ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

KHOA CƠ KHÍ GIAO THÔNG

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: KĨ THUẬT CƠ KHÍ

CHUYÊN NGÀNH: CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC

ĐỀ TÀI:

MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH HỆ THỐNG PHANH PEUGEOT E-208 BẰNG PHẦN MỀM CARSIM

Người hướng dẫn: **PGS. TS LÊ MINH ĐỨC**

Giảng viên phản biện: **ThS.THÁI THỊ NGỌC HẰNG**

Sinh viên thực hiện: **ĐẶNG VĂN HIẾU**

Số thẻ sinh viên: **103210098**

Lớp: **21C4A**

Đà Nẵng, 06/2026

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

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

NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

I. Thông tin chung:

1. Họ và tên sinh viên: Đặng Văn Hiếu

   Lớp: 21C4A Số thẻ SV: 103210098

2. Tên đề tài: Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim.

3. Người hướng dẫn: Lê Minh Đức Học hàm/ học vị: PGS.TS

II. Nhận xét đồ án tốt nghiệp:

1. Về tính cấp thiết, sáng tạo và ứng dụng của đồ án: (điểm tối đa là 2đ)

   ……..

2. Về kết quả giải quyết các nội dung nhiệm vụ yêu cầu của đồ án: (điểm tối đa là 4đ)

   …….

3. Về hình thức, cấu trúc, bố cục của đồ án tốt nghiệp: (điểm tối đa là 2đ)

   …… .

4. NCKH: (điểm tối đa là 1đ)

   …….

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

   ……..

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

   …….

IV. Đánh giá:

1. Điểm đánh giá: /10

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

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2026

Người hướng dẫn

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

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

NHẬN XÉT PHẢN BIỆN ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

I.Thông tin chung:

1.Họ và tên sinh viên: Đặng Văn Hiếu

Lớp: 21C4A Số thẻ SV: 103210098

2.Tên đề tài: Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim

3.Người phản biện: Lê Minh Đức Học hàm/ học vị: PGS/TS

II.Nhận xét, đánh giá đồ án tốt nghiệp:

TT	Các tiêu chí đánh giá	Điểm tối đa	Điểm trừ	Điểm còn lại
1	**Sinh viên có phương pháp nghiên cứu phù hợp, giải quyết đủ nhiệm vụ đồ án được giao**	**80**		
1a	- Hiểu và vận dụng được kiến thức Toán và khoa học tự nhiên trong vấn đề nghiên cứu	15		
1b	- Hiểu và vận dụng được kiến thức cơ sở và chuyên ngành trong vấn đề nghiên cứu	25		
1c	- Có kỹ năng vận dụng thành thạo các phần mềm mô phỏng, tính toán trong vấn đề nghiên cứu	10		
1d	- Có kỹ năng đọc, hiểu tài liệu bằng tiếng nước ngoài ứng dụng trong vấn đề nghiên cứu	10		
1e	- Có kỹ năng làm việc nhóm, kỹ năng giải quyết vấn đề	10		
1f	- Đề tài có giá trị khoa học, công nghệ; có thể ứng dụng thực tiễn:	10		
2	**Kỹ năng viết:**	**20**		

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		
3	**Tổng điểm đánh giá: theo thang 100**			
	Quy về thang 10 (lấy đến 1 số lẻ)			

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

……

……

……

……

5.Ý kiến khác:

……

……

……

……

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

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2026

Người phản biệ

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

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

ĐỀ CƯƠNG ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

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

Giảng viên hướng dẫn	**:**	PGS.TS. Lê Minh Đức
Sinh viên thực hiện	**:**	Đặng Văn Hiếu
Lớp	**:**	21C4A
Ngày giao nhiệm vụ	**:**	15/03/2026
Ngày hoàn thành	**:**	15/6/2026

A. TÊN ĐỀ TÀI

MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH HỆ THỐNG PHANH PEUGEOT E-208 BẰNG PHẦN MỀM CARSIM

B. NỘI DUNG CÁC PHẦN THUYẾT MINH VÀ TÍNH TOÁN

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU

1.1. Lý do lựa chọn đề tài

1.2. Mục tiêu nghiên cứu

1.3. Phạm vi và phương pháp nghiên cứu

1.3.1. Phạm vi nghiên cứu

1.3.2. Phương pháp nghiên cứu

1.4. Ý nghĩa thực tiễn của đề tài

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN LÝ THUYẾT

2.1. Nguyên lý hoạt động hệ thống phanh ô tô

2.1.1. Nguyên lý phân bố lực phanh giữa cầu trước và cầu sau

2.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất phanh

2.2. Hệ thống phanh chống trượt bánh (ABS)

2.2.1. Hệ thống phanh chống bó cứng bánh xe (ABS)

2.2.2. Nguyên lý hoạt động của ABS

2.2.3. Lợi ích của hệ thống ABS

2.3. Công cụ mô phỏng động lực học ô tô CarSim

2.3.1. Giới thiệu về phần mềm CarSim

2.3.3. Cách thiết lập mô hình xe và kịch bản phanh trên CarSim

CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH HỆ THỐNG PHANH PEUGEOT E-208

3.1. Thông số kỹ thuật cơ bản của xe

3.1.1. Khối lượng xe và phân bố tải trọng

3.1.2. Đặc tính lốp xe

3.1.3. Hệ thống phanh thủy lực trên xe Peugeot e-208

3.2. Tính toán tham số cốt lõi của hệ thống phanh

3.2.1. Tính lực phanh tối đa cho từng cầu

3.2.2. Tính quãng đường phanh theo tiêu chuẩn Euro NCAP

CHƯƠNG 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG TRÊN CARSIM

4.1. Chuẩn bị môi trường làm việc

4.1.1. Cài đặt và cấu hình phần mềm CarSim

4.1.2. Tìm và chọn mô hình xe cơ bản tương đồng Peugeot e-208

4.2. Tùy chỉnh thông số mô hình xe

4.2.1. Chỉnh sửa khối lượng xe và phân bổ khối lượng

4.2.2. Chỉnh sửa kích thước lốp xe

4.2.3. Cấu hình đặc tính hệ thống treo

4.2.4. Cấu hình hệ thống lái

4.3. Cấu hình hệ thống phanh trên CarSim

4.3.1. Nhập các tham số tính toán vào hệ thống phanh

4.3.2. Kích hoạt và cấu hình hệ thống ABS/ESC

4.3.3. Thiết lập tỷ lệ phân bổ lực phanh trước/sau

4.4. Thiết lập các kịch bản mô phỏng phanh

4.4.1. Kịch bản 1: Phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô

4.4.2. Kịch bản 2: Phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô

4.4.3. Kịch bản 3: Phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt

4.4.4. Kịch bản 4: Phanh khi đi vào cua với tốc độ 50 km/h

4.4.5. Kịch bản 5: Phanh liên tục để đánh giá nhiệt độ phanh

CHƯƠNG 5: PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG PHANH

5.1. Phân tích dữ liệu mô phỏng

5.1.1. Phân tích biểu đồ vận tốc xe

5.1.2. Phân tích biểu đồ gia tốc chậm dần

5.1.3. Phân tích biểu đồ áp suất phanh

5.1.4. Phân tích tốc độ quay bánh xe

5.2. Đánh giá hiệu suất hệ thống phanh

5.2.1. So sánh với lý thuyết và tiêu chuẩn an toàn

5.2.2. Phân tích hoạt động ABS

5.2.3. Đánh giá độ ổn định của xe

5.3. So sánh hiệu suất phanh theo các điều kiện khác nhau

5.3.1. So sánh đường khô và đường ướt

5.3.2. So sánh theo tải trọng xe

5.3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ phanh

CHƯƠNG 6: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN.

6.1. Tóm tắt kết quả nghiên cứu

6.2. Hướng phát triển tiếp theo

C. CÁC BẢN VẼ.

1. Bản vẽ sơ đồ hệ thống phanh thùy lực (A3)
2. Bản vẽ tổng thể cụm phanh trước (A3)
3. Bản vẽ đĩa phanh trước (A3)
4. Bản vẽ cụm cùm phanh trước (A3)
5. Bản vẽ má phanh (A3)
6. Bản vẽ đĩa phanh sau (A3)
7. Bản vẽ xi lanh chính-bầu trợ lực phanh (A3)

D.TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Peugeot, Peugeot e-208 Owner's Manual, Peugeot Automobile Company, France 2023.

[2] Mechanical Simulation Corporation, CarSim Training Manual, Ann Arbor, Michigan, USA, 2017.

[3] Mechanical Simulation Corporation, CarSim User's Guide Version 2017.1, Ann Arbor, Michigan, USA, 2017.

[4] James D. Halderman, Automotive Brake Systems, Pearson Education, 2017

[5] Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Giáo trình Hệ thống phanh ABS trên ô tô, Khoa Cơ khí Động lực, 2020.

[6] Nguyễn Hữu Cẩn, Động lực học ô tô, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, Hà Nội, 2010.

[7] Nguyễn Khắc Trai, Cấu tạo ô tô, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2018.

[8] Vehicle Dynamics and Control – Rajamani (Springer, 2012).

[9] Nguyễn Hữu Cẩn, Lý thuyết ô tô máy kéo, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2005.

[10] Peugeot, Peugeot e-208 Service and Maintenance Documentation, Peugeot Automobile Company, France, 2020.

[11] Nguyễn Oanh, Kết cấu và tính toán ô tô, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam,2008.

[12] Euro NCAP, Peugeot 208 / e-208 Safety Rating Report, 2019.

Người hướng dẫn **Sinh viên thực hiện**

Trưởng bộ môn Cơ khí Động lực

TÓM TẮT

Tên đề tài: Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208 bằng phần mềm Carim

Sinh viên thực hiện: Đặng Văn Hiếu

Số thẻ SV: 103210098 Lớp: 21C4A.

Hệ thống phanh là một trong những hệ thống an toàn chủ động quan trọng nhất trên ô tô, có nhiệm vụ giảm tốc độ hoặc dừng xe theo yêu cầu của người lái, đồng thời đảm bảo tính ổn định và khả năng điều khiển phương tiện trong các điều kiện vận hành khác nhau. Sự phát triển của các hệ thống hỗ trợ phanh hiện đại như ABS (Anti-lock Braking System) đã góp phần nâng cao đáng kể hiệu quả phanh và giảm thiểu nguy cơ mất lái khi phanh khẩn cấp. Vì vậy, việc nghiên cứu đặc tính làm việc của hệ thống phanh thông qua mô phỏng là cần thiết nhằm đánh giá và tối ưu hóa khả năng vận hành của xe.

Trong đồ án này, em thực hiện đề tài "Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim" với mục tiêu nghiên cứu nguyên lý hoạt động của hệ thống phanh và hệ thống chống bó cứng bánh xe ABS trên xe Peugeot, đồng thời đánh giá các đặc tính động lực học của xe trong quá trình phanh thông qua môi trường mô phỏng.

Nội dung nghiên cứu tập trung vào việc tìm hiểu kết cấu và nguyên lý làm việc của hệ thống phanh trên xe Peugeot, xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm Carsim, thiết lập các điều kiện vận hành khác nhau và tiến hành phân tích các thông số đặc trưng như gia tốc chậm dần, quãng đường phanh, hệ số bám, tốc độ quay bánh xe, độ trượt bánh xe và áp suất phanh tại các bánh xe. Các kịch bản mô phỏng bao gồm phanh khẩn cấp trên đường khô, đường ướt và phanh khi xe chuyển động trên quỹ đạo cong nhằm đánh giá toàn diện khả năng làm việc của hệ thống.

Phương pháp nghiên cứu:

- Thu thập và nghiên cứu các tài liệu liên quan đến hệ thống phanh và hệ thống ABS trên ô tô.
- Tìm hiểu các thông số kỹ thuật và đặc tính vận hành của xe Peugeot phục vụ cho quá trình mô phỏng.
- Xây dựng mô hình xe và các kịch bản phanh trên phần mềm CarSim.
- Phân tích, đánh giá kết quả mô phỏng dựa trên các đồ thị và thông số động lực học thu được.

Kết quả nghiên cứu: Đề tài đã xây dựng thành công mô hình mô phỏng hệ thống phanh trên xe Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim và thực hiện các kịch bản phanh trong những điều kiện vận hành khác nhau. Kết quả mô phỏng cho phép đánh giá các thông số quan trọng như gia tốc chậm dần, quãng đường phanh, độ trượt bánh xe, tốc độ quay bánh xe và áp suất phanh tại từng bánh xe. Thông qua quá trình phân tích, đề tài đã làm rõ ảnh hưởng của điều kiện mặt đường và chế độ chuyển động đến hiệu quả phanh của xe.

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

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

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ tên sinh viên: Đặng Văn Hiếu Số thẻ sinh viên: 103210098

Lớp: 21C4A Khoa: Cơ khí giao thông Ngành: Cơ khí động lực

1. *Tên đề tài đồ án:*

Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim

2. *Đề tài thuộc diện: ☐ Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện*

3. *Các số liệu và dữ liệu ban đầu:*

……..……..

……....……...

4. *Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:*

Chương 1: Tổng quan về đề tài nghiên cứu, trình bày lý do lựa chọn đề tài, mục tiêu nghiên cứu, phạm vi nghiên cứu và phương pháp thực hiện đề tài.

Chương 2: Tổng quan lý thuyết, giới thiệu cơ sở lý thuyết liên quan đến hệ thống phanh ô tô, nguyên lý hoạt động của hệ thống chống bó cứng bánh xe ABS và phần mềm mô phỏng động lực học ô tô Carsim.

Chương 3: Phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208, trình bày các thông số kỹ thuật cơ bản của xe và thực hiện tính toán các tham số đặc trưng của hệ thống phanh phục vụ quá trình mô phỏng.

Chương 4: Xây dựng mô hình mô phỏng trên CarSim, tiến hành thiết lập mô hình xe, lựa chọn các điều kiện vận hành và xây dựng các kịch bản phanh phục vụ đánh giá hệ thống.

Chương 5: Phân tích kết quả mô phỏng phanh, đánh giá các đặc tính làm việc của hệ thống phanh thông qua các thông số như vận tốc xe, gia tốc chậm dần, quãng đường phanh, tốc độ quay bánh xe, độ trượt bánh xe và áp suất phanh tại các bánh xe trong các điều kiện mặt đường khác nhau.

Chương 6: Kết luận và hướng phát triển, tổng hợp các kết quả đạt được của đề tài, đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống phanh và đề xuất các hướng nghiên cứu tiếp theo.

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

TT	Tên bản vẽ	Loại bản vẽ	SVTH
1	Sơ đồ thống phannh thủy lực trên xe Peugoet e-208	1-A3	Đặng Văn Hiếu
2	Tổng thể cụm phanh trước	1-A3	Đặng Văn Hiếu
3	Đĩa phanh trước	1-A3	Đặng Văn Hiếu
4	Cụm cùm phanh trước	1-A3	Đặng Văn Hiếu
5	Má phanh	1-A3	Đặng Văn Hiếu
6	Đĩa phanh sau	1-A3	Đặng Văn Hiếu
7	Xi lanh chính Bầu trợ lực	1-A3	Đặng Văn Hiếu

6. *Họ tên người hướng dẫn:* PGS.TS. Lê Minh Đức
7. *Ngày giao nhiệm vụ đồ án: ...../...../ 2026*
8. *Ngày hoàn thành đồ án:……/……/2026*

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2026

Người hướng dẫn **Sinh viên thực hiện**

Đặng Văn Hiếu

Trưởng bộ môn

LỜI NÓI ĐẦU

Sau gần năm năm học tập và rèn luyện tại Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, em đã được trang bị những kiến thức chuyên môn quý báu cùng nhiều kỹ năng cần thiết để từng bước trưởng thành trên con đường học tập và nghề nghiệp. Đồ án tốt nghiệp là cột mốc quan trọng đánh dấu sự kết thúc của quá trình đào tạo bậc đại học, đồng thời là cơ hội để em vận dụng những kiến thức đã tích lũy vào nghiên cứu và giải quyết một vấn đề thực tiễn trong lĩnh vực kỹ thuật ô tô.

Trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp với đề tài "Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim", em đã nhận được rất nhiều sự quan tâm, giúp đỡ và động viên từ quý thầy cô, gia đình và bạn bè. Đây là nguồn động lực to lớn giúp em vượt qua những khó khăn trong quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành đề tài.

Trước hết, em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến toàn thể quý thầy cô Khoa Cơ khí Giao thông, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng. Trong suốt những năm học vừa qua, quý thầy cô không chỉ truyền đạt cho em những kiến thức chuyên môn quý báu mà còn tận tình chỉ bảo, định hướng tư duy nghiên cứu, phương pháp học tập và tác phong làm việc khoa học. Những bài giảng, kinh nghiệm thực tiễn và sự tận tâm của quý thầy cô sẽ luôn là hành trang quý giá đối với em trên con đường phát triển nghề nghiệp sau này.

Đặc biệt, em xin gửi lời tri ân chân thành và sâu sắc nhất đến PGS.TS. Lê Minh Đức, người đã trực tiếp hướng dẫn em thực hiện đồ án tốt nghiệp. Trong suốt quá trình nghiên cứu, thầy đã luôn tận tình chỉ bảo, định hướng nội dung thực hiện, góp ý chuyên môn và hỗ trợ em tháo gỡ những khó khăn gặp phải. Sự nghiêm túc trong nghiên cứu khoa học, tinh thần trách nhiệm và sự tận tâm của thầy đã giúp em không chỉ hoàn thành tốt đề tài mà còn học hỏi được nhiều kiến thức, kinh nghiệm quý báu phục vụ cho công việc trong tương lai.

Một lần nữa, em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến quý thầy cô, gia đình và bạn bè đã luôn đồng hành cùng em trong suốt chặng đường học tập tại Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng.

Kính chúc quý thầy cô luôn dồi dào sức khỏe, hạnh phúc và gặt hái nhiều thành công trong sự nghiệp trồng người.

LỜI CAM ĐOAN

Tôi tên là Đặng Văn Hiếu, sinh viên thực hiện đồ án tốt nghiệp với đề tài:

"Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim".

Tôi xin cam đoan rằng toàn bộ nội dung của đồ án này là kết quả nghiên cứu, tìm hiểu, tính toán và thực hiện của cá nhân tôi dưới sự hướng dẫn của giảng viên hướng dẫn. Các số liệu, hình ảnh, tài liệu tham khảo và thông tin được sử dụng trong đồ án đều có nguồn gốc rõ ràng, được trích dẫn và ghi nhận theo đúng quy định về học thuật.

Tôi cam kết tuân thủ các nguyên tắc về liêm chính học thuật, không sao chép, đạo văn, sử dụng trái phép kết quả nghiên cứu của người khác hoặc sử dụng các sản phẩm học thuật không do bản thân thực hiện mà không trích dẫn nguồn. Mọi sự hỗ trợ từ các tài liệu, công trình nghiên cứu, sách, báo, tiêu chuẩn kỹ thuật và các nguồn tham khảo khác đều được ghi nhận đầy đủ trong danh mục tài liệu tham khảo của đồ án.

Nếu phát hiện có bất kỳ hành vi vi phạm nào liên quan đến liêm chính học thuật trong đồ án này, tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm trước Nhà trường và các quy định hiện hành.

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2026

Sinh viên thực hiện

Đặng Văn Hiếu

MỤC LỤC

TÓM TẮT.....

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP.....

LỜI NÓI ĐẦU.....i

LỜI CAM ĐOAN.....ii

MỤC LỤC.....iii

DANH MỤC BẢNG.....vi

DANH MỤC HÌNH VẼ.....vii

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT.....ix

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI NGUYÊN CỨU.....1

1.1. Lý do lựa chọn đề tài......1

1.2 Mục tiêu nghiên cứu.....2

1.3 Phạm vi và phương pháp nghiên cứu.....3

1.3.1 Phạm vi nghiên cứu.....3

1.3.2. Phương pháp nghiên cứu.....4

1.4. Ý nghĩa thực tiễn của đề tài.....6

Chương 2: TỔNG QUAN LÝ THUYẾT.....6

2.1. Nguyên lý hoạt động hệ thống phanh ô tô.....6

2.1.1. Nguyên lý phân bố lực phanh giữa cầu trước và cầu sau.....7

2.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất phanh.....9

2.2. Hệ thống phanh chống trượt bánh (ABS).....10

2.2.1. Hệ thống phanh chống bó cứng bánh xe (ABS).....10

2.2.2. Nguyên lý hoạt động của ABS.....11

2.2.3. Lợi ích của hệ thống ABS.....12

2.3. Công cụ mô phỏng động lực học ô tô Carsim.....15

2.3.1. Giới thiệu về phần mềm Carsim.....15

2.3.2. Các tính năng hỗ trợ nghiên cứu hệ thống phanh.....16

2.3.3. Cách thiết lập mô hình xe và kịch bản phanh trên Carsim.....17

Chương 3: PHÂN TÍCH HỆ THỐNG PHANH PEUGEOT E-208.....21
3.1. Thông số kỹ thuật cơ bản của xe.....21
3.1.1. Khối lượng xe và phân bố tải trọng.....21
3.1.2. Đặc tính lốp xe.....22
3.1.3. Hệ thống phanh thủy lực trên xe Peugeot e-208.....23
3.2. Tính toán tham số cốt lõi của hệ thống phanh.....27
3.2.1. Tính lực phanh tối đa cho từng cầu.....28
3.2.2. Tính quãng đường phanh theo tiêu chuẩn Euro NCAP.....30
Chương 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG TRÊN CARSIM.....32
4.1. Chuẩn bị môi trường làm việc.....32
4.1.1. Cài đặt và cấu hình phần mềm Carsim.....32
4.1.2. Tìm và chọn mô hình xe cơ bản tương đồng Peugeot e-208.....32
4.2. Tùy chỉnh thông số mô hình xe.....32
4.2.1. Chỉnh sửa khối lượng xe và phân bổ khối lượng.....33
4.2.2. Chỉnh sửa kích thước lốp xe.....33
4.2.3. Cấu hình đặc tính hệ thống treo.....34
4.2.4. Cấu hình hệ thống lái.....35
4.3. Cấu hình hệ thống phanh trên Carsim.....35
4.3.1. Nhập các tham số tính toán vào hệ thống phanh.....36
4.3.2. Kích hoạt và cấu hình hệ thống ABS/ESC.....36
4.3.3. Thiết lập tỷ lệ phân bổ lực phanh trước/sau.....36
4.4. Thiết lập các kịch bản mô phỏng phanh.....37
4.4.1. Kịch bản 1: Phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô.....37
4.4.2. Kịch bản 2: Phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô.....40
4.4.3. Kịch bản 3: Phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt.....41
4.4.4. Kịch bản 4: Phanh khi đi vào cua với tốc độ 50 km/h.....44
4.4.5. Kịch bản 5: Phanh liên tục để đánh giá nhiệt độ phanh.....45
Chương 5: PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG PHANH.....48
5.1. Phân tích dữ liệu mô phỏng.....48
5.1.1. Phân tích biểu đồ vận tốc xe.....48

5.1.2. Phân tích biểu đồ gia tốc chậm dần 51
5.1.3. Phân tích biểu đồ áp suất phanh 55
5.1.4. Phân tích tốc độ quay bánh xe 64
5.2. Đánh giá hiệu suất hệ thống phanh.....69
5.2.1. So sánh với lý thuyết và tiêu chuẩn an toàn 69
5.2.2. Phân tích hoạt động ABS.....70
5.2.3. Đánh giá độ ổn định của xe 73
5.3. So sánh hiệu suất phanh theo các điều kiện khác nhau 74
5.3.1. So sánh đường khô và đường ướt.....74
5.3.2. So sánh theo tải trọng xe.....75
5.3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ phanh.....76
Chương 6: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN 78
6.1. Tóm tắt kết quả nghiên cứu.....78
6.2. Hướng phát triển tiếp theo.....79
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....

DANH MỤC BẢNG

Bảng 3.1: Thông số cơ bản xe Peugoet e-208 21
Bảng 3.2: Khối lượng phân bố tải trọng của Peugeot e-208 21
Bảng 3.3: Khối lượng phân bố tải trọng của Peugeot e-208 22
Bảng 4.1: Kết quả sau thiết lập với kịch bản 1 37
Bảng 4.2: So sánh kết quả mô phỏng với giá trị tham khảo khi phanh từ 60 km/h trên đường khô (μ = 0,85). 39
Bảng 4.3: Kết quả sau mô phỏng kịch bản 2 40
Bảng 4.4: Kết quả sau mô phỏng kịch bản 3 42
Bảng 4.5: Kết quả sau mô phỏng phanh khẩn cấp vận tốc 80km/h ($\boldsymbol{\mu = 0.9}$) 42
Bảng 4.7: Kết quả sau mô phỏng với kịch bản 4 44
Bảng 4.8: Thiết lập các thông số thử nghiệm phanh liên tục 45
Bảng 4.9: Kết quả sau khi mô phỏng xe phanh liên tục ở tốc độ khác nhau 46
Bảng 5.1: So sánh tiêu chuẩn Euro NCAP 69
Bảng 5.2: So sánh các chỉ số giữa đường khô và đường ướt 74
Bảng 5.3: So sánh ảnh hưởng của tải trọng đến hiệu quả phanh Peugeot e-208 trên carsim (v = 100 km/h; μ = 1,0) 75
Bảng 5.4: So sánh ảnh hưởng của nhiệt độ phanh 77

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Quá trình phanh khẩn cấp có ABS và không có ABS 1
Hình 1.2: Xe Peugeot e-208 được sử dụng làm đối tượng nghiên cứu. 2
Hình 1.3: Sơ đồ tóm tắt phạm vi nghiên cứu 4
Hình 2.1: Sơ đồ kết cấu của phanh thủy lực 7
Hinh 2.2: Tỉ lệ phân bố lực phanh trên xe Peugoet e-208 [1] 9
Hình 2.3: Sơ đồ hoạt động của hệ thống chống bó cứng bánh xe ABS 11
Hình 2.4: So sánh khả năng điều khiển hướng của xe 13
Hình 2.5: ABS trong việc nâng cao an toàn chuyển động của ô tô 13
Hình 2.6: Ảnh hưởng của hệ thống ABS đến mức độ mài mòn lốp xe 14
Hình 2.7: Sơ đồ điều khiển của hệ thống chống bó cứng bánh xe ABS. 15
Hình 2.8: Giao diện chính phần mềm Carsim 2017.1 16
Hình 2.9: Các tính năng hỗ trợ nghiên cứu hệ thống phanh 17
Hình 2.10 Thiết lập hệ thống phanh (ABS/ESC) 18
Hình 2.11: Thiết lập điều kiện mặt đường (hệ số bám μ) 19
Hình 2.12: Thiết lập kịch bản mô phỏng phanh 19
Hình 2.13: Kết quả mô phỏng (đồ thị Carsim) 20
Hình 3.1: Vùng độ trượt tối ưu của hệ thống ABS trên Peugeot e-208 22
Hình 3.2: Cơ cấu hệ thống phanh thủy lực trên xe Peugoet e-208 23
Hình 3.3: Sơ đồ bàn đạp phanh sử dụng trên xe Peugoet e-208 23
Hình 3.4: Sơ đồ bầu trợ lực sử dụng trên xe Peugoet e-208 24
Hình 3.5: Sơ đồ xi lanh chính sử dụng trên xe Peugoet e-208 25
Hình 3.6: Sơ đồ cơ cấu phanh sử dụng trên xe Peugoet e-208 26
Hình 3.7: Sơ đồ hệ thống ECU sử dụng trên xe Peugoet e-208 27
Hình 4.1: Chỉnh mô hình xe trong carsim 33
Hình 4.2: Chỉnh khối lượng xe và phân bổ khối lượng 33
Hinh 4.3: Chỉnh kích thước lốp xe 34
Hình 4.4: Chỉnh hệ thống treo 34
Hình 4.5: Chỉnh sửa hệ thống lái 35

Hình 4.6 : Chỉnh sửa hệ thống phanh 35
Hình 4.7: Quy trình nhập tham số vào hệ thống.....36
Hình 4.8: Quy trình kích hoạt hệ thống ABS/ESC.....36
Hình 4.9: Quy trình thiết lập tỉ lệ phân bố lục phanh cho mô phỏng 37
Hình 4.10: Đồ thị thể hiện khả năng giảm tốc kịch bản 1 38
Hình 4.11: Đồ thị quãng đường phanh theo thời gian kịch bản 1 38
Hình 4.12: Đồ thị hiệu suất phanh kịch bản 2 41
Hình 4.13: Đồ thị so sánh quãng đường phanh theo thời gian 43
Hình 4.15 Phanh bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ.....47
Hình 5.1: Biểu đồ vận tốc xe phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô 48
Hình 5.2: Biểu đồ vận tốc xe phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô.....49
Hình 5.3: Biểu đồ vận tốc xe phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt.....50
Hình 5.4: Biểu đồ vận tốc xe phanh khi đi vào cua với vận tốc 50 km/h.....51
Hình 5.5: Biểu đồ gia tốc chậm dần khi xe phanh kịch bản 1 51
Hình 5.6: Biểu đồ gia tốc chậm dần khi xe phanh khẩn cấp kịch bản 2.....52
Hình 5.7: Biểu đồ gia tốc chậm dần khi xe phanh khẩn cấp kịch bản 3.....53
Hình 5.8: Biểu đồ gia tốc chậm dần xe phanh kịch bản 4 54
Hình 5.9: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính kịch bản 1.....55
Hình 5.10: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe kịch bản 1 56
Hình 5.11: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính kịch bản 2.....58
Hình 5.12: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe kịch bản 2 58
Hình 5.13: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính kịch bản 3.....60
Hình 5.14: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe kịch bản 3 60
Hình 5.15: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính kịch bản 4.....62
Hình 5.16: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe kịch bản 4 62
Hình 5.17: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 60 km/h trên đường ướt.....64
Hình 5.18: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 100 km/h.....65
Hình 5.19: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 80 km/h.....67
Hình 5.20: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 50 km/h khi vào cua 68

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Ý nghĩa ký hiệu	Đơn vị
W_f, W_r	Tải trọng cầu trước, sau	N
$F_{f,}F_r$	Lực phanh cầu trước, sau	N
F_{ph}	Tổng lực phanh tác dụng lên xe	N
S_{ph}	Quãng đường phanh	m
F_{total}	Tổng lực phanh cực đại lý thuyết	N
A_f	Diện tích piston	m^2
P	Ấp suất cầu trước	MPa
ΔW	Tải trọng dịch chuyển khi phanh	N
$F_{bám,f}$, $F_{bám,r}$	Lực bám cầu trước và cầu sau	N
E_k	Động năng của xe	J
F_φ,F_{max}	Lực bám cực đại, lực bám cực đại bánh xe và lốp	N
Δm, m	Khối lượng dịch chuyển, khối lượng xe	kg
μ	Hệ số ma sát	
P_p	Áp suát dầu phanh	MPa
L	Chiều dài cơ sở	M
h	Chiều cao trọng tâm xe	m
φ	Độ bám mặt đường	
a, b	Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước, sau	m
v	Vận tốc xe	m/s

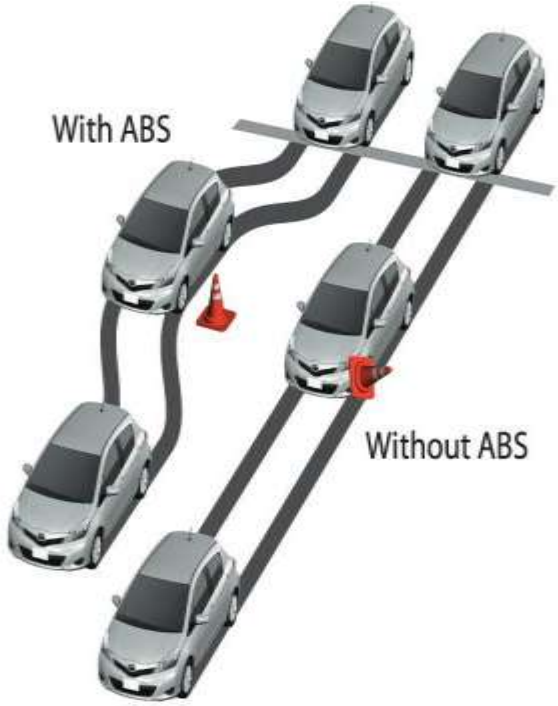
ω	Tốc độ góc bánh xe	rad/s
r	Bán kính lăn động học bánh xe	m
z	Phản lực pháp tuyến tác dụng lên bánh xe	N
W	Tải trọng tác dụng lên bánh xe	N
a_{max}	Gia tốc phanh cực đại	m/s^2
a_{lt}	Gia tốc phanh lý tưởng	m/s^2

Chữ viết tắt	Ý nghĩa
ABS	Anti-lock Braking System
ESC	Electronic Stability Control
EBD	Electronic Brakeforce Distribution
ECU	Electronic Control Unit
MSC	Mechanical Simulation Corporation
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
Kịch bản 1	Phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô
Kịch bản 2	Phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô
Kịch bản 3	Phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt
Kịch bản 4	Phanh khi đi vào cua với vận tốc 50 km/h

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI NGUYÊN CỨU

1.1. Lý do lựa chọn đề tài.

Trong những năm gần đây, ngành công nghiệp ô tô đang phát triển mạnh mẽ theo hướng hiện đại hóa, điện hóa và nâng cao tính an toàn cho người sử dụng. Các hãng xe trên thế giới liên tục nghiên cứu và ứng dụng những công nghệ tiên tiến nhằm giảm thiểu tai nạn giao thông, nâng cao độ ổn định và khả năng điều khiển phương tiện trong mọi điều kiện vận hành. Trong đó, hệ thống phanh được xem là một trong những hệ thống an toàn quan trọng nhất trên ô tô, có vai trò quyết định đến khả năng giảm tốc, dừng xe và duy trì ổn định chuyển động.



Hình 1.1: Quá trình phanh khẩn cấp có ABS và không có ABS

Đối với các dòng xe điện hiện đại như Peugeot e-208, hệ thống phanh không chỉ đảm nhiệm chức năng phanh truyền thống mà còn kết hợp với công nghệ phanh tái sinh năng lượng nhằm nâng cao hiệu suất sử dụng năng lượng và tăng tính kinh tế cho xe. Điều này làm cho việc nghiên cứu đặc tính hoạt động của hệ thống phanh trên xe điện trở nên cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao.

Xuất phát từ những lý do trên, đề tài "Mô phỏng và phân tích hệ thống phanh xe Peugeot e-208 bằng phần mềm Carsim" được lựa chọn nhằm nghiên cứu đặc tính hoạt

động của hệ thống phanh, đánh giá hiệu quả làm việc và đề xuất các giải pháp cải tiến phù hợp với điều kiện khai thác thực tế tại Việt Nam.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Trong bối cảnh công nghệ ô tô hiện đại ngày càng phát triển theo hướng điện hóa và tự động hóa, việc nghiên cứu hệ thống phanh trên xe điện không chỉ dừng lại ở yêu cầu đảm bảo an toàn mà còn hướng tới tối ưu hiệu quả sử dụng năng lượng và nâng cao khả năng điều khiển phương tiện. Đối với dòng xe điện Peugeot e-208, hệ thống phanh được tích hợp nhiều công nghệ tiên tiến như ABS, EBD và phanh tái sinh năng lượng, đòi hỏi quá trình nghiên cứu phải được thực hiện bằng các công cụ mô phỏng có độ chính xác cao nhằm đánh giá toàn diện đặc tính làm việc của hệ thống trong các điều kiện vận hành khác nhau.

Mục tiêu đầu tiên của đề tài là xây dựng mô hình động lực học hoàn chỉnh của xe Peugeot e-208 trên phần mềm Carsim dựa trên các thông số kỹ thuật thực tế của xe. Quá trình xây dựng mô hình được thực hiện thông qua việc khai báo các thông số đặc trưng như khối lượng toàn bộ, kích thước hình học, phân bố tải trọng giữa các cầu xe, đặc tính lốp, hệ thống treo và các thông số của hệ thống phanh.



Hình 1.2: Xe Peugeot e-208 được sử dụng làm đối tượng nghiên cứu.

Thông qua phần mềm Carsim, nhiều kịch bản mô phỏng được thiết lập nhằm tái hiện các tình huống thường gặp trong quá trình sử dụng xe. Các điều kiện khảo sát bao gồm phanh trên mặt đường khô có hệ số bám cao, phanh trên mặt đường ướt hoặc trơn trượt, phanh khi xe đang chuyển động trên quỹ đạo cong, phanh khẩn cấp ở tốc độ cao,

phanh trong điều kiện tải trọng thay đổi cũng như phanh kết hợp với hệ thống tái sinh năng lượng đặc trưng của các dòng xe hiện đại.



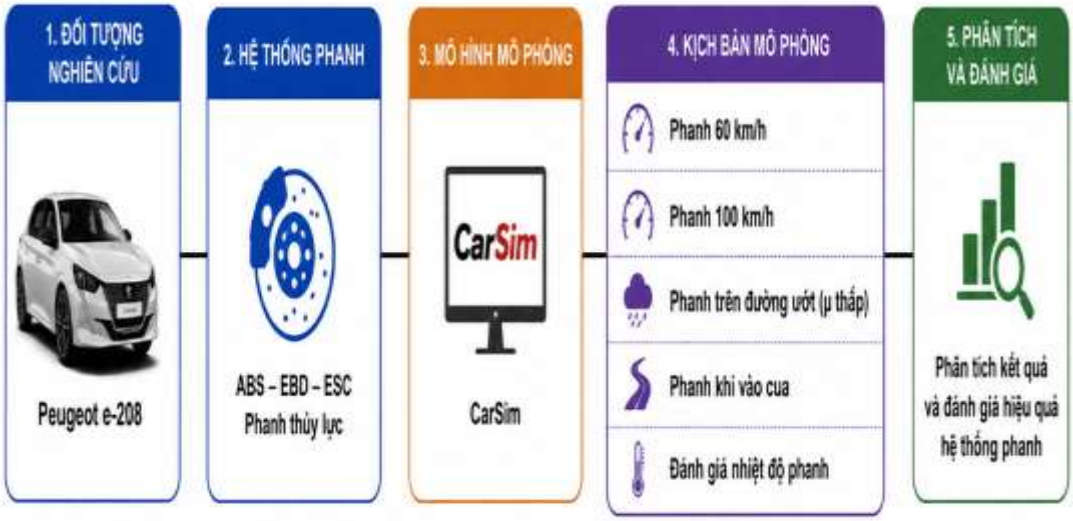
Hình 1.3. Phần mềm Carsim được sử dụng trong nghiên cứu

Ngoài ý nghĩa ứng dụng trong nghiên cứu và đánh giá hệ thống phanh trên xe Peugeot e-208, kết quả của đề tài còn có giá trị tham khảo đối với quá trình học tập, nghiên cứu và phát triển các hệ thống an toàn chủ động trên ô tô hiện đại. Các phương pháp mô hình hóa, mô phỏng và phân tích được trình bày trong đề tài có thể được áp dụng cho nhiều dòng xe khác nhau, góp phần hỗ trợ công tác nghiên cứu và đào tạo trong lĩnh vực kỹ thuật ô tô, đặc biệt là đối với các phương tiện sử dụng năng lượng điện đang ngày càng phát triển mạnh trong xu hướng giao thông xanh hiện nay.

