

NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC QUAY VÒNG CỦA XE Ô TÔ CÓ TRANG BỊ HỆ THỐNG VSC

TS. Đào Đức Thu¹, ThS. Phạm Đình Mạnh²

¹Trường Đại học Sao Đỏ

daoducthu85@gmail.com; ĐT: 0865996170

² Trường Đại học Thành Đông

TÓM TẮT

Ngày nay với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, mô phỏng số là một công cụ mạnh mẽ giúp việc tạo ra sản phẩm mới một cách nhanh chóng. Không những vậy, nó còn cho phép chúng ta có thể kiểm tra chất lượng của các sản phẩm đã có trên thị trường. Trong bài báo này chúng tôi sử dụng phần mềm mô phỏng Matlab Simulink làm công cụ dùng để kiểm tra, so sánh tính hiệu quả của một hệ thống an toàn chủ động trên xe ô tô có trang bị hệ thống VSC (Vehicle Stability Control). Các kết quả nghiên cứu giúp cho mọi người hiểu rõ hơn về hệ thống VSC, đưa ra các lời khuyên cho người sử dụng ô tô, đồng thời cũng là cơ sở để nghiên cứu sâu hơn về động lực học quay vòng của xe ô tô.

Từ khóa: Động lực học ô tô, VSC, Quay vòng ô tô.

SUMMARY

Today, with the advancement of science and technology, numerical simulation has become a powerful tool for quickly creating new products. Moreover, it also allows us to evaluate the quality of products already on the market. In this paper, we employ Matlab Simulink, a simulation software used to test and compare the effectiveness of an active safety system in cars equipped with a VSC (Vehicle Stability Control) system. The research results aid in deepening understanding of the VSC system, provide recommendations to car users, and also serve as a foundation for further research into vehicular rotational dynamics.

Keywords: Automobile dynamics, VSC, Vehicle turning

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình di chuyển của ô tô, khi đi vào quay vòng có nhiều nguy cơ có thể là đánh lái thiếu hoặc thừa, làm cho quỹ đạo của xe ô tô không chính xác. Hệ thống VSC sẽ giúp cho xe chuyển động theo đúng quỹ đạo. Hệ thống VSC là hệ thống an toàn được sử dụng ở nhiều hãng xe ô tô với các tên gọi khác nhau như: với hãng Toyota, tên hệ thống là VSC; hãng BMW, tên gọi tắt của hệ thống là DSC; hãng Ford đặt tên ESP... Hệ thống VSC

được hãng Toyota đưa vào sử dụng từ những năm 1996 [1].

Theo tài liệu [2], [3] ta thấy rằng trong quá trình ô tô quay vòng thì bán kính quay vòng được tính theo công thức:

$$R_{tt} = \frac{l}{\beta_t - (\alpha_t - \alpha_s)} \text{ và } R_{lt} = \frac{l}{\beta_t} \quad (1)$$

Trong đó:

R_{tt} : Bán kính quay vòng thực tế, (m);

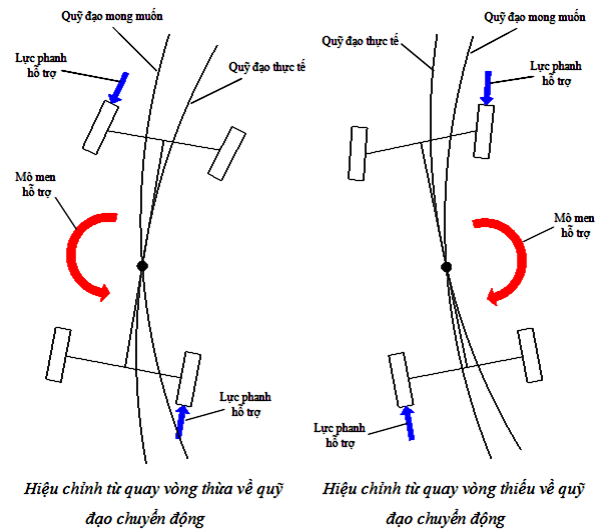
R_{lt} : Bán kính quay vòng lý thuyết, (m);

l: Chiều dài cơ sở của ô tô, (m);
 β_t : Góc quay bánh xe dẫn hướng, (rad);
 α_t : Góc lệch bên bánh xe cầu trước, (rad);
 α_s : Góc lệch bên bánh xe cầu sau, (rad);

Khi xe chuyển động trên nền đường không bằng phẳng hoặc quay vòng, dưới tác dụng của lực theo phương ngang, làm các lớp bị biến dạng, tạo ra góc bên của bánh xe cầu trước và bánh xe cầu sau, dẫn đến bán kính quay vòng thực tế khác với bán kính quay vòng lý thuyết tạo ra sự sai lệch về quỹ đạo chuyển động của ô tô.

