



NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG PHẦN MỀM MATLAB – STATEFLOW MÔ PHỎNG BỘ ECU ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN TỬ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN LỰC KÉO TCS TRÊN XE Ô TÔ DU LỊCH

Đông Minh Tuấn *, Khổng Văn Nguyên

Khoa cơ khí Động lực - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 15/11/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 10/12/2019

Ngày bài báo được duyệt đăng: 25/12/2019

Tóm tắt:

Bài báo này trình bày những kết quả chính trong việc nghiên cứu quá trình điều khiển của bộ ECU trung tâm trên hệ thống điều khiển lực kéo (TCS). Thực hiện mô phỏng bộ điều khiển bằng phần mềm Matlab - stateflow, từ đó làm rõ quá trình vật lý xảy ra trong quá trình điều khiển của ECU. Kết quả bước đầu cho thấy, với một số chế độ làm việc của hệ thống TCS thì các thông số mô men động cơ, áp suất phanh, độ trượt được ECU điều khiển có kết quả phù hợp với đường đặc tính thực tế của hệ thống.

Từ khóa: ECU trung tâm, hệ thống điều khiển lực kéo (TCS).

1. Đặt vấn đề

Để giảm tai nạn giao thông do ô tô gây ra, các dòng xe ô tô sản xuất hiện nay thường được trang bị hệ thống điều khiển lực kéo (TCS) thay cho các hệ thống phanh truyền thống hoạt động kém hiệu quả, [1]. Do vậy việc nghiên cứu, khai thác, từng bước tìm ra những giải pháp tác động vào quá trình điều khiển ECU trung tâm để hệ thống TCS trên ô tô hoạt động phù hợp với điều kiện giao thông ở Việt Nam là một yêu cầu cấp bách.

Mục tiêu: Xây dựng mô hình mô phỏng bộ điều khiển ECU của hệ thống điều khiển lực kéo TCS trên ô tô du lịch. Mô phỏng trạng thái làm việc của ECU. Phân tích làm rõ phương thức điều khiển của ECU trên ô tô khi xảy ra hiện tượng trượt quay.

Phương pháp nghiên cứu: Sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với mô phỏng máy tính nhằm nghiên cứu rõ qui luật điều khiển của ECU.

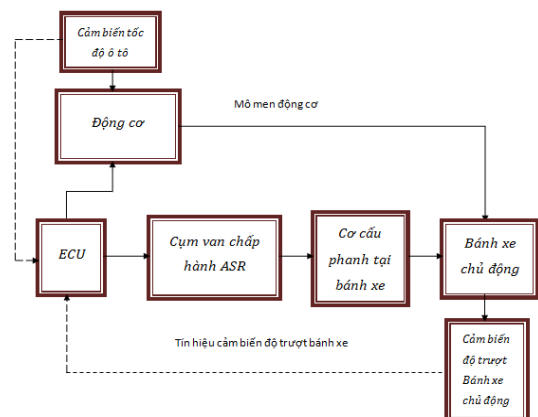
Đối tượng nghiên cứu: Nghiên cứu quá trình điều khiển và tiến hành mô phỏng ECU của hệ thống điều khiển lực kéo TCS trên ô tô du lịch.

Phạm vi nghiên cứu: Chỉ nghiên cứu ECU của hệ thống TCS trên xe ô tô du lịch. Đồng thời tiến hành mô phỏng nhằm làm rõ qui luật của bộ điều khiển ECU.

2. Cơ sở lý thuyết

* Vai trò của ECU trung tâm trên hệ thống điều khiển lực kéo TCS:

ECU trung tâm có nhiệm vụ điều khiển chế độ hoạt động của các cụm van, đồng thời điều khiển mô men động cơ nhằm chống trượt ở bánh xe chủ động trong quá trình tăng tốc, đảm bảo cho độ trượt của bánh xe thay đổi trong giới hạn hẹp quanh giá trị $\lambda_0 (\lambda = 10 \div 30\%)$, để xe có thể phát huy lực kéo tốt nhất, khả năng tăng tốc cao nhất [2, 3].



