tuy nhiên, việc tăng dung lượng pin không đơn giản do kích thước và trọng lượng lớn có thể ảnh hưởng đến hiệu suất và không gian xe. Do đó, giải pháp tối ưu là nâng cao mật độ năng lượng, giúp pin nhỏ gọn hơn nhưng vẫn lưu trữ nhiều điện năng.

Nhờ những đột phá công nghệ, xe điện ngày nay có phạm vi di chuyển xa hơn, cải thiện đáng kể so với các thế hệ trước, đưa phương tiện xanh ngày càng tiến gần hơn đến sự tiện dụng và phổ biến.

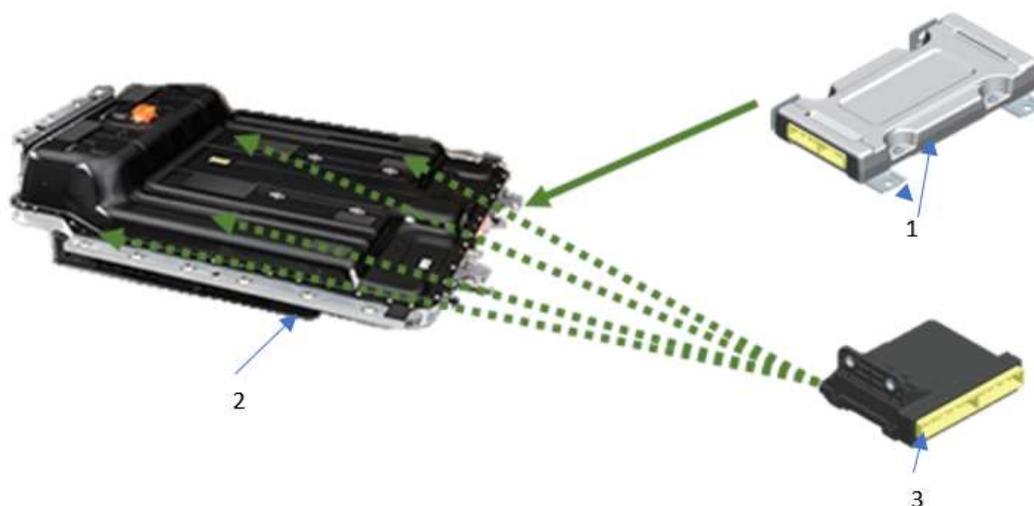
Ví dụ : VinFast VFe34 sử dụng pin lithium-ion dung lượng 42 kWh, cho phép xe di chuyển tối đa 300 km sau mỗi lần sạc đầy (theo tiêu chuẩn NEDC). Nhờ công nghệ sạc nhanh DC, pin có thể nạp từ 10% lên 70% chỉ trong khoảng 30 phút, giúp rút ngắn thời gian chờ. Hệ thống quản lý pin thông minh tối ưu hiệu suất, kéo dài tuổi thọ và đảm bảo an toàn khi vận hành

Ví dụ như kiểu sạc đến mức cạn kiệt toàn bộ pin và được sạc đầy: nếu pin được sử dụng mất 20% (dung lượng pin còn 80%), có thể được sử dụng cho 1.000 lần sạc; nếu pin

được sử dụng đến một nửa (50%) và được sạc lại, pin sẽ có tuổi thọ là 5.000 lần sạc; nếu pin sử dụng hết 80% và được sạc lại, pin sẽ có tuổi thọ là 8.000 lần sạc. Có nghĩa là, nếu VFe34 được lái trong 60 km một ngày (tương đương 20% quãng đường lái xe tối đa) và được sạc lại mỗi đêm, tuổi thọ của pin xe điện có thể kéo dài tới gần 8.000 ngày (22 năm).

#### ❖ Hệ thống quản lý pin

Hệ thống quản lý pin (Battery Management System - BMS) là bộ điều khiển thông minh, giám sát và tối ưu hoạt động của pin xe điện. BMS theo dõi điện áp, dòng điện, nhiệt độ và mức sạc (SoC) để đảm bảo pin hoạt động ổn định, đồng thời bảo vệ pin khỏi các rủi ro như quá nhiệt, quá áp hoặc ngắn mạch. Hệ thống này còn điều phối việc cân bằng các cell pin, giúp tăng tuổi thọ và duy trì hiệu suất cao nhất cho xe. Nhờ kiểm soát chặt chẽ quá trình sạc và xả, BMS giúp xe điện tối ưu quãng đường di chuyển, hạn chế tình trạng pin xuống cấp nhanh và đảm bảo an toàn vận hành, ngăn chặn nguy cơ hỏng hóc hoặc cháy nổ do lỗi pin. Ngoài ra, hệ thống cũng cung cấp dữ liệu quan trọng cho bảng điều khiển, giúp người lái theo dõi trạng thái pin dễ dàng. Nhờ công nghệ quản lý pin hiện đại, xe điện có thể vận hành bền bỉ, ổn định và hiệu quả hơn, mang lại trải nghiệm lái xe an toàn và tiện lợi.

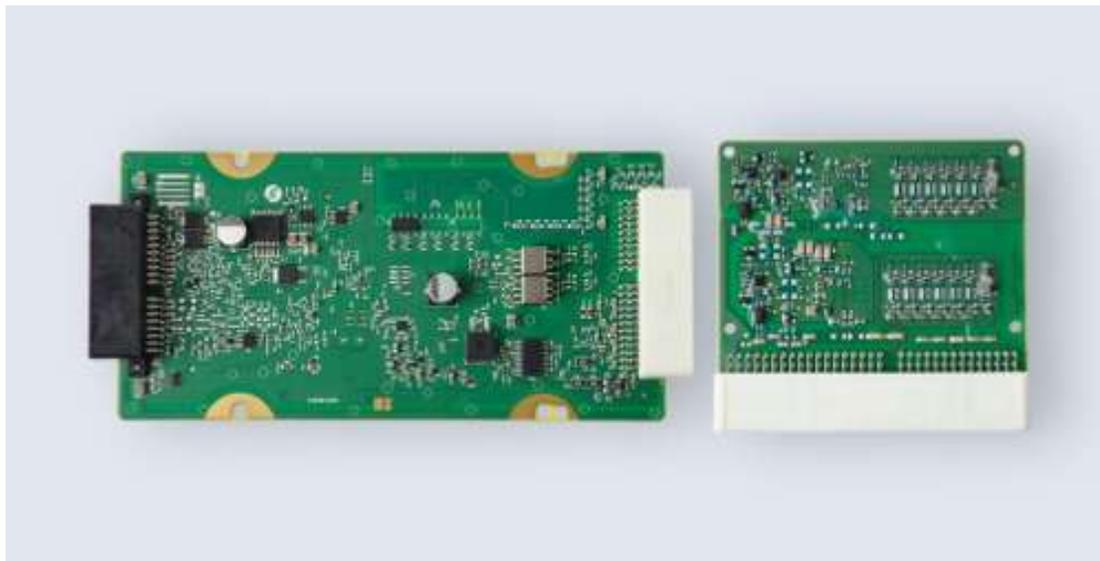


Hình 1. 6. Hệ thống quản lý pin.

1- Bộ điều khiển BSM (Battery Management System); 2- Hệ thống ắc quy(Battery System); 3- Module giám sát cell (Cell Monitoring Unit – CMU)

Thông thường, hệ thống quản lý pin BMS được tích hợp vào thân pin, nhưng đôi khi nó cũng được tích hợp vào bộ quản lý điều khiển nguồn (EPCU). BMS chủ yếu theo dõi trạng thái sạc và xả của các cell pin (cell), tuy nhiên khi phát hiện cell pin bị lỗi sẽ tự động

điều chỉnh trạng thái cấp nguồn (bật/tắt) của các cell pin thông qua cơ chế role. (Cơ chế bật/tắt có điều kiện các mạch khác).

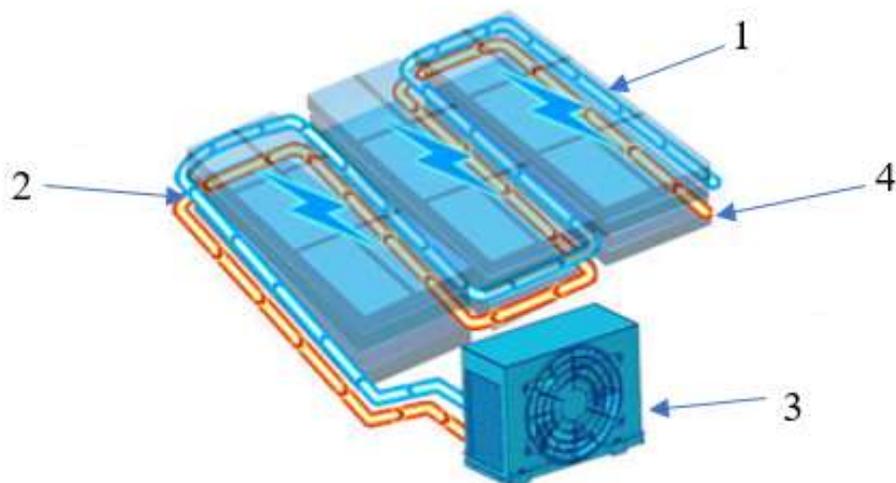


Hình 1. 7.Hệ thống quản lý pin BMS ( Battery Management system ).

#### ❖ Hệ thống sưởi ấm cho pin ( Battery Heating System )

Hệ thống sưởi ấm pin trên xe điện là một tính năng quan trọng giúp duy trì hiệu suất hoạt động của pin trong điều kiện thời tiết lạnh. Khi nhiệt độ môi trường giảm xuống, pin có thể bị ảnh hưởng, dẫn đến khả năng sạc chậm, giảm hiệu suất xả và làm quãng đường di chuyển bị rút ngắn. Hệ thống này hoạt động bằng cách làm ấm các cell pin thông qua cơ chế tản nhiệt hoặc sưởi điện, đảm bảo pin luôn ở mức nhiệt độ tối ưu. Nhờ đó, xe điện có thể sạc nhanh hơn, duy trì công suất ổn định và tăng tuổi thọ pin. Đây là công nghệ quan trọng, đặc biệt hữu ích ở những khu vực có khí hậu lạnh, giúp xe vận hành an toàn và hiệu quả hơn trong mọi điều kiện thời tiết.

Hệ thống sưởi ấm bằng pin có thể được lắp đặt theo nhiều cách khác nhau: bên trong thành và đế của bộ pin, hoặc các tấm sưởi cũng có thể được lắp vào giữa các bộ pin. Trong quá trình lắp đặt cuối cùng, nhiều lỗ mở khác nhau có thể phải được điều chỉnh để đạt được sự tiếp xúc nhiệt và thông gió tốt. Hệ thống sưởi pin có thể sử dụng một phần nhiệt dư thừa do thiết bị điện tử và động cơ điện tạo ra để giúp làm ấm pin.



Hình 1. 8. Hệ thống sưởi ấm pin.

1- Pin (Battery); 2- Mạch lạnh (Coolant cooling); 3- Hệ thống quản lý nhiệt độ pin BTMS(Battery Thermal Management System); 4- Khởi động nóng PTC Heating (Positive Temperature Coefficient)

#### 1.3.4. Bộ sạc trên bo mạch (On-Board Charger)

Từ sạc có thể gây nhầm lẫn. Vì trạm sạc thường được gọi là bộ sạc nên điều quan trọng là phải làm rõ rằng có hai loại bộ sạc:

Bộ sạc trên xe (OBC) được tích hợp sẵn trong xe.

Trạm sạc (còn gọi là bộ sạc, có thể là AC hoặc DC) – Thiết bị cung cấp xe điện (EVSE).

Quan trọng nhất, bộ sạc ô tô cho phép chúng ta kiểm soát dòng điện và điện áp mà ắc quy cần sạc (điện áp hoặc chế độ điều khiển dòng điện), từ đó bảo vệ tuổi thọ của ắc quy.

Bộ sạc cung cấp khả năng sạc dòng điện hoặc điện áp không đổi, cả hai đều dễ vận hành. Trong trường hợp sạc với dòng điện không ổn định (hiệu suất và tốc độ sạc cao), pin có nguy cơ bị sạc quá mức, từ đó rút ngắn tuổi thọ. Sạc liên tục với dòng điện quá lớn sẽ khiến pin nóng lên và rút ngắn tuổi thọ pin.



Hình 1. 9. Bộ on-Board charger.

Có hai loại sạc cơ bản, chúng ta có thể sử dụng DC hoặc AC:

Nếu sử dụng nguồn điện xoay chiều từ ổ cắm hoặc trạm sạc AC, dòng điện sẽ được truyền qua cáp sạc đến bộ sạc trên bo mạch, bộ sạc này sẽ chuyển đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều và gửi đến pin thông qua hệ thống quản lý pin (BMS).

Nếu ô tô sạc bằng dòng điện một chiều (DC), bộ sạc trên xe sẽ bị bỏ qua và dòng điện sẽ được truyền trực tiếp tới ắc quy thông qua hệ thống quản lý ắc quy BMS. Do đó, bộ sạc gắn trên xe không được sử dụng trong quá trình sạc DC nhưng phương pháp sạc này có yêu cầu cao hơn đối với BMS.

Nói tóm lại: Bộ sạc tích hợp (OBC) được sử dụng để chuyển đổi dòng điện xoay chiều (AC) từ bộ sạc chậm hoặc bộ sạc di động được sử dụng trên ổ cắm gia đình thành dòng điện một chiều (DC). Điều này có thể làm cho OBC trông giống như một bộ biến tần truyền thống, nhưng về cơ bản chức năng của chúng khác nhau; OBC được sử dụng để sạc và biến tần được sử dụng để tăng hoặc giảm tần số dòng điện và hoạt động nghịch đảo với OBC. OBC không cần thiết trong quá trình sạc nhanh vì bộ sạc nhanh đã cung cấp năng lượng dưới dạng dòng điện một chiều.

### 1.3.5. Bộ điều khiển nguồn điện (EPCU)

EPCU là sự tích hợp hiệu quả của hầu hết các thiết bị điều khiển điện trên xe. Nó bao gồm một bộ biến tần, bộ chuyển đổi DC-DC điện áp thấp (LDC) và bộ điều khiển phương tiện (VCU).



Hình 1. 10. Bộ điều khiển nguồn điện.

❖ **Biến tần**

Biến tần chuyển đổi dòng điện một chiều từ pin thành dòng điện xoay chiều, sau đó được sử dụng để điều khiển tốc độ của động cơ. Nó là bộ phận chịu trách nhiệm tăng tốc và giảm tốc nên đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa khả năng xử lý của ô tô điện.

❖ **Bộ chuyển đổi DC-DC điện áp thấp (Low voltage DC-DC Converter)**

LVDC chuyển đổi điện áp cao của ắc quy ô tô điện thành điện áp thấp (12V) và cung cấp cho các hệ thống điện tử khác nhau của xe. Tất cả các hệ thống điện tử trên ô tô điện đều sử dụng điện áp thấp. Do đó, điện áp cao của pin trước tiên phải được chuyển đổi để các hệ thống này sử dụng.

❖ **Bộ phận điều khiển xe ( Vehicle Control Unit )**

VCU là bộ phận dùng để điều khiển của tất cả các hệ thống điều khiển công suất điện trên xe, VCU chắc chắn là thành phần quan trọng nhất của EPCU. Nó điều khiển hầu như tất cả các cơ chế điều khiển công suất của xe, bao gồm điều khiển động cơ, điều khiển phanh tái tạo, điều khiển tải điều hòa không khí và cung cấp năng lượng cho hệ thống điện tử.