Khi đã quay vánh lái thích hợp với cung cong của mặt đường nhưng tình trạng chuyển động xảy ra với bán kính quay vòng lớn hơn dẫn tới cần phải quay thêm thân xe (trạng thái quay vòng thiếu). Với xe được trang bị hệ thống VSC, sự phanh được tiến hành ở bánh xe sau phía trong giúp tạo nên khả năng tự động điều chỉnh thân xe về đúng quỹ đạo cong của đường.

Ngược lại, khi đã quay vánh lái thích hợp với cung cong của mặt đường nhưng tình trạng chuyển động xảy ra với bán kính quay vòng nhỏ hơn dẫn tới cần phải giảm sự quay thân xe (trạng thái quay vòng thừa). Trạng thái này rất nguy hiểm vì có khả năng gây nên tăng gia tốc bên quá lớn và có thể lật xe, lái xe thiếu kinh nghiệm khó có khả năng hiệu chỉnh. Sự phanh được tiến hành ở các bánh xe của cầu trước hoặc cầu sau giúp tạo nên khả năng tự động điều chỉnh thân xe về đúng quỹ đạo cong của đường.



Hình 1. Hiệu chỉnh quỹ đạo chuyển động của ô tô

Như vậy hệ thống VSC sẽ giúp ổn định quỹ đạo chuyển động của xe trên đường vòng bằng cách gửi các tín hiệu điều khiển phanh riêng rẽ tới các bánh xe.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: Xe Toyota Camry 2009 nhập khẩu Mỹ được trang bị hệ thống VSC.

- Khảo sát chuyển động của xe ô tô 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 [2].

2.1. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp 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.

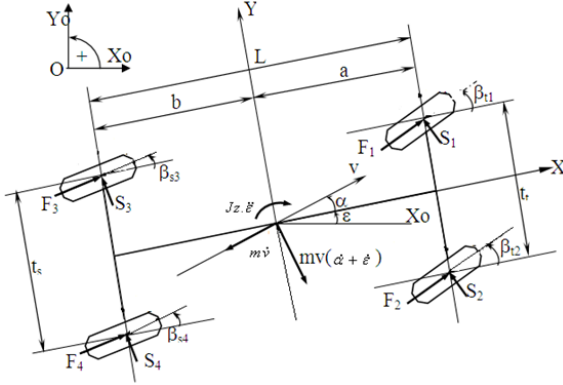
2.2.2. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Sử dụng lý thuyết ô tô, cơ học kỹ thuật để xây dựng mô hình tính toán động lực học chuyển động của xe Toyota Camry 2009 khi đi vào đường vòng với các vận tốc khác nhau.

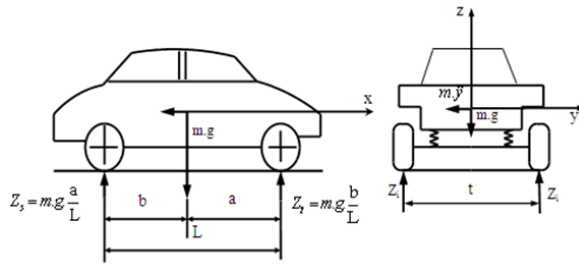
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

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 2** và **Hình 3**.



