

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CƠ KHÍ GIAO THÔNG



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Tên đề tài:

**NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH ABS DỰA
TRÊN CƠ SỞ XE HYUNDAI CRETA 2024**

**SVTH: Nguyễn Anh Khôi _20C4B
Nguyễn Hữu Duy _20C4CLC4**

GVHD: PGS. TS. Phạm Quốc Thái

Đà Nẵng, 2025

TÓM TẮT

Tên đề tài:

Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024

Sinh viên thực hiện: Nguyễn Anh Khôi

Số thẻ SV: 103200054..... Lớp: 20C4B.....

Sinh viên thực hiện: Nguyễn Hữu Duy

Số thẻ SV: 103200187..... Lớp: 20C4CLC4.....

Trong bối cảnh an toàn giao thông ngày càng được chú trọng, việc kiểm soát tốt hệ thống phanh đóng vai trò then chốt trong việc hạn chế tai nạn và nâng cao độ ổn định cho phương tiện. Đề án này tập trung vào việc nghiên cứu, xây dựng và mô phỏng hệ thống ABS (Anti-lock Braking System – hệ thống chống bó cứng phanh), một công nghệ phanh tiên tiến có khả năng duy trì khả năng điều khiển và ổn định xe trong các tình huống phanh gấp.

Bằng cách sử dụng các công cụ mô phỏng mạnh như Matlab Simulink và CarSim, nhóm thực hiện đã thiết lập các mô hình điều khiển để tái hiện hoạt động của hệ thống ABS trong nhiều điều kiện vận hành thực tế, từ mặt đường khô đến trơn trượt, từ vận tốc thấp đến cao. Thông qua các thuật toán điều khiển, mô hình được thử nghiệm nhằm phân tích các yếu tố như quãng đường phanh, độ trượt bánh xe, áp suất phanh, và mức độ ổn định của xe.

Bên cạnh ABS, đề án cũng mở rộng phân tích đến EBD (Electronic Brakeforce Distribution – hệ thống phân phối lực phanh điện tử) như một phần hỗ trợ bổ sung, giúp tối ưu hóa việc phân phối lực phanh giữa các bánh xe nhằm tăng cường hiệu quả của hệ thống ABS trong một số tình huống đặc biệt.

Kết quả thu được từ mô phỏng cho thấy hệ thống ABS đóng vai trò cốt lõi trong việc nâng cao độ an toàn khi phanh, đồng thời việc tích hợp các công nghệ hỗ trợ như EBD cũng góp phần cải thiện hiệu suất tổng thể. Những phân tích này không chỉ giúp làm rõ nguyên lý hoạt động của ABS mà còn tạo nền tảng cho các hướng nghiên cứu và tối ưu hóa hệ thống phanh thông minh trong tương lai.

LỜI NÓI ĐẦU

Capstone project này được thực hiện nhằm củng cố kiến thức chuyên ngành và rèn luyện kỹ năng vận dụng lý thuyết vào thực tế thông qua việc mô phỏng hệ thống chống bó cứng phanh ABS – một công nghệ quan trọng trong lĩnh vực kỹ thuật ô tô hiện đại.

Trong suốt quá trình thực hiện Capstone project, nhóm đã nhận được sự hướng dẫn tận tình, định hướng khoa học cũng như những nhận xét sâu sắc từ Thầy **PGS.TS Phạm Quốc Thái**. Thầy không chỉ giúp chúng em tiếp cận đúng hướng nghiên cứu mà còn tạo điều kiện thuận lợi về học thuật và tài liệu để nhóm có thể hoàn thành đề tài một cách nghiêm túc và hiệu quả. Chúng em xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành và sâu sắc đến Thầy.

Bên cạnh đó, nhóm cũng xin gửi lời cảm ơn đến quý Thầy Cô trong Khoa đã cung cấp nền tảng kiến thức vững chắc trong suốt quá trình học tập, giúp chúng em có đủ hành trang để thực hiện Capstone project này.

Mặc dù đã cố gắng trong việc tìm hiểu, xây dựng mô hình mô phỏng và trình bày nội dung, nhưng do giới hạn về thời gian, kinh nghiệm và kiến thức, Capstone project chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót. Kính mong Thầy Cô xem xét và đóng góp ý kiến để nhóm có thể hoàn thiện hơn trong các nghiên cứu tiếp theo.

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Anh Khôi

Nguyễn Hữu Duy

LỜI CAM ĐOAN

Nhóm em xin cam đoan rằng toàn bộ nội dung của đề án tốt nghiệp với đề tài “Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên xe cơ sở Hyundai Creta 2024” là kết quả của quá trình nghiên cứu, tìm hiểu và thực hiện nghiêm túc của nhóm em dưới sự hướng dẫn tận tình của **PGS.TS. Phạm Quốc Thái**. Các số liệu, hình ảnh, mô hình và kết quả mô phỏng trong đề án đều được thực hiện bằng phần mềm MATLAB/Simulink, Carsim và có sử dụng tài liệu tham khảo đã được liệt kê ở phần tài liệu tham khảo. Nhóm em hoàn toàn chịu trách nhiệm về tính trung thực và nguyên bản của nội dung đề án. Mọi hành vi sao chép hoặc vi phạm bản quyền nhóm xin hoàn toàn chịu trách nhiệm trước nhà trường và pháp luật.

Nhóm em xin chân thành cảm ơn!

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Anh Khôi

Nguyễn Hữu Duy

MỤC LỤC

TÓM TẮT	i
LỜI NÓI ĐẦU	iii
LỜI CAM ĐOAN	iv
MỤC LỤC	v
DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ	ix
DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT	xii
MỞ ĐẦU	1
Chương 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG PHANH TRÊN Ô TÔ	3
1.1. Công dụng, yêu cầu và phân loại hệ thống phanh.....	3
1.1.1. Công dụng đối với hệ thống phanh.....	3
1.1.2. Yêu cầu đối với hệ thống phanh	3
1.1.3. Phân loại hệ thống phanh.....	4
1.2. Cấu tạo chung của hệ thống phanh	5
1.2.1. Cơ cấu điều khiển phanh.....	5
1.2.2. Bầu trợ lực phanh.....	6
1.2.3. Phanh dừng	7
1.2.4. Dẫn động phanh	8
1.2.5. Cơ cấu phanh tại bánh xe	9
1.2.6. Bộ chống hãm cứng bánh xe khi phanh ABS	10
Chương 2: TỔNG QUAN VỀ XE HYUNDAI CRETA 2024	11
2.1. Giới thiệu chung.....	11
2.2. Thông số kỹ thuật xe.....	12
Chương 3: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ HỆ THỐNG PHANH	13
3.1. Tổng quan về lý thuyết phanh ô tô.....	13
3.1.1. Lực phanh và momen phanh cần thiết trên ô tô	13
3.1.1.1. Lực phanh và các momen tác dụng lên bánh xe khi phanh.....	13
3.1.1.2. Lực phanh ô tô và điều kiện đảm bảo phanh tối ưu	14
3.1.1.3. Phân bố lực phanh và momen của xe ô tô khi phanh.....	16
3.1.1.4. Momen phanh cần thiết tại các cơ cấu phanh	19
3.1.2. Các chỉ tiêu đánh giá hiệu quả phanh	20

3.1.2.1. Gia tốc chậm dần khi phanh.....	20
3.1.2.2. Thời gian phanh	21
3.1.2.3. Quãng đường phanh.....	22
3.1.2.4. Lực phanh và lực phanh riêng.....	23
3.1.3. Ổn định của ô tô khi phanh nếu các lực phanh phân bố không đều.	23
3.1.4. Vấn đề chống hãm cứng bánh xe khi phanh	26
3.2. Tổng quan về hệ thống ABS	27
3.2.1. Giới thiệu chung về hệ thống ABS	27
3.2.2. Mục tiêu hệ thống ABS.....	28
3.2.3. Ưu và khuyết điểm của hệ thống ABS.....	30
3.2.3.1. Ưu điểm	30
3.2.3.2. Khuyết điểm.....	31
3.2.4. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của các cụm chi tiết hệ thống ABS.....	31
3.2.4.1. Cảm biến tốc độ bánh xe.....	33
3.2.4.2. Hộp điều khiển điện tử (ECU)	34
3.2.4.3. Bộ chấp hành thủy lực	35
3.2.5. Các trạng thái làm việc của hệ thống ABS	38
3.2.5.1. Khi phanh bình thường (ABS không hoạt động)	39
3.2.5.2. Khi phanh gấp (ABS hoạt động).....	39
3.2.6. Phạm vi điều khiển của hệ thống ABS.....	40
3.2.7. Chu trình điều khiển của hệ thống ABS.....	42
3.3. Tổng quan hệ thống phân bố lực phanh điện tử EBD	43
3.3.1. Giới thiệu hệ thống EBD.....	43
3.3.2. Ưu và khuyết điểm của hệ thống EBD.....	44
3.3.2.1. Ưu điểm	44
3.3.2.2. Khuyết điểm.....	44
3.3.3. Nguyên lý làm việc của hệ thống EBD	45
3.3.3.1. Vai trò và cấu tạo của hệ thống phân bố lực phanh điện tử trên ô tô.....	45
3.3.3.2. Cách thức hoạt động của hệ thống EBD	46
Chương 4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ABS TRÊN PHẦN MỀM CARSIM VÀ SIMULINK.....	47
4.1 Tổng quan về phần mềm Simulink	47
4.2. Giới thiệu phần mềm Carsim	47

4.3. Hệ thống điều khiển được tích hợp vào hệ thống phanh trên ô tô	47
4.3.1. Hệ thống điều khiển vòng kín	47
4.3.2. Bộ điều khiển Bang-Bang	48
4.3.3. Bộ điều khiển PID	48
4.4. Nhiệm vụ và mục tiêu của thiết kế mô phỏng	49
4.5.1. Thông số kỹ thuật của Hyundai Creta 2024	50
4.5.2. Xây dựng và thiết lập các trường hợp mô phỏng	52
4.5.3. Thiết lập các thông số điều khiển đầu vào đầu ra liên kết với Simulink trên Carsim	58
4.6. Xây dựng và thiết lập mô hình các khối điều khiển trên Simulink	59
4.6.1. Sơ đồ khối điều khiển phanh ABS	59
4.6.2. Độ trượt mong muốn	60
4.6.3. Các bộ điều khiển	61
4.6.3.1. Bộ điều khiển ON/OFF	61
4.6.3.2. Bộ điều khiển PID	63
4.6.3.3. Khối điều khiển EBD	65
4.6.4. Khối bộ chấp hành phanh và hàm truyền thủy lực	68
4.6.5. Khối liên kết Carsim bên simulink	70
4.6.6. Khối tính toán độ trượt	70
4.6.7. Thiết lập đồng hồ đo đồ thị mô phỏng trên Simulink	71
4.7. Kết quả và bàn luận	72
4.7.1. Trường hợp 1 (trên đường thẳng có hai hệ số bám)	72
4.7.1.1. Đồ thị vận tốc	72
4.7.1.2. Đồ thị độ trượt	74
4.7.1.3. Đồ thị áp suất phanh	75
4.7.1.4. Đồ thị quãng đường phanh	76
4.7.1.5. Nhận xét	77
4.7.2. Trường hợp 2 (phanh trên đoạn đường cong)	77
4.7.2.1. Đồ thị vận tốc	77
4.7.2.2. Đồ thị độ trượt	79
4.7.2.3. Đồ thị áp suất phanh	80
4.7.2.4. Đồ thị quãng đường phanh	81
4.7.2.5. Nhận xét	82

4.7.3. Trường hợp 3 (phanh né vật cản).....	82
4.7.3.1. Đồ thị vận tốc.....	82
4.7.3.2. Đồ thị độ trượt.....	84
4.7.3.3. Đồ thị áp suất phanh	85
4.7.3.4. Đồ thị quãng đường phanh.....	86
4.7.3.5. Nhận xét.....	87
KẾT LUẬN.....	88
1. Kết luận.....	88
2. Hướng phát triển	88
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	89
PHỤ LỤC 1.....	90
PHỤ LỤC 2.....	91

DANH SÁCH CÁC BẢNG, HÌNH VẼ

Bảng 2.1. Các thông số kỹ thuật xe Hyundai Creta 2024	12
Bảng 4.1. Đánh giá kết quả phanh trên đường hai hệ số bám.....	77
Bảng 4.2. Đánh giá kết quả phanh trên đoạn đường cong	82
Bảng 4.3. Đánh giá kết quả phanh trường hợp né vật cản	87
Hình 1.1: Hệ thống phanh trên ô tô.....	5
Hình 1.2: Cấu tạo bàn đạp phanh.....	6
Hình 1.3: Bộ trợ lực phanh	7
Hình 1.4. Sơ đồ cấu tạo hệ thống phanh dầu dẫn động 1 dòng.	8
Hình 1.5. Sơ đồ hệ thống dẫn động thủy lực.....	9
Hình 1.6. Xe ô tô khi có và không có bộ chống hãm cứng bánh xe ABS.....	10
Hình 2.1 Xe ô tô Hyundai Creta 2024.....	11
Hình 3.1. Sơ đồ lực và momen tác dụng lên bánh xe khi phanh.....	13
Hình 3.2. Các lực tác dụng lên ô tô khi phanh	14
Hình 3.3. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa momen phanh với hệ số bám	17
Hình 3.4. Đường đặc tính phanh lý tưởng của ô tô.....	18
Hình 3.5. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa áp suất trong dẫn động phanh trước và sau....	19
Hình 3.6. Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô khi phanh mà có hiện tượng quay xe do lực phanh phân bố không đều.....	24
Hình 3.7. Sự thay đổi hệ số bám dọc và hệ số bám ngang theo độ trượt tương đối của bánh xe khi phanh.....	27
Hình 3.8. Sự thay đổi momen phanh, áp suất dẫn động phanh và gia tốc của bánh xe khi có ABS.....	29
Hình 3.9. Sự thay đổi góc ωb của bánh xe, vận tốc v , độ trượt λ theo thời gian t	30
Hình 3.10. Sơ đồ các thành phần của hệ thống phanh	32
Hình 3.11. Cảm biến tốc độ bánh xe.....	33
Hình 3.12. Hoạt động của cảm biến tốc độ bánh xe	34
Hình 3.13. Bộ phận chấp hành thủy lực.....	36
Hình 3.14. Động cơ điện và bơm	36
Hình 3.15. Bình tích áp	37
Hình 3.16. Công tắc áp suất	38
Hình 3.17. Sơ đồ bộ chấp hành thủy lực	39
Hình 3.18. Phạm vi điều khiển của ABS trên các điều kiện đường.....	41
Hình 3.19. Phạm vi điều khiển của ABS với các góc trượt khác nhau	42
Hình 3.20. Hệ thống EBD.....	43
Hình 3.21. Tải trọng tác động lên bánh xe trong các trường hợp cụ thể.....	45
Hình 3.22. Lực phanh ở các bánh xe khi xe vào cua	46
Hình 4.1. Sơ đồ khối bộ điều khiển PID	48
Hình 4.2. Thông số xe Hyundai Creta 2024 trên Carsim.....	50

Hình 4.3. Thiết lập thông số động cơ và hộp số Hyundai.....	50
Hình 4.4. Thông số hệ thống treo trước Hyundai Creta 2024.....	51
Hình 4.5. Thông số hệ thống treo sau Hyundai Creta.....	51
Hình 4.6. Thông số lốp Hyundai Creta 2024.....	52
Hình 4.7. Thiết lập quá trình phanh Hyundai Creta 2024.....	52
Hình 4.8. Thiết lập phanh trong điều kiện mặt đường thẳng bình thường.....	53
Hình 4.9. Loại đường và hệ số bám mặt đường.....	53
Hình 4.10. Thiết lập hệ số bám hai mặt đường.....	53
Hình 4.11. Thiết lập mô phỏng đường hai hệ số bám.....	54
Hình 4.12. Thiết lập hình dạng đường mô phỏng.....	54
Hình 4.13. Thiết lập mô phỏng phanh khi vào cua trên đường cong.....	55
Hình 4.14. Thiết lập hình ảnh dạng mô phỏng đường khúc cua hệ số bám là 0.75.....	55
Hình 4.15. Thiết lập mô phỏng phanh và đánh lái né vật cản.....	56
Hình 4.16. Thiết lập mô phỏng né vật cản.....	56
Hình 4.17. Chọn vật thể né.....	57
Hình 4.18. Thiết lập tọa độ của vật thể né.....	57
Hình 4.19. Thiết lập quá trình đánh lái.....	58
Hình 4.20. Liên kết điều khiển hai phần mềm.....	58
Hình 4.21. File liên kết.....	59
Hình 4.22. Các thông số điều khiển đầu vào đầu ra của Carsim.....	59
Hình 4.23. Sơ đồ khối hệ thống ABS.....	59
Hình 4.24. Hệ thống phanh ABS trên Simulink.....	60
Hình 4.25. Đặc tính trượt của bánh xe khi phanh.....	60
Hình 4.26. Thiết lập độ trượt mong muốn trên Simulink.....	61
Hình 4.27. Khối Sum trên Simulink.....	61
Hình 4.28. Bộ điều khiển ON/OFF trên Simulink.....	61
Hình 4.29. Tín hiệu điều khiển ON/OFF.....	62
Hình 4.30. Khối điều khiển PID cổ điển.....	63
Hình 4.31. Khối điều khiển PID của xe Hyundai Creta trên Simulink.....	63
Hình 4.32. Khối điều khiển PID của xe Hyundai Creta LF trên Simulink.....	64
Hình 4.33. Độ trượt thực tế sau khi thiết lập Hyundai Creta RR.....	65
Hình 4.34. Hệ thống phanh EBD trên Simulink.....	66
Hình 4.35. Lực pháp tuyến trên các bánh xe.....	67
Hình 4.36. Thiết lập khối EBD trên Simulink.....	68
Hình 4.37. Thiết lập khối chấp hành phanh trên Simulink.....	69
Hình 4.38. Khối Carsim liên kết bên Simulink.....	70
Hình 4.39. Thiết lập khối tính toán độ trượt thực tế.....	71
Hình 4.40. Khối thời gian thực mô phỏng trên Simulink.....	71
Hình 4.42. Đồ thị vận tốc của xe trên đường hai hệ số bám.....	72
Hình 4.43. Đồ thị vận tốc xe khi phóng to cho ba bộ điều khiển.....	72
Hình 4.44. Đồ thị vận tốc của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường hai hệ số bám.....	73

Hình 4.45. Đồ thị độ trượt của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường hai hệ số bám.....	74
Hình 4.46. Đồ thị áp suất phanh của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường hai hệ số bám.....	75
Hình 4.47. Đồ thị quãng đường phanh trên đường hai hệ số bám	76
Hình 4.48. Đồ thị quãng đường phanh trên đường hai hệ số bám (phóng to).....	76
Hình 4.49. Đồ thị vận tốc của xe phanh trên đường cong.....	77
Hình 4.50. Đồ thị vận tốc xe phanh trên đường cong (phóng to).....	78
Hình 4.51. Đồ thị vận tốc của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường cong.....	78
Hình 4.52. Đồ thị độ trượt của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường cong	79
Hình 4.53. Đồ thị áp suất phanh của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường cong	80
Hình 4.54. Đồ thị quãng đường phanh trên đường cong.....	81
Hình 4.55. Đồ thị quãng đường phanh trên đường cong (phóng to).....	81
Hình 4.56. Đồ thị vận tốc xe phanh và né vật cản.....	82
Hình 4.57. Đồ thị vận tốc xe phanh và né vật cản (phóng to).....	83
Hình 4.58. Đồ thị vận tốc của các bánh xe LF - RF - LR - RR phanh né vật cản.....	83
Hình 4.59. Đồ thị độ trượt thực tế của các bánh xe LF - RF - LR - RR phanh né vật cản	84
Hình 4.60. Đồ thị áp suất phanh của các bánh xe LF - RF - LR - RR phanh né vật cản	85
Hình 4.61. Đồ thị quãng đường phanh né vật cản.....	86
Hình 4.62. Đồ thị quãng đường phanh né vật cản (phóng to).....	86

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

ABS: Hệ thống chống bó cứng phanh (Anti-lock Braking System).

EBD: Phân phối lực phanh điện tử (Electronic Brakeforce Distribution).

ECU: Đơn vị điều khiển điện tử (Electronic Control Unit).

HCU: Đơn vị điều khiển thủy lực (Hydraulic Control Unit).

HECU: Đơn vị điều khiển điện tử thủy lực (Hydraulic Electronic Control Unit).

LF: Bánh trước bên trái (Left Front).

LR: Bánh sau bên trái (Left Rear).

NHTSA: Cơ quan an toàn giao thông Quốc Gia (National Highway Traffic Safety Administration).

SUV: Xe đa dụng thể thao (Sport Utility Vehicle).

WSS: Cảm biến tốc độ bánh xe (Wheel Speed Sensor).

PID: Bộ điều khiển (Proportional Integral Derivative).

RF: Bánh trước bên phải (Right Front).

RR: Bánh sau bên phải (Right Rear).

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đã mang đến nhiều bước tiến lớn trong ngành công nghệ kỹ thuật ô tô, đặc biệt là trong lĩnh vực các hệ thống an toàn chủ động. Một trong những hệ thống quan trọng và phổ biến nhất hiện nay là hệ thống chống bó cứng phanh (ABS) – công nghệ giúp người lái duy trì khả năng điều khiển xe trong các tình huống phanh gấp, đặc biệt trên mặt đường trơn trượt hoặc khi di chuyển ở tốc độ cao.

Trong bối cảnh mật độ xe ngày càng tăng, hệ thống ABS ngày càng trở thành tiêu chuẩn bắt buộc ở nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam. Hầu hết các nhà sản xuất ô tô hiện nay đều trang bị ABS cho các dòng xe thương mại như một yêu cầu tối thiểu về an toàn.

Hyundai Creta 2024, một mẫu SUV cỡ nhỏ phổ biến tại thị trường Việt Nam, là đại diện tiêu biểu cho dòng xe hiện đại được trang bị hệ thống ABS. Với thiết kế linh hoạt, tính thực tiễn cao và được trang bị các công nghệ an toàn cơ bản, Creta 2024 là lựa chọn phù hợp để làm đối tượng nghiên cứu, mô phỏng và đánh giá hiệu quả hoạt động của hệ thống ABS trong điều kiện vận hành khác nhau.

Từ những lý do trên, nhóm chúng em chọn đề tài:

“Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024”

2. Mục tiêu đề tài

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về hệ thống phanh ô tô:
- Lực và mômen phanh cần thiết trên ô tô.
- Điều kiện phân bố lực phanh tối ưu giữa các bánh xe.
- Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả và độ ổn định khi phanh (vận tốc, hệ số bám, tải trọng, phản lực bánh xe, hệ số trượt...).
- Nghiên cứu cấu tạo và nguyên lý hoạt động của hệ thống ABS
- Thu thập và sử dụng thông số kỹ thuật thực tế của xe Hyundai Creta 2024, thiết lập vào mô hình mô phỏng để tăng độ chính xác.
- Thành thạo sử dụng phần mềm CarSim và Matlab Simulink trong việc mô phỏng hệ thống phanh.
- Thiết lập mô hình điều khiển hệ thống ABS, thử nghiệm và so sánh hiệu quả giữa các phương pháp điều khiển như On/Off và PID.

- Phân tích thêm vai trò hỗ trợ của hệ thống EBD như một phần mở rộng, giúp cải thiện khả năng phân bố lực phanh và tăng hiệu quả của hệ thống ABS trong một số tình huống nhất định.

3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu được thực hiện hoàn toàn bằng mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink và CarSim, với dữ liệu đầu vào được lấy từ thông số kỹ thuật của xe Hyundai Creta 2024. Do hạn chế về kinh phí, thiết bị và điều kiện thực nghiệm, nhóm chưa thể kiểm chứng mô hình trên xe thực tế. Tuy nhiên, mô hình mô phỏng vẫn đảm bảo độ tin cậy trong việc đánh giá khả năng hoạt động và hiệu quả của hệ thống ABS trong các điều kiện vận hành khác nhau.

4. Phương pháp nghiên cứu

Tổng hợp và phân tích tài liệu từ các nguồn chính thống trong và ngoài nước liên quan đến hệ thống phanh, đặc biệt là ABS và các thuật toán điều khiển.

Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống ABS trên phần mềm Matlab Simulink kết hợp với CarSim để mô phỏng điều kiện vận hành thực tế.

Áp dụng các phương pháp điều khiển (On/Off, PID) và đánh giá hiệu quả thông qua các chỉ tiêu như quãng đường phanh, độ trượt bánh xe, áp suất phanh, v.v.

Phân tích bổ sung vai trò của EBD như một phần mở rộng hỗ trợ cho ABS, nhằm hiểu rõ hơn về khả năng phối hợp phân phối lực phanh trong điều kiện tải trọng hoặc mặt đường thay đổi.

5. Cấu trúc Capstone project

Capstone project được trình bày theo bố cục gồm phần mở đầu, phần kết thúc và 4 chương chính như sau:

- Chương 1: Tổng quan về hệ thống phanh trên ô tô
- Chương 2: Tổng quan về xe Hyundai Creta 2024
- Chương 3: Cơ sở lý thuyết về hệ thống phanh
- Chương 4: Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống ABS trên phần mềm Carsim và Simulink

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG PHANH TRÊN Ô TÔ

1.1. Công dụng, yêu cầu và phân loại hệ thống phanh

1.1.1. Công dụng đối với hệ thống phanh

Hệ thống phanh là một trong những bộ phận quan trọng nhất trên ô tô, đóng vai trò quyết định đến sự an toàn khi vận hành. Công dụng chính của hệ thống phanh bao gồm:

- Giảm tốc độ hoặc dừng xe hoàn toàn trong mọi điều kiện vận hành.
- Duy trì tốc độ an toàn khi xe di chuyển xuống dốc dài.
- Giữ xe đứng yên khi đỗ xe, đặc biệt trên các đoạn đường nghiêng.
- Hỗ trợ điều khiển hướng lái khi phanh, thông qua phân bố lực phanh hợp lý giữa các bánh xe.
- Góp phần đảm bảo ổn định và an toàn chuyển động, đặc biệt khi phanh gấp hoặc trong điều kiện đường trơn trượt.

1.1.2. Yêu cầu đối với hệ thống phanh

Để đảm bảo hiệu quả hoạt động và an toàn, hệ thống phanh cần đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật sau:

- Có hiệu quả phanh cao nhất ở tất cả các bánh xe nghĩa là đảm bảo quãng đường phanh ngắn nhất khi phanh đột ngột trong trường hợp nguy hiểm;
- Phanh êm dịu trong bất kỳ mọi trường hợp để đảm bảo sự ổn định của ô tô khi phanh;
- Điều khiển nhẹ nhàng, nghĩa là lực tác dụng lên bàn đạp hay đòn điều khiển không lớn;
- Dẫn động phanh phải có độ nhạy cao và phải có hai dòng độc lập đối với phanh chính;
- Phân bố mô men phanh phải hợp lý để đảm bảo tận dụng tối đa trọng lượng bám tại các bánh xe và không xảy ra hiện tượng trượt lết khi phanh;
- Không có hiện tượng tự xiết khi phanh;
- Cơ cấu phanh thoát nhiệt tốt;
- Giữ được tỉ lệ thuận giữa lực trên bàn đạp hoặc đòn điều khiển - với lực phanh trên bánh xe;
- Có hệ số ma sát giữa phần quay và má phanh cao và ổn định trong điều kiện sử dụng;

1.1.3. Phân loại hệ thống phanh

a. Theo chức năng

- Phanh làm việc (phanh chính): Được sử dụng thường xuyên khi xe đang di chuyển, do người lái điều khiển thông qua bàn đạp phanh. Hệ thống này có nhiệm vụ giảm tốc độ hoặc dừng xe trong quá trình vận hành. Đây là hệ thống quan trọng nhất và bắt buộc phải có trên mọi loại xe.
- Phanh dừng (phanh tay): Có chức năng giữ xe đứng yên khi xe đã dừng, đặc biệt khi đỗ xe trên đường dốc. Phanh tay thường tác động lên bánh sau và được điều khiển bằng tay (cần kéo) hoặc bằng nút nhấn điện tử.
- Phanh khẩn cấp (phanh dự phòng): Là hệ thống thay thế tạm thời cho phanh chính trong trường hợp phanh chính bị hỏng. Thường sử dụng chung với phanh tay hoặc tích hợp trong hệ thống phanh chính với bộ điều khiển riêng biệt.

b. Theo dẫn động phanh

- Phanh dẫn động cơ khí: Truyền lực bằng các cơ cấu đòn gánh, dây cáp, thanh kéo. Ít được sử dụng làm phanh chính do hiệu quả thấp, nhưng vẫn phổ biến ở phanh tay.
- Phanh dẫn động thủy lực: Sử dụng dầu phanh để truyền áp suất từ xy-lanh chính đến các xy-lanh bánh xe. Đây là phương pháp dẫn động phổ biến nhất trên ô tô con.
- Phanh dẫn động khí nén: Dùng áp suất khí nén truyền động từ máy nén đến các bầu phanh. Được sử dụng chủ yếu trên xe tải, xe buýt do có khả năng tạo lực lớn.
- Phanh điện – thủy lực / điện – khí nén: Kết hợp tín hiệu điện tử với dẫn động thủy lực hoặc khí nén, thường có mặt trong các hệ thống phanh thông minh như ABS, EBD, ESP, hay phanh điều khiển điện tử (EBS).

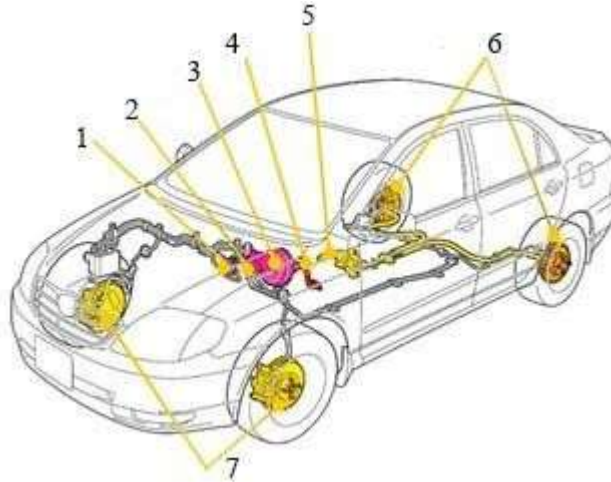
c. Theo cơ cấu phanh

- Phanh tang trống: Guốc phanh ép vào bên trong tang trống quay theo bánh xe. Có cấu tạo đơn giản, giá thành thấp nhưng tản nhiệt kém hơn phanh đĩa. Vẫn được dùng phổ biến ở bánh sau ô tô cỡ nhỏ.
- Phanh đĩa: Má phanh kẹp chặt vào đĩa phanh gắn trên moay-ơ bánh xe. Hiệu quả cao, tản nhiệt tốt, khả năng phanh ổn định ở tốc độ cao. Ngày nay, hầu hết các xe con đều sử dụng phanh đĩa ở bánh trước hoặc cả bốn bánh.
- Phanh khí xả / phanh động cơ: Được sử dụng trên xe tải, xe buýt. Tác động lên hệ thống xả hoặc dùng lực hãm của động cơ để hỗ trợ giảm tốc mà không tác động lên má phanh, giúp tiết kiệm má phanh.

- Phanh tái sinh (ở xe điện, hybrid): Chuyển đổi động năng thành điện năng để sạc lại pin khi giảm tốc, vừa giúp giảm tốc độ vừa tiết kiệm năng lượng.

1.2. Cấu tạo chung của hệ thống phanh

Hệ thống phanh ô tô thường được cấu tạo từ nhiều bộ phận khác nhau, liên kết thành một hệ thống tổng thể nhằm thực hiện chức năng giảm tốc, dừng xe hoặc giữ xe đứng yên. Cấu tạo cơ bản của hệ thống phanh như (hình 1.1):



Hình 1.1: Hệ thống phanh trên ô tô

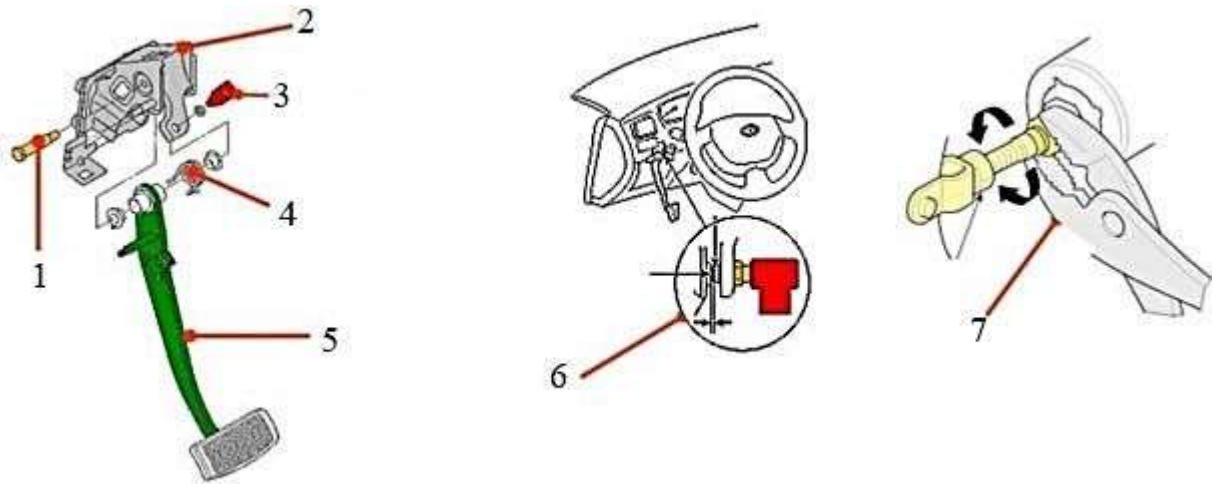
1. Xi-lanh chính; 2. Điều khiển điện tử; 3. Bầu trợ lực; 4. Bàn đạp phanh; 5. Cần phanh tay; 6. Cụm phanh sau; 7. Cụm phanh trước.

1.2.1. Cơ cấu điều khiển phanh

Đây là bộ phận nơi người lái tác động trực tiếp để tạo ra lực phanh nhằm làm giảm tốc độ hoặc dừng chuyển động của xe. Hệ thống này bao gồm các thành phần cơ khí và điện tử phối hợp hoạt động để đảm bảo phản ứng nhanh chóng và chính xác trong quá trình phanh. Thành phần chính đầu tiên là bàn đạp phanh, đây là chi tiết mà người lái dùng chân tác động lực lên. Lực tác động từ chân người lái sẽ được truyền qua các cơ cấu liên kết cơ học đến hệ thống dẫn động phanh, từ đó kích hoạt quá trình phanh cơ bản.

Ngoài ra, hệ thống còn được tích hợp các cảm biến điện tử hiện đại nhằm nâng cao khả năng kiểm soát và an toàn khi vận hành. Cụ thể, cảm biến hành trình (hoặc còn gọi là cảm biến vị trí bàn đạp phanh) sẽ theo dõi mức độ nhấn bàn đạp phanh, trong khi cảm biến áp suất sẽ giám sát áp suất tạo ra trong hệ thống phanh thủy lực. Các tín hiệu từ các cảm biến này sẽ được gửi đến bộ điều khiển điện tử trung tâm (ECU), từ đó đưa ra các lệnh điều khiển phù hợp để hỗ trợ phanh như: hệ thống chống bó cứng phanh (ABS), hệ thống cân bằng điện tử (ESP), hệ thống hỗ trợ lực phanh khẩn cấp (BA), và nhiều hệ thống an toàn khác.

Tổng thể, cơ cấu điều khiển phanh đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc đảm bảo sự an toàn, ổn định và hiệu quả khi vận hành xe, đặc biệt trong các tình huống cần phản ứng nhanh như phanh gấp hoặc phanh trên mặt đường trơn trượt.



Hình 1.2: Cấu tạo bàn đạp phanh

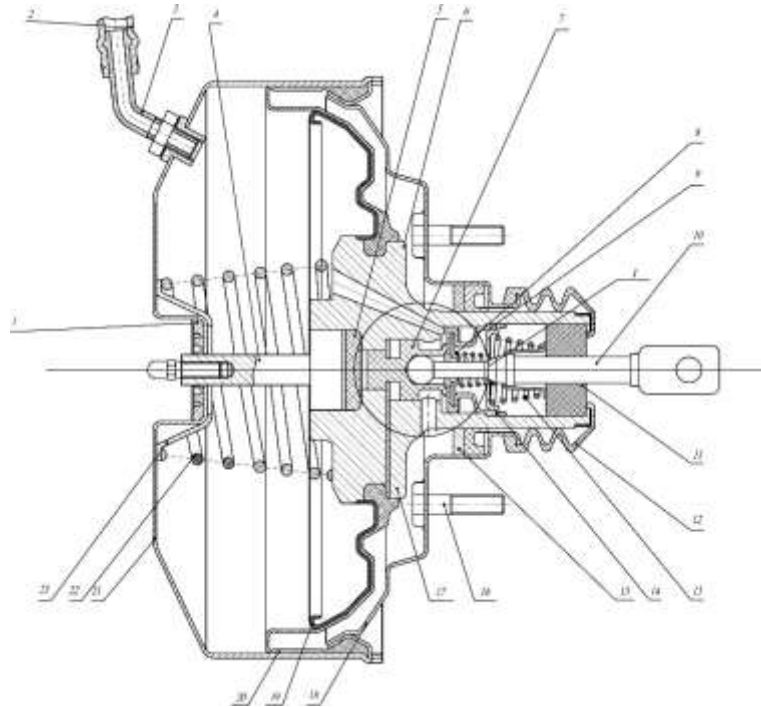
1. Bu lông; 2. Giá bắt; 3. Công tắc phanh; 4. Lò xo hồi; 5. Bàn đạp phanh và cơ cấu đòn bẩy; 6. Điều chỉnh công tắc phanh; 7. Điều chỉnh độ cao của bàn đạp.

1.2.2. Bầu trợ lực phanh

Bầu trợ lực phanh là một bộ phận không thể thiếu trong hệ thống phanh của ô tô hiện đại, đóng vai trò hỗ trợ người lái khi thực hiện thao tác phanh bằng cách khuếch đại lực đạp bàn đạp phanh. Thiết bị này thường được lắp đặt ở vị trí trung gian giữa bàn đạp phanh và xy lanh tổng (master cylinder), giúp giảm bớt đáng kể công sức mà người lái cần bỏ ra để tạo ra hiệu quả phanh mong muốn.

Nguyên lý hoạt động của bầu trợ lực phanh thường dựa trên việc sử dụng chân không được tạo ra từ đường ống nạp khí của động cơ hoặc bơm chân không chuyên dụng. Khi người lái đạp phanh, một van bên trong bầu trợ lực sẽ mở ra, cho phép áp suất khí quyển tác động lên một phía của màng chắn trong bầu, trong khi phía còn lại giữ nguyên áp suất chân không. Sự chênh lệch áp suất này sẽ tạo ra một lực lớn tác động lên pít-tông trong xy lanh tổng, giúp truyền lực phanh đến các bánh xe mà không cần người lái phải dùng nhiều lực.

Kết quả là, thao tác đạp phanh trở nên nhẹ nhàng và nhanh nhạy hơn, đặc biệt trong các tình huống cần dừng xe gấp hoặc khi xe chở tải nặng. Bầu trợ lực phanh góp phần đáng kể trong việc nâng cao sự thoải mái và an toàn khi lái xe, đồng thời làm tăng độ bền của các chi tiết cơ khí liên quan bằng cách giảm tải trọng tác động từ người điều khiển.



Hình 1.3: Bộ trợ lực phanh

1. Ống dẫn khí; 2. Ống nối; 3. Thanh đẩy thủy lực; 4. Đĩa phản lực; 5. Van chân không; 6. Van khí; 7. Lò xo van điều khiển; 8. Van điều khiển; 9. Lò xo van hồi khí; 10. Lọc khí; 11. Vỏ bọc; 12. Cần đẩy; 13. Van điều khiển; 14. Van khí; 15. Phốt thân trợ lực; 16. Bulong M12; 17. Tấm thép hãm van; 18. Thân sau trợ lực; 19. Đĩa đỡ màng; 20. Màng trợ lực; 21. Thân trước trợ lực; 22. Lò xo màng trợ lực; 23. Vành tựa lò xo màng.

Nhờ có bầu trợ lực, người lái có thể dễ dàng kiểm soát tốc độ và dừng xe một cách hiệu quả, kể cả khi chỉ cần dùng một lực nhỏ để tác động lên bàn đạp phanh. Đây là một cải tiến quan trọng giúp nâng cao trải nghiệm lái xe, đồng thời hỗ trợ tích cực cho các hệ thống phanh hiện đại như ABS hay hệ thống phanh điện tử.

1.2.3. Phanh dừng

Phanh dừng được dùng để dừng (đỗ xe) trên đường dốc hoặc đường bằng. Nói chung hệ thống phanh này được sử dụng trong trường hợp ô tô đứng yên, không di chuyển trên các loại đường khác nhau.

Về cấu tạo phanh dừng cũng có hai bộ phận chính đó là cơ cấu phanh và dẫn động phanh.

Cơ cấu phanh có thể bố trí kết hợp với cơ cấu phanh của các bánh xe phía sau hoặc bố trí trên trục ra của hộp số.

Dẫn động phanh của hệ thống phanh dừng hầu hết là dẫn động cơ khí được bố trí và hoạt động độc lập với dẫn động phanh chính và được điều khiển bằng tay, vì vậy còn gọi là phanh tay.

1.2.4. Dẫn động phanh

a. Dẫn động phanh bằng cơ khí

Hệ thống phanh dẫn động cơ khí có ưu điểm kết cấu đơn giản nhưng không tạo được mômen phanh lớn do hạn chế lực điều khiển của người lái, thường chỉ sử dụng ở cơ cấu phanh dừng (phanh tay).

b. Dẫn động phanh bằng thủy lực

Dẫn động phanh bằng thủy lực tức là dùng chất lỏng để tạo và truyền áp suất đến các xi lanh công tác của cơ cấu phanh để tạo lực ép má phanh vào trống/đĩa phanh.

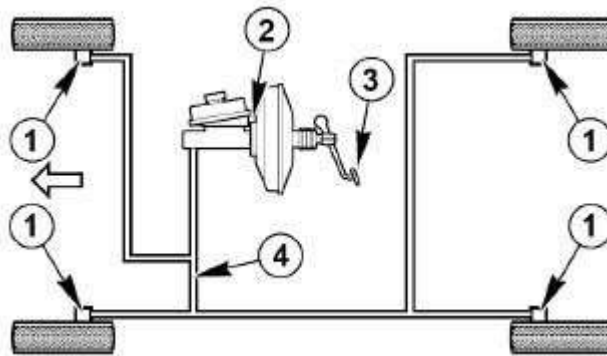
Dẫn động bằng thủy lực có đặc điểm là độ nhạy cao, kết cấu đơn giản nhưng nếu không có cường hóa dẫn động lực người lái cần để điều khiển phanh lớn hơn so với dẫn động bằng khí nén. Vì vậy hệ thống phanh dẫn động thủy lực thường được sử dụng trên ô tô du lịch hoặc ô tô tải nhỏ.

Ở phanh dầu lực tác dụng từ bàn đạp lên cơ cấu phanh qua chất lỏng (chất lỏng được coi như không đàn hồi khi ép).