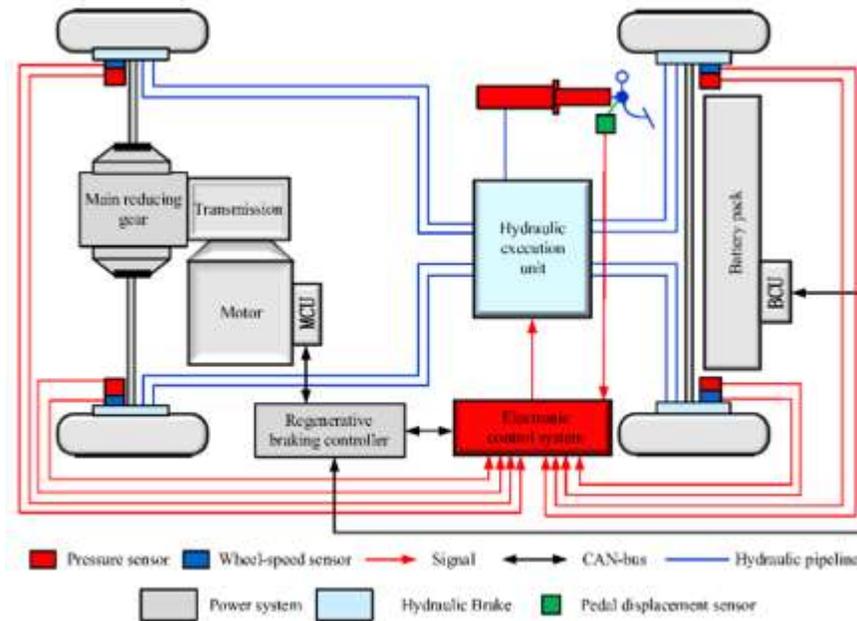
**1.3.6. Phanh tái sinh**

Phanh tái tạo hay còn gọi là phanh tái tạo: Chức năng này phục hồi năng lượng khi phanh và dùng để sạc pin. Chúng ta sẽ không thể phục hồi 100% năng lượng này nên tất nhiên nếu chúng ta liên tục lái xe và phanh gấp thì lượng pin sẽ giảm dần hơn nữa.

Phanh tái tạo ô tô, còn được gọi là hệ thống phanh tái tạo, là công nghệ được sử dụng trên ô tô để sử dụng năng lượng cơ học từ quá trình phanh và chuyển đổi thành năng lượng điện, sau đó được lưu trữ. Năng lượng này được lưu trữ trong ắc quy hoặc ắc quy để tái sử dụng khi ô tô đang vận hành. hoạt động. Mục tiêu của phanh tái tạo là cải thiện hiệu quả sử dụng nhiên liệu và giảm mức tiêu thụ nhiên liệu bằng cách thu hồi một phần năng lượng thường được tiêu thụ trong quá trình phanh.

Đối với dòng xe tham khảo VF e34 sử dụng hệ thống phanh tái sinh RBS với kiểu tích trữ năng lượng dạng điện năng.

Động cơ truyền động có thể hoạt động như một máy phát điện cung cấp tải chống lại chuyển động quay của bánh xe đóng vai trò như một mô men phanh. Trong quá trình phanh tái tạo, động cơ điện đóng vai trò như một máy phát để sạc pin nên hiệu suất sạc thấp khi xe chạy ở tốc độ thấp, do đó ở dải tốc độ này người ta thường sử dụng hệ thống phanh tái tạo bằng phanh cơ học.



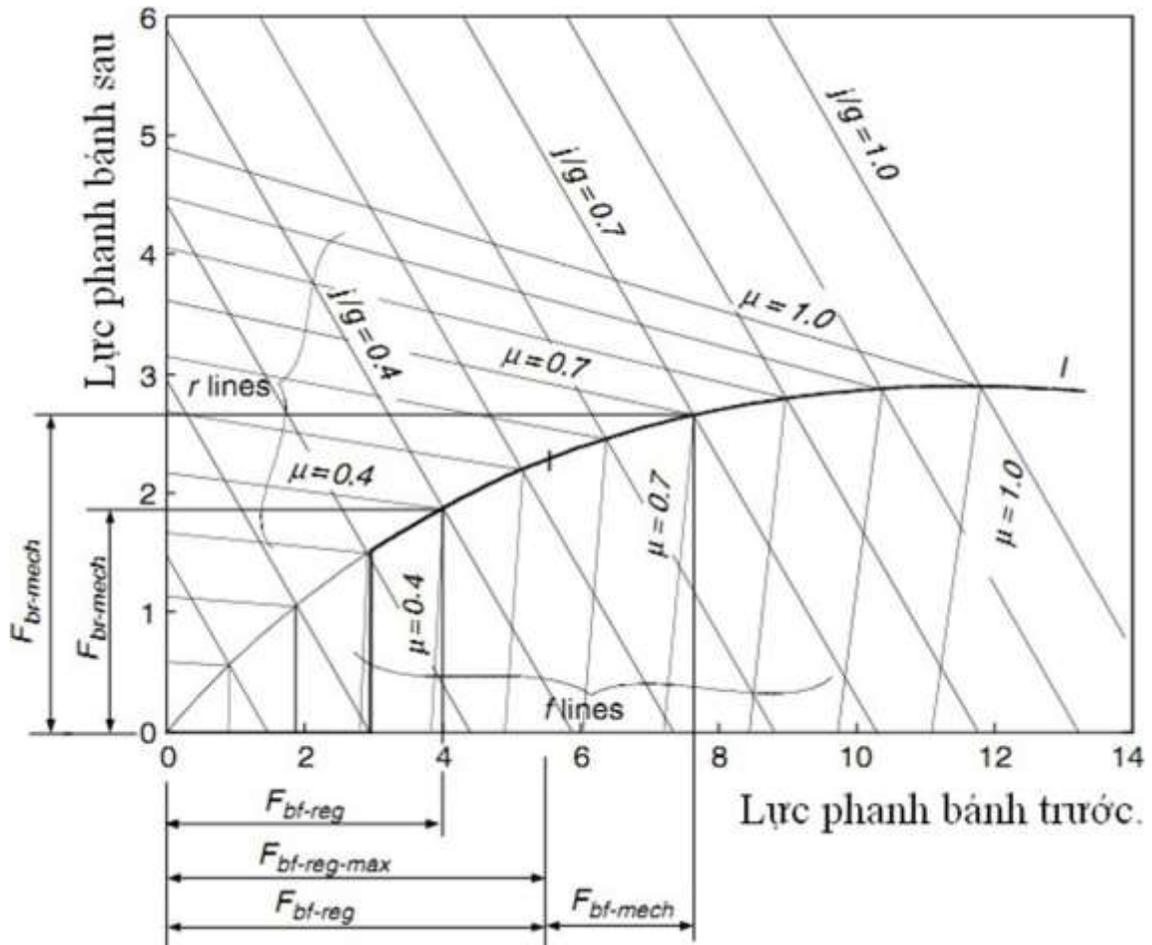
Hình 1. 11. Sơ đồ phanh tái sinh.

Trên xe điện, bộ truyền động phanh RBS là những động cơ/máy phát điện hoạt động ở các chế độ khác nhau, có thể hoạt động với điện áp DC hoặc AC. Các thiết bị lưu trữ năng lượng tái tạo trong quá trình phanh có thể là pin, siêu tụ điện hoặc kết hợp cả hai. Hệ thống RBS với thiết bị lưu trữ năng lượng bằng pin thường được sử dụng cho xe EV và HEV và yêu cầu bộ chuyển đổi điện (biến tần và bộ chuyển đổi).

## CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Xác định các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả thu hồi năng lượng

Việc phân bố lực phanh giữa phanh cơ khí và hệ thống thu hồi năng lượng phanh được thực hiện bởi một hệ thống điều khiển phân phối lực phanh lên bánh trước và bánh sau. Mục tiêu là để hiệu quả phanh tốt nhất. Tức là quãng đường phanh ngắn nhất, phân bố lực phanh tối ưu ra phanh trước và phanh sau được biểu diễn dưới dạng đường cong I hình 2.1.



Hình 2. 1. *Giản đồ phân phối lực phanh bánh trước và bánh sau hệ thống phanh thu hồi ưu tiên hiệu quả phanh.*

Khi gia tốc phanh nhỏ hơn  $0,2g$  lực phanh thu hồi được áp dụng, khi gia tốc phanh lớn hơn  $0,2g$  lực phanh bánh trước và bánh sau được phân phối theo đường cong I hình 2.1. Lực phanh tác dụng lên bánh trước gồm hai phần là lực phanh tái sinh và lực phanh cơ khí. Khi mà lực phanh yêu cầu nhỏ hơn lực phanh lớn nhất mà động cơ điện có thể tạo ra thì sẽ

chỉ áp dụng phanh thu hồi năng lượng. Nếu lực phanh yêu cầu lớn hơn lực phanh thu hồi cực đại thì động cơ điện sẽ hoạt động để sinh ra mô men phanh cực đại và lực phanh còn lại được cung cấp bởi hệ thống phanh cơ khí.

## 2.2. Tính toán động lực quá trình phanh

### 2.2.1. Tính toán động lực quá trình phanh trên đường thẳng

#### ❖ Phương trình động lực học của xe

Để có cơ sở tính toán và thiết kế các thông số của bộ thu hồi năng lượng khi phanh, chúng ta phân tích động lực học cũng như công suất phanh cần thiết đối với một chiếc xe khi phanh hoặc giảm tốc. Thông qua phương trình động lực học tổng quát của ô tô khi chuyển động trên đường.

Phương trình cân bằng lực kéo trong trường hợp xe trên đường thẳng, lực quán tính của xe được truyền vào bộ thu hồi năng lượng, theo TL[2]:

$$F_k = F_f + F_j + F_a \quad (2.1)$$

Trong đó:

$F_k$  : lực kéo của xe

$$F_k = \frac{M_e \cdot i_0}{r_{bx}} = \frac{242.7,94}{0,325} = 5930,5(N) \quad (2.2)$$

với  $M_e = 242(Nm)$  mô men cực đại của xe,  $r_{bx} = 0,325(m)$  bán kính bánh xe,  $i_0 = 7,94$  là tỉ số truyền.

$F_f$  : Lực cản lăn được tính bằng công thức:

$$F_f = G \cdot f \cdot \cos \alpha = G \cdot f = 1840.9,8.0,015 = 270,48(N) \quad (2.3)$$

Với hệ số cản lăn  $f = 0,015$  đối với đường nhựa tốt,  $G$  là trọng lượng của xe (N).

$F_j$  : Lực quán tính (chỉ xuất hiện khi xe chuyển động không ổn định).

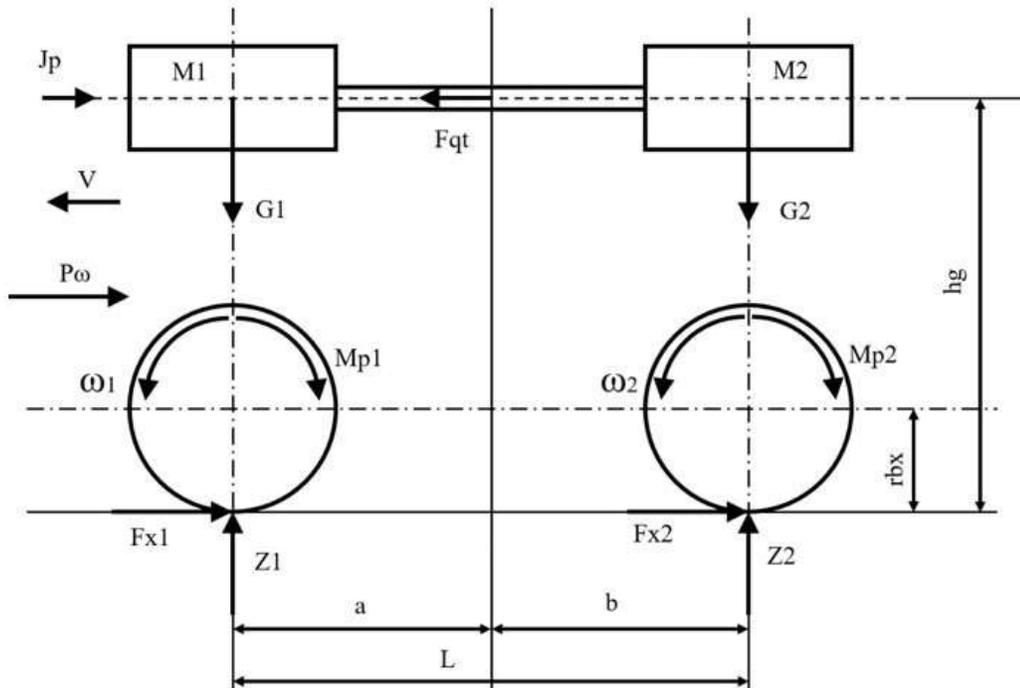
$$F_j = \frac{G}{g} \cdot \delta_j \cdot j(N) \quad (2.4)$$

$F_a$  : Lực cản không khí được tính

$$F_a = K \cdot F \cdot v^2 = 0,32.2,31.50^2 = 1848(N) \quad (2.5)$$

với:  $K = 0,32$  là hệ số cản không khí ( $kg/m^3$ ),  $v = 50$  là vận tốc của xe (m/s),  $F = 0,8.1,793.1,613 = 2,31(m^2)$  là diện tích cản chính diện.

Để có cơ sở tính toán và thiết kế các thông số của bộ thu hồi năng lượng khi phanh trước tiên ta hãy đi phân tích các giá trị công suất phanh cần thiết và động lực học đối với một chiếc xe khi phanh hoặc giảm tốc. Trước tiên ta đi xét phương trình động lực học tổng quát của ô tô khi chuyển động trên đường. Mô hình khảo sát là mô hình phanh ½ khi phanh xe trên đường bằng có hệ thống thu hồi năng lượng phanh kết hợp với hệ thống phanh thủy lực. Từ đó lập các hệ phương trình tính toán hệ thống phanh thủy lực thông thường, hệ thống phanh thu hồi và điều khiển hệ thống theo thuật toán. Lúc này, các lực tác dụng lên xe sẽ được trình bày như trong hình dưới đây, theo TL[9].



Hình 2. 2. Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô khi phanh.

Trong đó:

Lực  $F_{x1}$  và  $F_{x2}$  : Là lực dọc của bánh xe cầu trước và cầu sau.

Với lực dọc bánh xe cầu trước là :

$$F_{x1} = F_{p1} + F_{f1} \quad (2.6)$$

Và lực dọc bánh xe cầu sau là :

$$F_{x2} = F_{p2} + F_{f2} \quad (2.7)$$

$F_{p1}$  và  $F_{p2}$  là lực phanh các bánh xe cầu trước và bánh xe cầu sau.

$F_{f1}$  và  $F_{f2}$  là lực cản lăn các bánh xe cầu trước và bánh xe cầu sau.

Lực pháp tuyến  $Z_1, Z_2$  : là các phản lực từ mặt đường lên các bánh xe cầu trước và cầu sau.

Lực cản gió  $F_w$ .

$\omega_1$  và  $\omega_2$  là vận tốc góc của bánh trước và bánh sau.

$V$  là vận tốc của Ô tô.

$F_{qt}$  là lực quán tính của Ô tô khi phanh.

**Mô men phanh bánh trước  $M_{p1}$  và bánh sau  $M_{p2}$ .** Với  $M_{p1} = M_{th} + M_{ck1}$

$M_{th}$  là lực phanh của hệ thống phanh thu hồi trên cầu trước.

$M_{ck1}$  là lực phanh của hệ thống phanh thủy lực trên bánh trước.

Phương trình cân bằng lực kéo của xe trường hợp khi phanh xe trên đường bằng:

$$\frac{G}{g} \cdot v' = \frac{G}{g} \cdot j_p = F_{p1} + F_{p2} + F_{f1} + F_{f2} + F_a \quad (2.8)$$

$F_a$  được tính theo công thức :  $F_a = k \cdot F \cdot v_{td}^2$  [N]

$$F_a = 0,32 \cdot 2,31 \cdot 50^2 = 1848 \text{ [N]}$$

Với  $K$  là hệ số cản không khí ta chọn  $K = 0,32 [N \cdot s^2 / m^4]$

$F$  là diện tích cản chính diện [ $m^2$ ]:  $F = 0,8 \cdot B \cdot H = 1,793 \cdot 1,613 \cdot 0,8 = 2,31 [m^2]$

$v_{td}$  là vận tốc tương đối giữa Ô tô và không khí:  $v_{td} = V \pm v_g$

$v_g$  là vận tốc gió.