Hình 2. Các lực và mô men tác dụng lên ô tô trong mặt phẳng ngang



Hình 3. Sơ đồ các lực tác dụng lên ô tô theo mặt phẳng dọc

Theo tài liệu [1] và [4] ta có các phương trình động lực học quay vòng của ô tô:

$$\dot{v} = \frac{1}{m} \{ [(S_1 + S_2) \cos \beta + (F_1 + F_2) \sin \beta + S_3 + S_4] \sin \alpha - [(S_1 + S_2) \sin \beta - (F_1 + F_2) \cos \beta - (F_3 + F_4)] \cos \alpha \} \quad (2)$$

$$\dot{\alpha} = \frac{1}{mv \cos \alpha} [(S_1 + S_2) \cos \beta + S_3 + S_4 + (F_1 + F_2) \sin \beta] - \frac{\dot{v} \sin \alpha}{v \cos \alpha} - \dot{\epsilon} \quad (3)$$

$$\ddot{\epsilon} = \frac{1}{J_z} \left[(S_1 + S_2) a \cos \beta - (S_3 + S_4) b + (S_1 - S_2) \frac{t_t}{2} \sin \beta + (F_1 + F_2) a \sin \beta - (F_1 - F_2) \frac{t_t}{2} \cos \beta - (F_3 - F_4) \frac{t_s}{2} \right] \quad (4)$$

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

$$Z_1 = \frac{1}{2} Z_t - \Delta Z_t = \frac{1}{2} \left(m \cdot g \frac{b}{L} - \Delta Z \right) - \Delta Z_t \quad (5)$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} Z_t + \Delta Z_t = \frac{1}{2} \left(m \cdot g \frac{b}{L} - \Delta Z \right) + \Delta Z_t \quad (6)$$

$$Z_3 = \frac{1}{2} Z_s - \Delta Z_s = \frac{1}{2} \left(m \cdot g \frac{a}{L} + \Delta Z \right) - \Delta Z_s \quad (7)$$

$$Z_4 = \frac{1}{2} Z_s + \Delta Z_s = \frac{1}{2} \left(m \cdot g \frac{a}{L} + \Delta Z \right) + \Delta Z_s \quad (8)$$

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

$$\Delta Z = [\dot{v} \cos \alpha - v(\dot{\alpha} + \dot{\epsilon}) \sin \alpha] \frac{m \cdot h}{l} \quad (9)$$

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

$$\Delta Z_t = \frac{1}{t_t} \frac{v^2}{R} \left[m' \cdot \frac{b'}{l} p_t + C_{gr} \frac{m' h' - m_t'' (p_t - h_t'') - m_s'' (p_s - h_s'')}{C_{gr} + C_{gs} - m' g h'} + m_t'' h_t'' \right] \quad (10)$$

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

$$\Delta Z_s = \frac{1}{t_s} \frac{v^2}{R} \left[m' \cdot \frac{a'}{l} p_s + C_{gs} \frac{m' h' - m_t'' (p_t - h_t'') - m_s'' (p_s - h_s'')}{C_{gr} + C_{gs} - m' g h'} + m_t'' h_t'' \right] \quad (11)$$

Trong đó:

\dot{v} : Gia tốc của ô tô (m/s²);

$\dot{\alpha}$: Vận tốc góc lệch thân xe (rad/s);

$\dot{\epsilon}$: Gia tốc góc xoay thân xe (rad/s²);

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

P_{fi} : Lực cản lăn (N);

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

M_{si} : Mô men cản quay (rad/s²);

β : Góc đánh lái (rad);

t_t, t_s : Chiều rộng vệt 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);

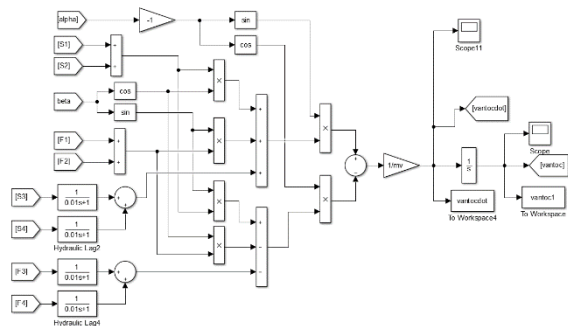
R : bán kính quay vòng thực tế của ô tô (m);

C_{gt} : Độ cứng của cầu trước (N/m);