Cấu tạo chung của hệ thống phanh dẫn động bằng thủy lực bao gồm: bàn đạp phanh, xi lanh chính (tổng phanh), các ống dẫn, các xi lanh công tác (xi lanh bánh xe).

Trong hệ thống phanh dẫn động phanh bằng thủy lực tùy theo sơ đồ của mạch dẫn động người ta chia ra dẫn động một dòng và dẫn động hai dòng.

- Dẫn động một dòng (hình 1.5)



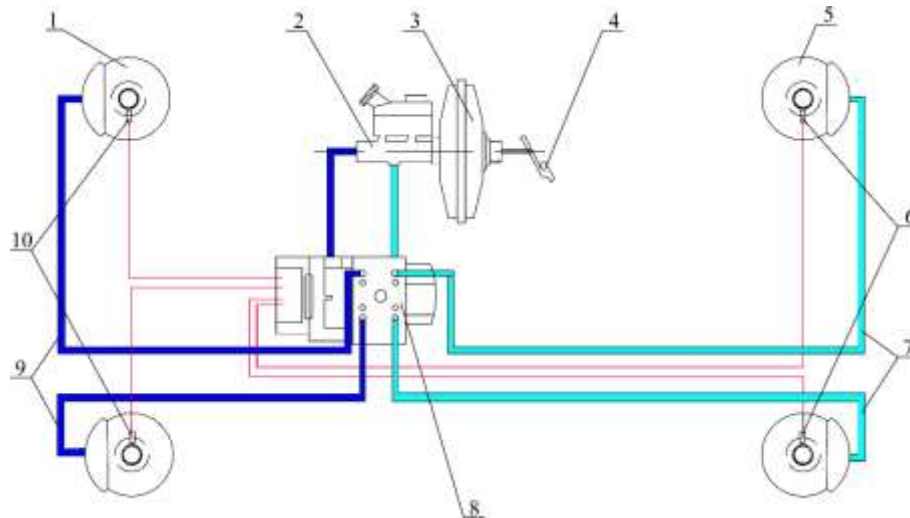
Hình 1.4. Sơ đồ cấu tạo hệ thống phanh dầu dẫn động 1 dòng.

1. Xi lanh con; 2. Tổng phanh; 3. Bàn đạp phanh; 4. Đường dẫn dầu.

Dẫn động một dòng có nghĩa là từ dầu ra của xi lanh chính chỉ có một đường dầu duy nhất dẫn đến tất cả các xi lanh công tác của các bánh xe. Dẫn động một dòng có kết cấu đơn giản nhưng độ an toàn không cao. Vì một lý do nào đó, bất kỳ một đường ống dẫn dầu nào đến các xi lanh bánh xe bị rò rỉ thì dầu trong hệ thống bị mất áp suất và tất cả các bánh xe đều bị mất phanh.

Vì vậy trong thực tế người ta hay sử dụng dẫn động thủy lực hai dòng.

- Dẫn động hai dòng (hình 1.6)



Hình 1.5. Sơ đồ hệ thống dẫn động thủy lực

1. Đĩa phanh trước; 2. Xi lanh phanh; 3. Bầu trợ lực; 4. Bàn đạp phanh; 5. Đĩa phanh sau; 6. Cảm biến tốc độ bánh xe; 7. Đường dầu sau; 8. Bộ chấp hành ABS; 9. Đường dầu trước; 10. Cảm biến tốc độ bánh xe

Dẫn động hai dòng có nghĩa là từ đầu ra của xi lanh chính có hai đường dầu độc lập dẫn đến các bánh xe của ô tô. Để có hai đầu ra độc lập người ta có thể sử dụng một xi lanh chính đơn kết hợp với một bộ chia dòng hoặc sử dụng xi lanh chính kép (loại "tăng đem").

1.2.5. Cơ cấu phanh tại bánh xe

Cơ cấu phanh tại bánh xe là bộ phận trực tiếp tạo lực ma sát để làm giảm hoặc dừng chuyển động quay của bánh xe. Đây là nơi chuyển đổi năng lượng cơ học thành nhiệt năng, đóng vai trò quan trọng nhất trong việc đảm bảo hiệu quả phanh của toàn hệ thống.

Cơ cấu phanh được lắp đặt tại từng bánh xe, thường kết hợp với hệ thống dẫn động (thủy lực, khí nén...) để tạo áp suất phanh. Có hai loại cơ cấu phanh phổ biến nhất hiện nay:

a. Cơ cấu phanh tang trống

Là loại phanh truyền thống, vẫn được sử dụng rộng rãi ở bánh sau xe con, xe tải nhẹ và phanh tay, nhờ ưu điểm về giá thành và khả năng tự tăng lực.

- Guốc phanh được đặt bên trong tang trống quay theo bánh xe.
- Khi phanh, guốc phanh bung ra ép vào tang trống, tạo ma sát và hãm bánh xe.
- Kết cấu kín giúp hạn chế bụi bẩn, nhưng tản nhiệt kém và hiệu suất giảm khi phanh liên tục.

b. Cơ cấu phanh đĩa

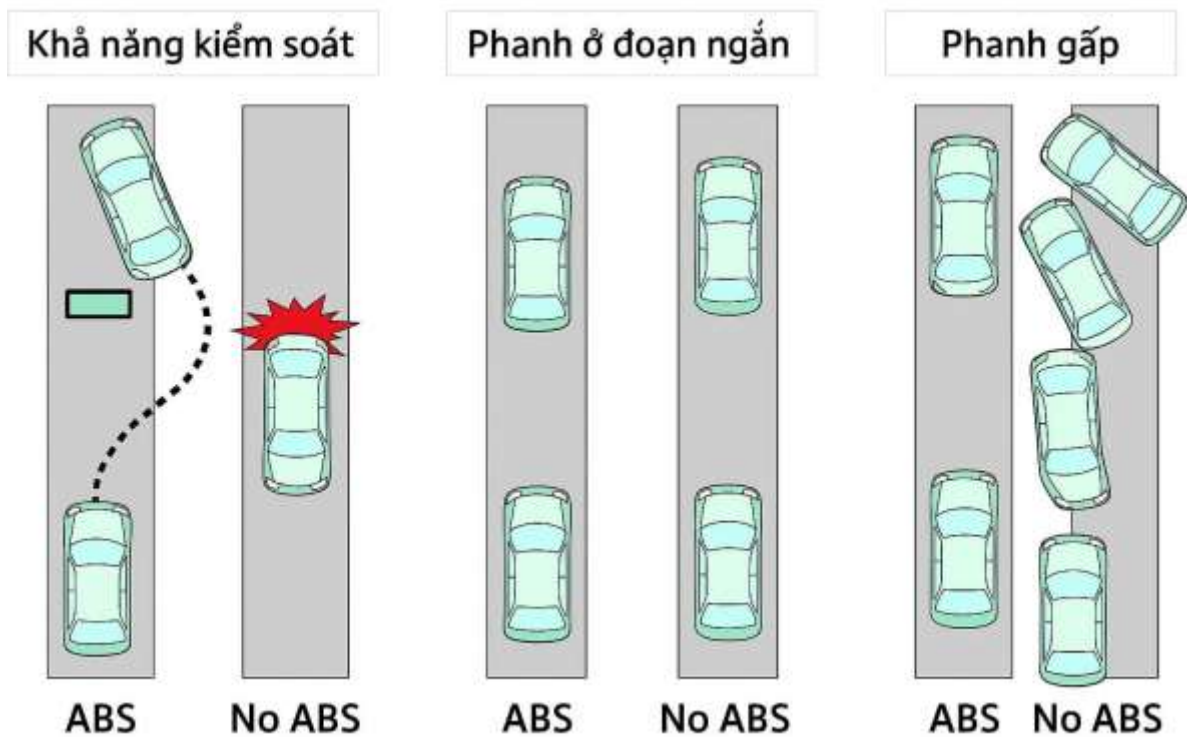
Được sử dụng rộng rãi ở bánh trước và xe đời mới, đặc biệt các xe có tốc độ cao hoặc yêu cầu hiệu suất phanh ổn định.

- Gồm đĩa phanh gắn vào moay-ơ, má phanh kẹp hai bên đĩa, và cụm heo dầu.
- Khi phanh, má phanh ép vào hai mặt đĩa, tạo ra lực ma sát làm giảm tốc độ quay.
- Tản nhiệt tốt, độ nhạy cao, dễ bảo dưỡng, nhưng không có tính tự tăng lực như phanh tang trống.

1.2.6. Bộ chống hãm cứng bánh xe khi phanh ABS

Trong quá trình phanh xe, nếu các bánh xe bị trượt lết thì khả năng bám đường của bánh xe giảm rất nhiều so với khả năng bám khi bánh xe ở giới hạn trượt lết nên hiệu quả phanh giảm nhiều. Mặt khác, khi bánh xe bị trượt lết thì mất khả năng điều khiển hướng chuyển động của xe nên chất lượng phanh giảm.

Bộ ABS thực hiện điều chỉnh áp suất ra các cơ cấu phanh của các bánh xe theo độ trượt của các bánh xe khi phanh, đảm bảo điều chỉnh chính xác để bánh xe không bị trượt khi phanh do đó nâng cao được hiệu quả và chất lượng phanh xe. Hiện nay ở các nước tiên tiến chỉ cho phép nhập các loại ô tô có lắp đặt bộ ABS.



Hình 1.6. Xe ô tô khi có và không có bộ chống hãm cứng bánh xe ABS

Chương 2: TỔNG QUAN VỀ XE HYUNDAI CRETA 2024

2.1. Giới thiệu chung

Hyundai Creta 2024 là mẫu SUV cỡ nhỏ nổi bật của hãng Hyundai, được thiết kế hướng đến nhu cầu di chuyển đô thị và gia đình. Phiên bản mới nhất được phân phối tại nhiều thị trường châu Á, trong đó có Việt Nam, với nhiều cải tiến về thiết kế ngoại thất, trang bị nội thất và đặc biệt là hệ thống an toàn. [13]

Với kích thước gọn gàng, khoảng sáng gầm xe cao và hệ thống treo linh hoạt, Creta 2024 mang lại khả năng vận hành ổn định ở nhiều điều kiện mặt đường khác nhau. Xe được trang bị động cơ Smartstream 1.5L, kết hợp hộp số vô cấp iVT giúp tối ưu hóa hiệu suất nhiên liệu và mang lại trải nghiệm lái mượt mà.

Đáng chú ý, Hyundai Creta 2024 được tích hợp nhiều công nghệ hỗ trợ an toàn hiện đại như hệ thống cân bằng điện tử (ESC), hỗ trợ khởi hành ngang dốc (HAC), kiểm soát lực kéo (TCS) và đặc biệt là hệ thống chống bó cứng phanh (ABS) – một yếu tố then chốt trong việc đảm bảo an toàn khi phanh gấp hoặc trong điều kiện mặt đường trơn trượt.

Việc lựa chọn Hyundai Creta 2024 làm đối tượng nghiên cứu trong tiểu luận không chỉ phù hợp với xu hướng phát triển của các dòng xe hiện đại mà còn tạo điều kiện thuận lợi để phân tích và đánh giá hiệu quả hoạt động của hệ thống phanh ABS trong môi trường vận hành thực tế.



Hình 2.1 Xe ô tô Hyundai Creta 2024

2.2. Thông số kỹ thuật xe

Bảng 2.1. Các thông số kỹ thuật xe Hyundai Creta 2024

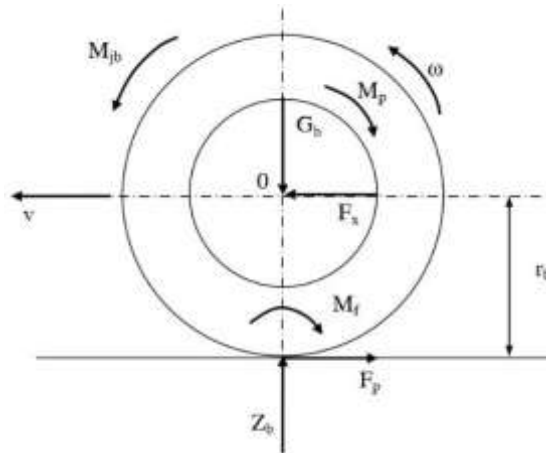
Động cơ	1.5L, I4, Xăng, hút khí tự nhiên
Công suất (Hp/rpm) - kW	115/6300 – 84.6 kW
Mô men xoắn (Nm/rpm)	144/4500
Hộp số	Tự động vô cấp thông minh iVT
Hệ dẫn động	FWD
Dài x Rộng x Cao (mm)	4315 x 1790 x 1660
Chiều dài cơ sở (mm)	2610
Khoảng sáng gầm xe (mm)	200
Trọng lượng không tải (kg)	1250
Hệ thống phanh	Phanh đĩa trước & sau, có ABS/EBD
Chiều rộng cơ sở trước/sau (mm)	1550 / 1567
Lốp xe	215/60 R17
Phân bố tải trọng trước/sau (không tải) %	60/40
Hệ thống treo trước	McPherson
Hệ thống treo sau	Thanh xoắn bán độc lập

Chương 3: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ HỆ THỐNG PHANH

3.1. Tổng quan về lý thuyết phanh ô tô

3.1.1. Lực phanh và momen phanh cần thiết trên ô tô

3.1.1.1. Lực phanh và các momen tác dụng lên bánh xe khi phanh



Hình 3.1. Sơ đồ lực và momen tác dụng lên bánh xe khi phanh

Khi người lái xe đạp bàn đạp phanh, cùng lúc thời điểm đó các cụm cơ cấu phanh tạo ra một momen ma sát còn được gọi là momen phanh (M_p), ở điểm tiếp xúc giữa mặt đường và bánh xe xuất hiện lực phanh (F_p) ngược với chiều chuyển động của xe ô tô.

Lực phanh lúc này được tính theo công thức dưới đây: [1]

$$F_p = \frac{M_p}{r_b} \quad (3.1)$$

Trong đó:

M_p : Momen phanh tác dụng lên bánh xe.

F_p : Lực phanh tác dụng tại điểm tiếp xúc giữa mặt đường và bánh xe

r_b : Bán kính tính toán của bánh xe.

Ta thấy được M_p tỉ lệ thuận với F_p , nhưng lực phanh cực đại bị giới hạn bởi điều kiện bám giữa bánh xe với mặt đường theo công thức:

$$F_{pmax} = F_\varphi = Z_b \times \varphi \quad (3.2)$$

Trong đó:

F_φ : Lực bám dọc giữa mặt đường với bánh xe.

Z_b : Phản lực pháp tuyến tác dụng lên bánh xe.

φ : Hệ số bám dọc giữa mặt đường với bánh xe.

Khi phanh, momen quán tính M_{jb} và momen cản lăn M_f cũng tác dụng lên bánh xe cùng với momen phanh. Do đó lực hãm tổng cộng tác dụng lên bánh xe sẽ là:

$$F_h = F_p + \frac{M_f - M_{jb}}{r_b} \quad (3.3)$$

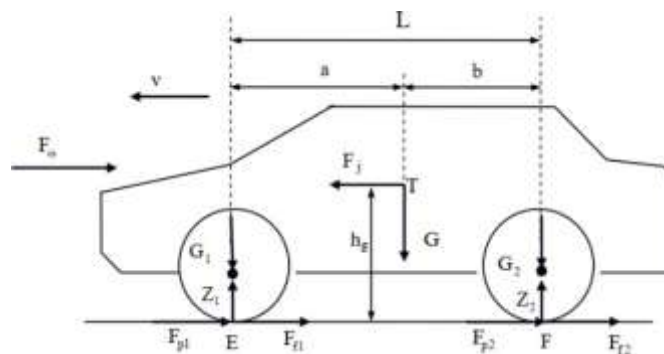
Trong quá trình phanh, khi momen phanh tăng, lực phanh cũng tăng theo, và đến một thời điểm nào đó, lực phanh sẽ đạt đến mức tối đa. Khi đó, bánh xe có thể bắt đầu trượt lết, khiến hiệu suất phanh giảm đi do hệ số bám (φ) giảm xuống mức tối thiểu (φ_{\min}). Đặc biệt, nếu trượt lết xảy ra ở bánh xe trước, tính khả năng kiểm soát của xe sẽ giảm đi đáng kể, còn ở bánh xe sau, tính ổn định của xe cũng bị ảnh hưởng do sự trượt lết, dẫn đến khả năng trượt ngang khi có lực nhỏ tác động lên xe. Sự trượt lết này không chỉ làm giảm hiệu suất phanh mà còn làm tăng độ mòn của lốp, đồng thời gây ra hiện tượng trượt dọc và ảnh hưởng xấu đến tính ổn định ngang của xe.

3.1.1.2. Lực phanh ô tô và điều kiện đảm bảo phanh tối ưu

a) Lực phanh ô tô

Những lực tác dụng lên xe ô tô khi đang phanh: [1]

- Trọng lượng của ô tô (G).
- Lực cản lăn của các bánh xe trước và bánh xe sau (F_{f1} và F_{f2}).
- Phản lực thẳng góc tác dụng lên các bánh xe trước và sau (Z_1 và Z_2).
- Lực phanh ở các bánh xe trước và sau (F_{p1} và F_{p2}).
- Lực cản không khí (F_w).
- Lực quán tính F_j do khi phanh có gia tốc chậm dần.



Hình 3.2. Các lực tác dụng lên ô tô khi phanh

Lực F_j này được xác định theo biểu thức sau:

$$F_j = \frac{G}{g} \times j_p \quad (3.4)$$

Trong đó:

g : Gia tốc trọng trường.

j_p : Gia tốc chậm dần khi phanh.

Bỏ qua sai số của lực cản không khí và lực cản lăn khi phanh vì không đáng kể.

Xét cân bằng momen của các lực tác dụng lên xe lúc phanh tại điểm E, F. Phản lực thẳng góc tác dụng lên mỗi bánh xe cầu trước và bánh xe cầu sau là:

$$Z_1 = \frac{Gb + F_j \times h_g}{L} = G_1 \quad (3.5)$$

$$Z_2 = \frac{Ga + F_j \times h_g}{L} = G_2 \quad (3.6)$$

Trong đó:

a, b, h_g : Tọa độ trọng tâm của ô tô.

G_1, G_2 : Tải trọng tác dụng lên các bánh xe khi phanh.

Thay F_j ở biểu thức (2.4) vào Z_1 và Z_2 ta được:

$$Z_1 = Z_{1t} \times m_{1p} = G_{1t} \times m_{1p} \quad (3.7)$$

$$Z_2 = Z_{2t} \times m_{2p} = G_{2t} \times m_{2p} \quad (3.8)$$

Trong đó:

$$Z_{1t} = \frac{Gb}{L}; Z_{2t} = \frac{Ga}{L}$$
$$m_{1p} = 1 + \frac{j_p \times h_g}{gb}; m_{2p} = 1 - \frac{j_p \times h_g}{ga}$$

Với:

Z_{1t}, Z_{2t} : Phản lực pháp tuyến tác dụng lên bánh xe ở hai cầu trên mặt phẳng ngang.

m_{1p}, m_{2p} : Hệ số thay đổi tải trọng khi phanh (cầu trước và sau).

G_{1t}, G_{2t} : Tải trọng tĩnh tác dụng lên bánh xe ở hai cầu trước và cầu sau.

Các lực phanh sinh ra ở bán xe cầu trước và cầu sau là:

$$F_{p1} = F_{\varphi1} = Z_1 \varphi = \frac{G}{L} \left(b + \frac{j_p h_g}{g} \right) \varphi \quad (3.9)$$

$$F_{p2} = F_{\varphi2} = Z_2 \varphi = \frac{G}{L} \left(a - \frac{j_p h_g}{g} \right) \varphi \quad (3.10)$$

Để tận dụng hết trọng lượng bám của ô tô thì cơ cấu phanh được bố trí ở tất cả các bánh xe và lực phanh lớn nhất là:

$$F_{pmax} = G\varphi \quad (3.11)$$

b) Điều kiện đảm bảo cho phanh tối ưu

Phanh tối ưu đề cập đến việc quá trình phanh đạt được hiệu suất cao nhất, tức là quãng đường phanh, thời gian phanh và gia tốc phanh đều được giảm xuống mức thấp nhất có thể.

Để đảm bảo hiệu suất phanh cao nhất, lực phanh cần tỉ lệ thuận với tải trọng của xe. Tuy nhiên, tải trọng trên các bánh xe có thể biến đổi do sự ảnh hưởng của lực quán tính F_j .

Để quá trình phanh đạt hiệu suất cao nhất, tỉ lệ lực phanh ở các bánh xe trước và sau cần tuân theo một số điều kiện cụ thể: [1]

$$\frac{F_{p1}}{F_{p2}} = \frac{\varphi Z_1}{\varphi Z_2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Gb + F_j h_g}{Ga - F_j h_g} \quad (3.12)$$

Bỏ qua lực cản F_{f1} và F_{f2} khi phanh vì không đáng kể, ta có:

$$F_j = F_{p1} + F_{p2}; F_{jmax} = F_{pmax} = G\varphi \quad (3.13)$$

Thay F_{jmax} vào công thức (2.12), ta suy ra được:

$$\frac{F_{p1}}{F_{p2}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g} \quad (3.14)$$

Biểu thức (3.14) là điều kiện cần thiết để đảm bảo quá trình phanh đạt hiệu quả cao nhất.

Tuy nhiên, khi phanh với các tọa độ trọng tâm (a, b, h_g) và hệ số bám dọc φ luôn thay đổi, biểu thức này cũng thay đổi theo. Để đảm bảo điều này, momen phanh M_{p1} và M_{p2} phải điều chỉnh, và điều này chỉ có thể thực hiện bằng cách điều chỉnh áp suất dầu trong các xi lanh của các bánh xe.

Trong các hệ thống phanh thông thường, việc điều chỉnh áp suất này không tự động xảy ra. Khi tài xế đạp phanh mạnh, sau một khoảng thời gian ngắn trong quá trình phanh, tải trọng trên các bánh xe có thể thay đổi, dẫn đến lực bám $F_{\varphi 1}$ tăng và $F_{\varphi 2}$ giảm. Kết quả là $F_{p1} < F_{\varphi 1}$ và $F_{p2} > F_{\varphi 2}$, làm cho bánh xe cầu sau trượt lết và hãm cứng. Trong tình huống này, chỉ cần một lực ngang nhỏ tác động lên xe là cầu sau có thể trượt ngang, làm giảm độ ổn định và tăng nguy cơ lật đổ của xe.

Để ngăn chặn tình trạng này, hệ thống ABS (Hệ thống chống phanh bó cứng) và hệ thống EBD (Phân phối lực phanh điện tử) được phát triển để tự động điều chỉnh áp suất dẫn động đến các cơ cấu phanh. Nhờ đó, lực phanh được điều chỉnh sao cho phù hợp với điều kiện cụ thể, giúp đảm bảo hiệu quả và an toàn trong quá trình phanh.

3.1.1.3. Phân bố lực phanh và momen của xe ô tô khi phanh

Xét theo công thức (3.14), nếu giả sử bán kính của các bánh xe là r_{b1} và r_{b2} đều như nhau, ta có thể biểu diễn quan hệ giữa momen phanh ở các bánh xe khi phanh như sau:

$$\frac{M_{p2}}{M_{p1}} = \frac{F_{p2} r_{b2}}{F_{p1} r_{b1}} = \frac{F_{p2}}{F_{p1}} \quad (3.15)$$

Kết hợp các công thức (3.14) và (3.15) ta có tỷ số sau:

$$\frac{M_{p2}}{M_{p1}} = \frac{a - \varphi h_g}{b + \varphi h_g} \quad (3.16)$$

Với:

M_{p1} và M_{p2} là các momen phanh sinh ra ở các bánh xe trước và bánh xe sau.

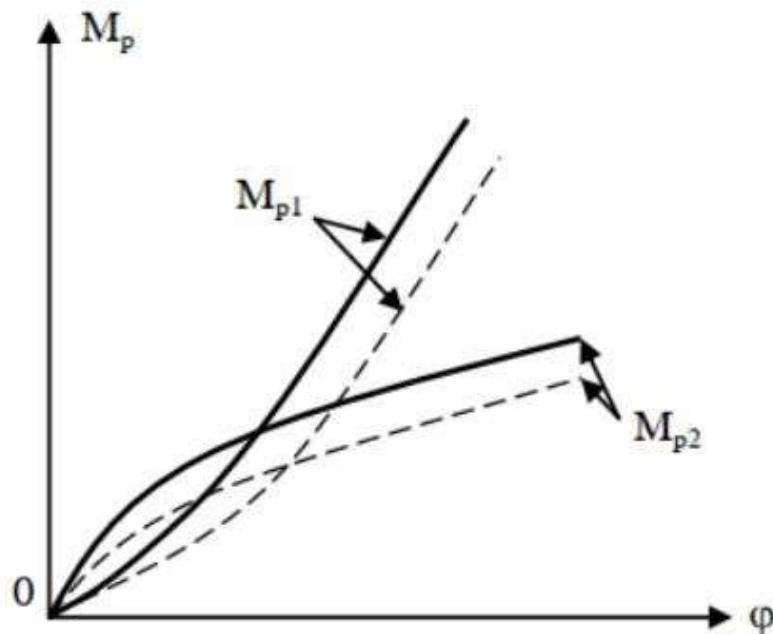
Như vậy, khi các momen phanh ở các bánh xe mà thỏa mãn biểu thức (2.16) thì hiệu quả phanh sẽ là tốt nhất.

Momen phanh sinh ra ở các bánh xe có thể xác định từ điều kiện bám:

$$M_{p1} = \varphi Z_1 r_b = \frac{Gr_b \varphi}{L} (b + \varphi h_g) \quad (3.17)$$

$$M_{p2} = \varphi Z_2 r_b = \frac{Gr_b \varphi}{L} (a - \varphi h_g) \quad (3.18)$$

Đối với ô tô có tải trọng không đổi, các tham số như a, b, h_g cũng không thay đổi. Tuy nhiên, sự thay đổi của hệ số bám dọc φ có thể được mô tả bằng biểu thức (3.17) và (3.18). Dựa trên những biểu thức này, chúng ta có thể vẽ đồ thị $M_{p1}=f_1(\varphi)$ và $M_{p2}=f_2(\varphi)$ như sau:

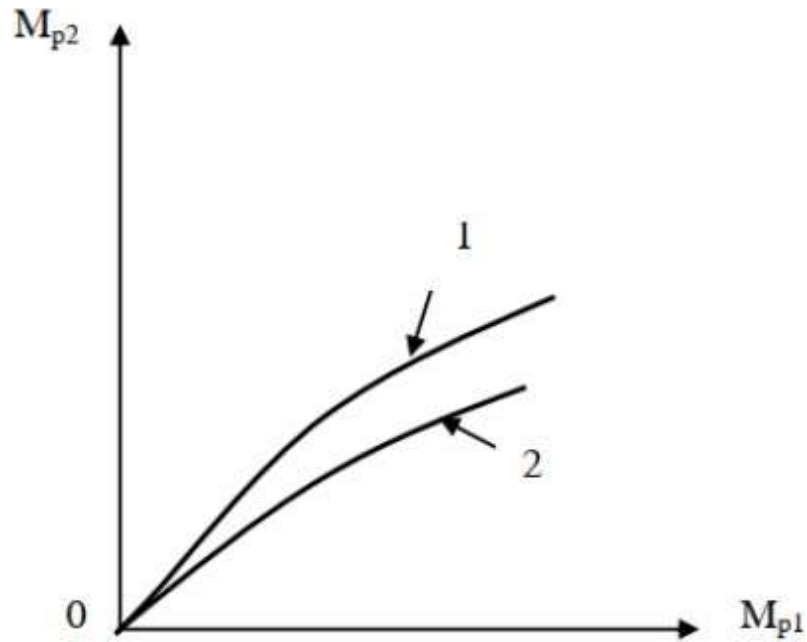


Hình 3.3. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa momen phanh với hệ số bám

Trong đó:

- Đường nét liền tương ứng với ô tô đầy tải
- Đường nét đứt tương ứng với ô tô không tải.

Từ hình 3.3 có thể vẽ đồ thị về mối quan hệ giữa momen phanh ở các bánh xe cầu trước và các bánh xe cầu sau.



Hình 3.4. Đường đặc tính phanh lý tưởng của ô tô

Chú thích: 1 – Đầy tải; 2 – Không tải

Trong các ô tô hiện đại, thường sử dụng hệ thống dẫn động phanh bằng thủy lực hoặc khí nén. Quan hệ giữa momen phanh sinh ra ở bánh xe và áp suất trong hệ thống dẫn động phanh thường được biểu diễn như sau: [5]

$$M_{p1} = k_1 p_{1dd} \quad (3.19)$$

$$M_{p2} = k_2 p_{2dd} \quad (3.20)$$

Trong đó:

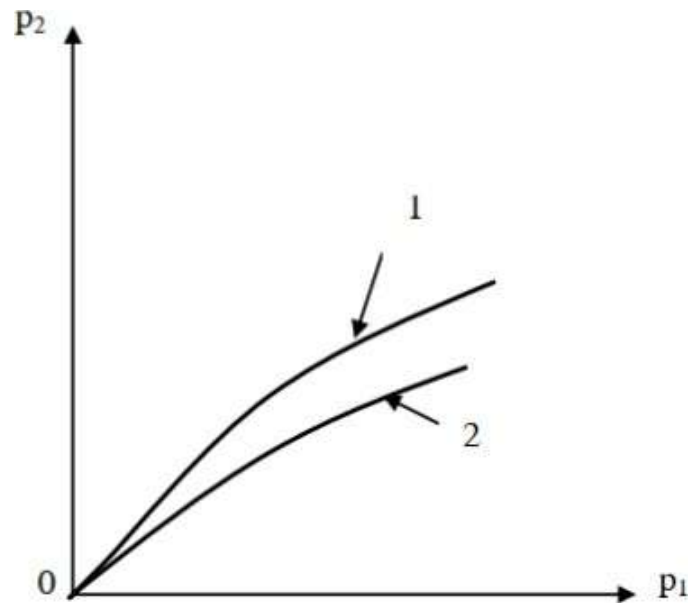
p_{1dd}, p_{2dd} : Áp suất trong dẫn động phanh của cơ cấu phanh trước và sau.

k_1, k_2 : Hệ số tỉ lệ tương ứng với phanh trước và sau.

Từ 2 biểu thức (3.19) và (3.20) có thể xác định quan hệ giữa áp suất trong dẫn động phanh trước và sau là:

$$\frac{p_{2dd}}{p_{1dd}} = \frac{k_1 M_{p2}}{k_2 M_{p1}} \quad (3.21)$$

Do đó, để đảm bảo quá trình phanh diễn ra hiệu quả, quan hệ giữa áp suất trong hệ thống phanh cần phải tuân theo đồ thị được mô tả trên hình 3.5. Đây được coi là đường đặc tính lý tưởng trong điều hòa lực phanh. Tuy nhiên, để đạt được đường đặc tính này, bộ điều hòa lực phanh phải có cấu trúc khá phức tạp. Trong thực tế, các thiết kế thường chỉ tương đối gần đúng với đường đặc tính lý tưởng này.



Hình 3.5. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa áp suất trong dẫn động phanh trước và sau

Chú thích: 1 – Đầy tải; 2 – Không tải

3.1.1.4. Momen phanh cần thiết tại các cơ cấu phanh

Momen phanh tạo ra từ các cơ cấu phanh của ô tô cần đảm bảo rằng xe giảm tốc độ hoặc dừng hoàn toàn với một gia tốc chậm dần nằm trong khoảng cho phép. Ngoài ra, cũng cần đảm bảo rằng xe có thể giữ đứng ở dốc, như trong trường hợp momen phanh được tạo ra từ phanh tay.

Lực phanh lớn nhất mà có thể tác động lên bánh xe khi phanh trên mặt đường nằm ngang đối với cầu trước có thể được biểu diễn như sau:[2]

$$F_{p1} = \frac{G_{1t}}{2} m_{1p} \varphi = \frac{Gb}{2L} m_{1p} \varphi \quad (3.22)$$

Ở cầu sau:

$$F_{p2} = \frac{G_{2t}}{2} m_{2p} \varphi = \frac{Ga}{2L} m_{2p} \varphi \quad (3.23)$$

Các hệ số m_{1p} và m_{2p} cho trường hợp phanh với cường độ lớn nhất ($j_p = j_{pmax}$) sẽ là:

$$m_{1p} = 1 + \frac{j_{max} h_g}{gb} = 1 + \frac{\varphi' h_g}{b} \quad (3.24)$$

$$m_{2p} = 1 - \frac{j_{max} h_g}{ga} = 1 - \frac{\varphi' h_g}{a} \quad (3.25)$$

Trong đó:

j_{max} : Gia tốc chậm dần cực đại khi phanh.

φ' : Hệ số đặc trưng cho cường độ phanh ($\varphi' = \frac{j_{max}}{g}$).

Đối với ô tô, cơ cấu phanh (chân) được thiết kế ở tất cả các bánh xe, điều này có nghĩa là mỗi bánh xe đều có cơ cấu phanh riêng. Do đó, momen phanh cần được sinh ra từ mỗi cơ cấu phanh ở cầu trước có thể được tính toán như sau:

$$M_{p1} = \frac{G_{1t}}{2} m_{1p} \varphi r_b = \frac{G}{2L} (b + \varphi' h_g) \varphi r_b \quad (3.26)$$

Ở cầu sau là:

$$M_{p2} = \frac{G_{2t}}{2} m_{2p} \varphi r_b = \frac{G}{2L} (a - \varphi' h_g) \varphi r_b \quad (3.27)$$

Khi thực hiện tính toán, chúng ta có thể lựa chọn hệ số bám dọc φ' trong khoảng từ 0,4 đến 0,5 cho bề mặt đường khô và hệ số bám dọc φ trong khoảng từ 0,7 đến 0,8 cho bề mặt đường ướt.

Xét về kết cấu của phanh guốc, momen phanh M_{p1} và M_{p2} được tính toán như sau:

$$M_{p1} = M'_{p1} + M''_{p1} \quad (3.28)$$

$$M_{p2} = M'_{p2} + M''_{p2} \quad (3.29)$$

Trong đó:

M'_{p1} , M''_{p1} : Momen phanh sinh ra ở má phanh trước và sau của mỗi cơ cấu phanh ở cầu trước.

M'_{p2} , M''_{p2} : Momen phanh sinh ra ở má phanh trước và sau của mỗi cơ cấu phanh ở cầu sau.

3.1.2. Các chỉ tiêu đánh giá hiệu quả phanh

3.1.2.1. Gia tốc chậm dần khi phanh

Đây là một trong những yêu cầu cần thiết để đánh giá hiệu quả của hệ thống phanh của ô tô. Phương trình cân bằng lực kéo khi phanh có thể được biểu diễn như sau:

$$F_j = F_p + F_f + F_\omega + F_\eta \pm F_i \quad (3.30)$$

Trong đó:

F_j : Lực quán tính khi phanh.

F_p : Lực phanh ở các bánh xe.

F_f : Lực cản lăn.

F_ω : Lực cản không khí.

F_η : Lực để thắng tiêu hao cho ma sát cơ khí.

F_i : Lực cản lên dốc.

Bỏ qua các lực cản nhỏ và không đáng kể, khi phanh trên mặt phẳng ngang, chúng ta có thể biểu diễn phương trình sau:

$$F_j = F_p \quad (3.31)$$

Lực phanh cực đại được xác định dựa trên điều kiện bám và có công thức như sau:

$$F_{pmax} = G\varphi$$

Tương đương:

$$\delta_i \frac{G}{g} j_{pmax} = G\varphi \quad (3.32)$$

Trong đó:

δ_i : Hệ số tính đến ảnh hưởng của các trọng khối quay của ô tô.

j_{pmax} : Gia tốc chậm dần cực đại khi phanh.

Từ biểu thức (3.32), chúng ta có thể xác định được gia tốc chậm dần cực đại khi phanh là:

$$j_{pmax} = \frac{\varphi g}{\delta_i} \quad (3.33)$$

Vậy, để tăng gia tốc chậm dần cực đại khi phanh, chúng ta có thể giảm hệ số δ_i bằng cách đạp côn khi phanh gấp, hoặc tăng hệ số bám φ bằng cách nâng cấp tình trạng mặt đường. Điều này giúp tăng khả năng phanh của xe và đảm bảo an toàn khi di chuyển trên đường.

3.1.2.2. Thời gian phanh

Thời gian phanh càng ngắn thì chất lượng phanh càng tốt, vì cho phép xe dừng lại nhanh chóng và an toàn hơn trong các tình huống cần thiết. Thời gian phanh được xác định thông qua công thức sau: [5]

$$j_p = \frac{dv}{dt} = \frac{\varphi g}{\delta_i} \quad (3.34)$$

Suy ra:

$$dt = \frac{\delta_i}{\varphi g} dv \quad (3.35)$$

Để tính toán thời gian phanh, chúng ta cần tích phân (dt) tại thời điểm tương ứng với vận tốc khi bắt đầu phanh (v_1) tới thời điểm tương ứng với vận tốc khi kết thúc quá trình phanh (v_2).

$$t_{pmin} = \int_{v_2}^{v_1} \frac{\delta_i}{\varphi g} dv = \frac{\delta_i}{\varphi g} (v_1 - v_2) \quad (3.36)$$

Quá trình phanh diễn ra cho đến khi xe dừng lại hoàn toàn, tức là lúc này vận tốc cuối cùng (v_2) của xe là 0. Do đó, ta có thể suy ra rằng:

$$t_{pmin} = \frac{\delta_i v_1}{\varphi g} \quad (3.37)$$

Từ biểu thức (3.37), chúng ta có thể thấy rằng thời gian phanh ngắn nhất phụ thuộc vào vận tốc khi bắt đầu phanh, cũng như các yếu tố như hệ số δ_i và hệ số bám φ . Dựa vào đó, chúng ta có thể áp dụng các biện pháp để giảm thời gian phanh tương ứng, bao gồm việc điều chỉnh hệ số δ_i hoặc hệ số bám φ , cũng như cải thiện các yếu tố khác như trạng thái của đường đi hoặc hiệu suất của hệ thống phanh. Điều này giúp tăng cường khả năng phanh của xe và đảm bảo an toàn khi di chuyển trên đường.

3.1.2.3. Quãng đường phanh

Quãng đường phanh là một chỉ tiêu rất quan trọng để đánh giá hiệu quả của hệ thống phanh của ô tô. Khác với các chỉ tiêu khác, quãng đường phanh có thể được nhận biết một cách tương đối trực quan, dễ dàng giúp người khác lái xe xử lý các tình huống giao thông.

Xét công thức (3.34), chúng ta nhân hai vế của phương trình với dS , ta sẽ thu được:

$$\frac{dv}{dt} dS = \frac{\varphi g}{\delta_i} dS$$

Hoặc:

$$v dv = \frac{\varphi g}{\delta_i} dS \quad (3.38)$$

Quãng đường phanh ngắn nhất được tính bằng cách tích phân (dS) từ vận tốc ban đầu (v_1) đến vận tốc cuối cùng (v_2):

$$S_{pmin} = \int_{v_2}^{v_1} \frac{\delta_i}{\varphi g} v dv = \frac{\delta_i}{\varphi g} \int_{v_2}^{v_1} v dv \quad (3.39)$$

$$S_{pmin} = \frac{\delta_i}{2\varphi g} (v_1^2 - v_2^2) \quad (3.40)$$

Phanh đến khi xe dừng lại hoàn toàn, điều này ngụ ý rằng vận tốc cuối cùng v_2 của xe là 0:

$$S_{pmin} = \frac{\delta_i v_1^2}{2\varphi g} \quad (3.41)$$

Từ công thức (3.41), chúng ta có thể thấy rằng quãng đường phanh ngắn nhất phụ thuộc vào ba yếu tố chính:

- Vận tốc của ô tô khi bắt đầu phanh.
- Hệ số bám (φ).
- Hệ số tính đến ảnh hưởng của các khối lượng quay.

Lưu ý, theo công thức này, các giá trị j_{pmax} , t_{pmin} , S_{pmin} đều phụ thuộc vào hệ số bám φ . Mặt khác, hệ số bám φ cũng phụ thuộc vào tải trọng G của xe. Do đó,

mặc dù trong công thức tính toán không có sự xuất hiện trực tiếp của G , nhưng tải trọng G vẫn ảnh hưởng gián tiếp đến sự thay đổi của j_{pmax} , t_{pmin} , S_{pmin} .

3.1.2.4. Lực phanh và lực phanh riêng

Đối với lực phanh và lực phanh riêng, đây là các chỉ tiêu đánh giá được sử dụng để đánh giá hiệu quả khi thử phanh ô tô trên bệ thử. Trong quá trình thử nghiệm, lực phanh thường được xác định thông qua công thức sau:[5]

$$F_p = \frac{M_p}{r_b} \quad (3.42)$$

Lực phanh riêng là lực phanh được tính dựa trên một đơn vị trọng lượng toàn bộ (G) của ô tô:

$$F_{pr} = \frac{F_p}{G} \quad (3.43)$$

Lực phanh riêng lớn nhất xảy ra khi lực phanh đạt giá trị lớn nhất:

$$F_{prmax} = \frac{F_{pmax}}{G} = \frac{\varphi G}{G} = \varphi \quad (3.44)$$

Có thể nhận thấy rằng, lực phanh riêng cực đại bằng với hệ số bám. Theo lý thuyết, trên mặt đường nằm ngang (nhựa khô), lực phanh riêng lớn nhất có thể đạt tới khoảng 75 đến 80%. Tuy nhiên, trên thực tế, giá trị lực phanh riêng thường chỉ đạt từ 45 đến 65%. Điều này có thể do nhiều yếu tố như độ mài mòn của bề mặt đường, điều kiện thời tiết, và tính hiệu quả của hệ thống phanh.

Kết luận:

Trong tất cả các tiêu chí đánh giá hiệu suất phanh của ô tô, quãng đường phanh được coi là yếu tố có ý nghĩa quan trọng và đặc trưng nhất. Quãng đường phanh giúp tài xế dự đoán vị trí mà xe sẽ dừng lại, từ đó có thể phản ứng kịp thời để tránh các tình huống nguy hiểm khi phanh ở một tốc độ cụ thể.

Cần lưu ý rằng, trong số bốn chỉ tiêu được đề cập, mỗi chỉ tiêu đều mang ý nghĩa quan trọng và có thể được sử dụng để đánh giá chất lượng phanh của xe. Tức là, chỉ cần một trong bốn tiêu chí trên đã đủ để đánh giá hiệu suất phanh của ô tô.

