

NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC XE TẢI QUAY VÒNG CÓ TRANG BỊ HỆ THỐNG
PHANH HỖ TRỢ KHẨN CẤP VÀ PHÂN PHỐI LỰC PHANHĐào Đức Thụ^{1,*}, Nguyễn Hải Nam², Hoàng Ngọc Hùng³, Ngô Văn Phương³¹Trường Đại học Thành Đông²Trường Cao đẳng Cơ điện và Thủy lợi³Trường Cao đẳng miền núi Bắc Giang

*Tác giả liên hệ: daoducthu85@gmail.com

TÓM TẮT

Tại Việt Nam, thống kê cho thấy nhiều vụ tai nạn giao thông liên quan đến ô tô bắt nguồn từ hiệu suất phanh kém, đặc biệt khi xe quay vòng trên bề mặt đường có hệ số bám thấp, như đường trơn hoặc ướt. Điều này nhấn mạnh sự cần thiết phải nâng cao hiệu quả phanh và duy trì ổn định hướng của xe. Để giải quyết vấn đề, các hệ thống phanh hiện đại với điều khiển điện tử như phân phối lực phanh (EBD) và hỗ trợ phanh khẩn cấp (BA) đã được triển khai rộng rãi. Nghiên cứu này sử dụng phần mềm Matlab Simulink để mô phỏng và đánh giá hiệu quả của hệ thống EBD và BA trên xe tải trong điều kiện quay vòng. Kết quả chỉ ra rằng, khi so sánh xe tải có trang bị hệ thống EBD và BA với xe không được trang bị trong điều kiện mặt đường nhựa khô, bằng phẳng, với hệ số bám 0,8 và hệ số cản lăn 0,015, các hệ thống này giúp giảm thời gian phanh từ 8 giây xuống còn 6,2 giây, quãng đường phanh từ 45m xuống 32m, đồng thời cải thiện đáng kể khả năng ổn định hướng của xe. Nghiên cứu đã làm rõ vai trò quan trọng của các hệ thống phanh tiên tiến trong việc nâng cao an toàn giao thông, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế và phát triển các hệ thống phanh hiện đại trong tương lai.

Từ khóa: Động lực học ô tô, hệ thống phân phối lực phanh, hệ thống phanh ABS, hệ thống hỗ trợ phanh khẩn cấp, quay vòng ô tô.

STUDY ON THE DYNAMICS OF TURNING TRUCKS EQUIPPED WITH EMERGENCY
BRAKE ASSIST AND BRAKE FORCE DISTRIBUTION SYSTEMS

ABSTRACT

In Vietnam, statistics indicate that many traffic accidents involving automobiles stem from poor braking performance, particularly when vehicles turn on low-traction road surfaces, such as wet or slippery roads. This underscores the necessity of enhancing braking efficiency and maintaining vehicle directional stability. To address this issue, modern braking systems with electronic controls, such as Electronic Brakeforce Distribution and Brake Assist, have been widely implemented. This study employs Matlab Simulink software to simulate and evaluate the effectiveness of EBD and BA systems on trucks during turning maneuvers. Results reveal that, under conditions of dry, flat asphalt roads with a friction coefficient of 0.8 and a rolling resistance coefficient of 0.015, trucks equipped with EBD and BA systems reduced braking time from 8 seconds to 6.2 seconds and braking distance from 45m to 32m, while significantly improving directional stability. The study highlights the crucial role of advanced braking systems in enhancing traffic safety and provides a scientific foundation for designing and developing modern braking systems in the future.

Keywords: Anti-lock braking system, brake force distribution system, emergency brake assist system, vehicle dynamics, vehicle turning.

Ngày nhận bài: 29/09/2024 Ngày nhận bài sửa: 24/12/2024 Ngày duyệt bài đăng: 19/01/2025

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tai nạn giao thông là một trong những vấn đề nghiêm trọng ở Việt Nam, với số lượng vụ tai nạn có liên quan đến ô tô ngày càng gia tăng. Theo thống kê của Bộ Giao thông Vận tải, nhiều vụ tai nạn xảy ra do hiệu suất phanh kém, đặc biệt trong các tình huống xe quay vòng trên mặt đường trơn hoặc ướt, khi lực bám giữa bánh xe và mặt đường giảm sút. Điều này dẫn đến nguy cơ mất kiểm soát phương tiện và gia tăng khả năng va chạm.