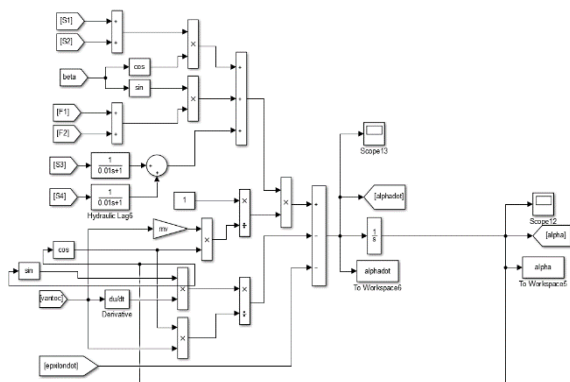
C_{gs} : Độ cứng cầu sau (N/m).

3.2. Kết quả khảo sát

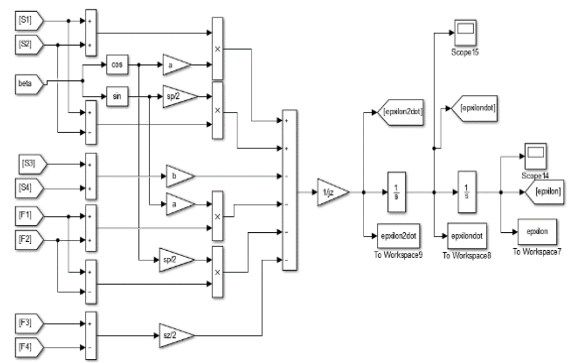
Từ các phương trình động lực học của xe ô tô khi đi vào đường vòng từ (2) đến phương trình (11), sử dụng phần mềm Matlab Simulink nhóm tác giả đã xây dựng sơ đồ mô phỏng hệ thống, cụ thể là:



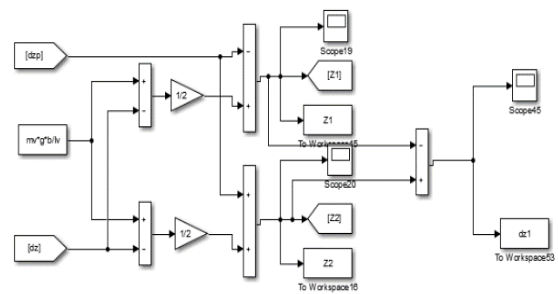
Hình 4. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (2)



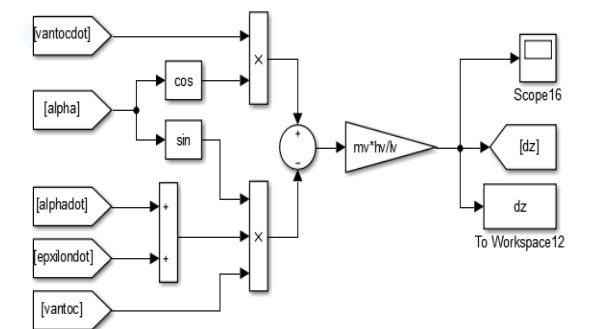
Hình 5. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (3)



Hình 6. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (4)



Hình 7. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (5), (6), (7), (8), (10), (11)



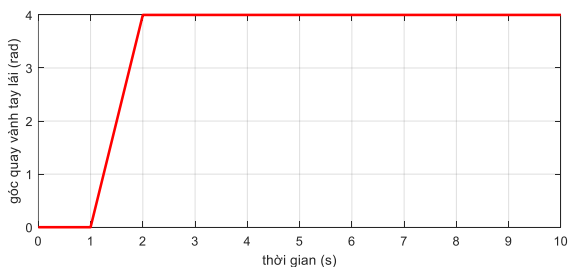
Hình 8. Sơ đồ khối mô phỏng phương trình (9)

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 Camry 2009 như **Bảng 1** [1].