Chọn vận tốc gió  $v_g = 0$ . Nên  $v_{td} = 180 [km/h] = 50 [m/s]$

Lực cản lăn được tính theo công thức:  $F_{f1} + F_{f2} = f(Z_1 + Z_2)$

$$Z_1 = m \cdot g \cdot \left( \frac{a}{L} + \frac{j_p \cdot h_g}{g \cdot L} \right) = 1840 \cdot 9,8 \cdot \left( \frac{1,306}{2,611} + \frac{5 \cdot 0,807}{9,8 \cdot 2,611} \right) = 11862,9 [N]$$

$$Z_2 = m \cdot g \cdot \left( \frac{b}{L} + \frac{j_p \cdot h_g}{g \cdot L} \right) = 1840 \cdot 9,8 \cdot \left( \frac{1,306}{2,611} + \frac{5 \cdot 0,807}{9,8 \cdot 2,611} \right) = 11862,9 [N]$$

Trong đó:  $m$  là khối lượng của xe :  $m = 1840 [kg]$ ,  $g$  là gia tốc trọng trường :  $g = 9,8 [m/s^2]$ ;  $h_g$  là chiều cao trọng tâm xe  $h_g = 0,807 [m]$ ;  $L$  là chiều dài cơ sở

của ô tô :  $L = 2,611[m]$  ;  $j_p$  là gia tốc phanh :  $j_p = 5[m/s^2]$  ; a,b là khoảng cách từ trọng tâm trên trục trước và sau của bánh xe :  $a = b = \frac{L}{2} = \frac{2,611}{2} = 1,306[mm]$

Xác định mô men quán tính của xe trong quá trình phanh hoặc giảm tốc.

Mô men quán tính của xe khi xe đang trong quá trình phanh hoặc giảm tốc. Khi xe bắt đầu quá trình giảm tốc thì lực làm cho xe đang chuyển động là lực quán tính tại thời điểm đó trừ đi các lực cản gió, lực cản lăn... Lúc này mô men đặt vào bánh xe chủ động (xe trước chủ động) sẽ là, theo TL[9]:

Mô men tại bánh xe chủ động = Mô men quán tính của xe – Mô men cản lăn – Mô men cản gió.

$$M_b = M_j - M_f - M_a = 1315,15 - 93,315 - 637,56 = 584,27[Nm] \quad (2.9)$$

Trong đó:

$$M_f = f \cdot m \cdot g \cdot r_b [Nm] \text{ với } r_{bx} \text{ là bán kính bánh xe : } r_{bx} = 0,345[m]$$

$$M_f = 0,015 \cdot 1840 \cdot 9,8 \cdot 0,345 = 93,315[Nm]$$

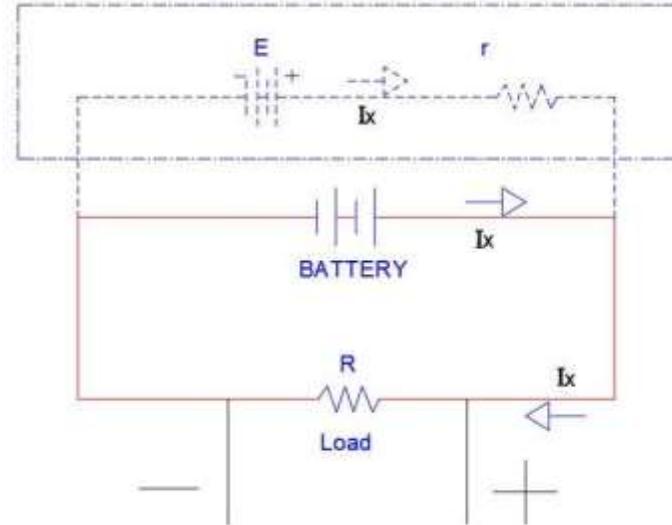
$$M_a = k \cdot F \cdot v_{td}^2 \cdot r_{bx} = 0,32 \cdot 2,31 \cdot 50^2 \cdot 0,345 = 637,56[Nm]$$

$M_j$  là mô men quán tính của xe được quy về bánh xe chủ động bao gồm mô men quán tính của chuyển động tịnh tiến và mô men quán tính của các chi tiết chuyển động quay trong hệ thống truyền lực bao gồm từ động cơ, hộp số, bộ vi sai và bánh xe chủ động.

$$M_j = F_j \cdot r_b = r_b \cdot m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \delta_i = 3812,02 \cdot 0,345 = 1315,15[kg / m^2] \quad (2.10)$$

$\delta_i$  là Hệ số tính đến ảnh hưởng của các khối lượng chuyển động quay quy dẫn về bánh xe chủ động.

### 2.3. Tính toán mô hình pin



Hình 2. 3. Mô hình pin.

Công suất sạc của pin :  $P_{batt} = V_{batt} \cdot I_{batt} = 396 \cdot 22,7 = 8989,2 [W]$

Trong đó :

$P_{batt}$  công suất sạc [W]

$I_{batt}$  dòng điện của mỗi mô đun

$V_{batt}$  tổng điện áp của pin  $V_{batt} = 396 [V]$

Theo đó  $I_{batt}$  được xác định theo công thức :

$$I_{batt} = \frac{I}{N_p} = \frac{250}{11} = 22,7 [Ah] \quad (2.11)$$

Trong đó :

$N_p$  số cặp cực mắc song song  $N_p = 11$

$I$  dòng điện sạc  $I = 250 [Ah]$

Trạng thái sạc của pin được tính theo công thức :

$$SOC = \frac{1}{Cap_{batt}} \int_0^t I_{batt} \cdot dt$$

$Cap_{batt}$  : Dung lượng ban đầu của pin [Ah]

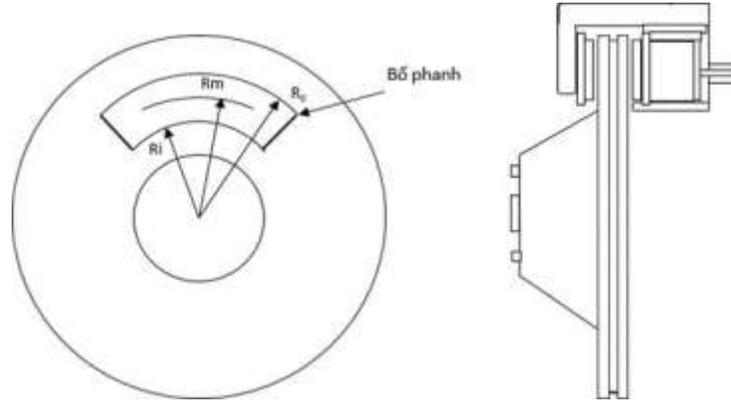
Nhằm giảm thiểu các hư hỏng cho pin , công suất sạc cho pin phải được giới hạn lại . Khi dòng điện đạt cực đại tại  $I_{inmax}$  thì công suất cực đại được tính theo công thức :

$$P_{batt\ max} = I_{in\ max} \cdot V_{batt} - I_{in\ max} \cdot E_m$$

$E_m$  : Điện áp mở mạch của pin [V]

## 2.4. Mô hình tính toán quá trình phanh

### 2.4.1. Tính toán phanh thủy lực



Hình 2. 4. Cấu tạo phanh đĩa.

#### Cơ cấu phanh sẽ sinh ra Mô men phanh:

$$M = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot Ba^2 \cdot R_m \cdot N_{pads} / 4 [Nm] \quad (2.12)$$

Trong đó:

$M$  : mô men do cơ cấu phanh thủy lực sinh ra. [Nm]

$\mu$  : hệ số ma sát của đĩa với má phanh.

$P$  : áp suất phanh [Pa].

$Ba$  : hệ số cơ cấu truyền động phanh.

$R_m$  : bán kính trung bình từ trục phanh đến má phanh:  $R_m = R_i + R_o [m]$

$R_i$  : bán kính trong của má phanh [m]

$R_o$  : bán kính ngoài của má phanh [m]

$N_{pads}$  : số lượng má phanh trong cụm phanh đĩa.

### 2.4.2. Tính toán mô men phanh của hệ thống thu hồi năng lượng

Mô men phanh của hệ thống thu hồi năng lượng sẽ được tính theo công thức trong TL[9]:

$$M_{th} = M_{dc} \cdot K_v \cdot K_{SOC} \quad (2.13)$$

Trong đó:

$M_{th}$  : mô men thu hồi [Nm]

$M_{dc}$  : mô men hãm của động cơ điện hoạt động ở chế độ máy phát [Nm]

$K_v$  : hệ số vận tốc.

$K_{SOC}$  : hệ số % khả năng nạp điện của pin.

Mô men hãm của máy phát:

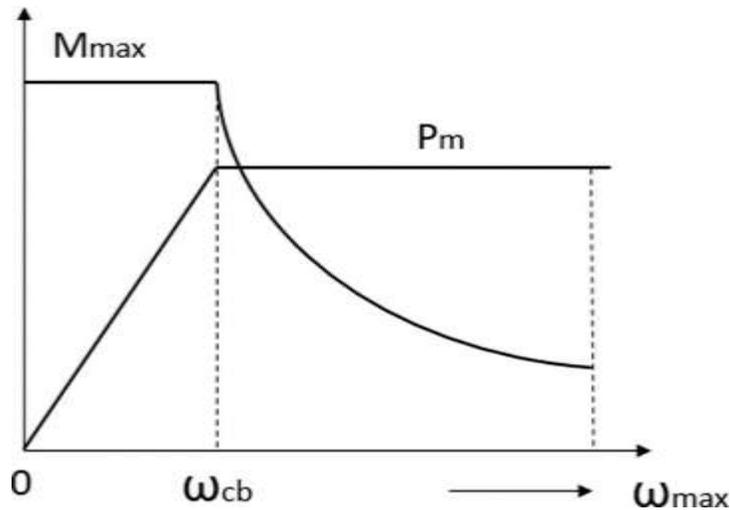
$$M_{dc} = \begin{cases} M_{\max} & \text{neu } \omega_{dc} < \omega_{cb} \\ P_m / \omega_{dc} & \text{neu } \omega_{dc} > \omega_{cb} \end{cases}$$

$M_{\max}$  : mô men cực đại của động cơ điện.

$P_m$  : công suất cực đại của động cơ điện.

$\omega_{dc}$  : vận tốc góc cơ bản của động cơ điện.

$\omega_{cb}$  : tốc độ trục của động cơ điện.



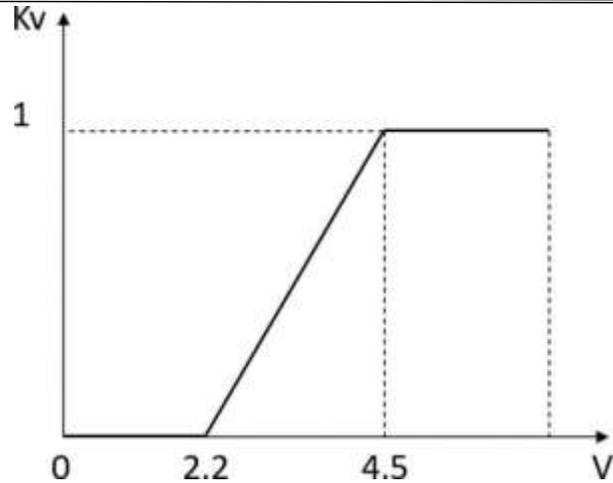
Hình 2. 5. Đường đặc tính của động cơ điện 3 pha có chổi than.

Tính hệ số  $K_v$ ,  $K_{SOC}$ .

Hệ số  $K_v$

Do đường đặc tính của động cơ điện, khi tốc độ thấp thì công suất thu hồi nhỏ nên hiệu quả thu hồi kém. Vì vậy tốc độ ô tô  $V < 22,2 \text{ Km/h}$  thì hệ thống thu hồi khôn làm việc.

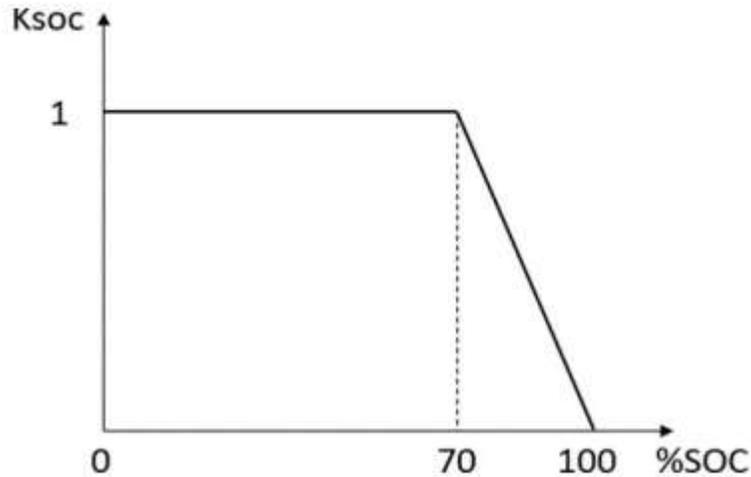
$$K_v = \begin{cases} K_v=0 & \text{neu } V < 2,2 \text{ Km/h} \\ K_v=1 & \text{neu } V > 4,5 \text{ Km/h} \end{cases}$$



Hình 2. 6. Quan hệ giữa  $K_v$  và vận tốc

Hệ số  $K_{SOC}$  là để đảm bảo cho pin của xe không bị quá nạp, khi pin đã được nạp đầy rồi thì không cần phải nạp pin nữa. Do đó, khi  $\%SOC = 100\%$  thì hệ thống thu hồi sẽ không

làm việc. 
$$K_{SOC} = \begin{cases} K_{SOC} = 1 \text{ neu } \%SOC < 70\% \\ K_{SOC} = 0 \text{ neu } \%SOC = 100\% \end{cases}$$



Hình 2. 7. Quan hệ giữa hệ số  $K_{SOC}$  và  $\%SOC$ .

Năng lượng thu hồi trong quá trình phanh

Năng lượng thu hồi được trong quá trình phanh sẽ được chuyển thành điện năng để nạp lại cho pin. Công suất thu hồi trên máy phát sẽ được tính theo công thức dưới đây:

$$P_{th} = M_{th} \cdot \omega \cdot i \quad (2.14)$$

$P_{th}$  : công suất thu hồi [W]

$M_{th}$  : mô men thu hồi của máy phát[Nm]

$\omega$  : tốc độ góc bánh xe trước  $[rad / s]$

$i$  : tỉ số truyền của hệ thống truyền lực.