Để cải thiện tình hình này, các hệ thống phanh hiện đại đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi, đặc biệt là hệ thống phân phối lực phanh (EBD) và hỗ trợ phanh khẩn cấp (BA). Các nghiên cứu trước đây đã nghiên cứu các khía cạnh lý thuyết và ứng dụng của các hệ thống phanh trong điều kiện đường khô ráo, nhưng chưa tập trung vào hiệu quả của các hệ thống phanh điện tử khi xe quay vòng trên mặt đường trơn (Nguyễn Hữu Cẩn & cộng sự, 2000; Nguyễn Hữu Cẩn, 2004). Việc thiếu nghiên cứu về các yếu tố này khiến cho các giải pháp an toàn giao thông chưa được tối ưu hóa hoàn toàn trong thực tế.

Bài nghiên cứu của Gunjate và Khot (2023) đã chỉ ra rằng hệ thống hỗ trợ phanh khẩn cấp (BA) kết hợp với công nghệ điều khiển bằng Pulse Width Modulation (PWM) và Fuzzy Logic, cùng với hệ thống phanh chống bó cứng (ABS), có thể cải thiện đáng kể hiệu quả phanh và giảm thiểu các tai nạn giao thông trong điều kiện phanh khẩn cấp (Gunjate & Khot, 2023). Tuy nhiên, mặc dù các hệ thống này đã được áp dụng rộng rãi trong các phương tiện hiện đại, nhưng chưa có nghiên cứu đầy đủ về sự hiệu quả của chúng khi xe quay vòng, đặc biệt là trong điều kiện xe tải.

Chính vì vậy, nghiên cứu này nhằm làm rõ và đánh giá hiệu quả của các hệ thống phanh EBD và BA trên xe tải trong điều kiện quay vòng. Mặc dù các hệ thống phanh điện tử hiện đại đã được áp dụng phổ biến trên nhiều dòng xe, nhưng vẫn thiếu nghiên cứu chuyên sâu về

hiệu quả của các hệ thống này trong điều kiện vận hành thực tế tại Việt Nam. Điều này đặc biệt quan trọng đối với các phương tiện tải trọng lớn, nơi sự ổn định và hiệu quả phanh càng trở nên quan trọng hơn bao giờ hết.

Phương pháp nghiên cứu mà nhóm tác giả sử dụng trong nghiên cứu này là mô phỏng động lực học của xe tải trong phần mềm Matlab Simulink, nhằm đánh giá các tác động của hệ thống EBD và BA trong tình huống quay vòng. Nghiên cứu này không chỉ giúp xác nhận hiệu quả của các hệ thống phanh điện tử hiện đại trong tình huống thực tế mà còn đóng góp vào việc cải thiện các giải pháp an toàn giao thông, nâng cao độ tin cậy và hiệu quả của hệ thống phanh trong các tình huống khẩn cấp.

Nghiên cứu của chúng tôi sẽ giúp làm rõ các điểm mạnh và yếu của hệ thống phanh điện tử trong điều kiện quay vòng, từ đó đưa ra khuyến nghị cho việc thiết kế và ứng dụng các hệ thống phanh trong tương lai, giúp tăng cường an toàn giao thông và giảm thiểu tai nạn.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Hệ thống hỗ trợ phanh khẩn cấp được lắp trên xe ô tô tải khi đi vào đường vòng.

Khảo sát chuyển động của xe ô tô tải trong điều kiện mặt đường nhựa khô bằng phẳng, hệ số bám của các bánh xe là giống nhau và là 0.8, hệ số cản lăn là 0.015 (Nguyễn Hữu Cẩn & cộng sự, 2000).