Bảng 1. Thông số của xe ô tô khảo sát

TT	Tên gọi	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng toàn bộ xe khi đầy tải	kg	2000
2	Chiều dài cơ sở ô tô	m	3,13
3	Khoảng cách từ trọng tâm - cầu trước	m	1,5
4	Khoảng cách từ trọng tâm - cầu sau	m	1,63
5	Chiều rộng vết lốp bánh xe trước	m	1,575
6	Chiều rộng vết lốp bánh xe sau	m	1,560
7	Chiều cao trọng tâm ô tô	m	0,512
8	Chiều cao trọng tâm của phần được treo	m	0,542
9	Tỷ số truyền của hệ thống lái		21.2

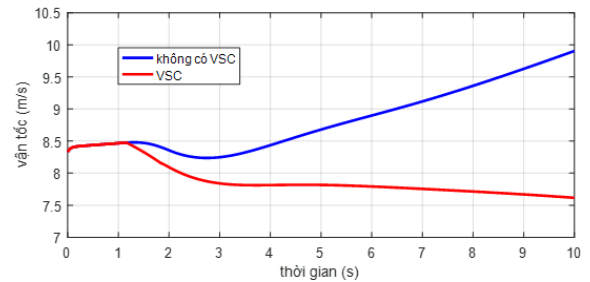
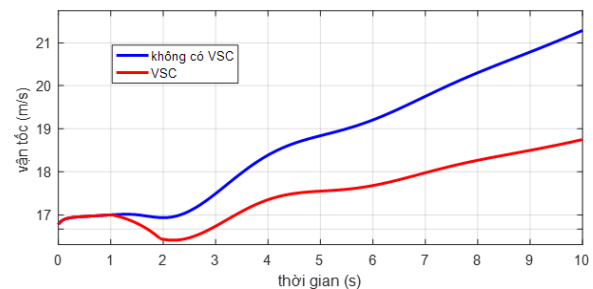
Với hệ phương trình được trên, sử dụng chương trình Matlab Simulink [5] mô phỏng ta được kết quả mô phỏng ứng với trường hợp điều khiển góc xoay vành tay lái được xác lập (**Hình 9**).

**Hình 9. Mô phỏng góc xoay vành tay lái**

Với cách mô phỏng góc xoay vành tay lái như trên ta thấy người lái ban đầu

sẽ cho xe đi thẳng trong vòng 1 giây, sau đó quay vòng tay lái 1 góc là 4 rad (229⁰C) trong vòng 1 giây, sau đó giữ nguyên tay lái.

Khảo sát xe ô tô chạy ở các vận tốc ban đầu là 30 km/h và 60 km/h, vận tốc của xe ô tô trong quá trình chuyển động được thể hiện ở **Hình 10** và **Hình 11**.

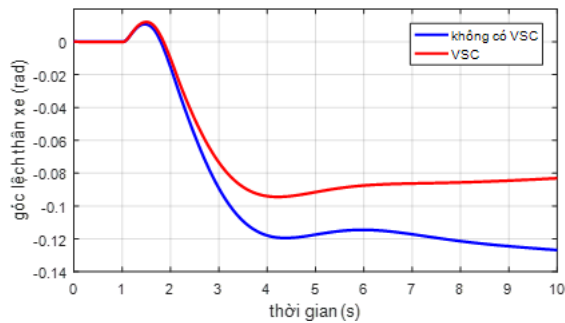
**Hình 10. Vận tốc của xe ô tô trong quá trình chuyển động với vận tốc ban đầu là 30 km/h****Hình 11. Vận tốc của xe ô tô trong quá trình chuyển động với vận tốc ban đầu là 60 km/h**

Khi vận tốc ban đầu của xe ô tô là 30 km/h (như **Hình 10**) trong thời gian đầu từ 0 - 1 giây khi ô tô đi thẳng thì vận tốc của cả 2 trường hợp xe được trang bị hệ thống VSC và không được trang bị hệ thống VSC là giống nhau. Do có lực quán tính, nên vận tốc của ô tô được tăng lên từ 8,3 m/s ở giây đầu tiên đến 8,5 m/s ở giây thứ nhất. Ở gian đoạn từ 1.4 - 3 giây, do tổn hao công suất cho quay vòng nên vận tốc của cả 2 trường hợp được và không được trang bị VSC đều giảm. Sau đó do có thêm lực ly tâm, do vậy vận tốc trong trường hợp xe không được trang bị VSC tăng lên. Với trường hợp xe ô tô

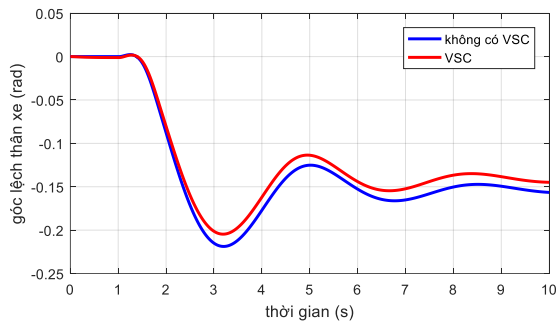
được trang bị VSC, tạo ra lực phanh ở bánh xe để giúp quỹ đạo của chuyển động ô tô gần với quỹ đạo lý thuyết, do đó vận tốc có xu hướng giảm nhẹ.