1.3 Phạm vi và phương pháp nghiên cứu

1.3.1 Phạm vi nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu của đồ án được thực hiện trên đối tượng là hệ thống phanh của xe Peugeot e-208. Quá trình nghiên cứu tập trung vào việc xây dựng mô hình động lực học của xe trên phần mềm Carsim nhằm đánh giá đặc tính làm việc của hệ thống phanh trong các điều kiện vận hành khác nhau.



Hình 1.3: Sơ đồ tóm tắt phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu của đồ án bao gồm các nội dung chính sau:

- Nghiên cứu đặc điểm cấu tạo và nguyên lý làm việc của hệ thống phanh trên xe Peugeot e-208.

- Khảo sát hệ thống phanh thủy lực và các hệ thống hỗ trợ an toàn như ABS và ESC.

- Phân tích đặc tính phân bố lực phanh giữa cầu trước và cầu sau trong quá trình giảm tốc.

- Đánh giá ảnh hưởng của hiện tượng chuyển dịch tải trọng động đến hiệu quả phanh và khả năng ổn định chuyển động của xe.

- Xây dựng mô hình mô phỏng trên phần mềm CarSim dựa trên các thông số kỹ thuật thực tế của xe.

Đồ án không đi sâu vào thiết kế kết cấu chi tiết, tính toán độ bền hay chế tạo mô hình thực nghiệm, mà tập trung vào công tác mô hình hóa, mô phỏng và đánh giá đặc tính động lực học của xe Peugeot e-208 trong quá trình phanh.

1.3.2. Phương pháp nghiên cứu

Để thực hiện các mục tiêu nghiên cứu đã đề ra, đồ án sử dụng kết hợp:

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: Thu thập, tổng hợp và phân tích các tài liệu liên quan đến động lực học ô tô, lý thuyết phanh, hệ thống chống bó cứng bánh xe ABS, hệ thống cân bằng điện tử ESC và các tiêu chuẩn đánh giá hiệu quả phanh. Kết quả nghiên cứu lý thuyết là cơ sở để xác định các thông số đầu vào và xây dựng các kịch bản mô phỏng.

Phương pháp mô phỏng: Xây dựng mô hình động lực học của xe Peugeot e-208 trên phần mềm Carsim dựa trên các thông số kỹ thuật thực tế. Các thông số như khối lượng xe, kích thước hình học, chiều dài cơ sở, vị trí trọng tâm, phân bố tải trọng, đặc tính lốp và hệ thống phanh được thiết lập trong môi trường mô phỏng nhằm tái hiện gần đúng điều kiện vận hành thực tế của xe.

Phương pháp phân tích và đánh giá: Các kịch bản mô phỏng được thiết lập để khảo sát đặc tính làm việc của hệ thống phanh trong những điều kiện vận hành khác nhau. Các chỉ tiêu đánh giá bao gồm quãng đường phanh, gia tốc chậm dần, độ trượt bánh xe, độ ổn định hướng chuyển động và khả năng bám đường của lốp xe. Kết quả mô phỏng được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của tốc độ xe, điều kiện mặt đường và sự chuyển dịch tải trọng đến hiệu quả phanh của xe Peugeot e-208.

Chương 2: TỔNG QUAN LÝ THUYẾT

1.4. Ý nghĩa thực tiễn của đề tài

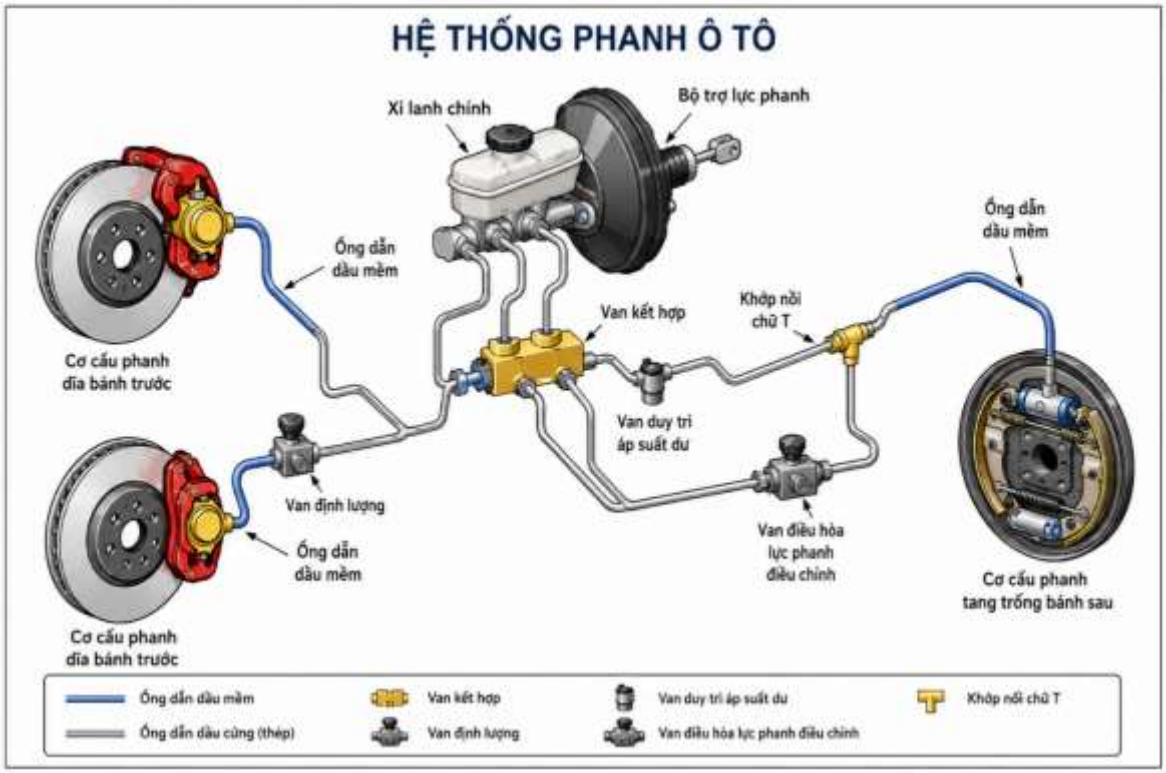
Hệ thống phanh có vai trò quyết định đến khả năng giảm tốc, duy trì ổn định chuyển động và đảm bảo an toàn cho người và phương tiện trong quá trình khai thác. Trong các tình huống giao thông thực tế, đặc biệt khi xuất hiện chướng ngại vật hoặc các tình huống khẩn cấp, hiệu quả làm việc của hệ thống phanh ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng tránh va chạm và mức độ an toàn của xe.

Hiện nay, cùng với sự phát triển của công nghệ ô tô, các hệ thống hỗ trợ phanh hiện đại như ABS và ESC đã được trang bị rộng rãi nhằm nâng cao hiệu quả phanh và cải thiện khả năng ổn định chuyển động. Tuy nhiên, hiệu quả làm việc của các hệ thống này còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như tốc độ xe, điều kiện mặt đường, hệ số bám và sự phân bố tải trọng trong quá trình phanh. Do đó, việc nghiên cứu đặc tính làm việc của hệ thống phanh trên xe Peugeot e-208 có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá khả năng đáp ứng của các hệ thống an toàn điện tử trong những điều kiện vận hành khác nhau.

Thông qua việc xây dựng mô hình động lực học trên phần mềm Carsim và thực hiện các kịch bản mô phỏng đặc trưng, đề tài cho phép đánh giá các chỉ tiêu quan trọng như quãng đường phanh, thời gian phanh, gia tốc chậm dần, độ trượt bánh xe, sự phân bố lực phanh và độ ổn định hướng chuyển động của xe. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ ảnh hưởng của điều kiện khai thác đến hiệu quả phanh, đồng thời cung cấp cơ sở tham khảo cho công tác nghiên cứu, giảng dạy và ứng dụng mô phỏng trong lĩnh vực kỹ thuật ô tô.

2.1. Nguyên lý hoạt động hệ thống phanh ô tô

Nguyên lý làm việc của hệ thống phanh thủy lực dựa trên sự truyền áp suất trong chất lỏng. Khi người lái tác động lên bàn đạp phanh, lực cơ học được chuyển thành áp suất thủy lực và truyền đến các cơ cấu phanh tại bánh xe để tạo ra mô-men hãm.



Hình 2.1: Sơ đồ kết cấu của phanh thủy lực

- Quá trình làm việc của hệ thống: [8]

- Người lái tác động lực lên bàn đạp phanh, lực này được truyền tới bộ trợ lực phanh nhằm tăng cường lực điều khiển.
- Lực từ bộ trợ lực tác động lên piston trong xi lanh chính, tạo ra áp suất dầu phanh trong hệ thống dẫn động thủy lực.
- Áp suất dầu được truyền qua các đường ống dẫn đến các cùm phanh hoặc xi lanh bánh xe tại từng bánh xe.
- Dưới tác dụng của áp suất thủy lực, piston trong cơ cấu phanh dịch chuyển, ép má phanh tiếp xúc với bề mặt đĩa phanh hoặc tang trống đang quay cùng bánh xe.
- Lực ma sát sinh ra giữa má phanh và đĩa phanh tạo nên mô-men phanh ngược chiều chuyển động, làm giảm tốc độ quay của bánh xe và giảm vận tốc chuyển động của xe.
- Động năng của xe trong quá trình chuyển động được chuyển hóa thành nhiệt năng thông qua ma sát và được tản ra môi trường thông qua đĩa phanh, má phanh và không khí xung quanh.

2.1.1. Nguyên lý phân bố lực phanh giữa cầu trước và cầu sau

Khi phanh, do tác dụng của lực quán tính, tải trọng xe có xu hướng chuyển dịch từ cầu sau lên cầu trước. Hiện tượng này làm tăng tải trọng tác dụng lên cầu trước và giảm

tải trọng trên cầu sau, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng bám đường và phân bố lực phanh của xe. Lượng tải trọng chuyển dịch được xác định theo công thức: [3]

$$\Delta W = \frac{mjh}{L} \tag{2.1}$$

Tải trọng cầu trước:

$$W_f = W_{f0} + \Delta W \tag{2.2}$$

$$W_f = \frac{b}{L}mg + \frac{mjh}{L} \tag{2.3}$$

Tải trọng cầu sau:

$$W_r = W_{r0} - \Delta W \tag{2.4}$$

$$W_r = \frac{a}{L}mg - \frac{mjh}{L} \tag{2.5}$$

Theo điều kiện bám:

$$F_{pf,max} = \varphi W_f \tag{2.6}$$

Tổng lực phanh cần thiết:

$$F_p = mj \tag{2.7}$$

Lực phanh trên cầu trước:

$$F_{pf} = F_p \frac{W_f}{W_f + W_r} \tag{2.8}$$

Lực phanh trên cầu sau:

$$F_{pr} = F_p \frac{W_r}{W_f + W_r} \tag{2.9}$$

$$W_f + W_r = mg \tag{2.10}$$

$$\Rightarrow \quad F_{pf} = mj\frac{W_f}{mg} \tag{2.11}$$

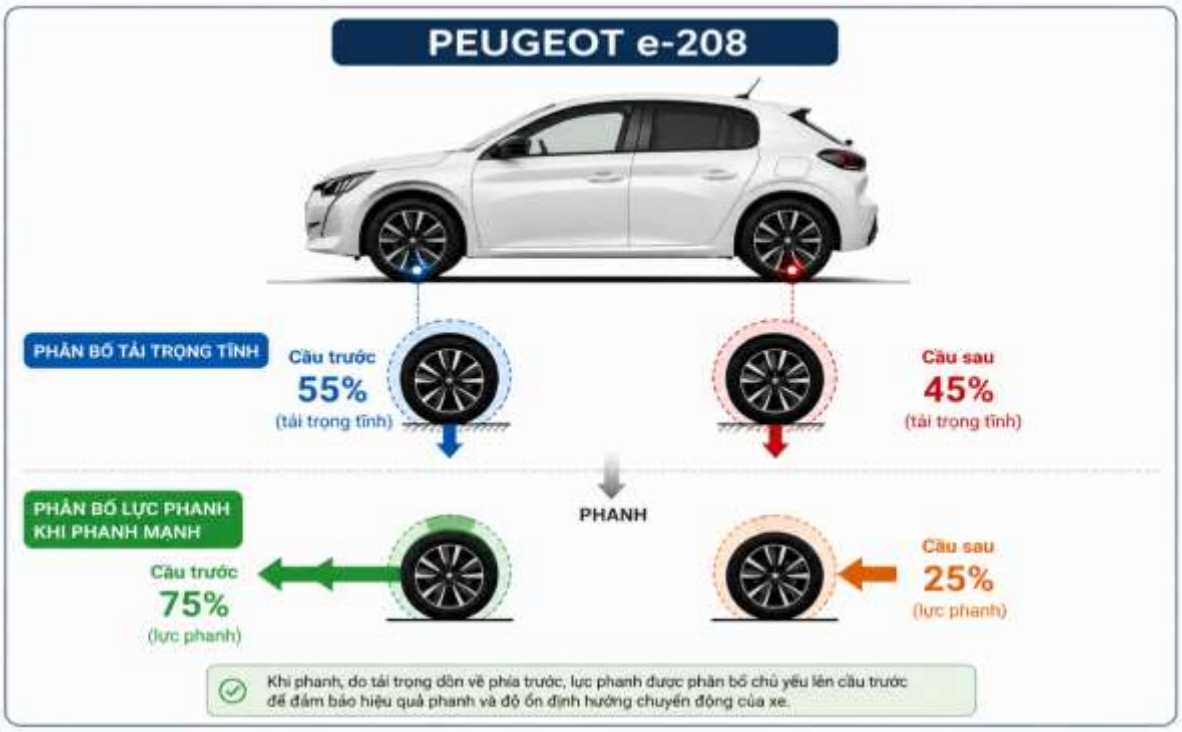
$$F_{pr} = mj\frac{W_r}{mg} \tag{2.12}$$

Từ biểu thức trên có thể nhận thấy:

- Gia tốc phanh càng lớn thì tải trọng chuyển dịch về cầu trước càng nhiều.
- Trọng tâm xe càng cao thì mức độ chuyển dịch tải trọng càng lớn.
- Chiều dài cơ sở càng ngắn thì hiện tượng chuyển dịch tải trọng càng rõ rệt.
- Tải trọng tác dụng lên cầu trước tăng lên trong khi tải trọng cầu sau giảm xuống.

Để tận dụng tối đa lực bám giữa lốp và mặt đường, lực phanh thường được phân bố lớn hơn cho cầu trước. Trên các xe du lịch hiện đại, tỷ lệ phân bố lực phanh thường nằm trong khoảng: [3]

- Cầu trước: 50 ÷ 55 % tổng lực phanh
- Cầu sau: 50 ÷ 45 % tổng lực phanh



Hinh 2.2: Tỉ lệ phân bố lực phanh trên xe Peugoet e-208 [1]

2.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất phanh

Hiệu suất của hệ thống phanh phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau. Các yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến quãng đường phanh, độ ổn định và mức độ an toàn của xe.

a) Ảnh hưởng của tải trọng xe

Khi tải trọng tăng, khối lượng toàn bộ của xe tăng lên làm động năng của xe lớn hơn. Do đó, hệ thống phanh cần tạo ra lực phanh lớn hơn để đạt được cùng mức giảm tốc.

Theo định luật II Newton, mối quan hệ giữa lực phanh và gia tốc chậm dần được xác định bởi: [1]

$$F_{ph} = m.j \tag{2.12}$$

Từ công thức trên có thể thấy rằng khi lực phanh không đổi, khối lượng xe càng lớn thì gia tốc chậm dần càng nhỏ. Điều này làm tăng thời gian phanh và quãng đường phanh của xe.

Quãng đường phanh được xác định theo biểu thức:

$$S_{ph} = \frac{V_0^2}{2j} \tag{2.13}$$

Đối với Peugeot e-208, khi xe chở đủ tải, khối lượng xe tăng lên đáng kể so với trạng thái không tải, làm quãng đường phanh tăng. Vì vậy, việc đánh giá ảnh hưởng của tải trọng đến hiệu quả phanh là một nội dung quan trọng trong quá trình mô phỏng bằng phần mềm Carsim.

b) Ảnh hưởng của hệ số bám giữa lốp và mặt đường

Hệ số bám giữa lốp và mặt đường quyết định khả năng truyền lực phanh từ bánh xe xuống mặt đường. Khi hệ số bám lớn, bánh xe có thể tạo ra lực phanh lớn mà không bị trượt. Ngược lại, khi hệ số bám giảm do mặt đường ướt, bùn đất hoặc cát sỏi, hiệu quả phanh sẽ giảm đáng kể.

Lực bám cực đại giữa bánh xe và mặt đường được xác định theo công thức: [4]

$$F_{\varphi} = \varphi Z \tag{2.14}$$

Để bánh xe không bị trượt khi phanh cần thỏa mãn điều kiện:

$$F_{ph} \leq F_{\varphi} \tag{2.15}$$

c) Ảnh hưởng của nhiệt độ phanh

Trong quá trình phanh, động năng của xe được chuyển hóa thành nhiệt năng thông qua ma sát giữa má phanh và đĩa phanh. Nhiệt lượng sinh ra càng lớn khi xe phanh ở tốc độ cao hoặc phanh liên tục trong thời gian dài.

Động năng của xe được xác định theo công thức: [4]

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{2.16}$$

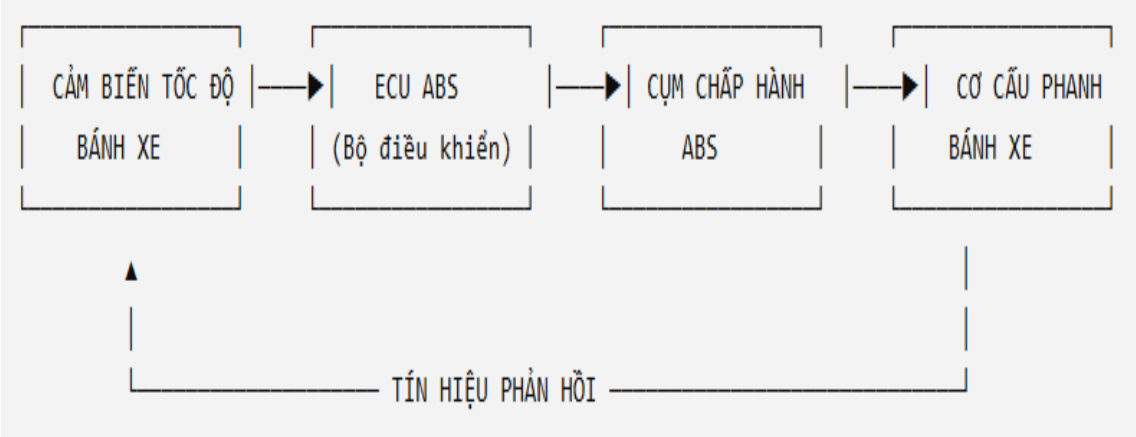
Khi nhiệt độ của đĩa phanh và má phanh tăng quá cao, hệ số ma sát giảm làm giảm lực phanh sinh ra. Hiện tượng này được gọi là suy giảm hiệu quả phanh. Khi xảy ra quãng đường phanh tăng lên và có thể ảnh hưởng đến an toàn vận hành của xe.

Hệ thống phanh đĩa thông gió ở cầu trước kết hợp với phanh tái sinh giúp giảm tải cho phanh ma sát, góp phần hạn chế sự gia tăng nhiệt độ và nâng cao hiệu quả phanh trong quá trình vận hành.

2.2. Hệ thống phanh chống trượt bánh (ABS)

2.2.1. Hệ thống phanh chống bó cứng bánh xe (ABS)

Chức năng chính của ABS là ngăn ngừa hiện tượng khóa cứng bánh xe khi phanh gấp hoặc phanh trên mặt đường có hệ số bám thấp. Nhờ đó, bánh xe vẫn duy trì được khả năng bám đường, giúp người lái giữ được khả năng điều khiển hướng chuyển động và nâng cao độ ổn định của xe trong quá trình phanh.



Hình 2.3: Sơ đồ hoạt động của hệ thống chống bó cứng bánh xe ABS

Trên xe Peugeot e-208, hệ thống ABS được trang bị tiêu chuẩn và hoạt động đồng thời với các hệ thống an toàn điện tử khác như EBD và ESC. Sự kết hợp này giúp nâng cao hiệu quả phanh và đảm bảo an toàn cho xe trong nhiều điều kiện vận hành khác nhau.

2.2.2. Nguyên lý hoạt động của ABS

Trong quá trình phanh, nếu lực phanh tác dụng lên bánh xe vượt quá khả năng bám giữa lốp và mặt đường, bánh xe sẽ bị khóa cứng và trượt trên mặt đường. Khi đó, mặc dù xe vẫn tiếp tục chuyển động nhưng bánh xe không còn quay theo tốc độ tương ứng với vận tốc xe, làm giảm khả năng điều khiển hướng và tăng nguy cơ mất ổn định.

Mức độ trượt của bánh xe được xác định bằng hệ số trượt: [5]

$$S = \left(\frac{V - r\omega}{V}\right) 100\% \qquad (2.17)$$

Xét về động lực học ô tô, lực bám giữa lốp và mặt đường đạt giá trị lớn nhất khi độ trượt nằm trong khoảng từ 10 % đến 30 %. Nếu độ trượt vượt quá giới hạn này, hệ số bám giảm nhanh làm bánh xe dễ bị khóa cứng và xe mất khả năng điều khiển. [11]

Đối với Peugeot e-208, ABS đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong các tình huống phanh khẩn cấp ở tốc độ cao hoặc trên mặt đường trơn trượt, ABS giúp hạn chế hiện tượng khóa bánh, nâng cao độ ổn định và đảm bảo an toàn chuyển động cho xe.

a) Cảm biến tốc độ bánh xe

Được lắp tại từng bánh xe nhằm giám sát liên tục trạng thái quay của bánh trong quá trình chuyển động và phanh.

- Đo tốc độ quay của từng bánh xe theo thời gian thực.
- Phát hiện sự thay đổi tốc độ bất thường của bánh xe khi phanh.
- Truyền tín hiệu tốc độ về bộ điều khiển điện tử ECU.
- Cung cấp dữ liệu phục vụ quá trình tính toán độ trượt bánh xe.
- Hỗ trợ ABS nhận biết nguy cơ khóa cứng bánh xe.

Trên xe Peugeot e-208, cảm biến tốc độ bánh xe làm việc liên tục trong mọi chế độ vận hành. Tín hiệu từ cảm biến là cơ sở để ECU đánh giá tình trạng bám đường của từng bánh xe và đưa ra các chiến lược điều khiển phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả phanh và đảm bảo tính ổn định của xe.

b) Bộ điều khiển điện tử ECU

ECU có nhiệm vụ tiếp nhận, xử lý tín hiệu và đưa ra lệnh điều khiển đối với bộ chấp hành thủy lực.

- Tiếp nhận tín hiệu từ các cảm biến tốc độ bánh xe.
- Tính toán độ trượt và gia tốc bánh xe.
- Phân tích tình trạng bám đường của từng bánh xe.
- Phát hiện nguy cơ bó cứng bánh xe khi phanh.
- Gửi tín hiệu điều khiển đến bộ chấp hành ABS.
- Phối hợp với các hệ thống EBD và ESC nhằm nâng cao hiệu quả điều khiển.

Trên xe Peugeot e-208 ECU có khả năng xử lý dữ liệu với tốc độ rất cao, cho phép hệ thống phản ứng gần như tức thời trước những thay đổi của điều kiện mặt đường, góp phần nâng cao độ an toàn và khả năng điều khiển của xe.

c) Bộ chấp hành thủy lực

Bộ chấp hành thủy lực là cơ cấu thực hiện trực tiếp các lệnh điều khiển từ ECU nhằm điều chỉnh áp suất dầu phanh tại từng bánh xe.

- Điều chỉnh áp suất dầu phanh theo lệnh từ ECU.
- Thực hiện chế độ tăng áp suất phanh.
- Thực hiện chế độ giữ áp suất phanh.
- Thực hiện chế độ giảm áp suất phanh.
- Ngăn ngừa hiện tượng khóa cứng bánh xe.
- Duy trì khả năng bám đường và ổn định chuyển động của xe.

Bộ chấp hành thủy lực trên Peugeot e-208 bao gồm các van điện từ và bơm thủy lực được điều khiển điện tử. Trong quá trình phanh, bộ phận này liên tục điều chỉnh áp suất dầu với tần số cao, giúp bánh xe luôn duy trì trạng thái lăn tối ưu, từ đó nâng cao hiệu quả phanh và khả năng điều khiển hướng của xe.

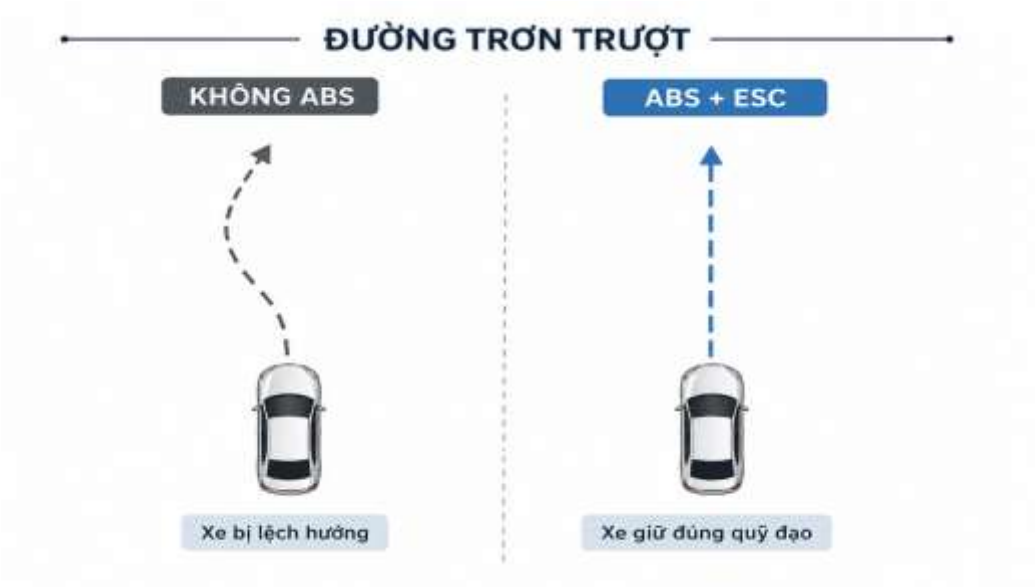
2.2.3. Lợi ích của hệ thống ABS.

a) Duy trì khả năng điều khiển hướng khi phanh gấp

Trong quá trình phanh khẩn cấp, hiện tượng khóa cứng bánh xe có thể làm mất khả năng điều khiển hướng chuyển động của xe. Hệ thống ABS giúp duy trì trạng thái lăn của bánh xe bằng cách điều chỉnh áp suất phanh liên tục, từ đó bảo đảm khả năng đánh lái và tránh chướng ngại vật khi đang phanh.

- Ngăn ngừa hiện tượng khóa cứng bánh xe.

- Duy trì lực bám giữa lốp và mặt đường.
- Giúp người lái vẫn có thể điều khiển vô lăng khi phanh.
- Hỗ trợ tránh chướng ngại vật trong các tình huống khẩn cấp.

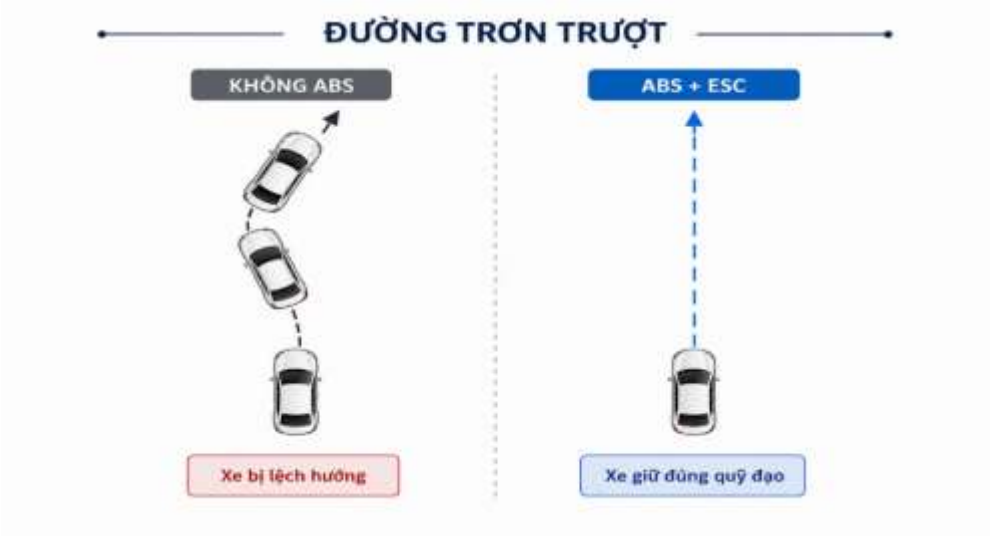


Hình 2.4: So sánh khả năng điều khiển hướng của xe

b) Nâng cao độ ổn định chuyển động của xe

Khi phanh trên mặt đường có hệ số bám thấp hoặc khi lực phanh phân bố không đồng đều giữa các bánh xe, xe có thể xuất hiện hiện tượng lệch hướng hoặc mất ổn định. ABS giúp kiểm soát độ trượt của từng bánh xe, góp phần duy trì quỹ đạo chuyển động ổn định Hạn chế hiện tượng văng đuôi và lệch hướng.

- Duy trì quỹ đạo chuyển động của xe.
- Nâng cao độ ổn định khi phanh trên đường trơn trượt.
- Hỗ trợ kiểm soát xe khi phanh trên đường cong.
- Phối hợp hiệu quả với hệ thống EBD và ESC.



Hình 2.5: ABS trong việc nâng cao an toàn chuyển động của ô tô

c) Cải thiện hiệu quả phanh trên mặt đường có hệ số bám thấp

Hiệu quả phanh phụ thuộc rất lớn vào khả năng bám giữa lốp xe và mặt đường.

Lực bám cực đại được xác định theo công thức: [6]

$$F_{\varphi} = \varphi Z \quad (2.18)$$

Khi xe di chuyển trên mặt đường ướt hoặc trơn trượt, hệ số bám giảm đáng kể, làm tăng nguy cơ khóa bánh xe khi phanh. ABS giúp duy trì độ trượt trong khoảng tối ưu từ 10 % đến 20 %, nhờ đó tận dụng tối đa khả năng bám của lốp và nâng cao hiệu quả giảm tốc. ABS giúp rút ngắn quãng đường phanh trên mặt đường có độ bám thấp và giảm nguy cơ mất kiểm soát phương tiện.

d) Giảm mài mòn lốp và nâng cao tuổi thọ hệ thống phanh

Hệ thống ABS giúp duy trì bánh xe ở trạng thái lăn có kiểm soát, hạn chế hiện tượng trượt hoàn toàn trên mặt đường. Nhờ đó, mức độ mài mòn của lốp được giảm đáng kể, đồng thời các chi tiết trong cơ cấu phanh làm việc ổn định hơn.



Hình 2.6: Ảnh hưởng của hệ thống ABS đến mức độ mài mòn lốp xe

Đối với Peugeot e-208, ABS còn phối hợp với hệ thống phanh tái sinh năng lượng, giúp giảm tần suất làm việc của phanh ma sát, từ đó nâng cao tuổi thọ của má phanh và đĩa phanh trong quá trình khai thác.

e) Nâng cao an toàn vận hành

Trên Peugeot e-208, ABS hoạt động đồng thời với EBD và ESC tạo thành một hệ thống điều khiển tổng thể. Sự phối hợp giữa các hệ thống này giúp tối ưu lực phanh, duy trì độ ổn định của xe và giảm nguy cơ mất lái khi vận hành.

- Giảm nguy cơ khóa cứng bánh xe.
- Hạn chế hiện tượng mất lái khi phanh gấp.

- Duy trì khả năng điều khiển hướng.
- Nâng cao độ ổn định chuyển động.
- Giảm nguy cơ tai nạn giao thông.
- Tăng mức độ an toàn cho người và phương tiện.



Hình 2.7: Sơ đồ điều khiển của hệ thống chống bó cứng bánh xe ABS.

2.3. Công cụ mô phỏng động lực học ô tô Carsim

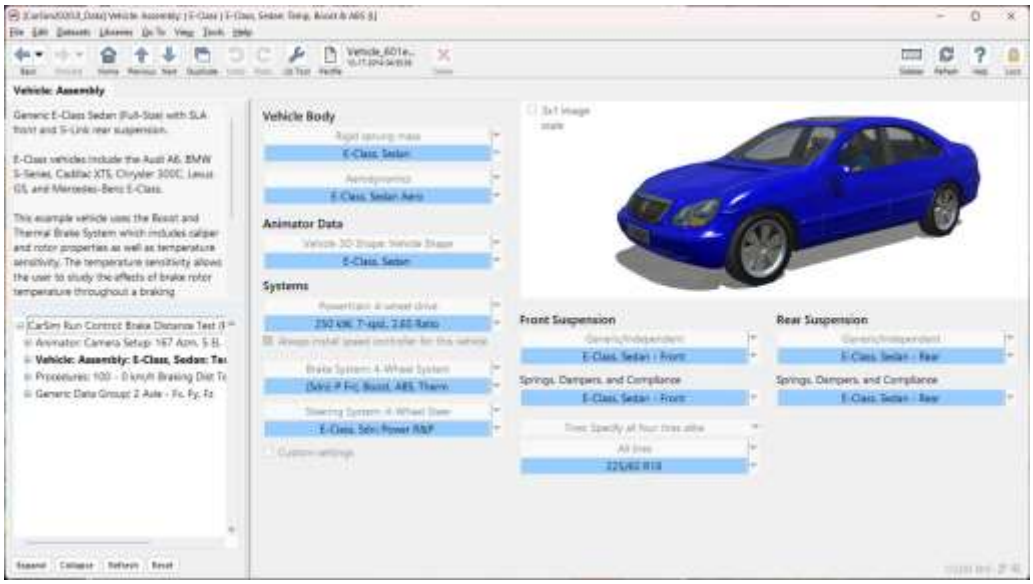
2.3.1. Giới thiệu về phần mềm Carsim

Carsim là phần mềm mô phỏng động lực học ô tô chuyên dụng do MSC phát triển, được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu, thiết kế và đánh giá đặc tính vận hành của các loại xe hiện đại. Phần mềm cho phép xây dựng mô hình xe dựa trên các thông số kỹ thuật thực tế, từ đó mô phỏng chính xác các trạng thái chuyển động trong nhiều điều kiện khai thác khác nhau.

Một số đặc điểm nổi bật của Carsim: [3]

- Xây dựng mô hình xe từ các thông số kỹ thuật thực tế.
- Mô phỏng quá trình tăng tốc, giảm tốc, phanh và quay vòng.
- Tính toán sự thay đổi tải trọng tác dụng lên từng bánh xe.
- Hỗ trợ nghiên cứu các hệ thống điều khiển như ABS, EBD và ESC.
- Cung cấp kết quả mô phỏng trực quan với độ tin cậy cao.

Ngoài khả năng mô phỏng động lực học cơ bản, Carsim còn tích hợp nhiều mô hình điều khiển phục vụ nghiên cứu các hệ thống an toàn chủ động như ABS, EBD và ESC. Nhờ đó người nghiên cứu có thể đánh giá ảnh hưởng của các hệ thống điều khiển điện tử đến hiệu quả phanh và độ ổn định chuyển động của xe.



Hình 2.8: Giao diện chính phần mềm Carsim 2017.1

Trong đề tài này, Carsim được sử dụng để xây dựng mô hình động lực học của xe Peugeot e-208 và thực hiện các bài thử phanh trong nhiều điều kiện khác nhau nhằm đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống phanh.

2.3.2. Các tính năng hỗ trợ nghiên cứu hệ thống phanh

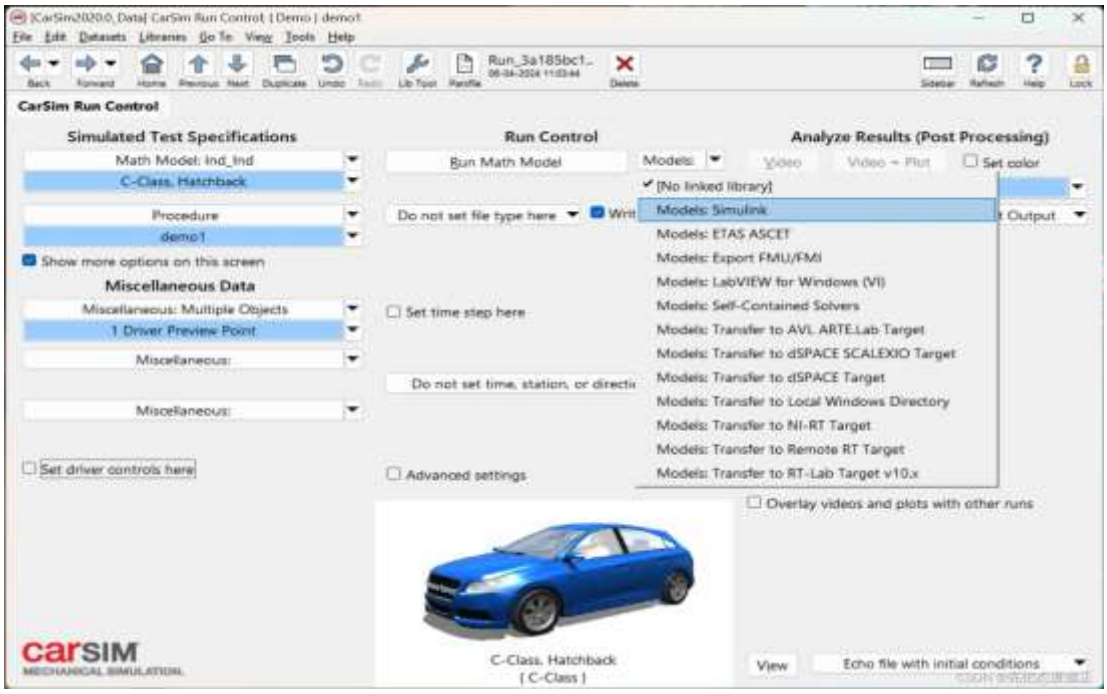
Carsim cung cấp các mô hình tính toán phục vụ nghiên cứu hệ thống phanh, giúp mô phỏng quá trình giảm tốc của xe và sự thay đổi trạng thái làm việc của từng bánh xe trong quá trình phanh. Nhờ đó, người nghiên cứu có thể đánh giá ảnh hưởng của các thông số vận hành đến hiệu quả phanh và độ ổn định chuyển động của xe.

Các nội dung có thể khảo sát trên Carsim:

- Hoạt động của hệ thống phanh thủy lực.
- Quá trình điều khiển của hệ thống ABS.
- Sự phối hợp giữa ABS và ESC.
- Phân bố lực phanh giữa các cầu xe.
- Hiện tượng trượt hoặc khóa cứng bánh xe khi phanh.

Các thông số khảo sát chính:

- Tốc độ ban đầu của xe.
- Hệ số bám giữa lốp và mặt đường.
- Điều kiện tải trọng của xe.
- Áp suất phanh tác dụng lên bánh xe.
- Đặc tính lốp và mặt đường.