2.2. Phương pháp nghiên cứu kế thừa tài liệu

Thu thập, sưu tầm các tài liệu chuyên môn liên quan đến lĩnh vực động lực học của xe ô tô để làm cơ sở cho việc nghiên cứu lý thuyết.

2.3. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

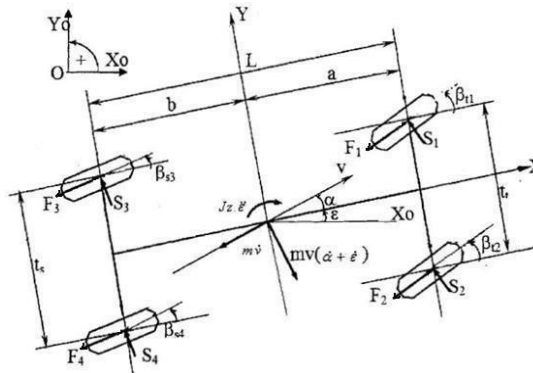
Tác giả sẽ nhận được Biểu mẫu theo quy định của Tạp chí. Sử dụng lý thuyết ô tô, cơ học kỹ thuật để xây dựng mô hình tính toán

động lực học chuyển động của xe ô tô tải nhỏ có trang bị hệ thống phanh khẩn cấp khi đi vào đường vòng với các vận tốc khác nhau.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

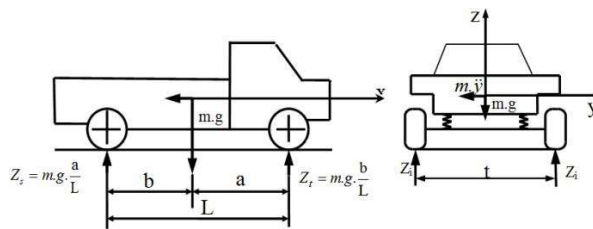
3.1. Mô hình động lực học

Trong quá trình ô tô quay vòng, các lực và mô men tác dụng vào xe ô tô được mô tả trên Hình 1 và Hình 2 (Nguyễn Hữu Cẩn và cộng sự, 2000; Nguyễn Hữu Cẩn, 2004).



Hình 1. Các lực và mô men tác dụng lên ô tô trong mặt phẳng ngang

Nguồn: Nguyễn Hữu Cẩn và cộng sự (2000) và Nguyễn Hữu Cẩn (2004)



Hình 2. Các lực tác dụng lên ô tô trong mặt phẳng dọc

Nguồn: Nguyễn Hữu Cẩn và cộng sự (2000) và Nguyễn Hữu Cẩn (2004)

Theo nghiên cứu của Nguyễn Hữu Cẩn và cộng sự (2000) và Nguyễn Hữu Cẩn (2004) ta có

các phương trình động lực học quay vòng của ô tô:

$$v \ddot{\alpha} = \frac{1}{m} \{ [(S_1 + S_2) \cos \beta + (F_1 + F_2) \sin \beta + S_3 + S_4] \sin \alpha - [(S_1 + S_2) \sin \beta - (F_1 + F_2) \cos \beta - (F_3 + F_4)] \cos \alpha \} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{mv \cos \alpha} [(S_1 + S_2) \cos \beta + S_3 + S_4 + (F_1 + F_2) \sin \beta]$$

$$- \frac{\dot{v} \sin \alpha}{v \cos \alpha} - \epsilon \quad (2)$$

$$\epsilon \ddot{\alpha} = \frac{1}{J_z} \left[(S_1 + S_2) a \cos \beta - (S_3 + S_4) b + (S_1 - S_2) t_r \sin \beta + (F_1 + F_2) a \sin \beta - (F_1 - F_2) t_r \cos \beta - (F_3 - F_4) \frac{t_s}{2} \right] \quad (3)$$