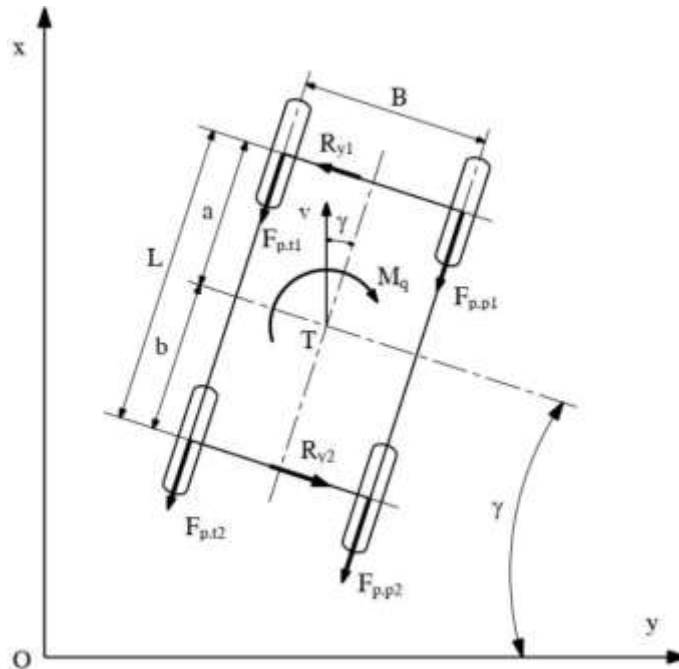
3.1.3. Ổn định của ô tô khi phanh nếu các lực phanh phân bố không đều

Ngày nay, với sự phát triển của công nghệ kỹ thuật và cải thiện chất lượng của đường xá, các phương tiện di chuyển có khả năng hoạt động ở tốc độ cao ngày càng được hỗ trợ tốt hơn. Trong bối cảnh này, tính ổn định hướng của ô tô khi phanh ở tốc độ cao trở nên vô cùng quan trọng để đảm bảo an toàn trong quá trình di chuyển.

Khi phanh, có thể xảy ra tình huống trục dọc của ô tô bị nghiêng đi một góc γ so với quỹ đạo chuyển động. Điều này xuất phát từ sự khác biệt về lực phanh được tạo ra

ở các bánh xe, dẫn đến việc tạo ra momen quay vòng (M_q) quanh trục thẳng đứng (Z) đi qua trọng tâm (T) của ô tô (hình 3.6).

Sự nghiêng quá mức quy định khi phanh của ô tô có thể ảnh hưởng đến sự an toàn trong quá trình di chuyển trên đường. Do đó, tính ổn định của ô tô khi phanh là khả năng kiểm soát quỹ đạo chuyển động của ô tô theo ý người lái. Điều này đặc biệt quan trọng để đảm bảo an toàn và ổn định trong mọi tình huống giao thông.



Hình 3.6. Sơ đồ lực tác dụng lên ô tô khi phanh mà có hiện tượng quay xe do lực phanh phân bố không đều

Xét trường hợp ô tô đang di chuyển thẳng theo hướng trục X , góc γ là góc lệch của xe sau khi phanh so với chiều chuyển động ban đầu. Trong trường hợp này,, chúng ta có các lực phanh $F_{p,t1}$ và $F_{p,p1}$ là lực phanh của bánh xe bên trái và bên phải của cầu trước, và $F_{p,t2}$ và $F_{p,p2}$ là lực phanh của bánh xe bên trái và bên phải của cầu sau.

Tổng của các lực phanh ở các bánh xe bên phải có thể được tính như sau:

$$F_{p,p} = F_{p,p1} + F_{p,p2} \quad (3.45)$$

Tương tự như tổng các lực phanh ở các bánh xe bên phải, tổng các lực phanh ở các bánh xe bên trái có thể được tính bằng cách cộng tổng các lực phanh tương ứng từ cả hai cầu, cụ thể là:

$$F_{p,t} = F_{p,t1} + F_{p,t2} \quad (3.46)$$

Nếu tổng các lực phanh ở các bánh xe bên phải lớn hơn tổng các lực phanh ở các bánh xe bên trái, ô tô sẽ quay vòng theo hướng cùng chiều kim đồng hồ, như được minh họa trên (hình 3.6), và quanh trọng tâm T của ô tô.

Trong trường hợp này, momen quay vòng M_q được xác định theo biểu thức:

$$M_q = F_{p.p} \frac{B}{2} - F_{p.t} \frac{B}{2} = (F_{p.p} - F_{p.t}) \frac{B}{2} \quad (3.47)$$

Với: B – Chiều rộng cơ sở của ô tô.

Do sự tồn tại của ma sát giữa bánh xe và mặt đường, khi momen quay vòng xuất hiện, các bánh xe trên cầu trước sẽ có phản lực R_{y1} tác động từ mặt đường theo phương ngang, như được minh họa trên (hình 3.6). Tương tự, các bánh xe trên cầu sau cũng sẽ có phản lực R_{y2} tác động.

Phương trình chuyển động của ô tô đối với trọng tâm T có thể được viết dưới dạng:

$$I_z \ddot{\gamma} = M_q - R_{y1}a - R_{y2}b \quad (3.48)$$

Trong đó:

a, b: Tọa độ trọng tâm của ô tô.

I_z : Momen quán tính khối lượng của ô tô quanh trục Z đi qua trọng tâm T.

Vì xe bị quay một góc γ tức là momen quay vòng M_q lớn hơn rất nhiều so với momen do các lực R_{y1} , R_{y2} sinh ra. Để thuận tiện trong quá trình tính toán, các lực này được phép bỏ qua và phương trình được viết lại dưới dạng:

$$I_z \ddot{\gamma} = M_q \quad \text{hay} \quad \ddot{\gamma} = \frac{M_q}{I_z} \quad (3.49)$$

Tích phân biểu thức (3.49) ta được:

$$\dot{\gamma} = \frac{M_q}{I_z} t + C_1 \quad (3.50)$$

Với điều kiện lúc đầu, $t = 0$ thì $\gamma = 0$ nên $\dot{\gamma} = 0$, thay vào biểu thức (3.50) ta có $C_1 = 0$, từ đó ta được:

$$\dot{\gamma} = \frac{M_q}{I_z} t \quad (3.51)$$

Tiếp tục tích phân phương trình (3.51) ta có:

$$\gamma = \frac{M_q}{2I_z} t^2 + C_2 \quad (3.52)$$

Để tìm giá trị của C_2 , ta sử dụng các điều kiện ban đầu. Khi $t = 0$, góc $\gamma = 0$. Thay vào phương trình (3.52), ta có $C_2 = 0$. Từ đó, chúng ta có thể rút ra biểu thức để xác định góc lệch do momen quay vòng gây ra như sau:

$$\gamma = \frac{M_q}{2I_z} t^2 \quad (3.53)$$

Từ biểu thức (3.53), chúng ta nhận thấy rằng góc lệch γ tỉ lệ thuận với momen quay vòng M_q và tỉ lệ nghịch với momen quán tính khối lượng I_z của ô tô quanh trục Z đi qua trọng tâm của xe.

Theo các tiêu chuẩn sản xuất ô tô, lực phanh ở các bánh xe trên cùng một trục phải đồng đều để đảm bảo tính ổn định khi phanh. Nếu có sự chênh lệch, thì độ chênh lệch này không được vượt quá 15% so với giá trị lực phanh cực đại ở các bánh xe của trục đó.

Ví dụ, nếu các bánh xe bên phải có lực phanh cực đại $F_{p.pmax}$ theo điều kiện bám đường, thì lực phanh tối thiểu cho các bánh xe bên trái là:

$$F_{p.tmin} = 0,85F_{p.pmax} \quad (3.54)$$

Khi đó momen quay vòng lớn nhất được tính như sau:

$$M_{qmax} = (F_{p.pmax} - F_{p.tmin}) \frac{B}{2} = (F_{p.pmax} - 0,85F_{p.pmax}) \frac{B}{2}$$

Suy ra:

$$M_{qmax} = 0,0775BF_{p.pmax} \quad (3.55)$$

Thế các giá trị M_{qmax} từ biểu thức (3.55) vào biểu thức (3.53) ta tìm được góc lệch γ_{max} :

$$\gamma_{max} = \frac{0,075BF'_{p.pmax}}{2I_z} t^2 \quad (3.56)$$

Trong đó, $F'_{p.pmax}$ được hiểu là lực phanh cực đại ở một bên theo điều kiện bám.

Mặt khác, lực phanh cực đại xác định theo điều kiện bám là:

$$F'_{p.pmax} = \frac{G}{2} \varphi_{max} \quad (3.57)$$

Thế giá trị $F'_{p.pmax}$ từ biểu thức (3.57) vào biểu thức (3.56) ta suy ra được:

$$\gamma_{max} = 0,019 \frac{BG\varphi_{max}}{I_z} t^2 \quad (3.58)$$

Góc lệch cực đại này không được vượt quá 8° để bảo đảm sự an toàn của ô tô khi chuyển động.

3.1.4. Vấn đề chống hãm cứng bánh xe khi phanh

Từ biểu thức (3.2), chúng ta nhận thấy rằng để tăng hiệu quả phanh, cần có hệ số bám lớn giữa mặt đường và bánh xe khi phanh. Trong quá trình phanh, sẽ xuất hiện sự trượt tương đối giữa mặt đường và bánh xe. Mối quan hệ giữa hệ số bám và độ trượt tương đối được xác định thông qua các thí nghiệm như minh họa trên (hình 3.7). [5]

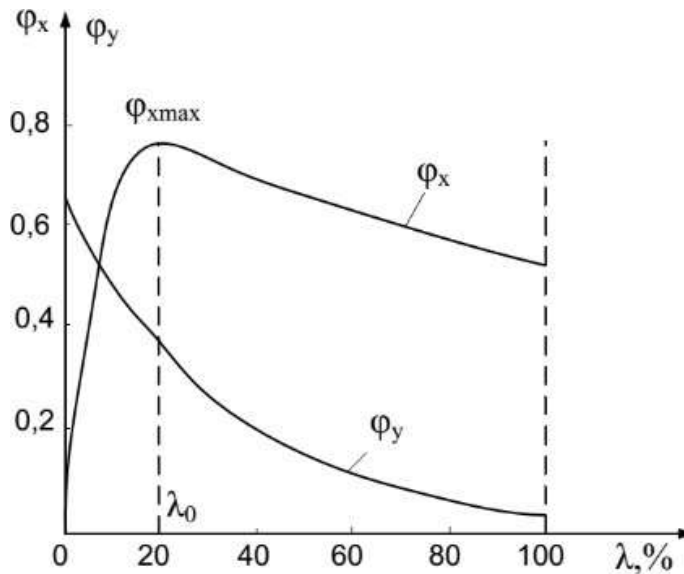
Độ trượt tương đối λ được tính toán như sau:

$$\lambda = \frac{v - \omega_b r_b}{v} \quad (3.59)$$

Trong đó:

v : Vận tốc ô tô.

ω_b : Vận tốc góc của bánh xe khi phanh.



Hình 3.7. Sự thay đổi hệ số bám dọc và hệ số bám ngang theo độ trượt tương đối của bánh xe khi phanh

Thực nghiệm (hình 3.7) đã chứng minh rằng độ trượt tương đối λ_0 nằm trong khoảng từ 15% đến 25%, hệ số bám dọc φ_x có giá trị lớn nhất về hệ số bám ngang φ_y cũng có giá trị tương đối lớn. Trong trường hợp này, nếu quá trình phanh tiếp tục diễn ra, sẽ đạt được lực phanh lớn nhất, khiến hiệu quả phanh đạt tối ưu nhất đồng thời đảm bảo độ ổn định hướng của ô tô khi phanh.

Nếu trong quá trình phanh, bánh xe bị bó cứng ($\lambda=100\%$), hệ số bám sẽ giảm, dẫn đến hiệu quả phanh giảm đi. Bộ chống bó cứng bánh xe khi phanh giúp giảm độ trượt dao động xung quanh giá trị λ_0 trong suốt quá trình phanh.

Để thực hiện điều này, áp suất trong dẫn động phanh được điều chỉnh đến các bánh xe. Các hệ thống chống bó cứng bánh xe khi phanh có thể sử dụng các nguyên tắc điều khiển như điều chỉnh theo gia tốc chậm dần của bánh xe được phanh, điều chỉnh theo giá trị độ trượt cho trước, hoặc điều chỉnh theo giá trị của vận tốc góc của bánh xe với gia tốc chậm dần.

Nhờ sự phát triển mạnh mẽ của ngành kỹ thuật điện tử và tự động hóa, ngày nay đã có các bộ chống hãm cứng bánh xe được tích hợp trên các ô tô hiện đại.

3.2. Tổng quan về hệ thống ABS

3.2.1. Giới thiệu chung về hệ thống ABS

Hệ thống chống bó cứng ABS (Anti-Lock Brake System) là một phần quan trọng của hệ thống an toàn trên xe ô tô. ABS là một hệ thống điều khiển điện tử được thiết kế để ngăn chặn việc khóa cứng bánh xe trong các tình huống cấp bách, khi tài xế cần phải

giảm tốc độ đột ngột. Chức năng chính của ABS là giúp tài xế có thể duy trì sự kiểm soát và ổn định trên đường bằng cách ngăn chặn trượt bánh xe khi phanh.

ABS cho phép tài xế vẫn có thể chuyển hướng xe né tránh các vật cản trên đường mà vẫn giữ được kiểm soát, đồng thời cũng giúp dừng xe lại một cách an toàn, tránh gây ra tai nạn. Điều này đặc biệt quan trọng trong những tình huống nguy hiểm và đa dạng điều kiện đường.

Trong những chiếc xe không có hệ thống ABS, khi tài xế phanh gấp, có nguy cơ xảy ra trượt bánh xe. Điều này làm giảm độ bám đường của bánh xe dưới mức an toàn, dẫn đến việc mất kiểm soát của xe.

ABS đã được phát triển từ những năm 1928 và ngày càng được hoàn thiện với nhiều tính năng mới. Trong thập kỉ 1960 và 1970, Bosch của Đức và Kelsey-Hayes của Mỹ đã phát triển các hệ thống ABS 2 kênh và 4 kênh, có khả năng giám sát tốc độ của từng bánh xe để điều chỉnh lực phanh.

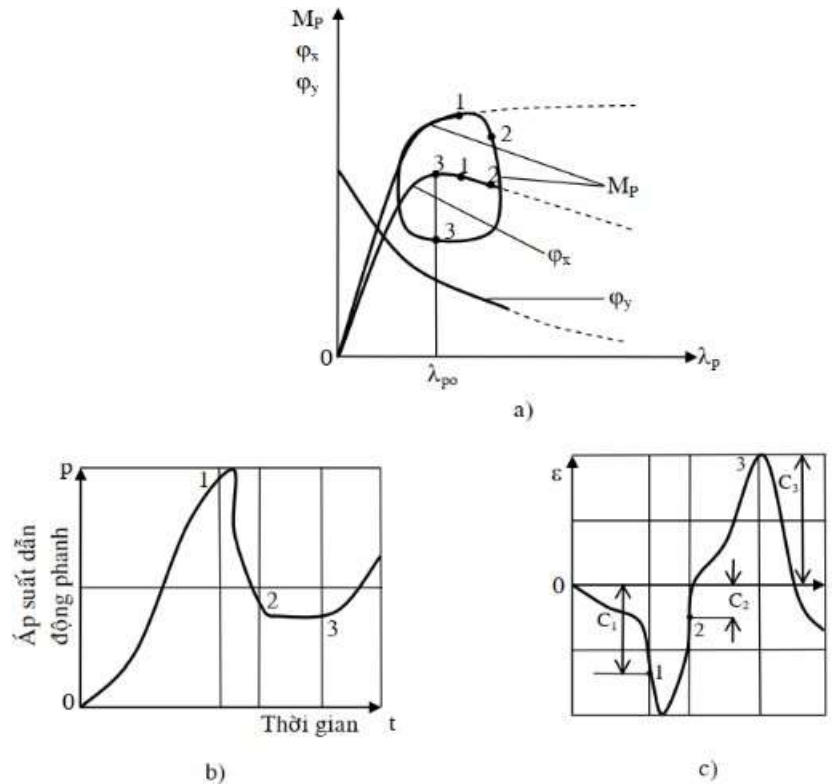
Nghiên cứu đã chỉ ra rằng hệ thống ABS có hiệu quả trong việc giảm số lượng tai nạn giao thông. Theo cơ quan an toàn giao thông đường cao tốc Hoa Kỳ (NHTSA), ABS có thể giúp bạn hạn chế các tai nạn va chạm xe từ 20% đến 30%. Ngày nay, hệ thống ABS đã trở thành một phần bình thường trên hầu hết các dòng xe mới trên thị trường toàn cầu.

3.2.2. Mục tiêu hệ thống ABS

Mục tiêu hệ thống ABS là để giúp tăng khả năng kiểm soát và an toàn khi phanh. Khi độ trượt của bánh xe được duy trì ở mức gần ngưỡng λ_0 , hệ thống ABS có thể đảm bảo rằng lực phanh đạt giá trị lớn nhất (φ_{xmax}), từ đó tăng hiệu quả phanh. Đồng thời, độ ổn định và khả năng dẫn hướng của bánh xe cũng đạt được mức tốt nhất (φ_x lớn nhất), giúp người lái duy trì sự kiểm soát và giảm nguy cơ mất kiểm soát trên đường. Điều này thỏa mãn tiêu chuẩn mà hệ thống phanh cần có là thu hẹp quãng đường phanh, giảm thời gian phanh cũng như tăng gia tốc chậm dần khi thực hiện quá trình phanh.

Để đảm bảo hiệu suất phanh cao và giữ cho bánh xe có tốc độ ổn định, hệ thống ABS áp dụng phương pháp điều khiển áp suất dầu trong cơ cấu phanh theo gia tốc chậm dần của bánh xe được phanh. Từ đó, độ trượt của bánh xe được thu gọn lại gần với giá trị λ_0 .

Dưới đây là các đồ thị thể hiện sự biến đổi các thông số đặc trưng cho cơ cấu phanh và gia tốc bánh xe được trang bị hệ thống ABS:



Hình 3.8. Sự thay đổi momen phanh, áp suất dẫn động phanh và gia tốc của bánh xe khi có ABS

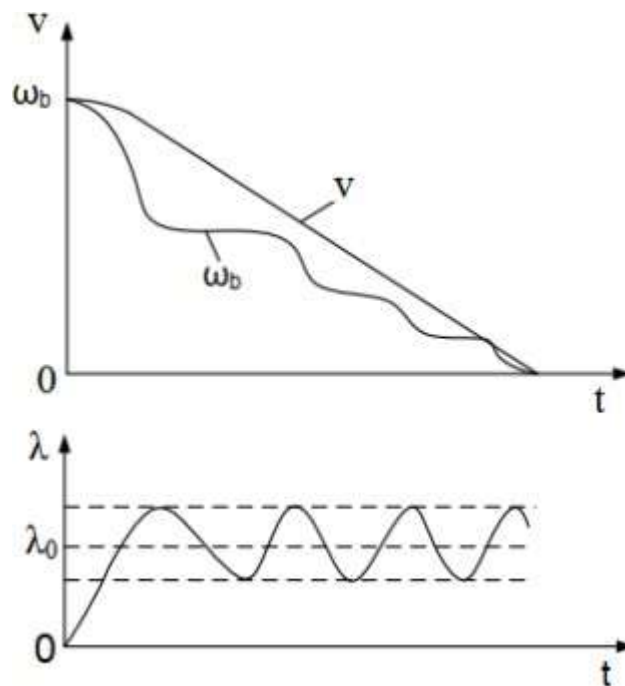
Khi người lái đạp vào chân phanh, áp suất trong cơ cấu này tăng lên, từ đó momen phanh M_p tăng lên, làm tăng giá trị gia tốc chậm dần của bánh xe và đồng thời cũng làm tăng độ trượt. Sau khi vượt qua giá trị lớn nhất trên đường cong $\varphi_x = f(\lambda)$, gia tốc chậm dần của bánh xe tăng đột biến, cho thấy rằng bánh xe sắp bị khóa chặt. Giai đoạn này của quá trình phanh trên xe có ABS sẽ tương ứng với các đường cong (0-1) trên (hình 3.8 a, b, c) và được gọi là pha I (pha tăng áp).

Bộ điều khiển ABS (ECU) bắt đầu ghi nhận gia tốc tại thời điểm 1 (khoảng C_1 trên hình c) và gửi tín hiệu cho bộ chấp hành thủy lực, từ đó giảm áp suất dầu trong cơ cấu phanh và lực phanh lúc này giảm xuống. Tuy nhiên vì cơ cấu thông thường có đặc tính kỹ thuật riêng, nên sự giảm áp xảy ra với một độ trễ nhất định. Quá trình từ điểm 1 đến điểm 2 được gọi là pha II (pha giảm áp). Gia tốc của bánh xe lúc này giảm xuống và tiến dần đến 0 tại điểm 2 và được thể hiện bằng đoạn C_2 trên (hình 3.8 c). Sau khi đạt giá trị này, bộ điều khiển tiếp tục gửi tín hiệu cho bộ chấp hành phanh. Lúc này bánh xe sẽ tạm dừng giảm tốc và tăng lên gần với tốc độ của xe, đồng thời độ trượt giảm và hệ số bám dọc φ_x sẽ tăng lên (đoạn 2-3). Giai đoạn này được gọi là pha III (pha giữ áp).

Bởi vì momen phanh trong quá trình phanh được duy trì ổn định nên gia tốc chậm dần lớn nhất của bánh xe sẽ được sinh ra tương ứng với thời điểm hệ số bám dọc φ_x đạt giá trị lớn nhất. Gia tốc cực đại này được chọn làm mốc thời gian gửi lệnh và được diễn

đạt bằng đoạn C3 trên (hình 3.8 c). Lúc này ECU ghi nhận giá trị của gia tốc cực đại và gửi tín hiệu được tính toán đến bộ chấp hành phanh, từ đó điều chỉnh áp suất dầu đến cơ cấu phanh.

Sau điểm 3, quy trình được lặp lại và bắt đầu pha I của chu kỳ làm việc tiếp theo. Theo phân tích trên, ta có thể thấy rằng ABS điều chỉnh momen phanh biến đổi tuần hoàn theo chu kỳ lặp lại 1-2-3-1 (hình 3.8 a), lúc này các bánh xe hoạt động ở vùng giá trị hệ số bám dọc $\varphi_{x\max}$ lớn nhất và hệ số bám ngang φ_y cũng tương đối lớn.



Hình 3.9. Sự thay đổi góc ω_b của bánh xe, vận tốc v , độ trượt λ theo thời gian t

Trong (hình 3.9) minh họa sự biến đổi của tốc độ góc ω_b của bánh xe, độ trượt bánh và tốc độ của xe theo thời gian t khi xe sử dụng hệ thống ABS. Ta có thể quan sát rằng trong quá trình phanh, tốc độ góc ω_b của bánh xe thay đổi theo một chu kỳ cố định. Đồng thời, độ trượt bánh xe λ biến đổi tương đối nhỏ trong một khoảng quanh giá trị độ trượt tối ưu λ_0 .

3.2.3. Ưu và khuyết điểm của hệ thống ABS

3.2.3.1. Ưu điểm

Hệ thống ABS là một phát minh quan trọng của nhân loại, đóng vai trò không thể phủ nhận trong việc nâng cao an toàn giao thông trên toàn cầu. Tính năng này đang trở thành một yếu tố cần thiết trên hầu hết các xe ô tô mới, giúp giảm thiểu tổn thất và nguy cơ tai nạn giao thông.

Việc trang bị hệ thống ABS giúp tài xế duy trì sự kiểm soát và ổn định trên đường, đặc biệt trong những tình huống khẩn cấp. Bằng cách ngăn chặn bánh xe khóa cứng, ABS giúp xe duy trì đường định hướng và tránh được việc lệch bánh gây ra các tình huống nguy hiểm.

Trong những tình huống không may gặp phải chướng ngại vật đột ngột, tài xế thường phản ứng trong thời gian ngắn và có thể đạp chân phanh mạnh. Hệ thống ABS giúp giảm thiểu nguy cơ bó cứng bánh xe, giữ cho xe ổn định và tránh được các tai nạn không mong muốn.

Tóm lại, ABS không chỉ giúp giảm thiểu nguy cơ tai nạn mà còn cải thiện khả năng xử lý và ổn định của xe trên mọi điều kiện đường. Điều này góp phần đáng kể vào việc nâng cao an toàn cho tất cả người tham gia giao thông.

3.2.3.2. Khuyết điểm

Với mọi lợi ích quan trọng đã được đề cập, cần phải nhấn mạnh rằng hệ thống ABS chỉ ngăn chặn bánh xe khóa cứng mà không làm chậm lại bánh xe. Kết quả từ các nghiên cứu thực hiện tại các trung tâm đào tạo lái xe ở Munich, Đức, Na Uy và Oslo đã chỉ ra rằng trong điều kiện vận hành thực tế, ABS không giảm thiểu số tai nạn hay tỉ lệ chấn thương mà thậm chí còn làm tăng mức độ nghiêm trọng của chúng.

Các nghiên cứu trên các xe taxi cũng cho thấy rằng các tài xế biết xe của mình có hệ thống ABS thường có tâm lý chủ quan hơn. Họ thường không cẩn thận trong nhiều tình huống và dễ rơi vào các tình huống nguy hiểm như lái xe quá nhanh, lạng lách và vượt ẩu. Kết quả này được chứng minh bằng số lần va chạm với các xe khác trên đường. Do đó, tỉ lệ tai nạn nhỏ và vừa giữa các xe có ABS và không có ABS là tương đương nhau. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng hệ thống ABS không thực sự giải quyết hiệu quả trên các mặt đường xấu hoặc trong điều kiện thời tiết cực đoan như tuyết hoặc lũ quét.

Từ đó, có thể kết luận rằng hệ thống ABS không thực sự giảm số lượng tai nạn và chấn thương trong thực tế. Quan trọng nhất là người lái không nên chủ quan và phải có phản ứng hiệu quả và cẩn thận khi xử lý các tình huống trên đường.

3.2.4. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của các cụm chi tiết hệ thống ABS

Ta cùng tìm hiểu sơ về sơ đồ tổng quan của hệ thống ABS. Ngày nay, hệ thống này được triển khai trên các loại xe rất đa dạng, tùy thuộc vào từng nhà sản xuất. Tuy nhiên, hệ thống thường bao gồm ba cụm chính có đặc điểm của một bộ xử lý vào ra điển hình:

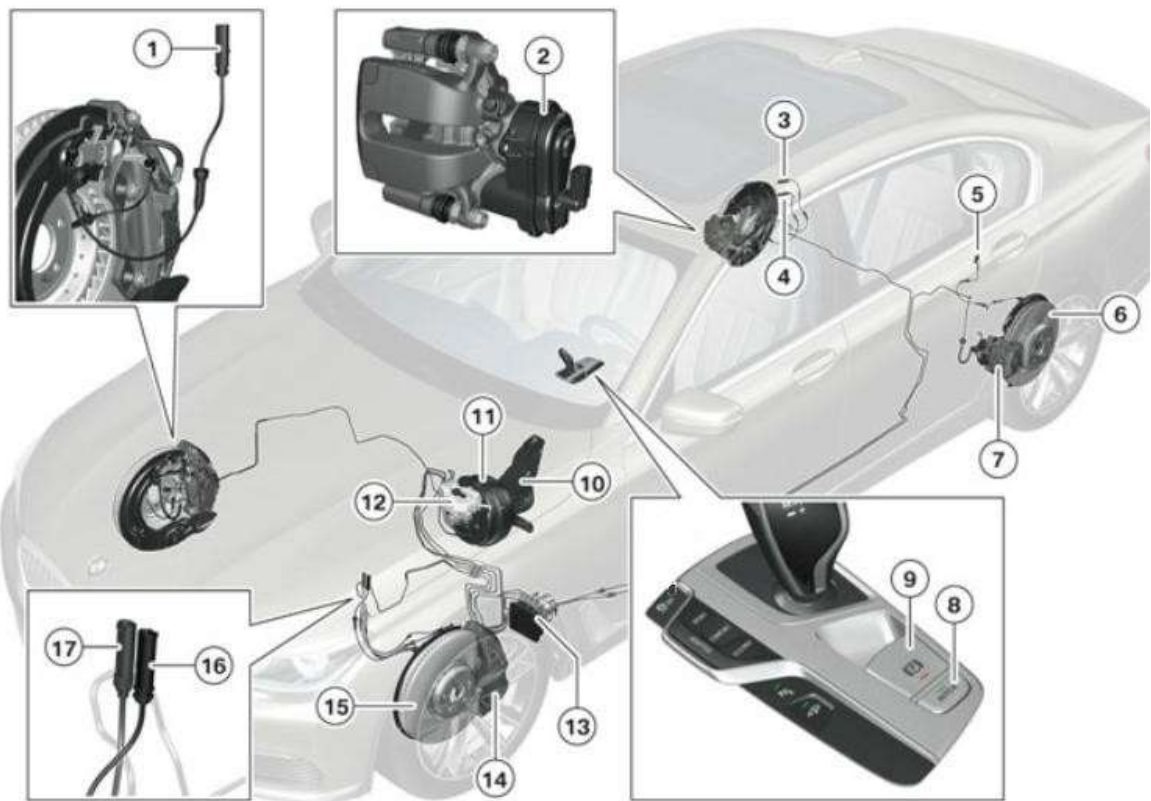
- Cụm nhận tín hiệu: Bao gồm hệ thống các cảm biến. Những cảm biến này thu thập các thông số cần thiết để kích hoạt hệ thống ABS trên xe, như tốc độ của bánh xe,

Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024

gia tốc của xe khi phanh, và hành trình của bàn đạp phanh. Các tín hiệu từ cảm biến này được gửi đến bộ điều khiển.

- Cụm điều khiển điện tử ECU : Đây là bộ xử lý chính của hệ thống. Cụm nhận thông tin từ hệ thống cảm biến, sau đó xử lý dữ liệu và tiếp tục gửi tín hiệu đến bộ chấp hành.
- Cụm chấp hành thủy lực HCU : Được điều khiển bởi bộ điều khiển, HCU điều chỉnh việc mở và đóng các mạch dầu bằng các van điện. Điều này làm tăng hoặc giảm lực phanh trên các bánh xe, từ đó hạn chế tình trạng bó cứng của bánh xe.

Các cụm này hoạt động cùng nhau để đảm bảo rằng hệ thống ABS hoạt động hiệu quả và giữ cho xe luôn trong tình trạng an toàn trên mọi loại đường.

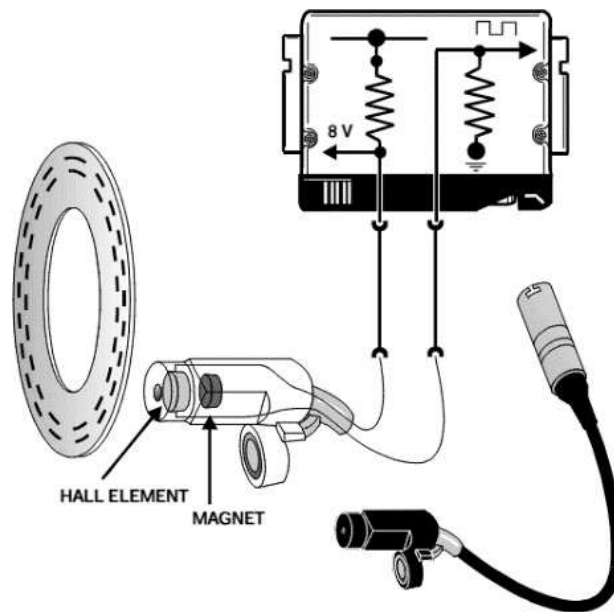


Hình 3.10. Sơ đồ các thành phần của hệ thống phanh

1. Giắc cắm cảm biến tốc độ bánh xe trước phải;
2. Bộ kích hoạt phanh đỗ xe điện tử;
3. Giắc cắm cảm biến tốc độ bánh xe sau phải;
4. Giắc cắm cảm biến mòn phanh sau phải;
5. Giắc cắm cảm biến tốc độ bánh xe sau trái;
6. Đĩa phanh cầu sau;
7. Má phanh cầu sau;
8. Nút giữ phanh tay tự động;
9. Nút phanh tay;
10. Cơ cấu bàn đạp phanh;
11. Bộ trợ lực phanh;
12. Bình chứa dầu phanh;
13. Cụm chấp hành thủy lực;
14. Má phanh cầu trước;
15. Đĩa phanh cầu trước;
16. Giắc cắm cảm biến tốc độ bánh xe trước trái;
17. Giắc cắm cảm biến tốc độ bánh xe trước phải.

3.2.4.1. Cảm biến tốc độ bánh xe

Cảm biến tốc độ bánh xe (WSS – Wheel Speed Sensor) đảm nhận vai trò quan trọng trong hệ thống ABS bằng việc thu thập thông tin về tốc độ góc của bánh xe và chuyển đổi thành các tín hiệu điện. Các tín hiệu này sau đó được truyền đến bộ điều khiển điện tử (ECU), nơi chúng được xử lý và sử dụng để đánh giá tình trạng của bánh xe và điều chỉnh lực phanh tương ứng. Điều này giúp hệ thống ABS phản ứng một cách chính xác và kịp thời trong các tình huống khẩn cấp và giúp duy trì sự an toàn khi phanh trên mọi loại địa hình và điều kiện đường.



Hình 3.11. Cảm biến tốc độ bánh xe

Ở một số trường hợp, các loại điều khiển ABS được gắn trực tiếp vào vỏ bọc của cầu chủ động. Trong trường hợp này, tốc độ của bánh xe được xác định thông qua quá trình quay của bánh răng vành chấu. Tuy nhiên, thường thì cảm biến tốc độ bánh xe được gắn riêng biệt trên mỗi bánh xe, thường là ngay tại giá đỡ của các bánh xe. Vành răng cảm biến thường được gắn bên trong cụm muay – σ và có một khe hở nhất định được gọi là khe hở từ.

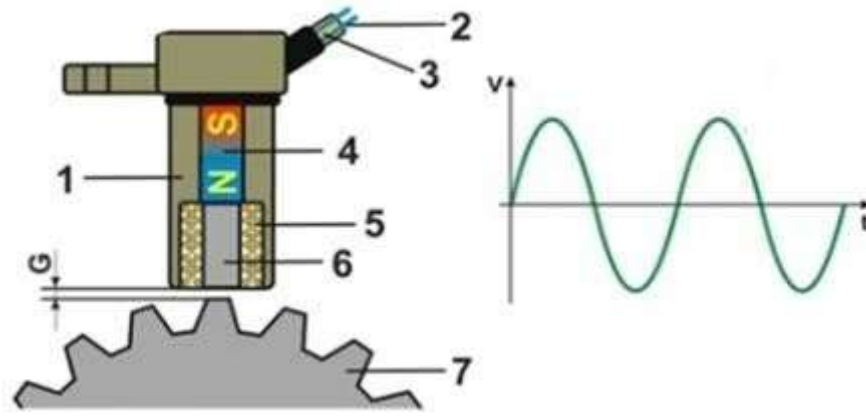
a) Cấu tạo

Về cấu tạo, cảm biến tốc độ bánh xe khá đơn giản. Cảm biến bao gồm một cuộn nam châm vĩnh cửu, một cuộn dây và một lõi từ.

b) Nguyên lý làm việc

Theo (hình 3.12), có thể nhận thấy rằng khi bánh xe quay, sẽ khiến cho vành răng cảm biến cũng quay theo. Điều này dẫn đến việc khe hở từ D giữa vành răng cảm biến và lõi từ của cảm biến sẽ không ngừng thay đổi. Nhờ vào sự thay đổi này, từ thông sẽ

biến thiên và tạo ra một sức điện động xoay chiều có hình dạng sin, với tần số và biên độ phụ thuộc vào tốc độ quay của bánh xe. Điện áp này sau đó được cảm biến liên tục gửi về ECU để xử lý. Các xung điện áp này có biên độ thay đổi liên tục từ dưới 100mV (khi tốc độ thấp) đến trên 100mV (khi tốc độ cao), cũng phụ thuộc vào cấu tạo của cơ cấu cảm biến.



Hình 3.12. Hoạt động của cảm biến tốc độ bánh xe

1: vỏ cảm biến; 2: dây tín hiệu ra; 3: vỏ bảo vệ dây; 4: nam châm vĩnh cửu; 5: cuộn dây cảm ứng; 6: vấu cạo; 7: bánh răng kích từ; G: khe hở không khí.

Đồng thời, độ lớn và độ sai lệch của khe hở cũng được đo lường một cách cẩn thận để đảm bảo hệ thống ABS hoạt động ổn định. Thông thường, giá trị của khe hở này chỉ nằm trong khoảng 1mm. Nếu khe hở vượt qua giá trị này, hệ thống sẽ hoạt động không mượt mà và dễ gặp lỗi.

3.2.4.2. Hộp điều khiển điện tử (ECU)

a) Chức năng của bộ điều khiển điện tử (ECU)

Bộ điều khiển ABS bao gồm hai chức năng chính để quản lý hoạt động của hệ thống chống bó cứng phanh (ABS) cùng với các tính năng phụ để đảm bảo an toàn và tự chẩn đoán.

Chức năng chính của bộ điều khiển ABS là thực hiện các tính toán dựa trên tín hiệu từ cảm biến bánh xe và điều khiển hoạt động của hệ thống ABS bằng cách kích hoạt các van điện từ trong bộ điều biến để điều chỉnh áp suất phanh cho từng bánh xe. Điều này giúp ngăn chặn bánh xe khóa và giữ cho xe vẫn có khả năng kiểm soát khi phanh.

Chức năng phụ của bộ điều khiển ABS bao gồm việc giám sát hoạt động của hệ thống bằng cách theo dõi tín hiệu từ các công tắc phanh, công tắc phanh đỗ và công tắc áp suất. Nếu phát hiện sự cố hoặc bất thường, hệ thống sẽ ngừng hoạt động để tránh nguy cơ. Ngoài ra, bộ điều khiển cũng có chức năng tự chẩn đoán để phát hiện và báo

cáo về các vấn đề có thể xảy ra trong hệ thống, cũng như chức năng điều khiển động cơ máy bơm để điều chỉnh hoạt động của hệ thống.

b) Cấu tạo

ECU (Electronic Control Unit) của hệ thống ABS được cấu tạo từ một số vi xử lý nhỏ được kết nối với nhau và đảm nhận các vai trò và chức năng cụ thể. Mỗi ECU của hệ thống ABS bao gồm bốn phần chính:

- Bộ phận tiếp nhận và xử lý tín hiệu: Chức năng của phần này là nhận các tín hiệu từ các cảm biến như cảm biến tốc độ bánh xe, cảm biến giảm tốc, và lọc các tín hiệu này để loại bỏ sai số và trục trặc. Sau đó, các tín hiệu này được chuyển đổi thành thông tin số phù hợp với mạch chủ.
- Mạch chủ: Đây là một máy tính tích hợp các chương trình và logic điều khiển phức tạp. Thông tin số được đưa vào sẽ được tính toán và liên kết logic để tạo ra các tín hiệu điều khiển, điều này được truyền đến bộ chấp hành thủy lực, cụ thể là các van điện từ để điều chỉnh áp suất dầu.
- Bộ phận an toàn: Bộ phận này bao gồm một mạch an toàn kết hợp với một chu trình kiểm tra. Và giám sát toàn bộ hệ thống ABS, từ điện ắc quy, dây điện, bo mạch trong ECU, đến các cảm biến và van điện từ. Khi phát hiện sự bất thường, hệ thống sẽ ngưng hoạt động để đảm bảo an toàn.
- Chức năng tự chẩn đoán: Chức năng này được tích hợp trong bộ điều khiển ABS để giám sát các chức năng chính của hệ thống. Khi phát hiện sự cố, ECU sẽ kích hoạt đèn báo ABS và ghi lại mã lỗi chẩn đoán (DTC) để ghi nhận vấn đề. Các mã lỗi này được lưu trữ và chỉ xóa khi được kỹ sư sửa chữa theo đúng quy trình của nhà sản xuất.

3.2.4.3. Bộ chấp hành thủy lực

a) Chức năng của bộ chấp hành thủy lực

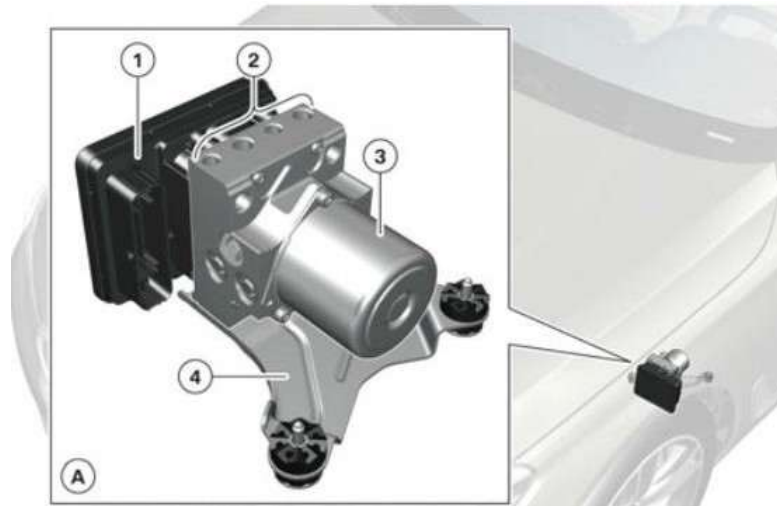
Bộ điều khiển thủy lực (HCU) đóng vai trò trọng yếu trong hệ thống ABS bằng cách điều chỉnh và kiểm soát áp suất thủy lực dầu tới từng xi lanh phanh bánh xe trong quá trình phanh. Chức năng này giúp đảm bảo xe duy trì độ ổn định tối ưu và ngăn chặn hiện tượng trượt bánh hoặc máy kiểm soát, như chao đảo và lật xe.

Bộ điều khiển thủy lực bao gồm các phần sau:

- Motor và bơm: Cung cấp dầu phanh cao áp để điều khiển hoạt động của ABS.
- Bình tích áp: Lưu trữ dầu phanh áp suất cao để sử dụng trong quá trình phanh.
- Công tắc áp suất: Phát hiện áp suất trong bình tích áp và truyền tín hiệu về ECU.
- Van điện từ: Chuyển đổi đường dẫn áp suất cao của ABS theo tín hiệu từ bộ điều khiển ABS.

Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024

- Piston và các bộ phận liên quan: Tiếp nhận dầu phanh cao áp và điều khiển áp suất tới các cơ cấu phanh phù hợp.

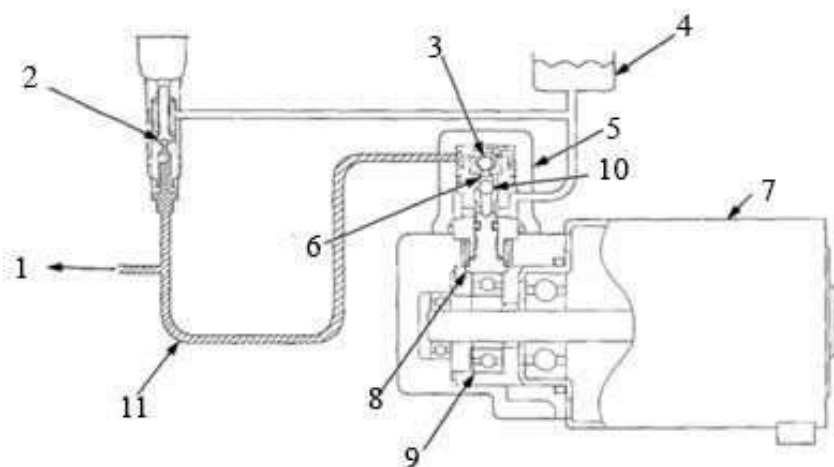


Hình 3.13. Bộ phận chấp hành thủy lực

1: *electronic control unit (ECU)*; 2: *phần kết nối với ống dẫn dầu phanh*; 3: *bơm*; 4: *giá đỡ*.

b) Cấu tạo

Motor và bơm trong hệ thống ABS đóng vai trò quan trọng trong việc tạo áp suất dầu phanh cao áp. Khi động cơ hoạt động, động cơ kích hoạt bơm ABS loại piston, đẩy áp suất dầu lên khoảng 25 MPa (250 kgf/cm², 3.600 psi).