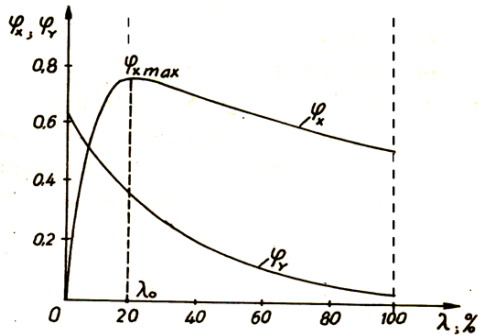
Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống TCS

Hình 1 mô tả sơ đồ điều khiển của hệ thống TCS thể hiện quá trình nhận tín hiệu và điều khiển các cơ cấu chấp hành của ECU trung tâm.

*) Hệ số bám của bánh xe với mặt đường: hệ số

bám dọc φ_x và hệ số bám ngang φ_y .

Hình 2 thể hiện ảnh hưởng của hệ số bám trên các mặt đường có vật liệu phủ bề mặt khác nhau. Trên cùng một loại đường hệ số bám thay đổi phụ thuộc vào trạng thái mặt đường. Vai trò của TCS là giữ các bánh xe chủ động trong quá trình tăng tốc không bị trượt quay và độ trượt thay đổi trong phạm vi giới hạn hẹp quanh giá trị độ trượt λ_0 ($\lambda = 10 \div 30\%$), hiệu quả tăng tốc và tính ổn định của xe là tốt nhất.



Hình 2. Đặc tính trượt, thể hiện sự thay đổi hệ số bám φ_x, φ_y theo λ

3. Chương trình mô phỏng

Ứng dụng phần mềm Matlab – State flow mô phỏng các khối ECU trên hệ thống TCS, từ đó liên kết các khối để tạo thành một hệ thống hoàn chỉnh.

3.1. Giới thiệu phần mềm Matlab – Stateflow [4]

Matlab - Stateflow là công cụ hữu hiệu để mô phỏng hoạt động các cơ cấu trên ô tô, bao gồm các quá trình động lực liên tục hoặc gián đoạn và các ứng xử logic phức hợp gồm:

- Trạng thái (State): Mô tả phương thức hệ thống được điều khiển bởi các sự kiện, tình trạng làm việc hay không làm việc của các trạng thái luôn thay đổi theo các điều kiện và sự kiện. Có hai loại trạng thái là trạng thái loại trừ (OR) và trạng thái ngang hàng (AND).

- Chuyển đổi (Transitions): Hành động chuyển đổi từ trạng thái này sang trạng thái khác của hệ thống thông qua một đối tượng gọi là “chuyển đổi”. Đó là đối tượng đồ họa (đối tượng nguồn) nối với một đối tượng khác (đối tượng đích), bằng một đường cong có mũi tên. Đối tượng

nguồn là nơi chuyển đổi bắt đầu, đối tượng đích là nơi chuyển đổi kết thúc. Nhân của một chuyển đổi xác định chuyển đổi đó; nhân này có thể chứa thông tin của một sự kiện, một điều kiện.

- Sự kiện (Events): Khi sự kiện bắt đầu xảy ra, các trạng thái của sơ đồ Stateflow được đánh giá. Sự truyền đi một sự kiện sẽ kích hoạt một chuyển đổi hoặc kích hoạt một hoạt động nào đó.

- Dữ liệu (Data): Là những đối tượng phi đồ họa, được dùng để lưu giữ các giá trị bằng số trong sơ đồ Stateflow.

- Điều kiện (Condition): Là một mệnh đề logic, có giá trị đúng hoặc sai, xác định chuyển đổi xảy ra nếu mệnh đề đó đúng.

- Hành động (Actions): Các hành động xảy ra khi khởi động mô hình, đó có thể là hành động chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác hoặc là hành động của một trạng thái. Các trạng thái có thể có các hành động đi vào, ở trong, đi ra và hành động nương theo sự kiện.

3.2. Xây dựng bộ điều khiển điện tử ECU trung tâm của hệ thống TCS

*) Thông số đầu vào của mô hình mô phỏng khối “bộ điều khiển ECU” gồm:

+ Sp: Hiệu giá trị độ trượt của bánh sau bên phải và bánh trước bên phải.