Tải trọng thẳng đứng tác dụng lên 4 bánh xe như sau:

$$Z_1 = \frac{1}{2} Z - \Delta Z = \frac{1}{2} \left(m.g \frac{b}{L} - \Delta Z \right) - \Delta Z \quad (4)$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} Z + \Delta Z = \frac{1}{2} \left(m.g \frac{b}{L} - \Delta Z \right) + \Delta Z \quad (5)$$

$$Z_3 = \frac{1}{2} Z - \Delta Z = \frac{1}{2} \left(m.g \frac{a}{L} + \Delta Z \right) - \Delta Z \quad (6)$$

$$Z = \frac{1}{2} Z + \Delta Z = \frac{1}{2} \left(\frac{m \cdot g}{L} + \Delta Z \right) + \Delta Z \quad (7)$$

Sự chênh lệch tải trọng giữa bánh trước và bánh sau:

$$\Delta Z = \left[v' \cos \alpha - v'(\alpha' + \varepsilon') \sin \alpha \right] \frac{m \cdot h}{l} \quad (8)$$

Sự chênh lệch tải trọng giữa 2 bánh xe phía trước:

$$\Delta Z_t = \frac{1}{t_t} \frac{v^2}{R} \left[m' \cdot \frac{b'}{l} p_t + C_{gs} \frac{m' h' - m_t''(p_t - h_t'') - m_s''(p_s - h_s'')}{C_{gt} + C_{gs} - m' g h'} + m_t'' h_t'' \right] \quad (9)$$

Mô men phanh của cơ cấu phanh bánh xe

$$M_p = K_p C \frac{\pi d^2}{2} r_{t=1,57} K_p C r_t d^2 \quad (10)$$

Trong đó:

v' : Gia tốc của ô tô (m/s²);

α' : Vận tốc góc lệch thân xe (rad/s);

ε' : Gia tốc góc xoay thân xe (rad/s²);

F_t : Lực dọc tác dụng lên ô tô trong quá trình chuyển động (N);

P_{ft} : Lực cản lăn (N);

s_t : Các phản lực ngang của mặt đường tác dụng lên vết của bánh xe (N);

M_{st} : Mô men cản quay (rad/s²);

β : Góc đánh lái (rad);

t_t, t_s : Chiều rộng vết lốp bánh xe trước và bánh xe sau (m);

m : Khối lượng của toàn xe (kg);

m' : Khối lượng phần được treo của ô tô (kg).

m_t'' : Khối lượng phần không được treo cầu trước (kg);

m_s'' : Khối lượng phần không được treo cầu sau (kg);

h : Chiều cao trọng tâm xe (m);

h' : Chiều cao trọng tâm phần được treo của ô tô (m);

h_t'' : Chiều cao của phần không được treo cầu trước (m);

h_s'' : Chiều cao của phần không được treo cầu sau (m);

l : Chiều dài cơ sở của ô tô (m);

R : bán kính quay vòng thực tế của ô tô (m);

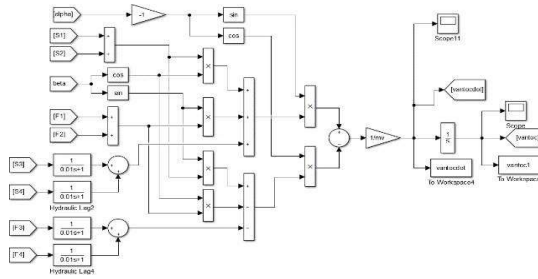
K_p : Hệ số tăng áp suất;

C : Tỷ số truyền tổng của cơ cấu phanh;

d : đường kính xy lanh (m).

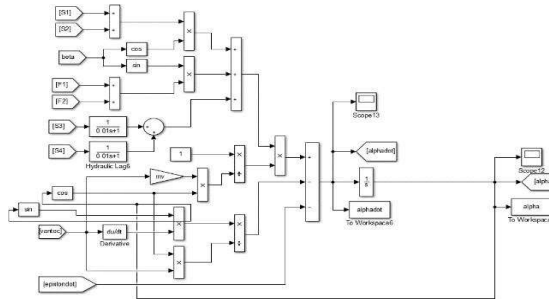
3.2. Kết quả khảo sát

Từ các phương trình động lực học của xe ô tô khi đi vào đường vòng từ (2) đến phương trình (11), sử dụng phần mềm Matlab Simulink nhóm tác giả đã xây dựng sơ đồ mô phỏng hệ thống, cụ thể là:



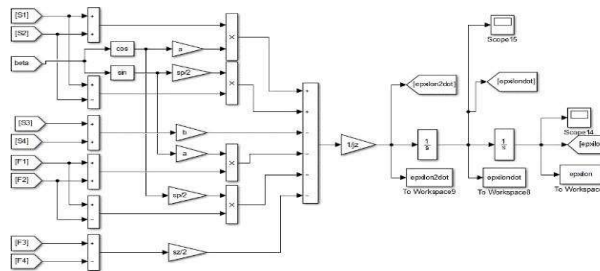
Hình 3. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (1)

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát



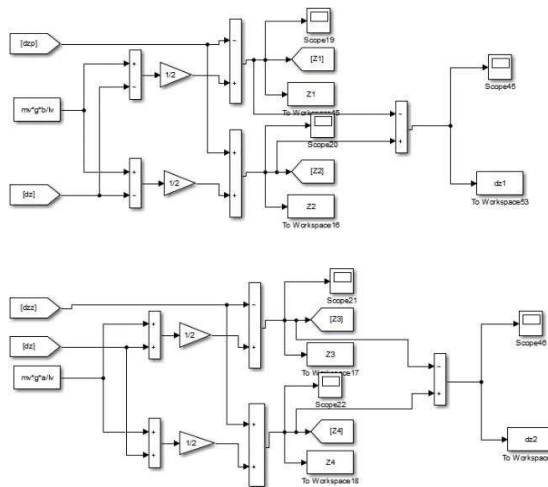
Hình 4. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (2)

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát



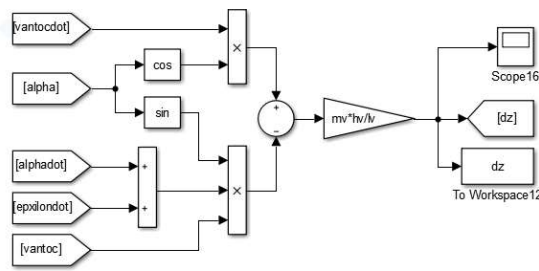
Hình 5. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (3)

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát



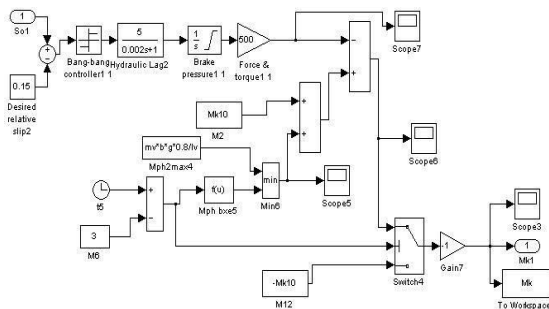
Hình 6. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (4), (5), (6), (7), (9)

Nguồn: Kết quả ử lý từ dữ liệu khảo sát



Hình 7. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (8)

Nguồn: Kết quả ử lý từ dữ liệu khảo sát



Hình 8. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (10)

Nguồn: Kết quả ử lý từ dữ liệu khảo sát

Khảo sát xe ô tô có hệ thống phanh tích cực, động cơ đặt phía trước, cầu sau chủ động

và với các thông số của xe Suzuki Carry Pro 2023 như Bảng 1 (Gunjate & Khot, 2023).

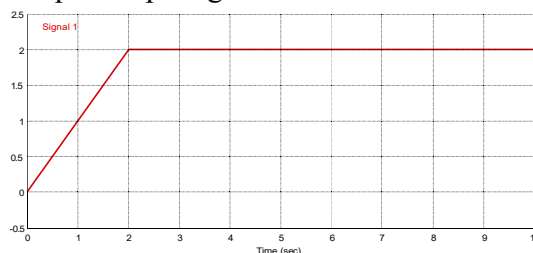
Bảng 1. Thông số của xe ô tô khảo sát

Tên gọi	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng toàn bộ xe khi đầy tải	kg	2010
Chiều dài cơ sở ô tô	m	2,205
Khoảng cách từ trọng tâm - cầu trước	m	1,1
Khoảng cách từ trọng tâm - cầu sau	m	1,105
Chiều rộng vệt lốp bánh xe trước	m	1,465
Chiều rộng vệt lốp bánh xe sau	m	1,46
Chiều cao trọng tâm ô tô	m	0,506
Chiều cao trọng tâm của phân được treo	m	0,547
Tỷ số truyền của hệ thống lái		21.2