Hình 2.9: Các tính năng hỗ trợ nghiên cứu hệ thống phanh

Kết quả mô phỏng được thể hiện dưới dạng đồ thị và bảng số liệu, cho phép theo dõi chi tiết các thông số động lực học trong quá trình phanh.

Các đại lượng phân tích gồm:

- Vận tốc xe.
- Gia tốc chậm dần.
- Quãng đường phanh.
- Độ trượt bánh xe.
- Tải trọng động trên các bánh xe.
- Độ ổn định chuyển động của xe.

Nhờ khả năng mô phỏng nhiều loại mặt đường và điều kiện vận hành khác nhau, Carsim là công cụ hữu hiệu để đánh giá hiệu quả của hệ thống ABS, ESC cũng như nghiên cứu đặc tính phanh của xe Peugeot e-208 trong các tình huống khai thác thực tế.

2.3.3. Cách thiết lập mô hình xe và kịch bản phanh trên Carsim

Để thực hiện mô phỏng hệ thống phanh trên xe Peugeot e-208 trong Carsim, mô hình được thiết lập theo một quy trình gồm nhiều bước nhằm đảm bảo độ chính xác của kết quả mô phỏng và phản ánh sát điều kiện vận hành thực tế của xe.

Bước 1: Khai báo mô hình xe

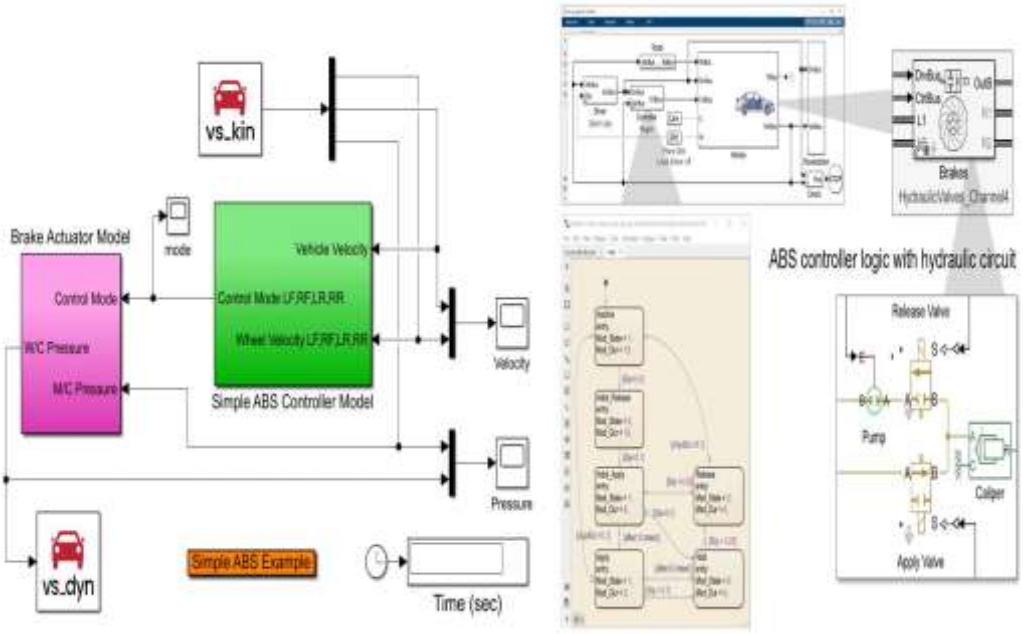
Trước tiên, mô hình xe được xây dựng trong Carsim dựa trên các thông số kỹ thuật cơ bản của Peugeot e-208. Các thông số này bao gồm khối lượng toàn bộ xe, phân bố tải trọng giữa cầu trước và cầu sau, các kích thước hình học như chiều dài cơ sở, chiều cao trọng tâm, cũng như đặc tính của hệ thống treo và lốp xe.

Các thông số trên đóng vai trò quan trọng trong việc xác định chính xác đặc tính động lực học của xe, đặc biệt trong quá trình phanh, khi tải trọng có sự dịch chuyển đáng kể giữa các cầu.

Bước 2: Thiết lập hệ thống phanh

Sau khi xây dựng mô hình xe, hệ thống phanh được thiết lập với các thông số đặc trưng như mô men phanh, phân bố lực phanh giữa cầu trước và cầu sau, áp suất dầu phanh, cũng như đặc tính làm việc của hệ thống ABS và ESC.

Trong quá trình mô phỏng, có thể lựa chọn các trạng thái hoạt động khác nhau của hệ thống như có ABS hoặc không có ABS. Việc này nhằm phục vụ mục đích so sánh và đánh giá hiệu quả hoạt động của hệ thống chống bó cứng bánh xe trong các điều kiện vận hành khác nhau.



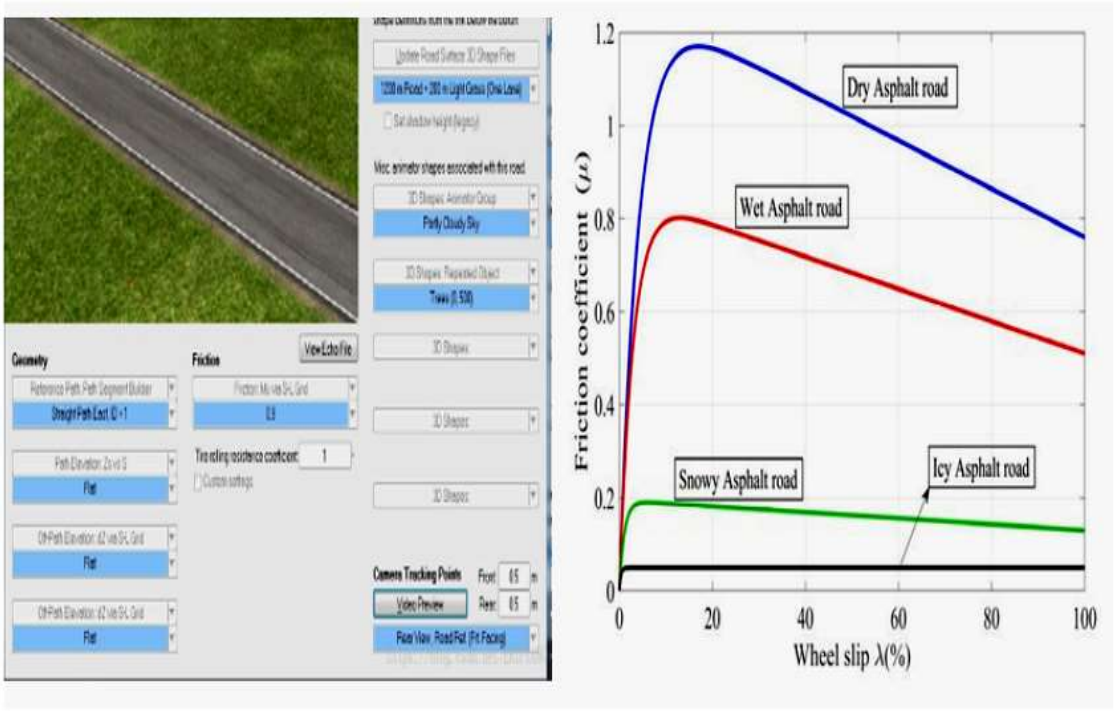
Hình 2.10 Thiết lập hệ thống phanh (ABS/ESC)

Bước 3: Thiết lập điều kiện mặt đường

- Trong mô phỏng, các điều kiện mặt đường thường được thiết lập như sau:

- Đường khô: $\mu = 0.8 \div 0.9$
- Đường ướt: $\mu = 0.4 \div 0.6$
- Đường trơn trượt: $\mu < 0.3$

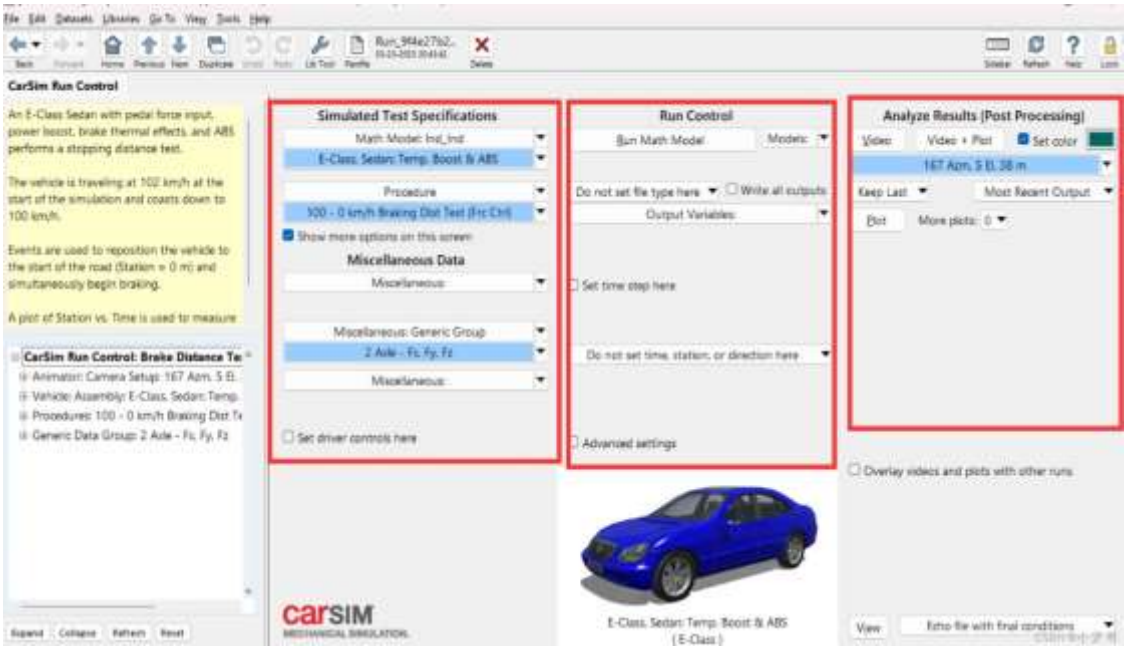
Việc thay đổi hệ số bám giúp đánh giá ảnh hưởng của điều kiện môi trường đến hiệu quả phanh và tính ổn định của xe.



Hình 2.11: Thiết lập điều kiện mặt đường (hệ số bám μ)

Bước 4: Thiết lập kịch bản mô phỏng phanh

Một số kịch bản tiêu biểu bao gồm phanh khẩn cấp từ tốc độ cao (ví dụ 80 km/h), phanh khi xe đang vào cua, phanh trên mặt đường có hệ số bám thay đổi hoặc không đồng nhất, và phanh trong trường hợp thay đổi tải trọng.

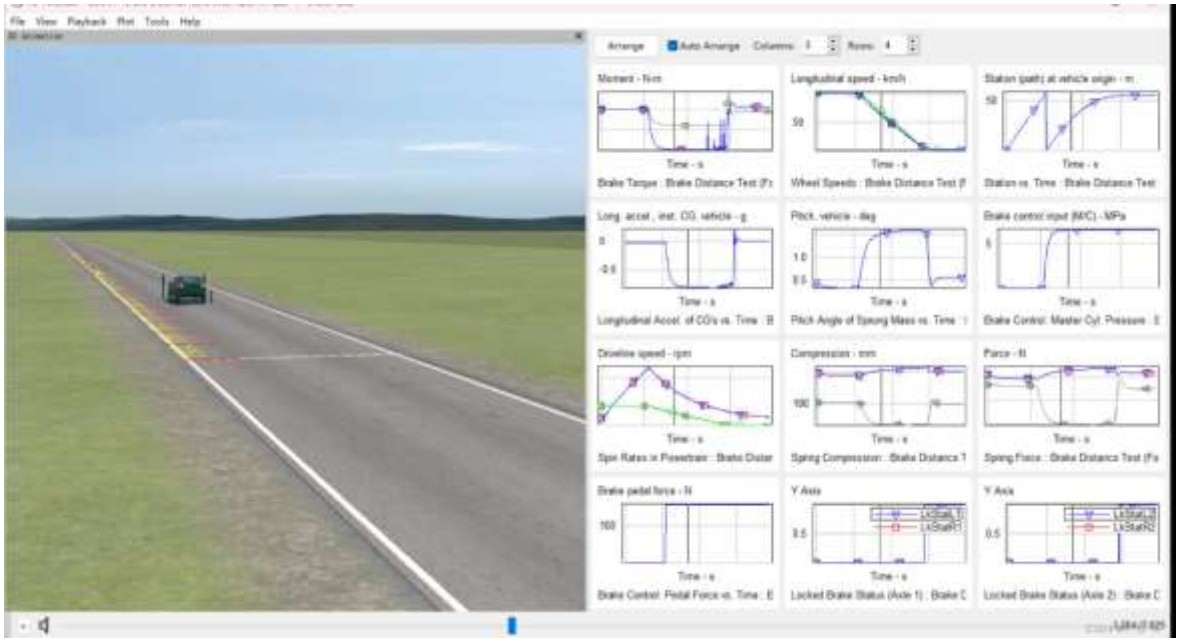


Hình 2.12: Thiết lập kịch bản mô phỏng phanh

Thông qua các kịch bản thiết lập, có thể đánh giá toàn diện các chỉ tiêu quan trọng như khả năng giảm tốc của xe, quãng đường phanh, độ ổn định thân xe, cũng như hiệu quả hoạt động của các hệ thống hỗ trợ như ABS và ESC.

Bước 5: Thu thập và phân tích kết quả

Sau khi tiến hành mô phỏng, các kết quả bao gồm đồ thị vận tốc theo thời gian, gia tốc chậm dần, độ trượt bánh xe, góc quay thân xe (yaw angle), cũng như quỹ đạo chuyển động của xe trong quá trình phanh.



Hình 2.13: Kết quả mô phỏng (đồ thị Carsim)

Chương 3: PHÂN TÍCH HỆ THỐNG PHANH PEUGEOT E-208

3.1. Thông số kỹ thuật cơ bản của xe

Peugeot e-208 là mẫu xe hatchback thuộc phân khúc B của Peugeot, được phát triển theo xu hướng đô thị hiện đại với khả năng vận hành linh hoạt và tích hợp nhiều công nghệ an toàn tiên tiến.

Các thông số kỹ thuật cơ bản của xe ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính phanh và khả năng ổn định khi vận hành. [7]

Bảng 3.1: Thông số cơ bản xe Peugoet e-208

STT	Thông số	Giá trị
1	Khối lượng xe	1500 kg
2	Chiều dài cơ sở	2540 mm
3	Chiều rộng vệt bánh trước	1500 mm
4	Chiều rộng vệt bánh sau	1500 mm
5	Công suất động cơ	100 kW
6	Mô-men xoắn cực đại	260 Nm
7	Bán kính lốp	0.31 m
8	Tốc độ cực đại	150 km/h

3.1.1. Khối lượng xe và phân bố tải trọng

Đối với Peugeot e-208, khối lượng toàn xe được lựa chọn trong mô hình là 1500 kg. Tải trọng được phân bố tương đối đồng đều giữa cầu trước và cầu sau, với tỷ lệ xấp xỉ 55% trên cầu trước và 45% trên cầu sau. [8]

Bảng 3.2: Khối lượng phân bố tải trọng của Peugeot e-208

Thông số	Giá trị
Khối lượng toàn xe	1500 kg
Tỷ lệ tải trọng cầu trước	55 %
Tỷ lệ tải trọng cầu sau	45 %
Tải trọng cầu trước	825 kg
Tải trọng cầu sau	675 kg

Ảnh hưởng đến đặc tính phanh của xe:

- Tăng khả năng bám đường của bánh trước khi phanh.
- Giảm hiện tượng chúi đầu xe khi giảm tốc mạnh.
- Nâng cao độ ổn định hướng chuyển động.

- Hạn chế nguy cơ khóa bánh xe và mất lái.
- Tạo điều kiện thuận lợi cho hệ thống ABS và ESC hoạt động hiệu quả.

Nhờ trọng tâm thấp và sự phân bố tải trọng tương đối cân bằng, Peugeot e-208 có khả năng duy trì độ ổn định tốt trong các tình huống phanh khẩn cấp, góp phần nâng cao độ an toàn và khả năng kiểm soát xe trong quá trình vận hành.

3.1.2. Đặc tính lốp xe

Đặc tính của lốp có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả làm việc của hệ thống phanh cũng như khả năng khai thác lực bám trong các điều kiện vận hành khác nhau.

Trên Peugeot e-208, một trong những cỡ lốp được sử dụng phổ biến là 195/55 R16, đáp ứng tốt yêu cầu về độ bám đường, tính ổn định và khả năng vận hành của xe.

Thông số cơ bản của lốp:

- Chiều rộng lốp: 195 mm.
- Tỷ số chiều cao thành lốp: 55%.
- Đường kính vành: 16 inch.
- Bán kính lăn động học: 0,31 m.

Bảng 3.3: Khối lượng phân bố tải trọng của Peugeot e-208

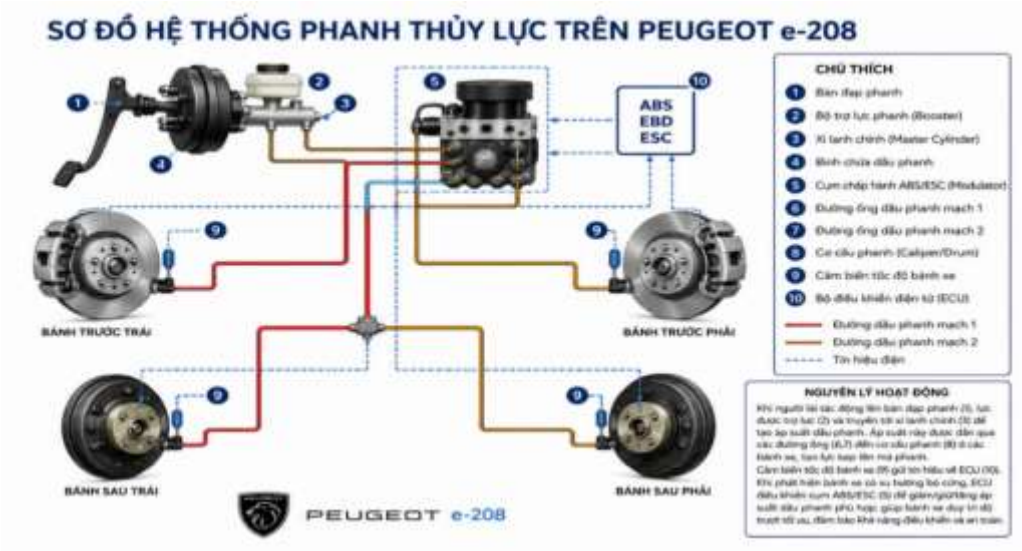
Điều kiện mặt đường	**Hệ số bám**
Nhựa khô, bê tông khô	0,7 ÷ 0,9
Nhựa ướt	0,4 ÷ 0,6
Đường trơn trượt, bùn đất	< 0,3



Hình 3.1: Vùng độ trượt tối ưu của hệ thống ABS trên Peugeot e-208

3.1.3. Hệ thống phanh thủy lực trên xe Peugeot e-208

Hệ thống phanh thủy lực trên xe Peugeot e-208 được thiết kế nhằm đảm bảo khả năng giảm tốc, dừng xe an toàn và duy trì tính ổn định chuyển động trong các điều kiện vận hành khác nhau.

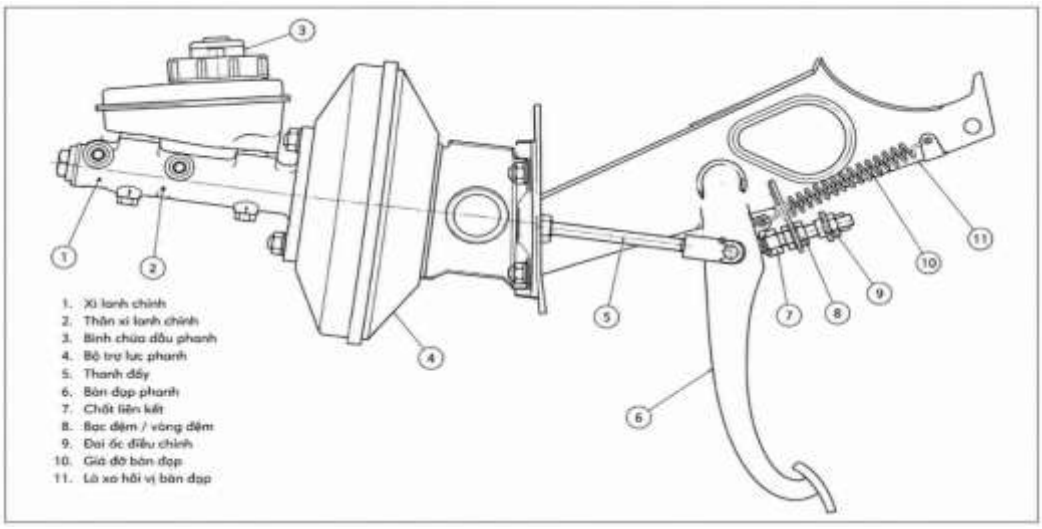


Hình 3.2: Cơ cấu hệ thống phanh thủy lực trên xe Peugoet e-208

Cấu tạo của hệ thống phanh thủy lực trên xe Peugeot e-208 (hình 3.3) gồm nhiều cụm chi tiết khác nhau, các bộ phận chính bao gồm bàn đạp phanh, bộ trợ lực phanh, xi lanh chính, bình chứa dầu phanh, cụm điều khiển ABS/ESC, hệ thống đường ống dẫn dầu, cơ cấu phanh tại các bánh xe và các cảm biến phục vụ điều khiển điện tử.

a) Bàn đạp phanh

Đối với Peugeot e-208, hệ thống phanh được tích hợp với các hệ thống điều khiển điện tử như ABS, EBD và ESC. Do đó, tín hiệu từ bàn đạp phanh không chỉ tạo ra áp suất phanh mà còn được sử dụng làm tín hiệu đầu vào cho các bộ điều khiển điện tử nhằm tối ưu hóa lực phanh tại từng bánh xe.



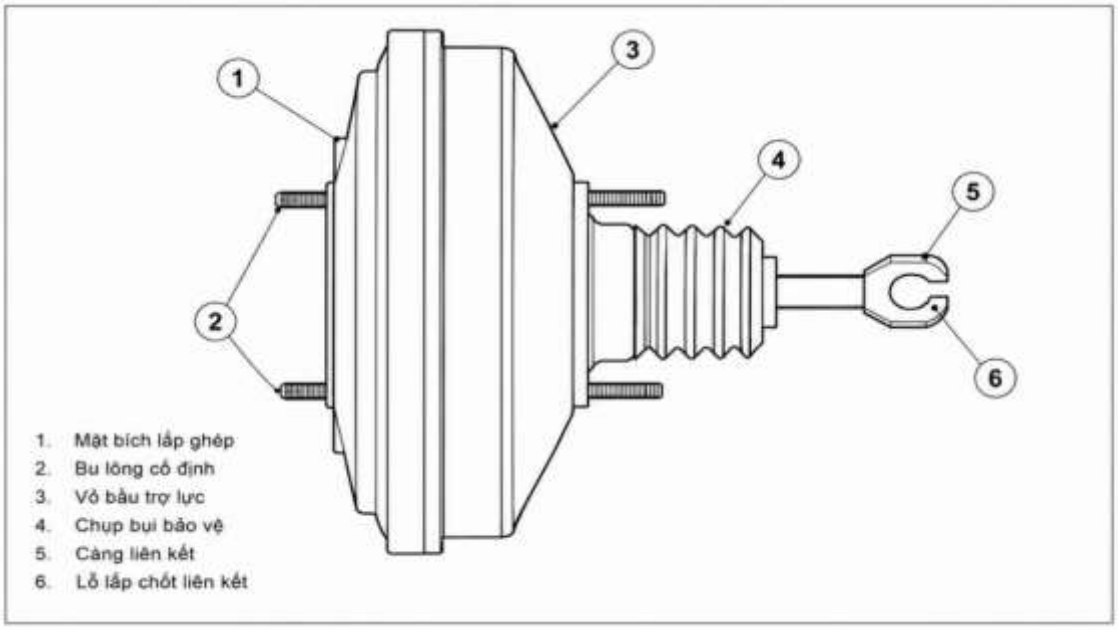
Hình 3.3: Sơ đồ bàn đạp phanh sử dụng trên xe Peugoet e-208

Bàn đạp phanh trên Peugeot e-208 thực hiện các chức năng chính:

- Tiếp nhận lực tác động từ người lái và chuyển thành tín hiệu điều khiển hệ thống phanh.
- Truyền lực đến bộ trợ lực phanh và xi lanh chính để tạo áp suất dầu phanh.
- Điều khiển mức độ giảm tốc của xe theo yêu cầu vận hành.
- Cung cấp tín hiệu cho các hệ thống ABS, EBD và ESC trong quá trình điều khiển lực phanh.
- Đảm bảo khả năng phản hồi nhanh, chính xác và ổn định trong mọi điều kiện khai thác.

b) Bầu trợ lực phanh

Trên xe Peugeot e-208, bộ trợ lực phanh được lắp đồng bộ với bàn đạp phanh và xi lanh chính, tạo thành cụm truyền lực quan trọng của hệ thống phanh thủy lực. Khi người lái tác động lên bàn đạp phanh, lực điều khiển được bộ trợ lực khuếch đại trước khi truyền đến xi lanh chính để tạo áp suất dầu trong mạch phanh. Nhờ đó, xe đạt được hiệu quả hãm cao hơn với lực đạp nhỏ hơn, đồng thời cải thiện khả năng kiểm soát và nâng cao mức độ an toàn trong quá trình khai thác.



Hình 3.4: Sơ đồ bầu trợ lực sử dụng trên xe Peugoet e-208

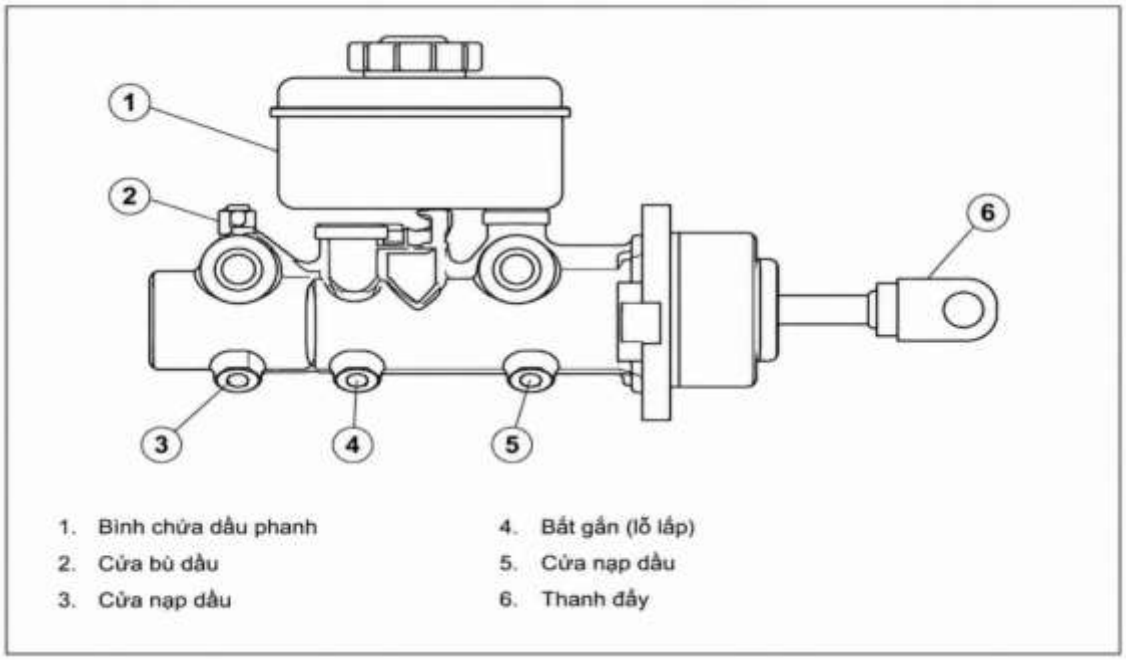
Bầu trợ lực trên Peugeot e-208 thực hiện các chức năng chính:

- Tiếp nhận lực tác động từ bàn đạp phanh và khuếch đại lực trước khi truyền đến xi lanh chính.
- Giảm lực đạp phanh cần thiết của người lái, nâng cao sự thoải mái khi điều khiển xe.
- Hỗ trợ tạo áp suất dầu phanh lớn trong hệ thống dẫn động thủy lực.

- Tăng độ nhạy và khả năng đáp ứng của hệ thống phanh trong các tình huống giảm tốc hoặc phanh khẩn cấp.
- Góp phần nâng cao hiệu quả phanh và đảm bảo ổn định chuyển động của xe.

c) Xi lanh chính

Trên xe Peugeot e-208, xi lanh chính được lắp liền với bộ trợ lực phanh tạo thành một cụm dẫn động hoàn chỉnh. Khi người lái tác động lên bàn đạp phanh, lực điều khiển sau khi được bộ trợ lực khuếch đại sẽ tác dụng lên các piston bên trong xi lanh chính để tạo áp suất dầu trong hệ thống.



Hình 3.5: Sơ đồ xi lanh chính sử dụng trên xe Peugoet e-208

Các chức năng chính.

- Chuyển đổi lực đạp phanh thành áp suất dầu phanh.
- Cung cấp áp suất thủy lực cho toàn bộ hệ thống phanh.
- Phân phối dầu phanh đến các mạch phanh trước và sau.
- Đảm bảo quá trình phanh diễn ra liên tục, ổn định và an toàn.
- Duy trì hiệu quả làm việc của hệ thống phanh trong mọi điều kiện vận hành.

d) Đường ống dẫn dầu phanh

Đường ống dẫn dầu phanh là bộ phận trung gian của hệ thống phanh thủy lực, có nhiệm vụ truyền áp suất dầu từ xi lanh chính đến các cơ cấu phanh tại bánh xe. Mặc dù không trực tiếp tạo ra lực phanh, nhưng chất lượng làm việc của hệ thống đường ống ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả và độ an toàn của quá trình phanh.

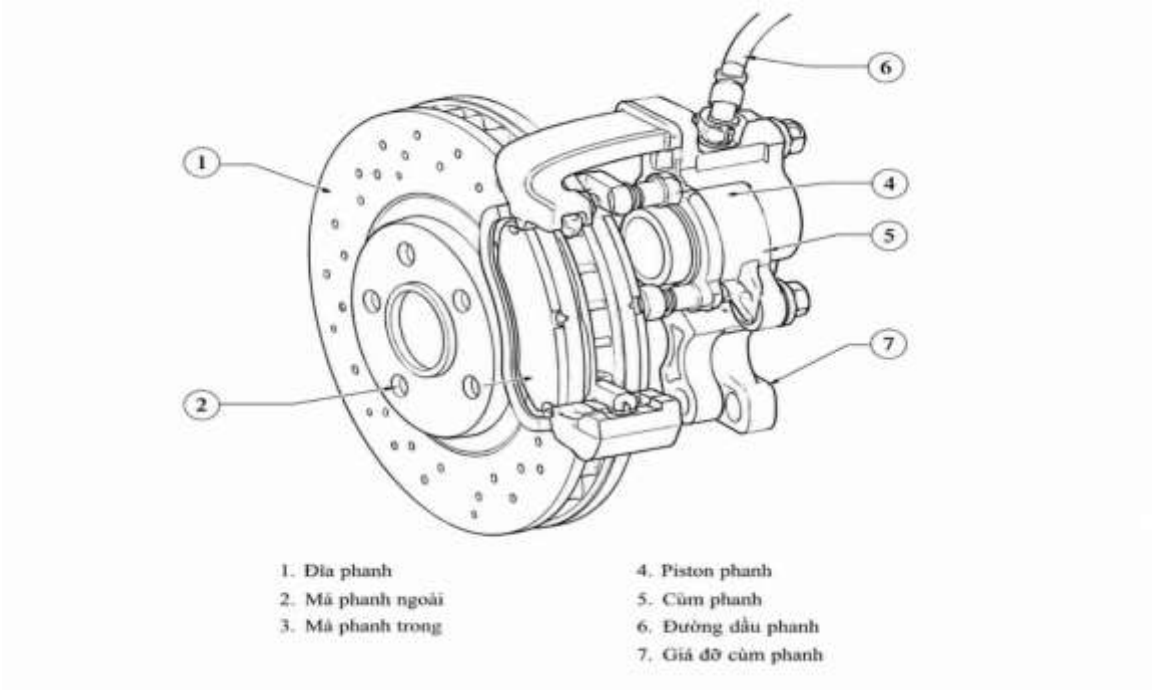
- Truyền áp suất dầu phanh từ xi lanh chính đến các cơ cấu phanh.
- Đảm bảo quá trình truyền áp suất diễn ra nhanh chóng và chính xác.
- Duy trì độ kín khít của hệ thống thủy lực.

- Chịu được áp suất làm việc cao và các điều kiện môi trường khắc nghiệt.
- Góp phần bảo đảm hiệu quả và độ tin cậy của hệ thống phanh.

Hệ thống đường ống dẫn dầu trên Peugoet e-208 gồm các đoạn ống thép cứng kết hợp với ống mềm thủy lực được bố trí đến từng bánh xe. Các đường ống được chế tạo từ vật liệu có độ bền cao, khả năng chống ăn mòn và chịu áp suất lớn nhằm bảo đảm quá trình truyền áp suất dầu ổn định. Đồng thời, hệ thống phải duy trì độ kín tuyệt đối để tránh hiện tượng rò rỉ dầu hoặc lọt khí vào mạch thủy lực, qua đó bảo đảm hiệu quả phanh và an toàn khi vận hành xe.

e) Cơ cấu phanh bánh xe

Cơ cấu phanh bánh xe là bộ phận trực tiếp tạo ra lực phanh, có nhiệm vụ biến đổi động năng của xe thành nhiệt năng thông qua quá trình ma sát giữa má phanh và đĩa phanh. Đây là bộ phận cuối cùng trong chuỗi truyền lực của hệ thống phanh và quyết định trực tiếp đến hiệu quả hãm xe.



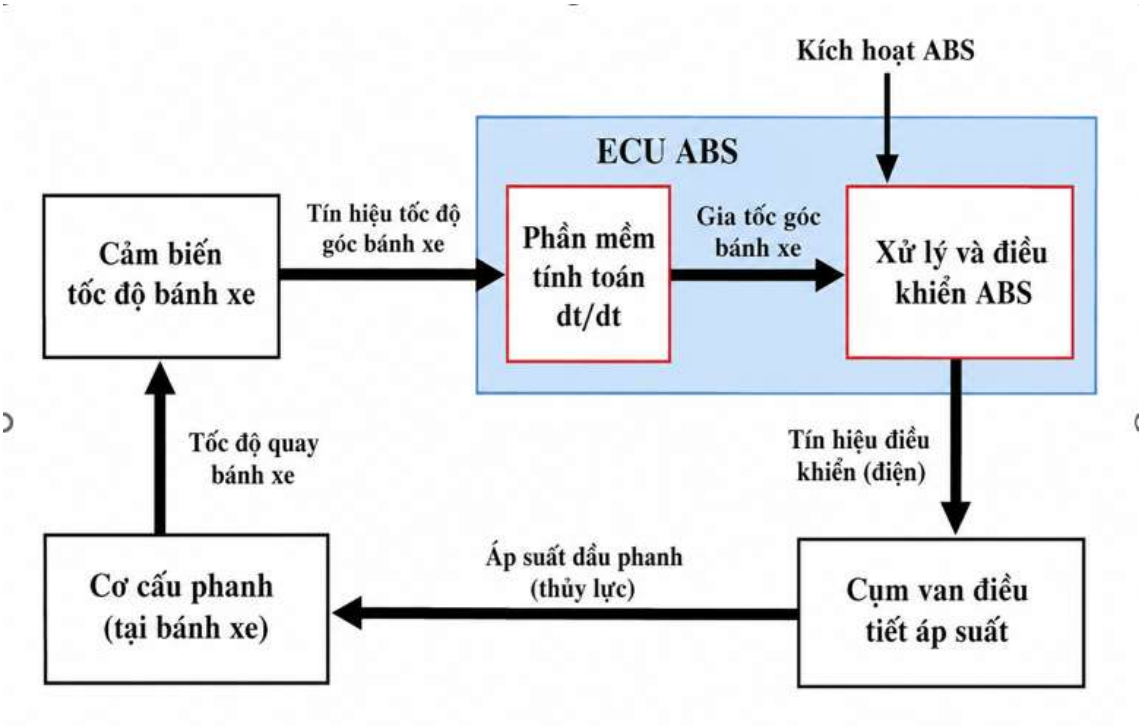
Hình 3.6: Sơ đồ cơ cấu phanh sử dụng trên xe Peugoet e-208

Trên xe Peugeot e-208, cầu trước được trang bị cơ cấu phanh đĩa thông gió nhằm tăng khả năng tản nhiệt và nâng cao hiệu quả phanh. Một số phiên bản còn được trang bị phanh đĩa ở cầu sau để cải thiện khả năng hãm và tăng tính ổn định với các chức năng:

- Tạo mô-men phanh để giảm tốc độ hoặc dừng xe.
- Chuyển hóa động năng của xe thành nhiệt năng thông qua ma sát.
- Đảm bảo khả năng phanh ổn định và an toàn trong quá trình vận hành.
- Duy trì hiệu quả phanh trong các điều kiện khai thác khác nhau.
- Góp phần nâng cao khả năng điều khiển và ổn định chuyển động của xe.

f) Cảm biến tốc độ bánh xe và bộ điều khiển điện tử ECU

Cảm biến tốc độ bánh xe và bộ điều khiển điện tử ECU là các bộ phận quan trọng trong hệ thống chống bó cứng phanh ABS. Hai bộ phận này có nhiệm vụ giám sát trạng thái chuyển động của bánh xe, xử lý thông tin và đưa ra các tín hiệu điều khiển nhằm duy trì khả năng bám đường và ổn định chuyển động của xe trong quá trình phanh.



Hình 3.7: Sơ đồ hệ thống ECU sử dụng trên xe Peugoet e-208

- Theo dõi liên tục tốc độ quay của từng bánh xe.
- Thu thập và truyền tín hiệu về bộ điều khiển điện tử ECU.
- Phân tích trạng thái làm việc của các bánh xe trong quá trình phanh.
- Phát hiện nguy cơ bó cứng bánh xe khi phanh gấp.
- Điều khiển hệ thống ABS thực hiện các chế độ tăng áp, giữ áp và giảm áp suất dầu phanh.
- Nâng cao khả năng điều khiển và ổn định chuyển động của xe.

Trên xe Peugeot e-208, cảm biến tốc độ được bố trí tại từng bánh xe và liên tục gửi tín hiệu về bộ điều khiển điện tử ECU. Dựa trên các tín hiệu thu nhận được, ECU tiến hành xử lý và đánh giá tình trạng bám đường của từng bánh xe. Khi phát hiện bánh xe có xu hướng bị khóa cứng, ECU sẽ điều khiển cụm chấp hành ABS điều chỉnh áp suất dầu phanh một cách phù hợp.