+ St: Hiệu giá trị độ trượt của bánh sau bên trái và bánh trước bên trái.

+ Taidc: Tải động cơ thực tế.

*) Thông số đầu ra của mô hình mô phỏng khối “bộ điều khiển ECU” gồm:

- *dktang1*: Giá trị mở van tăng áp điều khiển phanh bánh sau bên phải.

- *dktang2*: Giá trị mở van tăng áp điều khiển phanh bánh sau bên trái.

- *dkgiam1*: Giá trị mở van giảm áp điều khiển phanh bánh sau bên phải.

- *dkgiam2*: Giá trị mở van giảm áp phanh bánh sau bên trái.

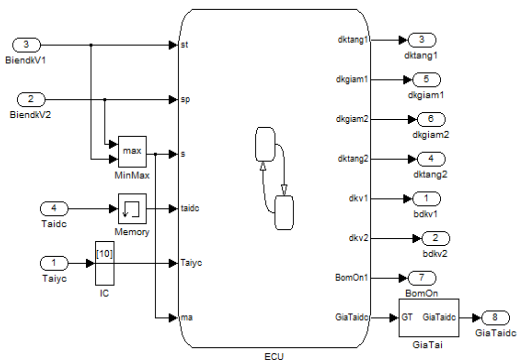
- *dkv1*: Điều khiển mở van xilanh phanh chính.

- *dkv2*: Điều khiển mở van bình tích năng.

- *Giataidc*: Điều khiển tăng, giảm mômen động cơ.

Hình 3 thể hiện sơ đồ mô phỏng khối ECU

trung tâm với các tín hiệu đầu vào và tín hiệu điều khiển đầu ra.



Hình 3. Sơ đồ mô phỏng ECU trung tâm

*) Mô hình mô phỏng các trạng thái hoạt động

của ECU trung tâm.

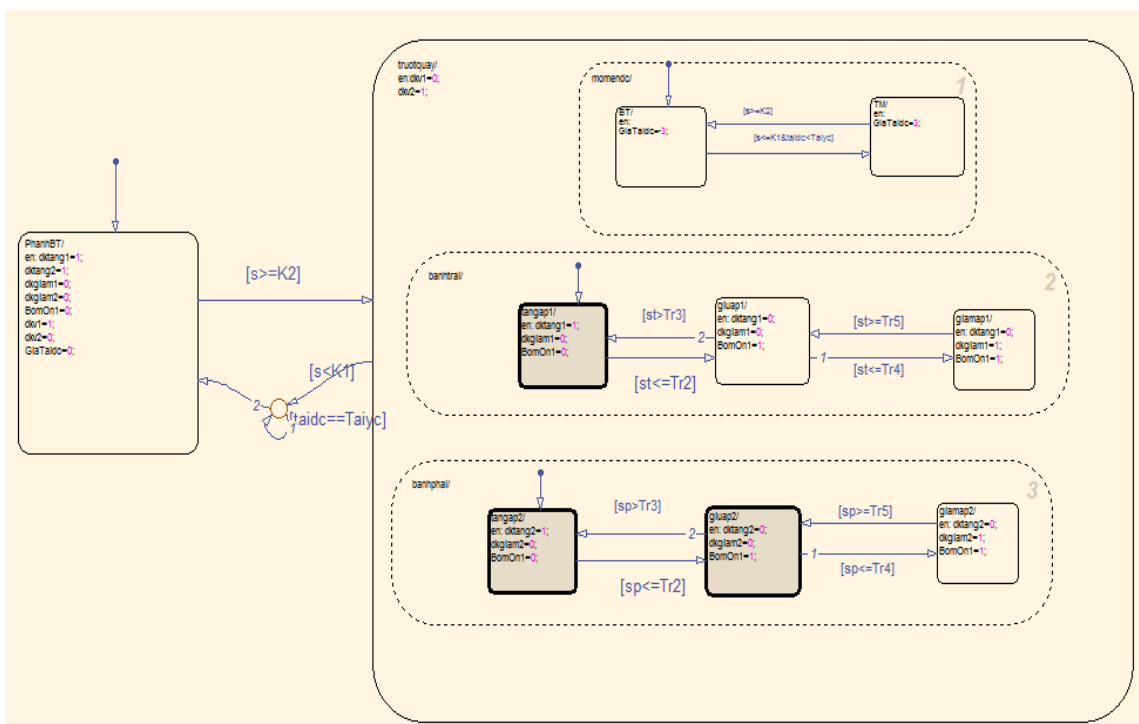
Hình 4 mô tả các trạng thái hoạt động của ECU trung tâm gồm 2 quá trình điều khiển chính: Quá trình phanh bình thường và quá trình khi bánh xe xảy ra hiện tượng trượt quay.