Nguồn: Gunjate và Khot (2023)

Với hệ phương trình được trên, sử dụng chương trình Matlab Simulink (Shinko & cộng sự, 2020) mô phỏng ta được kết quả mô phỏng

ứng với trường hợp điều khiển góc xoay vành tay lái được xác lập (Hình 8).

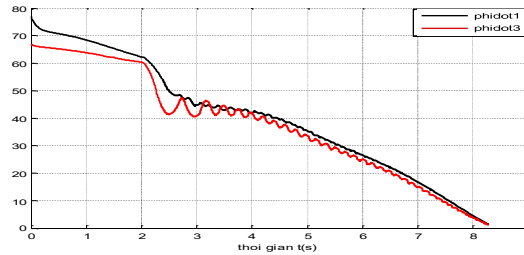


Hình 8. Mô phỏng góc xoay vành tay lái

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát

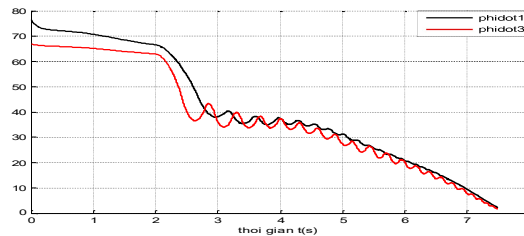
Với cách mô phỏng góc xoay vành tay lái như trên ta thấy người lái sẽ quay vòng tay lái 1 góc là 2 rad (114,59 độ) trong vòng 2 giây, sau đó giữ nguyên tay lái để xe đi ổn định trên đường vòng.

Khảo sát xe ô tô chạy ở các vận tốc ban đầu là 60 km/h, vận tốc góc bánh xe khi xe không được trang bị hệ thống EBD và được trang bị hệ thống EBD được thể hiện ở Hình 9 và Hình 10.



Hình 9. Đồ thị vận tốc góc bánh xe khi phanh không có EBD

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát

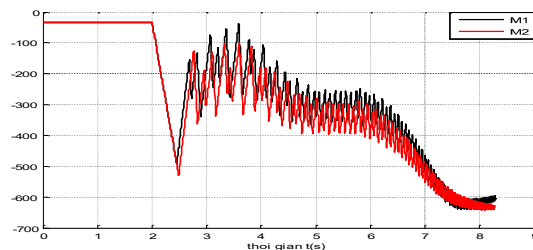


Hình 10. Đồ thị vận tốc góc bánh xe khi phanh có EBD

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát

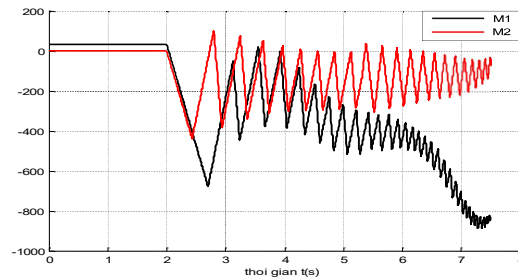
Trên hình vẽ trên, khi xe có trang bị hệ thống phanh ABS có chức năng EBD thì vận tốc góc các bánh xe khi phanh giảm nhanh hơn và sau 6,2s thì bằng 0, còn với xe không có EBD thì khi phanh trên đường vòng các bánh xe sau hơn 8s mới bằng 0, như vậy thời gian phanh xe có EBD ngắn hơn xe không có EBD.

Mô men phanh ở các bánh xe khi xe không được trang bị hệ thống EBD và được trang bị hệ thống EBD được thể hiện ở Hình 11 và Hình 12.