Khi vận tốc ban đầu là 60 km/h thì vận tốc của xe trong cả hai trường hợp được và không được trang bị VSC đều có xu hướng tăng, tuy nhiên trong trường hợp có trang bị VSC do có lực phanh ở bánh xe nên tốc độ tăng nhỏ hơn trường hợp không được trang bị VSC, như vậy sẽ làm giảm được gia tốc bên tránh được nguy cơ lật xe.

Góc lệch thân xe của xe ô tô được thể hiện ở **Hình 12** và **Hình 13**.



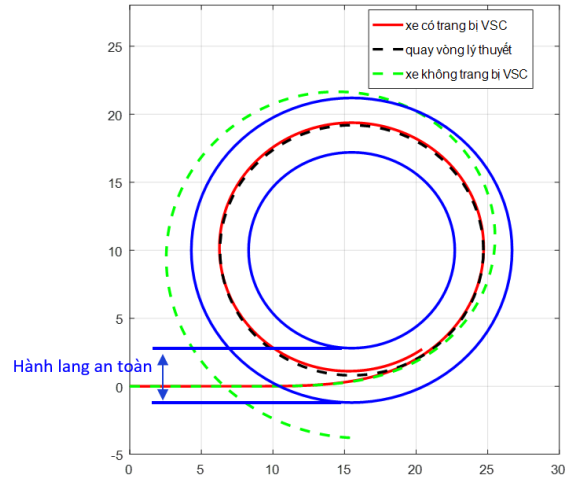
Hình 12. Góc lệch thân xe trong trường hợp vận tốc ban đầu là 30 km/h



Hình 13. Góc lệch thân xe trong trường hợp vận tốc ban đầu là 60 km/h

Trong giai đoạn đầu tiên khi xe ô tô đi thẳng thì góc lệch thân xe ở hai trường hợp được và không được trang bị hệ thống VSC là giống nhau. Với trường hợp được trang bị hệ thống VSC thì góc lệch thân xe được giảm.

Quỹ đạo chuyển động của xe ô tô được thể hiện ở **Hình 14** và **Hình 15**.



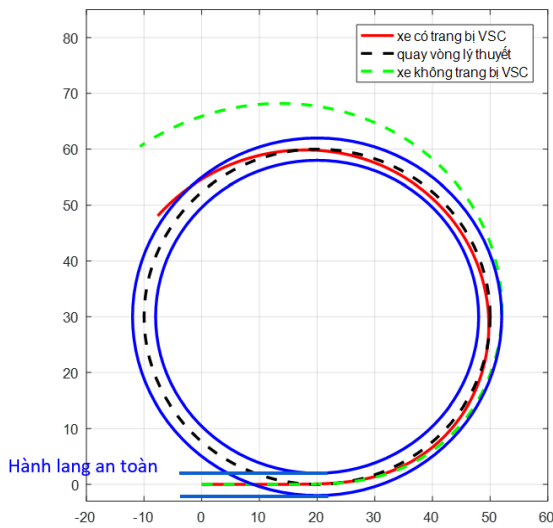
Hình 14. Quỹ đạo chuyển động của ô tô trong trường hợp vận tốc $v = 30$ km/h

Trong **Hình 14** đường nét đứt màu đen thể hiện quỹ đạo lý thuyết của xe ô tô, đường màu đỏ nét liền thể hiện quỹ đạo của xe ô tô được trang bị hệ thống VSC, đường nét đứt màu xanh thể hiện quỹ đạo của xe ô tô không được trang bị hệ thống VSC.