3.2. Tính toán tham số cốt lõi của hệ thống phanh

Trong phạm vi đồ án, các thông số của xe Peugeot e-208 được lựa chọn dựa trên tài liệu kỹ thuật công khai của nhà sản xuất kết hợp với các giả thiết tiêu chuẩn trong lĩnh vực động lực học ô tô. (bảng 3.1)

Trọng lượng toàn bộ của xe được xác định theo công thức: [7]

$$G = m \cdot g \tag{3.1}$$

Thay số vào công thức ta có:

$$G = 1500 \times 9.81 = 14715\ N \tag{3.2}$$

Phản lực tĩnh tác dụng lên từng cầu xe

Trong điều kiện tĩnh, phản lực pháp tuyến tại mỗi cầu được xác định theo tỷ lệ phân bố tải trọng:

$$W_f = \beta_f \cdot G \tag{3.3}$$

$$W_r = \beta_r \cdot G \tag{3.4}$$

$$B_f = 0.55, \beta_r = 0.45$$

Ta có:

$$W_f = 0.55 \times 14715 = 8093.25\ N \tag{3.5}$$

$$W_r = 0.45 \times 14715 = 6621.75\ N \tag{3.6}$$

Điều kiện cân bằng tĩnh của xe yêu cầu:

$$W_f + W_r = G \tag{3.7}$$

Thay số:

$$8093.25 + 6621.75 = 14715\ N \tag{3.8}$$

Điều này thỏa mãn điều kiện cân bằng lực theo phương thẳng đứng.

Trong mô hình mô phỏng động lực học, tải trọng thường được chuẩn hóa theo trọng lượng xe: [9]

$$\bar{Z}_f = \frac{W_f}{G}, \bar{Z}_r = \frac{W_r}{G} \tag{3.9}$$

$$\bar{Z}_f = \frac{8093.25}{14715} = 0.55 \tag{3.10}$$

$$\bar{Z}_r = \frac{6621.75}{14715} = 0.45 \tag{3.11}$$

Mô men tải trọng quanh trục trọng tâm (cơ sở cho chuyển tải khi phanh)

Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước và cầu sau lần lượt được xác định:

$$a = L \cdot (1 - \beta_f), b = L \cdot \beta_f \tag{3.12}$$

Thay số:

$$a = 2.54 \times (1 - 0.55) = 1.143\ m$$

$$b = 2.54 \times 0.55 = 1.397\ m$$

3.2.1. Tính lực phanh tối đa cho từng cầu

Trong quá trình phanh, lực phanh cực đại mà bánh xe có thể tạo ra bị giới hạn bởi điều kiện bám giữa lốp và mặt đường. Khi lực phanh vượt quá giới hạn bám, bánh xe sẽ bị trượt lết, làm giảm hiệu quả phanh và ảnh hưởng đến ổn định chuyển động của xe.

Do đó, lực phanh cực đại tại mỗi cầu được xác định dựa trên lực bám cực đại giữa lốp và mặt đường.

Lực bám cực đại được xác định theo biểu thức: [10]

$$F_{max} = \mu \cdot W \quad (3.13)$$

Hệ số bám giữa lốp và mặt đường được giả thiết trong điều kiện đường khô:

$$M = 0.8$$

- Từ phần tính toán tải trọng tĩnh (3.2), ta có:

- Tải trọng cầu trước: $W_f = 8093.25$ N
- Tải trọng cầu sau: $W_r = 6621.75$ N

Lực phanh cực đại tại cầu trước được xác định:

$$F_f = \mu \cdot W_f = 0.8 \times 8093.25 = 6474.6 \text{ N} \quad (3.14)$$

Lực phanh cực đại tại cầu sau:

$$F_r = \mu \cdot W_r = 0.8 \times 6621.75 = 5297.4 \text{ N} \quad (3.15)$$

Tổng lực phanh cực đại lý thuyết của toàn xe:

$$F_{total} = F_f + F_r = 6474.6 + 5297.4 = 11772 \text{ N} \quad (3.16)$$

Trong điều kiện thiết kế mô phỏng Carsim và theo xu hướng an toàn của hệ thống phanh xe dẫn động cầu trước, lực phanh được phân bố theo tỷ lệ hiệu chỉnh: [8]

- Cầu trước: 70%
- Cầu sau: 30%

Lực phanh cầu trước

$$F_f = 0.7 \cdot F_{total} = 0.7 \times 11772 = 8240.4 \text{ N} \quad (3.17)$$

Lực phanh cầu sau

$$F_r = 0.3 \cdot F_{total} = 0.3 \times 11772 = 3531.6 \text{ N} \quad (3.18)$$

Kiểm tra tổng lực phanh

$$F_f + F_r = 8240 + 3532 = 11772 \text{ N} \quad (3.19)$$

So sánh với lực bám cực đại theo từng cầu:

- Cầu trước:

$$F_{bám,f} = 0.8 \times 8093.25 = 6474.6 \text{ N} \quad (3.20)$$

- Cầu sau:

$$F_{bám,r} = 0.8 \times 6621.75 = 5297.4 \text{ N} \quad (3.21)$$

Lực phanh cầu trước thiết kế (8240 N) > lực bám tĩnh

Lực phanh cầu sau (3532 N) < lực bám tĩnh

Điều này cho thấy trong mô hình CarSim, hệ thống ABS/EBD phải can thiệp để điều chỉnh áp suất phanh cầu trước, tránh hiện tượng khóa bánh khi đạt giới hạn bám thực tế.

3.3.2. Tính áp suất phanh tối đa cần thiết

Trong hệ thống phanh thủy lực, áp suất dầu phanh đóng vai trò là đại lượng trung gian truyền lực từ bàn đạp phanh đến cơ cấu phanh tại bánh xe. Khi người lái tác dụng lực lên bàn đạp phanh, lực này được khuếch đại thông qua trợ lực chân không hoặc trợ lực điện, sau đó truyền đến xi lanh chính để tạo áp suất dầu trong hệ thống. Áp suất này tiếp tục tác dụng lên piston tại cơ cấu phanh, tạo ra lực ép má phanh lên đĩa phanh.

Mối quan hệ giữa áp suất dầu phanh và lực tác dụng lên piston được xác định theo công thức: [4]

$$P = \frac{F}{A} \tag{3.22}$$

- Theo cấu hình hệ thống phanh thực tế của Peugeot e-208: [8]
- Phanh trước: đĩa, piston đơn
- Đường kính piston trước (xấp xỉ):

$$d_f = 48\ \text{mm} = 0.048\ \text{m}$$

Diện tích piston:

$$A_f = \frac{\pi d^2}{4} \tag{3.23}$$

$$A_f = \frac{3.1416 \times (0.048)^2}{4} = 1.81 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \tag{3.24}$$

Do cầu trước là cầu chịu tải và chịu lực phanh lớn nhất, tính áp suất theo cầu trước:

$$P = \frac{F_f}{A_f} \tag{3.25}$$

$$P = \frac{7063}{1.81 \times 10^{-3}} = 3.90 \times 10^6\ \text{Pa} \tag{3.26}$$

Kiểm tra theo điều kiện hệ thống thủy lực thực tế

Áp suất làm việc của hệ thống phanh thủy lực trên xe du lịch hiện đại (bao gồm Peugeot e-208) thường nằm trong khoảng: 2 MPa → 10 MPa

So sánh:

$$P = 3.90\ \text{MPa} \in [2 \div 10]\ \text{MPa}$$

Hệ thống đảm bảo làm việc trong vùng an toàn kỹ thuật.

3.2.2. Tính quãng đường phanh theo tiêu chuẩn Euro NCAP

Trong đánh giá an toàn chủ động của ô tô, tiêu chuẩn Euro NCAP sử dụng các bài thử phanh khẩn cấp nhằm đánh giá khả năng dừng xe trong điều kiện vận hành thực tế. Một trong các kịch bản quan trọng là phanh từ tốc độ cao trên mặt đường khô với hệ số Một trong các kịch bản quan trọng là phanh từ tốc độ cao trên mặt đường khô với hệ số bám lớn, nhằm xác định quãng đường phanh tối thiểu của xe.

Theo lý thuyết động lực học ô tô, quãng đường phanh trong trường hợp gia tốc chậm dần không đổi được xác định theo công thức: [7]

$$S = \frac{v^2}{2a_{max}} \tag{3.27}$$

Thông số đầu vào theo Euro NCAP:[12]

- Vận tốc ban đầu:

$$v = \frac{100\ \text{km}}{h} = \frac{27.78\ \text{m}}{s}$$

- Hệ số bám đường (mặt đường khô):

$$\mu = 0.8$$

- Gia tốc trọng trường:

$$G = \frac{9.81\ \text{m}}{s^2}$$

Gia tốc phanh cực đại được xác định theo giới hạn bám lốp:

$$a = \mu \cdot g$$

Thay số:

$$A_{max} = 0.8 \times 9.81 = 7.848\ \text{m/s}^2 \quad (3.28)$$

Áp dụng công thức:

$$S = \frac{v^2}{2a_{max}} \quad (3.29)$$

Thay số:

$$S = \frac{(27.78)^2}{2 \times 7.85} = \frac{771.7}{15.7} = 49.2\ \text{m} \quad (3.30)$$

Theo tiêu chuẩn đánh giá của Euro NCAP xe du lịch hạng B–C phải đảm bảo khả năng phanh an toàn ở tốc độ 100 km/h

Quãng đường phanh điển hình trên mặt đường khô dao động:

$$45 \div 55\ \text{m}$$

Kết quả tính toán cho Peugeot e-208 cho thấy quãng đường phanh từ tốc độ 100 km/h đạt khoảng 49.2 m trong điều kiện mặt đường khô với hệ số bám μ = 0.8. Giá trị này nằm trong vùng tiêu chuẩn của Euro NCAP đối với các xe du lịch hiện đại, chứng tỏ hệ thống phanh có khả năng đáp ứng yêu cầu an toàn khi phanh khẩn cấp.

Chương 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG TRÊN CARSIM

4.1. Chuẩn bị môi trường làm việc

Trong nghiên cứu này, phần mềm Carsim được lựa chọn là công cụ mô phỏng chính do khả năng mô phỏng động lực học ô tô phi tuyến đầy đủ, bao gồm chuyển động thân xe, tương tác lốp – mặt đường, hệ thống phanh thủy lực, cũng như các hệ thống an toàn chủ động như ABS và ESC. Bên cạnh đó, CarSim cho phép xây dựng các kịch bản phanh tiêu chuẩn, xuất dữ liệu theo thời gian thực và phân tích các thông số như gia tốc, vận tốc, quãng đường phanh và độ ổn định chuyển động.

4.1.1. Cài đặt và cấu hình phần mềm Carsim

Phần mềm CarSim được sử dụng trong nghiên cứu là phiên bản mới, được cài đặt trên hệ điều hành Windows nhằm đảm bảo khả năng tương thích và khai thác đầy đủ các chức năng mô phỏng. Sau khi cài đặt, phần mềm được cấu hình theo hướng phục vụ nghiên cứu động lực học phanh, trong đó tập trung vào các nhóm chức năng chính gồm mô phỏng chuyển động tổng thể của xe, mô phỏng hệ thống phanh thủy lực, mô phỏng hệ thống điều khiển ABS/ESC và khả năng xuất dữ liệu phục vụ phân tích.

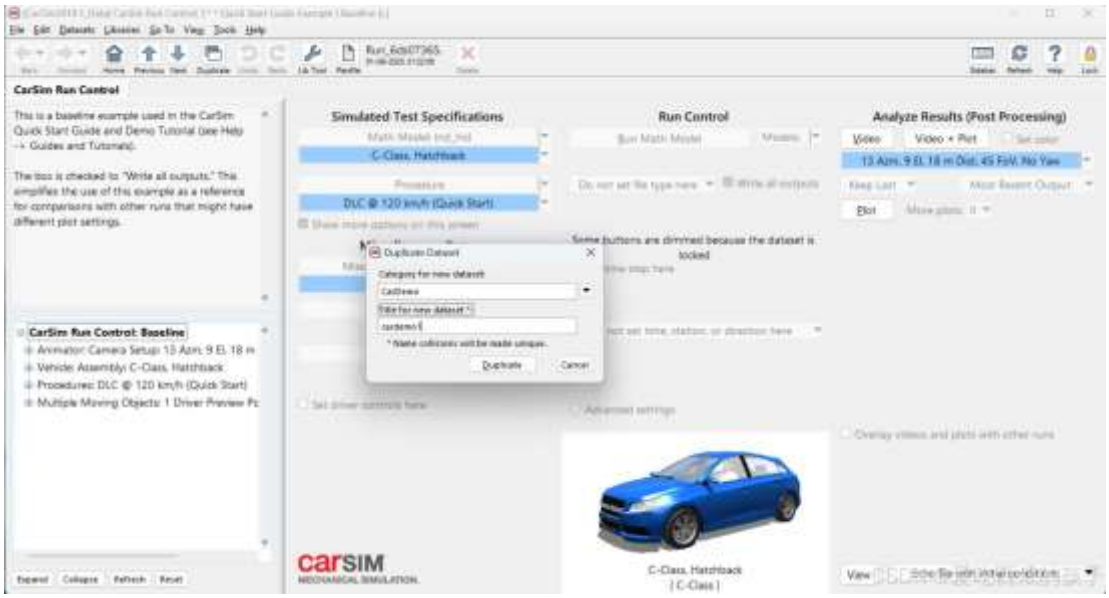
4.1.2. Tìm và chọn mô hình xe cơ bản tương đồng Peugeot e-208

Việc lựa chọn mô hình được thực hiện dựa trên các tiêu chí kỹ thuật bao gồm: hệ dẫn động cầu trước, khối lượng toàn bộ tương đương, chiều dài cơ sở gần giống, đặc tính hệ thống treo phù hợp và cấu trúc hệ thống phanh tương tự.

Sau khi lựa chọn mô hình cơ sở, các thông số kỹ thuật của xe sẽ được hiệu chỉnh lại dựa trên dữ liệu thực tế của Peugeot e-208 nhằm đảm bảo độ chính xác của mô hình. Đây là bước quan trọng nhằm chuyển từ mô hình "generic vehicle" sang mô hình có đặc tính gần sát với xe thực tế.

4.2. Tùy chỉnh thông số mô hình xe

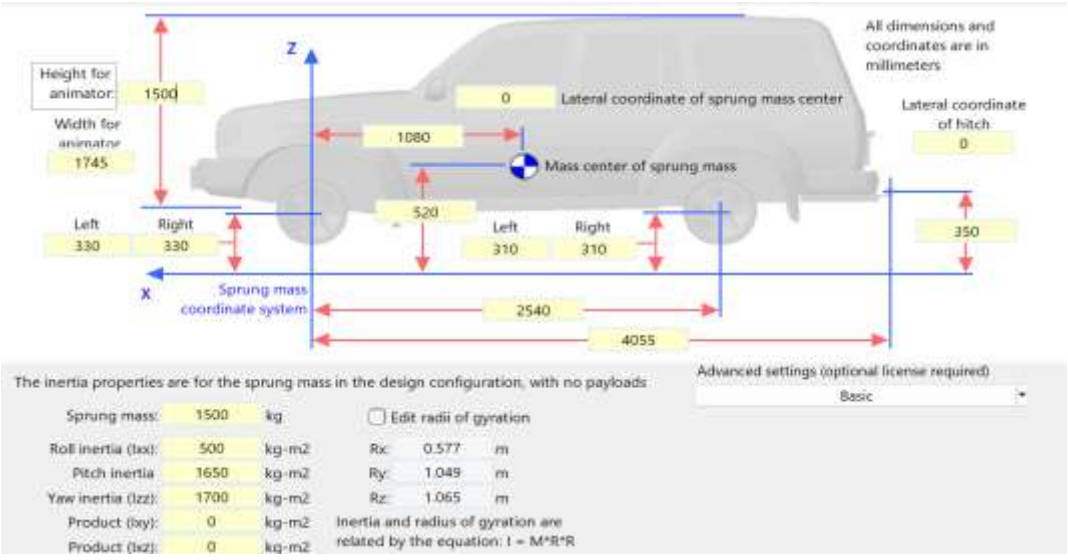
Sau khi thiết lập mô hình cơ sở, bước tiếp theo là tiến hành hiệu chỉnh toàn bộ các thông số động lực học của xe. Mục tiêu của quá trình này là đảm bảo mô hình mô phỏng phản ánh chính xác đặc tính chuyển động, đặc biệt trong điều kiện phanh khẩn cấp.



Hình 4.1: Chỉnh mô hình xe trong carsim

4.2.1. Chỉnh sửa khối lượng xe và phân bổ khối lượng

Để thiết lập đặc tính khối lượng của xe trong Carsim, trước tiên nhập giá trị khối lượng được treo (Sprung Mass). Tiếp theo, xác định vị trí trọng tâm thân xe theo các phương dọc, ngang và đứng trong hệ tọa độ xe. Sau đó, khai báo các mô-men quán tính quanh các trục dọc (Roll), ngang (Pitch) và đứng (Yaw). Cuối cùng, kiểm tra lại các kích thước hình học, vị trí trọng tâm và các thông số quán tính trước khi lưu cấu hình để phục vụ mô phỏng động lực học xe.

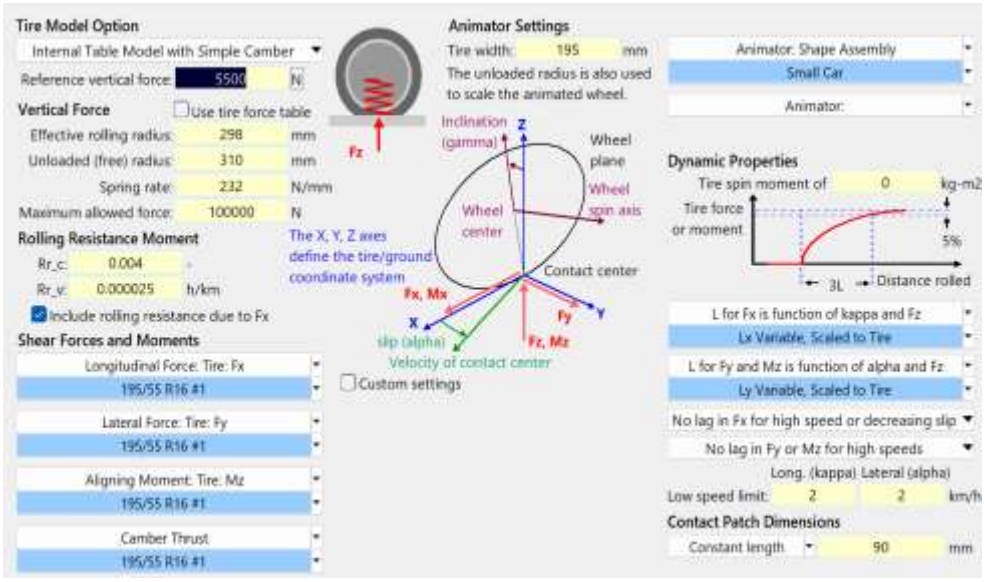


Hình 4.2: Chỉnh khối lượng xe và phân bổ khối lượng

4.2.2. Chỉnh sửa kích thước lốp xe

Để thiết lập mô hình lốp xe trong Carsim, trước tiên lựa chọn loại mô hình lốp phù hợp tại mục Tire Model Option. Tiếp theo, nhập các thông số cơ bản của lốp như tải trọng thẳng đứng tham chiếu, bán kính lăn hiệu dụng, bán kính tự do và độ cứng lò

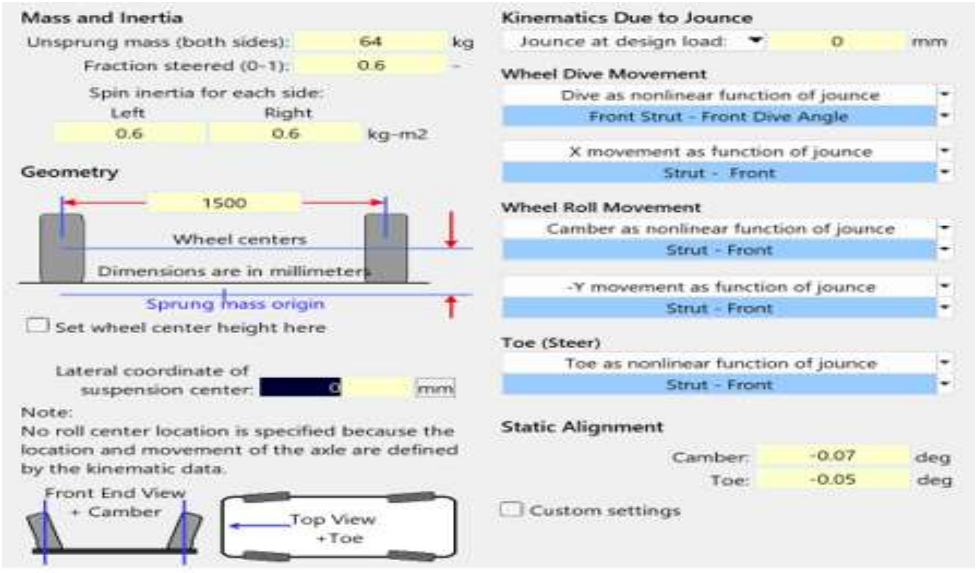
xo của lốp. Sau đó, thiết lập các đặc tính lực dọc, lực ngang và mô-men tự lựa của lốp thông qua các bảng dữ liệu tương ứng. Cuối cùng, khai báo các thông số cản lăn, đặc tính động học và kích thước vùng tiếp xúc lốp với mặt đường trước khi lưu cấu hình và thực hiện mô phỏng.



Hinh 4.3: Chỉnh kích thước lốp xe

4.2.3. Cấu hình đặc tính hệ thống treo

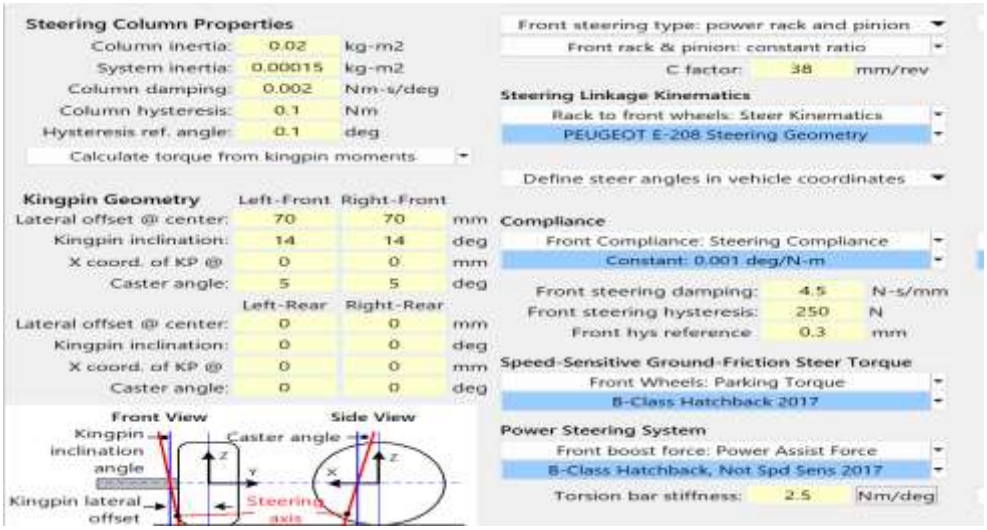
Để thiết lập hệ thống treo trước trong Carsim, trước tiên nhập các thông số khối lượng không được treo và mô-men quán tính của bánh xe. Tiếp theo, khai báo kích thước hình học cầu xe và vị trí tâm hệ thống treo. Sau đó, lựa chọn các đặc tính động học của bánh xe theo hành trình dao động như góc chúc (Dive), góc camber và góc chụm (Toe). Cuối cùng, thiết lập các thông số căn chỉnh tĩnh của bánh xe (Camber, Toe), kiểm tra lại dữ liệu và lưu cấu hình để phục vụ mô phỏng.



Hình 4.4: Chỉnh hệ thống treo

4.2.4. Cấu hình hệ thống lái

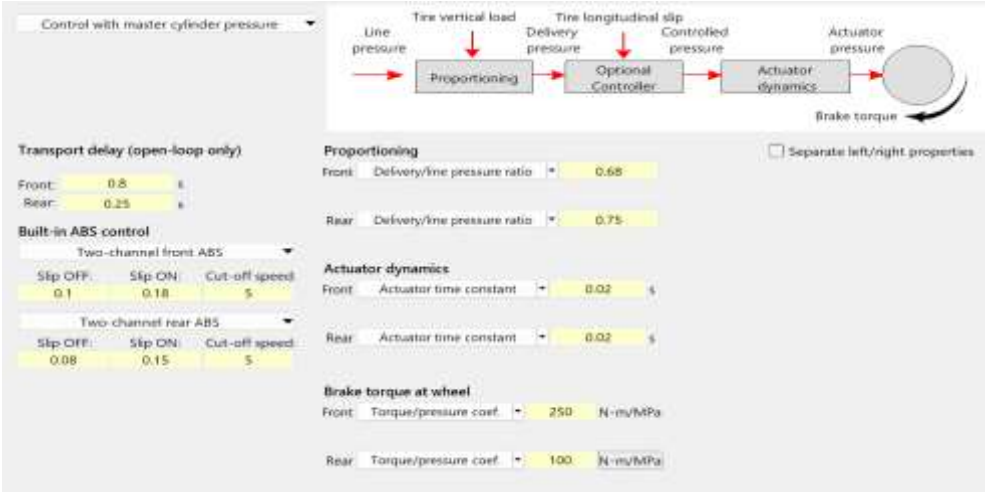
Để thiết lập hệ thống lái trong Carsim, trước tiên lựa chọn kiểu cơ cấu lái Power Rack and Pinion và khai báo tỷ số truyền của thanh răng. Tiếp theo, thiết lập các thông số quán tính, hệ số giảm chấn và độ trễ của cột lái. Sau đó, nhập các thông số hình học lái như góc nghiêng trụ đứng (Kingpin Inclination), góc caster và độ lệch tâm. Cuối cùng, thiết lập độ cứng, đặc tính trợ lực lái và các thông số tuân thủ (Compliance) trước khi lưu cấu hình và thực hiện mô phỏng.



Hình 4.5: Chỉnh sửa hệ thống lái

4.3. Cấu hình hệ thống phanh trên Carsim

Để thiết lập hệ thống phanh, trước tiên mở mục Brake System và chọn chế độ điều khiển Control with master cylinder pressure. Tiếp theo, nhập các thông số độ trễ truyền tín hiệu phanh cho cầu trước và cầu sau. Sau đó kích hoạt hệ thống ABS, thiết lập các giá trị tỷ số trượt (Slip ON, Slip OFF) và tốc độ ngắt điều khiển. Cuối cùng, điều chỉnh tỷ lệ phân bố áp suất phanh, hằng số thời gian đáp ứng của cơ cấu chấp hành và hệ số mô-men phanh tại bánh xe trước khi lưu cấu hình và tiến hành mô phỏng.

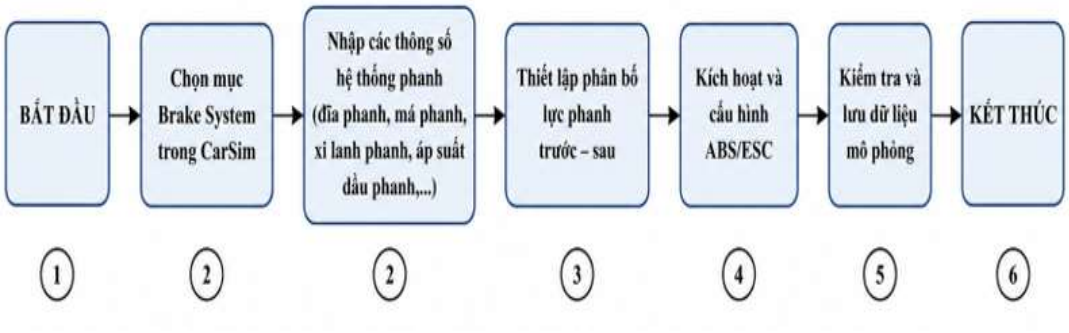


Hình 4.6 : Chỉnh sửa hệ thống phanh

Quá trình cấu hình bao gồm việc nhập các tham số động lực học, thiết lập hệ thống ABS/ESC và điều chỉnh phân bố lực phanh giữa các cầu xe.

4.3.1. Nhập các tham số tính toán vào hệ thống phanh

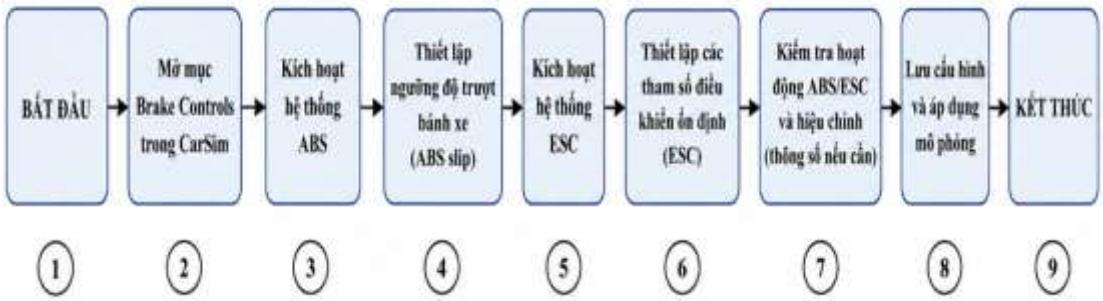
Các thông số này được khai báo trong các mục cấu hình của Carsim như Brake System Dataset, Hydraulic Brake Parameters và Wheel Brake Torque. Việc nhập đúng và đầy đủ các thông số giúp mô hình phản ánh chính xác đặc tính làm việc thực tế của hệ thống phanh.



Hình 4.7: Quy trình nhập tham số vào hệ thống

4.3.2. Kích hoạt và cấu hình hệ thống ABS/ESC

Hệ thống ABS và ESC được kích hoạt trong Carsim thông qua mục điều khiển phanh nhằm mô phỏng khả năng chống bó cứng bánh xe và ổn định hướng chuyển động của xe khi phanh. Các thông số điều khiển được thiết lập để đảm bảo xe duy trì độ bám đường và tính ổn định trong các điều kiện mô phỏng khác nhau.

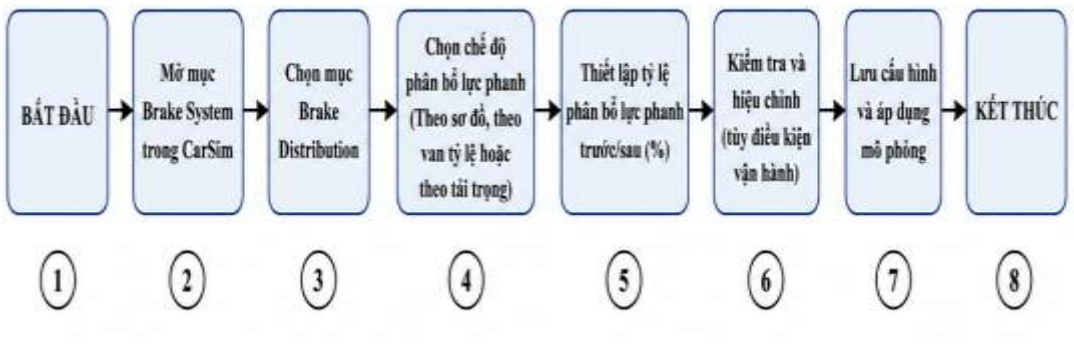


Hình 4.8: Quy trình kích hoạt hệ thống ABS/ESC

4.3.3. Thiết lập tỷ lệ phân bổ lực phanh trước/sau

Do hiện tượng chuyển tải trọng khi phanh, cầu trước thường chịu tải lớn hơn cầu sau nên lực phanh cần được phân bố hợp lý nhằm đảm bảo ổn định chuyển động.

Trong hệ thống phanh của xe Peugeot e-208, do ảnh hưởng của hiện tượng chuyển tải trọng khi phanh, tải trọng tác dụng lên cầu trước tăng lên trong khi cầu sau giảm xuống.



Hình 4.9: Quy trình thiết lập tỉ lệ phân bố lục phanh cho mô phỏng

4.4. Thiết lập các kịch bản mô phỏng phanh

Nhằm đánh giá đầy đủ đặc tính làm việc của hệ thống phanh trên xe Peugeot e-208, các kịch bản mô phỏng được xây dựng dựa trên những tình huống vận hành thường gặp trong thực tế.

Các kịch bản mô phỏng được lựa chọn bao gồm:

- Phanh khẩn cấp trên mặt đường khô có hệ số bám cao.
- Phanh trên mặt đường ướt hoặc mặt đường có hệ số bám thấp.
- Phanh kết hợp đánh lái khi xe đang chuyển hướng.
- So sánh đặc tính làm việc của hệ thống trong các điều kiện bám khác nhau.
- Đánh giá khả năng can thiệp của ABS và ESC trong quá trình phanh.

4.4.1. Kịch bản 1: Phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô

Điều kiện mô phỏng:

- Tốc độ ban đầu:

$$v = 60\ \mathrm{km/h}$$

- Hệ số bám:

$$\mu = 0.85$$

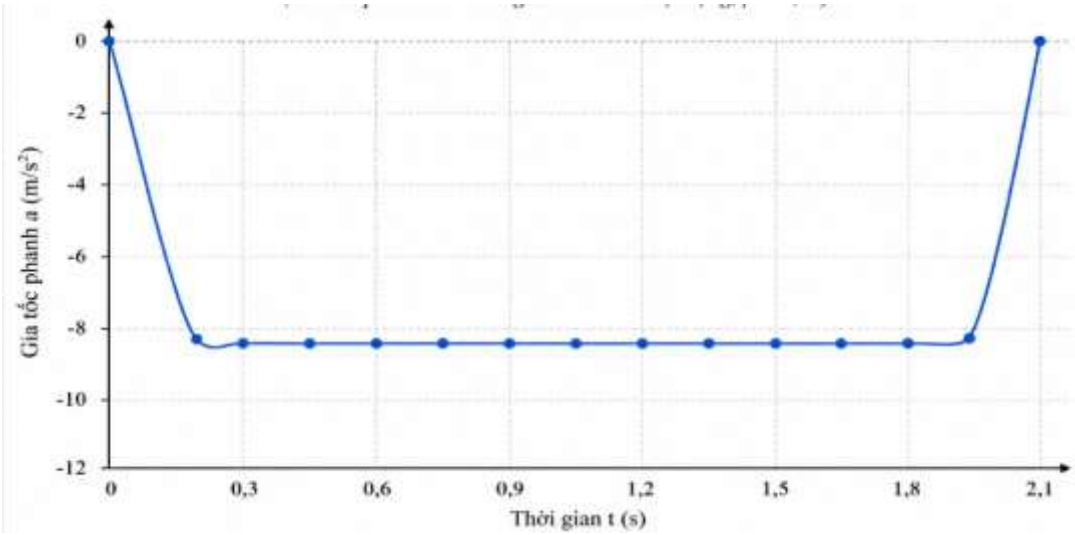
- Xe chạy thẳng.
- ABS hoạt động.

Bảng 4.1: Kết quả sau thiết lập với kịch bản 1

Thông số	Giá trị
Tốc độ ban đầu	60 km/h
Hệ số bám	0,85
Gia tốc phanh cực đại	-8,3 m/s²
Thời gian dừng xe	≈ 2,1 s
Quãng đường phanh	≈ 16,7 m
Độ lệch hướng	< 0,2 m
Trạng thái ABS	Hoạt động liên tục

a) Khả năng giảm tốc

Từ bảng 4.1 ta thấy hệ thống phanh của xe làm việc hiệu quả và khai thác tốt khả năng bám đường của lốp. Xe giảm tốc từ 60 km/h xuống 0 km/h chỉ trong khoảng 2,1 s, với quãng đường phanh 16,7 m và gia tốc chậm dần cực đại đạt khoảng $-8{,}3\ \mathrm{m/s^2}$.



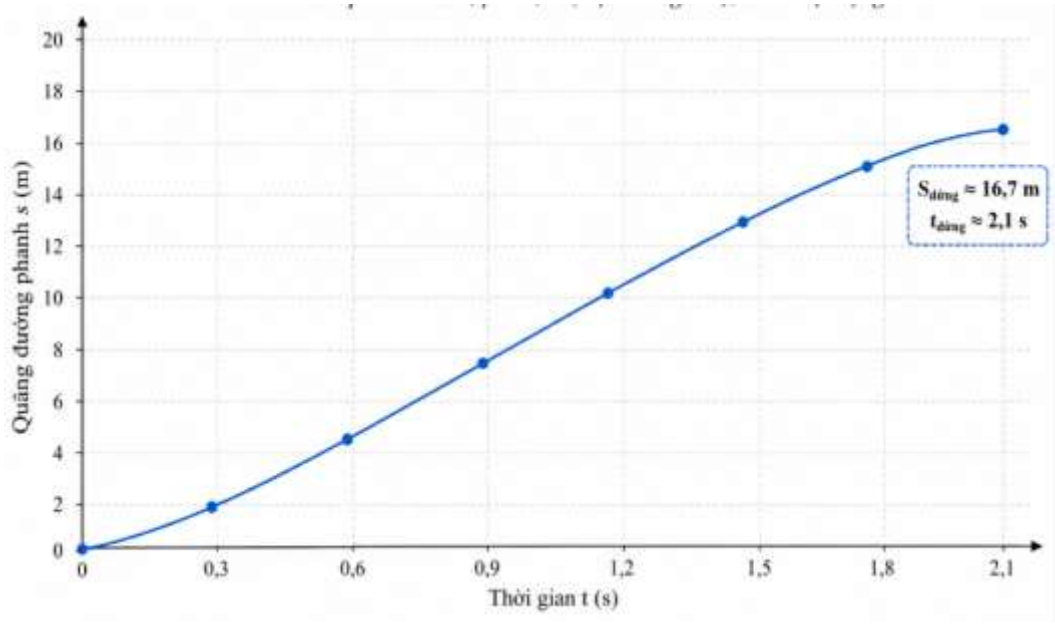
Hình 4.10: Đồ thị thể hiện khả năng giảm tốc kịch bản 1

So sánh với gia tốc phanh lý thuyết trong điều kiện bám đường lý tưởng: [11]

$$a_{lt} = \mu g = 0{,}85 \times 9{,}81 = 8{,}34\ \mathrm{m/s^2} \qquad (4.1)$$

So sánh với giá trị lý thuyết cho thấy gia tốc phanh thu được từ mô phỏng gần tương đương giới hạn bám của mặt đường. Sai lệch giữa hai giá trị là rất nhỏ (khoảng 0,04 m/s².

b) Quãng đường phanh



Hình 4.11: Đồ thị quãng đường phanh theo thời gian kịch bản 1

Quãng đường phanh được xác định theo công thức: [11]

$$S = \frac{(16,67)^2}{2 \times 0,85 \times 9,81} = \frac{277,89}{16,677} \quad (4.2)$$

Quãng đường phanh lý thuyết thu được khoảng 16,6 m, rất gần với kết quả mô phỏng 16,7 m. Sai lệch nhỏ giữa hai giá trị cho thấy mô hình được xây dựng có độ tin cậy cao và phản ánh tương đối chính xác quá trình phanh thực tế.

c) Độ ổn định hướng chuyển động

Xe duy trì được độ ổn định hướng tốt trong suốt quá trình phanh khẩn cấp từ vận tốc ban đầu 60 km/h. Quỹ đạo chuyển động của xe gần như trùng với phương chuyển động ban đầu, độ lệch hướng cực đại ghi nhận được nhỏ hơn 0,2 m. Giá trị thể hiện xe không xuất hiện hiện tượng mất ổn định hoặc lệch hướng đáng kể trong quá trình giảm tốc.

