

ĐIỀU KHIỂN BỀN VỮNG DỰA TRÊN MẠNG NEURON VÀ PHƯƠNG PHÁP RISE BẢO HÒA CHO HỆ THỐNG TREO MACPHERSON TÍCH CỰC NHẪM NÂNG CAO ĐỘ ÊM DỊU CHUYỂN ĐỘNG CHO XE CON

ROBUST CONTROL BASED ON NEURAL NETWORKS AND RISE SATURATION CONTROLLER FOR ACTIVE MACPHERSON SUSPENSION SYSTEM TO IMPROVE RIDE COMFORT

Đinh Thị Thanh Huyền

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu phương pháp kết hợp giữa mạng neuron nhân tạo và phương pháp điều khiển RISE bảo hòa để điều khiển nhằm nâng cao độ êm dịu cho hệ thống treo Macpherson tích cực, trong đó, phương trình động lực học của hệ thống treo có đặc tính phi tuyến, không xác định và chịu tác động của nhiễu. Mạng neuron với khả năng xấp xỉ (universal approximation capability) cho các hàm số được khai thác để bù cho các thành phần không xác định trong phương trình động lực học của hệ thống treo, còn phương pháp điều khiển bền vững RISE bảo hòa với độ lớn của lực tác động được hạn chế trong một giới hạn xác định được sử dụng để dập tắt dao động của khối lượng được treo nhằm nâng cao độ êm dịu chuyển động cho xe. Chương trình mô phỏng Matlab đã kiểm chứng hiệu quả của phương pháp điều khiển trên cả miền thời gian và miền tần số, kết quả được so sánh với hệ thống treo tích cực điều khiển PID, hệ thống treo bán tích cực điều khiển Skyhook cải tiến và hệ thống treo bị động.

Từ khóa: Bộ điều khiển RISE bảo hòa, điều khiển phi tuyến, hệ thống treo tích cực Macpherson, mạng neuron nhân tạo.

ABSTRACT

The paper studies on the control method based on the neural networks and saturation RISE controller for the active Macpherson suspension to improve the ride comfort, whereas, the suspension dynamics include the nonlinear uncertainties and exogenous disturbances. Feedforward neural network with the universal approximation capability is exploited to compensate for the nonlinear uncertainties and the robust saturation RISE controller with the control force limited in a priori limit is used to robustly regulate the vertical displacement of the sprung mass to improve the ride comfort. The Matlab simulations are performed to show the effectiveness of the proposed method in both time domain and frequency domain in comparison with the active suspension with PID controller, the semi-active suspension with a modified Skyhook control and the passive suspension.

Keywords: Saturation RISE controller, nonlinear control, active Macpherson suspension, neural networks.

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

Email: huyentdinh@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/3/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 17/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019

1. TỔNG QUAN

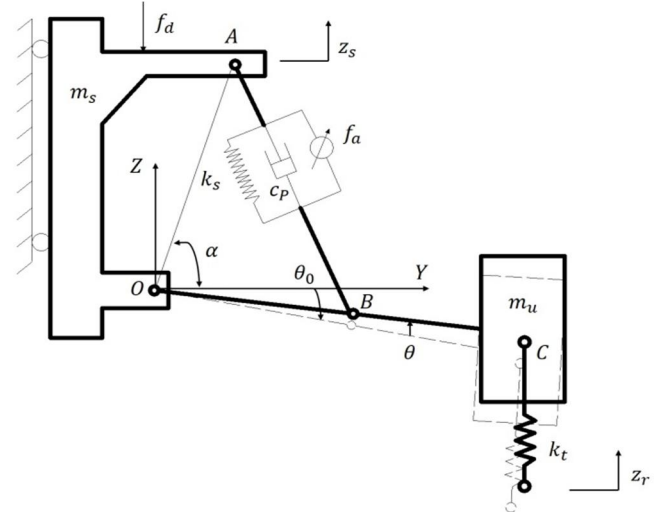
Hệ thống treo Macpherson được giới thiệu lần đầu tiên năm 1949 bởi công ty Ford Motor và ngày nay hệ thống treo này đã được sử dụng rộng rãi trên các phương tiện hiện đại. Về cấu trúc, hệ thống treo Macpherson có thể lắp đặt cho cả hệ thống treo trước và sau, tuy nhiên nó chủ yếu được dùng cho hệ thống treo trước do khối lượng nhỏ, kích thước gọn và cấu trúc đơn giản. Tuy nhiên, về phương diện động học và động lực học, hệ thống treo Macpherson tích cực có mối quan hệ phi tuyến giữa lực điều khiển chủ động và các biến trạng thái: dịch chuyển theo phương thẳng đứng của khối lượng được treo và góc quay của đòn ngang [1-5]. Do vậy, việc tuyến tính hóa quanh trạng thái cân bằng để đưa ra các phương trình động lực học tuyến tính đơn giản, từ đó xây dựng các phương pháp điều khiển (như [6-8]) làm giảm độ chính xác khi áp dụng điều khiển cho các hệ có bản chất phi tuyến. Vấn đề đặt ra là cần thiết kể các phương pháp điều khiển xét đến đúng bản chất phi tuyến và luôn có nhiễu tác động của hệ thống treo Macpherson tích cực.