a) Quá trình điều khiển van

Hệ thống gồm 2 trạng thái làm việc:

- Trạng thái trượt quay: Biến điều khiển mở van bình tích năng được đặt bằng 1 (dkv1=1), biến điều khiển mở van xi lanh phanh chính được đặt bằng 0 (dkv2=0).

- Trạng thái bình thường: Biến điều khiển mở xi lanh phanh chính được đặt bằng giá trị 1 (dkv1=1), biến điều khiển mở bình tích năng được đặt bằng 0 (dkv2=0). Việc chuyển đổi trạng thái xác định như sau:



Hình 4. Sơ đồ điều khiển ECU trung tâm

- Chuyển đổi mặc định trạng thái phanh bình thường: biến điều khiển trượt được mặc định ở vị trí phanh bình thường.

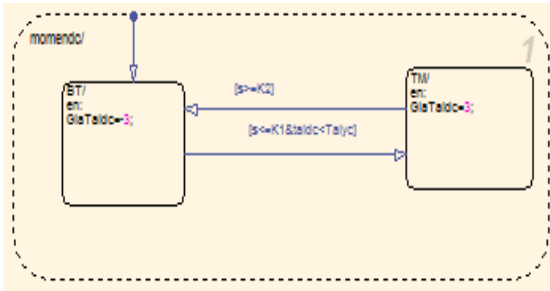
- Chuyển đổi từ ba trạng thái (trượt quay) về trạng thái phanh bình thường: hiệu giá trị độ trượt lớn nhất S của bánh xe chủ động phải nhỏ hơn giá trị định trước (K₁).

- Chuyển đổi từ trạng thái bình thường về trạng thái trượt quay: Giá trị độ trượt bánh xe lớn hơn giá trị định trước (K₂)

b) Quá trình điều khiển động cơ của ECU trung tâm

Gồm 2 trạng thái làm việc: Trạng thái làm việc khi có hiện tượng trượt quay và trạng thái

phanh bình thường (hình 5).



Hình 5. Sơ đồ điều khiển mô men động cơ

- Trạng thái trượt quay: Biến điều khiển giảm mô men động cơ được đặt bằng -3 (GiàTaidc = -3)
- Trạng thái tăng mômen: Biến điều khiển giảm mô men động cơ được đặt bằng 3 (GiàTaidc = 3)
- Trạng thái bình thường: Biến điều khiển giảm mô men động cơ được đặt bằng 0 (GiàTaidc = 0)

Điều kiện chuyển đổi như sau:

- Chuyển đổi mặc định trạng thái giảm mô men: biến điều khiển trượt được mặc định ở vị trí giảm mômen.
- Chuyển đổi từ 2 trạng thái (trượt quay) về trạng thái phanh bình thường: hiệu giá trị độ trượt lớn nhất S của bánh xe chủ động so với bánh trước ở hai phía trái phải nhỏ hơn giá trị định trước (K_1)
- Chuyển đổi từ trạng thái tăng mômen về trạng thái giảm mô men giá trị độ trượt của bánh xe lớn hơn giá trị định trước (K_2) và tải động cơ phải nhỏ hơn tải động cơ yêu cầu ($[Taidc < Taiyc]$);