Hình 11. Đồ thị mô men phanh ở các bánh xe khi phanh không có EBD

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát



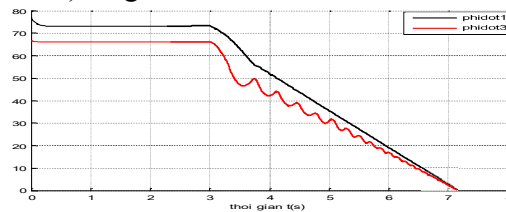
Hình 12. Đồ thị mô men phanh ở các bánh xe khi phanh có EBD

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát

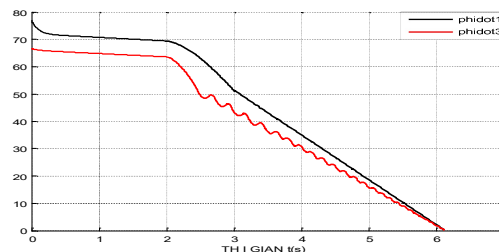
Qua đồ thị ta thấy khi xe đi vào đường vòng, do có sự thay đổi tải trọng tác dụng lên các bánh xe bên trong và bên ngoài đường vòng, tăng tải ở các bánh xe (bánh xe 1) bên ngoài và giảm tải ở các bánh xe bên trong (bánh xe 2), khi phanh xe có trang bị hệ thống EBD sẽ phân bổ tải rộng tác dụng lên các bánh xe, tăng mô men cho các bánh xe bên ngoài (tăng mô men phanh cho bánh xe 1,3) và giảm

mô men phanh tại các bánh xe bên trong đường vòng (giảm mô men phanh tại các bánh xe 2,4).

Vận tốc góc bánh xe khi xe không được trang bị hệ thống BA và được trang bị hệ thống BA được thể hiện ở Hình 13 và Hình 14.



Hình 13. Đồ thị vận tốc góc bánh xe khi phanh không có BA

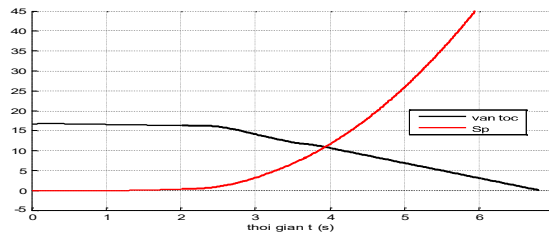


Hình 14. Đồ thị vận tốc góc bánh xe khi phanh có BA

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát

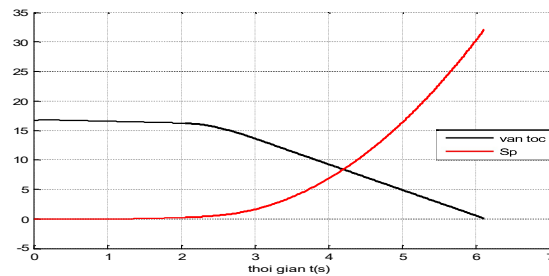
Qua đồ thị trên ta thấy khi phanh xe trên đường có hệ số bám cao, xe trang bị hệ thống ABS có chức năng BA khi phanh vận tốc góc các bánh xe nhanh chóng giảm xuống, với xe có BA là 6,2s còn với xe không có BA là 7,2s.

Quãng đường phanh khi xe không được trang bị hệ thống BA và được trang bị hệ thống BA được thể hiện ở Hình 15 và Hình 16.



Hình 15. Quãng đường phanh khi phanh không có BA

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát



Hình 16. Quãng đường phanh khi phanh có BA

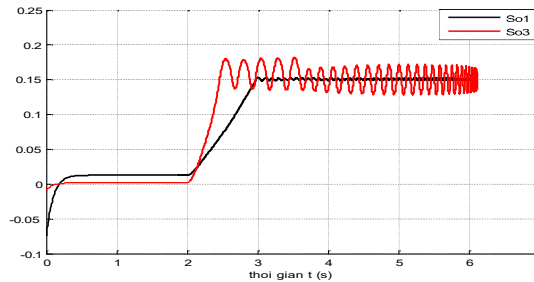
Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát

Qua đồ thị trên ta thấy, khi xe có trang bị hệ thống phanh ABS+BA thì khi phanh trên đường có hệ số bám cao thì vận tốc giảm nhanh hơn xe có trang bị ABS không có chức năng BA.