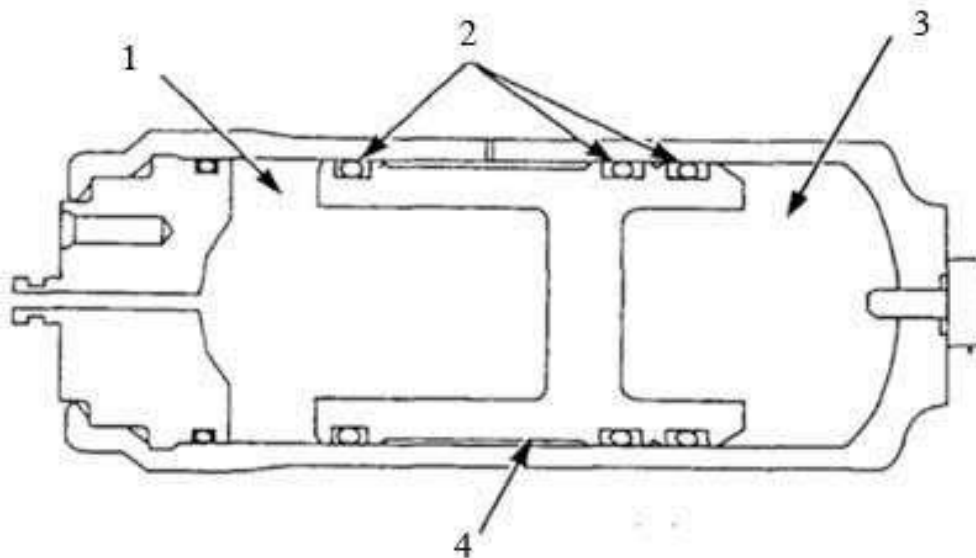


Hình 3.14. Động cơ điện và bơm

1: *đường đến bộ chấp hành, solenoids, pistons*; 2: *van giảm áp*; 3: *check valve (outlet)*; 4: *bình chứa*; 5: *bơm*; 6: *buồng pit tông*; 7: *Động cơ điện*; 8: *pit tông*; 9: *ổ trục lệch tâm*; 10: *check valve (inlet)*; 11: *dòng áp suất cao*.

Trên đầu trục động cơ được gắn ổ trục lệch tâm, tiếp xúc với piston của bơm. Chuyển động quay của trục động cơ được chuyển sang chuyển động tịnh tiến của piston bơm. Khi piston bơm được đẩy, dầu phanh trong buồng piston được điều áp và chuyển đến bình tích áp thông qua van một chiều và điện từ. Khi áp suất trong bình tích áp vượt quá 34 MPa (250 kgf/cm², 5.000 psi), van giảm áp mở ra để giải phóng áp suất dầu phanh dư thừa về bình chứa, đảm bảo an toàn cho hệ thống.

Bình tích áp trong hệ thống phanh ABS chứa dầu phanh áp suất cao, được đưa đến các solenoid và piston để điều khiển phanh. Tuy nhiên, đường dẫn đến các solenoid và piston thường bị đóng, dẫn đến tích tụ dầu phanh áp suất cao trong bình tích áp. Bình này bao gồm hai buồng, một chứa chất lỏng nơi dầu phanh được tích tụ và một buồng chứa khí ni-tơ áp suất cao để duy trì áp suất ổn định. Khi ABS hoạt động, dầu phanh áp suất cao sẽ được cung cấp từ bình tích áp cho piston để điều chỉnh hệ thống phanh.

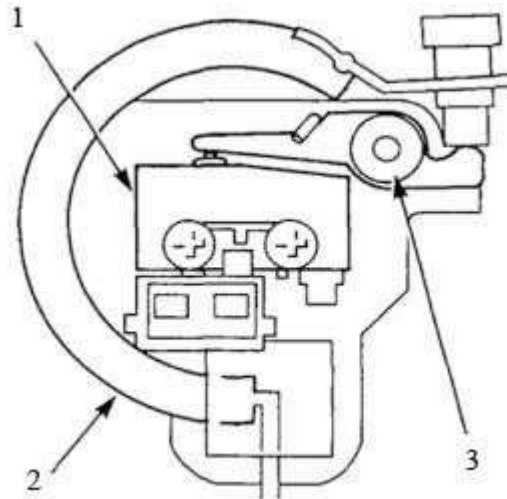


Hình 3.15. Bình tích áp

1: buồng dầu; 2: o-rings; 3: buồng khí; 4: piston tự do.

Công tắc áp suất có vai trò quan trọng trong hệ thống phanh ABS, giúp theo dõi áp suất tích tụ trong bình tích áp. Khi áp suất tăng lên, ống Bourdon trong công tắc áp suất sẽ biến dạng ra ngoài, kích hoạt công tắc vi mô thông qua lực của lò xo gắn vào cảm biến. Khi áp suất giảm do hoạt động của ABS, ống Bourdon sẽ di chuyển theo hướng ngược lại và công tắc vi mô sẽ được tắt. Bộ điều khiển ABS sử dụng tín hiệu BẬT/TẮT từ công tắc áp suất để phát hiện áp suất chất lỏng trong bình tích áp.

Van điện từ có vai trò quan trọng trong hệ thống ABS. Là bộ chấp hành có khả năng mở và đóng các van điện từ ở cả đầu vào và đầu ra.



Hình 3.16. Công tắc áp suất

1: cuộn dây cảm biến; 2: nam châm; 3: bánh răng truyền động.

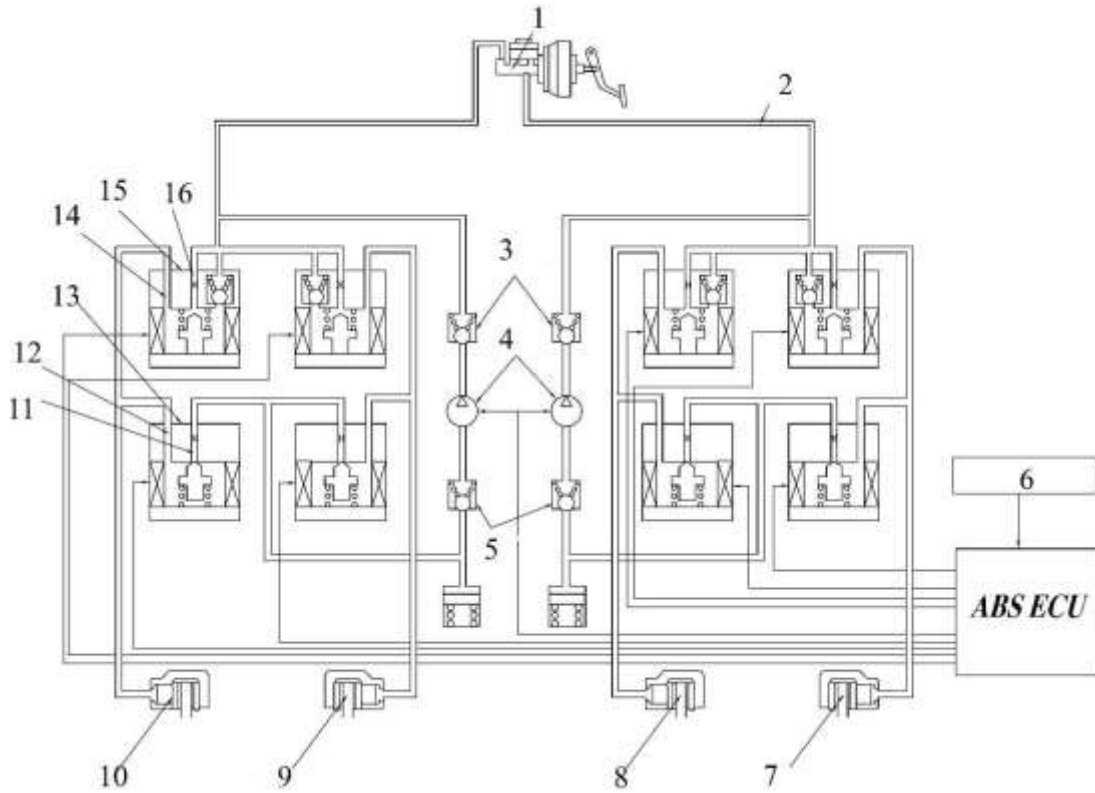
Van điện từ có vai trò quan trọng trong hệ thống ABS. Là bộ chấp hành có khả năng mở và đóng các van điện từ ở cả đầu vào và đầu ra. Trong hệ thống này, có ba cụm van điện từ, mỗi cụm bao gồm một van đầu vào và một van đầu ra trong bộ chấp hành. Cụm van được sắp xếp như sau: một cụm được dành cho mỗi bánh trước và một cụm dành cho cả hai bánh sau. Trong quá trình hoạt động, các van đầu vào thường được thiết kế để mở (mở khi cuộn dây không được cấp điện). Điều này cho phép chất lỏng (dầu phanh) được cung cấp vào các bộ phận của hệ thống phanh. Trong khi đó, các van đầu ra thường được thiết kế đóng.

3.2.5. Các trạng thái làm việc của hệ thống ABS

Hệ thống chống bó cứng phanh (ABS – Anti-lock Braking System) trên xe ô tô hiện đại được thiết kế một cách rất nhỏ gọn, thông minh và tích hợp chặt chẽ giữa các hệ thống điều khiển điện tử và bộ chấp hành thủy lực. Mục tiêu chính của ABS là ngăn ngừa hiện tượng bánh xe bị khóa cứng trong quá trình phanh gấp, từ đó đảm bảo xe vẫn giữ được khả năng điều hướng và ổn định.

Cốt lõi của hệ thống ABS là bộ ECU (Electronic Control Unit) – trung tâm xử lý tín hiệu nhận được từ các cảm biến tốc độ bánh xe. Khi ECU phát hiện ra tốc độ quay của một hay nhiều bánh xe có xu hướng giảm nhanh bất thường so với các bánh còn lại (dấu hiệu của hiện tượng bó cứng), nó sẽ lập tức gửi tín hiệu điều khiển đến bộ chấp hành thủy lực.

Bộ chấp hành thủy lực trong hệ thống ABS thực hiện vai trò cực kỳ quan trọng – đó là điều tiết áp suất dầu phanh dẫn đến các xi lanh bánh xe một cách linh hoạt và tức thời.



Hình 3.17. Sơ đồ bộ chấp hành thủy lực

1: xi lanh phanh chính; 2: đường dầu; 3: van một chiều; 4: bơm; 5: van một chiều; 6: Cảm biến tốc độ; 7: cơ cấu phanh bánh xe trước phải; 8: cơ cấu phanh bánh xe sau trái; 9: cơ cấu phanh bánh xe sau phải; 10: cơ cấu phanh bánh xe trước trái; 11: cửa D; 12: cửa C; 13: van giảm áp suất; 14: cửa B; 15: van giữ áp suất ; 16: cửa A.

3.2.5.1. Khi phanh bình thường (ABS không hoạt động)

Khi hệ thống phanh hoạt động bình thường mà không có sự can thiệp của ABS, các van điện từ ở vị trí ban đầu do không có tín hiệu của bộ điều khiển, van nạp (inlet valve) mở và các van xả (outlet valve) đóng. Dầu phanh bơm (hoạt động do động cơ xe quay) từ bình chứa đi theo ống dẫn dầu phanh đến van nạp và đến cơ cấu phanh trên bánh xe.

3.2.5.2. Khi phanh gấp (ABS hoạt động)

Trong quá trình hoạt động, nếu ECU bất ngờ phát hiện bánh xe sắp bị bó cứng (Xe đang di chuyển với vận tốc lớn và tài xế đạp mạnh bàn đạp phanh), ECU sẽ ngay lập tức gửi tín hiệu đến bộ chấp hành thủy lực. Điều này sẽ kích hoạt việc điều khiển

nhịp nhàng giữa 2 chế độ tăng và giảm áp, giúp duy trì khả năng kiểm soát và ổn định của xe trong tình huống phanh gấp. [1]

a) Chế độ giảm áp

Khi hệ thống ABS phát hiện một bánh xe đang bắt đầu khóa (trượt), hệ thống sẽ giảm áp suất phanh ở bánh xe để ngăn ngừa việc khóa bánh. ECU sẽ gửi tín hiệu đến các van điện từ làm cho van nạp (inlet valve) đóng lại để ngăn dòng dầu phanh từ bơm vào phanh. Van xả (outlet valve) mở ra, cho phép dầu phanh chảy từ phanh vào bình tích áp suất thấp (low pressure accumulator). Điều này làm giảm áp suất tại các phanh, giúp bánh xe không bị khóa.

b) Chế độ giữ áp

Khi áp suất phanh đã giảm xuống mức đủ để bánh xe không còn nguy cơ khóa, hệ thống ABS giữ áp suất này ổn định. Cả van nạp (inlet valve) và van xả (outlet valve) đều đóng lại. Dầu phanh không di chuyển, áp suất phanh tại các bánh xe giữ nguyên. Điều này giúp duy trì tình trạng phanh không bị khóa mà không giảm thêm áp suất.

c) Chế độ tăng áp

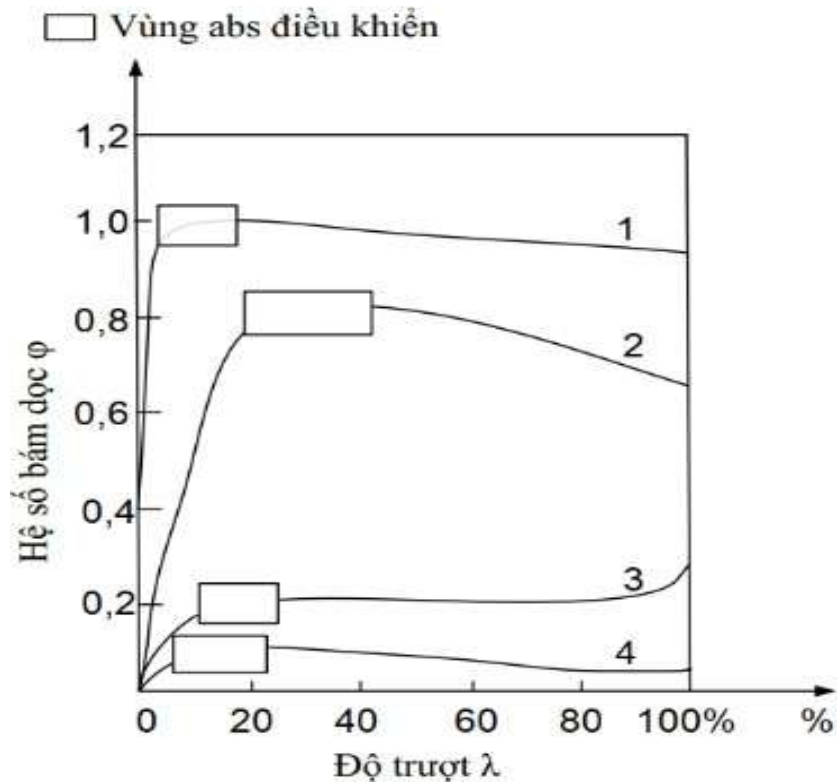
Khi hệ thống ABS nhận thấy bánh xe đã có độ bám đủ và không còn nguy cơ bị khóa, hệ thống sẽ tăng áp suất phanh trở lại. Van xả đóng lại, van nạp mở ra cho phép dầu phanh từ bơm vào phanh. Áp suất phanh tại các bánh xe tăng lên, tăng lực phanh trở lại mức yêu cầu

3.2.6. Phạm vi điều khiển của hệ thống ABS

Phạm vi kiểm soát của hệ thống ABS thường nằm trong khoảng từ 10% đến 30% độ trượt bánh xe (giá trị $\lambda_0 = 10\% - 30\%$). Điều này có nghĩa là ABS sẽ cho phép bánh xe trượt tới 30% trước khi gây cản trở hiệu quả phanh. Điều này xuất phát từ việc bánh xe bị trượt một chút được cho là cần thiết để hiệu quả phanh tốt nhất (có nghĩa là đồng thời lực phanh đạt cực đại $\varphi_{x_{max}}$ và giá trị thể hiện tính ổn định của xe φ_y là cao nhất). Tuy nhiên, nếu bánh xe trượt quá nhiều, xe sẽ mất lái. Do đó, ABS có tác dụng và nhiệm vụ là giữ bánh xe trong phạm vi trượt tuy hẹp nhưng tối ưu.

Phạm vi kiểm soát của hệ thống ABS được xác định bởi một số yếu tố cụ thể, bao gồm loại mặt đường, loại lốp bánh xe, tốc độ của xe và trọng lượng của xe. Hệ thống ABS thường có một số thuật toán khác nhau mà chúng có thể sử dụng để điều chỉnh phạm vi điều khiển tùy thuộc vào các yếu tố này.

Dưới đây là biểu đồ tóm tắt phạm vi kiểm soát điển hình của ABS cho các loại mặt đường cũng như các điều kiện thời tiết khác nhau:



Hình 3.18. Phạm vi điều khiển của ABS trên các điều kiện đường

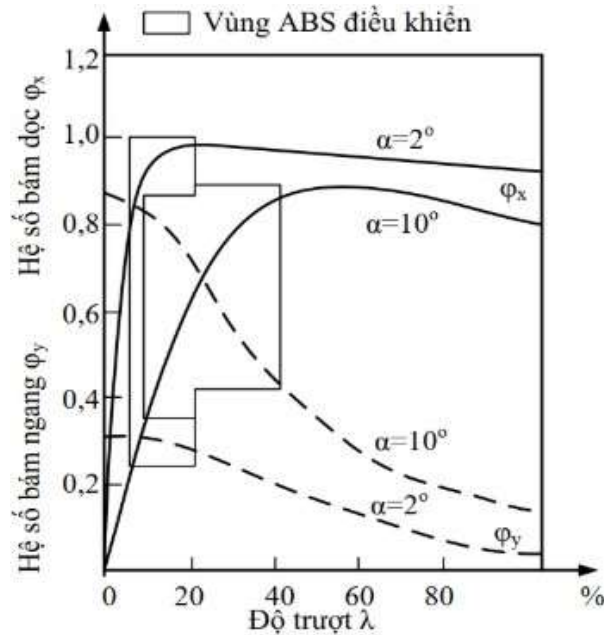
Chú thích:

- Đường số 1 xe chạy trên đường nhựa khô
- Đường số 2 xe chạy trên đường nhựa ướt
- Đường số 3 xe chạy trên đường có tuyết
- Đường số 4 xe chạy trên đường bị đóng băng

Có thể thấy trên biểu đồ rằng, phạm vi kiểm soát của ABS trên bề mặt trượt thường cao hơn so với bề mặt khô, bởi vì hệ số bám dọc trên những đoạn đường này tương đối thấp. Vì thế, bánh xe cần trượt nhiều hơn để đạt được hiệu quả phanh tối đa trên bề mặt trơn trượt. Tuy nhiên, ABS vẫn sẽ can thiệp nếu bánh xe trượt quá nhiều, kể cả trên bề mặt trơn trượt.

Điều quan trọng cần lưu ý là biểu đồ trên chỉ mang tính chất minh họa với một số ít điều kiện đường nhất định và xe đang đi thẳng. Phạm vi điều khiển thực tế của ABS sẽ khác nhau tùy theo tình hình cụ thể. Ví dụ như trong trường hợp xe đang vào cua hoặc đường vòng, xe lúc này chịu thêm một lực ngang. Từ đó, trên các bánh xe sẽ xuất hiện thêm một góc trượt α , thay đổi tác động đến tính ổn định của xe cũng như quá trình điều khiển của hệ thống ABS.

Dưới đây là biểu đồ tương quan mối liên hệ giữa hệ số bám dọc ϕ_x , hệ số bám ngang ϕ_y và góc trượt α :



Hình 3.19. Phạm vi điều khiển của ABS với các góc trượt khác nhau

Chú thích:

- Nét đứt biểu thị cho hệ số bám dọc
- Nét liền biểu thị cho hệ số bám ngang

Qua biểu đồ trên, ta nhận ra rằng khi góc trượt khá lớn, $\alpha = 10^\circ$, xe sẽ mất đi tính ổn định đáng kể. Trong tình huống này, hệ thống ABS sẽ ưu tiên cải thiện tính ổn định của xe hơn là việc cố gắng giữ cho bánh xe trong phạm vi trượt ổn định. Do đó, quãng đường phanh sẽ kéo dài hơn so với tình huống bình thường.

3.2.7. Chu trình điều khiển của hệ thống ABS

Chu trình điều khiển ABS là một quy trình phức tạp và diễn ra rất nhanh, kết hợp nhịp nhàng hoạt động của các cảm biến, bộ chấp hành thủy lực và bộ điều khiển điện tử (ECU). Tóm tắt của quy trình này là từ khi tài xế đạp phanh:

- Cảm biến tốc độ bánh xe đo tốc độ quay của bánh xe và gửi tín hiệu cho ECU, bên cạnh đó các loại cảm biến khác như cảm biến giảm tốc cũng ghi nhận các thông số và gửi tín hiệu.
- Bộ điều khiển ECU nhận dữ liệu từ các cảm biến và xử lý dữ liệu để xác định xem các bánh xe có sắp bị bó cứng hay không.
- ECU so sánh dữ liệu tốc độ bánh xe với ngưỡng cho trước và quyết định can thiệp bằng hệ thống ABS nếu cần.
- ECU ra lệnh cho bộ chấp hành thủy lực, gửi tín hiệu đến các van thủy lực trong hệ thống phanh để kiểm soát lượng áp suất dầu phanh tác dụng lên từng bánh xe.

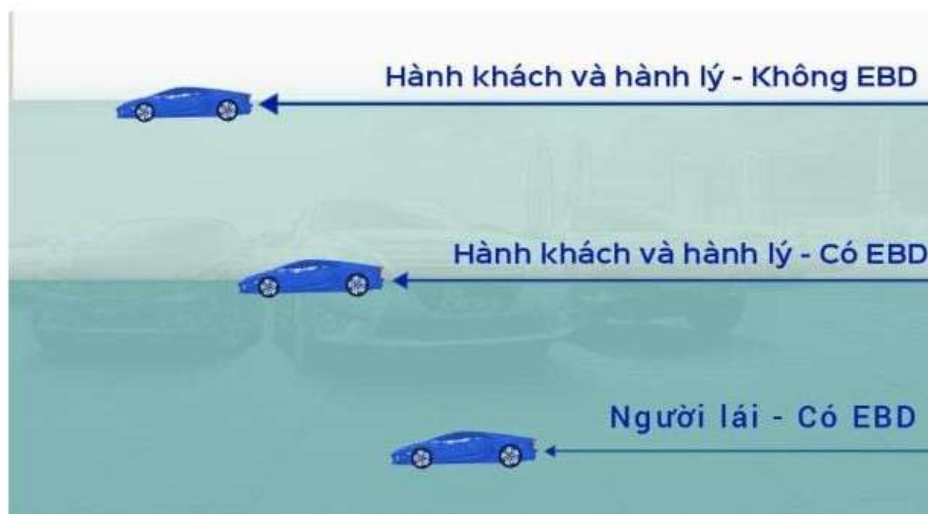
- Bộ chấp hành thủy lực điều chỉnh áp suất phanh đến từng bánh xe để tránh hiện tượng
- Các bánh xe duy trì độ bám đường bằng cách tiếp tục quay và duy trì giá trị hệ số bám đường với mặt đường, ngay cả khi phanh gấp.

Chu trình này sẽ được lặp đi lặp lại cho đến khi người lái nhả phanh. Sau khi nhả phanh, ECU ngừng điều chỉnh áp suất phanh và hệ thống phanh bình thường của xe tiếp tục hoạt động.

3.3. Tổng quan hệ thống phân bố lực phanh điện tử EBD

3.3.1. Giới thiệu hệ thống EBD

Hệ thống phân bố lực phanh điện tử (Electronic Brake-force Distribution hoặc EBD) là một công nghệ điều khiển phanh tự động trên xe, có khả năng điều chỉnh lực phanh lên từng bánh của xe dựa trên nhiều yếu tố khác nhau như điều kiện đường xá, tải trọng, tốc độ, và nhiều yếu tố khác. Chức năng chính của EBD là đảm bảo cân bằng xe cũng như lực phanh trên xe một cách thông minh. Hệ thống EBD thường hoạt động cùng với hệ thống chống bó cứng phanh (ABS), và EBD có thể điều chỉnh áp lực phanh lên từng bánh xe để tối ưu hóa khả năng giảm tốc của xe trong khi vẫn duy trì khả năng kiểm soát xe.



Hình 3.20. Hệ thống EBD

Trong thực tế, hiện tượng bó cứng bánh xe không chỉ phụ thuộc vào điều kiện đường xá, thời tiết và tốc độ của xe mà còn phụ thuộc vào tải trọng của xe. Ví dụ, khi xe phanh trên đường thẳng, phần đầu xe chịu trọng lượng lớn hơn so với phần đuôi xe do lực quán tính, trong khi xe đang quay vòng hoặc vào cua, mạn ngoài của xe chịu nhiều trọng lượng hơn mạn bên trong. Trong những tình huống này, tài xế gặp khó khăn

trong việc kiểm soát tốc độ bánh xe, độ ổn định của xe và đánh lái né vật cản, dẫn đến nguy cơ tai nạn.

Trước đây, điều chỉnh lực phanh trên xe thường được thực hiện bằng cách sử dụng van cơ khí như van bù tải, van điều hòa lực phanh, và van giảm tốc. Tuy nhiên, hiện nay, các hãng xe trên thế giới đã phát triển hệ thống phân bố lực phanh điện tử (EBD). Hệ thống EBD kết hợp với hệ thống ABS giúp điều chỉnh lực phanh lên từng bánh xe một cách linh hoạt, hiệu quả và chính xác hơn dưới nhiều điều kiện hoạt động của xe.

3.3.2. Ưu và khuyết điểm của hệ thống EBD

3.3.2.1. Ưu điểm

Hệ thống EBD đánh dấu một bước tiến lớn và cực kì hữu ích trong việc giảm tốc độ cho xe trong những tình huống nguy hiểm. Hiện nay, EBD đã được tích hợp rộng rãi trên các dòng xe đời mới, mang lại sự an toàn và hỗ trợ tối ưu cho người tiêu dùng trong thời đại công nghệ phát triển.

Dưới đây là một số điểm cộng lớn của hệ thống EBD:

- Cải thiện độ ổn định và khả năng kiểm soát của xe: EBD ngăn bánh xe bị bó cứng và tránh tình trạng xe trượt hoặc mất lái. Điều này đóng vai trò quan trọng trong việc bảo đảm an toàn cho tài xế và hành khách khi phanh gấp.
- Giảm khoảng cách dừng xe: EBD phân bố lực phanh đều giữa cả 4 bánh, từ đó giúp rút ngắn khoảng cách dừng xe.
- Cải thiện khả năng xử lý: EBD duy trì sự cân bằng và khả năng xử lý của xe cho tài xế trong quá trình phanh, đặc biệt là khi phanh trên bề mặt không bằng phẳng, khi rẽ hoặc khi có vật cản trên đường.
- Giảm độ mòn của lốp: EBD ngăn ngừa tình trạng lốp bị mòn không đều do lực phanh tác động quá mạnh lên một hoặc nhiều bánh xe. Điều này cũng giúp kéo dài tuổi thọ của lốp và giảm chi phí bảo dưỡng.

Những lợi ích này của hệ thống EBD đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao cảm giác an toàn và thoải mái cho người lái, đồng thời cũng góp phần vào việc tăng cường sự ổn định và hiệu suất của xe trong mọi điều kiện đường đi.

3.3.2.2. Khuyết điểm

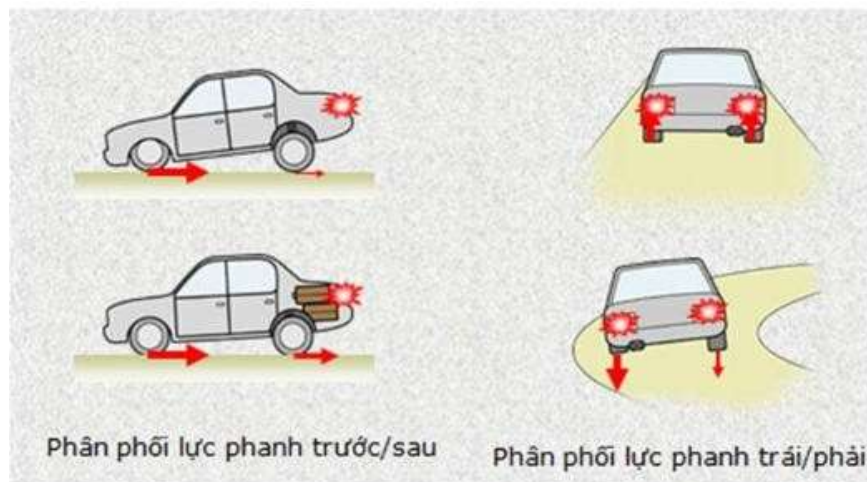
Tuy mang lại nhiều ưu điểm, hệ thống EBD vẫn tồn tại những điểm trừ:

- Chi phí lắp đặt và bảo trì tăng: EBD thường được trang bị trên các dòng xe phân khúc vừa và cao, làm tăng chi phí lắp đặt và bảo trì. Điều này có thể là một hạn chế đối với khách hàng phổ thông do chi phí cao.

- Độ phức tạp và yêu cầu kỹ thuật cao: EBD là một hệ thống phức tạp, yêu cầu nhiều cảm biến và thiết bị điện tử để hoạt động. Điều này không chỉ tăng chi phí mà còn đòi hỏi người kỹ sư có kinh nghiệm và tay nghề phù hợp để sửa chữa khi cần.
- Khả năng hư hỏng: Như mọi hệ thống điều khiển điện tử thông minh khác, EBD dễ bị hư hỏng do nhiều nguyên nhân khác nhau. Nếu hệ thống gặp sự cố, có thể hoạt động không trơn tru hoặc thậm chí không hoạt động, làm giảm hiệu quả phanh và tăng nguy cơ tai nạn.

Tuy nhiên, mặc dù có những hạn chế, ưu điểm của EBD vẫn được đánh giá cao hơn. EBD đóng vai trò quan trọng trong việc giảm tai nạn giao thông và cải thiện trải nghiệm lái xe tổng thể. Việc sử dụng một nguồn tài chính cao hơn để nâng cao sự an toàn là điều đáng xem xét.

3.3.3. Nguyên lý làm việc của hệ thống EBD



Hình 3.21. Tải trọng tác động lên bánh xe trong các trường hợp cụ thể

3.3.3.1. Vai trò và cấu tạo của hệ thống phân bố lực phanh điện tử trên ô tô

Vai trò của hệ thống EBD: lúc này hệ thống điều chỉnh phân phối lực phanh độc lập ở từng bánh xe nhờ một bộ điều khiển điện tử. Ta biết rằng lực phanh lý tưởng phân phối lên các bánh xe tỷ lệ với sự phân bố tải trọng tác dụng lên chúng. Phần lớn các xe có động cơ đặt ở trước nên tải trọng bánh trước lớn hơn. Đồng thời khi phanh do tác dụng của lực quán tính nên tải trọng cũng được phân bố lại, càng tăng ở bánh trước và giảm ở bánh sau.

Việc phân phối lực phanh này trước đây được thực hiện hoàn toàn bởi các van cơ khí như van điều hòa lực phanh, van bù tải, van giảm tốc, Một trường hợp nữa là khi xe quay vòng, tải trọng cũng tăng lên ở các bánh xe phía ngoài, còn phía trong giảm đi, nên lực phanh cần phải phân phối lại, nhưng các van điều hòa lực phanh cơ khí không

giải quyết được vấn đề này. Chính vì hạn chế đó nên các van điều hòa lực phanh bằng cơ khí đã được thay thế bởi hệ thống phân phối lực phanh bằng điện tử (EBD). Việc phân phối lực phanh bằng điện tử này cho độ chính xác và hiệu quả cao hơn. Bằng cách tính toán tốc độ khác nhau giữa bánh trước và bánh sau, hệ thống phân bổ lực phanh điện tử EBD sẽ điều chỉnh và cân bằng lực phanh giữa bánh trước và bánh sau để mang lại hiệu quả phanh tốt nhất.

Cấu tạo của hệ thống phân bổ lực phanh điện tử EBD: hệ thống sử dụng một số tín hiệu đầu vào cùng với hệ thống ABS bao gồm: cảm biến tốc độ bánh xe, cảm biến tốc độ xe và cả bộ điều khiển trung tâm. Bên cạnh đó, EBD sẽ sử dụng thêm một số cảm biến khác giúp tăng tính hiệu quả đánh giá các tình huống như:

- Cảm biến gia tốc: đo trọng tâm xe ô tô và kiểm tra độ trượt. Loại cảm biến này là một thiết bị hồi chuyên dùng để đo vận tốc góc của xe.
- Van điều khiển thủy lực: không giống với cụm van của phanh ABS, cụm điều khiển của hệ thống EBD sẽ được bổ sung thêm các van trượt với mục đích là điều chỉnh lưu lượng dầu cho từng bánh xe riêng biệt, thay cho cả 4 bánh đều như phanh ABS

3.3.3.2. Cách thức hoạt động của hệ thống EBD

Bộ điều khiển trung tâm sẽ liên tục nhận thông tin từ các cảm biến để đánh giá từng trường hợp tải trọng phân bố trên từng bánh xe.

Lấy ví dụ, nếu bạn quay vòng trái quá nhanh, cảm biến gia tốc ngang sẽ bắt đầu nhận thấy xe nghiêng về bên phải, cùng với đó bộ điều khiển trung tâm cũng sẽ nhận được tín hiệu từ cảm biến tải trọng, thông báo trọng lượng xe đang dồn lên 2 bánh bên phải (do lực quán tính ly tâm). Trong trường hợp này EBD sẽ tăng lực phanh lên 2 bánh phía phải nhiều hơn, vì trọng lượng của xe đang dồn về phía này. Nếu xe không có EBD, 4 bánh sẽ nhận được lực phanh bằng nhau khiến 2 bánh bên trái nhận nhiều phanh hơn cần thiết, việc này dẫn đến xe bị trượt ở hai bánh (do lực phanh lớn hơn lực bám) làm xe mất cân bằng và trượt ra khỏi đường.



Hình 3.22. Lực phanh ở các bánh xe khi xe vào cua

Chương 4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ABS TRÊN PHẦN MỀM CARSIM VÀ SIMULINK

4.1 Tổng quan về phần mềm Simulink

Simulink là một phần mềm mô hình hóa và mô phỏng được phát triển bởi MathWorks, được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực kỹ thuật và khoa học máy tính để phát triển và kiểm tra các hệ thống điện tử, cơ khí, điều khiển, và nhiều lĩnh vực khác nhau. Simulink cung cấp một môi trường trực quan và dễ sử dụng để thiết kế các mô hình và hệ thống, cho phép người dùng tạo ra mô phỏng chính xác và kiểm tra tính đúng đắn của hệ thống trước khi triển khai trong thực tế.

Một trong những ứng dụng phổ biến của Simulink là mô phỏng các hệ thống điều khiển, như hệ thống ABS trên xe ô tô. Bằng cách sử dụng Simulink, chúng ta có thể xây dựng mô hình số hóa của hệ thống ABS và mô phỏng các biến đổi và tương tác giữa các thành phần trong hệ thống, từ cảm biến đến bộ điều khiển và phanh, để đánh giá hệ suất và độ tin cậy của hệ thống trong các điều kiện khác nhau.

Simulink cung cấp một loạt các khối chức năng và công cụ để xây dựng mô hình một cách linh hoạt và tiện lợi, cũng như các tính năng mạnh mẽ như phân tích dữ liệu và tương tác với các công cụ khác trong quy trình phát triển sản phẩm. Với Simulink, người dùng có thể tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống và giảm thiểu rủi ro trước khi triển khai trong thực tế.

4.2. Giới thiệu phần mềm Carsim

Carsim là một công cụ mô phỏng động học xe hơi tiên tiến. Được phát triển bởi công ty Mechanical Simulation Corporation và được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp ô tô để đánh giá và phát triển hiệu suất của các hệ thống lái, động cơ, hộp số, treo và các khía cạnh khác của xe ô tô. Trong đề án này, chúng em tập trung vào ứng dụng cụ thể của CarSim trong việc mô phỏng hệ thống phanh ABS.

Với sự linh hoạt của CarSim, chúng ta đã có thể đánh giá hiệu suất của hệ thống phanh ABS dưới các điều kiện đường khác nhau. Từ đường khô đến đường trơn, đường thẳng đến đường cong. Chúng ta có thể tiến hành mô phỏng để hiểu rõ hơn về cách mà hệ thống ABS tương tác với bề mặt đường và cung cấp sự ổn định khi phanh.

4.3. Hệ thống điều khiển được tích hợp vào hệ thống phanh trên ô tô

4.3.1. Hệ thống điều khiển vòng kín

Hệ thống điều khiển vòng kín hay hệ thống điều khiển hồi tiếp là một trong những phương thức điều khiển của hệ thống điều khiển tự động trên ô tô.

Trong hệ thống này, có một cảm biến thu thập tín hiệu đầu ra, sau đó truyền về máy chủ để điều chỉnh liên tục các tín hiệu điều khiển đầu vào, giữ cho sai số điều khiển luôn ở mức tối thiểu.

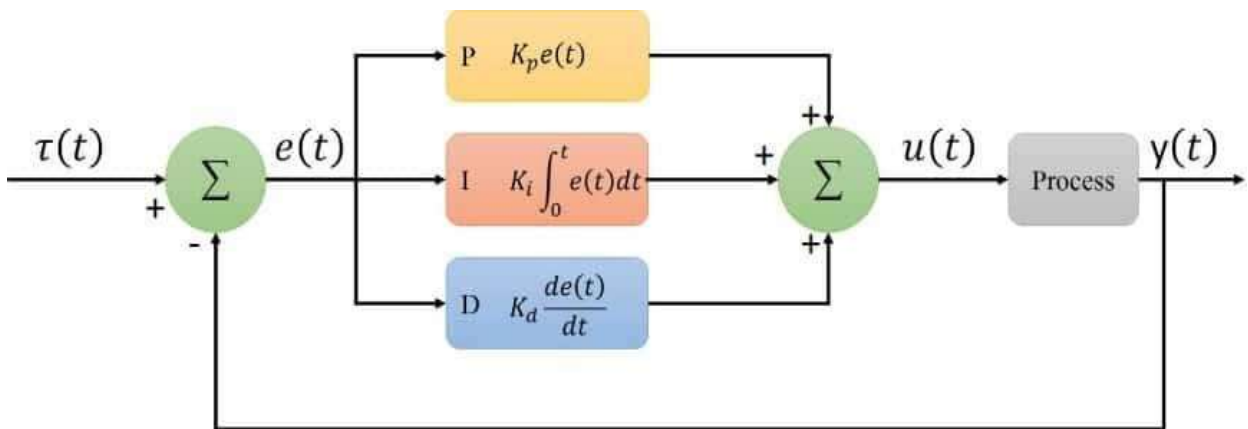
Hệ thống điều khiển vòng kín được xem là lý tưởng khi có khả năng triệt tiêu tất cả các sai số và giảm thiểu tối đa ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài đến hệ thống. Tuy nhiên, trong thực tế, việc đạt được một hệ thống hoàn hảo như vậy là không thể, do sự tồn tại của các sai số kỹ thuật trong cảm biến, độ trễ ở bộ điều khiển, và sự thiếu sót trong thiết kế điều khiển đầu vào.

4.3.2. Bộ điều khiển Bang-Bang

Bộ điều khiển Bang-Bang là một loại bộ điều khiển đơn giản nhưng hiệu quả, thường được sử dụng trong các ứng dụng đòi hỏi sự ổn định và độ chính xác tương đối thấp. Bộ điều khiển này hoạt động dựa trên nguyên tắc bật/tắt (on/off) và được điều chỉnh bằng cách thay đổi thời gian hoạt động của tín hiệu điều khiển khi đạt được ngưỡng được xác định trước.

4.3.3. Bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển PID là một kiểu điều khiển phổ biến và được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển tự động trong nhiều lĩnh vực, bao gồm công nghiệp, ô tô, điện tử và tự động hóa. [9]



Hình 4.1. Sơ đồ khối bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển PID hoạt động bằng ba thành phần chính

- P: thành phần tỉ lệ tự động điều chỉnh đầu ra của bộ điều khiển theo tỉ lệ tuyến tính với sự chênh lệch giữa giá trị đầu vào hiện tại và giá trị đặt trước.
- I: thành phần tích phân giúp loại bỏ sai số dài hạn bằng cách tích lũy và điều chỉnh đầu ra dựa trên tổng tích phân của sự chênh lệch giữa giá trị đầu và giá trị đặt.

- D: thành phần đạo hàm giúp dự đoán và kiểm soát tốc độ thay đổi của chênh lệch giữa giá trị đầu vào và giá trị đặt, giảm thiểu dao động và cải thiện thời gian phản ứng.
- Trong khối điều khiển PID của hệ thống ABS tính toán liên tục giá trị sai số e là hiệu số giữa giá trị mong muốn và biến trong quá trình đo được sau đó hiệu chỉnh trên ba thành phần PID để cho ra giá trị điều khiển cung cấp cho hệ thống.

4.4. Nhiệm vụ và mục tiêu của thiết kế mô phỏng

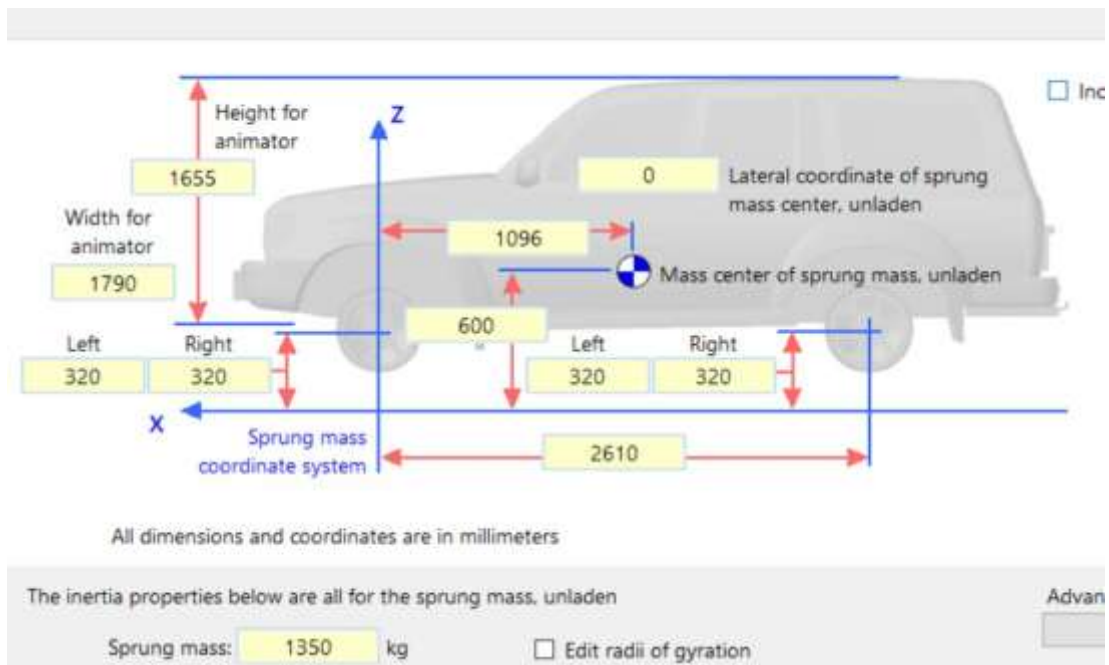
Thiết kế mô phỏng hệ thống ABS (chống bó cứng phanh) và EBD (phân phối lực phanh điện tử) đóng vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu và đánh giá hoạt động của các hệ thống an toàn chủ động trên ô tô. Mô phỏng không chỉ giúp quan sát quá trình làm việc của hệ thống mà còn hỗ trợ kiểm chứng tính hiệu quả, độ chính xác và độ tin cậy trong các tình huống vận hành khác nhau.