Sự ổn định hướng đạt được nhờ lực phanh được phân bố hợp lý giữa cầu trước và cầu sau, phù hợp với sự chuyển dịch tải trọng động khi phanh. Đồng thời, hệ thống ABS liên tục điều chỉnh áp suất phanh tại các bánh xe, giúp duy trì độ trượt trong vùng tối ưu và hạn chế hiện tượng khóa cứng bánh xe.

d) Hiệu quả của ABS

Trong điều kiện mặt đường khô với hệ số bám cao (μ = 0.85), xe Peugeot e-208 có khả năng đạt gia tốc chậm dần lớn, xấp xỉ -8.3 m/s², tương ứng gần với giới hạn bám lý thuyết của lốp xe. Điều này chứng tỏ hệ thống phanh có khả năng khai thác gần tối đa lực bám giữa lốp và mặt đường trong điều kiện vận hành thuận lợi.

Bảng 4.2: So sánh kết quả mô phỏng với giá trị tham khảo khi phanh từ 60 km/h trên đường khô (μ = 0,85).

Thông số	**Kết quả mô phỏng**	**Giá trị tham khảo** [12]	**Đánh giá**
Tốc độ ban đầu (km/h)	60	60	Đúng điều kiện
Hệ số bám mặt đường μ	0,85	0,80 – 0,90	Phù hợp đường nhựa khô
Gia tốc chậm dần cực đại (m/s²)	-8,3	-7,5 đến -8,8	Đạt yêu cầu
Thời gian dừng xe (s)	2,1	1,9 – 2,3	Phù hợp
Quãng đường phanh (m)	16,7	15 – 18	Tốt

Tỷ lệ trượt bánh xe (%)	10 – 20	10 – 20	Tối ưu cho ABS
Trạng thái bánh xe	Không bó cứng	Không bó cứng	Đạt yêu cầu

Thời gian dừng xe đạt khoảng 2.1 giây và quãng đường phanh tương ứng khoảng 16.7 m, đây là giá trị phù hợp với các xe du lịch hạng B trong điều kiện phanh khẩn cấp ở tốc độ 60 km/h. Kết quả này cũng cho thấy hiệu quả làm việc của hệ thống ABS trong việc duy trì trạng thái trượt tối ưu, tránh hiện tượng bó cứng bánh xe trong suốt quá trình giảm tốc.

4.4.2. Kịch bản 2: Phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô

Điều kiện:

- Tốc độ ban đầu:

$$v = 100\ \text{km/h}$$

- Mặt đường khô.
- Hệ số bám cao.
- ABS và ESC hoạt động.

Bảng 4.3: Kết quả sau mô phỏng kịch bản 2

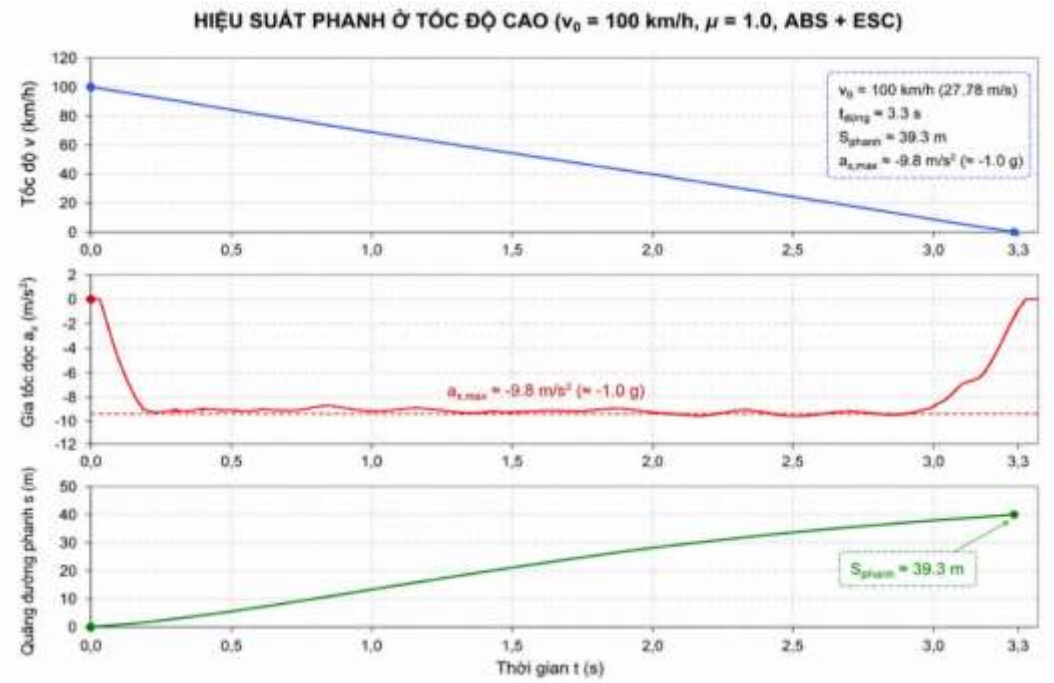
Thông số	**Giá trị**
Tốc độ ban đầu	100 km/h
Hệ số bám	1,0
Gia tốc phanh cực đại	≈ -9,8 m/s²
Thời gian dừng xe	≈ 3.3 s
Quãng đường phanh	≈ 39,3 m
Độ lệch hướng	< 0,2 m
Trạng thái ABS	Hoạt động liên tục

a) Hiệu suất phanh ở tốc độ cao

Từ kết quả, xe Peugeot e-208 đạt gia tốc chậm dần cực đại xấp xỉ -9.8 m/s², tương đương gần với gia tốc trọng trường g. Chứng tỏ hệ thống phanh đã khai thác gần như tối đa khả năng bám giữa lốp và mặt đường trong điều kiện lý tưởng với hệ số bám μ = 1.0.

Xe giảm tốc từ 100 km/h về trạng thái dừng hoàn toàn trong khoảng 3.3 giây, với quãng đường phanh đạt khoảng 39.3 m chứng tỏ hiệu suất phanh ở tốc độ cao đạt mức tốt và đáp ứng yêu cầu an toàn theo các tiêu chuẩn thử nghiệm như Euro NCAP. (hình 4.12). Quãng đường phanh của xe du lịch hạng B–C thường nằm trong khoảng:

$$35 \div 45\ \text{m}(\text{mặt đường khô},\ \mu \approx 1.0)$$



Hình 4.12: Đồ thị hiệu suất phanh kịch bản 2

b) Kiểm tra độ ổn định thân xe

Trong toàn bộ quá trình phanh, xe duy trì quỹ đạo chuyển động ổn định với độ lệch hướng nhỏ hơn 0.2 m. Hệ thống ABS hoạt động liên tục nhằm điều chỉnh áp suất phanh tại từng bánh xe, đảm bảo bánh xe luôn làm việc trong vùng trượt tối ưu.

Bên cạnh đó, giá trị góc quay thân xe (Yaw Angle) gần như không thay đổi đáng kể, cho thấy xe không xuất hiện hiện tượng quay vòng hoặc mất ổn định hướng khi phanh gấp ở tốc độ cao. Điều này chứng minh sự phối hợp hiệu quả giữa hệ thống ABS và ESC trong việc duy trì ổn định động lực học của xe.

c) Tải trọng động khi phanh mạnh

Trong quá trình phanh khẩn cấp từ tốc độ 100 km/h, hiện tượng chuyển tải trọng dọc xuất hiện rõ rệt do quán tính của xe. Lượng tải trọng chuyển từ cầu sau lên cầu trước được xác định theo công thức:

$$\Delta W = \frac{mah}{L}$$

Tải trọng động chuyển dịch được tính:

$$\Delta W = \frac{2500 \times 9{,}8 \times 0{,}55}{2{,}54} \approx 5305\ \text{N} \quad (4.3)$$

Tải trọng động chuyển dịch đạt khoảng 5305 N, tương đương khoảng 541 kg. Giá trị này phản ánh sự gia tăng đáng kể tải trọng tác dụng lên cầu trước trong quá trình phanh mạnh, đồng thời làm giảm tải trọng trên cầu sau.

4.4.3. Kịch bản 3: Phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt

Điều kiện:

- Tốc độ ban đầu:

$$v = 80\ km/h$$

- Hệ số bám thấp:

$$\mu = 0.45$$

Bảng 4.4: Kết quả sau mô phỏng kịch bản 3

Thông số	**Giá trị**
Tốc độ ban đầu	80 km/h
Hệ số bám	0,45
Gia tốc phanh cực đại	≈ -4,4 m/s²
Thời gian dừng xe	≈ 4.7 s
Quãng đường phanh	≈ 56 m
Độ lệch hướng	< 0,3 m
Trạng thái ABS	Hoạt động liên tục

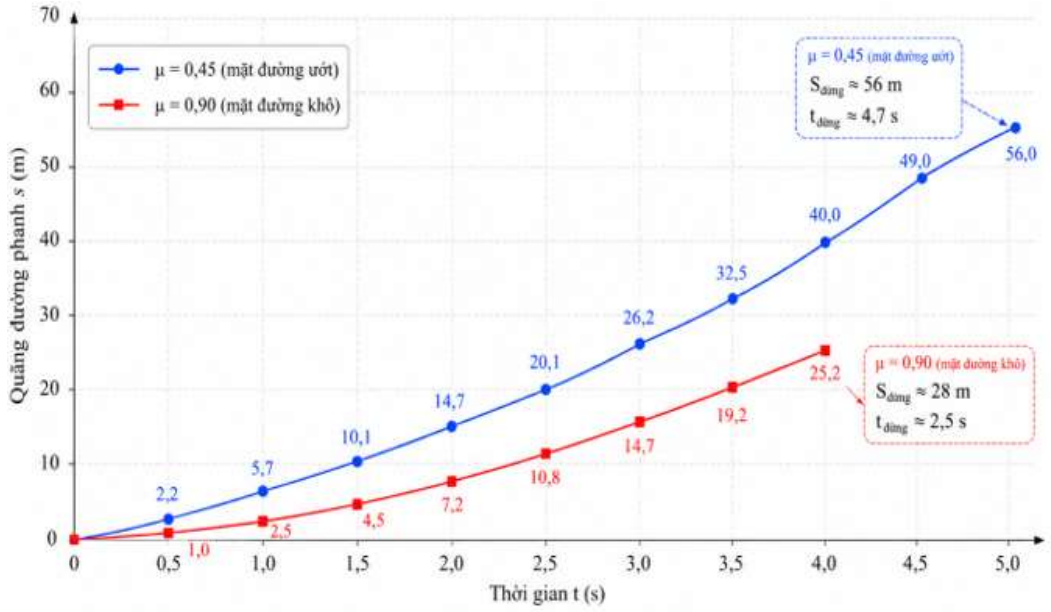
Bảng 4.5: Kết quả sau mô phỏng phanh khẩn cấp vận tốc 80km/h ($\mu = 0.9$)

Thông số	**Giá trị**
Tốc độ ban đầu	80 km/h
Hệ số bám	0,9
Gia tốc phanh cực đại	≈ -8,8 m/s²
Thời gian dừng xe	≈ 2,5 s
Quãng đường phanh	≈ 28 m
Độ lệch hướng	< 0,2 m
Trạng thái ABS	Hoạt động liên tục

a) Đánh giá hiệu quả hoạt động của ABS

Ở điều kiện mặt đường ướt với hệ số bám $\mu = 0{,}45$ (Bảng 4.3), khả năng phanh của xe bị suy giảm đáng kể do lực bám giữa lốp và mặt đường thấp. Gia tốc chậm dần cực đại chỉ đạt khoảng $-4{,}4\ m/s^2$, xe mất khoảng 4,7 s để dừng hoàn toàn và quãng đường phanh kéo dài tới 56 m. Mặc dù vậy, trong suốt quá trình phanh không xuất hiện hiện tượng khóa cứng bánh xe. Hệ thống ABS liên tục điều chỉnh áp suất dầu phanh, giúp các bánh xe duy trì khả năng bám đường và giữ được hướng chuyển động của xe.

Khi tăng hệ số bám lên $\mu = 0{,}9$ (Bảng 4.4), các chỉ tiêu phanh được cải thiện đáng kể. Gia tốc chậm dần cực đại đạt khoảng $-8{,}8\ m/s^2$, thời gian dừng xe giảm còn khoảng 2,5 s và quãng đường phanh chỉ còn 28 m. Giá trị gia tốc này gần tương đương giới hạn bám lý thuyết của mặt đường ($\mu g \approx 8{,}83\ m/s^2$), cho thấy hệ thống phanh đã tận dụng tốt khả năng bám của lốp.



Hình 4.13: Đồ thị so sánh quãng đường phanh theo thời gian

Trong điều kiện mặt đường ướt ($\mu = 0{,}45$), quãng đường phanh và thời gian dừng xe tăng đáng kể do lực bám giảm. Tuy nhiên, hệ thống ABS vẫn duy trì khả năng làm việc ổn định, ngăn ngừa hiện tượng khóa bánh và đảm bảo tính an toàn khi phanh khẩn cấp.

b) Phân tích độ trượt bánh xe

Bảng 4.6: Độ trượt trong điều kiện đường ướt (μ = 0,45), đường khô (μ = 0,9)

Thông số	**Mặt đường ướt (μ = 0,45)**	**Mặt đường khô (μ = 0,9)**	**Mức thay đổi**
Gia tốc chậm dần cực đại (m/s²)	−4,4	−8,8	Tăng 100%
Thời gian dừng xe (s)	4,7	2,5	Giảm 46,8%
Quãng đường phanh (m)	56	28	Giảm 50%
Độ lệch hướng cực đại (m)	< 0,3	< 0,2	Giảm khoảng 33%
Độ trượt bánh xe	Duy trì trong vùng tối ưu	Duy trì trong vùng tối ưu	Không đổi
Khóa cứng bánh xe	Không xảy ra	Không xảy ra	Không đổi
Hiệu quả phanh	Trung bình	Cao	Tăng đáng kể
Khả năng ổn định hướng	Tốt	Rất tốt	Cải thiện

Từ bảng so sánh cho thấy khi hệ số bám tăng từ μ = 0,45 lên μ = 0,9, hiệu quả phanh được cải thiện rõ rệt. Gia tốc chậm dần cực đại tăng từ −4,4 m/s² lên −8,8 m/s², trong khi thời gian dừng xe giảm từ 4,7 s xuống 2,5 s và quãng đường phanh giảm từ 56 m xuống 28 m. Mặc dù điều kiện mặt đường thay đổi đáng kể, hệ thống ABS vẫn duy trì độ trượt bánh xe trong vùng tối ưu, không xuất hiện hiện tượng khóa cứng bánh xe. Đồng thời độ lệch hướng luôn nhỏ hơn 0,3 m, chứng tỏ xe vẫn giữ được tính ổn định và khả năng điều khiển trong suốt quá trình phanh khẩn cấp.

4.4.4. Kịch bản 4: Phanh khi đi vào cua với tốc độ 50 km/h

Điều kiện:

- Xe vào cua bán kính cố định.
- Tốc độ:

$$v = 50\ \text{km/h}$$

- Góc lái được thiết lập cố định.
- ABS và ESC hoạt động.

Bảng 4.7: Kết quả sau mô phỏng với kịch bản 4

Thông số	**Giá trị**
Tốc độ ban đầu	50 km/h
Hệ số bám	0,85
Gia tốc phanh cực đại	≈ -8,3 m/s²
Thời gian phanh	≈ 1,77 s
Quãng đường phanh	≈ 11,6 m
Độ lệch quỹ đạo	< 0,15 m
Góc lệch thân xe (Yaw)	< 1°
Trạng thái ABS	Hoạt động liên tục
Độ ổn định xe	Tốt

a) Đánh giá khả năng ổn định ngang

Kết quả mô phỏng (bảng 4.6) cho thấy trong quá trình phanh khi xe đang vào cua ở tốc độ 50 km/h, quỹ đạo chuyển động của xe được duy trì tương đối ổn định. Độ lệch quỹ đạo đo được nhỏ hơn 0,15 m trong suốt quá trình phanh, chứng tỏ xe vẫn bám sát quỹ đạo đặt trước mặc dù đồng thời chịu tác động của lực phanh và lực ngang khi quay vòng.

Gia tốc chậm dần cực đại đạt khoảng (-8,3 m/s²), tương ứng với khả năng khai thác tốt độ bám của mặt đường có hệ số bám (\mu = 0,85). Xe dừng hoàn toàn sau khoảng 1,77 s với quãng đường phanh 11,6 m. Trong quá trình giảm tốc không xuất hiện hiện tượng lệch hướng đáng kể, cho thấy tính ổn định ngang của xe được duy trì tốt ngay cả khi phanh trong điều kiện chuyển động trên đường cong.

b) Kiểm tra nguy cơ mất lái hoặc văng đuôi xe

Với kết quả bảng 4.6 cho thấy trong toàn bộ quá trình phanh, xe không xuất hiện dấu hiệu của hiện tượng mất lái. Độ lệch quỹ đạo luôn được duy trì dưới 0,15 m, chứng tỏ bánh trước vẫn tạo đủ lực dẫn hướng để xe tiếp tục bám theo quỹ đạo đặt trước. Điều này cho thấy khả năng điều khiển hướng của phương tiện vẫn được bảo đảm ngay cả khi lực phanh đạt giá trị lớn.

Ngoài ra, xe vẫn đạt được gia tốc phanh cực đại khoảng (-8,3 m/s^2) và dừng hoàn toàn sau 1,77 s mà không xuất hiện mất ổn định chuyển động. Điều này cho thấy hệ thống ABS đã ngăn ngừa hiệu quả hiện tượng khóa bánh.

Trong điều kiện phanh khi vào cua ở tốc độ 50 km/h trên mặt đường có hệ số bám 0,85, Peugeot e-208 duy trì được trạng thái ổn định tốt. Xe không xuất hiện hiện tượng mất lái, văng đuôi hoặc trượt ngang đáng kể. Độ lệch quỹ đạo và góc lệch thân xe đều nằm trong giới hạn nhỏ, phản ánh hiệu quả làm việc của các hệ thống hỗ trợ ổn định như ABS và ESC.

4.4.5. Kịch bản 5: Phanh liên tục để đánh giá nhiệt độ phanh

Điều kiện:

- Xe thực hiện nhiều lần phanh liên tiếp.
- Tốc độ thay đổi từ 40–100 km/h.
- Mô phỏng tăng nhiệt độ đĩa phanh.

Bảng 4.8: Thiết lập các thông số thử nghiệm phanh liên tục

Thông số	**Giá trị**
Xe mô phỏng	Peugeot e-208
Hệ thống phanh	Đĩa trước/sau + ABS
Số lần phanh	5–10 lần liên tiếp
Tốc độ ban đầu	40; 60; 80; 100 km/h
Tốc độ cuối	0 km/h
Hệ số bám đường	0,85
Thời gian nghỉ giữa các lần phanh	10 s
Nhiệt độ đĩa phanh ban đầu	50 °C
Môi trường đường	Đường nhựa khô
Điều khiển lái	Đi thẳng

a) Đánh giá hiện tượng fading phanh

Trong giai đoạn đầu của chuỗi thử nghiệm, khi nhiệt độ đĩa phanh còn thấp (khoảng 50–190°C) (bảng 4.8), hệ thống phanh làm việc ổn định, lực phanh duy trì ở mức cao và các thông số động học gần như không có sự suy giảm đáng kể. Gia tốc phanh vẫn dao động quanh mức −8,2 đến −8,3 m/s^2, thể hiện khả năng chuyển hóa động năng thành nhiệt năng hiệu quả và ổn định của hệ thống phanh đĩa kết hợp ABS.

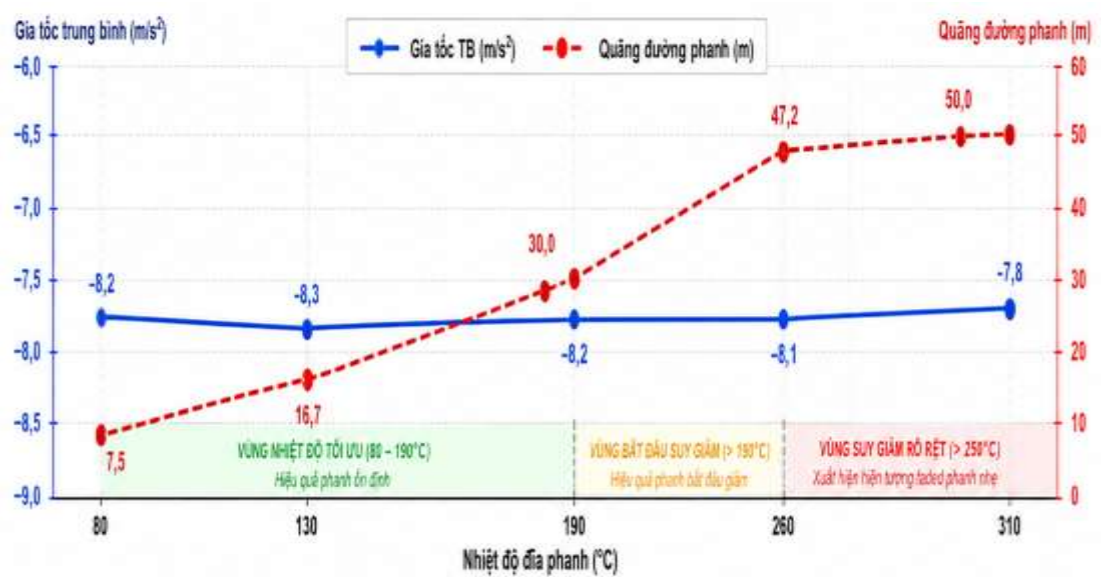
Tuy nhiên, khi nhiệt độ bắt đầu vượt ngưỡng khoảng 250°C, xu hướng suy giảm hiệu quả phanh bắt đầu xuất hiện rõ rệt. Cụ thể ở các lần phanh cuối, gia tốc trung bình giảm xuống khoảng −7,8 m/s², trong khi thời gian phanh tăng lên và quãng đường dừng xe kéo dài thêm. Sự thay đổi này không diễn ra đột ngột mà mang tính tích lũy theo nhiệt độ, phản ánh đúng đặc tính vật lý của vật liệu ma sát trong má phanh.

Bảng 4.9: Kết quả sau khi mô phỏng xe phanh liên tục ở tốc độ khác nhau

Lần phanh	Tốc độ đầu (km/h)	Thời gian phanh (s)	Quãng đường phanh (m)	Gia tốc TB (m/s²)	Nhiệt độ đĩa phanh (°C)
1	40	1,35	7,5	-8,2	80
2	60	2,00	16,7	-8,3	130
3	80	2,70	30,0	-8,2	190
4	100	3,40	47,2	-8,1	260
5	100	3,55	50,0	-7,8	310

Hiện tượng này được xác định là fading phanh ở mức độ nhẹ, khi hệ số ma sát giữa má phanh và đĩa phanh bị suy giảm do nhiệt độ cao làm thay đổi tính chất bề mặt tiếp xúc. Mặc dù vậy, hệ thống vẫn duy trì được khả năng giảm tốc an toàn, chưa xuất hiện mất phanh hoặc suy giảm đột ngột lực phanh.

b) Phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả phanh



Hình 4.14: Đồ thị ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả phanh

Phân tích theo từng mức nhiệt hình 4.14 cho thấy hiệu quả phanh có sự phân hóa rõ rệt. Trong vùng nhiệt độ từ 80°C đến khoảng 190°C, hệ thống gần như không chịu ảnh hưởng đáng kể, các thông số phanh giữ ổn định, chứng tỏ vật liệu ma sát hoạt động trong vùng làm việc tối ưu.

Khi nhiệt độ tăng lên trên 250°C, cơ chế suy giảm bắt đầu xuất hiện. Sự thay đổi tính chất của vật liệu ma sát dẫn đến giảm mô-men phanh sinh ra tại bánh xe, kéo theo

gia tốc chậm dần giảm và thời gian dừng xe tăng lên. So sánh giữa hai lần phanh cuối cho thấy khi nhiệt độ tăng từ 260°C lên 310°C, hiệu quả phanh giảm tương ứng với sự tăng quãng đường dừng xe từ 47,2 m lên 50,0 m.

c) Kiểm tra khả năng tản nhiệt của hệ thống phanh

Phân tích theo từng mức nhiệt cho thấy hiệu quả phanh có sự phân hóa rõ rệt (bảng 4.8). Trong vùng nhiệt độ từ 80°C đến khoảng 190°C, hệ thống gần như không chịu ảnh hưởng đáng kể, các thông số phanh giữ ổn định, chứng tỏ vật liệu ma sát hoạt động trong vùng làm việc tối ưu.

Khi nhiệt độ tăng lên trên 250°C, cơ chế suy giảm bắt đầu xuất hiện. Sự thay đổi tính chất của vật liệu ma sát dẫn đến giảm mô-men phanh sinh ra tại bánh xe, kéo theo gia tốc chậm dần giảm và thời gian dừng xe tăng lên. So sánh giữa hai lần phanh cuối cho thấy khi nhiệt độ tăng từ 260°C lên 310°C, hiệu quả phanh giảm tương ứng với sự tăng quãng đường dừng xe từ 47,2 m lên 50,0 m.

Gia tốc phanh giảm từ khoảng −8,3 m/s² xuống −7,8 m/s², trong khi quãng đường dừng xe tăng nhẹ từ 47,2 m lên 50,0 m, phản ánh sự ảnh hưởng trực tiếp của nhiệt độ đến hệ số ma sát vật liệu phanh. Tuy vậy, hệ thống vẫn duy trì được khả năng kiểm soát chuyển động và ABS tiếp tục làm việc ổn định trong toàn bộ chu trình.



Hình 4.15 Phanh bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ

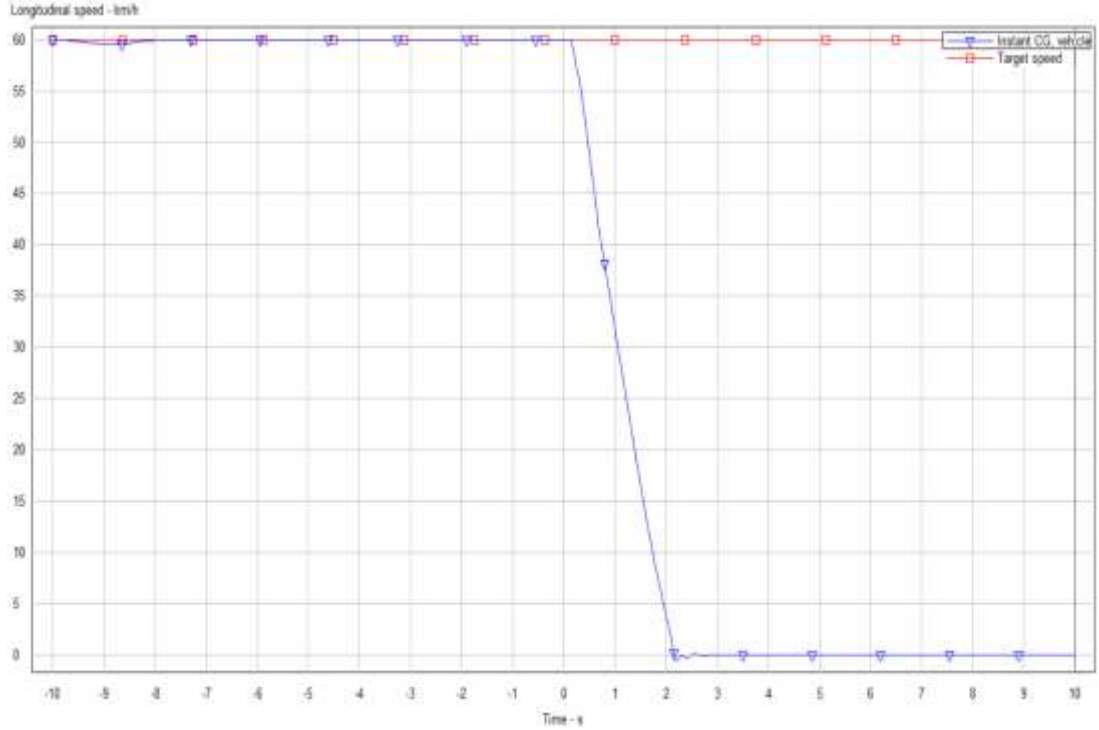
Chương 5: PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG PHANH

5.1. Phân tích dữ liệu mô phỏng

Sau khi hoàn thành các kịch bản mô phỏng trên Carsim, các dữ liệu động lực học của xe được xuất dưới dạng đồ thị và bảng số liệu nhằm phục vụ quá trình phân tích hiệu suất hệ thống phanh.

5.1.1. Phân tích biểu đồ vận tốc xe

a) Phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô



Hình 5.1: Biểu đồ vận tốc xe phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô

Quan sát Hình 5.1 cho thấy trước thời điểm phanh (t = 0 s), vận tốc xe được duy trì ổn định ở mức xấp xỉ 60 km/h. Đường vận tốc gần như nằm ngang, chứng tỏ xe chuyển động đều và chưa chịu tác động của lực phanh.

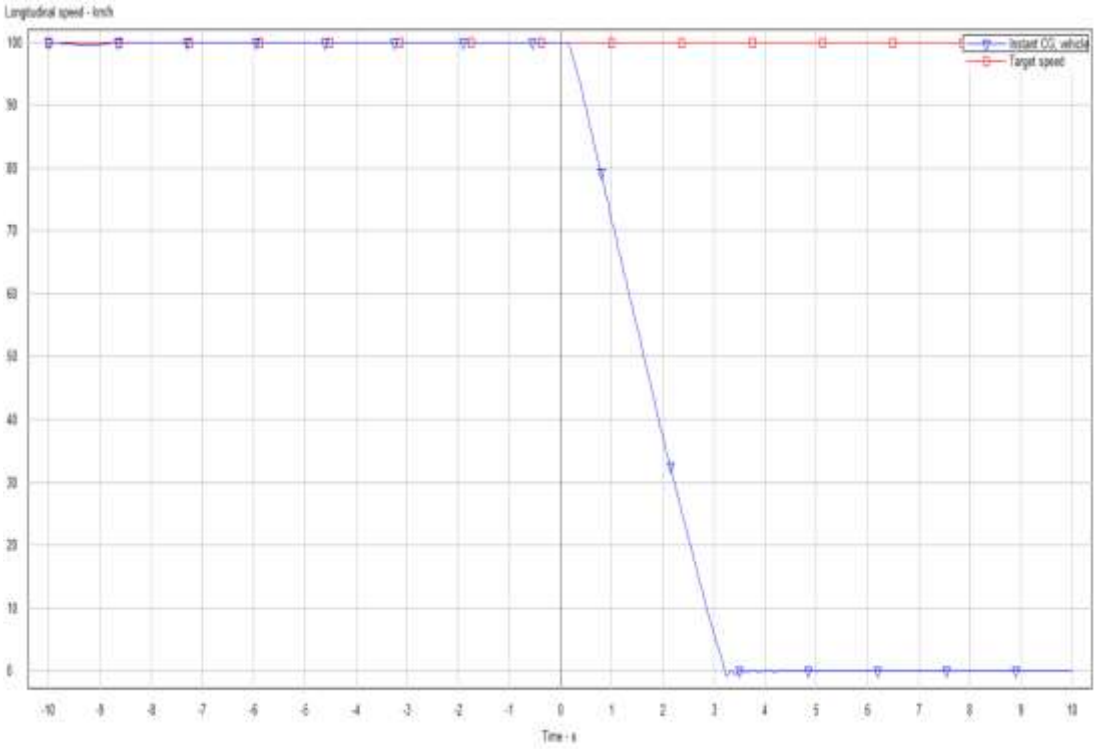
Ngay sau khi người lái tác động phanh tại t = 0 s, vận tốc xe bắt đầu giảm rất nhanh. Trong khoảng từ 0 s đến 1 s, vận tốc giảm từ 60 km/h xuống khoảng 38 km/h, tương ứng mức giảm khoảng 22 km/h. Đây là giai đoạn hệ thống phanh tạo lực hãm lớn nhất, tận dụng hiệu quả độ bám cao của mặt đường khô.

Từ 1 s đến khoảng 2,1 s, vận tốc tiếp tục giảm mạnh từ 38 km/h xuống 0 km/h. Độ dốc của đường cong vận tốc vẫn duy trì ở mức lớn và tương đối đồng đều, cho thấy quá trình giảm tốc diễn ra ổn định. Xe dừng hoàn toàn sau khoảng 2,1 s kể từ khi bắt đầu phanh.

Sau khi dừng, vận tốc dao động rất nhỏ quanh giá trị 0 km/h trước khi ổn định hoàn toàn. Dao động này xuất hiện do quá trình tính toán số trong mô hình mô phỏng và không ảnh hưởng đến kết quả đánh giá hiệu quả phanh.

Biểu đồ cho thấy xe giảm tốc nhanh và liên tục trong toàn bộ quá trình phanh, không xuất hiện các đoạn vận tốc tăng trở lại hoặc dao động lớn. Điều này chứng tỏ hệ thống phanh hoạt động ổn định và duy trì được lực phanh hiệu quả trên mặt đường khô. Thời gian dừng xe ngắn cho thấy khả năng khai thác lực bám giữa lốp và mặt đường đạt hiệu quả cao.

b) Phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô



Hình 5.2: Biểu đồ vận tốc xe phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô

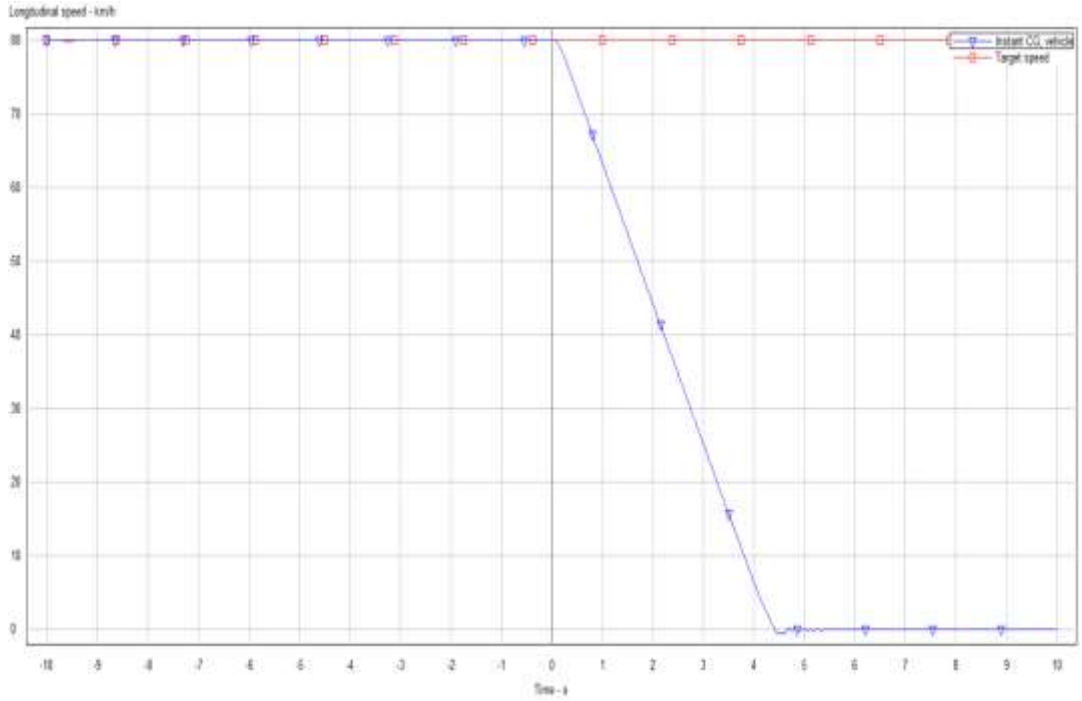
Trước khi tiến hành phanh, xe duy trì trạng thái chuyển động ổn định quanh giá trị 100 km/h, đường biểu diễn vận tốc gần như song song với trục thời gian. Tại thời điểm t xấp xỉ 0 s, hệ thống phanh được kích hoạt, đánh dấu sự chuyển đổi sang giai đoạn giảm tốc. Từ thời điểm này, vận tốc bắt đầu giảm theo xu hướng liên tục và có dạng đường cong tương đối trơn. (hình 5.2)

Xe dừng hoàn toàn tại khoảng t ≈ 3,3 s, thời gian dài hơn so với trường hợp phanh từ 60 km/h là điều phù hợp với mức năng lượng động học ban đầu lớn hơn đáng kể. Quá trình giảm tốc kéo dài cho thấy hệ thống phanh phải làm việc trong khoảng thời gian dài hơn để chuyển hóa toàn bộ động năng thành nhiệt năng tại cơ cấu phanh.