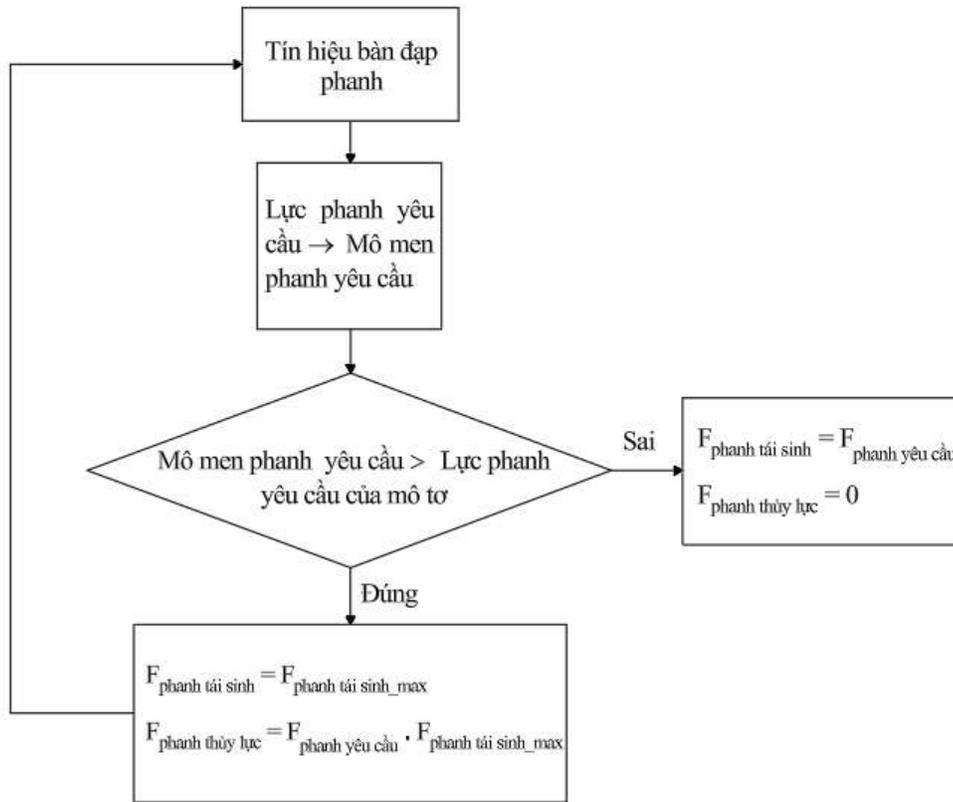
Công thu được của quá trình thu hồi năng lượng được tính theo công thức:

$$A_{th} = P_{th} \cdot t$$

$A_{th}$ : công thu được của quá trình thu hồi  $[J]$

$t$  : thời gian thu hồi  $[s]$

### 2.4.3. Thuật toán điều khiển hệ thống phanh



Hình 2. 8. Thuật toán điều khiển hệ thống phanh.

---

## CHƯƠNG 3: GIỚI THIỆU CÔNG CỤ MATLAB SIMULINK

---

### 3.1. Giới thiệu về MATLAB/ Simulink

MATLAB Simulink là một môi trường mô phỏng đồ họa do **MathWorks** phát triển, được sử dụng để thiết kế, mô phỏng và phân tích các hệ thống động lực học. Simulink hoạt động dựa trên sơ đồ khối (block diagram), giúp người dùng dễ dàng xây dựng mô hình hệ thống mà không cần viết mã lập trình phức tạp. Đây là một công cụ quan trọng trong các lĩnh vực kỹ thuật như điều khiển tự động, điện tử công suất, hệ thống nhúng, xe điện và nhiều ứng dụng khác.

Simulink được phát triển bởi MathWorks, công ty nổi tiếng với phần mềm MATLAB. Ra mắt lần đầu tiên vào năm 1984, Simulink đã trải qua nhiều phiên bản và cải tiến đáng kể. Ban đầu, nó được thiết kế để bổ sung cho MATLAB, cung cấp khả năng mô phỏng đồ họa. Với sự phát triển của công nghệ, Simulink đã càng ngày càng trở nên mạnh mẽ, hỗ trợ mô phỏng thời gian thực và tích hợp với nhiều ngôn ngữ lập trình khác nhau.



Hình 3. 1. Giao diện phần mềm mô phỏng Matlab.

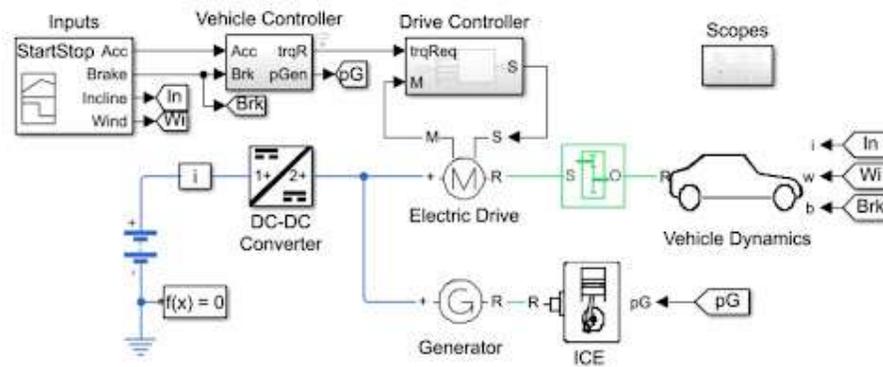
#### 3.1.1. Đặc điểm chính của MATLAB/ Simulink

MATLAB Simulink là một công cụ mô phỏng mạnh mẽ với nhiều tính năng nổi bật, giúp người dùng thiết kế, phân tích và kiểm tra các hệ thống động lực học một cách dễ dàng. Dưới đây là những đặc điểm chính của Simulink:

- ❖ **Giao diện trực quan**

Simulink sử dụng phương pháp mô phỏng bằng sơ đồ khối (block diagram), trong đó mỗi khối biểu diễn một thành phần hoặc một chức năng cụ thể của hệ thống. Người dùng có thể dễ dàng kéo, thả và kết nối các khối để xây dựng mô hình mà không cần viết mã lập trình phức tạp. Điều này giúp giảm thời gian thiết kế và tăng tính trực quan khi mô phỏng các hệ thống phức tạp.

Ngoài ra, Simulink còn hỗ trợ giao diện đồ họa thân thiện với người dùng, cho phép hiển thị dữ liệu mô phỏng theo thời gian thực thông qua các biểu đồ, đồ thị và bảng số liệu. Điều này giúp người dùng dễ dàng theo dõi và phân tích kết quả.



Hình 3. 2. Giao diện trực quan mô hình Matlab/ Simulink.

#### ❖ Thư viện khối đa dạng

Simulink cung cấp một thư viện phong phú gồm hàng trăm khối chức năng, phục vụ cho nhiều lĩnh vực khác nhau như:

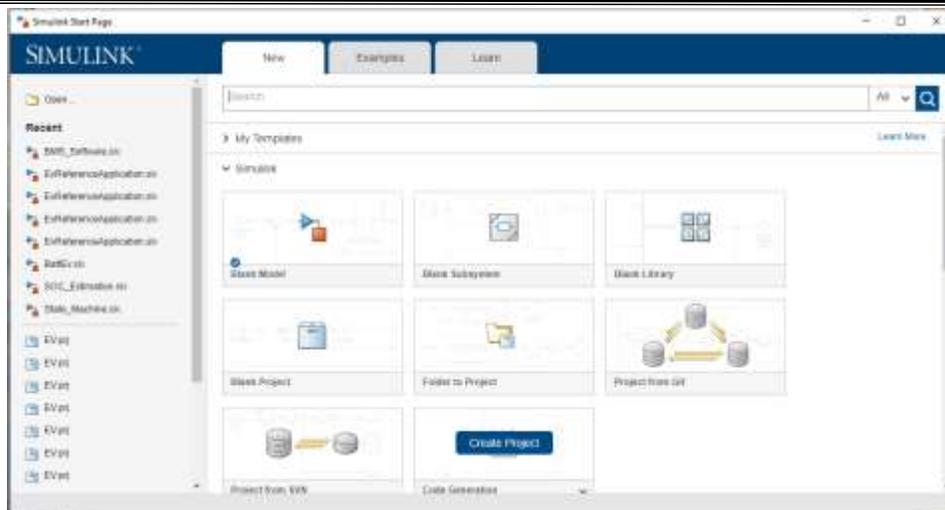
Điều khiển tự động: Các khối PID, điều khiển mờ (Fuzzy Logic), điều khiển thích nghi.

Điện tử công suất: Các khối mô phỏng bộ chỉnh lưu, bộ nghịch lưu, biến tần, bộ chuyển đổi DC-DC.

Cơ khí và hệ thống động lực học: Mô phỏng hệ thống treo, cơ cấu truyền động, động cơ điện, robot.

Xử lý tín hiệu và viễn thông: Các khối lọc tín hiệu, điều chế sóng, xử lý âm thanh, truyền dữ liệu.

Hệ thống nhúng: Mô phỏng vi điều khiển, lập trình FPGA, kiểm tra hệ thống nhúng trong thời gian thực.



Hình 3. 3. Thư viện Matlab/Simulink.

### ❖ Hỗ trợ mô phỏng hệ thống động lực học

Simulink cho phép mô phỏng các hệ thống động lực học phức tạp theo nhiều cách khác nhau:

Mô phỏng hệ thống liên tục (Continuous-time): Sử dụng các phương trình vi phân để mô tả hệ thống và mô phỏng một cách chính xác.

Mô phỏng hệ thống rời rạc (Discrete-time): Áp dụng trong các hệ thống điều khiển số, xử lý tín hiệu số hoặc hệ thống nhúng.

Mô phỏng hệ thống lai (Hybrid Systems): Kết hợp cả mô hình liên tục và rời rạc để mô phỏng các hệ thống thực tế như xe điện, robot tự hành, hệ thống điều khiển thông minh.

### ❖ Mô phỏng thời gian thực

Simulink hỗ trợ mô phỏng thời gian thực, giúp kiểm tra và đánh giá hệ thống trong điều kiện gần giống thực tế nhất. Một số ứng dụng quan trọng bao gồm:

Ngành ô tô: Mô phỏng và kiểm tra các hệ thống điều khiển động cơ, phanh tái sinh, quản lý năng lượng trên xe điện.

Ngành hàng không: Thiết kế và kiểm tra hệ thống điều khiển bay, mô phỏng khí động học.

Robot và tự động hóa: Mô phỏng hệ thống điều khiển robot, kiểm tra cảm biến và thuật toán trí tuệ nhân tạo.

Hệ thống nhúng: Kết hợp với phần cứng như Arduino, Raspberry Pi, FPGA để kiểm tra phần mềm điều khiển trước khi triển khai thực tế.

## 3.1.2. Ứng dụng của MATLAB/Simulink

### ❖ Điều khiển tự động

Thiết kế bộ điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative): Mô phỏng và tối ưu hóa hệ thống điều khiển PID để đảm bảo hiệu suất ổn định trong các ứng dụng công nghiệp, từ điều khiển nhiệt độ, áp suất, tốc độ động cơ đến các hệ thống servo.

Điều khiển mờ (Fuzzy Logic Control): Áp dụng lý thuyết điều khiển mờ để thiết kế các hệ thống có khả năng xử lý các điều kiện không chắc chắn hoặc dữ liệu không chính xác, chẳng hạn như điều khiển xe tự hành hoặc robot thông minh.

Điều khiển thích nghi (Adaptive Control): Mô phỏng và thử nghiệm các thuật toán điều khiển tự điều chỉnh để tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống trong điều kiện môi trường thay đổi.

#### ❖ Ô tô và xe điện

Mô phỏng hệ thống truyền động điện: Mô phỏng động cơ điện, bộ biến tần, bộ điều khiển động cơ để tối ưu hiệu suất và giảm tổn hao năng lượng.

Hệ thống phanh tái sinh (Regenerative Braking System - RBS): Thiết kế, mô phỏng và đánh giá hiệu suất của hệ thống phanh tái sinh trên xe điện nhằm thu hồi năng lượng khi phanh và nâng cao quãng đường di chuyển của xe.

Quản lý năng lượng (Energy Management System - EMS): Mô phỏng và tối ưu hóa hệ thống quản lý năng lượng của xe hybrid và xe điện nhằm tối đa hóa hiệu suất sử dụng pin.

ADAS (Advanced Driver Assistance Systems - Hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến): Simulink được sử dụng để phát triển các hệ thống như kiểm soát hành trình thích ứng (Adaptive Cruise Control), nhận diện vật cản, cảnh báo làn đường và hỗ trợ lái tự động.

Mô phỏng động lực học xe (Vehicle Dynamics): Phân tích và tối ưu hóa các thông số liên quan đến hệ thống treo, hệ thống lái, hệ thống truyền động để nâng cao tính ổn định và an toàn khi vận hành xe.

#### ❖ Hệ thống điện tử công suất

Bộ chuyển đổi DC-DC (chopper, buck, boost, buck-boost): Mô phỏng và tối ưu hóa bộ chuyển đổi điện áp để ứng dụng trong hệ thống pin, năng lượng tái tạo và xe điện.

Bộ biến tần (Inverter): Thiết kế và phân tích hiệu suất của bộ biến tần trong các hệ thống điện mặt trời, điện gió, ổn định lưới điện.

Bộ chỉnh lưu (Rectifier): Mô phỏng bộ chỉnh lưu dùng trong các thiết bị nguồn cung cấp điện, bộ sạc xe điện, hệ thống UPS.

Lọc công suất và bù công suất phản kháng: Ứng dụng trong các hệ thống lưới điện thông minh (Smart Grid) để nâng cao chất lượng điện năng.

---

Điều khiển động cơ điện (Motor Control): Thiết kế các thuật toán điều khiển động cơ BLDC, PMSM, ACIM, giúp nâng cao hiệu suất hoạt động và tiết kiệm năng lượng.

❖ **Viễn thông và xử lý tín hiệu**

Mô phỏng hệ thống truyền thông không dây: Bao gồm 4G, 5G, OFDM, MIMO và các kỹ thuật điều chế tiên tiến.

Xử lý tín hiệu âm thanh và hình ảnh: Mô phỏng bộ lọc số, nén dữ liệu, nhận dạng giọng nói và xử lý hình ảnh trong hệ thống AI.

Thiết kế ăng-ten và hệ thống radar: Mô phỏng đặc tính sóng vô tuyến, radar Doppler và hệ thống định vị GPS.

### 3.2. Ứng dụng của MATLAB Simulink trong ngành kỹ thuật ô tô

❖ **Mô phỏng và thiết kế hệ thống truyền động**

Hệ thống truyền động ô tô bao gồm: động cơ, hộp số, trục truyền động và vi sai. Simulink giúp mô phỏng các hệ thống này để đánh giá hiệu suất và tối ưu hóa thiết kế.

Mô phỏng và phân tích hiệu suất động cơ xăng, diesel. Tối ưu hóa việc phun nhiên liệu, điều khiển van biến thiên (VVT), tăng áp (Turbocharger).

Kiểm tra hiệu suất hộp số tự động, CVT, ly hợp kép (DCT).

❖ **Hệ thống phanh và phanh tái sinh**

Phân tích lực phanh, mô-men phanh trên từng bánh xe.

Kiểm tra hiệu suất của hệ thống chống bó cứng phanh (ABS), phân bổ lực phanh điện tử (EBD).

Mô phỏng hệ thống kiểm soát ổn định điện tử (ESC).

Thiết kế hệ thống phanh tái sinh (Regenerative Braking System - RBS) để thu hồi năng lượng khi phanh.

Mô phỏng sự chuyển đổi giữa phanh tái sinh và phanh ma sát để tối ưu hiệu suất.

❖ **Hệ thống quản lý năng lượng trên xe điện**

Xây dựng mô hình pin lithium-ion, pin nhiên liệu.

Thiết kế hệ thống quản lý pin (Battery Management System - BMS) để giám sát nhiệt độ, điện áp, dòng điện.

Mô phỏng hệ thống sạc không dây, sạc nhanh DC.

Xây dựng chiến lược quản lý năng lượng giữa động cơ điện và động cơ đốt trong trên xe hybrid.

❖ **Hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến (ADAS) và xe tự hành**

Kiểm soát hành trình thích ứng (ACC): Mô phỏng hệ thống điều khiển ga và phanh tự động để duy trì khoảng cách an toàn giữa các xe.

Cảnh báo lệch làn (LDW) và hỗ trợ giữ làn (LKA): Mô phỏng thuật toán nhận diện làn đường bằng camera và cảm biến LiDAR.

Hỗ trợ đỗ xe tự động: Mô phỏng hệ thống cảm biến siêu âm và camera 360 độ.

Mô phỏng cảm biến LiDAR, radar, camera để phát hiện vật cản.

Phát triển thuật toán điều hướng và kiểm soát xe tự hành.