Mục tiêu chính của mô phỏng là xây dựng một mô hình trực quan, mô tả lại cách thức hoạt động và điều khiển của hệ thống ABS và EBD. Qua đó, người dùng có thể dễ dàng hình dung được sự tương tác giữa các thành phần như cảm biến, ECU và các cơ cấu chấp hành thủy lực trong quá trình phanh.

Nhiệm vụ cụ thể của thiết kế mô phỏng gồm:

- Thứ nhất, mô phỏng giúp làm rõ các thông số kỹ thuật quan trọng như: tốc độ quay bánh xe, áp suất dầu phanh, độ trượt giữa lốp và mặt đường,... Đây là những yếu tố then chốt ảnh hưởng đến hiệu quả hoạt động của ABS và EBD. Việc điều chỉnh và theo dõi các thông số này qua mô phỏng cho phép đánh giá độ chính xác và phản ứng của hệ thống trong từng tình huống cụ thể.
- Thứ hai, mô phỏng đóng vai trò như một công cụ giảng dạy và nghiên cứu hiệu quả, hỗ trợ người học, kỹ sư hoặc kỹ thuật viên hiểu rõ nguyên lý làm việc, chu trình điều khiển và cơ chế phản hồi của hệ thống. Qua các mô hình mô phỏng được xây dựng sinh động và trực quan, người dùng có thể theo dõi toàn bộ quá trình điều phối lực phanh từ ECU đến từng bánh xe, giúp hiểu rõ hơn về quy trình kiểm soát an toàn khi phanh.
- Thứ ba, mô phỏng góp phần đánh giá tính hiệu quả và độ an toàn của hệ thống trước khi được áp dụng vào thực tế. Thông qua mô hình, người dùng có thể nhận thấy rõ vai trò quan trọng của ABS và EBD trong việc giữ ổn định cho xe khi phanh gấp, giảm nguy cơ trượt bánh hoặc mất lái, từ đó nâng cao tính an toàn cho người điều khiển và hành khách.

4.5.1. Thông số kỹ thuật của Hyundai Creta 2024



Hình 4.2. Thông số xe Hyundai Creta 2024 trên Carsim

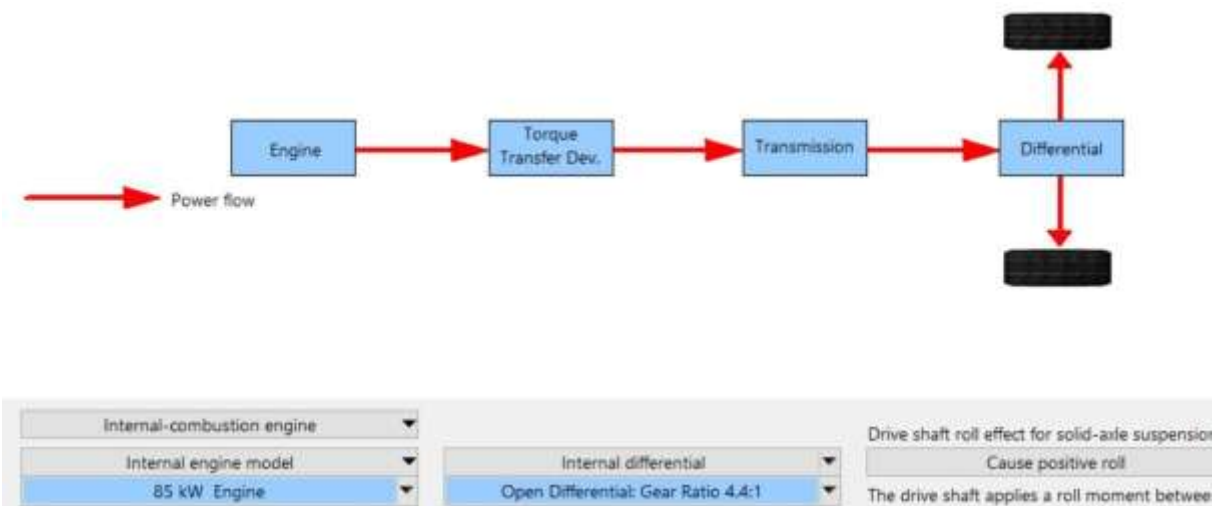
Ngoài những thông số có sẵn trong bảng, các thông số còn lại ta phải tính và tham khảo.

Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước là: [11]

$$a = L \cdot \frac{W_r}{W} = 2610 \cdot \frac{42}{100} = 1096 \text{ (mm)} \quad (4.1)$$

Độ cao trọng tâm G, sẽ lấy tham khảo của phần mềm đã thiết lập sẵn cho phân khúc SUV cỡ nhỏ là 600 (mm).

- Thông số động cơ và hộp số:

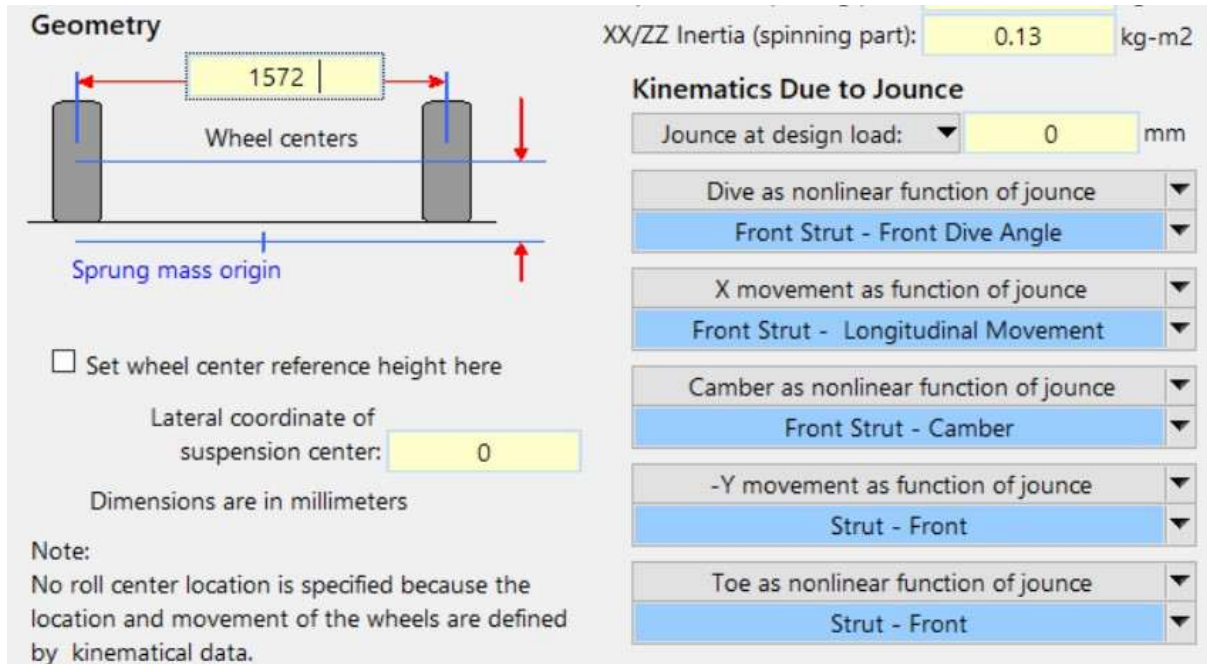


Hình 4.3. Thiết lập thông số động cơ và hộp số Hyundai

Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024

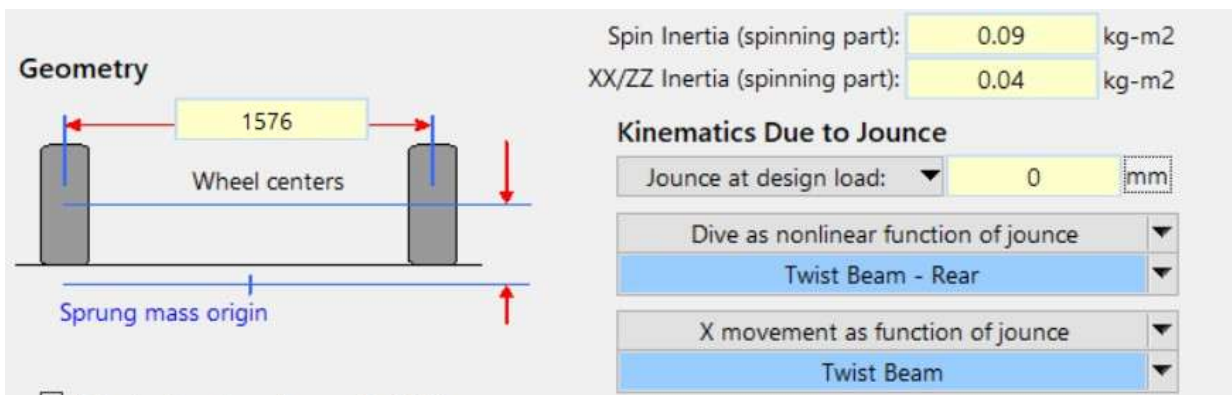
Chọn tham khảo với các thông số đã được thiết lập sẵn trên phần mềm theo đúng phân khúc SUV cỡ nhỏ sau đó áp dụng đúng cho xe Hyundai Creta về động cơ và hộp số. Với công suất là 85kW gần với 84kW trên phần mềm tham khảo. Hộp số vô cấp CVT

– Thông số hệ thống treo trước/sau:



Hình 4.4. Thông số hệ thống treo trước Hyundai Creta 2024

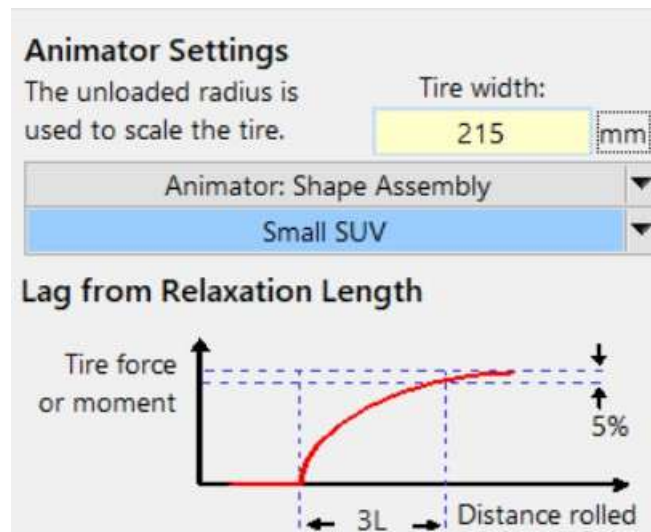
Chiều rộng cơ sở phía trước là 1572 mm và hệ thống treo trước của xe sử dụng kiểu McPherson (Strut), một loại treo độc lập phổ biến trên các dòng xe SUV cỡ nhỏ như Hyundai Creta 2024



Hình 4.5. Thông số hệ thống treo sau Hyundai Creta

Chiều rộng cơ sở phía sau là 1576 mm và hệ thống treo độc lập Twist Beam (hay còn gọi là hệ thống treo bán độc lập)

- Thông số kích thước lốp xe:



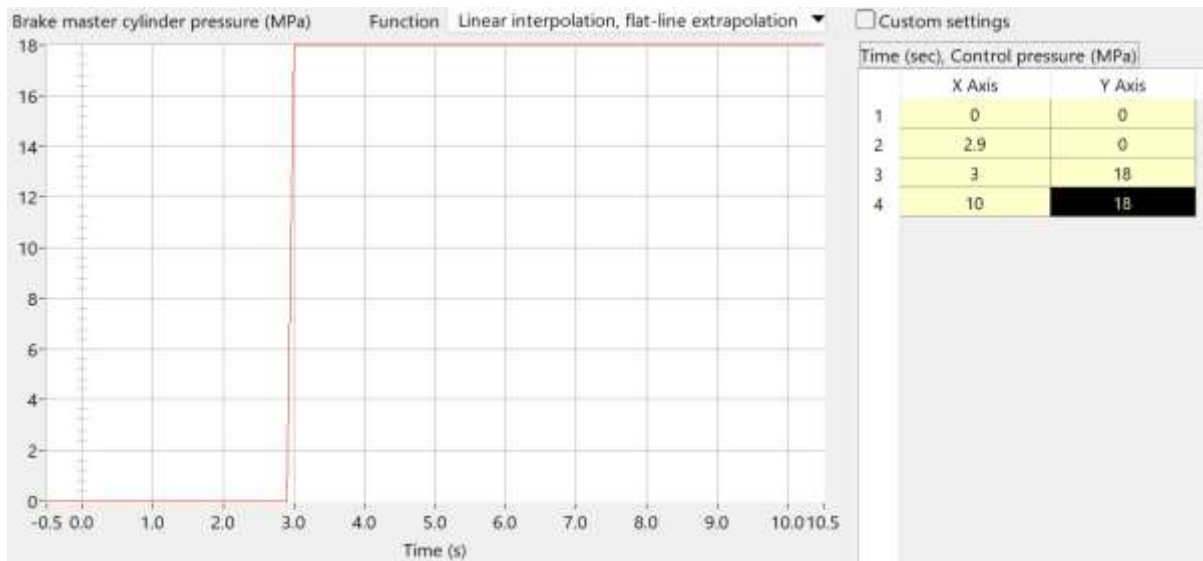
Hình 4.6. Thông số lốp Hyundai Creta 2024

Bánh trước và bánh sau có kích thước bằng nhau nên chọn theo thông số tham khảo có sẵn trong phần mềm.

*Ngoài ra còn có các thông số khác trên phần mềm như là mô hình hóa chuyển động trên phần mềm, hệ thống phanh (dầu), hệ thống lái, tất cả các thiết lập sẽ dựa trên phần mềm thiết lập sẵn cho xe phân khúc hạng SUV cỡ nhỏ.

4.5.2. Xây dựng và thiết lập các trường hợp mô phỏng

Sau khi đã thiết lập các thông số xe tiến hành thiết lập và xây dựng các trường hợp mô phỏng theo các điều kiện khác nhau.



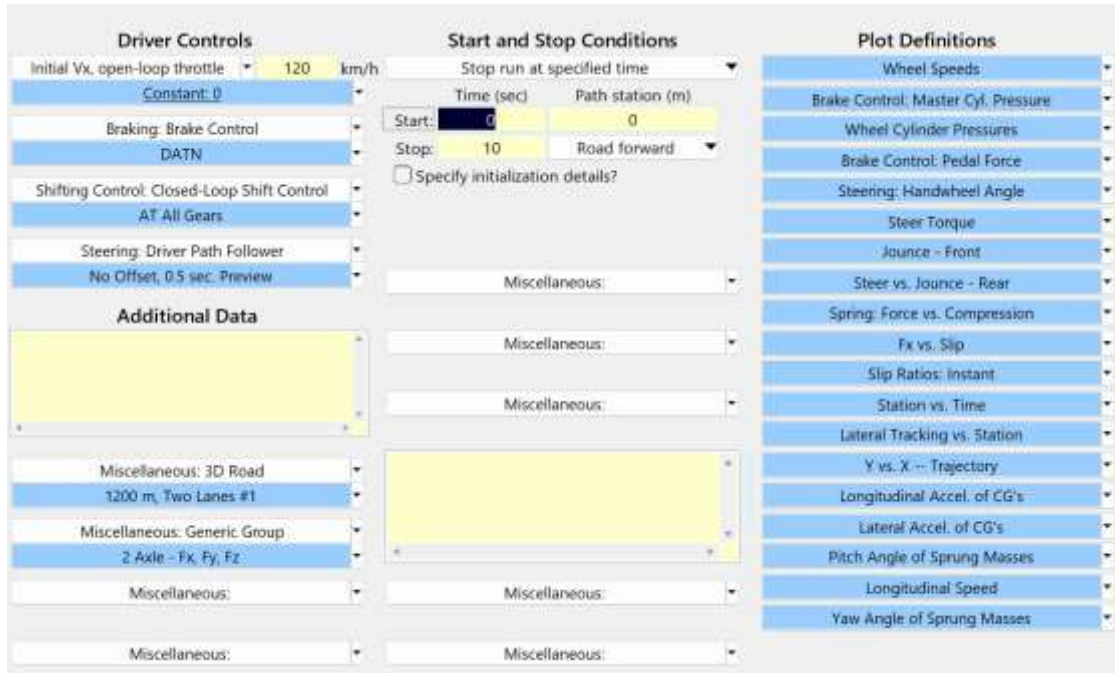
Hình 4.7. Thiết lập quá trình phanh Hyundai Creta 2024

Xe sẽ chạy đến giây thứ 2,9 bắt đầu đạp phanh, áp suất phanh từ xi lanh chính đến các cơ cấu phanh tại giây thứ 3 với giá trị là 18 MPa đến giây thứ 10 (đạp hết phanh). Lí do áp suất phanh cần thiết của xe từ xi lanh chính có độ lớn là 18 MPa là ta tính được

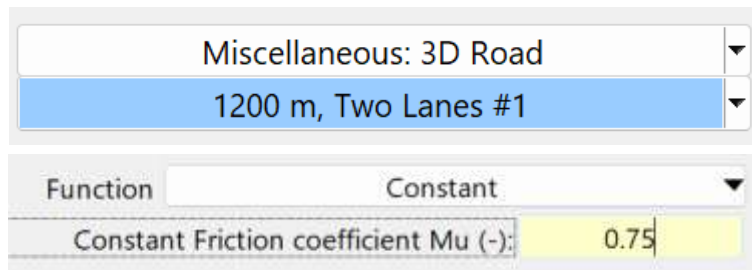
Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024

dựa vào công thức: $F_p \leq F_\phi = M \cdot g \cdot \phi$. Lực phanh tại các bánh xe bằng lực bám sẽ đạt hiệu quả phanh tối ưu. Nếu lực phanh lớn hơn lực bám thì bánh xe sẽ bị trượt. Ta thiết kế mô phỏng đúng với xe sẽ là 18 MPa là áp suất phanh cần thiết cho toàn bộ xe.

- Phanh mặt đường thẳng bình thường có hệ số bám là 0.75



Hình 4.8. Thiết lập phanh trong điều kiện mặt đường thẳng bình thường



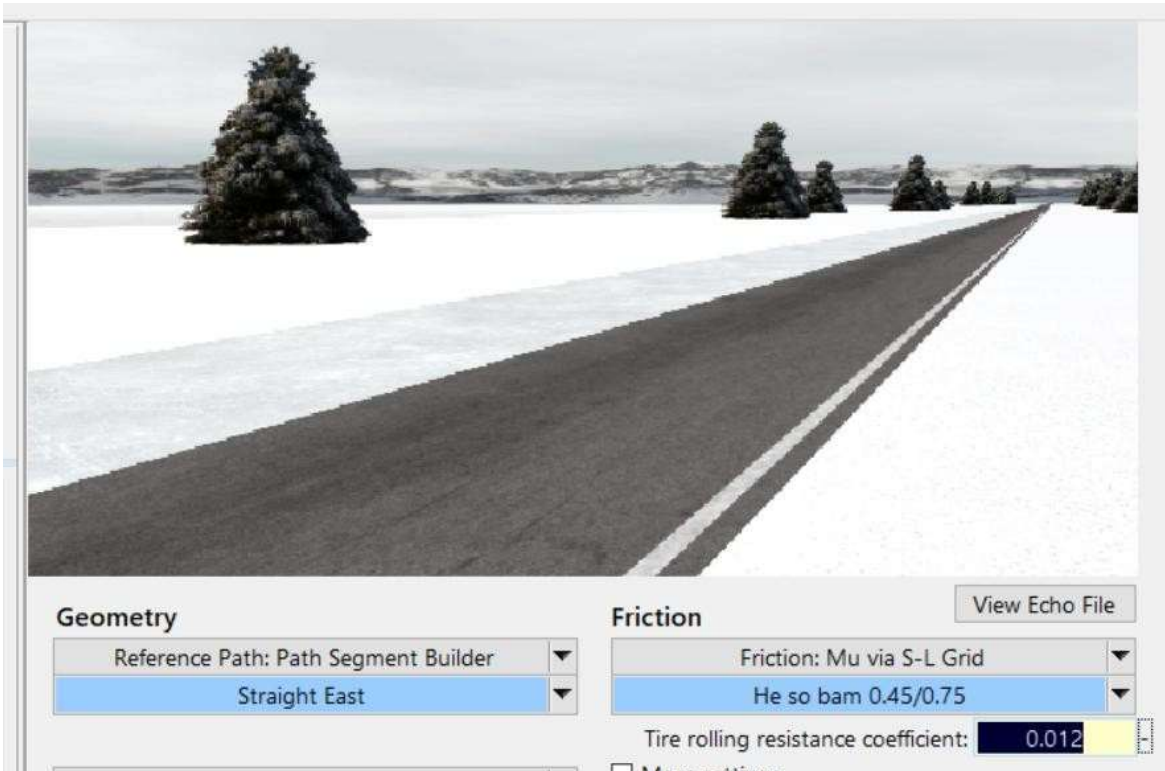
Hình 4.9. Loại đường và hệ số bám mặt đường Đường thẳng với hệ số bám là 0.75.

- Phanh trên đường thẳng với 2 hệ số bám khác nhau

Top row: lateral coordinate (m); X Axis: station (m); Rest: friction coefficient Mu (-)

	X Axis	1	2	3
-	0	-5	0	5
1	0	0.75	0.75	0.75
2	3	0.75	0.45	0.75

Hình 4.10. Thiết lập hệ số bám hai mặt đường



Hình 4.11. Thiết lập mô phỏng đường hai hệ số bám

	Color	Color	Material Type	Spec.	S Scale	L Tiles	L Start	Units	L Stop	Units	Div's	i Use	S Start	S Stop	Interva ^o
1	0.878	0.878	0.878	Road (Rough)	0.2	40	1	-5	m	5	m		-500	1000	3
2	1	1	1	Water	0.5	10	0.5	0	m	5	m		3	1000	3
3	0.937	0.937	0.937	Grass (Light)	1	20	3.25	-5	m	-70	m		-500	1000	10
4	0.937	0.937	0.937	Grass (Light)	1	20	3.25	5	m	70	m		-500	1000	10

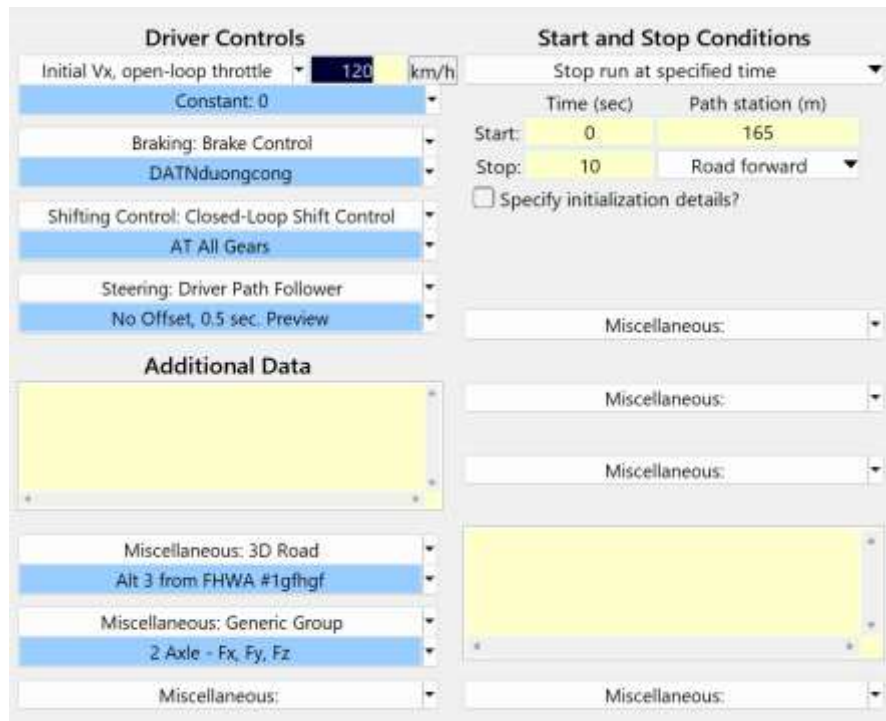
Hình 4.12. Thiết lập hình dạng đường mô phỏng

Thiết lập hình dạng đường tham khảo dựa trên phần mềm có sẵn. Lựa chọn mô hình đường và các thông số được tùy chỉnh sao cho phù hợp với điều kiện mô phỏng mà chúng ta mong muốn. Trong trường hợp này, mô hình mô phỏng được thiết kế để tái hiện lại tình huống phanh trên mặt đường có hai hệ số bám khác nhau – một kịch bản thường được sử dụng để kiểm tra hiệu quả và độ ổn định của hệ thống phanh và hệ thống điều khiển ổn định.

Thiết lập quá trình phanh giống như với trường hợp đường bình thường và không dùng đến hệ thống lái. Tốc độ xe vẫn sẽ được đặt ở tốc độ 120km/h. Với mô phỏng là từ 0 đến 3 m sẽ là hệ số bám 0.75. Từ 3 m (chiều dọc) trở đi phía bên trái (-5;0) m (ngang) hệ số bám sẽ là 0.45. Cũng từ mốc 3m đó phía bên phải (0; 5) m hệ số bám sẽ là 0.75.

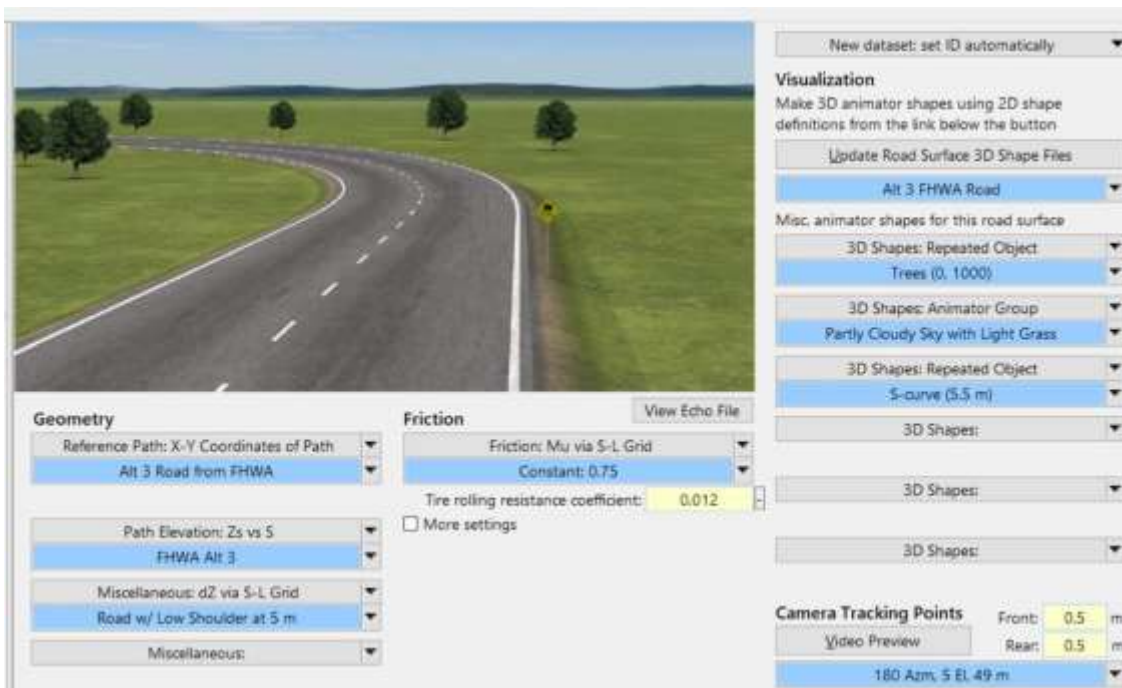
Việc bố trí mặt đường như trên nhằm tạo ra tình huống phanh không đều giữa hai bên bánh xe, giúp đánh giá chính xác khả năng ổn định phương tiện khi đối mặt với các điều kiện mặt đường thay đổi đột ngột, từ đó kiểm tra hiệu quả của hệ thống phanh và hệ thống ổn định thân xe

- Phanh khi vào cua trên đường cong có hệ số bám là 0.75



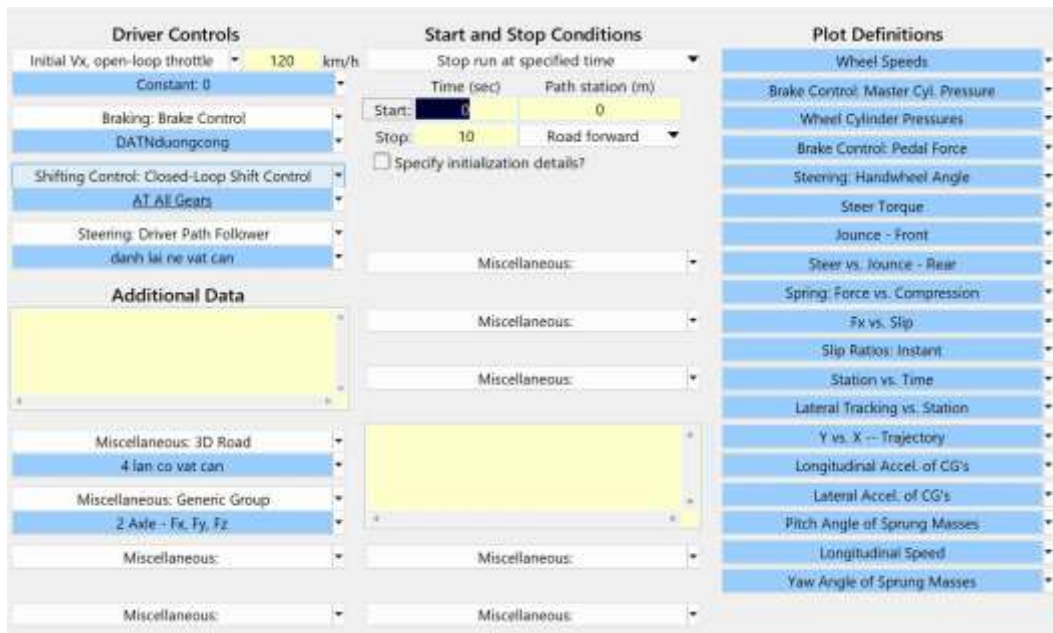
Hình 4.13. Thiết lập mô phỏng phanh khi vào cua trên đường cong

Mô phỏng xe sẽ bắt đầu ở 165 m gần với khúc cua để rút ngắn thời gian mô phỏng và để xe phanh ngay vào thời điểm bắt đầu vào cua. Phanh sẽ được điều chỉnh giống với 2 trường hợp trên. Và quá trình phanh sẽ diễn ra trước khi vào cua. Vận tốc xe vẫn được thiết lập là 120km/h.



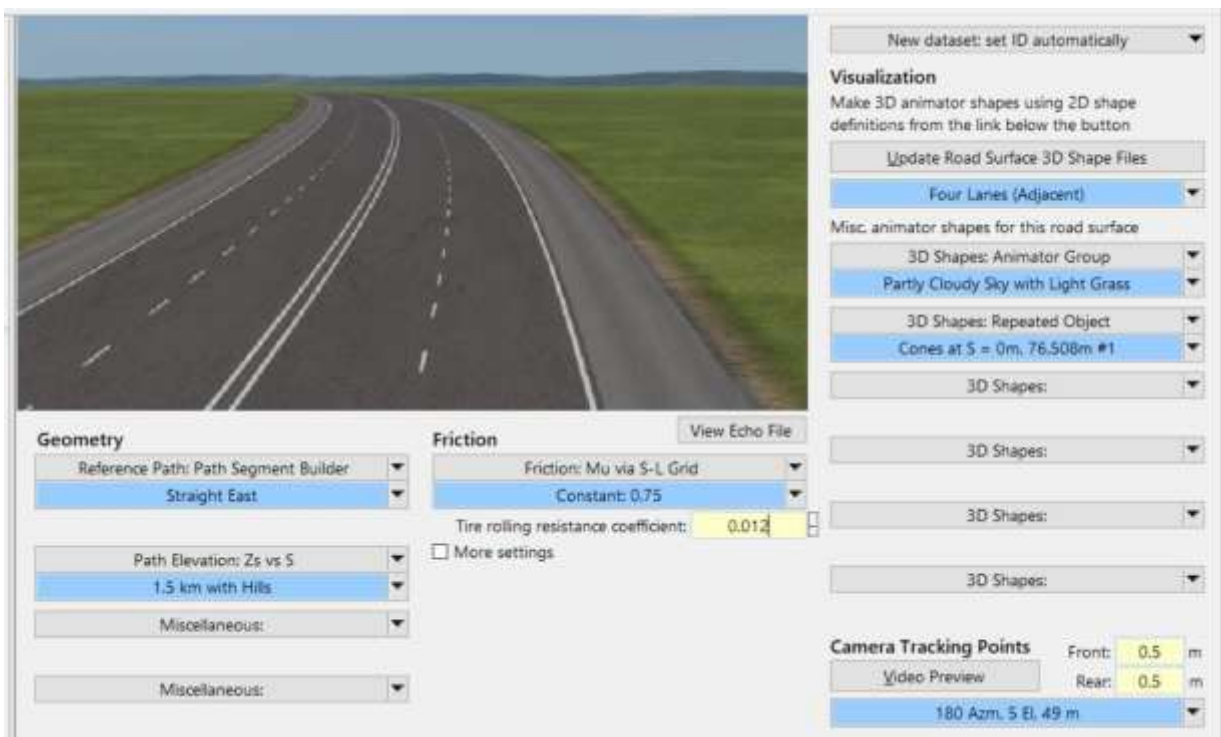
Hình 4.14. Thiết lập hình ảnh dạng mô phỏng đường khúc cua hệ số bám là 0.75

– Phanh và đánh lái né vật cản



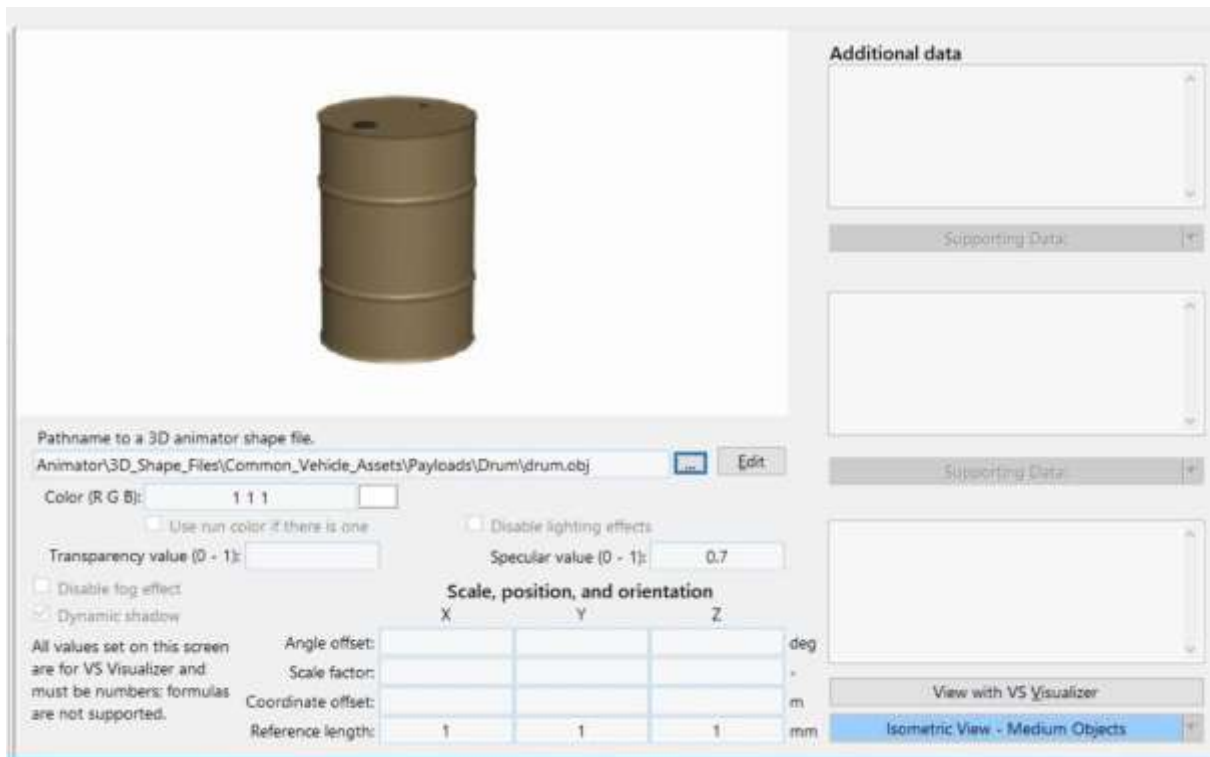
Hình 4.15. Thiết lập mô phỏng phanh và đánh lái né vật cản

Xe đang chạy với tốc độ là 120km/h. Quá trình điều khiển áp suất phanh giống với các trường hợp trên (thời điểm phanh). Ta sẽ thiết lập quá trình đánh lái và mô hình mô phỏng đường xá vật thể.



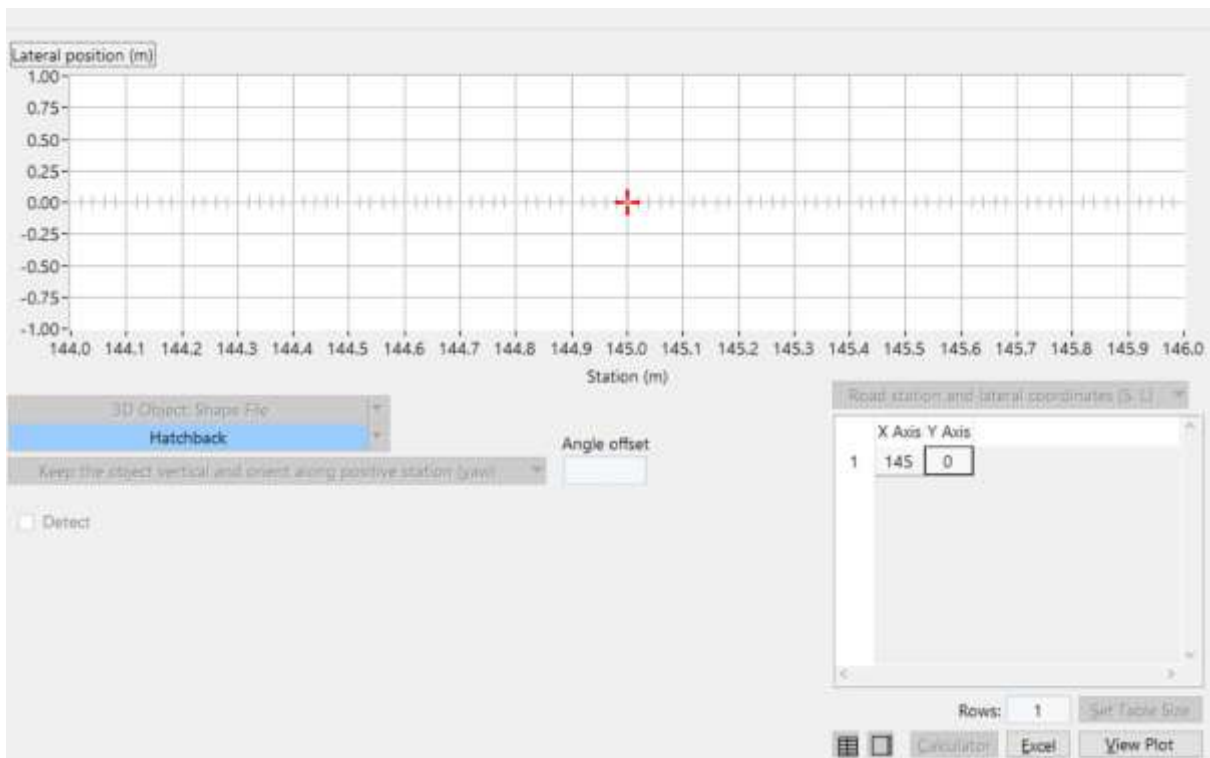
Hình 4.16. Thiết lập mô phỏng né vật cản

Chọn loại đường 4 làn trong phần mềm là four lane section và thay đổi hệ số bám của chúng là 0.75. Sau đó thiết lập vật thể né.



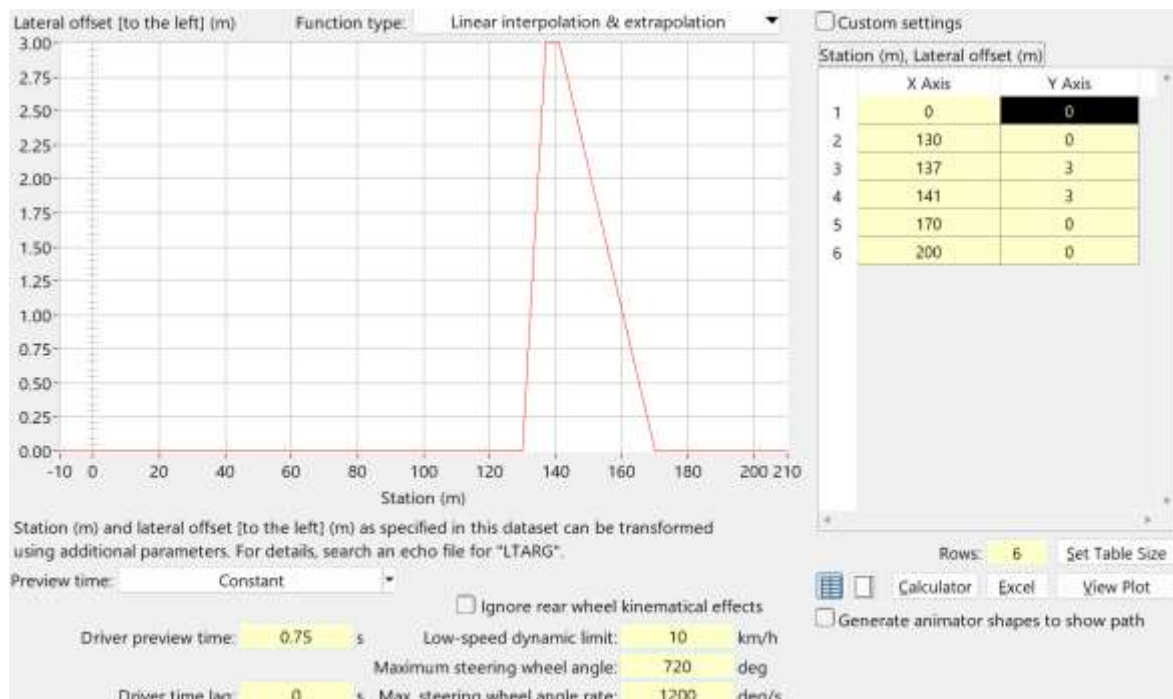
Hình 4.17. Chọn vật thể né

Chọn vật thể né là chiếc máy kéo làm nông trong phần mềm là Farm Tractor hoặc có thể lấy các vật thể khác hoặc từ tạo ra từ phần mềm khác như Solidwork với đuôi file là .STL.