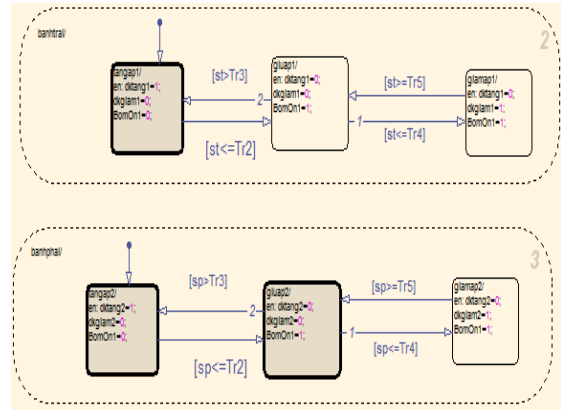
- Chuyển đổi từ trạng thái giảm mô men về trạng thái tăng mô men: giá trị độ trượt bánh xe lớn hơn giá trị định trước (K_3).

c) Quá trình điều khiển van ABS của ECU trung tâm [5]

Hoạt động theo yêu cầu của các điều kiện làm việc của hệ thống gồm 4 trạng thái làm việc thể hiện trong hình 6.

- Trạng thái phanh bình thường: Biến điều khiển tăng áp đặt bằng 1 (dktang = 1), biến điều khiển giảm áp đặt bằng 0 (dkgiam = 0), trạng thái bơm hồi dầu đặt không làm việc (Bom ON = 0).

- Trạng thái tăng áp: Biến điều khiển tăng áp được đặt bằng 1 (dktang = 1), biến điều khiển giảm áp được đặt bằng 0 (dkgiam = 0).



Hình 6. Sơ đồ mô phỏng ECU van ABS

- Trạng thái giữ áp: Biến điều khiển tăng áp được đặt bằng 0 (dktang = 0), biến điều khiển giảm áp được đặt bằng 0 (dkgiam = 0), trạng thái bơm hồi dầu được đặt làm việc (Bom ON = 1).
- Trạng thái giảm áp: Biến điều khiển tăng áp được đặt bằng 0 (dktang = 0), biến điều khiển giảm áp được đặt bằng 0 (dkgiam = 0), trạng thái bơm hồi dầu được đặt làm việc (Bom ON = 1).

Điều kiện của các chuyển đổi từ trạng thái này sang trạng thái khác được xác định như sau:

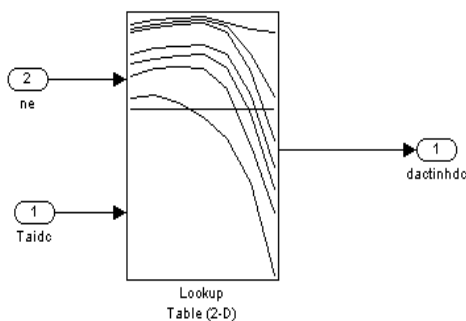
- Chuyển đổi mặc định trạng thái phanh bình thường: khi ô tô chạy trên đường thì độ trượt của các bánh xe sẽ được chuyển đổi mặc định vào trạng thái phanh bình thường.
- Chuyển đổi từ ba trạng thái (tăng áp, giữ áp, giảm áp) về trạng thái phanh bình thường: khi giá trị độ trượt của bánh xe phải nhỏ hơn giá trị trượt định trước, ở đây ta đặt $S \leq Tr_1$.
- Chuyển đổi từ trạng thái tăng áp về trạng thái giữ áp: giá trị độ trượt của bánh xe nhỏ hơn giá trị định trước ($S < Tr_2$).
- Chuyển đổi từ trạng thái giữ áp về trạng thái tăng áp: Giá trị độ trượt của bánh xe lớn hơn giá trị định trước ($S > Tr_3$).
- Chuyển đổi từ trạng thái giữ áp về trạng thái giảm áp: Giá trị độ trượt bánh xe nhỏ hơn giá trị định trước ($S < Tr_4$).
- Chuyển đổi từ trạng thái giảm áp về trạng thái giữ áp: Giá trị độ trượt của bánh xe lớn hơn giá trị định trước ($S > Tr_5$).