Khi phanh xe có ABS+BA quãng đường phanh là 32m, trong khi xe không có chức

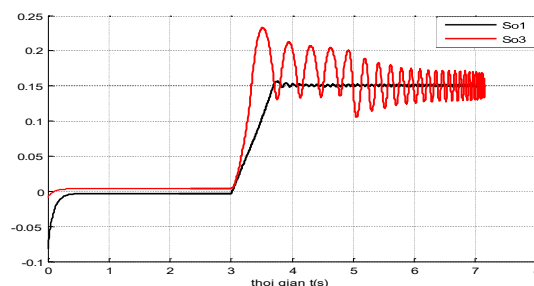
năng BA, quãng đường phanh là 45m. Như vậy với xe có trang bị hệ thống phanh ABS +BA sẽ rút ngắn được quãng đường phanh khi phanh.

Hệ số trượt bánh xe khi xe không được trang bị hệ thống BA và được trang bị hệ thống BA được thể hiện ở Hình 17 và Hình 18.



Hình 17. Hệ số trượt các bánh xe khi phanh không có BA

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát



Hình 18. Hệ số trượt các bánh xe khi phanh có BA

Nguồn: Kết quả xử lý từ dữ liệu khảo sát

Ta thấy tại thời điểm $t=3s$ với xe có trang bị hệ thống phanh ABS+BA thì hệ số trượt các bánh xe tăng nhanh, biên độ giao động lớn hơn xe có hệ thống phanh không có chức năng BA, khi $t=4s$ lúc này biên độ giao động của hệ số trượt các bánh xe trong hai trường hợp là như nhau do lúc này hệ thống ABS-ECU đang điều khiển độ trượt theo giá trị ngưỡng.

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm Matlab Simulink để nghiên cứu động lực quay vòng của xe ô tô tải có trang bị hệ thống phanh ABS có chức năng EBD và BA. Thông qua kết quả nghiên cứu thì ta đã đưa ra các ưu điểm nổi bật của hệ thống phanh có điều khiển điện tử so với hệ thống phanh thông thường như sau:

Tạo ra được lực phanh theo các chế độ làm việc của xe đảm bảo điều kiện bám giữa bánh xe với mặt đường, duy trì được hệ số trượt các bánh xe nằm trong giá trị ngưỡng, tạo ra được mô men phanh thay đổi phù hợp với các trạng thái làm việc của xe khi mang tải và khi phanh xe trên đường vòng.

Tạo ra được lực phanh có giá trị lớn trong thời gian ngắn, qua đó nâng cao hiệu quả phanh.

Qua nghiên cứu này cho thấy tầm quan trọng của xe có trang bị hệ thống phanh điện tử ABS có các chức năng EBD và BA đối với sự an toàn của xe khi lưu thông trên đường và nâng cao được các tính năng của xe nhằm giảm căng thẳng cho người điều khiển tiết kiệm thời gian.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Gunjate, S. S., & Khot, S. A. (2023), A Systematic Review of Emergency Braking Assistant System to Avoid Accidents Using Pulse Width Modulation and Fuzzy Logic Control Integrated with Antilock Braking. *International Journal of Automotive and*

mechanical engineering, 20(2), 10457-10479.

Nguyễn Hữu Cẩn (2004). *Phanh ô tô cơ sở khoa học và thành tựu mới*, Hà Nội: Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật.

Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng (2000). *Lý thuyết ô tô máy kéo*. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật.

Shinko, I., Shurdha, E., Kamo, B., Agastra, E., & Dhoska, K. (2020). *A fuzzy logic-based anti-lock braking systems. Machines Technologies Materials*, 14(2), 58-60.