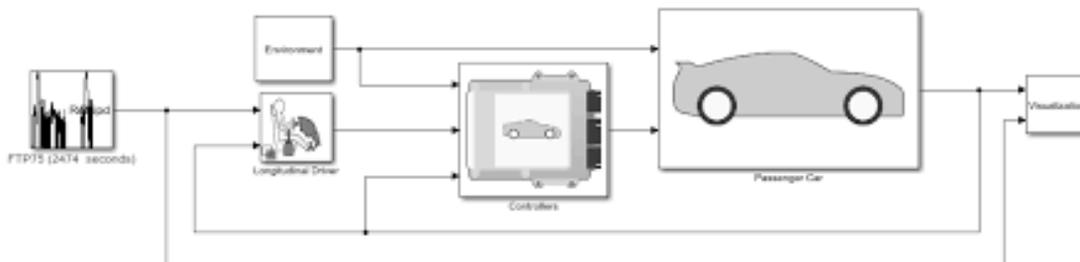
Kiểm tra thuật toán điều khiển trên môi trường ảo trước khi thử nghiệm thực tế.

❖ **Hệ thống nhúng và kiểm tra phần mềm điều khiển (ECU)**

Sinh mã tự động (Auto Code Generation): Dùng Embedded Coder để tạo mã C/C++ cho ECU.

Mô phỏng trong vòng điều khiển (Model-in-the-Loop - MIL): Kiểm tra thuật toán điều khiển trước khi triển khai thực tế.

Kiểm tra phần mềm trên phần cứng (Hardware-in-the-Loop - HIL): Sử dụng Simulink kết hợp với dSPACE hoặc Speedgoat để kiểm tra phần mềm điều khiển trên phần cứng thực.



Hình 3. 4. Mode hệ thống phanh tái sinh.

## CHƯƠNG 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH TÁI SINH BẰNG CÔNG CỤ MATLAB SIMMULINK

### 4.1. Xây dựng mô hình toán học

#### ❖ Phương trình động học của xe

Để có cơ sở tính toán và thiết kế các thông số của bộ thu hồi năng lượng khi phanh, chúng ta phân tích động lực học cũng như công suất phanh cần thiết đối với một chiếc xe khi phanh hoặc giảm tốc. Thông qua phương trình động lực học tổng quát của ô tô khi chuyển động trên đường.

Phương trình cân bằng lực kéo trong trường hợp xe trên đường thẳng, lực quán tính của xe được truyền vào bộ thu hồi năng lượng, theo TL[2]:

$$F_k = F_f + F_j + F_w \quad (4.1)$$

Trong đó:

$F_k$  : lực kéo của xe

$$F_k = \frac{M_e \cdot i_0}{r_{bx}} = \frac{242 \cdot 7,94}{0,325} = 5930,5(N) \quad (4.2)$$

với  $M_e = 242(Nm)$  mô men cực đại của xe,  $r_{bx} = 0,325(m)$  bán kính bánh xe,  $i_0 = 7,94$  là tỉ số truyền

$F_f$  : Lực cản lăn được tính bằng công thức:

$$F_f = G \cdot f \cdot \cos \alpha = G \cdot f = 1840 \cdot 9,8 \cdot 0,015 = 270,48(N) \quad (4.3)$$

Với hệ số cản lăn  $f = 0,015$  đối với đường nhựa tốt,  $G$  là trọng lượng của xe (N).

$F_j$  : Lực quán tính (chỉ xuất hiện khi xe chuyển động không ổn định).

$$F_j = \frac{G}{g} \cdot \delta_j \cdot j(N) \quad (4.4)$$

$F_a$  : Lực cản không khí được tính

$$F_a = K \cdot F \cdot v^2 = 0,32 \cdot 2,31 \cdot 50^2 = 1848(N) \quad (4.5)$$

với:  $K = 0,32$  là hệ số cản không khí ( $\text{kg/m}^3$ ),  $v = 50$  là vận tốc của xe ( $\text{m/s}$ ),  $F = 0,8.1,793.1,613 = 2,31(\text{m}^2)$  là diện tích cản chính diện.

❖ **Xác định mô men quán tính trong quá trình giảm tốc độ**

Xác định mô men quán tính của xe trong quá trình phanh hoặc giảm tốc. Khi xe bắt đầu quá trình giảm tốc thì lực làm cho xe đang chuyển động là lực quán tính tại thời điểm đó trừ đi các lực cản gió, lực cản lăn. Lúc này mô men đặt vào bánh xe chủ động (xe cầu trước chủ động) theo TL [9]:

Mô men tại bánh xe chủ động = Mô men quán tính của xe - Mô men cản lăn - Mô men cản gió

$$M_b = M_j - M_f - M_a \quad (4.6)$$

Trong đó:

$M_j$ : Mô men quán tính của xe

$$M_j = \frac{G}{g} \cdot \delta_i \cdot j \cdot r_{bx} \quad (4.7)$$

$M_a$ : Mô men cản không khí

$$M_a = K \cdot F \cdot v^2 \cdot r_{bx} \quad (4.8)$$

$M_f$ : Mô men cản lăn

$$M_f = G \cdot f \cdot r_{bx} \quad (4.9)$$

$M_j$  là mô men quán tính của xe được quy về bánh xe chủ động bao gồm mô men quán tính của chuyển động tịnh tiến và mô men quán tính của các chi tiết chuyển động quay trong hệ thống truyền lực bao gồm từ động cơ, hộp số, trục các đăng và bánh xe chủ động. Để xác định được mô men quán tính của xe ta đi tính lực quán tính trong trường hợp này.

Lực quán tính  $F_j$  tác động lên ô tô khi chuyển động là:

$$F_j = F_j' + F_j'' \quad (4.10)$$

Trong đó:

$F_j'$ : Là lực quán tính chuyển động tịnh tiến được xác định  $F_j' = m \frac{dv}{dt}$

$F_j''$ : Là lực quán tính của các chi tiết chuyển động quay. Lực này phụ thuộc vào số lượng các chi tiết chuyển động được xác định:

$$F_j^n = \frac{M_j}{r_{bx}} = \frac{1}{r_{bx}^2} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot (\sum I_n \cdot i_n^2 \cdot \eta_n + \sum I_b) \quad (4.11)$$

Trong đó:

$I_n$  : Mômen quán tính của chi tiết quay thứ n nào đó của hệ thống truyền lực đối với trục quay của chính nó.

$i_n$  : Tỷ số truyền tính từ chi tiết quay thứ n nào đó của hệ thống truyền lực đến bánh xe chủ động.

$\eta_n$  : Hiệu suất tính từ chi tiết quay thứ n nào đó của hệ thống truyền lực tới bánh xe chủ động.

Ta có lực quán tính tổng cộng của xe:

$$F_j = m \cdot \frac{dv}{dt} + \frac{1}{r_{bx}^2} \cdot \frac{dv}{dt} (\sum I_n \cdot i_n^2 \cdot \eta_n + \sum I_b)$$

$$F_j = m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \left( 1 + \frac{j}{m \cdot r_{bx}^2} (\sum I_n \cdot i_n^2 \cdot \eta_n + \sum I_b) \right)$$

$$\text{Đặt } \delta_i = 1 + \frac{j}{m \cdot r_{bx}^2} (\sum I_n \cdot i_n^2 \cdot \eta_n + \sum I_b) = 1 + \frac{I}{m \cdot r_{bx}^2}$$

Trong đó  $I$  là mô men quán tính tổng cộng của các chi tiết quay tính từ động cơ đến bánh xe chủ động.

Do đó lực quán tính tổng cộng của xe là:

$$F_j = m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \delta_i \quad (4.12)$$

Suy ra mô men quán tính tổng cộng của xe được tính:

$$M_j = F_j \cdot r_{bx} = m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \delta_i \cdot r_{bx}$$

Với  $\delta_i$  : hệ số tính đến ảnh hưởng của các khối lượng vận động quay, được tính bởi công thức:  $\delta_i = 1,05 + 0,05 \cdot i_h^2$

$i_h^2$  : Tỷ số truyền của hộp số.

Vậy sau khi xác định được các thông số để tính toán mô men quán tính của xe sẽ xác định được mô men tác dụng lên trục bánh xe chủ động:

$$M_b = M_j - M_f - M_a = r_{bx} \left( \frac{G}{g} \cdot \delta_i \cdot j - G \cdot f - K \cdot F \cdot v^2 \right) \quad (4.13)$$

Tốc độ góc của bánh xe chủ động:  $\omega_{bx} = \frac{v}{r_{bx}}$

Mô men đặt vào trục máy phát:

$$M_{mp} = \frac{1}{i_0} r_{bx} \left( \frac{G}{g} \cdot \delta_i \cdot j - G \cdot f - K \cdot F \cdot v^2 \right) \quad (4.14)$$

❖ Phương trình mô men tác dụng lên máy phát:

$$M_{mp} - M_{ton\ hao} = J \frac{d\omega_{mp}}{dt} \Rightarrow \omega_{mp} = \frac{1}{J} (M_{mp} - M_{ton\ hao}) dt \quad (4.15)$$

Trong đó: J là mô men quán tính của khối lượng chuyển động so với trục máy phát.

Mô men của máy phát điện chính là mô men đặt vào trục máy phát sau khi đã trừ đi tất cả các tổn hao. Phương trình cân bằng năng lượng của máy phát điện được xác định như sau:

$$P_{truc\ mp} - P_{ton\ hao} = P_{ra}$$

$$M_{mp} \omega_{mp} - P_{ton\ hao} = 3E_s I_s \cos \varphi$$

Suy ra phương trình thể hiện mối quan hệ giữa công suất của máy phát theo sự giảm tốc của ô tô trong quá trình phanh được xác định:

$$\left( \frac{1}{i_0} r_{bx} \left( \frac{G}{g} \cdot \delta_i \cdot j - G \cdot f - K \cdot F \cdot v^2 \right) \right) - \frac{P_{ton\ hao}}{\omega_{mp}} = 3E_s I_s \cos \varphi \quad (4.16)$$

Trong đó:

$E_s$  : Điện áp do máy phát phát ra

$I_s$  : Cường độ dòng điện do máy phát phát ra

$P_{ton\ hao}$  : Công suất tổn hao về cơ khí và về điện

❖ Xây dựng mô hình mô phỏng toán học.

Từ phương trình thể hiện mối quan hệ giữa công suất của máy phát theo sự giảm tốc của ô tô trong quá trình phanh được xác định:

$$\left( \frac{1}{i_0} r_{bx} \left( \frac{G}{g} \cdot \delta_i \cdot j - G \cdot f - K \cdot F \cdot v^2 \right) \right) - \frac{P_{ton\ hao}}{\omega_{mp}} = 3E_s I_s \cos \varphi \quad (4.17)$$

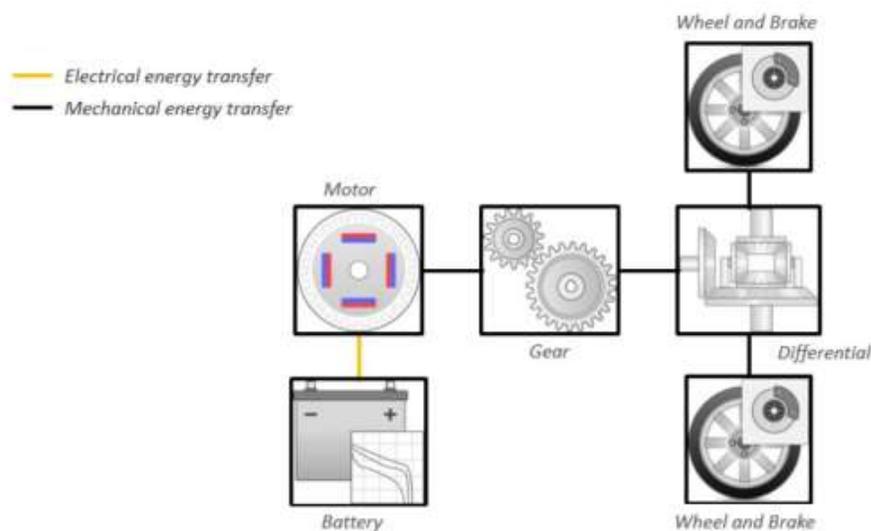
Bảng 4. 1. Các thông số kỹ thuật của xe Vfe 34.

Các thông số cơ bản	Giá trị
Dài (mm)	4300

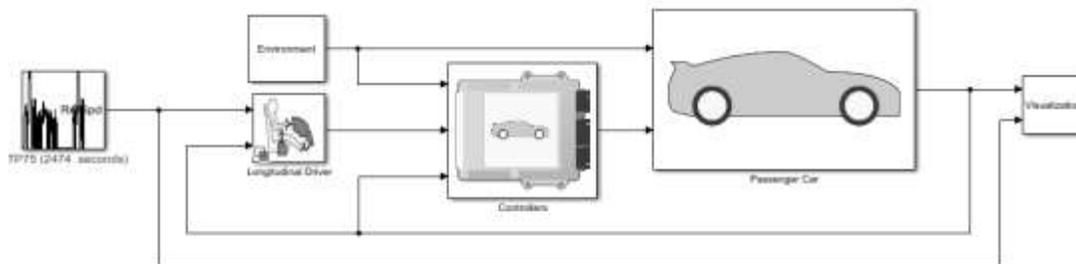
Rộng (mm)	1793
Cao (mm)	1613
Chiều dài cơ sở (mm)	2611
Khoảng sáng gầm (mm)	180
Trọng lượng bản thân (kg)	1490
Công suất cực đại (KW)	110
Mô men xoắn cực đại (Nm)	242
Bán kính bánh xe (m)	0.345

#### 4.2. Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống phanh tái sinh bằng công cụ MATLAB SIMULINK

Mô hình được mô phỏng ở đây là xe ô tô điện được xây dựng hoàn chỉnh với động cơ máy phát điện, pin, hộp số, vi sai và các thuật toán điều khiển hệ thống truyền động liên quan được mô tả như hình dưới đây:

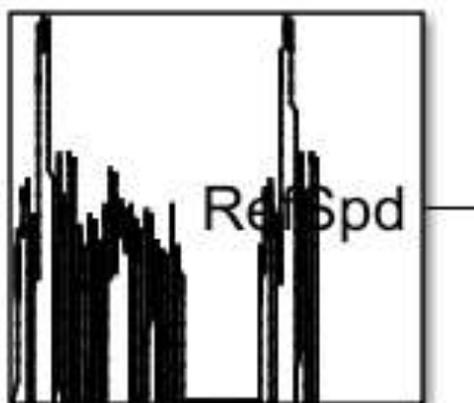


Hình 4. 1. Mô hình tổng quát mô phỏng hệ thống thu hồi năng lượng trên xe ô tô điện.



Hình 4. 2. Mô hình mô phỏng xe điện.

#### 4.2.1. Chu trình thử FTP 75



Hình 4. 3. Chu trình thử FPT 75.

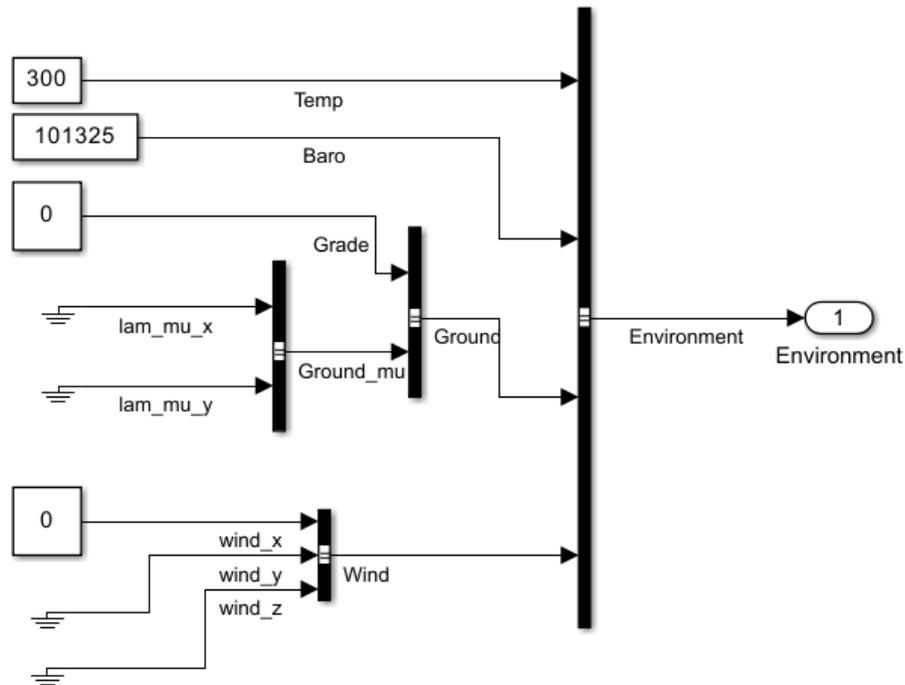
**FTP-75 (Federal Test Procedure 75):** là một chu trình kiểm tra lái xe tiêu chuẩn do Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA) thiết kế. Nó mô phỏng điều kiện lái xe trong đô thị để kiểm tra: Mức tiêu thụ nhiên liệu, lượng khí thải, hiệu suất làm việc của xe.