Hình 4.18. Thiết lập tọa độ của vật thể né

Vật thể được đặt tại 150m cách thời điểm bắt đầu với $X = 150$ m và ở giữa đường với $Y = 0$ m.

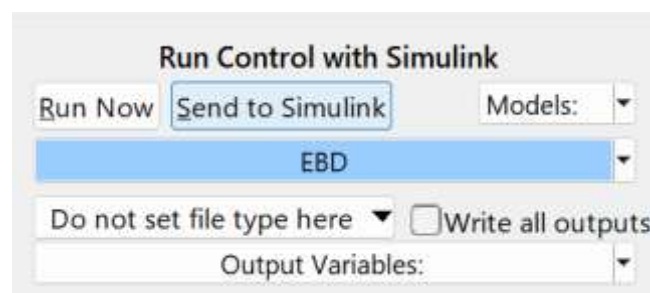


Hình 4.19. Thiết lập quá trình đánh lái

Xe sẽ bắt đầu đánh lái sang trái 3m ở vị trí là 137m và xe bắt đầu trả lái ở 141m. Từ 137 đến 141 là duy trì, còn từ 141 đến 170 là trả lái giảm dần về 0. Thiết lập các thông số phanh vị trí tọa độ vật thể và quá trình lái sao cho xe chạy đúng với điều kiện mô phỏng như mong muốn. Chính sửa liên tục bằng cách coi video chạy thử đến khi hoàn chỉnh. Vì vậy các con số này sẽ phụ thuộc vào nhiều điều kiện khác nhau không cụ thể một con số phụ thuộc vào điều kiện mô phỏng. Nên các thông số trên phù hợp với Hyundai Creta 2024

*Các trường hợp mô phỏng đều được chạy mô phỏng trong 10s.

4.5.3. Thiết lập các thông số điều khiển đầu vào đầu ra liên kết với Simulink trên Carsim



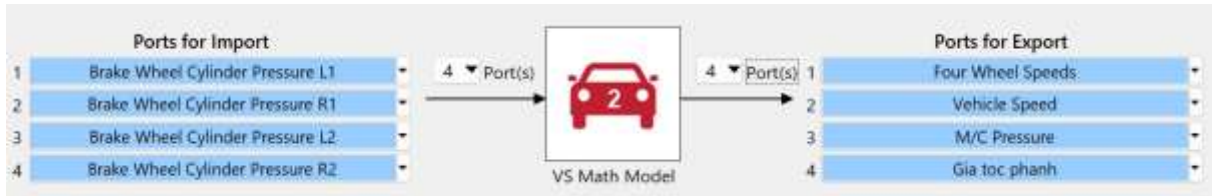
Hình 4.20. Liên kết điều khiển hai phần mềm

Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024

Tạo một trang mới ở Simulink và liên kết qua Carsim. Với mỗi bộ điều khiển sẽ có một file liên kết khác nhau như trong bài này sẽ có 4 bộ điều khiển đó là phanh ABS (On/Off), ABS (PID), phanh thường và EBD.



Hình 4.21. File liên kết



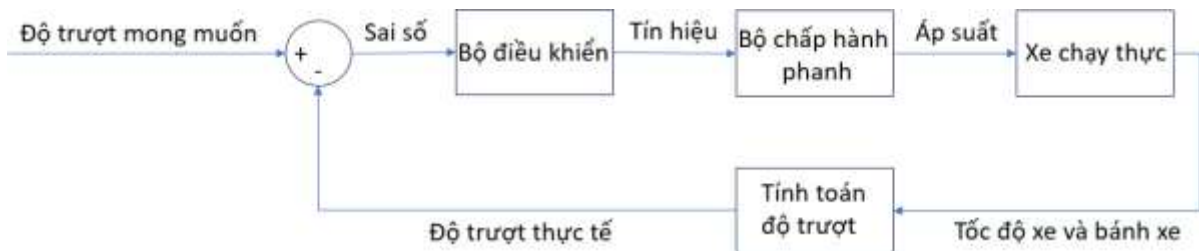
Hình 4.22. Các thông số điều khiển đầu vào đầu ra của Carsim

Các thông số đầu vào sẽ là Áp suất phanh 4 bánh xe được điều khiển bên Simulink gửi vào và suất ra tốc độ 4 bánh xe, tốc độ xe, áp suất phanh xi lanh chính, gia tốc phanh sẽ được gửi qua Simulink lại tiếp tục điều khiển theo vòng lặp kín đến hết thời gian thiết lập.

*Ngoài ra bên Carsim còn nhiều thiết lập khác ví dụ như: Thay đổi màu sắc xe, video mô phỏng, đồ thị, so sánh. Đồ thị có thể xuất từ Carsim nhưng sẽ lấy từ Simulink cho thấy được sự am hiểu về hệ thống lý thuyết cũng như cách chúng điều khiển.

4.6. Xây dựng và thiết lập mô hình các khối điều khiển trên Simulink

4.6.1. Sơ đồ khối điều khiển phanh ABS

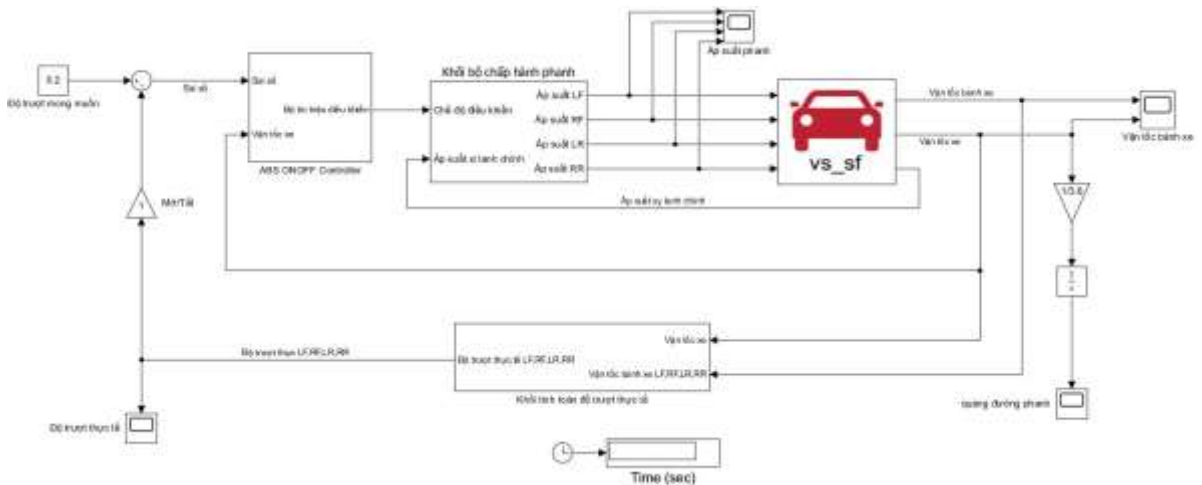


Hình 4.23. Sơ đồ khối hệ thống ABS

Hệ thống ABS được xây dựng trên cơ sở của hệ thống điều vòng kín (Closed-Loop). [9]

Khi xe đang chạy với tốc độ cao như trên đường cao tốc hoặc đường trơn trượt, kể cả với tốc độ trung bình khi phanh gấp (phanh thường) sẽ xảy ra tình trạng trượt hoặc xoay vòng do bánh xe bị bó cứng, lúc này do lực phanh lớn hơn lực bám nên lực bám đã bị triệt tiêu hoàn toàn (hệ số trượt tăng cao khi bánh xe bị bó cứng) do đó chỉ cần một tác dụng làm thay đổi lực bám ngang sẽ làm xe bị xoay vòng hoặc xe sẽ bị trượt thẳng do lực quán tính làm mất khả năng định hướng. Do đó, mô hình ABS sẽ được thiết lập

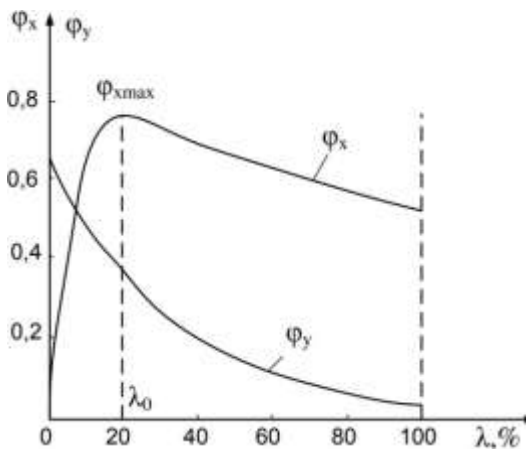
để điều chỉnh áp suất phanh sao cho độ trượt tại các bánh xe dao động ở mức mong muốn (mức tối ưu). Khi phanh, xe sẽ gửi tín hiệu tốc độ xe và bánh xe về ECU tính toán độ trượt rồi so sánh với độ trượt mong muốn đưa ra sai số. Sau đó bộ điều khiển sẽ hạn chế sai số này ở mức mà mình thiết lập để đảm bảo gần nhất điều kiện phanh tối ưu. Sau đó sẽ tạo ra tín hiệu điều khiển đến bộ chấp hành và điều chỉnh áp suất phanh. Xong áp suất phanh sẽ tạo ra một tín hiệu mới làm thay đổi tốc độ xe và tốc độ bánh xe sẽ tạo ra độ trượt mới. Cứ như thế vòng lặp diễn ra liên tục đến khi xe dừng hẳn. Chính vì thế đây là hệ thống điều khiển vòng kín hay hệ thống điều khiển hồi tiếp.



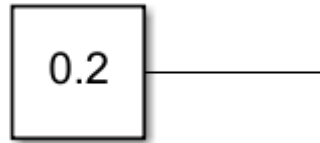
Hình 4.24. Hệ thống phanh ABS trên Simulink

4.6.2. Độ trượt mong muốn

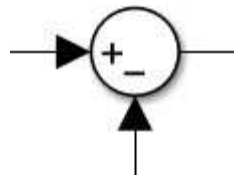
Theo đồ thị đặc tính trượt của bánh xe khi phanh thì hệ số bám dọc và hệ số bám ngang cao nhất khi độ trượt trong phạm vi từ (10-30)% nên độ trượt mong muốn sẽ được thiết lập là 0.2. Ở mức này, phanh ABS sẽ hoạt động tối ưu nhất, đạt hiệu quả phanh cao. Do lực bám cao thì lực phanh sinh ra tại các cơ cấu phanh cao tương ứng ở mức tối ưu (không bị trượt), tức không vượt quá lực bám mà chỉ gần bằng lực bám xong lực phanh sẽ được điều chỉnh giảm để độ trượt được duy trì ở mức 0.2. [8]



Hình 4.25. Đặc tính trượt của bánh xe khi phanh



Hình 4.26. Thiết lập độ trượt mong muốn trên Simulink
Dùng khối Constant, thay đổi giá trị là 0.2



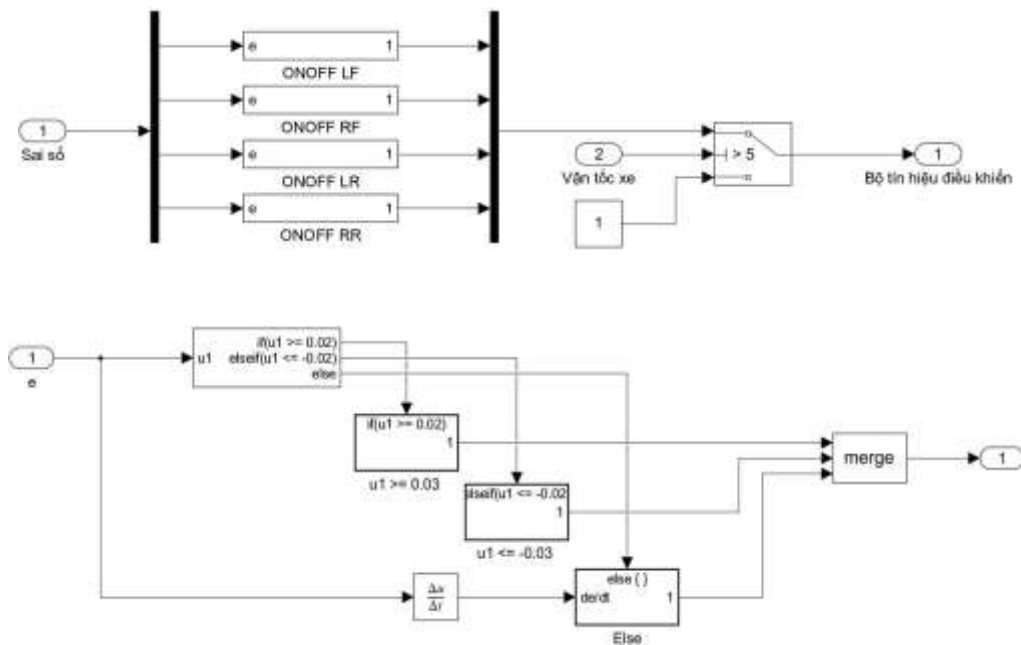
Hình 4.27. Khối Sum trên Simulink

Khối này có chức năng tổng hợp và tính toán của độ trượt mong muốn và độ trượt thực tế ra sai số để đưa vào bộ điều khiển. Dấu cộng/dấu trừ tương ứng với dấu của độ trượt mong muốn/ độ trượt thực tế.

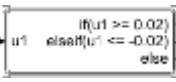
$$e \text{ (Sai số)} = \lambda_o \text{ (Độ trượt mong muốn)} - \lambda_t \text{ (Độ trượt thực tế)}$$

4.6.3. Các bộ điều khiển

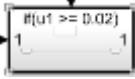
4.6.3.1. Bộ điều khiển ON/OFF



Hình 4.28. Bộ điều khiển ON/OFF trên Simulink


[9] Sai số sau khi đã được tính sẽ được đưa vào khối If (), khối này có chức năng tách ra 3 trường hợp so sánh. Sai số lớn hơn hoặc bằng 0.02, bé hơn

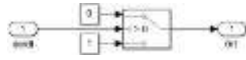
hoặc bằng -0.02 và trong khoảng từ -0.02 đến 0.02 . Sau đó sẽ được truyền đến các khối

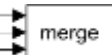
hiệu lệnh If Action System ().

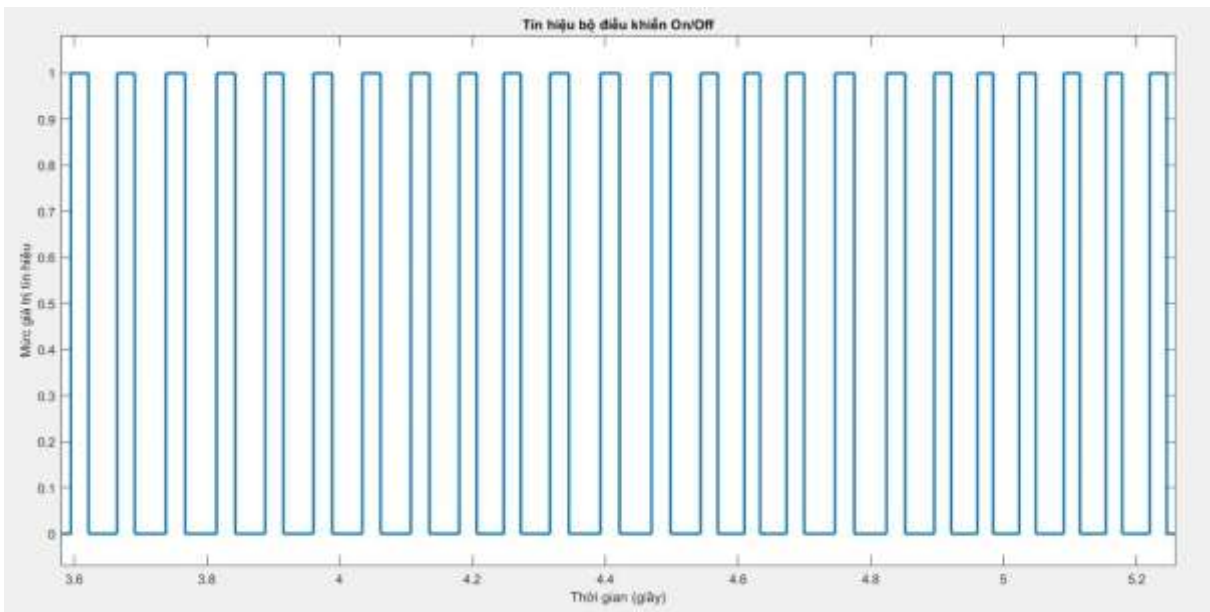
$e \geq 0.02$, suất tín hiệu là 1. Tức là tăng áp suất phanh.

$e \leq -0.02$, suất tín hiệu là 0. Tức là giảm áp suất phanh.

$-0.02 < e < 0.02$, thì sẽ dùng điều kiện đạo hàm của sai số () tức tốc độ thay đổi của sai số. Trên điều kiện đường có hệ số bám thấp, trơn trượt. Lực phanh tác dụng thay đổi nhanh hơn nên bộ điều khiển ABS sẽ không điều khiển tăng giảm áp suất kịp thời. Nên khối này trong hệ thống sẽ có chức năng tối ưu trên đường có hệ số bám

thấp bằng cách sử dụng khối Switch để so sánh giúp nhanh nhạy hơn(). Khi độ trượt tăng nhanh tức lớn hơn 0, hệ thống sẽ giảm áp suất với tín hiệu là 0. Khi độ trượt giảm nhanh tức bé hơn 0, hệ thống sẽ tăng áp suất với tín hiệu là 1. Để hiệu quả phanh được tối ưu nhất với quãng đường phanh ngắn nhất.

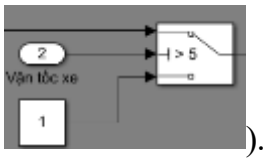
Khối Merge () có chức năng tổng hợp các tín hiệu 1 cách độc lập tạo ra tín hiệu điều khiển cho bộ chấp hành nghĩa rằng sẽ chỉ có 1 kết quả được thông qua những được lập đi lập lại liên tục tạo tín hiệu điều khiển là xung vuông giống hình dưới.



Hình 4.29. Tín hiệu điều khiển ON/OFF

Bên cạnh đó khối điều khiển On/Off sẽ chỉ hoạt động khi tốc độ xe chạy trên 5km/h . Nếu tốc độ xe thấp hơn 5km/h thì hệ thống phanh sẽ hoạt động như phanh thường

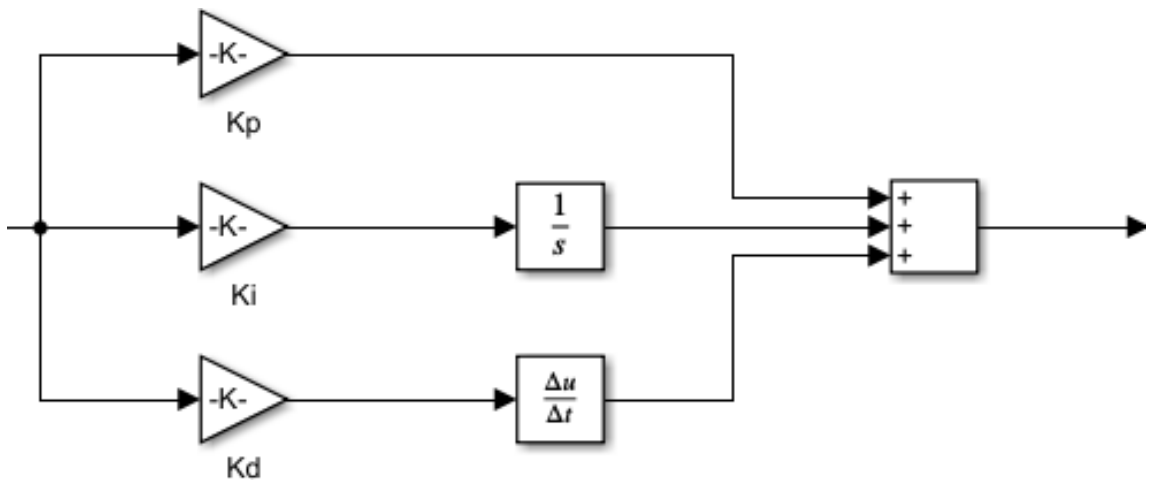
tức tín hiệu điều khiển đầu ra sẽ ở mức 1 là áp suất tăng đến khi xe dừng lại(



4.6.3.2. Bộ điều khiển PID

Tương tự như ON/OFF, bộ điều khiển PID cũng là một cách tiếp cận để mô hình hóa ABS, tuy nhiên có sự khác biệt giữa đầu ra của hai bộ điều khiển dẫn đến hiệu quả phanh sẽ khác nhau.

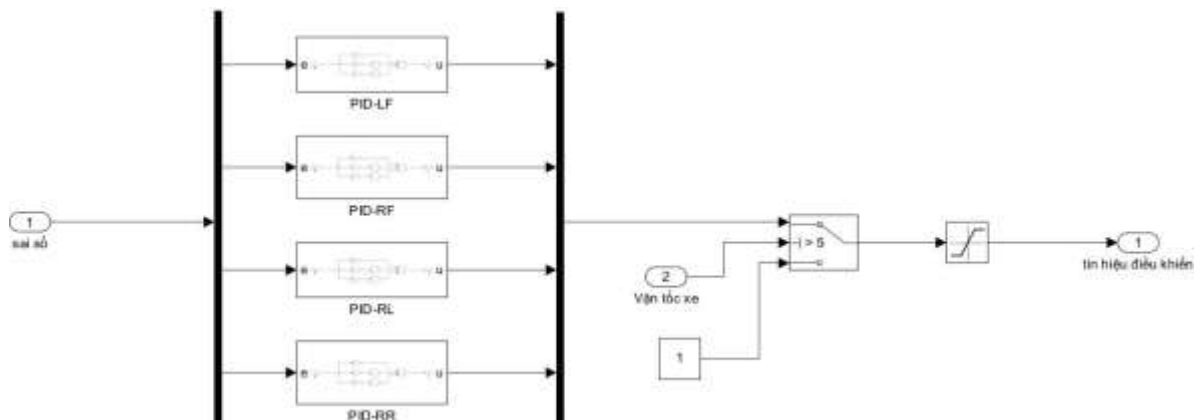
Bộ điều khiển PID cổ điển được sử dụng trong nền công nghiệp tự động. [9]



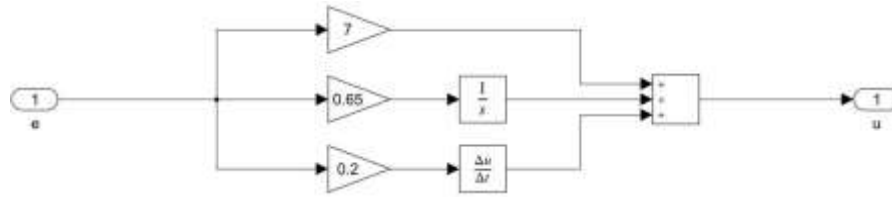
Hình 4.30. Khối điều khiển PID cổ điển

Đầu vào của hệ thống này là sai số e , sau đó sai số sẽ được nhân với các giá trị độ lợi tỉ lệ K_p , độ lợi tích phân K_i và độ lợi đạo hàm K_d , tổng lại ta được đầu ra của bộ điều khiển, biểu thức điều khiển PID có dạng như sau:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (4.2)$$




Hình 4.31. Khối điều khiển PID của xe Hyundai Creta trên Simulink



Hình 4.32. Khối điều khiển PID của xe Hyundai Creta LF trên Simulink

Khối điều khiển PID chỉ gửi tín hiệu đến bộ chấp hành phanh khi tốc độ xe lớn hơn 5km/h và được giới hạn bởi khối Saturation ở mức từ 0 đến 1. Tức tín hiệu điều khiển chỉ dao động ở mức từ 0 đến 1 tương ứng với 0% áp suất xi lanh chính đến 100%

áp suất xi lanh chính. Khối Saturation() còn có chức năng chống nhiễu trong quá trình điều khiển.

Bảng 3.1. Các thông số K_p , K_i , K_d , của hai bánh trước và hai bánh sau Hyundai Creta

Bánh xe	K_p	K_i	K_d
LF ,RF	7	0.65	0.2
LR, RR	9	1.16	0.5

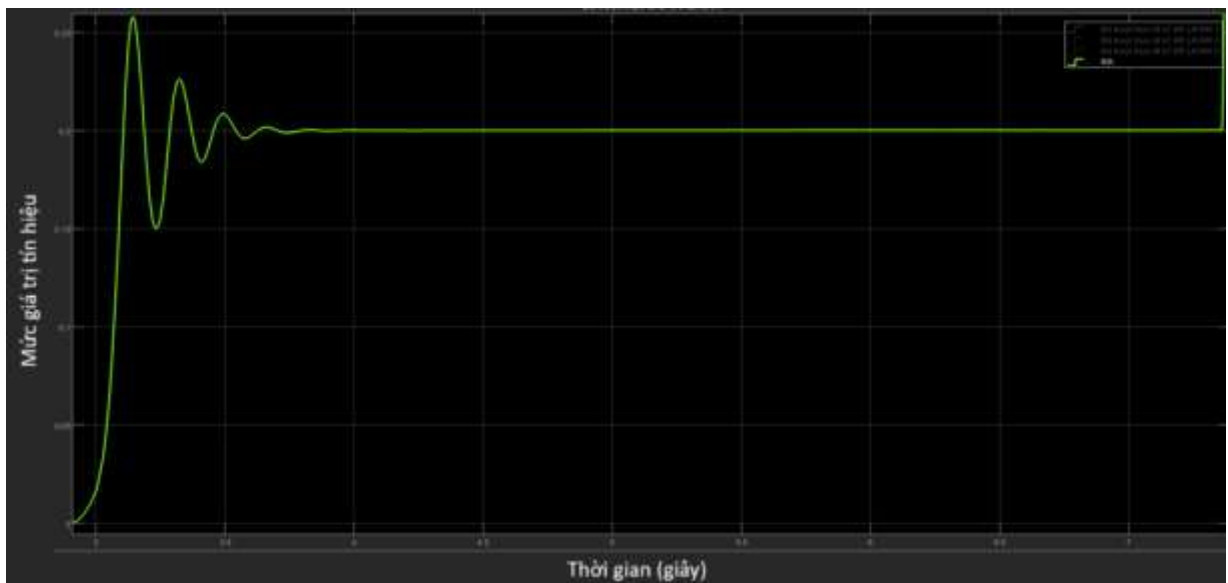
Các hệ số PID sẽ khác nhau với từng dòng xe khác nhau và các hệ thống khác nhau. Trong phanh ABS thì các thông số có ý nghĩa như sau:

Proportional (P): Thành phần P sẽ điều chỉnh áp suất phanh dựa trên sự khác biệt giữa độ trượt thực tế và độ trượt mong muốn. Khi bánh xe bắt đầu trượt, sự sai lệch tăng lên. Thành phần P sẽ tăng áp suất phanh dựa trên mức độ của sai lệch này. Nếu sai lệch càng lớn, áp suất phanh cũng được tăng lên tương ứng để ngăn chặn trượt. Độ vọt theo thời gian của đồ thị PID.

Integral (I): Thành phần I sẽ tính tổng tích lũy của sai lệch độ trượt theo thời gian. Sai lệch sẽ được duy trì ở mức nhất định theo thời gian, thành phần I sẽ duy trì áp suất phanh hợp lý đến hết quá trình sao cho độ trượt thực tế sát với độ trượt mong muốn. Ví dụ khi phanh trên đường, hệ số bám luôn thay đổi, tác động của ngoại lực luôn thay đổi sẽ tạo ra sai số chệnh lệch. Thành phần này giúp cho hệ số bám luôn cố định ở mức thiết lập. Độ duy trì theo thời gian của đồ thị PID.

Derivative (D): Thành phần D dự đoán sự biến đổi của sai lệch giữa hai thời điểm liên tiếp. Khi có một sự thay đổi đột ngột trong điều kiện đường, chẳng hạn như phanh trên đường trơn trượt hoặc phanh gấp, thành phần D sẽ điều chỉnh áp suất một cách nhanh chóng kịp thời và chính xác để giữ cho xe ổn định. Giúp hệ thống nhanh nhạy hơn. Độ nhạy theo thời gian của đồ thị PID.

Cách chọn các thông số K_p , K_i , K_d trong hệ thống: Dựa trên thử nghiệm mô phỏng, thiết lập các thông số sao cho đồ thị độ trượt thực tế có độ vọt lố thấp, độ duy trì ở mức mong muốn (0.2), độ nhạy ở mức hợp lý tức hệ thống có độ dao động ít nhất. Các thông số được thiết lập tại điều kiện mặt đường bình thường với hệ số bám là 0.75. Kết hợp với đồ thị quãng đường phanh thiết lập sao cho quãng đường là ngắn nhất và xe ổn định nhất khi phanh. Phương pháp thử nghiệm để chọn thông số PID thủ công này mất thời gian và công sức nhiều hơn các phương pháp khác nhưng lại dễ dàng quan sát và đúng thực tế với kết quả mong muốn hơn. Tổng các thành phần lại ta sẽ được đồ thị điều chỉnh hợp lý với hệ thống và sẽ hoạt động liên tục, cùng nhau để điều chỉnh áp suất phanh trên mỗi bánh xe, đảm bảo hiệu suất phanh tối ưu và an toàn khi lái xe, đặc biệt trong các tình huống phanh khẩn cấp và trượt.

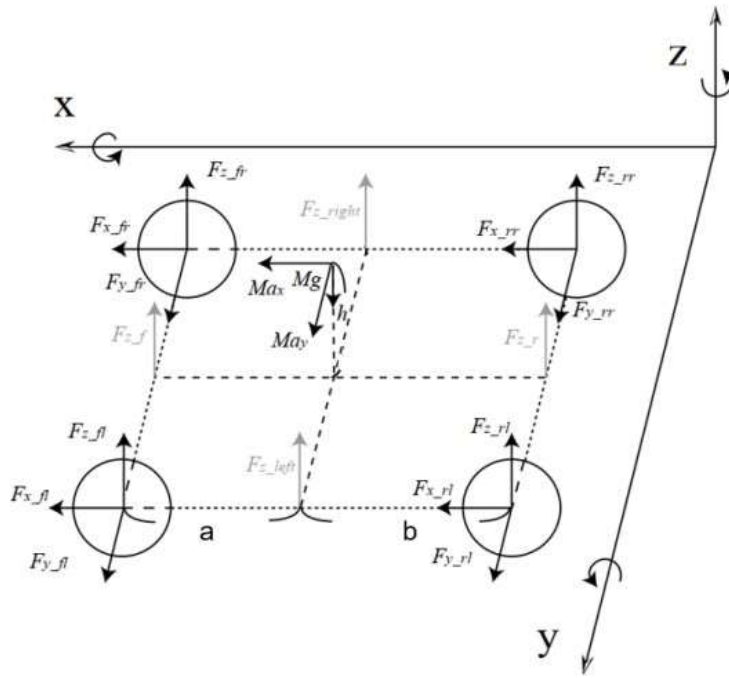


Hình 4.33. Độ trượt thực tế sau khi thiết lập Hyundai Creta RR

4.6.3.3. Khối điều khiển EBD

Hệ thống EBD (Electronic Brake-force Distribution – Phân phối lực phanh điện tử) là một phần mở rộng và nâng cao từ hệ thống ABS, có chức năng hỗ trợ phân bổ lực phanh hợp lý giữa các bánh xe nhằm đảm bảo độ ổn định và hiệu quả phanh tối ưu. Chính vì vậy, trong mô hình mô phỏng, sơ đồ khối điều khiển EBD được phát triển dựa trên nền tảng cấu trúc của hệ thống ABS đã có, kết hợp thêm một số thành phần điều khiển đặc thù dành riêng cho EBD.

Cụ thể, bộ điều khiển trung tâm sử dụng bộ điều khiển PID (PID Controller) để xử lý và đưa ra tín hiệu điều khiển cho khối EBD. Vì cấu trúc tổng thể của hệ thống ABS không thay đổi nhiều, nên việc bổ sung khối EBD chủ yếu tập trung vào việc tính toán và điều chỉnh lực phanh phân bổ giữa các bánh xe dựa trên tải trọng thực tế và điều kiện vận hành của xe. Khối EBD thực hiện chức năng này bằng cách tiếp nhận các tín



Hình 4.35. Lực pháp tuyến trên các bánh xe

Lực pháp tuyến tác dụng lên các bánh xe LF, RF, LR, RR lần lượt được xác định theo các công thức:

$$z_{LF} = 0,5 \cdot \frac{m \cdot g \cdot b - m \cdot h \cdot g \cdot A_x}{l} - \frac{m \cdot A_y \cdot h \cdot g}{d_f} \quad (4.4)$$

$$F_{zRF} = 0,5 \cdot \frac{m \cdot g \cdot b - m \cdot h \cdot g \cdot A_x}{l} + \frac{m \cdot A_y \cdot h \cdot g}{d_f} \quad (4.5)$$

$$F_{zLR} = 0,5 \cdot \frac{m \cdot g \cdot b + m \cdot h \cdot g \cdot A_x}{l} - \frac{m \cdot A_y \cdot h \cdot g}{d_r} \quad (4.6)$$

$$F_{zRR} = 0,5 \cdot \frac{m \cdot g \cdot b + m \cdot h \cdot g \cdot A_x}{l} + \frac{m \cdot A_y \cdot h \cdot g}{d_r} \quad (4.7)$$

Với d_f , d_r là chiều rộng cơ sở trước và sau.

Sau đó, tỉ lệ lực phanh sẽ được tính bằng cách: Đầu tiên sẽ xuất ra giá trị bánh xe có phản lực lớn nhất. Sau đó, sẽ tính tỉ lệ với các bánh xe còn lại sẽ cho ra tỉ lệ lực phanh phân bố với tỉ lệ trong khoảng từ 0 đến 1. Các tỷ lệ sẽ biến thiên tương ứng với giá trị A_x , A_y thay đổi.

$$r_{LF} = \frac{F_{zLF}}{F_{zmax}} \quad (4.8)$$

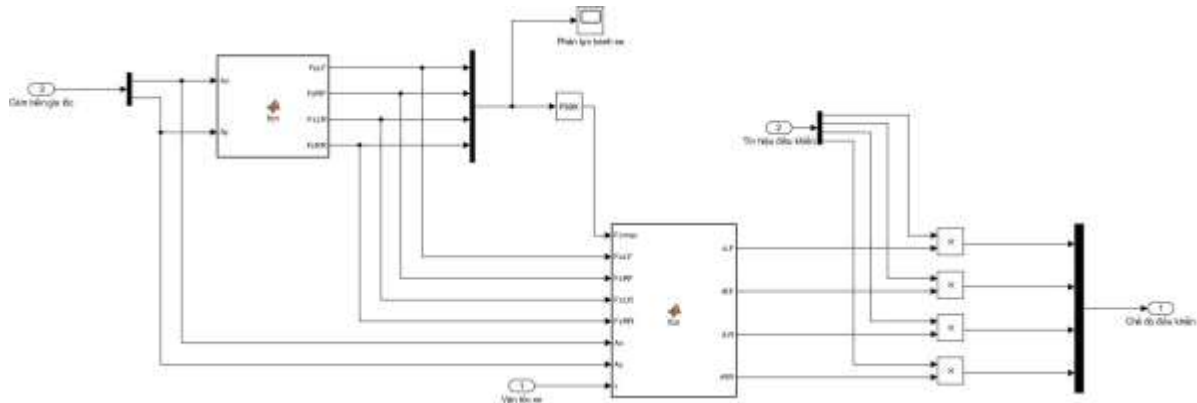
$$r_{RF} = \frac{F_{zRF}}{F_{zmax}} \quad (4.9)$$

$$r_{LR} = \frac{F_{zLR}}{F_{zmax}} \quad (4.10)$$

$$r_{RR} = \frac{F_{zRR}}{F_{zmax}} \quad (4.11)$$

Với rLF, rRF, rLR, rRR lần lượt là tỷ lệ phân bố tới từng bánh xe trước trái, trước phải, sau trái, sau phải.

*Khối EBD trên simulink






Hình 4.36. Thiết lập khối EBD trên Simulink

Khối này sẽ thu nhận các tín hiệu từ vận tốc xe, cảm biến gia tốc và tín hiệu từ bộ điều khiển PID.

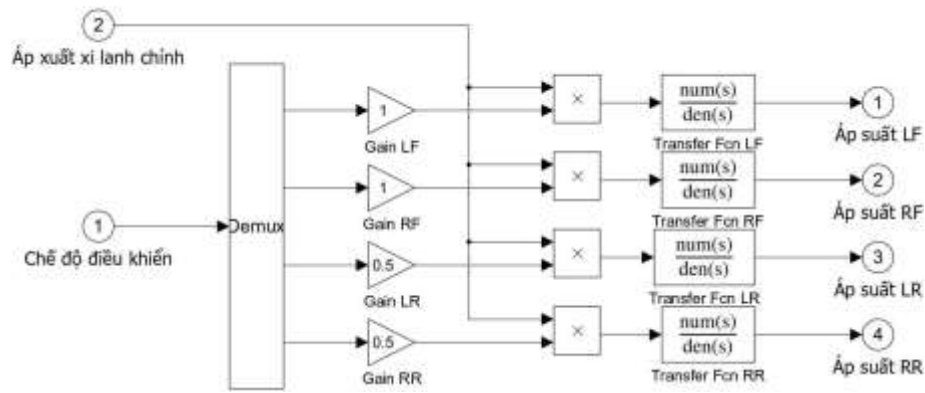
Các khối Fcn có chức năng lập công thức tính toán bằng code C++ bên trong matlab, tính ra được các lực phanh đến từng bánh xe sau đó sẽ chuyển đến khối Fcn thứ hai dùng để tính phân bố lực phanh và điều kiện EBD hoạt động. Nếu vận tốc bé hơn 5 và Ax lớn hơn -0.5 hoặc Ay nằm trong khoảng từ (-0.3 đến 0.3) thì EBD không hoạt động và khối PID sẽ hoạt động bình thường với phân bố lực phanh là 1 cho cầu trước và 0.5 cho cầu sau.

*Các khối được dùng trong phần này trên Simulink chưa được kể đến.

Khối Demux () dùng để tách các tín hiệu từ Carsim ra ví dụ như tín hiệu từ bốn bánh xe sẽ được tách ra làm bốn đồ thị. Khối Mux () là tổng hợp các tín hiệu thành một đường truyền ngược lại với khối Demux. Khối Product () dùng để nhân các tín hiệu thành một giá trị.

4.6.4. Khối bộ chấp hành phanh và hàm truyền thủy lực

Bộ chấp hành phanh tiếp nhận tín hiệu từ bộ điều khiển trung tâm. Tùy theo loại hệ thống điều khiển được sử dụng, tín hiệu gửi đến bộ chấp hành sẽ có sự khác biệt về dạng và cách truyền. Sau khi nhận tín hiệu, bộ chấp hành sử dụng khối Demux để phân tách tín hiệu thành bốn nhánh riêng biệt, tương ứng với từng bánh xe: bánh trước trái (LF), (RF), (LR) và (RR). Điều này giúp hệ thống phân phối lực phanh phù hợp đến từng bánh, đảm bảo hiệu quả và an toàn khi vận hành.



Hình 4.37. Thiết lập khối chấp hành phanh trên Simulink

Áp suất từ xi lanh chính sẽ được tính toán và phân bố đến các xi lanh con từng bánh xe. Tín hiệu điều khiển từ các bộ điều khiển sẽ được tách ra làm bốn bánh xe tương ứng để đi qua bộ phân phối lực phanh cố định với khối Gain trên simulink là 1 cho cầu trước và 0.5 cho cầu sau với bộ điều khiển On/OFF và PID và phanh thường. Còn EBD sẽ là 1 hết vì đã có khối EBD tính toán phân bố rồi. Khi thiết kế áp suất phanh của hệ thống người ta xét đến phản lực khi phanh thì nhận thấy bánh xe phía trước có phản lực cao hơn khoảng gấp đôi bánh sau do tác dụng của lực quán tính nên bộ phân phối và điều khiển lực phanh thường được đặt ở đằng trước xe với hệ thống ngắn gọn hơn đến các xi lanh con còn bánh sau sẽ dài hơn nên áp suất cố định khi thiết kế phanh sẽ là áp suất phanh cho cầu trước lớn hơn gần gấp đôi cầu sau. Bên cạnh đó, sau khi tính toán các lực phanh phân bố sẽ qua tới hàm truyền thủy lực. Khối này sẽ tính ra lực phanh cần thiết và độ trễ của thủy lực tức là sẽ cho thấy được hình dạng chuyển động của thủy lực dưới dạng đồ thị lực. Giữa các cơ cấu phanh có một độ trễ nhất định sinh ra bởi hệ thống thủy lực hay độ trễ của việc đóng mở các van. Để việc nghiên cứu mô phỏng được dễ dàng hơn, các thành phần của hệ thống phanh được xem là lý tưởng, tính phi tuyến tính của lò xo van điện từ và độ trễ áp suất thủy lực đã bị bỏ qua, bộ truyền động thủy lực nhận các tín hiệu điều khiển làm đầu vào và điều chỉnh dòng chất lỏng làm đầu ra, hàm truyền thủy lực được đơn giản hóa theo phương trình sau:[7]

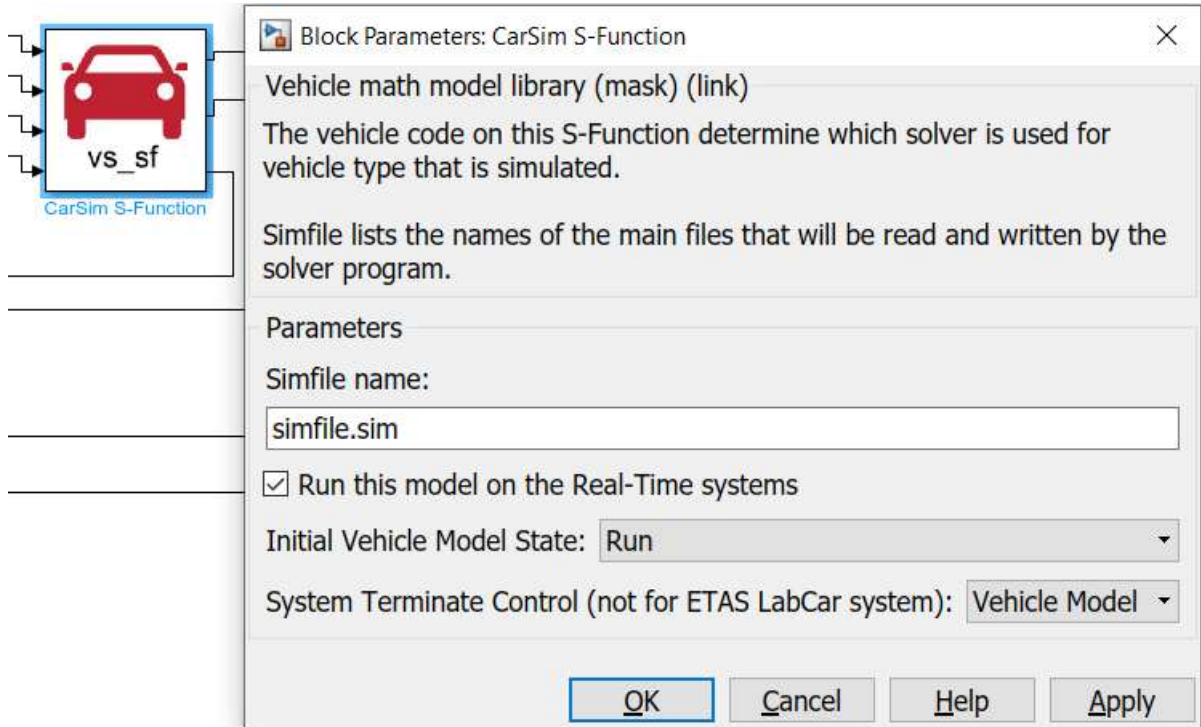
$$G(s) = \frac{K}{TB \cdot s + 1} \quad (4.12)$$

Trong đó, van điện từ có thời gian đáp ứng (TB) được chọn để mô phỏng là 60 mili giây, do đó tham số quán tính trở thành 0.06 và độ lợi phanh (K) được lấy là 1. Vì vậy hàm truyền thủy lực sẽ là:

$$G(s) = \frac{1}{0,06 \cdot s + 1}$$

4.6.5. Khối liên kết Carsim bên simulink

Tiếp theo, lực phanh của bốn bánh xe sau khi được tính toán trong môi trường Simulink sẽ được truyền sang khối CarSim để thực hiện mô phỏng liên tục. Quá trình mô phỏng này cho phép hệ thống xuất ra các tín hiệu đầu ra quan trọng như: vận tốc của xe, vận tốc từng bánh xe, áp suất trong xi lanh chính, cùng với gia tốc dọc và gia tốc ngang của xe.