*) Mô hình mô phỏng ECU động cơ:

Để điều khiển mô men sinh ra của động cơ thì chỉ cần điều chỉnh tải động cơ. Bằng cách dịch chuyển thanh răng bơm cao áp về phía tăng nhiên liệu hoặc vị trí giảm nhiên liệu, ứng với mỗi vị trí của thanh răng ta được một đường đặc tính mô men. Khi có hiện tượng trượt quay của các bánh xe chủ động, cảm biến tốc độ vòng quay trục khuỷu và cảm biến vị trí bàn đạp ga sẽ đưa tín hiệu tới ECU trung tâm ở đây các dữ liệu sẽ được phân tích, ECU trung tâm sẽ đưa tín hiệu điều khiển tới ECU động cơ. ECU động cơ sẽ điều khiển để giảm, giữ hay tăng mô men động cơ cho phù hợp với tín hiệu đưa tới. Để thử nghiệm mô hình mô phỏng, chúng tôi đã sử dụng số liệu hệ thống phanh và kết quả thí nghiệm trong đề tài thạc sỹ của tác giả Lại Năng Vũ [3].

Bảng 1. Bảng thông số thực nghiệm mô men ứng với các chế độ tải khác nhau

n_x (v/p)	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Chế độ tải (%)	10	30	35	40	75	85	100
Me (Nm)	30	100	137	168	232	243.5	254.8
	40	120	152.7	183	248	259	270
	15.7	127.7	159.7	190	255	266	277.3
	-25	124	164	195	260	270.5	281.1
	-92	60	120	168	232	250.5	262.9
	-230	-115	-15	40.9	112.6	165	240.4
	-513	-322	-250	-180	-97.2	37	234.7



Hình 7. MAP đặc tính động cơ

Hình 7 thể hiện MAP đặc tính động cơ được thiết lập dựa trên khối Lookup Table trong phần mềm Matlab - Simulink với dữ liệu thực nghiệm được lấy từ bảng 1.*) Các bước tiến hành mô phỏng thực hiện qua các phương án khảo sát sau:

Phương án 1: Tăng tốc từ 50% tải lên mức tải 100% cho đến khi đạt được vận tốc cho trước,

khi hệ số bám của các bánh xe chủ động là như nhau.

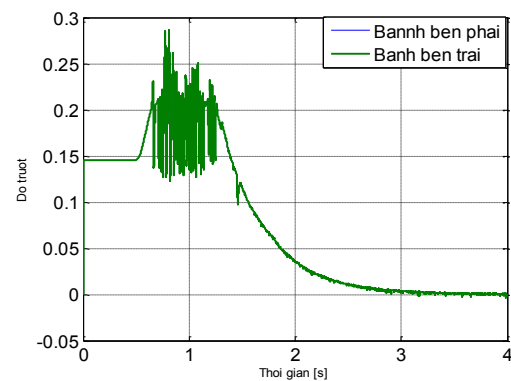
Phương án 2: Tăng tốc từ một chế độ ổn định lên mức tải 100% cho đến khi đạt được vận tốc cho trước, khi hệ số bám của bánh xe chủ động bên trái và bên phải khác nhau.

4. Kết quả và thảo luận

+ Kết quả ô tô đang chạy 50% tải sau đó tăng tốc từ từ lên 70% tải,

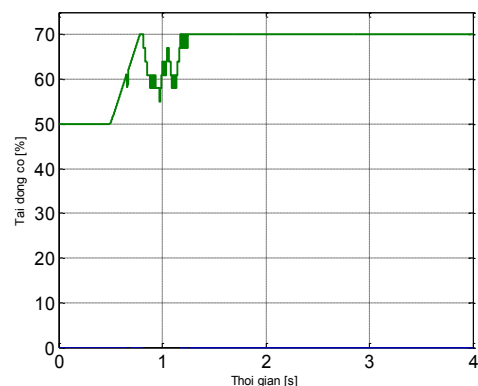
$$\varphi_{max} = 0.7, v = 20km/h$$

Giai đoạn 1: Trong khoảng 0.5 s do ô tô chạy ở mức 50 % tải bánh xe chủ động chưa bị trượt, độ trượt bánh xe không thay đổi, hệ thống chưa hoạt động, mô men phanh bằng 0.