Đặc điểm của chu trình FTP-75:

- Tổng thời gian: 2474 giây
- Tổng chiều dài mô phỏng: khoảng 17.77 km
- Tốc độ tối đa: khoảng 91.2 km/h
- Gồm 3 pha: vùng đô thị (UDDS), Tạm nghỉ (Soak), vùng đường trường (Hot – UDDS)

#### 4.2.2. Khối môi trường (Environment)

Khối environment mô phỏng điều kiện vận hành ( nhiệt độ, áp suất khí quyển, độ nghiêng của mặt đường) để tính toán lực cản không khí, lực cản lăn và ảnh hưởng đến động lực học của xe.



Hình 4. 4. Khối Enviroment.

Trong đó:

Nhiệt độ (Temp - Temperature): 300 kelvin ( $\approx 27^{\circ}\text{C}$ )

Áp suất khí quyển (Baro - Barometer)

Grade: Là độ nghiêng của mặt đường, ảnh hưởng đến tải trọng khi xe leo dốc hoặc xuống dốc

Ground: Là hệ số ma sát mặt đường

#### 4.2.3. Khối điều khiển dọc (Longitudinal Driver)

Khối Longitudinal Driver là nơi cung cấp tín hiệu ga, phanh theo chu trình FPT-75, đồng thời tính toán lực kéo sơ bộ dựa trên khối lượng của xe, hệ số cản lăn, lực cản không khí và độ trễ phản hồi của hệ điều khiển.

▼ Control

Predictive Parameters

Vehicle mass, $m$ [kg]:	1840	:
Effective vehicle total tractive force, $K_{pt}$ [N]:	$242 \cdot 7.94 / 0.324$	5930.5 :
Driver response time, $\tau$ [s]:	0.12	:
Preview distance, $L$ [m]:	4	:
Rolling resistance coefficient, $a_R$ [N]:	$18032 \cdot 0.015$	270.48 :
Rolling and driveline resistance coefficient, $b_R$ [ $N \cdot s / m$ ]:	$0.21290 \cdot 4.44822 / 0.44704$	:
Aerodynamic drag coefficient, $c_R$ [ $N \cdot s^2 / m^2$ ]:	$0.32 \cdot 2.31 \cdot 50^2$	1848 :
Gravitational constant, $g$ [ $m / s^2$ ]:	9.81	:

Hình 4. 5. Khối Longitudinal Driver.

Trong đó:

Vehicle mass,  $m$  [kg]: 1840 là khối lượng tổng thể của xe.

Effective vehicle total tractive force,  $K_{pt}$  [N]: Là lực kéo của xe.

Driver response time,  $\tau$  [s]: Là thời gian trễ phản ứng của người lái hoặc bộ điều khiển

Preview distance,  $L$  [m]: Khoảng cách nhìn trước của hệ thống điều khiển dự đoán và điều chỉnh.

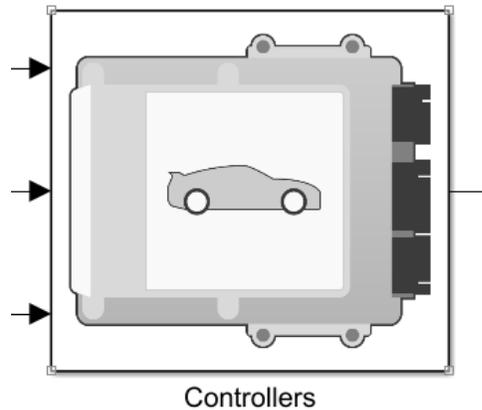
Rolling resistance coefficient,  $a_R$  [N]: Lực cản lăn.

Aerodynamic drag coefficient,  $c_R$  [ $N \cdot s^2 / m^2$ ]: Lực cản không khí.

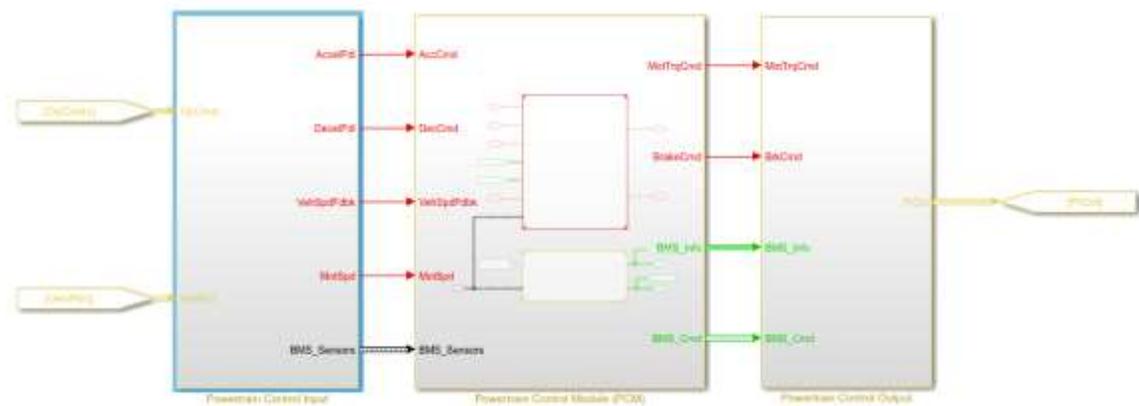
Gravitational constant,  $g$  [ $m / s^2$ ]: Là gia tốc trọng trường.

#### 4.2.4. Khối điều khiển (Controllers)

Khối controllers chịu trách nhiệm phân bổ lực giữa mô men động cơ điện để thu hồi năng lượng và lực phanh thủy lực để đảm bảo an toàn dựa vào các thuật toán phối hợp phanh tái sinh và phanh cơ khí.



Hình 4. 6. Khối controllers.



Hình 4. 7. Sơ đồ hệ thống trong khối controllers.

Giải thích:

Gồm 3 khối: Powertrain control input, Powertrain control Module, Powertrain control output

Từ các dữ kiện ở khối Longitudinal Driver và điều kiện môi trường cho ra 7 đầu vào khối Module chính.

❖ **Powertrain control input:** Tiếp nhận dữ liệu đầu vào từ người điều khiển và trạng thái của xe.

Tín hiệu bao gồm lệnh của người lái và thông tin của xe như vận tốc, gia tốc, pin..

Xuất ra bao gồm lệnh tăng tốc, lệnh giảm tốc, Phản hồi tốc độ xe, tốc độ quay của động cơ điện, thông tin quản lý pin.

❖ **Powertrain control Module:** Là khối xử lý trung tâm ra quyết định điều khiển dựa trên tín hiệu đầu vào

Nhận lệnh từ: AccCmd, DecCmd, VehSpdFbck, MotSpd, BMS\_Sensors.

Tính toán xử lý: MotTrqCmd, BrkCmd, BMS\_Info, BMS\_Cmd

❖ **Powertrain control output:** Gửi các lệnh điều khiển cuối cùng đến cơ cấu chấp hành. Tín hiệu.

MotTrqCmd: Điều khiển mô-men của động cơ.

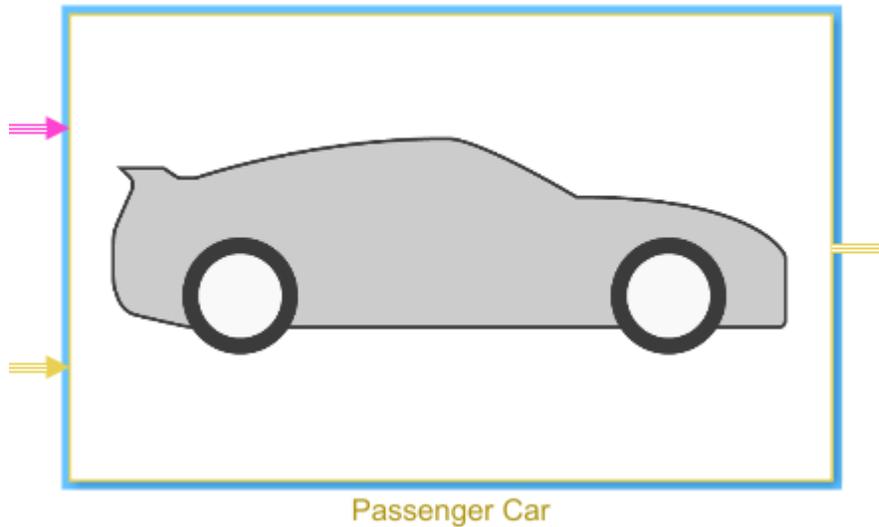
BrkCmd: Điều khiển phanh.

BMS\_Info và BMS\_Cmd: Giao tiếp hai chiều với hệ thống quản lý pin.

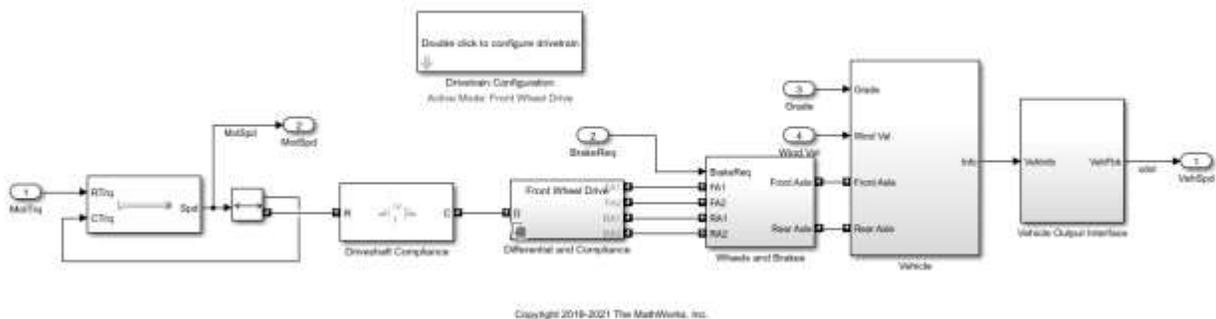
PtCtrl: Gửi lệnh tổng thể điều khiển hệ truyền động.

#### 4.2.5. Khối xe (Passenger Car)

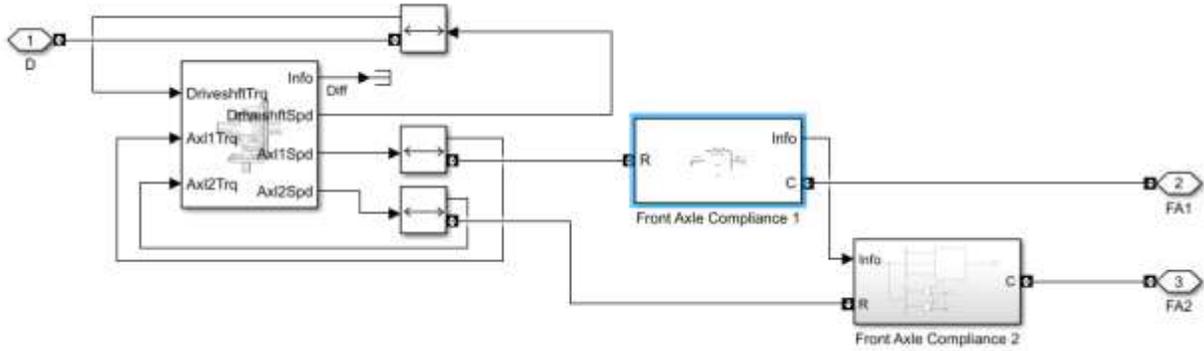
Khối Passenger car mô phỏng toàn bộ các hiệu ứng cơ khí trên xe khi chuyển động. Mục đích chính của khối này là chuyển đổi mô men và tốc độ, đồng thời sinh ra các lực cản để phản hồi vào bộ điều khiển.



Hình 4. 8. Khối Passenger Car.



Hình 4. 9. Mô Hình hệ thống truyền lực.



Hình 4. 10. Khối vi sai.

Thông số khối vi sai:

Parameters	
Crown wheel (ring gear) located:	To the left of center-line
Carrier to driveshaft ratio, Ndiff []:	
Ndiff	7.94
Carrier inertia, Jd [kg*m <sup>2</sup> ]:	
Jd	0.025
Carrier damping, bd [N*m*s/rad]:	
bd	0.001
Axle 1 inertia, Jw1 [kg*m <sup>2</sup> ]:	
Jw1	0.01
Axle 1 damping, bw1 [N*m*s/rad]:	
bw1	0.001
Axle 2 inertia, Jw2 [kg*m <sup>2</sup> ]:	
Jw2	0.01
Axle 2 damping, bw2 [N*m*s/rad]:	
bw2	0.001
Axle 1 initial velocity, omegaw1o [rad/s]:	
omegaw1o	0
Axle 2 initial velocity, omegaw2o [rad/s]:	
omegaw2o	0
Constant efficiency factor, eta []:	1

Hình 4. 11. Thông số khối vi sai.

Trong đó:

Carrier to driveshaft ratio, Ndiff: Tỷ số truyền từ bộ vi sai đến trục truyền động

Carrier inertia,  $J_d$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]: Mô men quán tính

Carrier damping,  $bd$  [ $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}$ ]: Hệ số cản

Axle 1 inertia,  $J_{w1}$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]: Mô men quán tính của xe thứ nhất

Axle 1 damping,  $bw1$  [ $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}$ ]: hệ số cản quay của bánh xe 1

Axle 2 inertia,  $J_{w2}$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]: Mô men quán tính bánh xe thứ 2

Axle 2 damping,  $bw2$  [ $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}$ ]: hệ số cản củ bánh xe số 2

Axle 1 initial velocity,  $\text{omegaw}1_0$  [ $\text{rad}/\text{s}$ ]: vận tốc gốc ban đầu của bánh xe

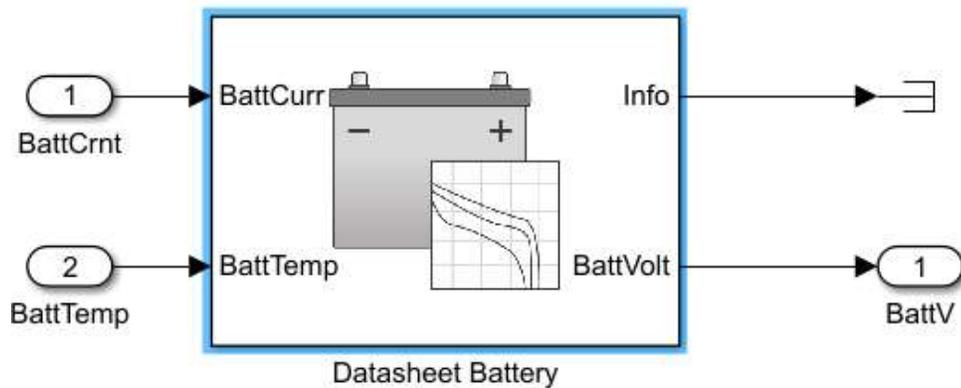
1

Axle 2 initial velocity,  $\text{omegaw}2_0$  [ $\text{rad}/\text{s}$ ]: Tốc độ gốc của bánh xe 2

Constant efficiency factor,  $\eta$  : hiệu suất của hệ thống truyền lực

#### 4.2.6. Khối pin ( Battery)

Khối pin là nơi lưu trữ năng lượng, cung cấp năng lượng cho động cơ điện, chuyển đổi năng lượng thành năng lượng cơ học giúp cho xe di chuyển. Đồng thời là nơi thu hồi năng lượng tái sinh, góp phần quyết định hiệu suất, quãng đường và độ an toàn trên ô tô điện.