Ở giai đoạn cuối của quá trình phanh, đường cong vận tốc xuất hiện một số dao động nhỏ. Đây là đặc trưng thường gặp khi hệ thống ABS bắt đầu can thiệp mạnh hơn

để duy trì độ trượt bánh xe trong vùng tối ưu. Các dao động này không làm gián đoạn quá trình giảm tốc mà chỉ thể hiện sự điều chỉnh liên tục giữa trạng thái tăng và giảm áp suất phanh nhằm tránh hiện tượng khóa bánh khi xe gần dừng.

c) Phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt

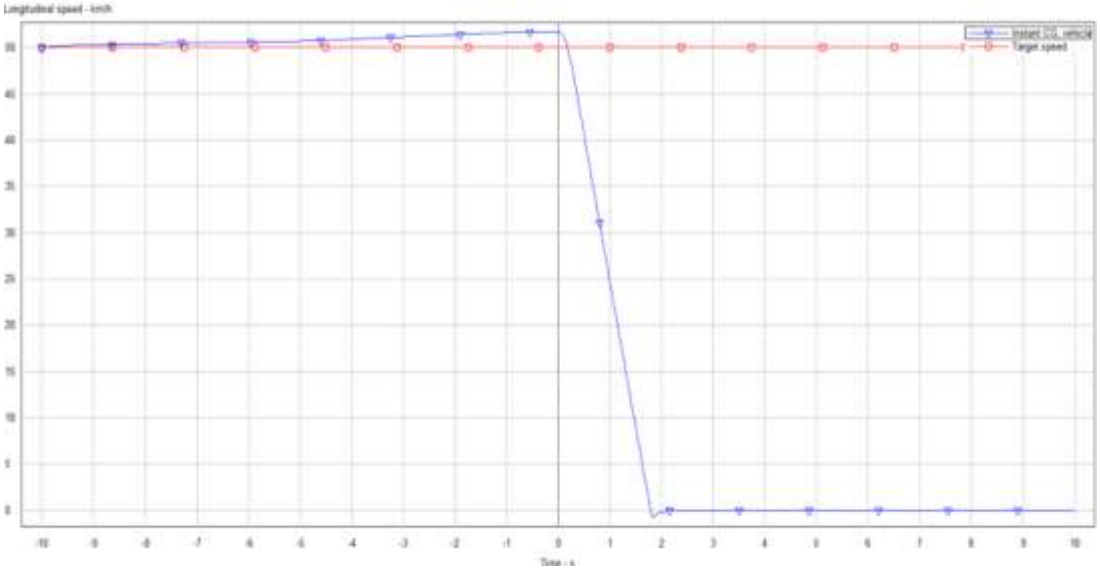


Hình 5.3: Biểu đồ vận tốc xe phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt

Trước khi phanh, xe duy trì ổn định ở mức khoảng 80 km/h, đường biểu diễn gần như không biến thiên. (hình 5.3)

- Giai đoạn trước khi phanh: Xe chuyển động ổn định ở vận tốc 80 km/h, tốc độ gần như không thay đổi và bám sát giá trị đặt ban đầu.
- Giai đoạn giảm tốc: Sau khi tác động phanh, vận tốc giảm nhanh và liên tục từ 80 km/h xuống 0 km/h trong khoảng 4,7 s. Đường cong vận tốc giảm tương đối đều, cho thấy quá trình phanh diễn ra ổn định và hệ thống ABS làm việc hiệu quả.
- Giai đoạn dừng xe: Sau khi vận tốc giảm về 0 km/h, xe dừng hoàn toàn và duy trì trạng thái đứng yên. Không xuất hiện dao động vận tốc đáng kể hoặc hiện tượng mất ổn định sau khi dừng xe.

d) Phanh khi đi vào cua với vận tốc 50 km/h



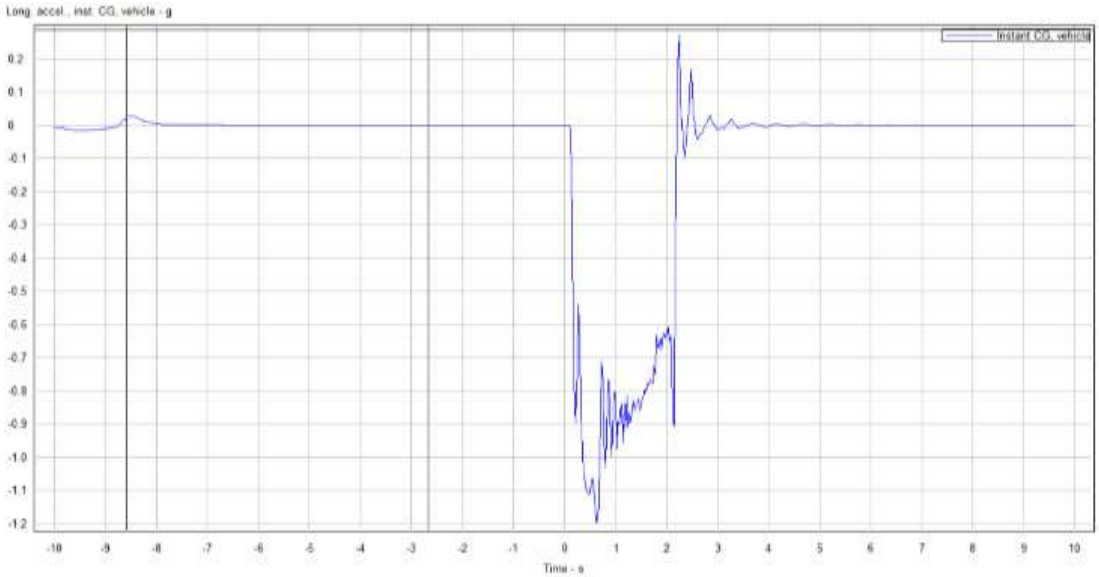
Hình 5.4: Biểu đồ vận tốc xe phanh khi đi vào cua với vận tốc 50 km/h

Trước khi phanh, xe duy trì vận tốc ổn định quanh mức 50 km/h, đường biểu diễn gần như phẳng, trạng thái chuyển động đều trong khi xe đang ôm cua. Tại thời điểm t ≈ 0 s, khi hệ thống phanh được kích hoạt, vận tốc bắt đầu giảm ngay lập tức với độ dốc lớn, phản ánh lực hãm được tạo ra nhanh và có cường độ cao. Quá trình giảm tốc diễn ra ngắn, xe dừng hoàn toàn sau khoảng 1,9s.(hình 5.4)

Ở giai đoạn cuối, khi vận tốc tiến gần về 0, quá trình giảm tốc vẫn diễn ra mượt, không xuất hiện hiện tượng trượt kéo dài hoặc mất ổn định thân xe. Điều này cho thấy hệ thống điều khiển đã kiểm soát tốt sự chuyển đổi trạng thái từ chuyển động sang dừng hẳn, tránh được các dao động không mong muốn thường xuất hiện khi xe dừng.

5.1.2. Phân tích biểu đồ gia tốc chậm dần

a) Xe phanh khẩn cấp vận tốc 60km/h trên đường khô



Hình 5.5: Biểu đồ gia tốc chậm dần khi xe phanh kịch bản 1

Biểu đồ (hình 5.5) phản ánh rõ đặc tính làm việc của hệ thống phanh ABS khi khai thác gần ngưỡng bám của lốp. Đây là điều kiện mà lực ma sát giữa lốp và mặt đường đủ lớn để tạo ra gia tốc giảm tốc mạnh, đồng thời hệ thống điều khiển phải liên tục điều chỉnh để tránh khóa bánh.

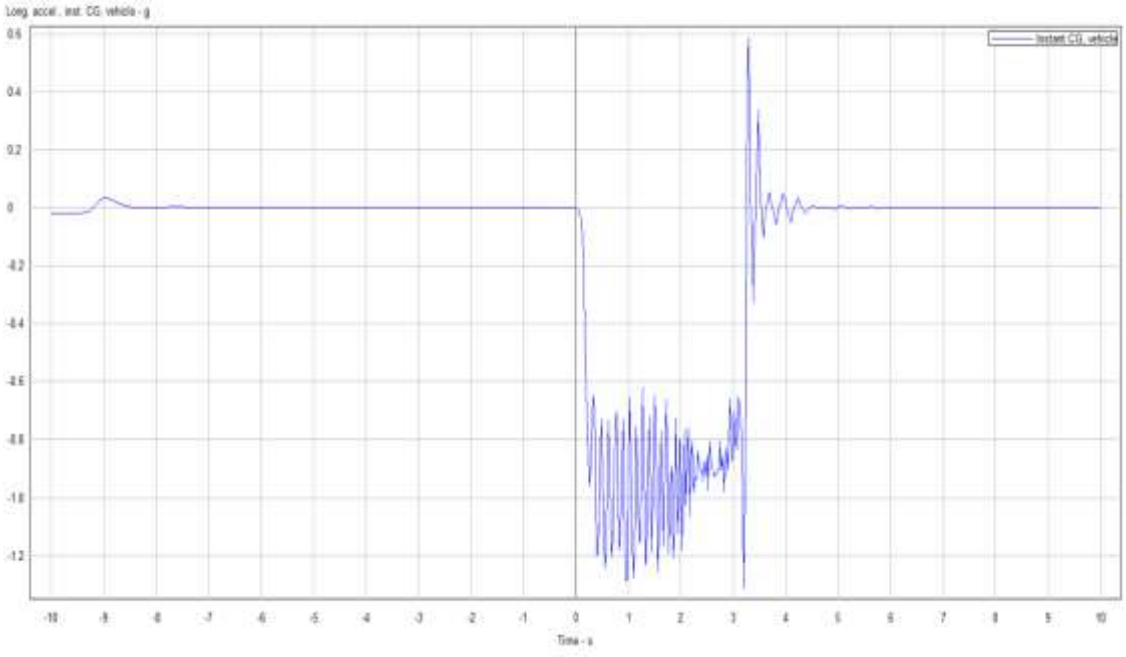
Trong giai đoạn đầu sau khi phanh được kích hoạt, gia tốc giảm nhanh và đạt giá trị cực đại khoảng −1,2 g. Đây là mức gia tốc âm lớn trong các kịch bản khảo sát, cho thấy hệ thống phanh có khả năng tạo lực hãm rất mạnh khi điều kiện bám đường thuận lợi.

Tuy nhiên, từ khoảng 0,3 s đến gần 2,0 s, biểu đồ xuất hiện dao động rõ rệt. Biên độ dao động thay đổi liên tục theo chu kỳ tăng – giảm gia tốc, cho thấy quá trình ABS can thiệp để điều chỉnh áp suất phanh diễn ra liên tục. Đây là giai đoạn bánh xe liên tục chuyển đổi giữa trạng thái bám và trượt nhẹ, và hệ thống ABS phải thực hiện các chu kỳ nhả – siết áp suất để giữ độ trượt trong vùng tối ưu.

Sau khi xe dừng hoàn toàn, biểu đồ xuất hiện dao động hồi phục với giá trị dương khoảng +0,25 g. Hiện tượng này thường liên quan đến quá trình cân bằng lại lực tại hệ thống treo và khung xe khi tải trọng động thay đổi đột ngột về trạng thái tĩnh.

Đối với hệ thống ABS, giai đoạn hoạt động mạnh tập trung chủ yếu từ 0,3 s đến khoảng 2 s. Trong khoảng thời gian này, áp suất phanh được điều chỉnh liên tục theo chu kỳ ngắn, phản ánh đúng nguyên lý điều khiển nhằm duy trì độ trượt tối ưu.

b) Xe phanh khẩn cấp với vận tốc 100km/h đường khô



Hình 5.6: Biểu đồ gia tốc chậm dần khi xe phanh khẩn cấp kịch bản 2

Biểu đồ gia tốc trong trường hợp xe phanh từ vận tốc 100 km/h trên mặt đường

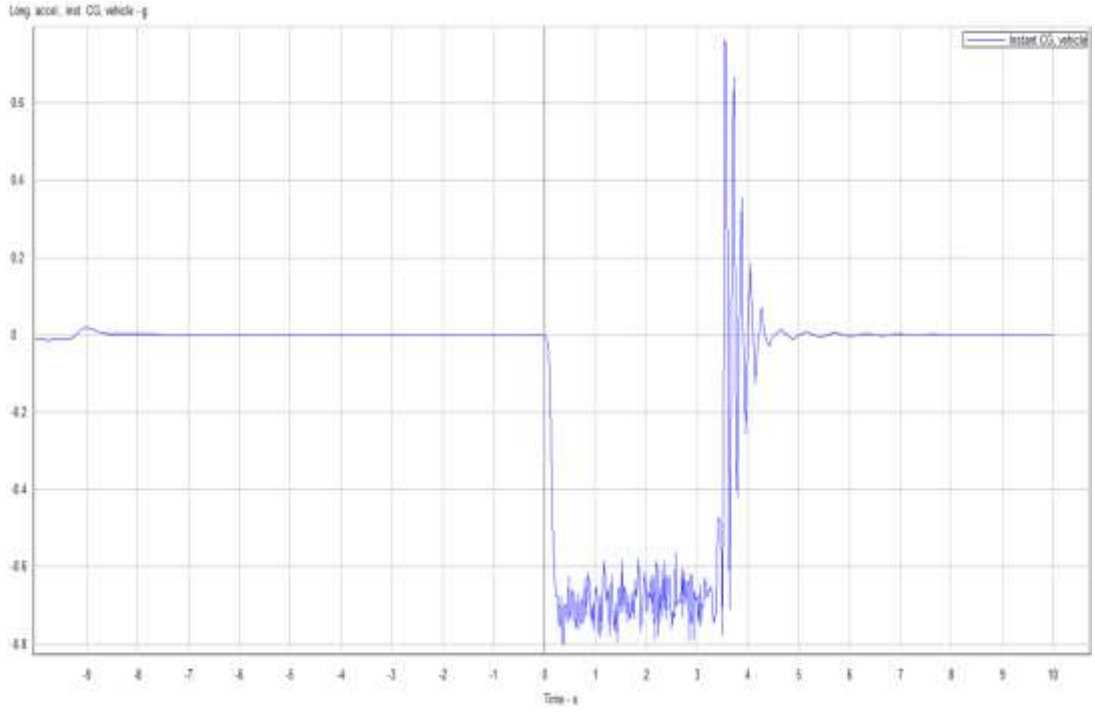
khô (hình 5.6) cho thấy mức độ làm việc cường độ cao của hệ thống phanh khi phải xử lý lượng động năng lớn trong thời gian ngắn. So với các kịch bản tốc độ thấp hơn, đặc trưng nổi bật của trường hợp này là biên độ dao động gia tốc lớn và kéo dài trong toàn bộ quá trình giảm tốc.

Ngay sau khi phanh được kích hoạt, gia tốc giảm nhanh và duy trì trong khoảng từ −0,7 g đến −1,3 g. Khoảng dao động này xuất hiện liên tục, không có giai đoạn ổn định rõ rệt, cho thấy hệ thống luôn ở trạng thái điều chỉnh động. Việc biên độ thay đổi rộng phản ánh bánh xe liên tục tiến sát ngưỡng bám, khiến ABS phải can thiệp thường xuyên để ngăn hiện tượng khóa cứng. (hình 5.6)

Trong suốt quá trình phanh, đồ thị không xuất hiện đoạn phẳng kéo dài, thay vào đó là các chu kỳ dao động nối tiếp nhau. Điều này thể hiện rõ việc áp suất phanh được điều chỉnh liên tục theo từng thời điểm, thay vì giữ cố định trong một khoảng dài. Có thể thấy hệ thống đang làm việc gần giới hạn bám của lốp, nên chỉ cần thay đổi nhỏ về tốc độ bánh xe cũng đủ kích hoạt phản ứng điều khiển.

Ở giai đoạn kết thúc, sau khi xe dừng hoàn toàn, xuất hiện đỉnh gia tốc hồi phục lên gần +0,6 g. Đây là phản ứng mang tính quán tính của toàn hệ thống khi lực phanh bị triệt tiêu đột ngột, kết hợp với sự đàn hồi của hệ thống treo và khung gầm. Dạng dao động này thường rõ hơn trong các trường hợp phanh gấp từ tốc độ cao do năng lượng tích lũy lớn.

c) Xe phanh khẩn cấp với vận tốc 80km/h đường ướt



Hình 5.7: Biểu đồ gia tốc chậm dần khi xe phanh khẩn cấp kịch bản 3

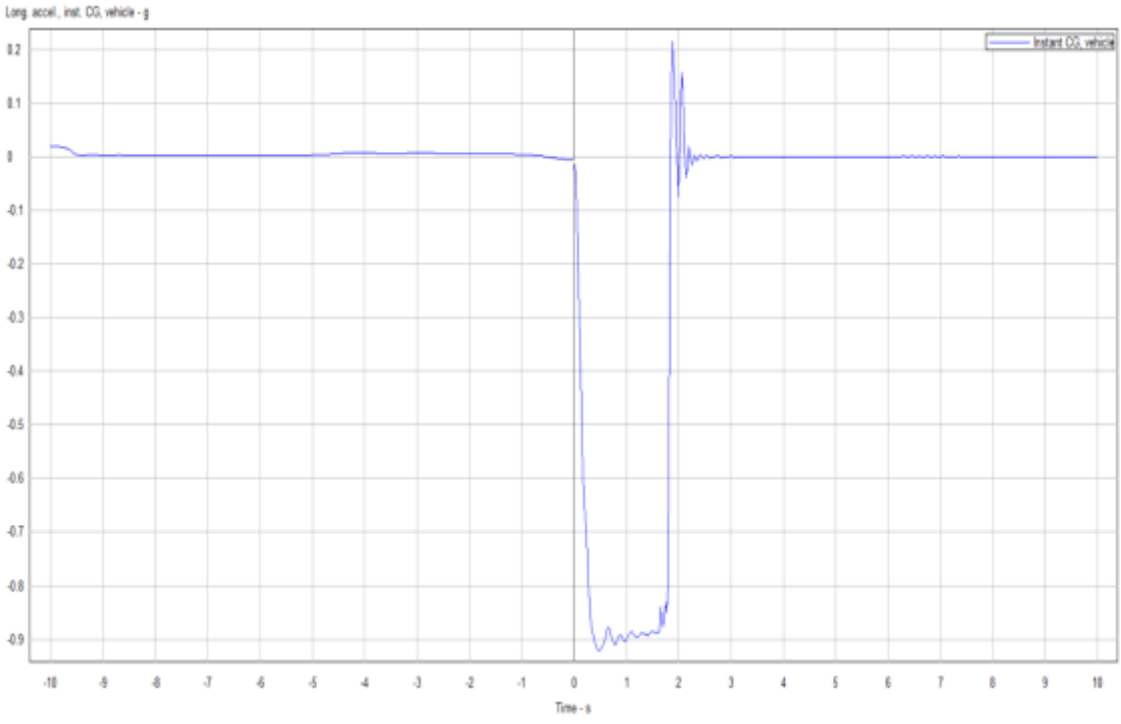
Biểu đồ (hình 5.7) cho thấy một đặc trưng khá khác biệt so với các kịch bản trên đường khô. Ở đây, hệ thống không còn làm việc trong trạng thái khai thác tối đa lực bám, mà chuyển sang vùng điều khiển ổn định hơn do giới hạn ma sát thấp của mặt đường.

Ngay sau khi phanh được kích hoạt, gia tốc chậm dần thiết lập quanh mức trung bình khoảng −0,7 g và duy trì tương đối đều trong suốt quá trình giảm tốc. Khác với các trường hợp đường khô, biên độ dao động không lớn và không xuất hiện các biến thiên đột ngột kéo dài. Điều này phản ánh việc lực bám đã bị giới hạn, khiến bánh xe khó đạt đến trạng thái trượt mạnh như trên mặt đường khô, từ đó giảm tần suất can thiệp sâu của ABS.

Trong toàn bộ giai đoạn phanh, đồ thị cho thấy xu hướng giảm tốc mang tính "mềm", không có các đỉnh nhọn hay dao động mạnh liên tiếp. Điều này thường xuất hiện khi hệ thống phanh không thể tạo ra lực hãm quá lớn do điều kiện bám thấp, dẫn đến quá trình giảm tốc diễn ra theo hướng ổn định hơn nhưng kéo dài hơn so với mặt đường khô.

Ở giai đoạn kết thúc, khi xe dừng hoàn toàn, xuất hiện một dao động ngắn với biên độ khoảng +0,75 g trước khi hệ thống trở về trạng thái ổn định. Đây là phản ứng mang tính chuyển tiếp của hệ thống khi lực phanh bị giải phóng và tải trọng động thay đổi nhanh trong thời điểm xe dừng hẳn. Tuy nhiên, dao động này có thời gian tồn tại ngắn và không ảnh hưởng đến trạng thái ổn định tổng thể của xe.

d) Xe phanh khi đi vào cua với vận tốc 50km/h



Hình 5.8: Biểu đồ gia tốc chậm dần xe phanh kịch bản 4

Biểu đồ (hình 5.8) cho thấy trạng thái làm việc tương đối ổn định của hệ thống phanh trong điều kiện kết hợp giữa lực dọc và lực ngang. So với các kịch bản phanh thẳng, đặc trưng nổi bật ở trường hợp này là mức gia tốc ổn định và biên độ dao động rất thấp trong suốt quá trình giảm tốc.

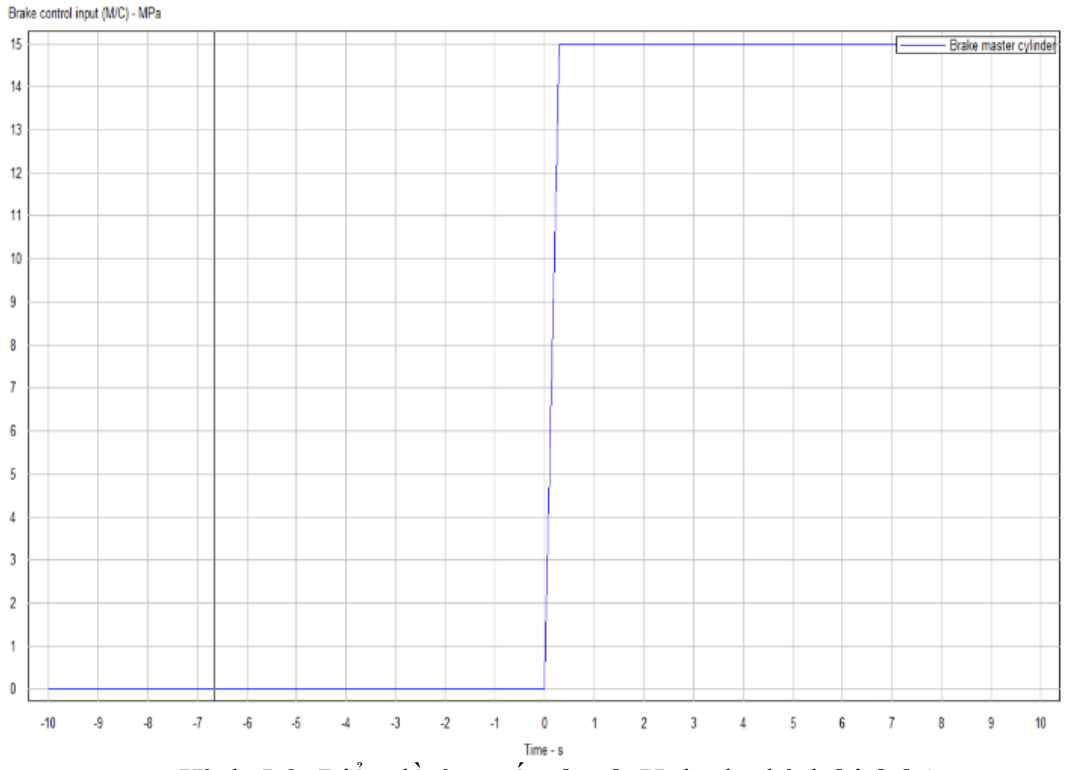
Ngay khi bắt đầu phanh, gia tốc nhanh chóng thiết lập quanh mức −0,9 g và duy trì gần như không thay đổi đáng kể trong toàn bộ giai đoạn giảm tốc. Đường đặc tính thể hiện dạng tương đối phẳng, ít biến thiên, cho thấy lực phanh được phân bổ đều và không xuất hiện các chu kỳ điều chỉnh mạnh. Điều này phản ánh hệ thống đang làm việc trong vùng bám thuận lợi, nơi lốp có khả năng duy trì đồng thời lực ngang khi vào cua và lực dọc khi phanh mà không bị vượt giới hạn ma sát.

Sau khi xe dừng hoàn toàn, biểu đồ chỉ xuất hiện một đỉnh dao động nhỏ khoảng +0,2 g trước khi trở về trạng thái cân bằng. Biên độ này rất thấp, phản ánh sự ổn định tốt của toàn bộ hệ thống khung gầm và treo khi tải trọng động chuyển về trạng thái tĩnh. Không có dấu hiệu dao động kéo dài hoặc phản ứng quá mức của thân xe.

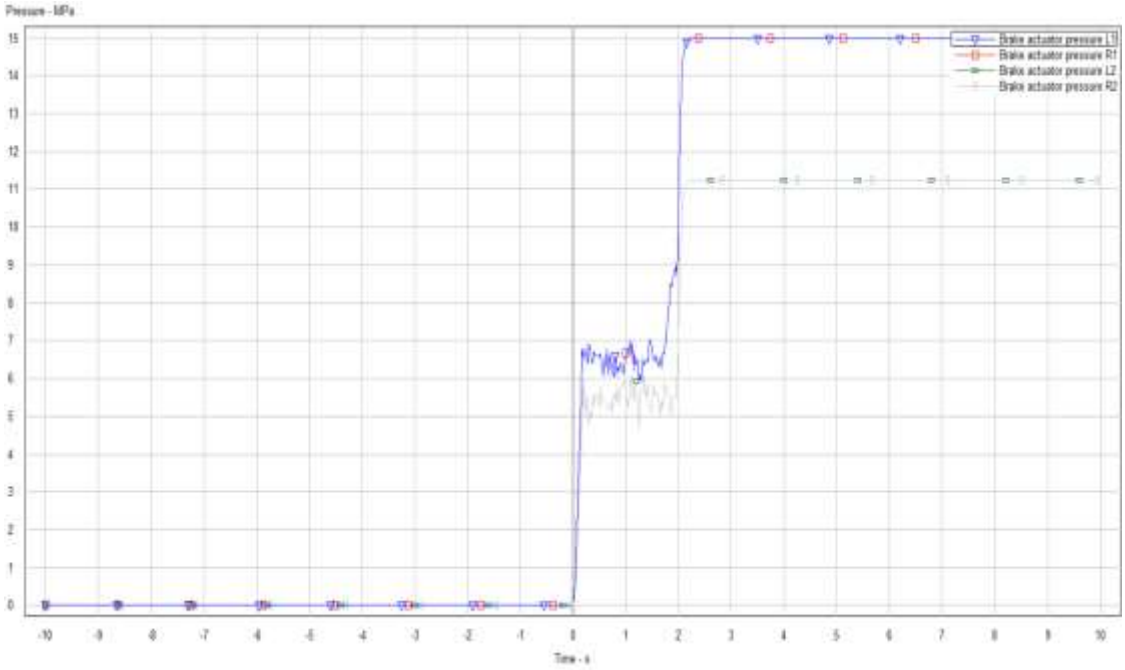
Xét về hiệu quả phanh, gia tốc duy trì ở mức cao và ổn định quanh −0,9 g cho thấy xe vẫn đạt được khả năng giảm tốc mạnh trong khi đang vào cua. Điều này chứng minh hệ thống phanh có thể khai thác tốt điều kiện bám đường mà không làm ảnh hưởng đến quỹ đạo chuyển động.

5.1.3. Phân tích biểu đồ áp suất phanh

a) Áp xuất phanh kịch bản 1



Hình 5.9: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính kịch bản 1



Hình 5.10: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe kịch bản 1

- **Phân tích biểu đồ áp suất xi lanh chính (hình 5.9)**

Biểu đồ áp suất tại xi lanh chính cho thấy sự thay đổi mang tính đặc trưng của quá trình phanh khẩn cấp. Tại thời điểm t = 0 s, áp suất tăng đột ngột từ 0 MPa lên xấp xỉ 15 MPa và sau đó được duy trì ổn định trong toàn bộ thời gian khảo sát.

Trước thời điểm phanh (t < 0 s), áp suất bằng 0 MPa, tương ứng với trạng thái xe chuyển động ổn định và hệ thống phanh chưa được kích hoạt. Khi người lái tác động lên bàn đạp phanh, áp suất tăng gần như tức thời, cho thấy hệ thống thủy lực phản hồi nhanh và không xuất hiện độ trễ đáng kể trong quá trình truyền lực.

Việc áp suất duy trì ổn định ở mức 15 MPa sau khi đạt cực đại phản ánh trạng thái người lái giữ lực phanh lớn và liên tục. Đây cũng chính là điều kiện biên đầu vào quan trọng để hệ thống ABS thực hiện các thuật toán điều khiển áp suất tại từng bánh xe.

Xi lanh chính hoạt động ổn định, đảm bảo cung cấp đủ áp suất cần thiết cho toàn bộ quá trình phanh khẩn cấp và tạo điều kiện để hệ thống ABS làm việc chính xác.

- **Phân tích áp suất tại các cơ cấu chấp hành ABS (hình 5.10)**

Biểu đồ áp suất phanh tại các bánh xe (L1, R1, L2, R2) phản ánh rõ quá trình điều khiển áp suất của hệ thống ABS trong suốt quá trình phanh.

Giai đoạn trước khi phanh (t < 0 s): Áp suất dầu trong các mạch phanh tại cả bốn bánh xe đều bằng 0 MPa, cho thấy hệ thống chưa tạo lực phanh và xe đang chuyển động ổn định dưới tác dụng của quán tính.

Giai đoạn thiết lập lực phanh (0 – 0,5 s): Ngay sau khi người lái tác động lên bàn đạp phanh, áp suất thủy lực tại các bánh xe tăng rất nhanh và đạt giá trị xấp xỉ 15 MPa. Sự gia tăng áp suất gần như tức thời chứng tỏ hệ thống thủy lực có khả năng đáp ứng nhanh, cơ cấu chấp hành hoạt động hiệu quả và quá trình truyền áp suất diễn ra với độ trễ không đáng kể. Nhờ đó, mô-men phanh được hình thành nhanh chóng, tạo lực hãm cần thiết để giảm tốc xe.

Giai đoạn ABS điều chỉnh áp suất (0,5 – 2 s): Khi bánh xe có xu hướng tiến gần đến trạng thái bó cứng, hệ thống ABS bắt đầu can thiệp bằng cách liên tục điều chỉnh áp suất dầu trong các xi lanh phanh. Áp suất tại các bánh dao động trong khoảng từ 4 MPa đến 15 MPa theo chu trình lặp lại gồm các pha tăng áp, giữ áp và giảm áp. Dạng dao động này là đặc trưng của quá trình điều khiển ABS, cho thấy bộ điều khiển liên tục theo dõi tốc độ quay của bánh xe và điều chỉnh áp suất phanh nhằm duy trì độ trượt trong vùng tối ưu. Nhờ đó, bánh xe không bị khóa cứng, khả năng bám đường được duy trì và xe vẫn giữ được tính ổn định cũng như khả năng điều khiển hướng trong suốt quá trình phanh.

Khi bánh xe có xu hướng tiến tới trạng thái khóa, áp suất được giảm xuống để khôi phục khả năng lăn. Ngược lại, khi bánh xe trở về vùng bám ổn định, áp suất được tăng trở lại nhằm đảm bảo hiệu quả phanh. Chu trình này diễn ra với tần số cao và liên tục trong suốt giai đoạn giảm tốc.

Cơ chế này giúp bánh xe không bị khóa cứng, đồng thời duy trì được khả năng điều khiển hướng của xe trong quá trình phanh.

- **So sánh áp suất giữa các bánh xe**

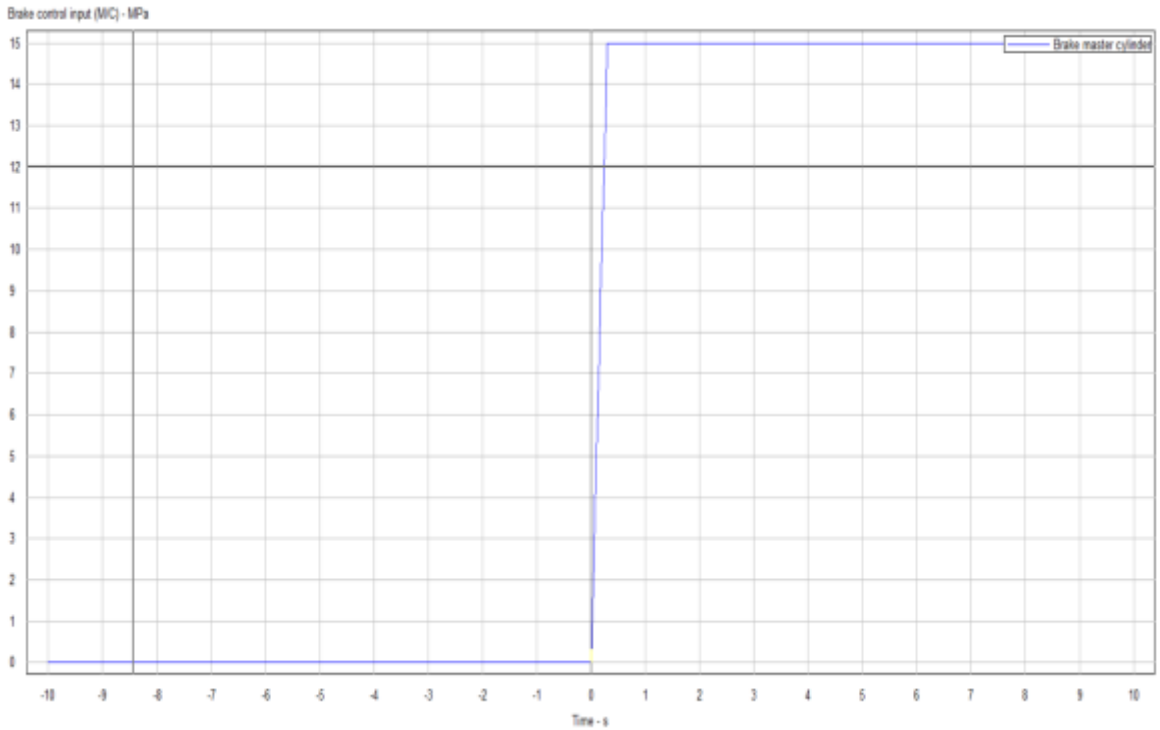
Quan sát đồng thời các kênh áp suất cho thấy giá trị giữa các bánh không hoàn toàn đồng nhất, với chênh lệch dao động khoảng 1–2 MPa tại một số thời điểm.

Sự sai khác này xuất phát từ điều kiện bám không đồng đều giữa các bánh xe trong mô hình Split-μ, dẫn đến việc từng bánh xe có xu hướng đạt ngưỡng trượt tại các thời điểm khác nhau. Hệ thống ABS vì vậy phải thực hiện điều khiển độc lập trên từng kênh thay vì điều khiển đồng loạt.

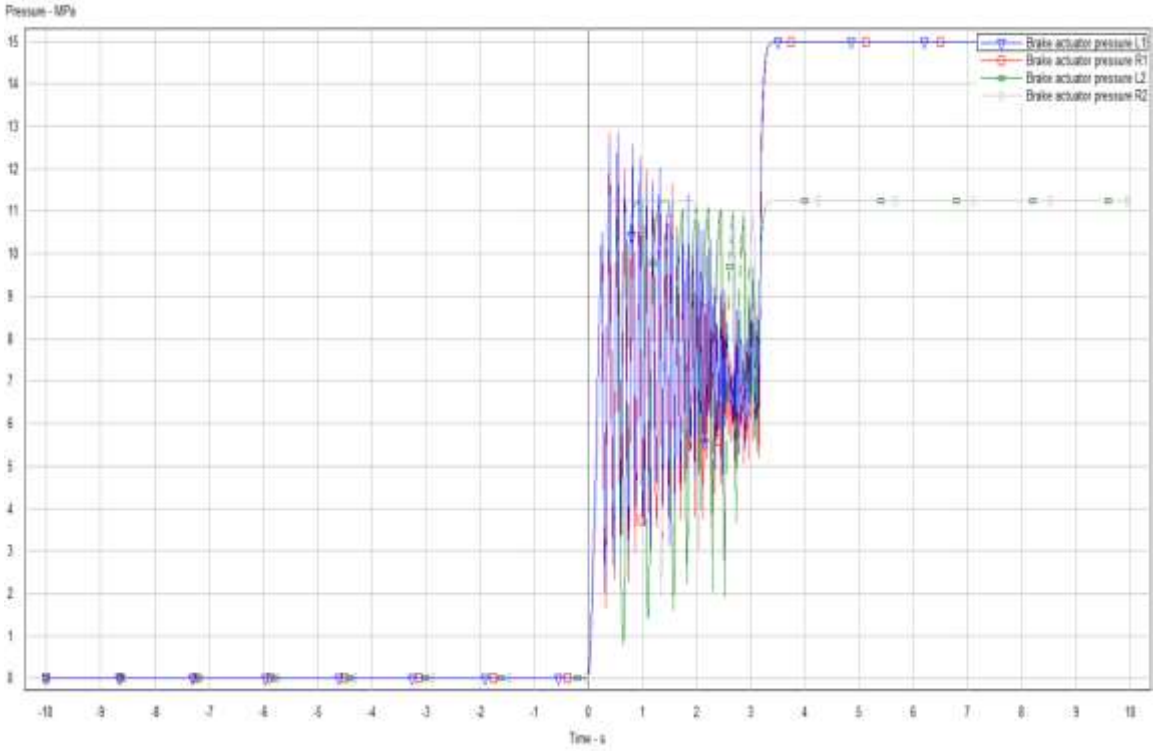
Kết quả phân tích cho thấy áp suất tại xi lanh chính tăng nhanh lên khoảng 15 MPa ngay khi bắt đầu phanh và được duy trì ổn định trong suốt quá trình mô phỏng. Trong khi đó, áp suất tại các cơ cấu chấp hành bánh xe dao động trong khoảng 4 – 15 MPa do sự điều khiển liên tục của hệ thống ABS.

Các chu kỳ tăng áp, giữ áp và giảm áp diễn ra liên tục với tần suất cao nhằm ngăn chặn hiện tượng khóa bánh và duy trì độ trượt tối ưu. Đồng thời, sự chênh lệch áp suất giữa các bánh phản ánh khả năng điều khiển độc lập theo từng kênh, giúp hệ thống thích ứng với điều kiện bám không đồng nhất của mặt đường.

b) Áp xuất phanh kịch bản 2



Hình 5.11: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính kịch bản 2



Hình 5.12: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe *kịch bản 2*

- **Phân tích biểu đồ áp suất xi lanh chính (hình 5.11)**

Biểu đồ áp suất tại xi lanh chính cho thấy trạng thái làm việc điển hình của hệ thống phanh trong tình huống phanh khẩn cấp. Trước thời điểm t ≈ 0 s, áp suất duy trì ở

mức 0 MPa, tương ứng với trạng thái xe đang chuyển động tự do và chưa có tác động từ hệ thống phanh.

Ngay khi người lái bắt đầu tác động lên bàn đạp phanh, áp suất tăng gần như tức thời lên khoảng 15 MPa. Quá trình tăng áp diễn ra nhanh, không có độ trễ đáng kể, cho thấy hệ thống thủy lực phản hồi trực tiếp và hiệu quả với lực điều khiển từ người lái.

Sau khi đạt giá trị cực đại, áp suất được duy trì ổn định trong suốt thời gian còn lại của quá trình mô phỏng. Điều này phản ánh việc người lái giữ nguyên lực phanh, tạo điều kiện để hệ thống ABS làm việc trên một tín hiệu đầu vào ổn định.

Đánh giá xi lanh chính hoạt động ổn định, đảm bảo cung cấp áp suất đủ lớn và liên tục, không xuất hiện dao động hay sụt áp bất thường trong toàn bộ quá trình phanh.

- **Phân tích áp suất tại bộ chấp hành ABS (hình 5.12)**

Biểu đồ áp suất tại các bánh xe thể hiện rõ quá trình điều khiển của hệ thống ABS thông qua các kênh áp suất riêng biệt.

Giai đoạn trước phanh ($t < 0$ s): Áp suất tại tất cả các bánh bằng 0 MPa, xe duy trì trạng thái chuyển động ổn định.

Giai đoạn bắt đầu phanh (0 – 0,5 s): Áp suất tăng nhanh tại tất cả các bánh, hình thành mô-men phanh gần như đồng thời. Điều này cho thấy hệ thống van thủy lực có thời gian đáp ứng ngắn, đảm bảo truyền áp suất hiệu quả từ xi lanh chính đến cơ cấu phanh tại từng bánh xe.

Giai đoạn ABS can thiệp (0,5 – 2,5 s): Trong giai đoạn này, áp suất xuất hiện dao động rõ rệt, dao động trong khoảng 2 MPa đến 13 MPa với tần số cao. Đây là biểu hiện trực tiếp của chu trình điều khiển ABS gồm ba trạng thái: tăng áp, giữ áp và giảm áp.

Giai đoạn cuối phanh: Sau khi quá trình điều khiển kết thúc, áp suất có xu hướng ổn định trở lại. Một số bánh duy trì mức khoảng 15 MPa, trong khi một số bánh khác ở mức thấp hơn khoảng 11 MPa. Sự chênh lệch này phản ánh việc hệ thống phân bổ áp suất theo điều kiện bám thực tế của từng bánh xe thay vì điều khiển đồng nhất.