Hình 4.38. Khối Carsim liên kết bên Simulink

Để thiết lập sự liên kết giữa Simulink và CarSim, ta định dạng tên tệp mô phỏng (Simfile name) là simfile.sim. Các tín hiệu từ CarSim sẽ thay đổi theo thời gian và được xuất ra để phục vụ cho các phép tính tiếp theo, như tính toán độ trượt bánh xe và xử lý trong các khối chức năng tiếp theo. Toàn bộ quá trình này hoạt động theo chu trình vòng lặp kín và tiếp tục cho đến khi hoàn tất thời gian đã thiết lập cho mô phỏng.

4.6.6. Khối tính toán độ trượt

Độ trượt λ khi phanh được xác định bằng công thức:

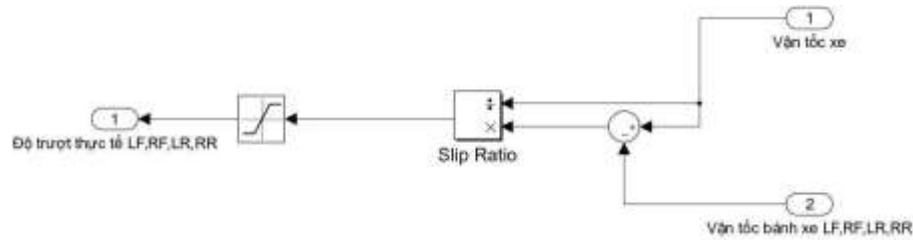
$$\lambda = \frac{vx - vb_x}{vx} \quad (4.13)$$

Trong đó:

vx : tốc độ xe (km/h)

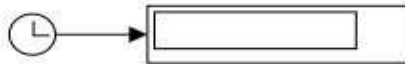
vb_x : tốc độ bánh xe (km/h)

Thiết lập trên Simulink ta được: [9]



Hình 4.39. Thiết lập khối tính toán độ trượt thực tế


Dùng khối Product thiết lập tử và mẫu còn khối Sum thiết lập dấu của hai tín hiệu kết hợp để tạo ra biểu thức tính độ trượt trên. Bên cạnh đó dùng khối Saturation để giới hạn trên dưới với mức từ (0 tới 1) để chống nhiễu cho hệ thống cũng như hạn chế hiện tượng mô phỏng vô cực khi hệ thống dừng. Sau khi tính toán độ trượt thực tế xong thì sẽ được đưa đến khối so sánh và tính toán sai số gửi đến bộ điều khiển chu trình được lặp lại liên tục như vậy đến khi hết thời gian thiết lập mô phỏng.



Hình 4.40. Khối thời gian thực mô phỏng trên Simulink

*Ngoài ra còn có tạo dựng khối Gain ở mức 1 và 0 để thiết lập công tắc ABS. 1 tương ứng với mở, 0 tương ứng với đóng. Dùng để mô phỏng phanh thường không có ABS. Khối này khi ở mức 0 tức sẽ ngắt toàn bộ tín hiệu từ độ trượt thực tế đến khối điều khiển làm cho hệ thống không hoạt động và phanh ở trạng thái bình thường tức không có ABS.

4.6.7. Thiết lập đồng hồ đo đồ thị mô phỏng trên Simulink

Đồng hồ đo Scope () để theo dõi và kiểm tra hệ thống từ đó nhận xét được các tín hiệu cũng như các trạng thái hoạt động của hệ thống để thuận tiện trong việc thiết kế cải thiện hệ thống. Ngoài ra còn có chức năng theo dõi để thiết lập các thông số PID, quãng đường phanh, vận tốc xe, vận tốc bốn bánh xe, lực phanh, gia tốc xe, độ trượt, phản lực, tỉ lệ phân bố, tín hiệu điều khiển. Và bên cạnh đó, vì các thông số đầu ra bên Carsim có đơn vị tính toán khác với kết quả mô phỏng mong muốn nên ta cần đổi đơn vị trước khi xuất kết quả mô phỏng ví dụ như đơn vị vận tốc 1 (km/h) = 3.6 (m/s), đơn vị gia tốc 1 (g) = 1/10 (m/s²).

Khối To Workspace trên Simulink để lưu các giá trị vào Workspace bên Matlab để thiết lập lệnh code vẽ đồ thị mục đích xuất ra kết quả đồ thị so sánh giữa các mô hình khác nhau.

- Ví dụ lệnh là:
- plot(out.name1)

- hold on
- plot(out.name2)
- ...

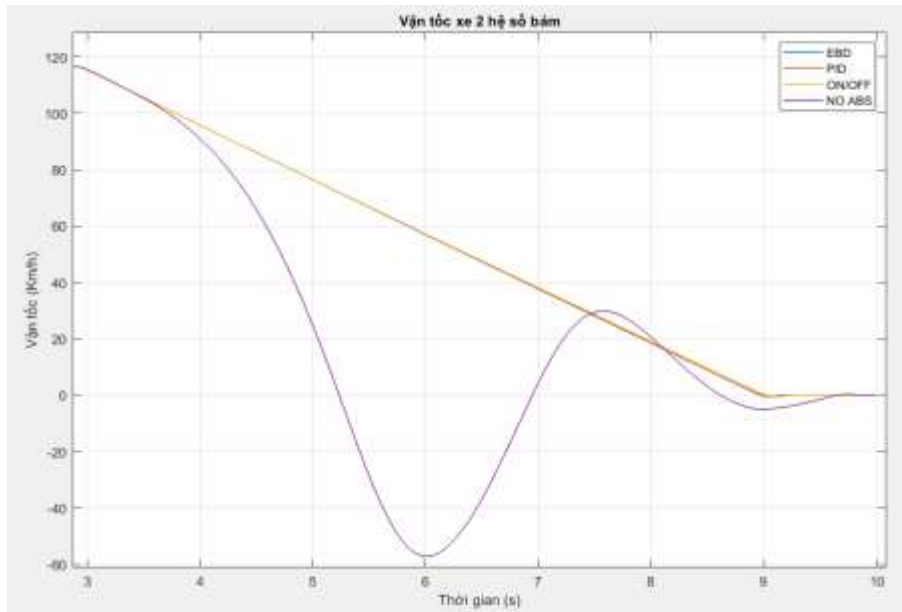
Lệnh hold on để giữ lại đồ thị đã vẽ trên cùng một khung tọa độ.

4.7. Kết quả và bàn luận

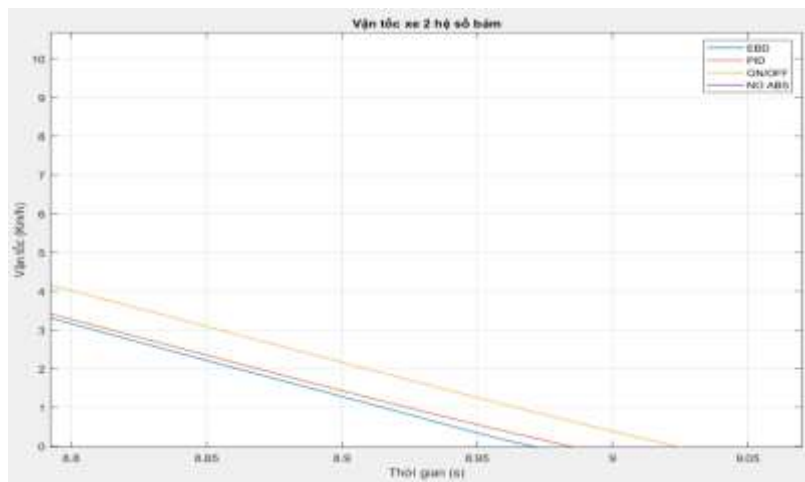
Sau khi thiết lập các trường hợp ở Carsim và kết hợp với mô phỏng trên Simulink thì chúng em đã thu được nhiều kết quả phản ánh rõ sự khác biệt giữa các phương pháp điều khiển và sự thay đổi các bánh xe trên các trường hợp. Thông qua các biểu đồ về vận tốc, độ trượt, áp suất phanh và quãng đường phanh thì chúng em có thể đánh giá mức độ hiệu quả, ổn định và an toàn của từng hệ thống trong các điều kiện vận hành cụ thể

4.7.1. Trường hợp 1 (trên đường thẳng có hai hệ số bám)

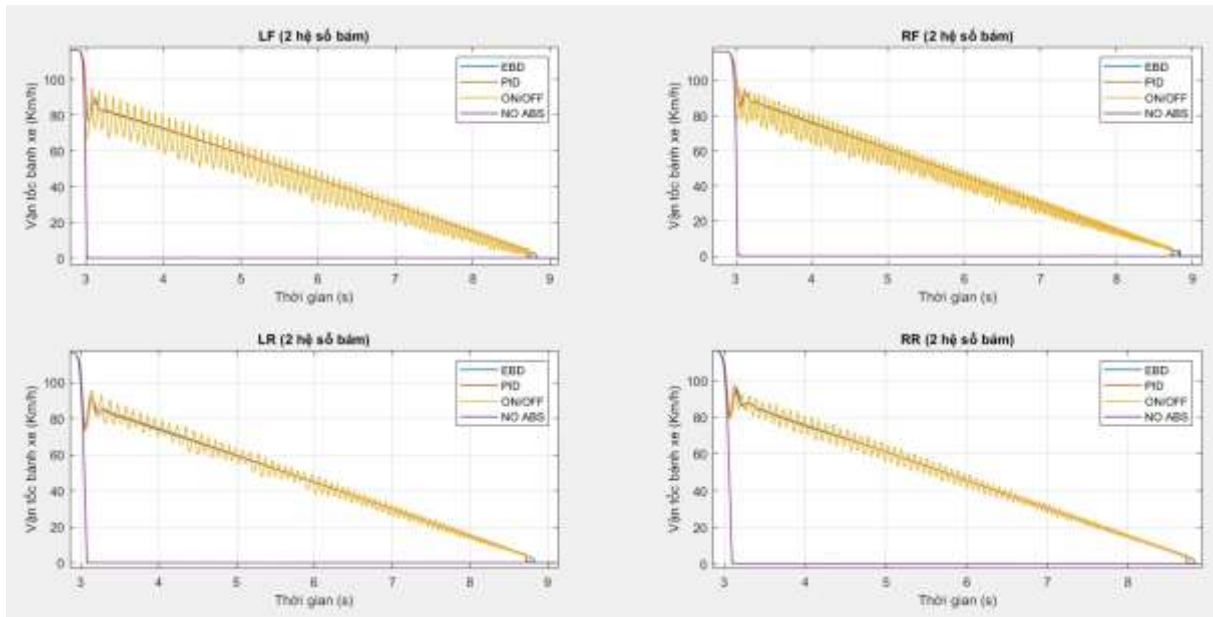
4.7.1.1. Đồ thị vận tốc



Hình 4.42. Đồ thị vận tốc của xe trên đường hai hệ số bám



Hình 4.43. Đồ thị vận tốc xe khi phóng to cho ba bộ điều khiển



Hình 4.44. Đồ thị vận tốc của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường hai hệ số bám

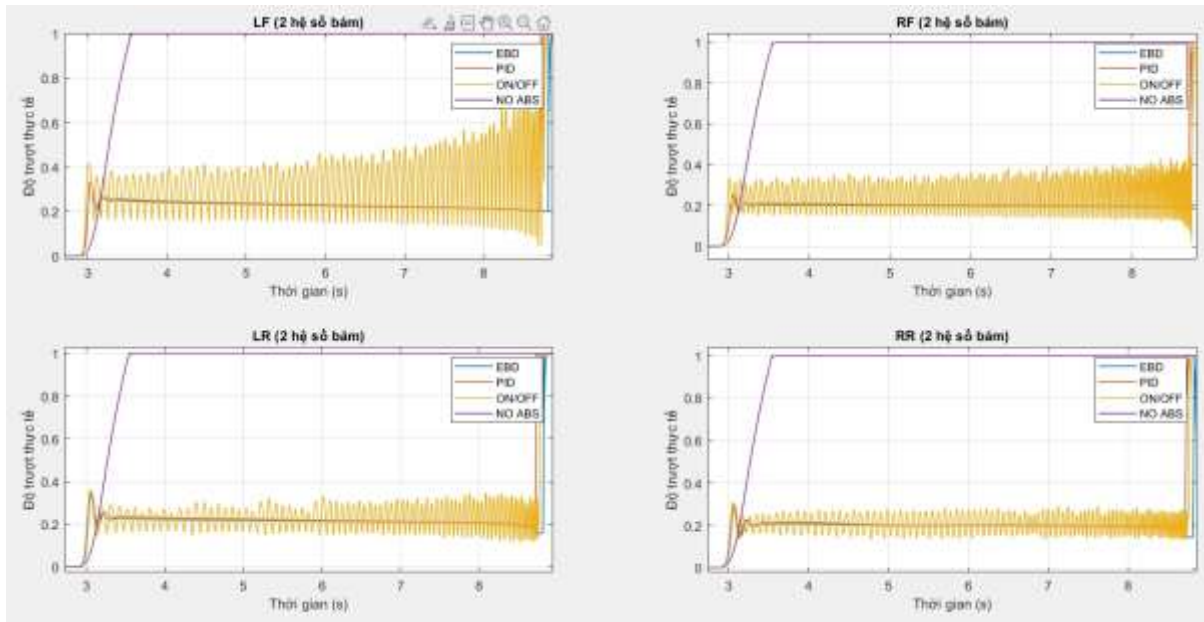
Xe không có ABS: Tại thời điểm đạp phanh (3 giây), do không có hệ thống chống bó cứng, các bánh xe lập tức bị khóa, khiến vận tốc giảm đột ngột về 0. Xe nhanh chóng mất khả năng điều khiển và đến khoảng 5–6 giây sau, xảy ra hiện tượng xoay vòng, thể hiện qua việc vận tốc xe chuyển sang giá trị âm – một dấu hiệu cho thấy xe đang bị trượt ngược và quay quanh trục.

Xe sử dụng bộ điều khiển ON–OFF: Ở thời điểm phanh, áp suất phanh tại bánh sau được điều chỉnh thấp hơn (chỉ 50% so với bánh trước), dẫn đến mômen phanh nhỏ hơn. Điều này giúp giảm nguy cơ mất ổn định ở phía sau. Trong biểu đồ vận tốc, điều này được thể hiện rõ khi các bánh sau có dao động nhỏ và ổn định hơn, trong khi bánh trước dao động mạnh hơn do hiệu ứng nhấp nhả đặc trưng của bộ điều khiển ON–OFF.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: Với điều khiển PID, vận tốc các bánh xe được giảm về 0 một cách đều đặn và gần như theo đường thẳng. Điều này cho thấy hệ thống điều khiển hoạt động mượt mà hơn, giữ cho xe ổn định trong quá trình phanh và giảm thiểu hiện tượng trượt bánh hoặc rung lắc như ở hệ thống ON–OFF.

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: Khi bắt đầu phanh, do lực quán tính và tải trọng dồn về phía trước, hệ thống EBD sẽ tự động tăng lực phanh ở cầu trước và giảm lực phanh ở cầu sau. Nhờ đó, bánh sau tránh được tình trạng trượt lết khi lực phanh vượt quá hệ số bám đường. So với hệ thống PID, EBD không có sự khác biệt lớn về biểu đồ vận tốc nhưng có khả năng phân phối lực phanh linh hoạt hơn tùy theo điều kiện tải trọng và bám đường thực tế.

4.7.1.2. Đồ thị độ trượt



Hình 4.15. Đồ thị độ trượt của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường hai hệ số bám

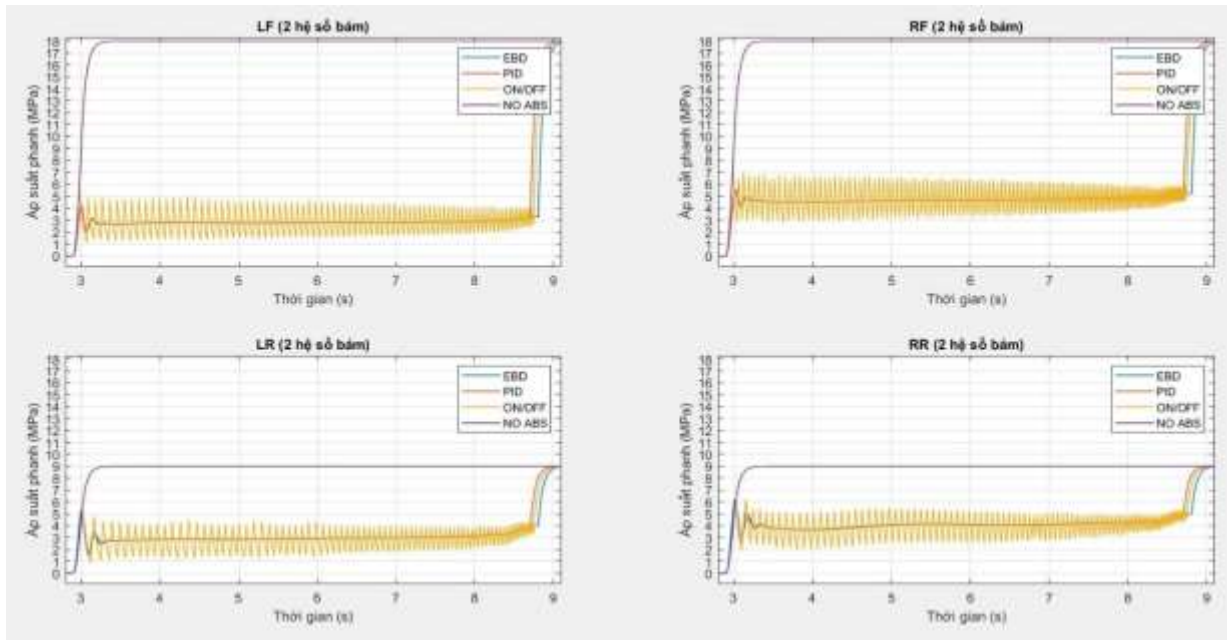
Xe không có ABS: Khi phanh tất cả các bánh xe lập tức bị bó cứng, làm độ trượt của xe tăng vọt lên 1 từ lúc phanh trong khoảng thời gian ngắn. Làm cho xe có hiện tượng trượt lết.

Xe sử dụng bộ điều khiển ON – OFF: Với áp suất phanh ở hai bánh trước được thiết kế lớn hơn so với hai bánh sau. Tín hiệu điều khiển được thiết lập có hai giá trị là “0” hoặc “1”, tương ứng với việc phanh với áp suất phanh nhỏ nhất (0%) hoặc áp suất phanh lớn nhất (100%). Do đó, việc kiểm soát độ trượt ở hai bánh trước trở nên khó khăn hơn so với hai bánh sau. Còn ở hai bánh sau biên độ được kiểm soát ổn định xung quanh độ trượt mong muốn 0.2. Đồng thời, vì hệ số bám ở hai bánh bên trái thấp hơn so với hai bánh bên phải, nên chúng dễ trượt hơn, đặc biệt với lực phanh nhỏ vẫn có thể tạo ra mô men phanh khiến bánh xe bị bó cứng. Vì thế biên độ dao động ở hai bánh bên trái lớn hơn so với hai bánh bên phải.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: đường biểu diễn độ trượt trên đồ thị thể hiện được sự ổn định do được kiểm soát độ trượt gần với độ trượt mong muốn của thiết lập ban đầu là 0.2.

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: Khi bắt đầu phanh tải trọng và lực quán tính dồn lên bánh xe trước, do đó khi so với PID giảm áp suất phanh trên các bánh sau thì đường như không có sự khác biệt quá nhiều.

4.7.1.3. Đồ thị áp suất phanh



Hình 4.46. Đồ thị áp suất phanh của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường hai hệ số bám

Xe không có ABS: Khi bắt đầu đạp phanh, áp suất phanh tối đa được truyền tới cả 4 bánh xe, gây ra tình trạng bánh xe bị bó cứng và trượt.

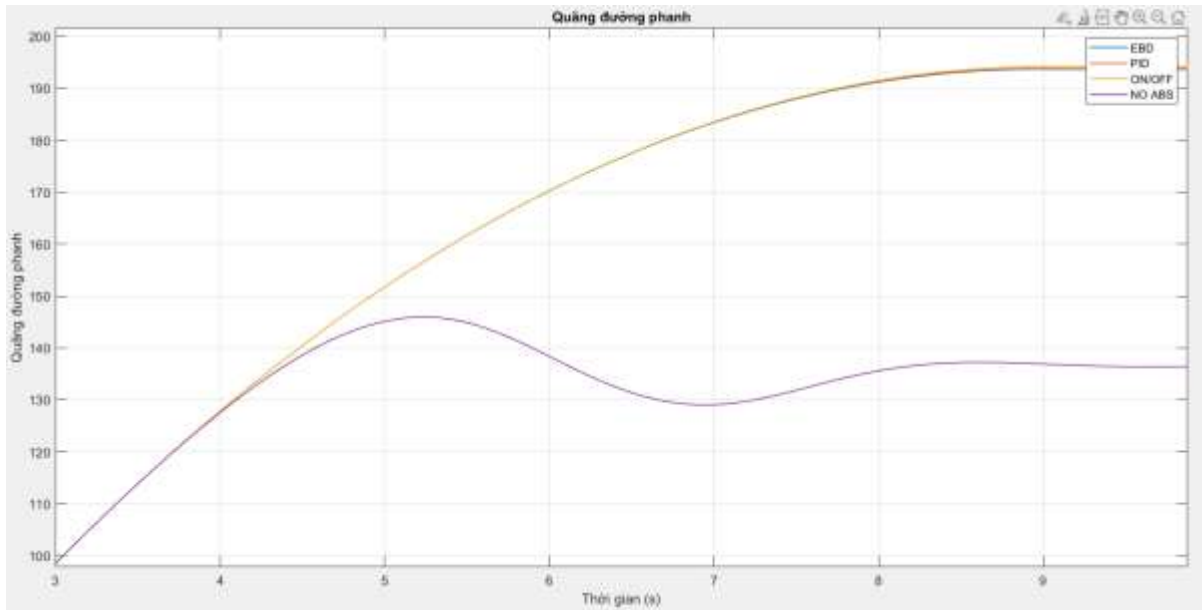
Xe sử dụng bộ điều khiển ON – OFF: để điều khiển áp suất phanh một cách liên tục, giúp bánh xe tránh khỏi tình trạng bó cứng. Khi phanh trên đường thẳng, tải trọng tập trung nhiều ở cầu trước và ít hơn ở cầu sau, gây ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu quả phanh của từng cặp bánh xe. Vì vậy cơ cấu phanh được thiết kế sao cho momen phanh của hai bánh sau nhỏ hơn, nhằm đạt hiệu quả phanh tốt nhất. Áp suất từ xi lanh chính lên cặp bánh sau cũng chỉ được điều chỉnh bằng 50%, làm cho các bánh sau trở nên khó bị bó cứng hơn. Cụ thể, bánh sau bên phải (RR) rất khó bị bó cứng do hệ số bám cao hơn, và áp suất phanh của bánh sau bên phải (RR) có nhịp độ thừa thớt hơn so với các bánh khác. Ở các bánh bên trái, áp suất phanh thấp hơn so với bên phải vì hệ số bám thấp hơn, làm cho chúng dễ trượt hơn.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: từ đồ thị có thể thấy rằng các bánh bên trái có áp suất phanh thấp hơn. Điều này là do mặt đường bên trái có hệ số bám thấp hơn, làm cho khả năng bánh xe bị trượt lớn hơn. Nên áp suất phanh quá mạnh thì làm bánh xe có nguy cơ bị bó cứng, dễ gây ra các vấn đề an toàn khi lái xe.

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: trong khi phanh, tải trọng được phân bố tập trung lên cầu trước. Điều này làm cho sự thay đổi ở hai bánh trước so với xe sử dụng bộ điều khiển PID không đáng kể. Nhưng ở hai bánh xe cầu sau, áp suất không phải là 50% so với bánh xe cầu trước mà được tính toán và phân bố hợp lý dựa trên phản lực pháp tuyến,

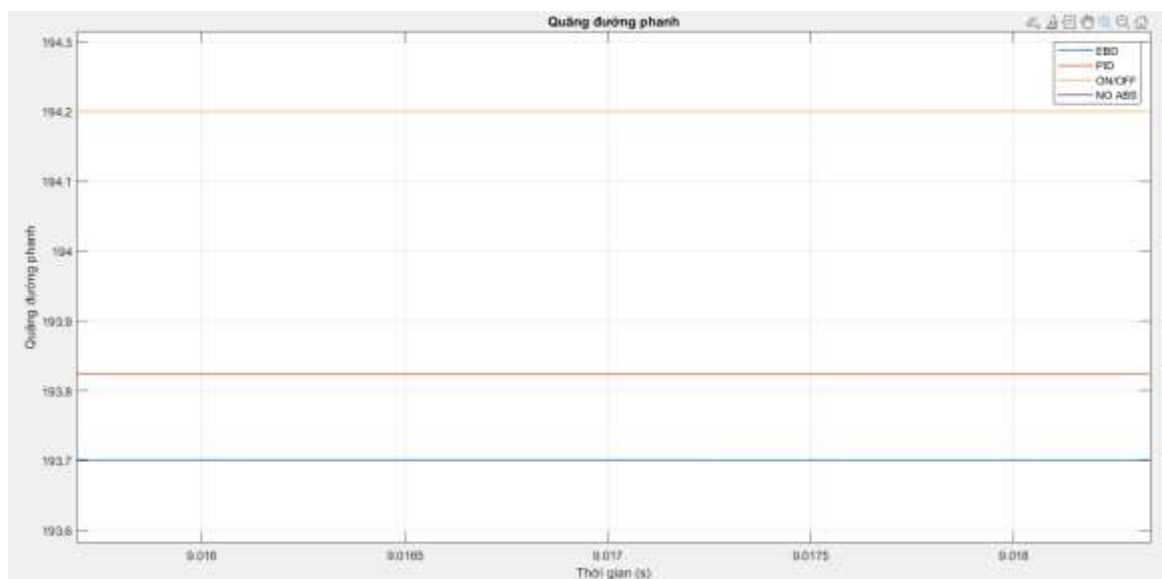
tức là tải trọng tác dụng lên từng bánh xe. Do đó, áp suất phanh tại các bánh sau có thể dao động mạnh ở giai đoạn đầu, nhưng hệ thống vẫn kiểm soát tốt áp suất sau đó, giữ cho hệ thống phanh luôn ổn định và đạt hiệu quả cao.

4.7.1.4. Đồ thị quãng đường phanh



Hình 4.47. Đồ thị quãng đường phanh trên đường hai hệ số bám

Từ những đường biểu diễn có thể thấy rằng quãng đường phanh được thay đổi giảm dần tương ứng với các bộ điều khiển ON – OFF, PID, EBD với hệ thống EBD có quãng đường phanh ngắn nhất là 93.7m. Riêng đồ thị của NOABS, là một đồ thị hình đường giống như đường sin bởi vì xe đã xảy ra hiện tượng xoay vòng.



Hình 4.48. Đồ thị quãng đường phanh trên đường hai hệ số bám (phóng to)

4.7.1.5. Nhận xét

Trong trường hợp đường thẳng hai hệ số bám khác nhau, hệ thống EBD vẫn đạt được hiệu quả tốt nhất ứng với quãng đường phanh và thời gian phanh là ngắn nhất. Mặc dù sự khác biệt có thể không quá rõ ràng so với xe điều khiển bằng PID, nhưng vẫn đảm bảo hiệu suất phanh tối ưu.

So với xe trang bị bộ điều khiển ON – OFF, hệ thống EBD cung cấp một sự điều chỉnh linh hoạt hơn trong phân phối áp suất phanh, tùy chỉnh áp suất đến từng bánh xe dựa trên hệ số bám và tải trọng tác dụng. Điều này giúp hệ thống EBD đạt được hiệu quả phanh tốt hơn trên mặt đường có độ bám khác nhau.

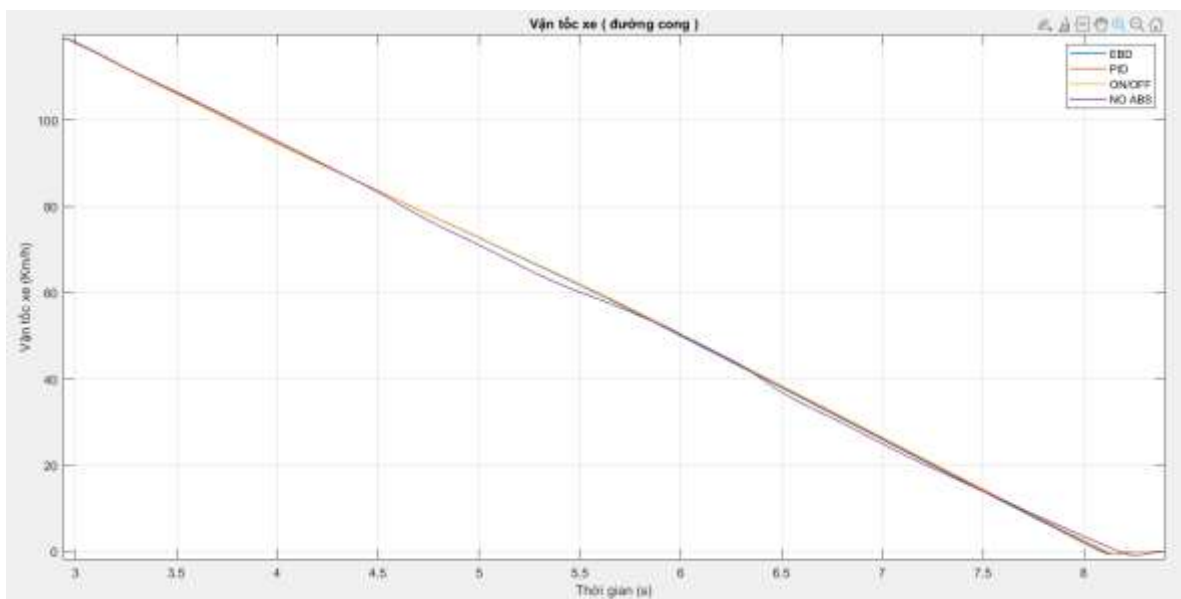
Còn với xe không trang bị hệ thống ABS, cả hai hệ thống EBD và PID đều cung cấp một cải tiến lớn về hiệu suất phanh. Tuy nhiên, trong trường hợp đặc biệt của đường thẳng có hai hệ số bám khác nhau, hệ thống EBD có thể tỏ ra hiệu quả hơn nhờ vào khả năng điều chỉnh linh hoạt trong phân phối áp suất phanh.

Bảng 4.1. Đánh giá kết quả phanh trên đường hai hệ số bám

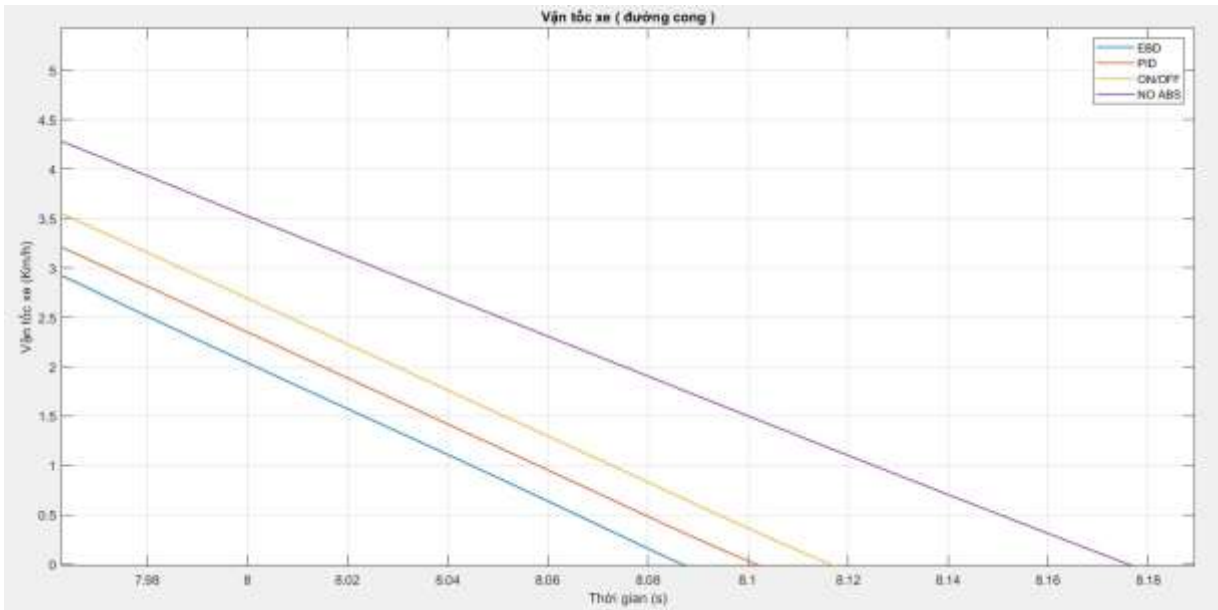
	No ABS	ON – OFF	PID	EBD
Thời gian phanh (s)	6.9	6.025	5.58	5.55
Quãng đường phanh (m)	Xoay vòng	94.2	93.82	93.7

4.7.2. Trường hợp 2 (phanh trên đoạn đường cong)

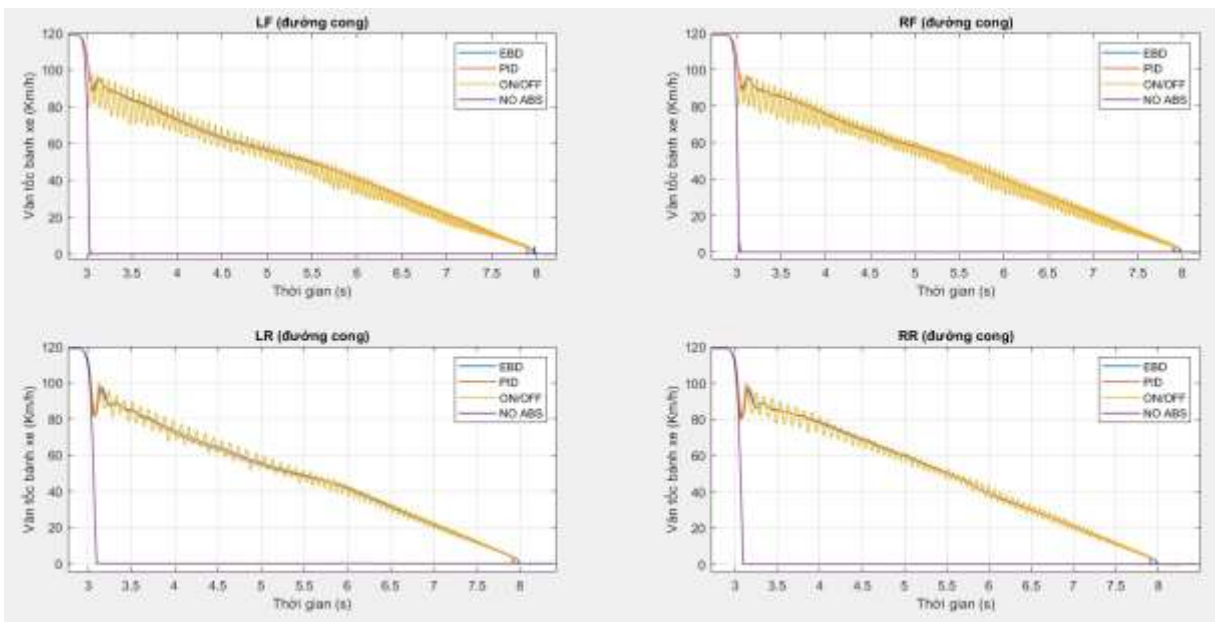
4.7.2.1. Đồ thị vận tốc



Hình 4.49. Đồ thị vận tốc của xe phanh trên đường cong



Hình 4.50. Đồ thị vận tốc xe phanh trên đường cong (phóng to)



Hình 4.51. Đồ thị vận tốc của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường cong

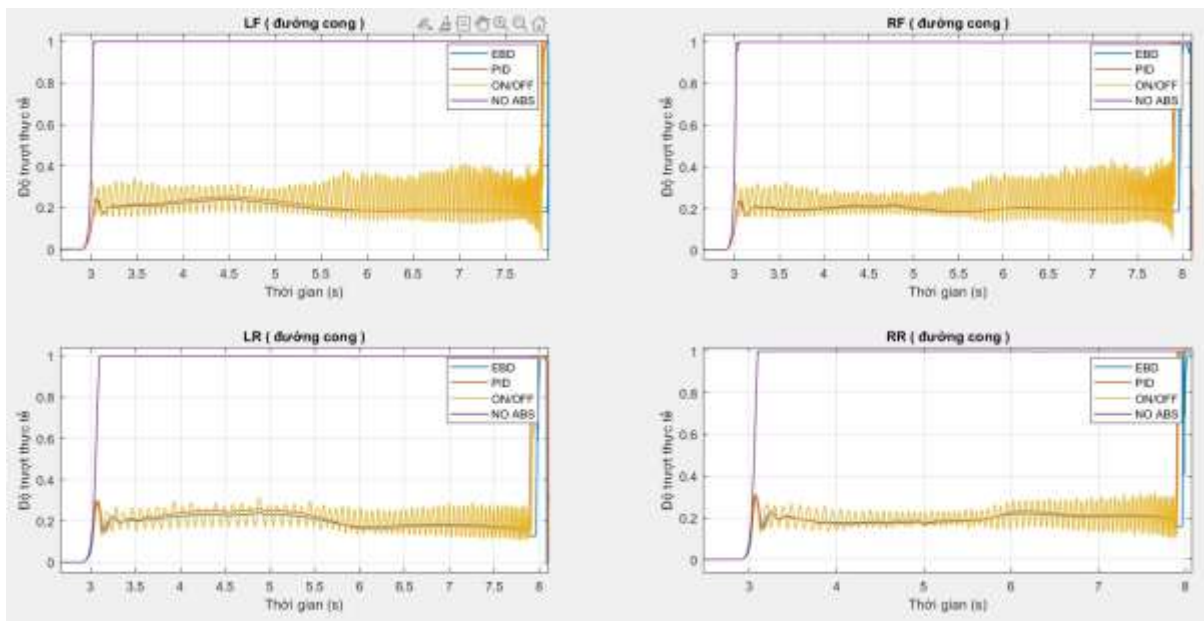
Xe không có ABS: khi xe bắt đầu vào cua và đạp phanh, các bánh xe đều bị bó cứng ngay lập tức, dẫn đến việc vận tốc giảm mạnh xuống 0. Sự khác biệt trong tốc độ giảm của bánh xe sau so với bánh xe trước xuất phát từ việc phân bố áp suất phanh từ xi lanh chính đến xi lanh con của các bánh xe sau ít hơn so với các bánh xe trước.

Xe sử dụng bộ điều khiển ON – OFF: Vì thiết kế momen phanh của các bánh xe cầu sau nhỏ hơn và áp suất phanh đến các bánh sau chỉ bằng một nửa so với các bánh xe cầu trước, đồ thị vận tốc của các bánh xe trước có biên độ dao động nhiều hơn so với các bánh sau. Tuy nhiên với bộ điều khiển nhấp nhả theo tín hiệu “0” “1” của bộ điều khiển vẫn duy trì ổn định và đáp ứng yêu cầu, giúp xe giảm tốc vào cua mà không gặp phải tình trạng bó cứng.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: không có quá nhiều biến động như trong hệ thống ON – OFF. PID là một bộ điều khiển có tính ổn định cao, nhờ vào việc tính toán các sai số hiện tại, sai số tương lai, và sai số trong quá trình điều chỉnh hoạt động của hệ thống. Nhờ vào tính ổn định của hệ thống luôn được kiểm soát trong phạm vi an toàn. Vận tốc của các bánh xe được điều chỉnh giảm dần và đều đặn, tương tự như đồ thị vận tốc của xe chạy. Điều này cho thấy tính hiệu quả của bộ điều khiển PID trong việc duy trì sự ổn định và kiểm soát của hệ thống phanh trên xe.

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: nhờ vào khả năng phân phối áp suất phanh đến từng bánh xe một cách thông minh, vận tốc ở cả bốn bánh xe được giảm một cách đồng đều và tương đối giống nhau. Điều này giúp cho việc giảm tốc độ của xe diễn ra một cách ổn định và nhanh chóng hơn. Khi các bánh xe được kiểm soát với mức áp suất phanh tương đối đồng đều, xe có thể duy trì sự ổn định và an toàn trong quá trình phanh, giúp người lái có thể kiểm soát được xe một cách dễ dàng hơn.