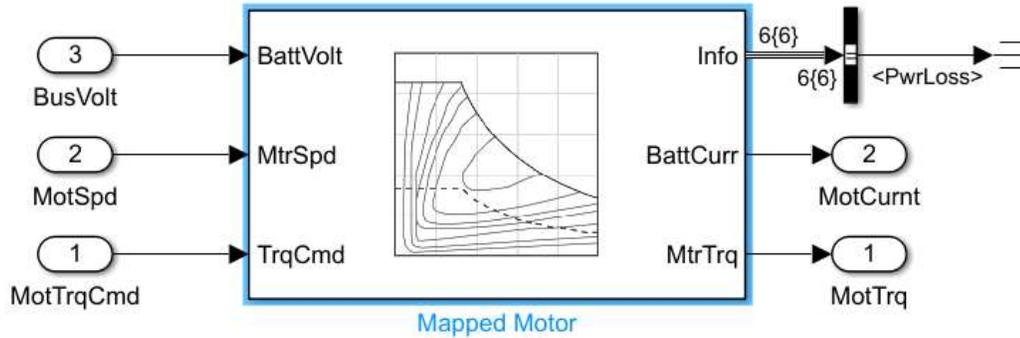
Hình 4. 12. Khối Pin.

Bảng 4. 2. Các thông số Pin của xe Vfe 34.

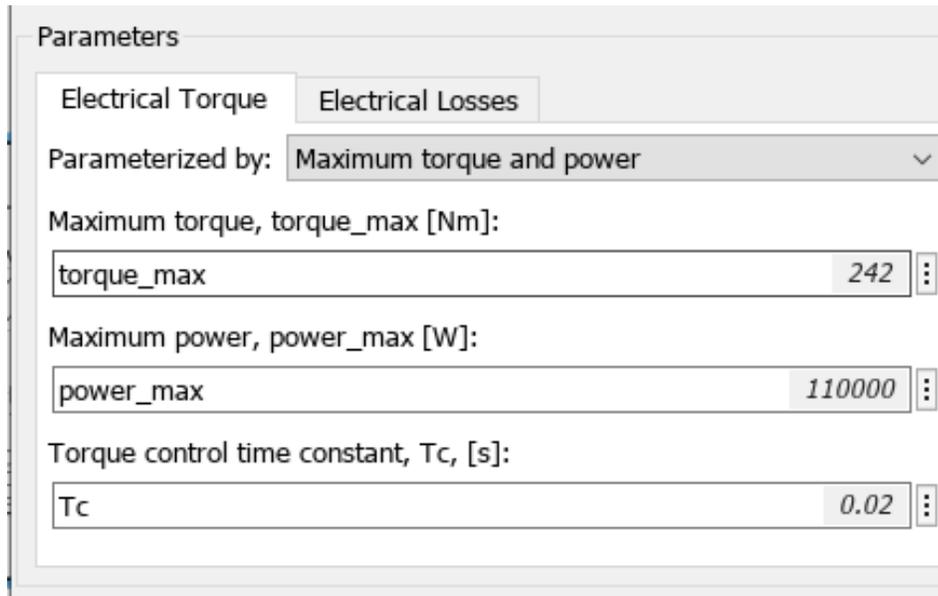
Loại ắc quy	Lithium-ion
Số module	11 module
Điện áp trên mỗi module	36V
Điện áp tổng	396V
Dung lượng	42 kWh

#### 4.2.7. Khối động cơ (Motor)

Khối động cơ là nơi kết nối khối controllers với khối passenger car vừa cung cấp lực kéo cho xe vừa thực hiện thu hồi năng lượng trong mỗi pha giảm tốc độ, qua đó tối ưu năng lượng và độ êm ái của hệ thống phanh tái sinh.



Hình 4. 13. Khối Mapped Motor.

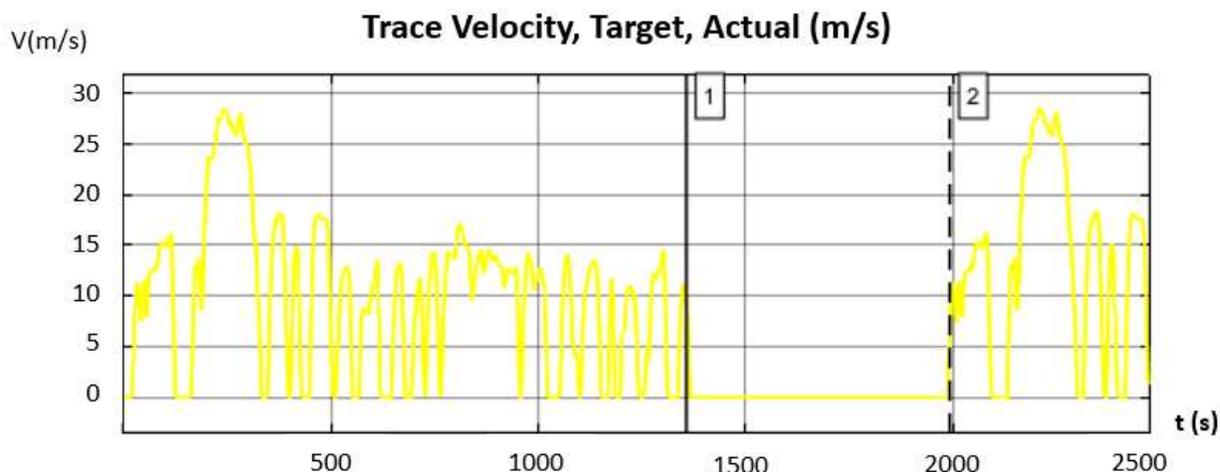


Hình 4. 14. Thông số khối Mapped Motor.

### 4.3. Kết quả và bàn luận

#### 4.3.1. Đồ thị vận tốc

Dưới đây hình 4.15 thể hiện vận tốc của xe VF e34 theo thời gian trong chu trình thử nghiệm FTP-75, giúp đánh giá khả năng tăng,giảm tốc và hiệu quả phối hợp giữa phanh tái sinh và phanh thủy lực.



Hình 4. 15. Biểu đồ thể hiện vận tốc theo thời gian của xe VFe 34.

Thông qua biểu đồ thể hiện vận tốc theo thời gian trên xe Vfe 34 ta rút ra nhận xét:

❖ **Vùng 1 mô phỏng đoạn đường trong đô thị( thời gian từ 0-1370s )**

- Vận tốc của xe dao động 10-15(km/h), rồi phanh về 0 thể hiện sự tắc đường hoặc dừng đèn đỏ.

- Các điểm nhô lên thụt xuống mô tả đúng trạng thái xe đi trong phố khi tăng ga, khi giảm ga.

- Các lệnh tăng tốc hệ thống truyền động đáp ứng linh hoạt trong 1-2s

- Kiểm soát mượt mà các tình huống tăng ga, phanh liên tục, chứng tỏ hệ thống ECU và hệ thống phanh tái sinh phối hợp nhịp nhàng, cho cả giác lái thoải mái.

- Mỗi lần giảm tốc độ hệ thống phanh tái sinh tham gia hãm chuyển hoá năng lượng thành điện, giảm độ mòn của má phanh.

❖ **Vùng nghỉ thời 1371-2070s.**

- Giai đoạn này xe tạm dừng và tốc độ bằng 0 để cho động cơ điện, pin, hệ thống điều khiển được làm nguội, để đảm bảo độ mượt mà khi thử phần cao tốc.

❖ **Vùng 2 mô phỏng ở điều kiện đường trường( thời gian từ 2071-2474s ).**

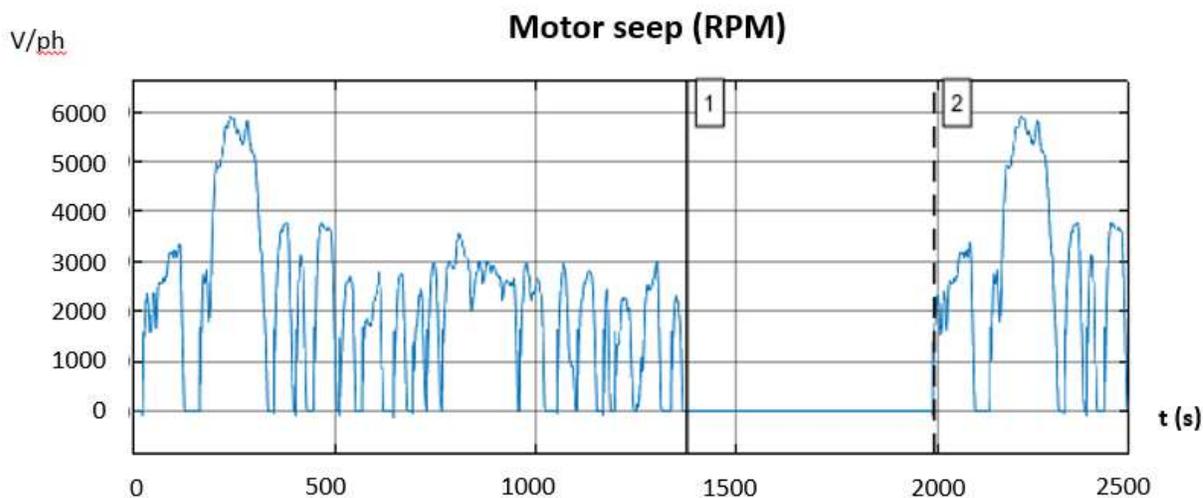
- Xe bứt tốc nhanh chóng đạt vận tốc 30m/s.

- Đường đồ thị gần như nằm ngang thể hiện xe đang giữ tốc độ tương đối ổn định.

- Mô phỏng ở điều kiện đường trường này yêu cầu duy trì tốc độ cao cho thấy xe VFe 34 thể hiện sự ổn định và phù hợp với đi đường dài.

### 4.3.2. Đồ thị số vòng quay động cơ

Quá trình chạy thử nghiệm trong chú trình FPT-75 số vòng quay động cơ được thể hiện trong Hình 4.16, qua đó cho thấy khả năng phản hồi tức thì khi điều chỉnh ga, tính ổn định của động cơ ở các giai đoạn đô thị và đường trường, cũng như mức độ hài hòa giữa cơ cấu thu hồi năng lượng và phanh ma sát.



Hình 4. 16. Biểu đồ thể hiện số vòng quay theo thời gian của xe VFe 34.

Thông qua biểu đồ thể hiện số vòng quay theo thời gian trên xe Vfe 34 ta rút ra nhận xét:

❖ **Vùng 1 mô phỏng đoạn đường trong đô thị( thời gian từ 0-1370s ).**

- Số vòng quay dao động từ 0-4000(v/ph) cho thấy xe thay đổi tốc độ liên tục.
- Số vòng quay lớn nhất gần 6000(v/ph) cho thấy xe đang bứt tốc hoặc là tăng ga để lên dốc.
- Đoạn dao động 2000-3000(v/ph) cho thấy thời gian xe chạy ở tốc độ thấp khoảng 10-15(m/s).
- Có nhiều khoảng số vòng quay bằng 0 cho thấy ứng với pha phanh tái sinh, đang chờ đèn.
- Khi số vòng quay tụt dốc nhanh cho thấy bộ điều khiển phanh tái sinh đang hoạt động và để phối hợp hãm động cơ.

❖ **Vùng nghỉ (thời 1371-2070s).**

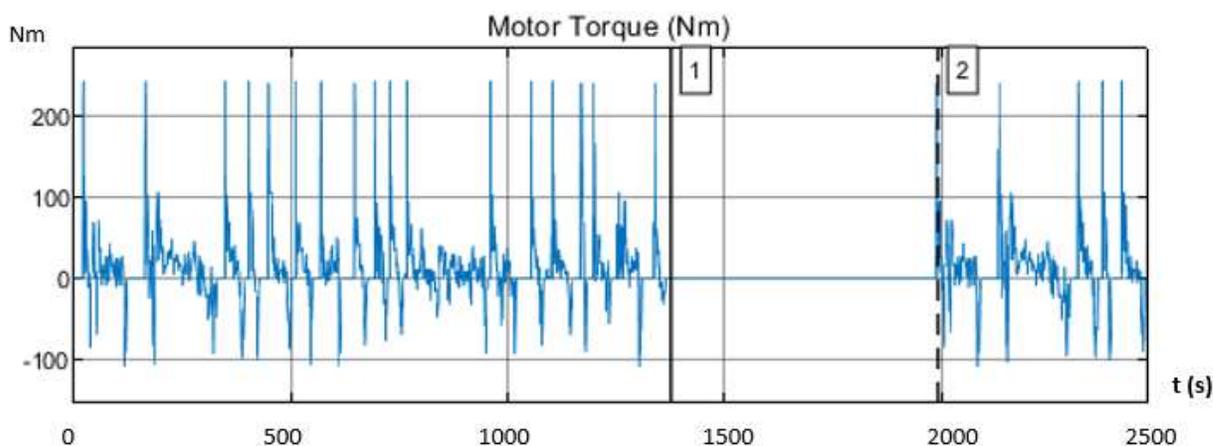
- Ở vùng này số vòng quay bằng 0 cho thấy động cơ ngừng hoạt động. Để cho nhiệt độ động cơ, pin, bộ điều khiển được nguội trước khi bước vào chu trình thử đường trường

❖ **Vùng 2 mô phỏng ở điều kiện đường trường( thời gian từ 2071-2474s ).**

- Mới bước vào pha 2 tốc độ động cơ nhảy vọt lên gần 6000(v/ph) cho thấy sự bức tốc mạnh mẽ của xe.
- Sau khi nhảy vọt lên thì tốc độ động cơ dao động 3000-4000(v/ph) cho thấy sự duy trì ổn định và giữ tốc độ cao, mang lại sự trải nghiệm mượt mà, an toàn và tiết kiệm pin.
- Mỗi khi số vòng quay động cơ xuống 0 cho thấy sự thu hồi mạnh mẽ của hệ thống phanh tái sinh.

**4.3.3. Đồ thị mô men động cơ**

Trong hình 4.17 thể hiện sự biến thiên mô men kéo của động cơ điện trong suốt chu trình thử nghiệm FTP-75, phản ánh cơ chế phối hợp giữa mô men sinh ra khi tăng tốc và mô men hãm khi phanh tái sinh. Thông qua biểu đồ này, ta có thể đánh giá khả năng đáp ứng tức thời của động cơ khi tăng ga, cũng như hiệu suất thu hồi năng lượng khi giảm tốc, từ đó đưa ra nhận xét về tính ổn định và độ êm ái của hệ thống phanh tái sinh trên xe VF e34.



Hình 4. 17. Biểu đồ thể mô men theo thời gian của xe VF e 34.

Từ biểu đồ thể hiện mô men theo thời gian trên xe Vfe 34 ta có những nhận xét:

❖ **Vùng 1 mô phỏng đoạn đường trong đô thị( thời gian từ 0-1370s ).**

- Khi bắt đầu khởi hành mô men kéo nhô lên khoảng 250 Nm cho thấy sự tăng ga đột ngột.
- Mô men âm thể hiện sự tái sinh mạnh nhờ vào lực quán tính của xe.
- Mỗi khi cần mô men kéo động cơ đáp ứng rất nhanh và dứt khoát cho thấy động cơ điện hoạt động mạnh mẽ.

❖ **Vùng nghỉ (thời 1371-2070s).**

- Ở vùng này mô men bằng 0 cho thấy motor ngừng quay. Để cân bằng nhiệt độ cho pin, động cơ trước khi vào pha 2.