Để tiện cho quá trình quan sát quá trình chuyển động của xe ô tô, chúng tôi đề ra hành lang an toàn là có chiều rộng là 4 m và hành lang này sẽ được tính khi xe bắt đầu quay vòng ổn định (nghĩa là tính từ giây thứ 2 từ khi chuyển động). Hành lang an toàn được thể hiện là đường nét liền màu xanh.

Từ 0s đến 1s chưa quay vô lăng, xe chuyển động thẳng nên quỹ đạo chuyển động trong các trường hợp quay vòng lý thuyết, quay vòng với xe không được trang bị hệ thống VSC, xe có trang bị hệ thống VSC đều trùng nhau và là đường thẳng. Từ 1s đến 2s ta tiến hành quay vô lăng 4 rad hay 229° , sau đó giữ nguyên vị trí vô lăng, khi đó xuất hiện lực ly tâm làm bánh xe bị biến dạng và khi đó bán kính quay vòng thực tế khác với bán kính quay vòng lý thuyết. Qua **Hình 14** ta thấy do có lực ly tâm làm xe có xu hướng quay vòng thiếu, khi xe có trang bị hệ thống

VSC tạo lực phanh ở các bánh xe, làm bán kính quay vòng thực tế sát với quỹ đạo quay vòng lý thuyết. Với tốc độ 30 km/h thì quỹ đạo chuyển động trong trường hợp xe ô tô không được trang bị hệ thống VSC sẽ chuyển động ra ngoài hành lang an toàn. Tuy nhiên trong quá trình lái xe, người lái sẽ phát hiện ra điều này và có đủ thời gian để tác động vào vành tay lái, giúp xe ô tô đi vào hành lang an toàn.



Hình 15. Quỹ đạo chuyển động của ô tô trong trường hợp $v = 60$ km/h

Khi xe ô tô quay vòng với vận tốc 60 km/h do đó làm lực ly tâm tăng, làm quỹ đạo quay vòng thực tế có xu hướng khác xa với quỹ đạo quay vòng lý thuyết. Đối với xe không có trang bị hệ thống

VSC thì khoảng sau 3 giây, quỹ đạo chuyển động của xe ô tô sẽ ra ngoài hành lang an toàn, người lái sẽ không có nhiều thời gian để đưa xe ô tô về đúng quỹ đạo, do đó sẽ có nhiều khả năng bị tai nạn. Đối với xe ô tô được trang bị hệ thống VSC thì thời gian đầu nhờ tác dụng của hệ thống phanh tích cực giúp quỹ đạo của xe ô tô gần với quỹ đạo lý thuyết. Tuy nhiên theo sau đó lực ly tâm tăng, làm quỹ đạo của xe ra ngoài hành lang an toàn. Với thời gian dài giúp người lái có phản xạ và đưa xe ô tô về hành lang an toàn.

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm Matlab Simulink để mô phỏng mô hình xe ô tô đi vào đường vòng với hai trường hợp là có và không có hệ thống VSC. Qua đó, nhóm tác giả đưa ra một số kết luận và khuyến nghị sau:

- Khi xe đi vào đường vòng để đảm bảo an toàn thì người lái nên chủ động giảm tốc độ.

- Với các xe ô tô được trang bị hệ thống VSC sẽ giúp ô tô an toàn hơn khi quay vòng, khi chuyển động với tốc độ lớn thì giúp người lái có thêm thời gian phản xạ để điều khiển quỹ đạo của ô tô gần với quỹ đạo lý thuyết.

TÀI LIỆU TRÍCH DẪN

- [1] Tài liệu Cẩm nang sửa chữa xe Toyota Camry.
- [2] PGS.TS Nguyễn Khắc Trai (1997), *Tính điều khiển và quỹ đạo chuyển động của ô tô*, NXB Giao thông vận tải Hà Nội.
- [3] Nguyễn Hữu Cẩn, Dư Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng (2000), *Lý thuyết ô tô máy kéo*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [4] Trần Quang Hà (2017), *Xây dựng mô hình chẩn đoán trạng thái kỹ thuật hệ thống VSC trên ô tô*, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [5] Nguyễn Phùng Quang (2004), *Matlab và Simulink*, NXB Khoa học và Kỹ thuật