4.7.2.2. Đồ thị độ trượt



Hình 4.52. Đồ thị độ trượt của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường cong

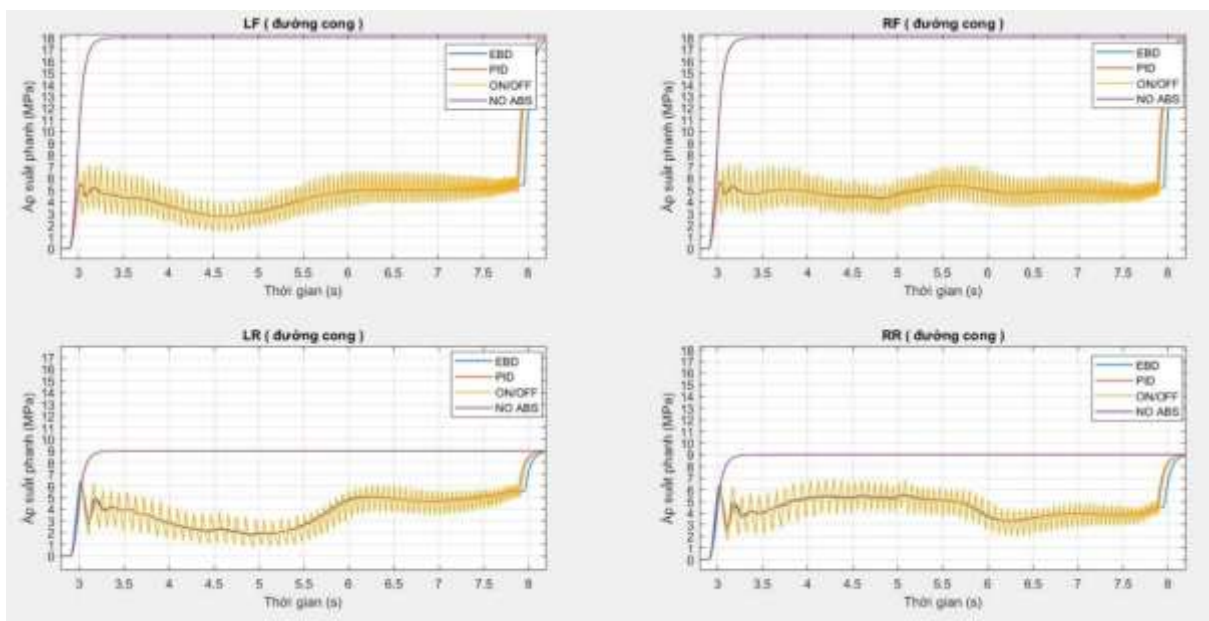
Xe không có ABS: trong quá trình phanh vào cua các bánh xe ngay tức khắc bị bó cứng, độ trượt tăng vọt lên 1 trong hết quá trình phanh.

Xe sử dụng bộ điều khiển ON – OFF: độ trượt của hai bánh xe trước có biên độ dao động dày đặc hơn do sự chênh lệch momen phanh giữa các cặp bánh xe cầu trước và cầu sau. Trong khi đó, ở hai bánh sau biên độ được kiểm soát được ổn định xung quanh độ trượt mong muốn là 0.2. Điều này cho thấy sự khác biệt trong kiểm soát và ổn định giữa các bánh xe trên xe được điều khiển bằng ON – OFF giúp xe không bị trượt khi không có ABS.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: khi xe chạy ở tốc độ cao rồi đột ngột đạp phanh và ôm cua, tải trọng lên các bánh xe thay đổi đột ngột, làm cho độ trượt của bộ điều khiển PID vượt quá giá trị mong muốn. Tuy nhiên, điều này không ảnh hưởng quá nhiều đến hiệu quả phanh vì sau sự vượt quá bộ điều khiển PID đã điều chỉnh cho độ trượt gần về mức độ trượt mong muốn. Điều này cho thấy tính linh hoạt của bộ điều khiển trong việc điều chỉnh và duy trì kiểm soát trên các bánh xe trong tình huống khó khăn.

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: đã hạn chế một ít tình trạng vượt quá không đáng có ở bộ điều khiển PID. Độ trượt của các bánh xe được kiểm soát ổn định, mặc dù không đạt được giá trị mong muốn nhưng vẫn mang lại hiệu quả phanh tương đối tốt.

4.7.2.3. Đồ thị áp suất phanh



Hình 4.53. Đồ thị áp suất phanh của các bánh xe LF - RF - LR - RR trên đường cong

Xe không có ABS: tại thời điểm giây thứ 3 bắt đầu đạp phanh, áp suất tối đa được truyền tới 4 bánh xe làm cho bánh xe bị bó cứng dẫn đến tình trạng trượt lết.

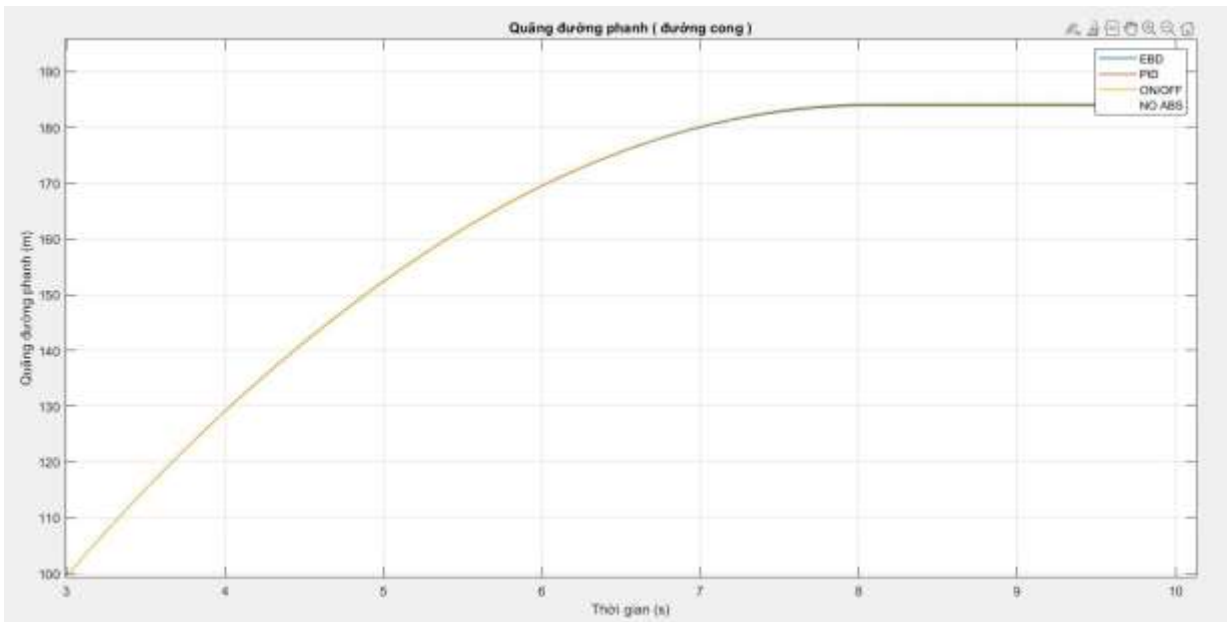
Xe sử dụng bộ điều khiển ON – OFF: áp suất phanh vẫn được điều chỉnh tăng giảm để tránh tình trạng bánh xe bị bó cứng. Tuy nhiên, với thiết kế về momen phanh và áp suất phanh của cầu sau nhỏ hơn với bánh xe cầu trước vì thế các bánh trước thường hoạt động với tần số và biên độ lớn hơn so với các bánh sau.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: áp suất được điều khiển ổn định dựa trên độ trượt của bánh xe, và do sự chênh lệch tải trọng khi cua nên có sự dao động nhẹ trong giai đoạn đầu. Và vì bánh xe RR chịu lực tương đối lớn vì khi ôm cua tải trọng được phân bố theo thứ tự $RF > RR > LF > LR$, vì thế mặc dù đã gửi tín hiệu để phanh với áp suất phanh cao ở giai đoạn đầu vẫn không đủ để xảy ra hiện tượng bó cứng cho đến khi tải trọng lên bánh xe giảm xuống thì áp suất phanh cũng giảm lại.

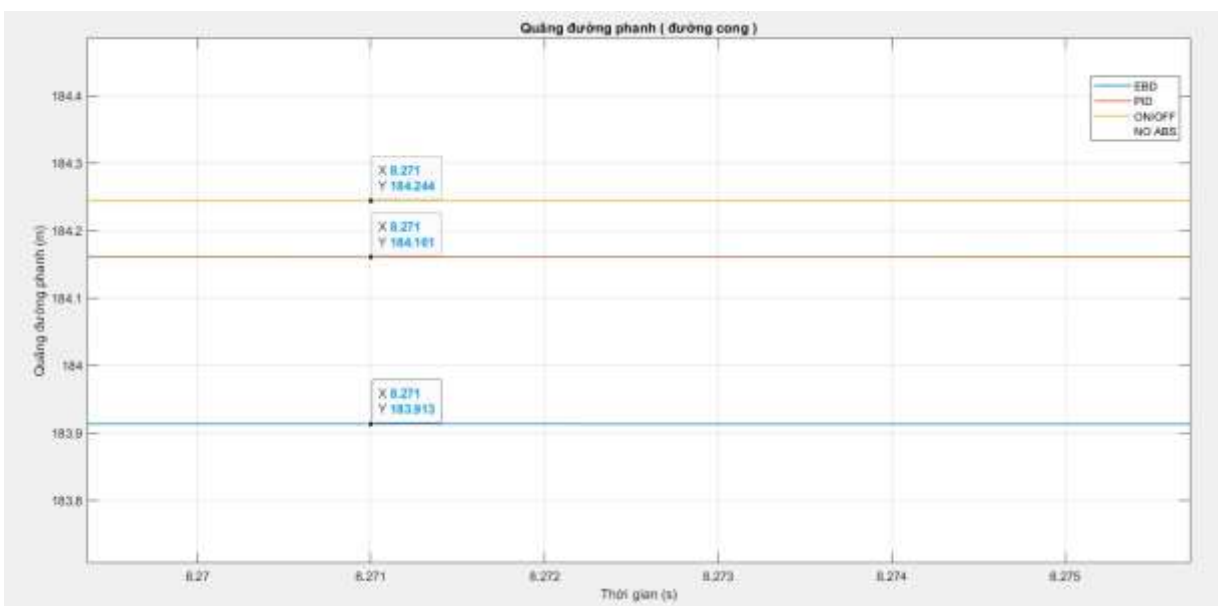
Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: trong trường hợp đường thẳng, sự xuất hiện của EBD thường không đáng kể. Tuy nhiên ở trường hợp đường cong, EBD tạo ra các đồ thị hoàn toàn khác bằng chính áp suất phanh khác nhau tác động lên từng bánh xe dựa trên sự phân bố tải trọng. Điều này giúp tối ưu hóa hiệu quả phanh, đảm bảo rằng mỗi bánh xe được phanh với mức độ phù hợp, từ đó cải thiện sự ổn định và kiểm soát của xe trong các tình huống lái xe trên đường cong.

4.7.2.4. Đồ thị quãng đường phanh



Hình 4.54. Đồ thị quãng đường phanh trên đường cong



Hình 4.55. Đồ thị quãng đường phanh trên đường cong (phóng to)

Từ hình 4.54 và 4.55 ta có thể thấy rằng quãng đường phanh của xe EBD là ngắn nhất, tiếp theo là xe sử dụng bộ điều khiển PID, sau đó là bộ điều khiển ON – OFF. Còn

với xe không có hệ thống ABS đã bị trượt ra khỏi đường cua. Điều này cho thấy ưu điểm của các hệ thống phanh hiện đại trong việc cải thiện hiệu suất phanh và giảm quãng đường dừng của xe so với các hệ thống phanh truyền thống.

4.7.2.5. Nhận xét

Trong trường hợp phanh và ôm cua trên đoạn đường cong, hiệu quả của hệ thống phanh EBD trở nên rõ ràng. EBD không chỉ giúp xe đạt được quãng đường và thời gian phanh ngắn nhất mà còn kiểm soát được sự ổn định của xe. Bằng cách điều chỉnh áp suất phanh đến từng bánh xe theo mức độ tải trọng và sự chuyển động của xe.

Tuy nhiên theo đồ thị chúng ta cũng có thể thấy bộ điều khiển PID cũng cho hiệu quả tốt đó là nhờ vào việc điều chỉnh các hệ số K_P , K_I , K_D từ những điều chỉnh cho bộ điều khiển tốt hơn so với các hệ số cũ.

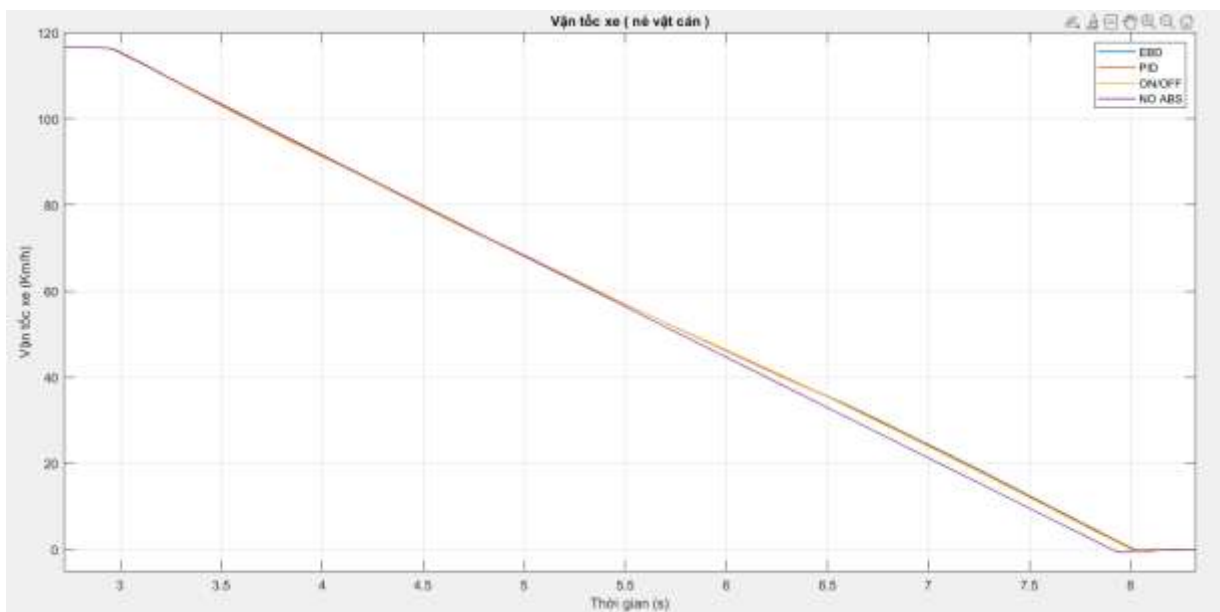
Như vậy hệ thống EBD và PID không chỉ tối ưu hóa hiệu suất phanh mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn và ổn định của xe.

Bảng 4.2. Đánh giá kết quả phanh trên đoạn đường cong

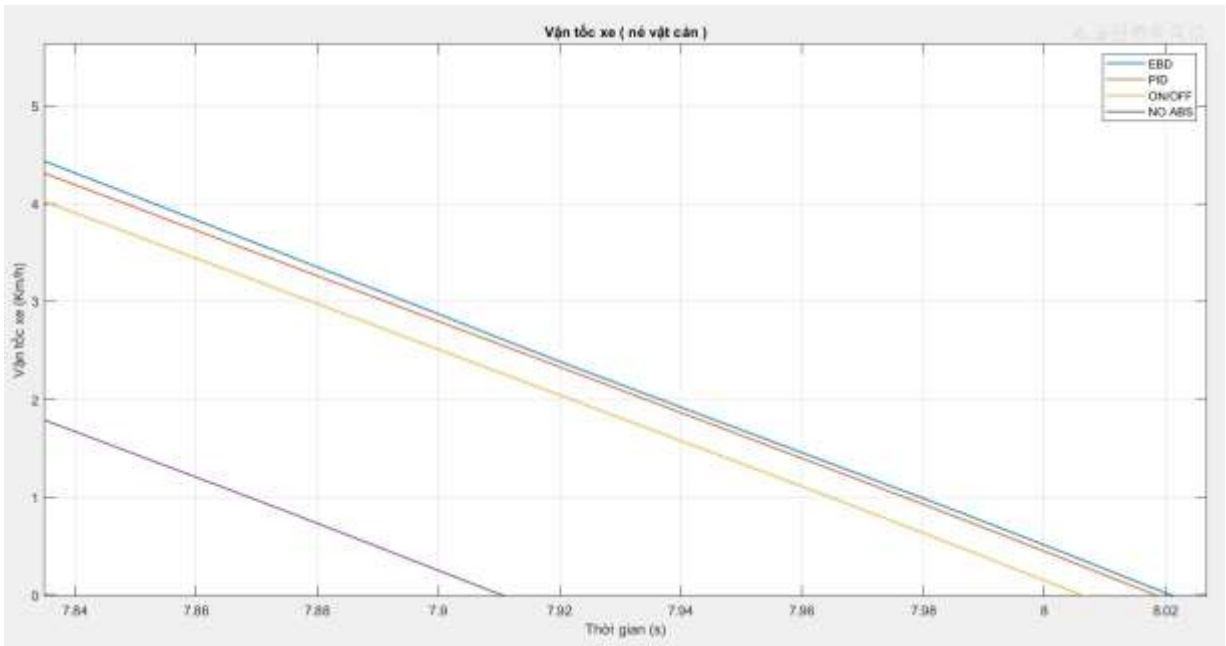
	NOABS	ON – OFF	PID	EBD
Thời gian phanh (s)	Bị văng ra khỏi đường	5.119	5.105	5.09
Quãng đường phanh (m)	Bị văng ra khỏi đường	84.243	84.16	83.914

4.7.3. Trường hợp 3 (phanh né vật cản)

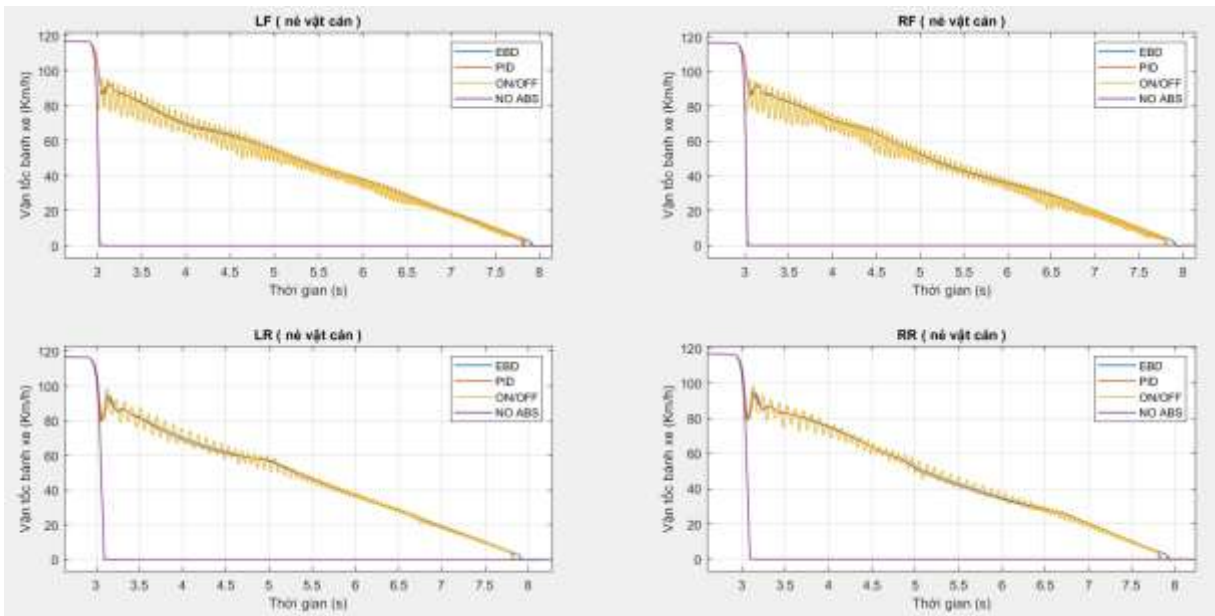
4.7.3.1. Đồ thị vận tốc



Hình 4.56. Đồ thị vận tốc xe phanh và né vật cản



Hình 4.57. Đồ thị vận tốc xe phanh và né vật cản (phóng to)



Hình 4.58. Đồ thị vận tốc của các bánh xe LF - RF - LR - RR phanh né vật cản

Xe đang chạy với tốc độ 120 km/h thì phát hiện vật cản và đạp phanh cách vật cản khoảng 50m sau đó bắt đầu đánh lái sang trái tại thời điểm cách vật cản 25m và trả lái thẳng xong lại đánh lái sang phải để về lại quỹ đạo thẳng khi vừa qua vật cản.

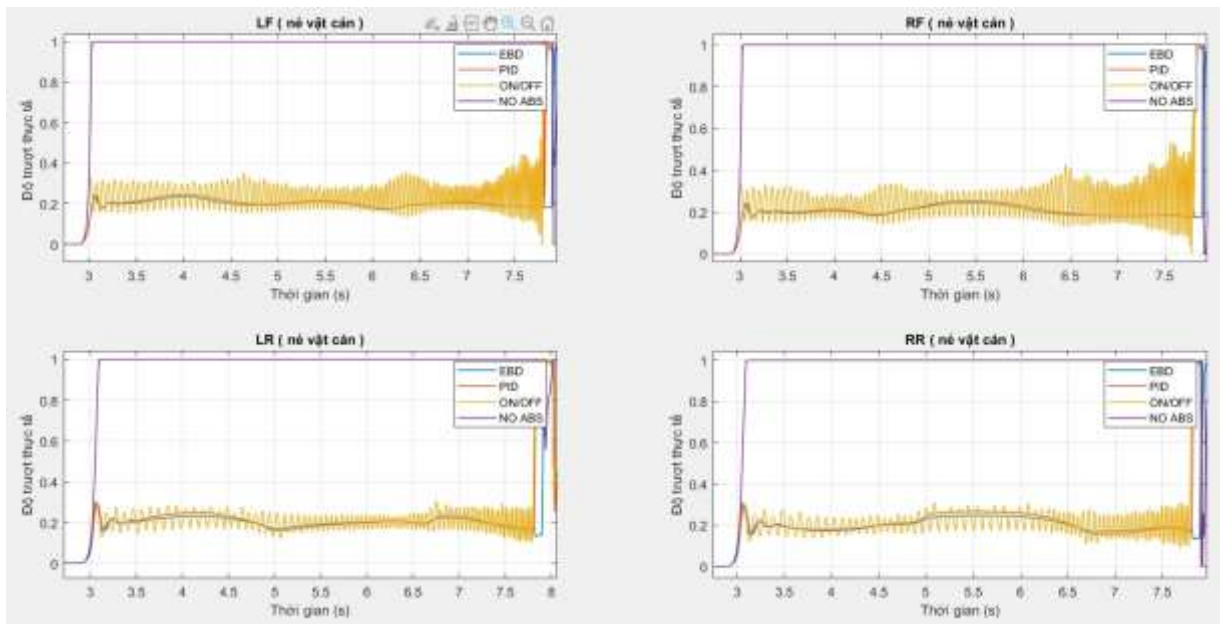
Xe không có ABS: Khi tài xế bắt đầu phanh thì các bánh xe liền bị bó cứng và vận tốc của các bánh xe giảm mạnh về 0. Lúc này bánh xe bị trượt thẳng theo lực quán tính do đó xe bị mất kiểm soát. Vì vậy khi tài xế đánh lái, xe không thể chuyển hướng khi độ bám không còn và gây tai nạn. Sự suy giảm của hai bánh sau chậm hơn hai bánh trước là do áp suất phanh phân bố đến hai bánh sau là 50% so với hai bánh trước.

Xe sử dụng bộ điều khiển ON/OFF: Khi xe đánh lái sang trái để né vật cản thì lập tức phản lực tác dụng lên các bánh bên phải lớn hơn do lực quán tính ly tâm tác dụng. Và khi đánh lái về bên phải để về đúng quỹ đạo cũng vậy. Lúc này bánh xe nào có phản lực lớn, vận tốc bánh xe sẽ dao động lớn tương ứng và nhanh hơn để vận tốc bánh xe về 0 nhanh nhất có thể mà không bị trượt. Vì khi phản lực pháp tuyến lớn, lực phanh sinh ra lớn nên bánh có phản lực pháp tuyến lớn dễ bị trượt hơn. Nên bộ điều khiển sẽ hoạt động nhiều hơn với dao động lớn hơn. Để bánh xe không kịp bị bó cứng làm mất kiểm soát xe. Do tần suất điều khiển cao và nhiều nên vận tốc bánh xe sẽ chuyển hướng tác dụng chậm hơn so với PID và EBD.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: Áp suất phanh được điều chỉnh dựa trên sự điều khiển sai số ở mức ổn định bằng việc điều chỉnh các thông số điều khiển P, I, D nên vận tốc bánh xe sẽ dao động ít ở đoạn bắt đầu và giảm đều một cách ổn định hơn. Khi phanh và đánh lái xe ổn định và chuyển hướng mượt hơn.

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: Đồ thị vận tốc các bánh xe không có nhiều sự khác biệt so với PID nhưng nhờ có EBD nên áp suất phanh được phân bổ kịp thời đến các bánh xe hợp lý nên vận tốc bánh xe giảm về không gần với đường thẳng hơn PID một ít.

4.7.3.2. Đồ thị độ trượt



Hình 4.59. Đồ thị độ trượt thực tế của các bánh xe LF - RF - LR - RR phanh né vật cản

Xe không có ABS (NO ABS): Khi tài xế bắt đầu đạp phanh, độ trượt tăng vọt lên tối đa là 1 chứng tỏ 4 bánh xe đều bị bó cứng và trượt.

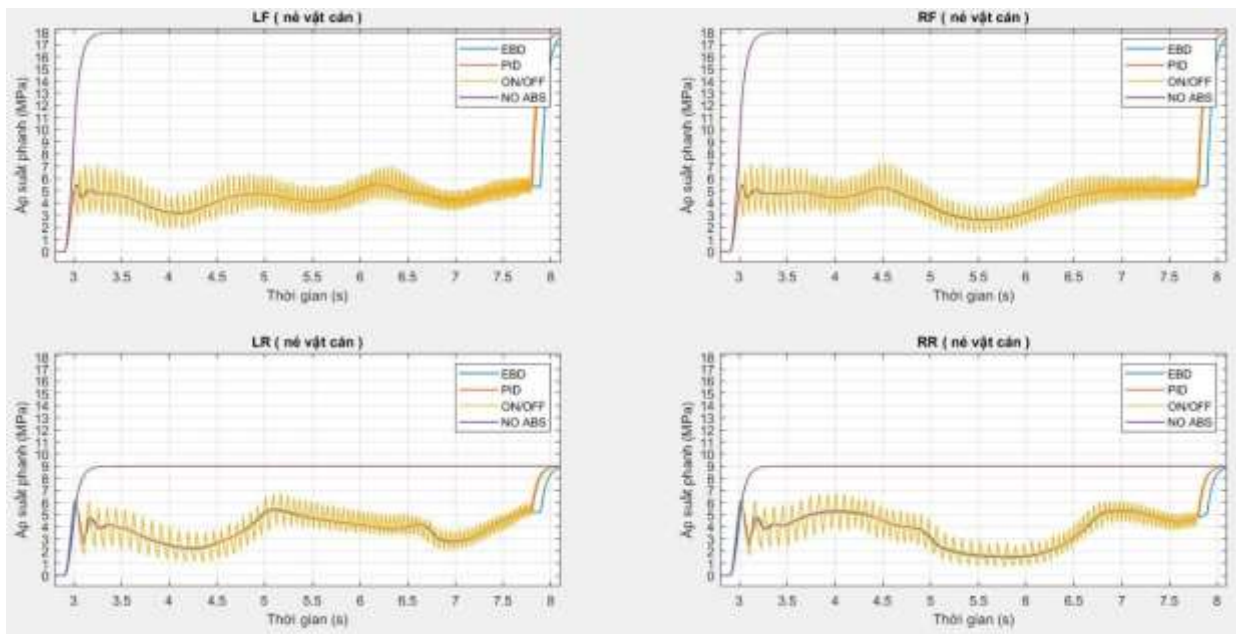
Xe sử dụng bộ điều khiển ON/OFF: Độ trượt của hai bánh xe trước có biên độ lớn hơn do lực phanh bánh trước lớn hơn. Độ trượt ở hai bánh sau lại được kiểm soát ổn

định hơn so với hai bánh trước trong độ trượt mong muốn là 0.2. Vào các thời điểm đánh lái thì bánh bên ngoài sẽ có phản lực lớn hơn bánh bên trong nên các bánh có phản lực lớn này sẽ có biên độ trượt lớn hơn và hoạt động dày đặc hơn. Càng về sau bộ điều khiển hoạt động dày hơn do lúc này vận tốc bánh xe và vận tốc xe rất nhỏ cũng như thay đổi gần về bằng 0 rất nhanh và kết hợp với gia tốc phanh cuối quá trình là lớn nhất tức độ thay đổi vận tốc lớn nên độ trượt có biên độ cao hơn.

Xe sử dụng bộ điều khiển PID: Mặc dù có sự thay đổi về lực bám nhưng bộ điều khiển PID vẫn kiểm soát tốt quanh vùng 0.2 với độ vọt lố thấp do thiết kế thông số P, I, D ổn. Và độ trượt thay đổi một cách mượt mà, êm ái hơn. Giúp xe né vật cản ổn định hơn.

Xe sử dụng bộ điều khiển EBD: Bộ điều khiển làm tốt nhiệm vụ phân bố áp suất phanh và điều khiển độ trượt xe trong phạm vi mong muốn nhưng lại không có quá nhiều sự khác biệt so với PID, như ta thấy vào những khúc trả lái gấp. Thì độ trượt của EBD thấp hơn và sát với 0.2 hơn PID nên EBD có phần nhỉnh hơn về độ ổn định.

4.7.3.3. Đồ thị áp suất phanh

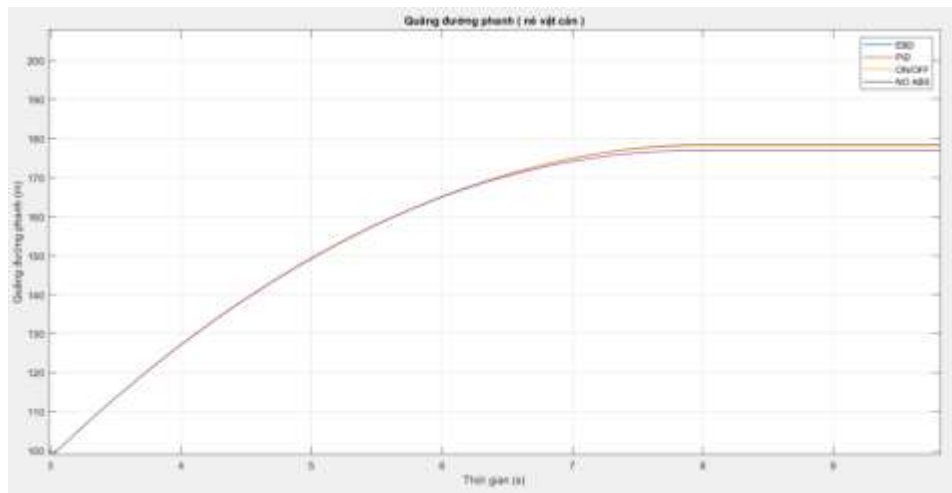


Hình 4.60. Đồ thị áp suất phanh của các bánh xe LF - RF - LR - RR phanh né vật cản

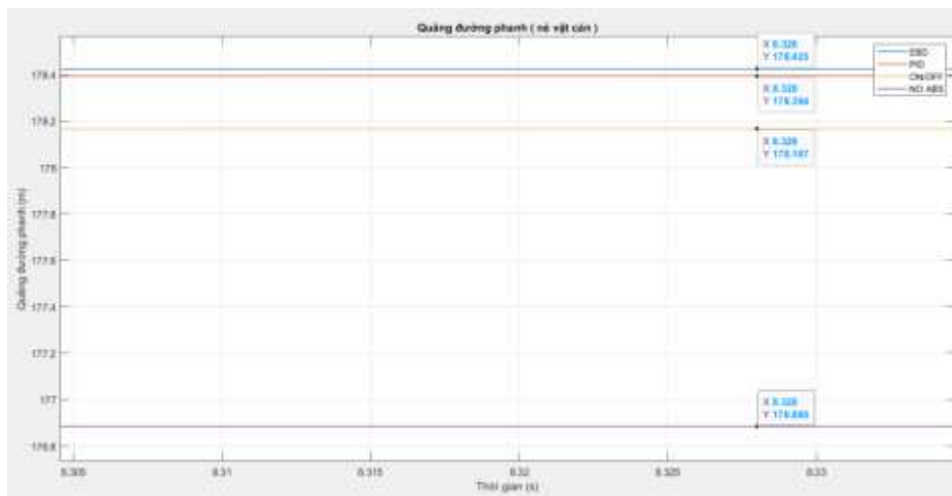
Khi xe đánh lái sang trái để né vật cản, do các bánh phía trước có lực bám cao nên áp suất phanh cao và ổn định hơn khi đánh lái còn bánh sau do lực bám thấp kết hợp với tác dụng của lực ngang sinh ra khi đánh lái làm cho bánh sau có sự thay đổi áp suất lớn hơn. Trường hợp này gọi là trường hợp bị vẩy đuôi khi đánh lái gấp. Nên áp suất phanh sinh ra sẽ tương ứng với lực bám của xe để xe dừng lại nhanh nhất mà không bị trượt cũng như bánh xe không bị khóa cứng để có thể đánh lái điều khiển theo mình mong muốn.

Xe không có ABS thì áp suất phanh lập tức được tăng cường đến cực đại, khi có bộ điều khiển kết hợp áp suất phanh bị giới hạn ở mức tương ứng lực bám. Theo đồ thị, khối ON/OFF điều khiển áp suất phanh theo độ trễ của hệ thống thủy lực, khi đạt ngưỡng độ trượt áp suất phanh các van mới bắt đầu đóng mở theo đó độ trễ của thủy lực sẽ tạo ra 1 biên độ trên dưới và cũng sẽ thay đổi theo lực bám từng bánh xe. Với PID và EBD điều khiển duy trì áp suất 1 cách êm ái, mượt mà hơn. Nhưng lại không có quá nhiều khác biệt lớn như ta thấy trên đồ thị áp suất thì áp suất phanh của EBD có phần điều chỉnh hơn 1 xíu để xe ổn định tối ưu hơn.

4.7.3.4. Đồ thị quãng đường phanh



Hình 4.61. Đồ thị quãng đường phanh né vật cản



Hình 4.62. Đồ thị quãng đường phanh né vật cản (phóng to)

Quãng đường phanh của 3 bộ điều khiển là không đáng kể khác biệt lớn ở tính ổn định khi phanh và đánh lái né vật cản trên đường. Nhưng như ta thấy quãng đường của EBD, PID, ON/OFF, NO ABS giảm dần là do khi đánh lái thì sẽ có sự điều khiển tốt giúp chuyển hướng mượt hơn đến vị trí mong muốn vì góc đánh lái là giống nhau

giữa 3 bộ điều khiển nhưng xe có bộ điều khiển tốt giúp chuyển hướng xa vật cản hơn tránh va quệt vào vật cản nên quãng đường xe sẽ xa hơn 1 ít (không đáng kể) do quá trình chuyển hướng tối ưu. Không có ABS, thì xe bị trượt thẳng và không thể chuyển hướng lập tức đâm thẳng vào vật cản. Nên quãng đường ngắn hơn do không có tính quá trình chuyển hướng.

4.7.3.5. Nhận xét

Bảng 4.3. Đánh giá kết quả phanh trường hợp né vật cản

	NO ABS	ON/OFF	PID	EBD
Thời gian phanh (s)	4.91	5.01	5.019	5.02
Quãng đường phanh (m)	76.8	78.1	78.3	78.4

KẾT LUẬN

1. Kết luận

Sau quá trình nghiên cứu và thực hiện đề tài “Nghiên cứu mô phỏng hệ thống phanh ABS dựa trên cơ sở xe Hyundai Creta 2024”, chúng em đã đạt được nhiều kết quả tích cực cả về mặt lý thuyết lẫn thực hành. Trước hết, chúng em đã củng cố được kiến thức nền tảng liên quan đến cấu tạo, nguyên lý hoạt động và vai trò quan trọng của hệ thống phanh ABS trong việc đảm bảo an toàn khi vận hành ô tô. Bên cạnh đó, chúng em cũng hiểu rõ hơn về sự khác biệt giữa các bộ điều khiển ON/OFF, PID và EBD khi áp dụng vào điều khiển lực phanh tại các bánh xe.

Thông qua việc xây dựng mô hình mô phỏng trên Simulink và CarSim, chúng em đã thiết lập được các khối điều khiển, nhập các thông số kỹ thuật của xe Hyundai Creta 2024 và tiến hành liên kết mô phỏng giữa hai phần mềm. Kết quả mô phỏng cho thấy sự khác biệt rõ rệt về hiệu suất phanh giữa các bộ điều khiển, đồng thời phản ánh được ảnh hưởng của các tham số kỹ thuật đến khả năng ổn định và hiệu quả phanh. Cụ thể, bộ điều khiển PID và EBD cho thấy độ ổn định cao hơn, giảm hiện tượng trượt lết bánh xe, đặc biệt trong điều kiện tải trọng thay đổi, trong khi bộ ON/OFF phản ứng đơn giản nhưng hiệu quả chưa tối ưu.

Việc thực hiện mô phỏng trong các điều kiện khác nhau giúp chúng em nâng cao khả năng tư duy phân tích, xử lý số liệu và đánh giá kết quả. Qua đó, chúng em nhận thấy vai trò to lớn của công nghệ mô phỏng trong việc rút ngắn thời gian nghiên cứu, tiết kiệm chi phí thử nghiệm thực tế và hỗ trợ tối ưu hoá các hệ thống trên xe ô tô hiện đại.

2. Hướng phát triển

Trong thời gian tới, chúng em mong muốn tiếp tục mở rộng đề tài bằng cách thử nghiệm thêm các loại bộ điều khiển khác như Fuzzy Logic hoặc kết hợp giữa PID và Fuzzy Logic, nhằm so sánh và đánh giá mức độ tối ưu của từng phương pháp trong hệ thống phanh mô phỏng trên Simulink.

Bên cạnh đó, chúng em cũng sẽ tìm hiểu thêm về các thông số thực tế của xe, đặc biệt là vị trí trọng tâm chính xác của dòng xe Hyundai Creta từ nhà sản xuất. Nếu có điều kiện, chúng em mong muốn thực hiện các thử nghiệm thực tế để so sánh với kết quả mô phỏng, từ đó nâng cao độ tin cậy và chính xác cho mô hình đã xây dựng.

Ngoài ra, chúng em cũng dự định thiết lập thêm các tình huống mô phỏng khác như điều kiện lên dốc, xuống dốc, hoặc thay đổi loại mặt đường (trơn, sỏi, khô, ướt...).

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt:

- [1] Nguyễn Hoàng Việt. *Chuyên đề ô tô*. Tài liệu lưu hành nội bộ, Khoa Cơ khí Giao thông, Đại học Bách khoa Đà Nẵng.
- [2] Nguyễn Hoàng Việt. (2003). *Kết cấu, tính toán và thiết kế ô tô*. Giáo trình lưu hành nội bộ, Khoa Cơ khí Giao thông, Đại học Đà Nẵng.
- [3] Nguyễn Phùng Quang. *Matlab và Simulink*. [Tài liệu tham khảo kỹ thuật].
- [4] Vũ Hải Quân., Nguyễn Xuân Tuấn., Lê Đình Nghiê., Nguyễn Minh Tiến., Trương Văn Minh Tú. (2022). “Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống phanh thông minh trên xe du lịch ứng dụng Matlab-Simulink”. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải*, (72).
- [5] Nguyễn Hoàng Việt. (2003). *Bộ điều chỉnh lực phanh – Hệ thống chống hãm cứng bánh xe khi phanh ABS*. Tài liệu lưu hành nội bộ, Khoa Cơ khí Giao thông, Đại học Đà Nẵng.

Tài liệu tiếng Anh:

- [6] Mohammed, W. (2020). *Modeling and Simulation of ABS through Different Types of Controllers Using Simulink*. Eastern Mediterranean University.
- [7] Gonzalez San Miguel, A. (2019). *Parameters Affecting Anti-lock Brake System in MATLAB/Simulink*. School of Creative Arts and Engineering, Staffordshire University.
- [8] Liao, Z.-C., Bai, X.-X., Li, Y., Deng, X.-C., & Sun, J. (2019). “Design, modeling, and verification of a test bench for braking simulation of ¼ vehicle”. Hefei University of Technology, China.
- [9] Lakshmaru, P., & Adhikari, S. P. (2022). “Design and Analysis of Vehicle Anti-Lock Braking System with Fuzzy Logic, Bang-Bang, and PID Controllers”. *Himalayan Journal of Applied Science and Engineering (HiJASE)*, 3.
- [10] Mechanical Simulation Corporation. (2018). *Running a VS Vehicle Model in Simulink*. Technical Memo, February.
- [11] Mechanical Simulation Corporation. (n.d.). *CarSim Educational User Manual*.
- [12] Zhang, X., Wang, X., & Liu, L. (n.d.). “Research on Electronic Brake Force Distribution and Anti-Lock Brake of Vehicle Based on Direct Drive Electro Hydraulic Actuator”.

Nguồn từ Internet:

- [13] Hyundai Motor Company. (n.d.). “Creta car dimensions.” *Peeyesyemhyundai.com*. Truy cập ngày 30/5/2025, từ <https://peeyesyemhyundai.com/component/content/article/creta-car-dimensions>

PHỤ LỤC 1

Video mô phỏng

Các bộ điều khiển phanh trên đường hai hệ số bám:

https://drive.google.com/file/d/10XIz3P890kNIVbmdBTv6QAahxAb-rXax/view?usp=drive_link

Các bộ điều khiển phanh trên đường cong:

https://drive.google.com/file/d/1gHXh6M-_aduhbjFqr7kqBGIUWIYxfngr/view?usp=drive_link

Các bộ điều khiển phanh né vật cản:

https://drive.google.com/file/d/18ZXTh4_K-IgEDcR1YZ32MjRhMorT_15z/view?usp=drive_link

Chú thích:

Các bộ điều khiển:

- + EBD: Màu xanh dương
- + PID: Màu đỏ
- + ON/OFF: Màu vàng
- + NO ABS: Màu tím

PHỤ LỤC 2

Code matlab

Tính phản lực các bánh xe:

```
function [FzLF, FzRF, FzLR, FzRR]= fcn(Ax, Ay)
l = 2.61;    % Chiều dài cơ sở (m)
a = 1.10;    % Khoảng cách từ tâm xe đến trục trước (ước lượng)
b = l - a;    % Khoảng cách đến trục sau
g = 9.81;    % Gia tốc trọng trường
m = 1290;    % Khối lượng xe (kg)
hg = 0.55;    % Chiều cao trọng tâm (m) – ước lượng SUV
df = 1.565;    % Chiều rộng cơ sở trước (m)
dr = 1.485;    % Chiều rộng cơ sở sau (m)
FzLF = 0.5*(m*g*b-m*Ax*hg)/l-m*Ay*hg/df;
FzRF = 0.5*(m*g*b-m*Ax*hg)/l+m*Ay*hg/df;
FzLR = 0.5*(m*g*a+m*Ax*hg)/l-m*Ay*hg/dr;
FzRR = 0.5*(m*g*a+m*Ax*hg)/l+m*Ay*hg/dr;
end
```

Tính tỉ lệ phân phối áp suất phanh

```
function [rLF, rRF, rLR, rRR]= fcn(Fzmax, FzLF, FzRF, FzLR, FzRR, Ax, Ay, v)
rLF = FzLF / Fzmax;
rRF = FzRF / Fzmax;
rLR = FzLR / Fzmax;
rRR = FzRR / Fzmax;
% điều kiện EBD ngưng hoạt động
if v < 5 && (Ax > -0.5 || (-0.3 < Ay)&&(Ay < 0.3))
rLF = 1;
rRF = 1;
rLR = 0.5;
rRR = 0.5;
end
```