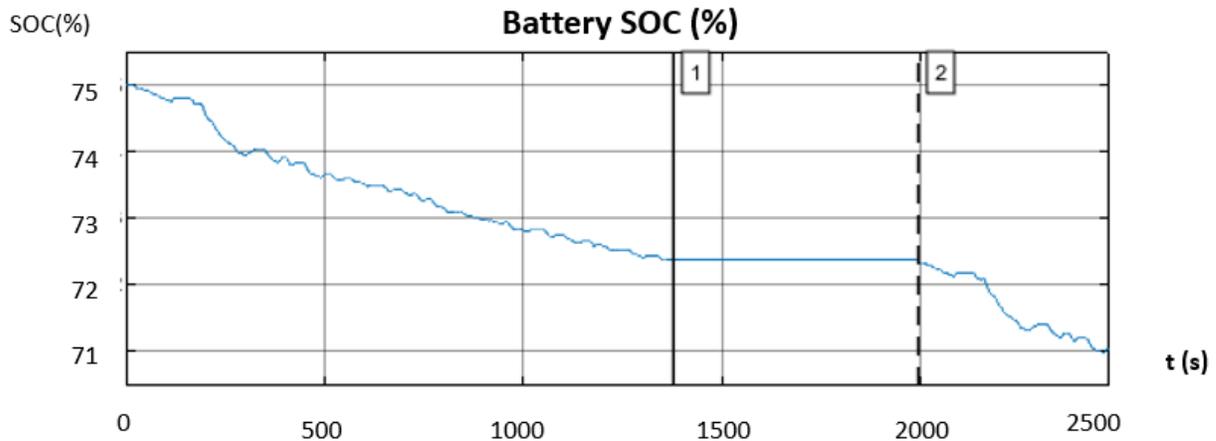
❖ **Vùng 2 mô phỏng ở điều kiện đường trường( thời gian từ 2071-2474s ).**

- Ở pha này mô men dao động 30-100(Nm) được duy trì ổn định để cân bằng giữa công suất và tiets kiệm năng lượng.

- Khi giảm tốc độ mô men âm chỉ khoảng -20-50(Nm) phù hợp với lực hãm nhẹ, tạo độ êm ái, ít rung lắc.

**4.3.4. Đồ thị % năng lượng còn lại của pin**

Hình 4.18 thể hiện biến thiên phần trăm năng lượng còn lại (SOC – State of Charge) của pin trong suốt chu trình thử FTP-75 trên xe VF e34. Đồ thị này mô tả quá trình xả pin khi tăng tốc và sự tái nạp năng lượng nhờ phanh tái sinh, cho phép đánh giá hiệu quả quản lý năng lượng của hệ thống BMS (Battery Management System), khả năng duy trì điện áp ổn định và tuổi thọ pin. Bằng cách phân tích SOC qua ba pha (đô thị, nghỉ, đường trường), ta có thể nhận diện rõ những giai đoạn hao hụt và thu hồi điện năng, từ đó tối ưu thuật toán điều khiển pin và phanh tái sinh cho hiệu suất cao nhất.



Hình 4. 18. Biểu đồ thể hiện mức độ % năng lượng còn lại trong pin của xe VFe 34.

Nhìn vào biểu đồ thể hiện mức độ % năng lượng còn lại của pin trên xe Vfe 34 ta rút ra các nhận xét:

❖ **Vùng 1 mô phỏng đoạn đường trong đô thị( thời gian từ 0-1370s ).**

- Ở pha này SOC pin rơi xuống liên tục trong khi tăng giảm ga liên tục, mức hao hụt đều đặn cho ta thấy phần mềm quản lý pin đang hoạt động bình thường.

- Có những đoạn nhô lên cho thấy sự thu hồi năng lượng của hệ thống phanh tái sinh.

❖ **Vùng nghỉ (thời 1371-2070s).**

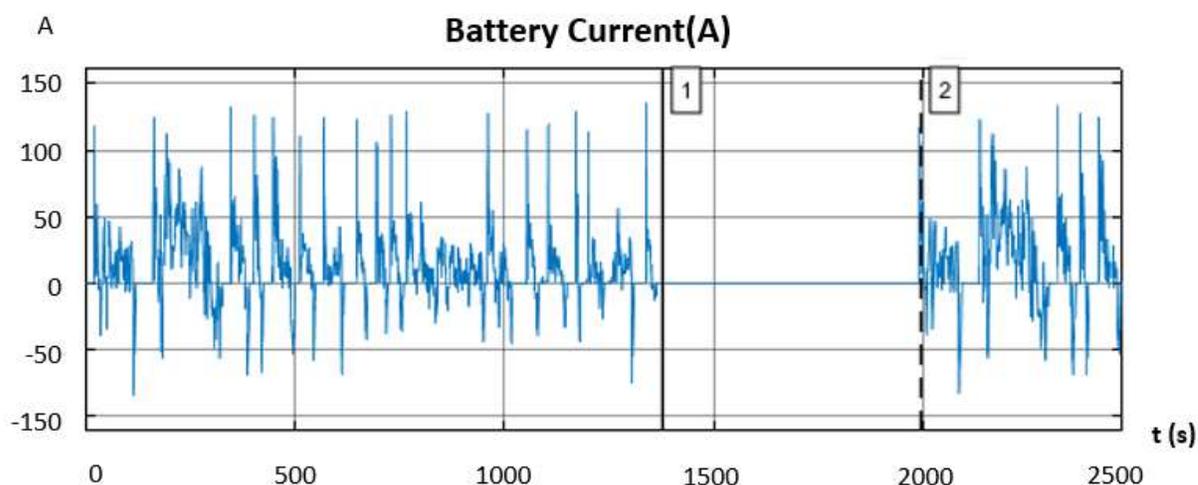
- Ở giai đoạn hệ thống pin không tiêu thụ điện năng, ở giai đoạn nghỉ này pin cũng nghỉ và giảm nhiệt độ của pin.

❖ **Vùng 2 mô phỏng ở điều kiện đường trường( thời gian từ 2071-2474s ).**

- Khi ở pha này xe chạy ở tốc độ cao hơn và cần dung lượng pin nhiều hơn vẫn nằm trong giới hạn cho phép và công suất yêu cầu của nhà sản xuất.

**4.3.5. Đồ thị thể hiện dòng điện của pin**

Dưới đây, Hình 4.19 thể hiện biến thiên dòng điện của pin trên xe VFe 34 trong suốt chu trình thử nghiệm FTP-75. Đồ thị mô tả rõ nét các mức dòng xả đỉnh khi tăng tốc đột ngột, dòng ổn định khi giữ tốc độ, cũng như các giá trị âm phản ánh quá trình thu hồi năng lượng qua phanh tái sinh. Qua ba pha thử nghiệm, đường đồ thị (0–1370 s), giai đoạn nghỉ (1371–2070 s) và đường trường (2071–2474 s), qua đó ta có thể đánh giá khả năng đáp ứng tức thời và hiệu quả quản lý dòng của hệ thống BMS, từ đó phân tích về tính ổn định và độ bền của pin.



Hình 4. 19. Biểu đồ thể hiện dòng điện của pin trên xe VFe 34.

Từ biểu đồ thể hiện dòng điện của pin trên xe Vfe 34 ta có những nhận xét:

❖ **Vùng 1 mô phỏng đoạn đường trong đô thị( thời gian từ 0-1370s ).**

- Ở pha này có nhiều điểm đạt 120-140(A) cho thấy sự tăng tốc đột ngột để tạo ra mô men và công suất kéo lớn.

- Sau khi tăng tốc xong thì dòng điện giữ ở khoảng 20-50(A) cho thấy sự ổn định của xe.

- Ở những giá trị âm của dòng điện cho thấy sự thu hồi năng lượng từ hệ thống phanh tái sinh, tuy nhiên vẫn không đáng kể so với hao hụt của pin.

❖ **Vùng nghỉ (thời 1371-2070s).**

- Pin không xả, không nạp, bộ quản lý pin cô lập hoàn hảo không để phụ tải chờ tiêu thụ năng lượng.

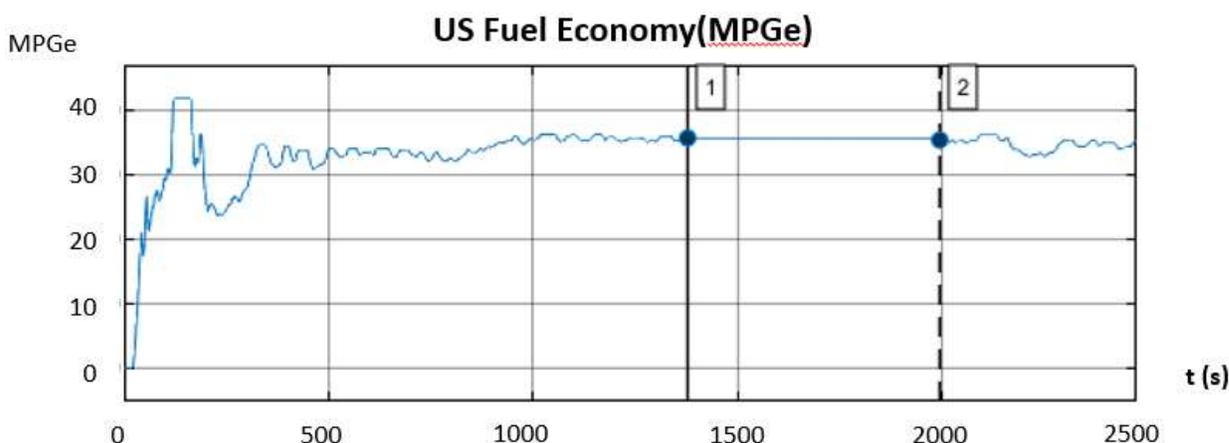
❖ **Vùng 2 mô phỏng ở điều kiện đường trường( thời gian từ 2071-2474s ).**

- Ở giai đoạn pin chỉ xả 80-100(A) vì lúc này yêu cầu ga đều để duy công suất cao và không cần sự đột biến.

- Các dòng xả và hồi ở cấp độ nhỏ thể hiện điều khiển của người lái rất nhịp nhàng, trơn tru tạo cảm giác thoải mái cho hành khách.

**4.3.6. Đồ thị thể hiện mức tiêu thụ năng lượng**

Dưới đây, hình 4.20 thể hiện diễn biến tổng năng lượng tiêu thụ của pin trên xe VFe 34 theo thời gian trong chu trình thử nghiệm FTP-75. Đồ thị giúp ta đánh giá tốc độ tiêu hao năng lượng ở từng pha vận hành: giai đoạn đường đô thị với các lần tăng, giảm ga liên tục, giai đoạn nghỉ để cân bằng nhiệt độ và giai đoạn đường trường duy trì tốc độ cao. Thông qua biểu đồ này, ta có thể nhận diện rõ mức độ hao hụt năng lượng khi tăng tốc, khả năng ổn định trong pha duy trì tốc độ và hiệu quả tiết kiệm nhờ phối hợp giữa phanh tái sinh và phanh thủy lực.



Hình 4. 20. Biểu đồ thể hiện mức tiêu thụ năng lượng trên xe VFe 34.

Thông qua biểu đồ thể hiện mức tiêu thụ trên xe Vfe 34 ta rút ra nhận xét:

❖ **Vùng 1 mô phỏng đoạn đường trong đô thị( thời gian từ 0-1370s ).**

- MPGe ở vùng này cho thấy tăng vọt khi mới tăng ga sự tiêu hao nhanh chóng. Các lần tăng tốc kéo cho MPGe xuống do lúc này tiêu thụ năng lượng cao.

- Khi giảm tốc độ hoặc phanh MPGe tăng vọt lên do hệ thống phanh tái sinh hoạt động giúp cho tiêu chỉ được lên cao.

❖ **Vùng nghỉ (thời 1371-2070s).**

- Khi xe dừng ở đoạn nghỉ này hệ thống MPGe đã đo giá trị trước đoạn nghỉ nên dù xe không hoạt động thì giá trị ở vị trí đó.

❖ **Vùng 2 mô phỏng ở điều kiện đường trường( thời gian từ 2071-2474s ).**

- Ở giai đoạn này chỉ số MPGe nhảy vọt lên khi xe tăng tốc và sau đó giữ ổn định ở 35 MPGe, nhưng động cơ điện ở dải tốc độ cao với mức tiêu thụ năng lượng đều và ít nhận được lực phanh tái sinh.

## KẾT LUẬN

Quá trình nghiên cứu, xây dựng mô hình toán học và triển khai mô phỏng hệ thống phanh tái sinh trên ô tô điện, đồ án đã hoàn thành mục tiêu:

Hiểu rõ nguyên lý và cơ sở lý thuyết để phân tích nguyên lý chuyển đổi cơ năng thành điện năng, hiệu suất thu hồi năng lượng và cách phối hợp giữa phanh tái sinh và phanh cơ khí.

Đã xây dựng các phương trình đặc trưng cho quá trình chuyển đổi năng lượng cơ bản và tái sinh thủy, bao gồm biểu thức hiệu suất biến đổi, ma sát và tổn thất nhiệt.

Thông qua mô phỏng trên MATLAB Simulink với chu trình thử FTP-75, đồ án đã thu được các kết quả: đặc tính mô-men thu hồi, công suất mô-tơ phát sinh, sự biến thiên dòng điện pin và mức năng lượng thu hồi theo từng pha vận hành. Những đồ thị này minh họa khả năng tái sinh năng lượng lên đến mức tối ưu trong điều kiện đô thị và đường trường, mà còn cung cấp cơ sở để so sánh hiệu quả với hệ thống phanh ma sát truyền thống.

Đánh giá hiệu suất thu hồi năng lượng và giúp kéo dài quãng đường di chuyển và giảm hao mòn phanh cơ khí.

Đồ án cho thấy vai trò then chốt của RBS trong việc nâng cao hiệu suất năng lượng cho ô tô điện. Trong tương lai, việc triển khai thử nghiệm thực tế trên đường (hardware-in-the-loop hoặc xe thử nghiệm) là bước quan trọng để hiệu chỉnh và hoàn thiện mô hình, từ đó góp phần đưa giải pháp phanh tái sinh trở thành một tiêu chuẩn kỹ thuật không thể thiếu cho các dòng xe điện thế hệ mới, hướng đến mục tiêu giảm phát thải và tối ưu hóa chi phí sử dụng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. GIÁO TRÌNH - Thiết kế tính toán ô tô (PGS.TS. Nguyễn Trọng Hoan)
- [2]. Nguyễn Hữu Cẩn. Lý thuyết Ô tô Máy kéo. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2000.
- [3]. MathWorks. Vehicle Dynamics Blockset User's Guide. MathWorks Inc., 2022.
- [4]. “1089–1325–1–PB”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Ô tô, 2022.
- [5]. Tài liệu nội bộ: “Hệ thống chống bó cứng phanh tái tạo kết hợp và điều khiển tọa độ phanh điện tử đảm bảo phục hồi năng lượng tối đa và ổn định của xe điện dẫn động bốn bánh”, bản (.docx). 2024.
- [6]. <https://vietnamnet.vn/tai-sao-phanh-tai- tao-nang-luong-lai-quan-trong-voi-xe-dien-va-xehybrid-2283921.html>.
- [7]. <https://hocngheoto.edu.vn/he-thong-phanh-tai-sinh-tren-xe-dien>.
- [8]. “382–Văn bản của bài báo–681–1–10–20230909”. Tạp chí Công nghệ Ô tô, Số 382 (10/2023).
- [9]. Luan-an-Tien-si-Ky-thuat-Co-khi. *Nghiên cứu nâng cao hiệu quả thu hồi năng lượng của hệ thống phanh tái sinh trên ô tô*. Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật Cơ khí, 2023. Truy cập ngày 01/06/2025.
- [10]. GIÁO TRÌNH- Lý thuyết Ô tô Quân sự.
- [11]. Đánh giá hiệu quả thu hồi năng lượng phanh tái sinh trên xe điện tại Việt Nam,” Tạp chí Khoa học và Công nghệ Giao thông, Số 15, 2024, trang 23–32.
- [12]. Vu, Tấn Phát. Điều khiển và Mô phỏng Hệ thống Xe điện bằng MATLAB/Simulink. Nhà xuất bản Tổng hợp TP. HCM, 2022.
- [13]. <https://vinfastnewway.com.vn/thong-so-ky-thuat-vinfast-vf-e34-chi-tiet-nhat/>.

## PHỤ LỤC

Bản vẽ kỹ thuật