Hình 8. Biểu diễn độ trượt của bánh xe chủ động chạy 50% tải sau đó tăng tốc từ từ lên 70% tải,

$$\varphi_{max} = 0.7, v = 20km/h$$

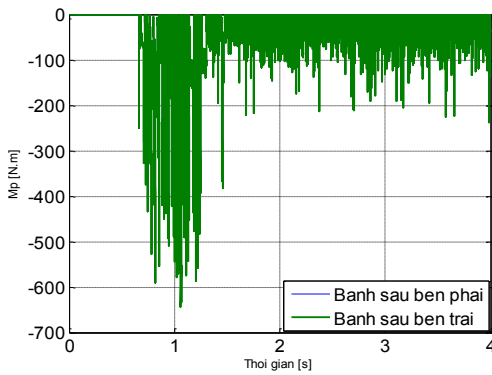


Hình 9. Biểu diễn tải động cơ khi chạy 50% tải sau đó tăng tốc từ từ lên 70% tải,

$$\varphi_{max} = 0.7, v = 20km/h$$

Giai đoạn 2: Do tải động cơ tăng đều, từ mức 50% tải lên 70 %, độ trượt các bánh xe chủ động tăng dần theo đường tuyến tính khoảng 0.3 s độ trượt vượt ngưỡng điều khiển, tải động cơ

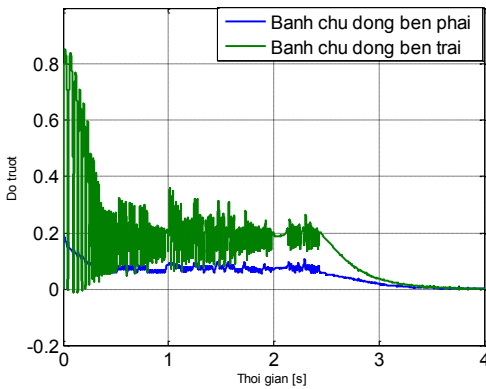
giảm xuống, mô men phanh tăng nhanh.



Hình 10. Biểu diễn Mô men phanh của bánh xe chủ động cơ khi chạy 50% tải sau đó tăng tốc từ từ lên 70% tải, $\varphi_{max} = 0.7, v = 20km/h$

Giai đoạn 3: Sau 1 s độ trượt bánh xe dần ổn định và nằm trong vùng cho phép, khi độ trượt giảm quá yêu cầu, tải động cơ, mô men phanh lại tăng giảm giúp độ trượt ổn định.

Giai đoạn 4: Bánh xe chủ động không bị trượt nữa, độ trượt giảm dần về 0, tải động cơ tăng lên đạt tải yêu cầu, mô men phanh về 0 trong 2.5 s.



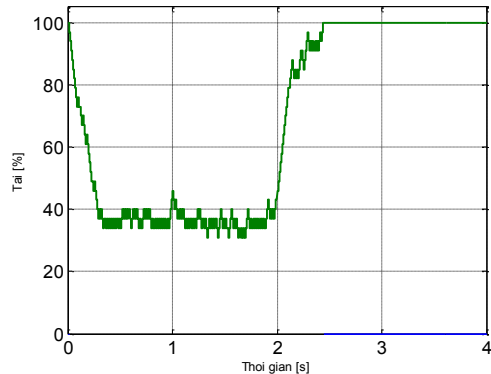
Hình 11. Biểu diễn độ trượt của bánh xe ô tô khi tăng tốc ngay từ đầu đạt 100% tải hệ số bám hai bên khác nhau $\varphi_{max1} = 0.9, \varphi_{max2} = 0.4, v = 20km/h$

+ Kết quả mô phỏng với việc ô tô tăng tốc đột ngột ngay từ đầu đạt 100% tải nhưng hệ số bám hai bên khác nhau. Tác giả chọn hệ số bám của bánh xe với mặt đường có sự chênh lệch lớn, một bên 0.9 và một bên 0.4 với mục đích xác định khả năng có thể điều khiển của ECU trong trường hợp xe mất ổn định có khả năng bị xoay ngang.