- **Đánh giá hoạt động của hệ thống điều chỉnh áp suất**

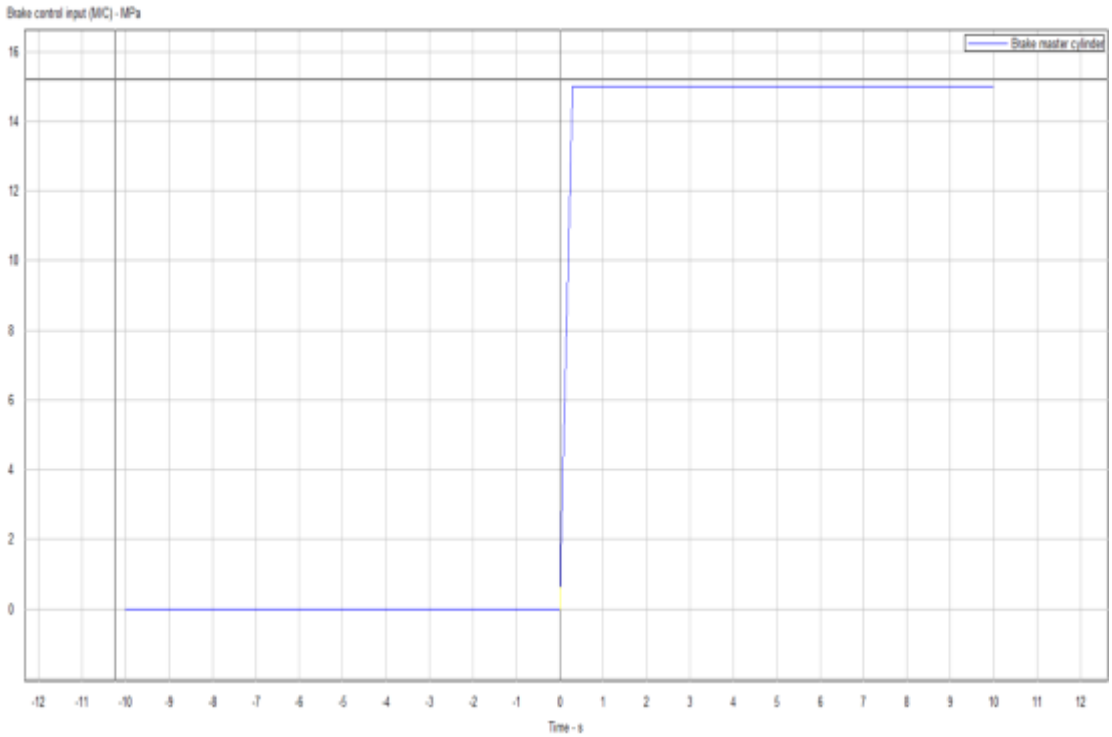
Từ kết quả biểu đồ có thể nhận thấy hệ thống điều khiển áp suất làm việc liên tục và có độ nhạy cao. Áp suất được điều chỉnh nhanh, không xuất hiện hiện tượng mất áp hoặc gián đoạn trong quá trình truyền lực.

ABS thực hiện điều khiển theo từng kênh bánh xe, cho phép phân bổ áp suất độc lập tùy theo điều kiện bám. Điều này giúp hạn chế nguy cơ lệch hướng khi phanh, đặc biệt trong các tình huống mặt đường không đồng nhất.

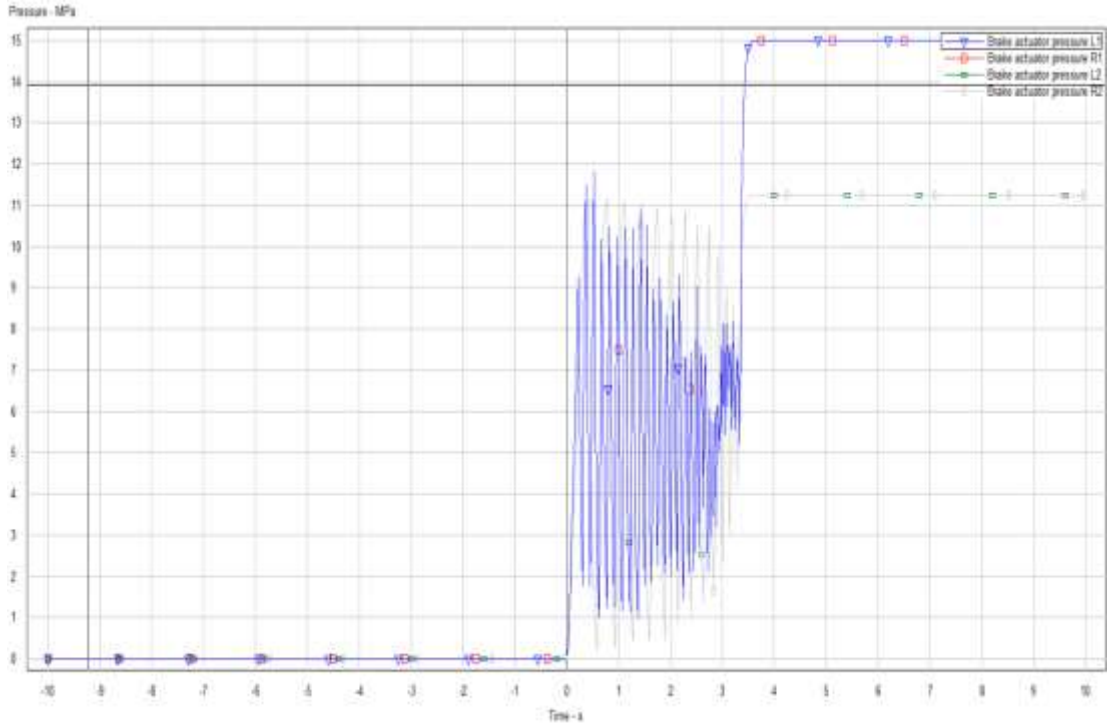
Trong toàn bộ quá trình, bánh xe vẫn duy trì khả năng bám đường tốt, không xuất hiện hiện tượng khóa cứng hay trượt kéo dài. Nhờ đó, xe giữ được sự ổn định về hướng chuyển động và cân bằng thân xe trong điều kiện phanh khẩn cấp.

Kết quả phân tích cho thấy xi lanh chính tạo ra áp suất ổn định khoảng 15 MPa ngay khi bắt đầu phanh, đảm bảo đủ điều kiện cho quá trình giảm tốc khẩn cấp. Trong khi đó, bộ chấp hành ABS liên tục điều chỉnh áp suất tại các bánh xe thông qua các chu kỳ tăng áp, giữ áp và giảm áp, tạo nên đặc trưng dao động rõ rệt trên biểu đồ.

c) Áp xuất phanh Kịch bản 3



Hình 5.13: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính *kịch bản 3*



Hình 5.14: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe kịch bản 3

- **Phân tích biểu đồ áp suất xi lanh chính (hình 5.13)**

Biểu đồ áp suất tại xi lanh chính cho thấy trạng thái làm việc đặc trưng của hệ thống trong điều kiện phanh khẩn cấp. Trước thời điểm t ≈ 0 s, áp suất duy trì ở mức khoảng 1 MPa, phản ánh trạng thái xe đang chuyển động ổn định với tác động phanh chưa đáng kể.

Ngay khi bắt đầu phanh, áp suất tăng đột ngột lên khoảng 15 MPa trong thời gian rất ngắn và sau đó được giữ ổn định trong suốt quá trình mô phỏng. Quá trình tăng áp có độ dốc lớn, cho thấy hệ thống thủy lực phản hồi nhanh và gần như không có độ trễ giữa tác động của người lái và áp suất tạo ra trong hệ thống.

Việc áp suất duy trì ổn định sau khi đạt giá trị cực đại chứng tỏ người lái giữ lực phanh không đổi, tạo điều kiện thuận lợi để hệ thống ABS thực hiện quá trình điều khiển. Đồng thời, không xuất hiện hiện tượng sụt áp hay dao động bất thường, cho thấy xi lanh chính làm việc ổn định và tin cậy trong toàn bộ chu trình phanh.

- **Phân tích áp suất tại bộ chấp hành ABS (hình 5.14)**

Biểu đồ áp suất tại các bánh xe phản ánh rõ cơ chế điều khiển của hệ thống ABS trong quá trình phanh.

Giai đoạn trước phanh (t < 0 s): Áp suất tại tất cả các bánh gần như bằng 0 MPa, xe duy trì trạng thái chuyển động tự do.

Giai đoạn bắt đầu phanh (0 – 0,3 s): Áp suất tăng nhanh theo tín hiệu từ xi lanh chính, tạo ra mô-men phanh tức thời tại các bánh xe. Điều này cho thấy cơ cấu chấp hành thủy lực phản ứng nhanh và đảm bảo truyền lực hiệu quả từ hệ thống điều khiển đến cơ cấu phanh.

Giai đoạn ABS can thiệp (0,3 – 3,2 s): Trong giai đoạn này, áp suất dao động trong khoảng 2 MPa đến 12 MPa với các chu kỳ tăng – giữ – giảm diễn ra liên tục. Đây là đặc trưng điển hình của quá trình điều khiển ABS nhằm duy trì độ trượt bánh xe trong vùng tối ưu.

Giai đoạn cuối phanh: Sau khi kết thúc quá trình điều khiển, áp suất tại các bánh có xu hướng phân hóa rõ rệt. Một số bánh đạt mức khoảng 15 MPa, trong khi một số bánh duy trì quanh 11 MPa. Sự khác biệt này phản ánh cơ chế điều khiển độc lập của ABS, tùy theo điều kiện bám thực tế tại từng bánh xe.

- **Đánh giá hoạt động của hệ thống điều chỉnh áp suất**

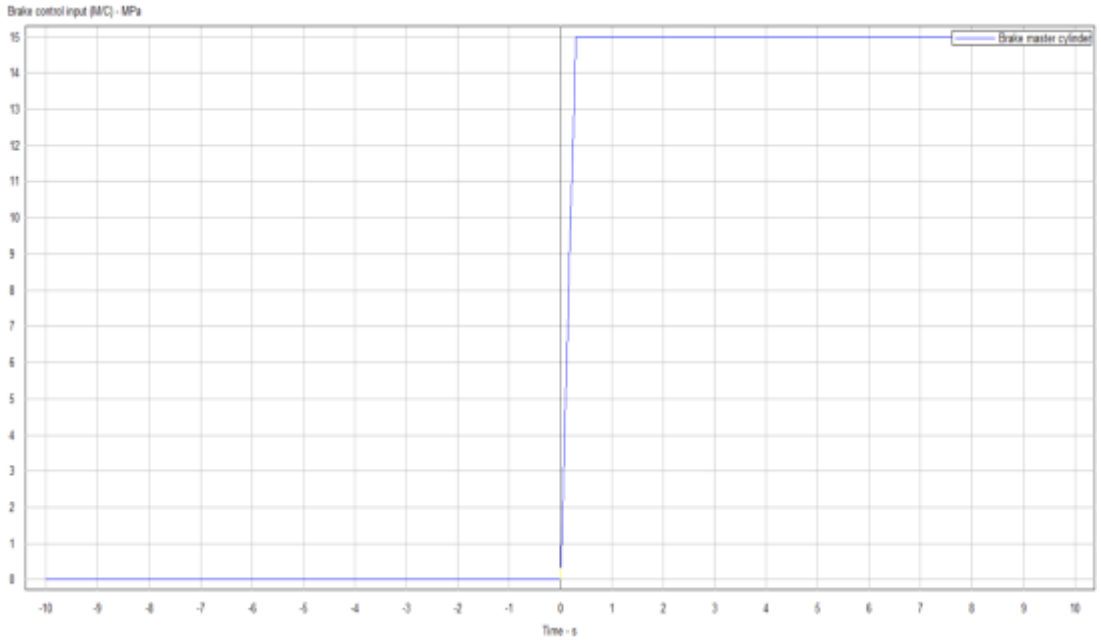
Từ kết quả biểu đồ có thể nhận thấy hệ thống điều khiển áp suất hoạt động với tốc độ phản ứng cao và tính ổn định tốt. Áp suất được điều chỉnh liên tục theo từng chu kỳ mà không xuất hiện hiện tượng mất áp hoặc gián đoạn trong quá trình truyền lực.

ABS thực hiện điều khiển theo từng kênh bánh xe, cho phép phân bổ áp suất phù hợp với điều kiện bám khác nhau. Cơ chế này giúp hạn chế nguy cơ mất ổn định hướng

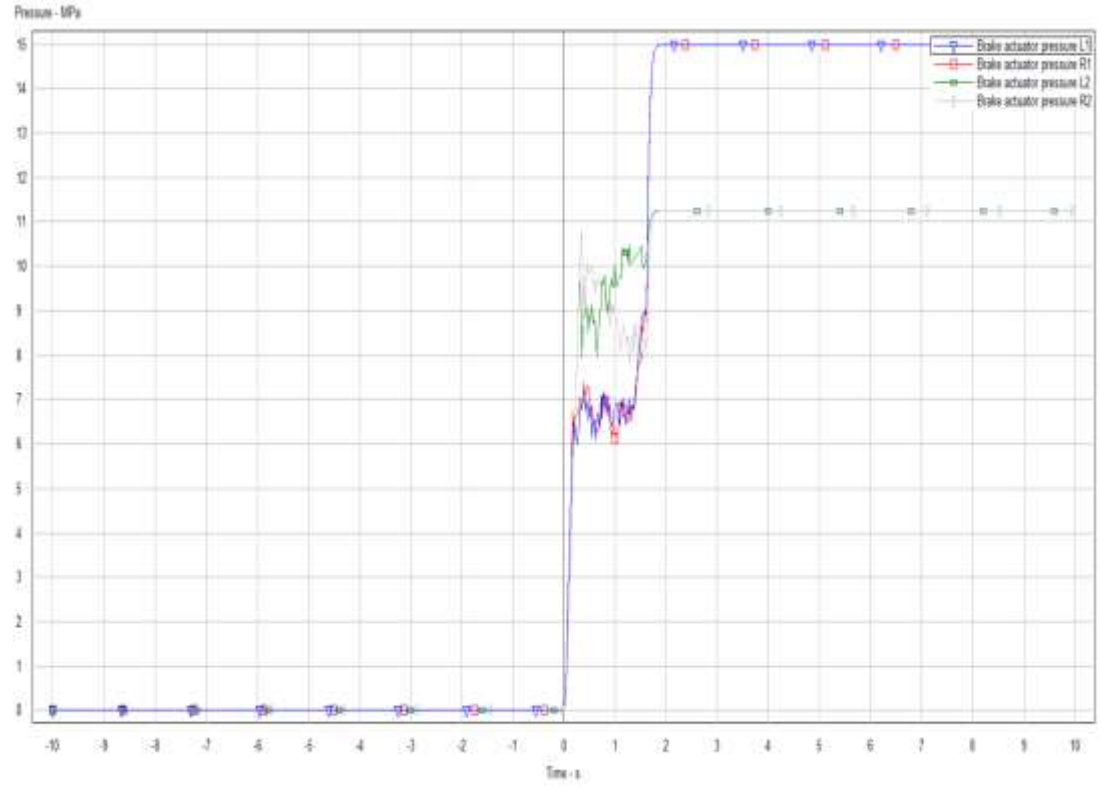
khi phanh, đặc biệt trong các tình huống lực bám không đồng đều giữa các bánh.

Khi phân tích ta thấy xi lanh chính tạo áp suất nhanh, đạt khoảng 15 MPa ngay khi phanh và duy trì ổn định trong toàn bộ quá trình thử nghiệm. Đồng thời, hệ thống ABS liên tục điều chỉnh áp suất tại các bánh xe thông qua chu kỳ tăng áp, giữ áp và giảm áp, tạo nên các dao động đặc trưng trên biểu đồ.

d) Áp xuất phanh kịch bản 4



Hình 5.15: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh chính kịch bản 4



Hình 5.16: Biểu đồ áp xuất phanh Xylanh bánh xe kịch bản 4

- **Phân tích biểu đồ áp suất xi lanh chính (hình 5.15)**

Quan sát biểu đồ áp suất xi lanh chính cho thấy trước thời điểm $t < 0$ s, áp suất trong hệ thống gần như bằng 0 MPa, tương ứng với trạng thái xe đang chuyển động bình thường và chưa có tác động phanh.

Khi người lái bắt đầu tác động lên bàn đạp phanh tại $t \approx 0$ s, áp suất tăng rất nhanh lên mức khoảng 15 MPa. Sau khi đạt giá trị cực đại, áp suất được duy trì ổn định trong toàn bộ thời gian phanh mà không xuất hiện dao động hay sụt giảm đáng kể.

Diễn biến này phản ánh khả năng đáp ứng nhanh của xi lanh chính, đảm bảo quá trình chuyển đổi từ lực cơ học của người lái sang áp suất thủy lực diễn ra tức thời và ổn định. Đồng thời, việc duy trì áp suất ở mức cao cho thấy người lái giữ lực phanh gần như không đổi trong suốt quá trình giảm tốc.

- **Phân tích áp suất tại bộ chấp hành ABS (hình 5.16)**

Trên biểu đồ áp suất tại các bánh xe, có thể nhận thấy áp suất không tăng trực tiếp lên mức 15 MPa như tại xi lanh chính, mà xuất hiện dao động rõ rệt trong khoảng thời gian từ 0,5 s đến khoảng 2 s.

Cụ thể, áp suất tại bánh trước trái (L1) và bánh trước phải (R1) dao động trong khoảng 6–9 MPa, trong khi bánh sau (L2 và R2) dao động ở mức cao hơn, khoảng 8–11 MPa. Sự chênh lệch này phản ánh đặc tính phân bố lực phanh không đồng đều giữa cầu trước và cầu sau, đồng thời thể hiện quá trình điều khiển riêng biệt theo từng kênh của hệ thống ABS.

Nhờ cơ chế này, bánh xe không bị khóa cứng và vẫn duy trì khả năng quay trong suốt quá trình phanh, qua đó đảm bảo khả năng điều khiển hướng của xe.

- **Đánh giá hoạt động của hệ thống điều chỉnh áp suất**

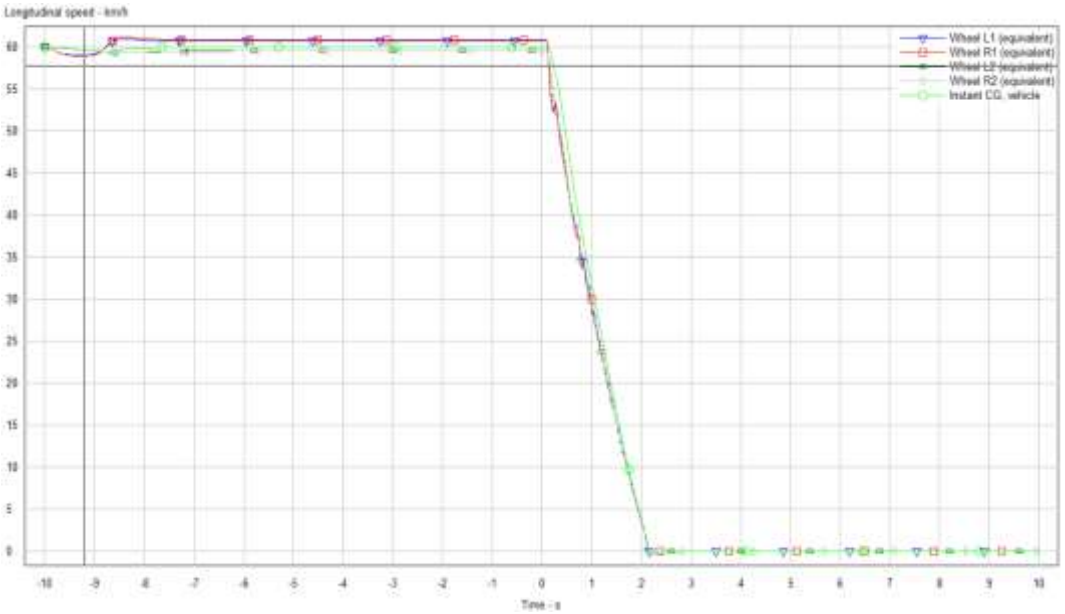
Từ diễn biến áp suất có thể thấy hệ thống ABS đã thực hiện điều chỉnh linh hoạt theo điều kiện bám của từng bánh xe. Mặc dù áp suất đầu vào từ xi lanh chính được duy trì ổn định ở mức khoảng 15 MPa, áp suất thực tế tại các bánh xe luôn thấp hơn và biến thiên liên tục nhằm tối ưu hóa lực phanh.

Khi xe giảm tốc về gần trạng thái dừng, biên độ dao động áp suất giảm dần và các giá trị áp suất có xu hướng ổn định trở lại. Điều này cho thấy hệ thống điều khiển đã dần đưa các bánh xe về trạng thái cân bằng lực, hạn chế dao động không cần thiết trong giai đoạn cuối phanh.

Kết quả mô phỏng cho thấy xi lanh chính tạo áp suất nhanh, đạt khoảng 15 MPa và duy trì ổn định trong suốt quá trình phanh. Trong khi đó, hệ thống ABS điều chỉnh áp suất tại từng bánh xe thông qua các chu trình tăng áp, giữ áp và giảm áp, tạo nên đặc trưng dao động rõ rệt trên biểu đồ.

5.1.4. Phân tích tốc độ quay bánh xe

a) Tốc độ quay bánh xe Phanh từ 60 km/h trên đường ướt



Hình 5.17: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 60 km/h trên đường ướt

- **Diễn biến tốc độ quay bánh xe trong quá trình phanh**

Biểu đồ tốc độ quay bánh xe (hình 5.17) cho thấy rõ mối quan hệ giữa chuyển động quay của bánh và tốc độ tịnh tiến của xe trong điều kiện phanh có ABS trên mặt đường ướt. Trước khi phanh được kích hoạt, tốc độ quay của các bánh xe gần như trùng khớp với tốc độ chuyển động của thân xe, duy trì ổn định quanh mức 60 km/h. Giai đoạn này phản ánh trạng thái lăn thuần túy, khi không có mô-men phanh tác động nên không xuất hiện sự sai lệch giữa bánh xe và mặt đường.

Tại thời điểm bắt đầu phanh ($t \approx 0$ s), tốc độ của tất cả các bánh xe giảm nhanh cùng với tốc độ xe. Các đường đặc tính của bánh trước và bánh sau gần như chồng lên nhau trong suốt quá trình giảm tốc, chứng tỏ lực phanh được phân bố tương đối đồng đều và không xuất hiện sự khác biệt lớn về tốc độ quay giữa các bánh.

Từ khoảng 0 s đến 2 s, tốc độ xe giảm liên tục từ 60 km/h xuống 0 km/h. Trong giai đoạn này, tốc độ quay của các bánh xe luôn bám sát tốc độ chuyển động của xe, chỉ xuất hiện sai khác rất nhỏ. Không ghi nhận hiện tượng một bánh xe giảm tốc nhanh hơn đáng kể so với các bánh còn lại hoặc giảm về 0 trước khi xe dừng hoàn toàn.

Đến khoảng $t \approx 2$ s, tốc độ của xe và tốc độ quay của các bánh xe cùng giảm về 0 gần như đồng thời. Điều này cho thấy quá trình phanh diễn ra ổn định từ khi bắt đầu giảm tốc đến khi xe dừng hẳn.

- **Phân tích trạng thái trượt và đặc tính làm việc của bánh xe**

Trong giai đoạn phanh từ 0 s đến khoảng 2 s, tốc độ quay của các bánh xe luôn thấp hơn một lượng nhỏ so với tốc độ chuyển động của xe. Chênh lệch này xuất hiện

ngay sau khi bắt đầu phanh và được duy trì tương đối ổn định trong suốt quá trình giảm tốc. Điều đó cho thấy bánh xe đã xuất hiện độ trượt phanh nhưng vẫn nằm trong giới hạn cho phép để tạo lực phanh hiệu quả.

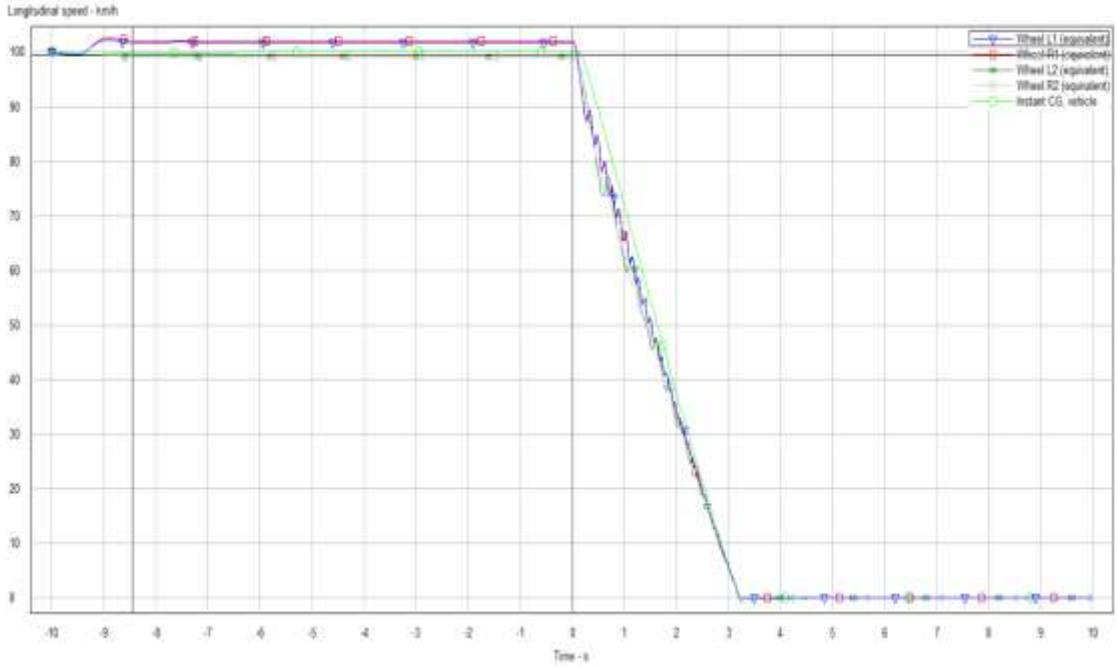
Ngoài ra, tốc độ giữa bánh trước và bánh sau có sự sai khác rất nhỏ. Các đường đặc tính gần như chồng lên nhau trong toàn bộ quá trình phanh, cho thấy lực bám của các bánh xe tương đối đồng đều và không xuất hiện hiện tượng mất bám cục bộ tại bất kỳ bánh xe nào. Điều này phản ánh trạng thái làm việc ổn định của hệ thống phanh trong điều kiện mô phỏng.

- **Đánh giá hoạt động của hệ thống ABS**

Từ thời điểm bắt đầu phanh đến khi xe dừng hẳn, tốc độ các bánh xe luôn bám sát đường tốc độ của xe và duy trì sự ổn định giữa các bánh. Mặc dù có xuất hiện sai khác nhỏ giữa tốc độ bánh xe và tốc độ xe, mức sai khác này không tăng đột biến trong quá trình giảm tốc. Điều đó cho thấy hệ thống ABS đã kiểm soát tốt quá trình phanh và duy trì khả năng bám đường của lốp.

Tại thời điểm khoảng 2 s, tất cả các bánh xe giảm về tốc độ bằng 0 gần như đồng thời với xe. Kết quả này chứng tỏ quá trình điều khiển phanh diễn ra ổn định từ đầu đến cuối, không xuất hiện hiện tượng khóa bánh hoặc mất ổn định chuyển động. Dựa trên đồ thị có thể đánh giá rằng hệ thống ABS hoạt động hiệu quả, giúp xe đạt được khả năng giảm tốc tốt trong khi vẫn duy trì trạng thái lăn của bánh xe và khả năng điều khiển hướng trong suốt quá trình phanh.

b) Tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 100 km/h



Hình 5.18: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 100 km/h

- **Diễn biến tốc độ quay bánh xe trong quá trình phanh**

Biểu đồ (hình 5.18) thể hiện sự thay đổi tốc độ quay của bốn bánh xe và tốc độ chuyển động của xe khi thực hiện phanh khẩn cấp từ vận tốc ban đầu 100 km/h. Trước thời điểm tác động phanh (t = 0 s), tốc độ các bánh xe duy trì ổn định quanh giá trị 100 km/h và gần như trùng với tốc độ xe. Sai khác giữa các bánh xe là rất nhỏ, cho thấy trạng thái chuyển động ban đầu ổn định.

Sau khi phanh được kích hoạt, tốc độ các bánh xe giảm nhanh cùng với tốc độ xe. Trong khoảng từ 0 s đến gần 3 s, tốc độ xe giảm liên tục từ 100 km/h xuống 0 km/h. Các đường đặc tính của bánh trước và bánh sau có xu hướng giảm tương tự nhau, tuy nhiên xuất hiện các dao động nhỏ trong vùng tốc độ từ khoảng 90 km/h đến 40 km/h. Đây là giai đoạn hệ thống điều chỉnh lực phanh để duy trì khả năng bám đường của bánh xe.

Đến khoảng t ≈ 3 s, tốc độ của tất cả các bánh xe giảm về 0 gần như đồng thời với tốc độ xe. Không xuất hiện hiện tượng một bánh xe dừng quay sớm hơn đáng kể so với các bánh còn lại, cho thấy quá trình giảm tốc diễn ra tương đối đồng đều trên toàn bộ xe.

- **Phân tích đặc tính trượt và quá trình điều khiển**

Quan sát đồ thị cho thấy trong giai đoạn phanh mạnh, tốc độ quay của các bánh xe không hoàn toàn trùng với tốc độ xe mà luôn xuất hiện độ chênh lệch nhất định. Mức chênh lệch này thể hiện sự tồn tại của độ trượt phanh cần thiết để sinh ra lực phanh tại vùng tiếp xúc giữa lốp và mặt đường.

Trong khoảng thời gian từ 0,5 s đến 2 s, tốc độ các bánh xe xuất hiện dao động nhỏ quanh đường tốc độ xe. Đặc biệt, các bánh trước có xu hướng giảm tốc nhanh hơn trong một số thời điểm trước khi được phục hồi trở lại. Điều này cho thấy áp suất phanh không được duy trì cố định mà liên tục thay đổi trong quá trình phanh.

Các dao động xuất hiện với biên độ tương đối nhỏ và không kéo dài. Không có thời điểm nào tốc độ bánh xe giảm đột ngột về 0 trong khi xe vẫn còn chuyển động. Đồng thời, khoảng cách giữa các đường tốc độ bánh xe và đường tốc độ xe luôn được duy trì trong giới hạn hẹp. Điều này chứng tỏ độ trượt được kiểm soát liên tục và không vượt quá ngưỡng gây mất bám.

Trạng thái làm việc của các bánh xe trong suốt quá trình phanh là trạng thái lăn có trượt được kiểm soát. Đây là điều kiện thuận lợi để tạo ra lực phanh lớn đồng thời vẫn duy trì khả năng dẫn hướng của lốp.

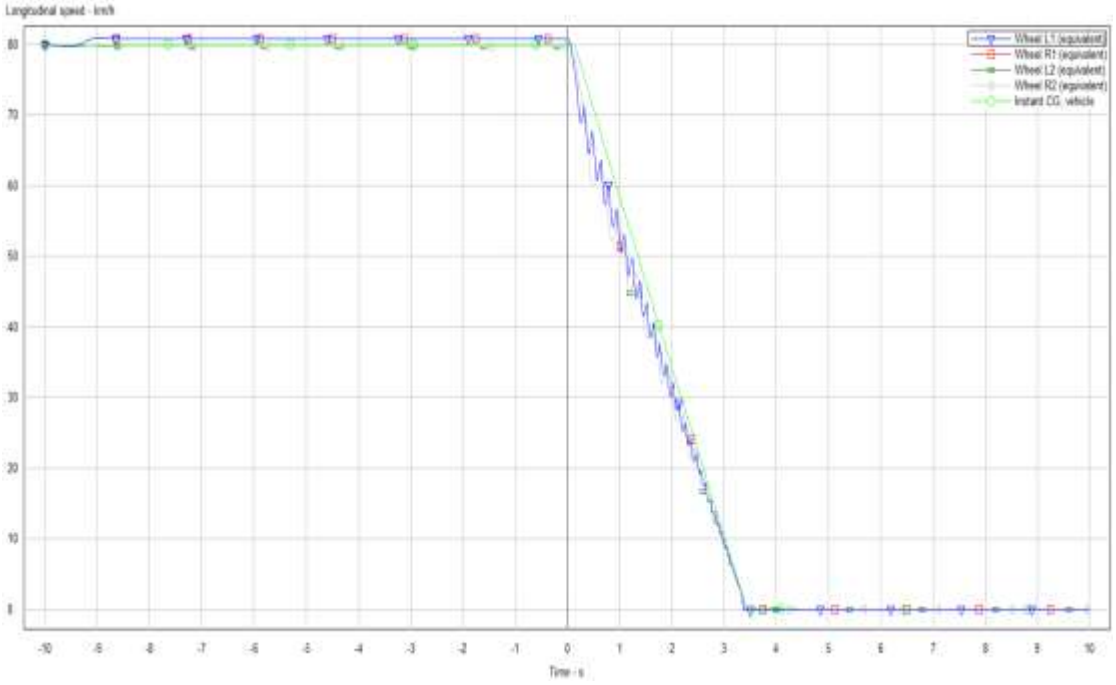
- **Đánh giá hoạt động của hệ thống ABS**

Từ đồ thị có thể nhận thấy hệ thống ABS đã hoạt động trong toàn bộ quá trình phanh khẩn cấp. Dấu hiệu rõ nhất là sự xuất hiện của các dao động nhỏ trên đường tốc độ bánh xe khi xe đang giảm tốc. Những dao động này phản ánh quá trình điều chỉnh áp suất phanh liên tục nhằm ngăn ngừa hiện tượng khóa cứng bánh xe.

Mặc dù xe giảm tốc từ 100 km/h xuống 0 km/h trong thời gian ngắn và chịu gia tốc phanh lớn, tốc độ quay của các bánh xe vẫn được duy trì gần với tốc độ thực tế của xe. Không xuất hiện bánh xe nào bị khóa hoàn toàn hoặc tách khỏi đường đặc tính tốc độ xe trong thời gian dài.

Bên cạnh đó, tốc độ các bánh xe giảm về 0 gần như đồng thời với tốc độ xe tại thời điểm kết thúc quá trình phanh. Điều này cho thấy ABS đã khai thác hiệu quả khả năng bám của mặt đường mà vẫn duy trì trạng thái làm việc ổn định của các bánh xe.

c) Tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 80 km/h



Hình 5.19: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 80 km/h

- **Phân tích diễn biến tốc độ quay bánh xe**

Trong trường hợp phanh từ vận tốc ban đầu 80 km/h, biểu đồ tốc độ quay bánh xe (hình 5.19) thể hiện rõ sự gia tăng mức độ chênh lệch giữa tốc độ quay của bánh xe và tốc độ chuyển động thực của thân xe so với các kịch bản 50 km/h và 60 km/h. Ngay tại thời điểm bắt đầu phanh, tốc độ bánh xe giảm theo xu hướng chung, tuy nhiên mức độ đồng bộ giữa bánh xe và xe thân giảm nhanh hơn, phản ánh sự ảnh hưởng rõ rệt của quán tính lớn hơn.

Trong khoảng thời gian từ 0,5 s đến 2,5 s, đường đặc tính xuất hiện liên tiếp các dao động lên xuống của tốc độ quay bánh xe. Các dao động này không mang tính ngẫu nhiên mà là hệ quả trực tiếp của quá trình điều khiển chủ động từ hệ thống ABS. Khi bánh xe có xu hướng giảm tốc nhanh hơn tốc độ xe, hệ thống lập tức giảm áp suất phanh để hạn chế xu hướng khóa bánh. Ngược lại, khi tốc độ quay phục hồi, áp suất lại được tăng lên nhằm duy trì hiệu quả giảm tốc.

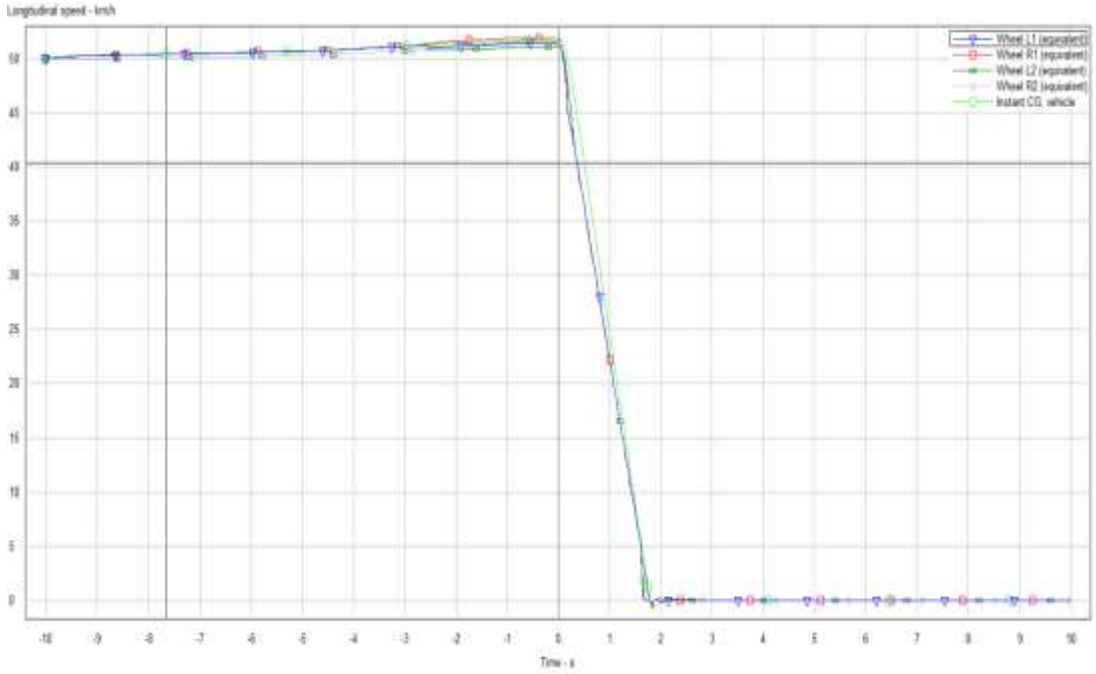
- **Đánh giá đặc tính động lực học**

Ở vận tốc 80 km/h, lực quán tính tác động lên xe lớn hơn đáng kể, kéo theo xu hướng trượt bánh xe tăng lên trong quá trình phanh. Tuy nhiên, điều đáng chú ý là độ trượt này vẫn được kiểm soát trong giới hạn cho phép, không vượt sang trạng thái khóa cứng.

ABS phải thực hiện điều chỉnh với tần suất cao hơn để duy trì trạng thái ổn định này. Điều đó được thể hiện rõ qua mật độ dao động dày hơn trên đồ thị tốc độ quay bánh xe. Mặc dù vậy, hệ thống vẫn đảm bảo bánh xe duy trì được chuyển động quay liên tục, không bị triệt tiêu tốc độ về 0 trước khi xe dừng.

Nhờ cơ chế điều khiển này, lực bám giữa lốp và mặt đường được khai thác ở mức cao, đồng thời vẫn giữ được khả năng điều khiển hướng của xe trong suốt quá trình giảm tốc.

d) Tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 50 km/h khi vào cua



Hình 5.20: Biểu đồ tốc độ quay bánh xe – Phanh từ 50 km/h khi vào cua

- **Phân tích diễn biến tốc độ quay bánh xe**

Sự thay đổi tốc độ quay của các bánh xe khi xe thực hiện phanh trong quá trình vào cua với vận tốc ban đầu khoảng 50 km/h (hình 5.20). Trước thời điểm phanh ($t < 0$ s), tốc độ các bánh xe duy trì tương đối ổn định quanh giá trị 50 km/h. Tuy nhiên, khác với trường hợp xe chạy thẳng, tốc độ giữa các bánh không hoàn toàn trùng nhau. Trong khoảng từ -3 s đến 0 s có thể quan sát thấy tốc độ bánh phải (R1) và bánh trước trái (L1) cao hơn nhẹ so với các bánh còn lại. Hiện tượng này xuất phát từ việc xe đang chuyển động trên quỹ đạo cong nên các bánh xe có bán kính quay khác nhau, dẫn đến tốc độ quay không đồng nhất giữa các bánh.

Tại thời điểm bắt đầu phanh (t ≈ 0 s), tốc độ của tất cả các bánh xe giảm rất nhanh. Các đường đặc tính gần như song song với nhau trong suốt quá trình giảm tốc, cho thấy sự suy giảm tốc độ diễn ra đồng đều giữa các bánh. Từ khoảng 50 km/h, tốc độ bánh xe giảm về gần 0 km/h sau khoảng 1,7–1,8 s, phù hợp với kết quả thời gian phanh đã xác định trong mô phỏng.

Trong giai đoạn cuối của quá trình phanh (khoảng 1,5–2 s), xuất hiện các dao động rất nhỏ quanh giá trị 0 km/h. Biên độ dao động thấp và diễn ra trong thời gian ngắn, không xuất hiện hiện tượng tốc độ của bất kỳ bánh xe nào giảm về 0 quá sớm so với các bánh còn lại. Điều này cho thấy các bánh xe vẫn duy trì trạng thái làm việc ổn định cho đến khi xe dừng hẳn.

- **Đánh giá đặc tính làm việc**

Từ đồ thị có thể nhận thấy quá trình làm việc của các bánh xe diễn ra tương đối ổn định trong toàn bộ thời gian phanh. Mặc dù xe đang chuyển động trên quỹ đạo cong, sự chênh lệch tốc độ giữa các bánh trước khi phanh chỉ ở mức nhỏ và phù hợp với đặc điểm động học của xe khi quay vòng.

Khi phanh được kích hoạt, tốc độ của các bánh xe giảm gần như đồng thời và không xuất hiện hiện tượng một bánh xe tách xa khỏi các đường đặc tính còn lại. Điều này cho thấy lực phanh được phân bố tương đối hợp lý giữa các bánh xe trong điều kiện vừa phanh vừa quay vòng.

Sự chênh lệch tốc độ giữa các bánh trong quá trình phanh được duy trì ở mức rất nhỏ. Điều này phản ánh trạng thái ổn định của xe khi vào cua, đồng thời cho thấy hệ thống điều khiển phanh đã hạn chế hiệu quả các sai lệch tốc độ giữa các bánh. Nhờ đó, xe vẫn giữ được khả năng bám quỹ đạo và không xuất hiện dấu hiệu mất ổn định trong suốt quá trình phanh.

5.2. Đánh giá hiệu suất hệ thống phanh

5.2.1. So sánh với lý thuyết và tiêu chuẩn an toàn

Kết quả mô phỏng Peugeot e-208 cho thấy:

Bảng 5.1: So sánh tiêu chuẩn Euro NCAP

Chỉ tiêu	Tiêu chuẩn tham khảo	Kết quả mô phỏng
Gia tốc chậm dần cực đại	7,5 – 9,0 m/s²	8,3 – 8,8 m/s²
Quãng đường phanh từ 80 km/h	28 – 35 m	28 – 30 m
Độ ổn định hướng	Không mất ổn định	Độ lệch < 0,3 m
ABS	Không khóa bánh	Hoạt động liên tục

- **Đối chiếu với tiêu chuẩn an toàn hiện hành**

Trong các nghiên cứu và tiêu chuẩn đánh giá hiệu quả phanh đối với xe du lịch hạng B, đặc biệt theo các bài thử nghiệm thường được tham chiếu từ Euro NCAP (bảng 5.1), khả năng phanh từ vận tốc 80 km/h trên mặt đường khô được xem là một điều kiện kiểm tra điển hình để đánh giá đồng thời hiệu quả giảm tốc và tính ổn định của hệ thống điều khiển.

Theo các tài liệu kỹ thuật [8] [12] và kết quả thử nghiệm thực tế, một xe du lịch đạt yêu cầu thường có các đặc trưng chính như sau: gia tốc chậm dần cực đại nằm trong khoảng 7,5–9,0 m/s²; quãng đường phanh từ 80 km/h dao động khoảng 28–35 m; đồng thời trong suốt quá trình phanh phải đảm bảo không xảy ra hiện tượng khóa bánh và không gây mất ổn định hướng chuyển động.

Dựa trên kết quả mô phỏng của Peugeot e-208 (bảng 4.4), các thông số thu được cho thấy mức độ tương đồng cao với dải tiêu chuẩn nêu trên. Gia tốc chậm dần cực đại đạt khoảng 8,3–8,8 m/s², nằm hoàn toàn trong vùng giá trị khuyến nghị. Quãng đường phanh ghi nhận trong khoảng 28–30 m, tiệm cận giới hạn thấp của dải tiêu chuẩn, thể hiện khả năng khai thác hiệu quả lực bám giữa lốp và mặt đường.

- **Nhận xét từ kết quả mô phỏng**

Xét trên tổng thể kết quả thu được, có thể nhận thấy hệ thống phanh của Peugeot e-208 vận hành ổn định trong toàn bộ miền làm việc được khảo sát. Giá trị gia tốc chậm dần đạt mức 8,3–8,8 m/s² phản ánh khả năng tạo lực phanh đủ lớn, đồng thời vẫn nằm trong giới hạn an toàn đối với xe du lịch hiện đại.

Quãng đường phanh từ 80 km/h dao động khoảng 28–30 m cho thấy hệ thống đã khai thác tốt điều kiện bám đường, đặc biệt khi kết hợp với cơ chế điều khiển chống bó cứng ABS. Việc duy trì độ lệch quỹ đạo nhỏ trong suốt quá trình giảm tốc chứng minh xe không xuất hiện xu hướng mất ổn định ngang hoặc sai lệch hướng đáng kể.

Hoạt động của ABS được ghi nhận là ổn định và hiệu quả, thể hiện qua khả năng ngăn ngừa khóa bánh trong mọi kịch bản mô phỏng. Song song với đó, độ ổn định hướng của xe được duy trì tốt với độ lệch nhỏ, không xuất hiện hiện tượng mất lái hay văng ngang.

5.2.2. Phân tích hoạt động ABS

- Phanh khẩn cấp từ 60 km/h trên đường khô

Kết quả mô phỏng (bảng4.1) cho thấy xe đạt gia tốc chậm dần cực đại khoảng −8,3 m/s², dừng hoàn toàn sau khoảng 2,1 s với quãng đường phanh khoảng 16,7 m. Trong suốt quá trình phanh, các bánh xe vẫn duy trì khả năng bám đường và không xuất hiện hiện tượng bó cứng.

- ABS hoạt động liên tục trong quá trình phanh.
- Gia tốc phanh cực đại đạt −8,3 m/s².

- Thời gian dừng xe khoảng 2,1 s.
- Quãng đường phanh khoảng 16,7 m.
- Độ lệch hướng nhỏ hơn 0,2 m.
- Không xảy ra hiện tượng khóa cứng bánh xe.
- Xe duy trì được tính ổn định và khả năng điều khiển hướng tốt.

Hệ thống ABS trên Peugeot e-208 hoạt động hiệu quả trong điều kiện phanh khẩn cấp trên đường khô, giúp rút ngắn quãng đường phanh đồng thời đảm bảo độ ổn định chuyển động của xe.

- **Phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên đường khô**

Do vận tốc ban đầu lớn, ABS phải thực hiện nhiều chu kỳ tăng áp – giữ áp – giảm áp hơn so với kịch bản 60 km/h. Điều này thể hiện qua trạng thái ABS hoạt động liên tục trong toàn bộ quá trình giảm tốc. Nhờ sự điều chỉnh liên tục của hệ thống, các bánh xe vẫn duy trì được khả năng quay và bám đường, không xuất hiện hiện tượng khóa cứng mặc dù gia tốc phanh cực đại đạt khoảng $-9{,}8\ m/s^2$ (bảng 4.2)

- ABS hoạt động liên tục trong toàn bộ quá trình phanh.

- Tần suất can thiệp của ABS lớn hơn so với trường hợp phanh từ 60 km/h.
- Gia tốc phanh cực đại đạt khoảng $-9{,}8\ m/s^2$, cho thấy hệ thống khai thác gần tối đa khả năng bám của mặt đường.
- Không xuất hiện hiện tượng khóa cứng bánh xe.
- Xe dừng hoàn toàn sau khoảng 3,3 s với quãng đường phanh khoảng 39,3 m.
- Độ lệch hướng nhỏ hơn 0,2 m, chứng tỏ xe vẫn duy trì được tính ổn định hướng tốt.
- ABS giúp xe vừa đạt hiệu quả giảm tốc cao vừa đảm bảo khả năng điều khiển trong điều kiện phanh ở tốc độ lớn.

Trong điều kiện phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên mặt đường khô, hệ thống ABS hoạt động hiệu quả, duy trì độ trượt bánh xe trong vùng tối ưu, ngăn ngừa hiện tượng khóa bánh và đảm bảo độ ổn định chuyển động của Peugeot e-208 trong suốt quá trình phanh.

- **Phanh khẩn cấp từ 80 km/h trên đường ướt**

Mặc dù hiệu quả phanh bị ảnh hưởng bởi điều kiện mặt đường, ABS vẫn giúp xe duy trì được khả năng điều khiển hướng và hạn chế hiện tượng trượt ngang. Điều này được thể hiện qua độ lệch hướng nhỏ hơn 0,3 m, đồng thời xe vẫn giữ được sự ổn định trong suốt quá trình giảm tốc. (bảng 4.3)

- ABS hoạt động liên tục với tần suất can thiệp cao.

- Hệ số bám thấp làm giảm khả năng tạo lực phanh cực đại.

- Gia tốc phanh cực đại chỉ đạt khoảng −4,4 m/s², thấp hơn đáng kể so với mặt đường khô.
- Thời gian dừng xe tăng lên khoảng 4,7 s.
- Quãng đường phanh đạt khoảng 56 m, lớn nhất trong các kịch bản khảo sát.
- Không xuất hiện hiện tượng khóa cứng bánh xe.
- Độ lệch hướng nhỏ hơn 0,3 m, xe vẫn duy trì được khả năng điều khiển.
- ABS phát huy vai trò rõ rệt trong điều kiện mặt đường trơn trượt.

Trong điều kiện hệ số bám thấp (μ = 0,45), hệ thống ABS đóng vai trò quyết định trong việc ngăn ngừa khóa bánh xe và duy trì khả năng điều khiển hướng. Mặc dù quãng đường phanh và thời gian phanh tăng đáng kể do giới hạn lực bám của mặt đường, xe vẫn giữ được độ ổn định chuyển động và an toàn trong quá trình phanh khẩn cấp.

- **Phanh khi vào cua với tốc độ 50 km/h**

Nhờ sự hoạt động liên tục của ABS, lực bám giữa lốp và mặt đường được khai thác hiệu quả, giúp xe đạt gia tốc chậm dần khoảng −8,3 m/s² và dừng hoàn toàn sau khoảng 1,77 s với quãng đường phanh khoảng 11,6 m. Trong suốt quá trình phanh, xe vẫn duy trì được tính ổn định với độ lệch quỹ đạo nhỏ hơn 0,15 m và góc lệch thân xe (Yaw) nhỏ hơn 1°. (bảng 4.5)

- ABS hoạt động liên tục trong toàn bộ quá trình phanh.
- Không xuất hiện hiện tượng khóa cứng bánh xe khi vào cua.
- Gia tốc chậm dần cực đại đạt khoảng −8,3 m/s².
- Thời gian phanh khoảng 1,77 s.
- Quãng đường phanh khoảng 11,6 m.
- Độ lệch quỹ đạo nhỏ hơn 0,15 m.
- Góc lệch thân xe nhỏ hơn 1°.
- Xe duy trì được khả năng bám đường và ổn định hướng chuyển động.
- ABS phối hợp hiệu quả với hệ thống ESC trong quá trình phanh khi vào cua.

Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống ABS trên Peugeot e-208 hoạt động hiệu quả trong điều kiện phanh kết hợp chuyển hướng. Hệ thống không chỉ ngăn ngừa hiện tượng khóa bánh xe mà còn góp phần duy trì độ ổn định và khả năng điều khiển của xe khi thực hiện phanh trên quỹ đạo cong.

- **Phanh liên tục để đánh giá nhiệt độ phanh**

Kết quả trong bảng 4.7 cho thấy nhiệt độ đĩa phanh tăng từ 80°C ở lần phanh thứ nhất lên khoảng 310°C ở lần phanh thứ năm. Sự gia tăng nhiệt độ này là do động năng của xe được chuyển hóa thành nhiệt năng thông qua ma sát giữa má phanh và đĩa phanh.

Mặc dù nhiệt độ đĩa phanh tăng liên tục, hệ thống ABS vẫn duy trì khả năng làm việc ổn định trong toàn bộ quá trình thử nghiệm. Các bánh xe không xuất hiện hiện

tượng khóa cứng và quá trình điều chỉnh áp suất phanh vẫn được thực hiện liên tục. Tuy nhiên, khi nhiệt độ phanh tăng cao, hiệu quả phanh bắt đầu suy giảm nhẹ. Điều này thể hiện qua việc thời gian phanh tăng từ 3,40 s lên 3,55 s, quãng đường phanh tăng từ 47,2 m lên 50,0 m và gia tốc chậm dần trung bình giảm từ −8,1 m/s² xuống còn −7,8 m/s² ở các lần phanh cuối.

- ABS hoạt động ổn định trong toàn bộ quá trình phanh liên tiếp.
- Không xuất hiện hiện tượng khóa cứng bánh xe ở bất kỳ lần phanh nào.
- Nhiệt độ đĩa phanh tăng từ 80°C lên khoảng 310°C sau các chu kỳ phanh.
- Khi nhiệt độ tăng, thời gian phanh và quãng đường phanh có xu hướng tăng nhẹ.
- Gia tốc chậm dần giảm từ khoảng −8,3 m/s² xuống −7,8 m/s².
- Hiện tượng suy giảm hiệu quả phanh do nhiệt xuất hiện nhưng chưa đáng kể.
- ABS vẫn duy trì khả năng kiểm soát độ trượt bánh xe và ổn định chuyển động.
- Hệ thống phanh đáp ứng tốt yêu cầu làm việc liên tục trong điều kiện khai thác thực tế.

Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống ABS trên Peugeot e-208 vẫn hoạt động hiệu quả khi nhiệt độ phanh tăng cao do phanh liên tục. Mặc dù hiệu quả phanh có xu hướng giảm nhẹ ở các lần phanh cuối, hệ thống vẫn duy trì được khả năng chống bó cứng bánh xe và đảm bảo tính ổn định, an toàn cho xe trong quá trình vận hành.

5.2.3. Đánh giá độ ổn định của xe

- Khi phanh trên đường khô

Kết quả mô phỏng trong Bảng 4.2 cho thấy Peugeot e-208 duy trì được độ ổn định thân xe rất tốt khi thực hiện phanh khẩn cấp từ vận tốc 100 km/h trên mặt đường khô có hệ số bám μ = 1,0. Mặc dù đây là điều kiện phanh với vận tốc cao và lực phanh lớn, xe vẫn giữ được trạng thái chuyển động ổn định trong suốt quá trình giảm tốc.

ABS hoạt động liên tục trong toàn bộ quá trình giảm tốc nhằm duy trì độ trượt bánh xe trong vùng tối ưu. Đồng thời, hệ thống ESC luôn ở trạng thái giám sát để hỗ trợ ổn định chuyển động nếu xuất hiện xu hướng mất cân bằng thân xe. Nhờ đó, Peugeot e-208 vẫn duy trì được tư thế chuyển động ổn định dù lực quán tính tác động lên xe ở mức lớn.

- Độ lệch hướng nhỏ hơn 0,2 m, cho thấy xe giữ quỹ đạo chuyển động tốt.
- Không xuất hiện hiện tượng văng đuôi hoặc lệch thân xe khi phanh.
- ABS hoạt động liên tục và không xảy ra hiện tượng khóa bánh xe.
- Gia tốc phanh cực đại đạt khoảng −9,8 m/s², phản ánh khả năng giảm tốc rất cao.
- Xe dừng hoàn toàn sau khoảng 3,3 s với quãng đường phanh khoảng 39,3 m.
- Tải trọng động được phân bố ổn định giữa các bánh xe trong quá trình phanh.

- ESC hỗ trợ duy trì ổn định chuyển động khi xe giảm tốc ở tốc độ cao.

Trong điều kiện phanh khẩn cấp từ 100 km/h trên mặt đường khô, Peugeot e-208 vẫn duy trì được độ ổn định thân xe cao. Sự phối hợp giữa ABS và ESC giúp xe giảm tốc mạnh mà không xảy ra hiện tượng mất lái, lệch hướng hay mất ổn định thân xe, đảm bảo an toàn cho người lái trong các tình huống phanh khẩn cấp.

- **Khi phanh trên vào cua**

Kết quả mô phỏng trong Bảng 4.5 cho thấy Peugeot e-208 duy trì được độ ổn định chuyển động tốt khi thực hiện phanh trong quá trình vào cua với vận tốc 50 km/h. Đây là một trong những điều kiện vận hành phức tạp do lốp xe phải đồng thời đảm nhận lực phanh theo phương dọc và lực dẫn hướng theo phương ngang.

- Độ lệch quỹ đạo nhỏ hơn 0,15 m, xe bám sát quỹ đạo mong muốn.
- Góc lệch thân xe nhỏ hơn 1°, không xuất hiện hiện tượng mất ổn định thân xe.
- ABS hoạt động liên tục và không xảy ra hiện tượng khóa cứng bánh xe.
- ESC hỗ trợ duy trì ổn định hướng chuyển động khi phanh trong lúc vào cua.
- Xe không xuất hiện hiện tượng văng đuôi hoặc trượt ngang đáng kể.
- Quá trình giảm tốc diễn ra ổn định với gia tốc phanh đạt khoảng −8,3 m/s².
- Độ ổn định của xe được đánh giá ở mức tốt theo kết quả mô phỏng.

5.3. So sánh hiệu suất phanh theo các điều kiện khác nhau

5.3.1. So sánh đường khô và đường ướt

Bảng 5.2: So sánh các chỉ số giữa đường khô và đường ướt

Điều kiện	**μ**	**Gia tốc phanh (m/s²)**	**Thời gian dừng (s)**	**Quãngđường phanh (m)**
Đường khô	0,9	≈ -8,8	≈ 2,5	≈ 28
Đường ướt	0,45	≈ -4,4	≈ 4,7	≈ 56

- **So sánh các thông số động học của quá trình phanh**

Kết quả mô phỏng (bảng 5.2) cho thấy sự khác biệt rõ rệt về hiệu quả phanh khi xe vận hành trong hai điều kiện mặt đường có hệ số bám khác nhau. Trên mặt đường khô với μ ≈ 0,9, xe đạt khả năng giảm tốc mạnh với gia tốc chậm dần khoảng −8,8 m/s², thời gian dừng xe khoảng 2,5 s và quãng đường phanh xấp xỉ 28 m. Đây là điều kiện mà lực bám giữa lốp và mặt đường đủ lớn để khai thác gần như toàn bộ khả năng sinh lực phanh của hệ thống.

Trong khi đó, khi chuyển sang điều kiện đường ướt với μ ≈ 0,45, các thông số suy giảm đáng kể. Gia tốc chậm dần chỉ còn khoảng −4,4 m/s², thời gian dừng tăng lên khoảng 4,7 s và quãng đường phanh kéo dài đến khoảng 56 m. Sự chênh lệch này cho thấy hiệu quả phanh bị giới hạn mạnh bởi điều kiện bám đường, thay vì bởi khả năng của hệ thống phanh.

- **Ảnh hưởng của hệ số bám đến quá trình giảm tốc**

Sự thay đổi của hệ số bám từ 0,9 xuống 0,45 làm giảm trực tiếp lực ma sát tiếp xúc giữa lốp và mặt đường. Khi lực bám giảm, giới hạn lực phanh cực đại cũng giảm theo, khiến xe không thể duy trì mức giảm tốc như trong điều kiện đường khô.

Trong điều kiện đường ướt, bánh xe dễ tiến gần trạng thái trượt hơn, làm cho quá trình giảm tốc không còn diễn ra tuyến tính như trên đường khô. Điều này dẫn đến việc thời gian để xe đạt trạng thái dừng hoàn toàn bị kéo dài, đồng thời quãng đường phanh tăng lên gần gấp đôi so với điều kiện tiêu chuẩn.

- **Hoạt động của hệ thống ABS trong hai điều kiện**

Sự khác biệt về điều kiện bám cũng kéo theo sự thay đổi trong tần suất hoạt động của ABS. Trên đường khô, ABS chủ yếu làm việc ở mức điều chỉnh nhẹ nhằm duy trì độ trượt trong vùng tối ưu, do bánh xe ít có xu hướng khóa.

Ngược lại, trên đường ướt, bánh xe dễ đạt ngưỡng trượt nên ABS phải làm việc với tần suất cao hơn. Các chu kỳ tăng áp – giữ áp – giảm áp diễn ra liên tục để kiểm soát trạng thái quay của bánh xe. Điều này thể hiện rõ qua các dao động xuất hiện trên đồ thị áp suất và gia tốc trong quá trình mô phỏng.

Mặc dù tần suất can thiệp tăng lên, hệ thống vẫn đảm bảo bánh xe không bị khóa cứng hoàn toàn, từ đó giữ được khả năng điều khiển hướng trong suốt quá trình phanh.

- **Ảnh hưởng đến tính ổn định của xe**

Trong cả hai điều kiện mô phỏng, xe vẫn duy trì được trạng thái ổn định chuyển động. Tuy nhiên, trên đường ướt, biên độ dao động trong quá trình giảm tốc lớn hơn so với đường khô, phản ánh sự làm việc tích cực hơn của hệ thống điều khiển.

Dù vậy, không xuất hiện hiện tượng mất ổn định kéo dài như trượt ngang hoặc khóa bánh cục bộ. Xe vẫn giữ được quỹ đạo chuyển động và khả năng kiểm soát hướng, ngay cả khi điều kiện bám giảm đáng kể.

5.3.2. So sánh theo tải trọng xe

Bảng 5.3: So sánh ảnh hưởng của tải trọng đến hiệu quả phanh Peugeot e-208 trên carsim (v = 100 km/h; μ = 1,0)

Thông số	Xe không tải (1500 kg)	Xe đầy tải (1800 kg)	Mức thay đổi
Khối lượng xe (kg)	1500	1800	+20%
Gia tốc phanh cực đại (m/s^2)	-9,8	-9,1	Giảm 7,1%
Thời gian dừng xe (s)	3,3	3,6	Tăng 9,1%

Quãng đường phanh (m)	39,3	44,8	Tăng 14,0%
Độ lệch hướng (m)	< 0,2	< 0,25	Tăng nhẹ

Khi tải trọng tăng từ 1500 kg lên 1800 kg, khối lượng toàn bộ xe tăng khoảng 20%, làm động năng cần tiêu tán trong quá trình phanh tăng đáng kể. Kết quả cho thấy quãng đường phanh tăng từ 39,3 m lên khoảng 44,8 m, tương ứng tăng khoảng 14%, trong khi thời gian dừng xe tăng từ 3,3 s lên 3,6 s. (bảng 5.3)

Gia tốc chậm dần cực đại giảm từ −9,8 m/s² xuống khoảng −9,1 m/s², cho thấy khả năng giảm tốc của xe suy giảm nhẹ khi tải trọng tăng. Nguyên nhân là lực quán tính của xe tăng nhanh hơn khả năng gia tăng lực bám giữa lốp và mặt đường.

Mặc dù hiệu quả phanh giảm nhẹ, hệ thống ABS vẫn hoạt động liên tục và duy trì khả năng kiểm soát độ trượt bánh xe. Độ lệch hướng của xe chỉ tăng không đáng kể, từ dưới 0,2 m lên dưới 0,25 m, chứng tỏ Peugeot e-208 vẫn duy trì được độ ổn định chuyển động tốt trong điều kiện đầy tải.

5.3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ phanh

- Phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ phanh

Trong các lần phanh liên tiếp cho thấy nhiệt độ đĩa phanh có xu hướng tăng dần theo chu kỳ làm việc. Từ trạng thái ban đầu khoảng 80°C, nhiệt độ tăng liên tục và đạt mức xấp xỉ 310°C ở lần phanh thứ năm. Sự gia tăng này phản ánh trực tiếp quá trình tích lũy nhiệt trong cơ cấu phanh khi năng lượng động học của xe được chuyển hóa thành nhiệt năng trong thời gian ngắn và lặp lại nhiều lần. (bảng 4.7)

Trong giai đoạn đầu (lần phanh thứ nhất đến thứ ba), hệ thống phanh vẫn duy trì được hiệu quả ổn định. Gia tốc chậm dần trung bình dao động quanh −8,2 đến −8,3 m/s², cho thấy lực phanh sinh ra gần như không bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ. Điều này chứng tỏ cơ cấu ma sát làm việc trong vùng nhiệt độ cho phép, chưa xuất hiện hiện tượng suy giảm đặc tính vật liệu.

Tuy nhiên, khi nhiệt độ tiếp tục tăng lên vùng 260°C và cao hơn, xu hướng thay đổi của các thông số động học bắt đầu thể hiện rõ. Gia tốc chậm dần giảm xuống còn −8,1 m/s² và tiếp tục giảm đến khoảng −7,8 m/s² ở lần phanh cuối. Sự thay đổi này kéo theo sự kéo dài của thời gian dừng xe cũng như quãng đường phanh, dù xe vẫn thực hiện cùng điều kiện tốc độ ban đầu 100 km/h.

Kết quả mô phỏng cho thấy nhiệt độ là một trong những yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả làm việc của hệ thống phanh trên Peugeot e-208. Khi nhiệt độ đĩa phanh nằm trong khoảng dưới 250°C, hệ thống vẫn duy trì được hiệu suất ổn định với gia tốc chậm dần gần như không thay đổi đáng kể. Tuy nhiên, khi nhiệt độ vượt ngưỡng

khoảng 300°C, hiệu quả phanh bắt đầu suy giảm, thể hiện qua sự giảm nhẹ gia tốc chậm dần và sự gia tăng tương ứng của thời gian cũng như quãng đường dừng xe.

Bảng 5.4: So sánh ảnh hưởng của nhiệt độ phanh

Thông số đánh giá	**Thông số đánh giá**
Nhiệt độ đĩa phanh ban đầu	80°C
Nhiệt độ đĩa phanh lớn nhất	310°C
Gia tốc chậm dần ở nhiệt độ thấp	≈ -8,3 m/s²
Gia tốc chậm dần ở nhiệt độ cao	≈ -7,8 m/s²
Thời gian phanh ban đầu	3,55 s
Thời gian phanh ở nhiệt độ cao	3,55 s
Quãng đường phanh ban đầu	47,2 m
Quãng đường phanh ở nhiệt độ cao	50,0 m

Chương 6: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

6.1. Tóm tắt kết quả nghiên cứu

Trong phạm vi đề tài, hệ thống phanh ô tô có trang bị ABS đã được nghiên cứu về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả phanh. Hiểu được cách cài đặt và sử dung phần mềm Carsim. Phân tích được những kịch bản mô phỏng. nhằm đánh giá đặc tính động lực học của xe trong các điều kiện vận hành khác nhau.

a) Về cơ cấu nguyên lý:

- Hệ thống phanh ô tô có trang bị ABS đã được nghiên cứu về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả phanh. Qua quá trình tìm hiểu và phân tích, có thể thấy rằng hệ thống chống bó cứng phanh ABS đóng vai trò rất quan trọng trong việc nâng cao tính an toàn khi vận hành xe. Hệ thống giúp ngăn ngừa hiện tượng khóa cứng bánh xe trong quá trình phanh gấp, duy trì khả năng điều khiển hướng chuyển động và tăng độ ổn định của xe trên nhiều loại mặt đường khác nhau.
- Đề tài đã làm rõ cấu tạo của hệ thống ABS gồm cấu tạo các hệ thống phanh Peugeot e-208. Hiểu được nguyên lý làm việc của hệ thống. Bên cạnh đó, các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả phanh như điều kiện mặt đường, tốc độ xe, tình trạng lốp, tải trọng và chất lượng bảo dưỡng hệ thống cũng đã được xem xét và đánh giá.
- Kết quả nghiên cứu cho thấy việc trang bị ABS không chỉ góp phần rút ngắn quãng đường phanh trong nhiều điều kiện vận hành mà còn nâng cao đáng kể mức độ an toàn chủ động cho người lái và hành khách. Vì vậy, việc hiểu rõ cấu tạo, nguyên lý hoạt động cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của hệ thống ABS là cơ sở quan trọng cho công tác khai thác, bảo dưỡng và sửa chữa ô tô hiện đại.

b) Về cách xây dựng và thực hiện mô phỏng trên phần mềm Carsim

- Đề tài đã giúp nắm vững cách cài đặt, thiết lập và sử dụng phần mềm Carsim để xây dựng các mô hình mô phỏng động lực học ô tô. Đồng thời, đề tài đã thực hiện mô phỏng các tình huống phanh của xe, thu thập và phân tích các thông số đầu ra nhằm đánh giá đặc tính làm việc của hệ thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy Carsim là công cụ hiệu quả trong việc mô phỏng, phân tích và đánh giá các hệ thống trên ô tô, hỗ trợ tốt cho công tác học tập, nghiên cứu và thiết kế trong lĩnh vực kỹ thuật ô tô.

c) Về kết quả của các mô phỏng và xây dựng kịch bản

Các kịch bản mô phỏng được thực hiện bao gồm phanh khẩn cấp trên mặt đường khô, mặt đường ướt, phanh khi xe vào cua và phanh liên tiếp để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả phanh. Các thông số như vận tốc xe, gia tốc chậm dần, quãng

đường phanh, độ trượt bánh xe, độ lệch hướng và nhiệt độ đĩa phanh đã được thu thập và phân tích.

- Trên mặt đường khô ($\mu = 0,9 \div 1,0$), hệ thống phanh Peugeot e-208 đạt hiệu quả cao với gia tốc chậm dần từ $-8,8$ đến $-9,8$ m/s², quãng đường phanh khoảng 28 m ở 80 km/h và 39,3 m ở 100 km/h. ABS duy trì độ trượt tối ưu, ngăn ngừa khóa bánh và đảm bảo ổn định hướng chuyển động.

- Khi hệ số bám giảm xuống $\mu = 0,45$, gia tốc chậm dần giảm còn khoảng $-4,4$ m/s², thời gian và quãng đường phanh tăng lên. Tuy nhiên, ABS vẫn điều chỉnh áp suất phanh hiệu quả, hạn chế khóa bánh và duy trì khả năng điều khiển xe.

- Trong trường hợp phanh khi vào cua ở 50 km/h, hệ thống ABS và ESC phối hợp giúp xe duy trì ổn định động lực học, đảm bảo khả năng bám quỹ đạo và hạn chế sai lệch hướng chuyển động.

- Kết quả mô phỏng phanh liên tục cho thấy nhiệt độ đĩa phanh tăng cao làm xuất hiện hiện tượng suy giảm hiệu quả phanh do nhiệt (Brake Fade), khiến gia tốc chậm dần giảm và quãng đường phanh tăng.

- Sự gia tăng tải trọng xe làm tăng động năng cần tiêu tán, dẫn đến giảm khả năng giảm tốc và tăng quãng đường phanh. Tuy nhiên, ABS vẫn duy trì độ trượt bánh xe trong vùng làm việc tối ưu và đảm bảo phân bố lực phanh hợp lý.

- Trong tất cả các kịch bản khảo sát, ABS hoạt động hiệu quả thông qua các chu kỳ tăng áp – giữ áp – giảm áp, duy trì độ trượt bánh xe trong khoảng 10–20%. Đồng thời, ESC hỗ trợ kiểm soát ổn định thân xe trong các tình huống phanh kết hợp chuyển hướng.

Hệ thống phanh trên Peugeot e-208 đáp ứng tốt yêu cầu an toàn, đảm bảo khả năng giảm tốc và duy trì tính ổn định trong nhiều điều kiện vận hành khác nhau. Hiệu quả phanh chịu ảnh hưởng bởi tốc độ ban đầu, hệ số bám mặt đường, tải trọng xe và nhiệt độ làm việc của cơ cấu phanh.

6.2. Hướng phát triển tiếp theo

Mặc dù đề tài đã hoàn thành các nội dung nghiên cứu liên quan đến mô phỏng và phân tích hệ thống phanh trên Peugeot e-208 bằng phần mềm CarSim, tuy nhiên hệ thống phanh trên xe điện hiện đại vẫn là một hệ thống có mức độ tích hợp cao, chịu ảnh hưởng đồng thời của nhiều yếu tố như điều khiển điện tử, điều kiện mặt đường, tải trọng thay đổi và đặc biệt là cơ chế thu hồi năng lượng. Vì vậy, các kết quả đạt được trong phạm vi nghiên cứu vẫn có thể tiếp tục được mở rộng để nâng cao mức độ chính xác và tính ứng dụng thực tiễn.

a) Nghiên cứu mở rộng hệ thống phanh tái tạo năng lượng trên xe điện

Trong đề tài hiện tại, hệ thống phanh tái tạo năng lượng chưa được đưa vào mô hình mô phỏng. Tuy nhiên, đây là một thành phần quan trọng trên các dòng xe điện như Peugeot e-208, đóng vai trò vừa giảm tốc xe vừa thu hồi năng lượng về pin.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, việc xây dựng mô hình phanh kết hợp giữa phanh ma sát và phanh tái sinh là cần thiết nhằm phản ánh đầy đủ hơn cơ chế hoạt động thực tế của xe điện. Nội dung nghiên cứu có thể tập trung vào việc xác định tỷ lệ phân bổ lực phanh giữa mô-tơ điện và hệ thống phanh thủy lực, đánh giá khả năng thu hồi năng lượng trong từng dải tốc độ, cũng như phân tích ảnh hưởng của phanh tái sinh đến quãng đường phanh và độ ổn định của xe. Đồng thời, cần xem xét quá trình chuyển đổi giữa hai chế độ phanh trong các tình huống phanh gấp để đảm bảo tính liên tục và an toàn.

Việc bổ sung yếu tố này sẽ giúp mô hình mô phỏng tiệm cận hơn với thực tế vận hành của xe điện hiện đại, đồng thời mở rộng hướng nghiên cứu sang tối ưu hóa đồng thời hiệu quả phanh và hiệu quả năng lượng.

b) Kiểm chứng mô hình bằng thực nghiệm thực tế

Kết quả nghiên cứu hiện tại chủ yếu được xây dựng dựa trên mô phỏng trong CarSim, do đó vẫn mang tính lý tưởng hóa nhất định. Trong thực tế, các yếu tố như điều kiện mặt đường, đặc tính lốp, nhiệt độ môi trường và sự biến thiên của hệ số bám đều có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả phanh.

Vì vậy, việc tiến hành các thử nghiệm thực tế là cần thiết nhằm kiểm chứng độ chính xác của mô hình. Các dữ liệu thực nghiệm có thể được sử dụng để so sánh với kết quả mô phỏng về quãng đường phanh, thời gian phanh, gia tốc chậm dần và đặc biệt là đặc tính làm việc của hệ thống ABS trong điều kiện đường ướt hoặc điều kiện phanh khẩn cấp.

Ngoài ra, quá trình thực nghiệm còn giúp hiệu chỉnh các tham số quan trọng trong mô hình như hệ số bám lốp, đặc tính giảm chấn hệ thống treo và sự phân bố tải trọng động khi phanh. Điều này góp phần nâng cao độ tin cậy của mô hình và tăng tính ứng dụng trong nghiên cứu và thiết kế thực tế.

c) Phát triển hệ thống điều khiển phanh thông minh cho xe điện và xe tự hành

Trong bối cảnh ngành công nghiệp ô tô đang chuyển dịch mạnh sang xe điện và xe tự hành, hệ thống phanh không chỉ còn là cơ cấu đảm bảo dừng xe mà còn trở thành một phần của hệ thống điều khiển thông minh tổng thể.

Hướng nghiên cứu tiếp theo có thể tập trung vào việc xây dựng các thuật toán điều khiển phanh tự động dựa trên trạng thái chuyển động của xe, điều kiện mặt đường và mức độ nguy hiểm của tình huống. Đồng thời, có thể nghiên cứu tối ưu hóa lực phanh theo thời gian thực nhằm đảm bảo đồng thời hai mục tiêu là an toàn chuyển động và hiệu quả năng lượng.

d) Mở rộng các kịch bản mô phỏng trong điều kiện vận hành phức tạp

Các kịch bản mô phỏng trong đề tài hiện tại chủ yếu tập trung vào điều kiện phanh thẳng và một số trường hợp tiêu biểu. Tuy nhiên, trong thực tế vận hành, xe thường phải làm việc trong những điều kiện phức tạp hơn.

Do đó, cần mở rộng mô phỏng sang các trường hợp như phanh trên mặt đường có hệ số bám thay đổi đột ngột, phanh kết hợp đánh lái ở tốc độ cao, phanh trên đường cong bán kính nhỏ hoặc điều kiện tải trọng không cân bằng giữa các trục. Ngoài ra, các tình huống như phanh liên tục gây quá nhiệt hoặc phanh trên mặt đường trơn trượt cục bộ cũng cần được xem xét để đánh giá đầy đủ hơn giới hạn làm việc của hệ thống.

e) Hoàn thiện mô hình động lực học xe trong CarSim

Để nâng cao hơn nữa độ chính xác của mô phỏng, mô hình động lực học của xe cần tiếp tục được hoàn thiện và hiệu chỉnh dựa trên dữ liệu thực tế. Các thông số liên quan đến lốp xe, hệ thống treo, phân bố tải trọng động và đặc tính ma sát cần được cập nhật chi tiết hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] James D. Halderman, Automotive Brake Systems, Pearson Education, 2017

[2] Nguyễn Hữu Cẩn, Động lực học ô tô, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, Hà Nội, 2010.

[3] Mechanical Simulation Corporation, CarSim Training Manual, Ann Arbor, Michigan, USA, 2017.

[4] Nguyễn Khắc Trai, Cấu tạo ô tô, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2018.

[5] Vehicle Dynamics and Control – Rajamani (Springer, 2012).

[6] Mechanical Simulation Corporation, CarSim User's Guide Version 2017.1, Ann Arbor, Michigan, USA, 2017.

[7] Peugeot, Peugeot e-208 Service and Maintenance Documentation, Peugeot Automobile Company, France, 2020.

[8] Peugeot, Peugeot e-208 Owner's Manual, Peugeot Automobile Company, France 2023.

[9] Nguyễn Hữu Cẩn, Lý thuyết ô tô máy kéo, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2005.

[10] Vehicle Dynamics and Control – Rajamani (Springer, 2012).

[11] Nguyễn Oanh, Kết cấu và tính toán ô tô, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam,2008.

[12] Euro NCAP, Peugeot 208 / e-208 Safety Rating Report, 2019.