$$\varphi_{max1} = 0.9, \varphi_{max2} = 0.4, v = 20km/h$$

Giai đoạn 1: Do hệ số bám hai bên xe khác

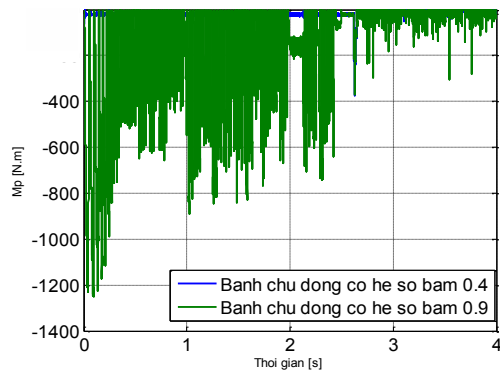
n nhau nên bánh có hệ số bám thấp có độ trượt lớn, bánh có hệ số bám cao không bị trượt, giai đoạn này tải động cơ giảm mạnh còn 37% tải, mô men phanh truyền tới bánh xe bị trượt đạt giá trị lớn nhất, bánh không bị trượt mô men phanh có giá trị bằng 0, độ trượt bánh xe giảm nhưng vẫn nằm ngoài vùng điều khiển.



Hình 12. Biểu diễn mô men động cơ khi ô tô tăng tốc ngay từ đầu đạt 100% tải hệ số bám hai bên khác nhau $\varphi_{max1} = 0.9, \varphi_{max2} = 0.4, v = 20km/h$

Giai đoạn 2: Do sự giảm tải và mô men phanh lớn nên độ trượt của bánh xe luôn nằm trong vùng điều khiển.

Giai đoạn 3: Bánh xe không còn trượt nữa, tải động cơ tăng trở về giá trị tải yêu cầu, mô men phanh dần trở về giá trị 0.



Hình 13. Biểu diễn mô men phanh động bánh xe chủ động khi ô tô tăng tốc đột ngột từ đầu đạt 100% tải hệ số bám hai bên

$$\varphi_{max1} = 0.9, \varphi_{max2} = 0.4, v = 20km/h$$

5. Kết luận

Qua việc mô phỏng bộ ECU điện tử trung tâm của hệ thống điều khiển lực kéo TCS ở các chế độ tải khác nhau ta nhận thấy rằng:

- Đã nghiên cứu, đánh giá được quá trình

điều khiển của ECU trên hệ thống TCS.

- Đã thể hiện được mối quan hệ giữa các thông số như độ trượt, tải động cơ, mô men phanh thay đổi theo thời gian.

- Đã mô tả được quá trình làm việc của ECU trên hệ thống TCS, cũng như phân tích và đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số độ trượt,

tải động cơ, mô men phanh đến hiệu quả tăng tốc của xe ô tô.

- Quá trình chạy mô hình mô phỏng bằng phần mềm Matlab – Stateflow cho kết quả phù hợp với đường đặc tính lý thuyết của hệ thống TCS.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Thống kê của Cục Cảnh sát giao thông đường bộ - đường sắt (C67), 2014.
- [2]. Lại Năng Vũ, Tổng hợp bộ điều khiển điện tử và mô phỏng hệ thống phanh có ABS trên ô tô du lịch-Luận văn thạc sỹ, 2008.
- [3]. Toyota Service training, ABS & Hệ thống điều khiển lực kéo - công ty Toyota Việt Nam, 1998.
- [4]. Đồng Minh Tuấn – Khảo sát, ứng dụng logic mờ trong chẩn đoán hư hỏng hệ thống phanh chính dựa trên xe cơ sở xe Kia 2700II, đề tài khoa học cấp trường, mã số: UTEHY.L.2019.14.
- [5]. Matlab & Simulink –Nguyễn Phùng Quang, 2000.

RESEARCH AND APPLICATION OF MATLAB - STATEFLOW SOFTWARE FOR SIMULATING THE ECU ELECTRONIC OF TRACTION CONTROL SYSTEM ON CAR TRAVEL

Abstract:

This paper presents the main results of the study process of the ECU control center on traction control system (TCS). Perform simulation controller by software Matlab - stateflow, thereby clarifying the physical processes occurring in the control of the ECU. Initial results showed that, with some working mode of the system (TCS), the engine torque parameter, brake pressure, the slip was ECU controller matches the actual curve system.

Keywords: ECU control center, traction control system (TCS).