Mục tiêu của vấn đề điều khiển trong hệ thống treo là nâng cao độ êm dịu chuyển động (ride comfort), trong khi giữ đủ độ bám mặt đường (road-holdings) để duy trì độ an toàn chuyển động của xe. Thông thường, độ êm dịu chuyển động của xe được đánh giá qua việc dập tắt gia tốc dao động thẳng đứng của thân xe, trong khi yêu cầu về thiết kế được đánh giá qua giới hạn của không gian giữa phần khối lượng được treo và khối lượng không được treo (rattle space constraint) và yêu cầu về độ bám mặt đường được đánh giá qua độ biến dạng của lốp [9]. Đây là ba tiêu chí để đánh giá hệ thống treo, tuy nhiên các chỉ tiêu này thông thường mâu thuẫn với nhau, do vậy, khó có thể đạt đồng thời cả ba chỉ tiêu trong khi hệ thống treo tích cực là các hệ không đủ điều khiển (underactuated systems). Do vậy, yêu cầu đặt ra là thiết kế các phương pháp điều khiển để nhanh chóng dập tắt dao động của khối lượng được treo dưới tác động của kích thích liên tục từ mặt đường,

nhằm nâng cao độ êm dịu chuyển động, trong khi giữ đủ độ bám mặt đường. Tiêu chí về độ êm dịu là tiêu chí ưu tiên khi thiết kế điều khiển cho hệ thống treo và tiêu chí này được tập trung đánh giá trên miền tần số từ 1-30Hz của kích thích mặt đường. Một số các công trình tiêu biểu nghiên cứu về hệ thống này có thể kể đến như: phương pháp điều khiển H_∞ như [10-11], tuy nhiên mục tiêu chung của phương pháp này là cực tiểu hóa một hàm chi phí (cost function) được xây dựng dựa trên các chỉ tiêu về gia tốc dao động thẳng đứng của thân xe (độ êm dịu), biến dạng của lốp (độ an toàn chuyển động), giới hạn của không gian giữa khối lượng được treo và khối lượng không được treo, cũng như yêu cầu về giới hạn của lực tác động, các chỉ tiêu này được nhân cùng các trọng số để ra một hàm chi phí chung. Như vậy, trong hàm chi phí của phương pháp điều khiển H_∞ bao hàm tất cả các chỉ tiêu mong muốn của một hệ thống treo. Nhưng việc chọn lựa được tỉ lệ trọng số phù hợp giữa các chỉ tiêu là một vấn đề khó, hơn nữa phương pháp này đòi hỏi phải tuyến tính hóa phương trình động lực học của hệ quanh vùng làm việc. Các phương pháp điều khiển xét đến bản chất phi tuyến của hệ thống treo như phương pháp gain-scheduling [12] và back-stepping [13] đòi hỏi rất nhiều các thí nghiệm để xác định các tham số của hệ thống. Phương pháp điều khiển áp dụng cho hệ thống treo Macpherson không xác định được giới thiệu trong [14] được xây dựng dựa trên tổ hợp của phương pháp điều khiển sliding-mode, fuzzy logic và mạng neuron nhưng tín hiệu điều khiển được thiết kế là tín hiệu rời rạc, do vậy sẽ đi kèm với các hạn chế như gây ra vấn đề rung rật của cơ cấu chấp hành.

Phát triển từ kết quả nghiên cứu của tác giả trong [15] khi phương pháp điều khiển cho hệ thống treo Macpherson tích cực trong điều kiện phương trình động lực học không xác định và có nhiễu tác động ngoài, chỉ sử dụng phương pháp điều khiển RISE bảo hòa, dẫn tới đòi hỏi các tham số điều khiển lớn. Nội dung của bài báo này tập trung vào việc thiết kế bộ điều khiển dựa trên mạng neuron và phương pháp điều khiển RISE bảo hòa nhằm nâng cao độ êm dịu của xe. Cấu trúc của bộ điều khiển bao gồm mạng neuron được sử dụng nhằm xấp xỉ cho các thành phần không xác định trong phương trình động lực học của hệ, các ma trận trọng số của mạng neuron được cập nhật liên tục dựa trên luật cập nhật, còn bộ điều khiển RISE bảo hòa là phương pháp điều khiển bền vững được sử dụng nhằm triệt tiêu cho tác động của kích thích mặt đường, nhiễu tác động ngoài và sai số xấp xỉ của mạng neuron. Việc kết hợp với mạng neuron nhằm giảm yêu cầu tham số điều khiển lớn của bộ điều khiển RISE vì một phần không xác định của phương trình động lực học đã được triệt tiêu bởi mạng neuron. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm chứng trên cả miền thời gian và tần số, được so sánh với kết quả điều khiển trên hệ thống treo tích cực điều khiển PID, hệ thống treo bán tích cực điều khiển Skyhook cải tiến và hệ thống treo bị động thông qua chương trình mô phỏng trên Matlab.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG TREO MACPHERSON TÍCH CỰC



Hình 1. Mô hình dao động 1/4 xe của hệ thống treo Macpherson tích cực

Mô hình hệ thống treo 1/4 xe thường được sử dụng để phân tích và thiết kế luật điều khiển cho hệ thống treo. Mô hình này được biểu diễn trên hình 1. Các nghiên cứu về việc thành lập phương trình động lực học cho hệ thống treo Macpherson đã được nghiên cứu trong các bài báo [1-5] với các giả thiết phổ biến như sau: (1) bỏ qua các chuyển động ngang của khối lượng được treo, tức là chỉ xét dao động theo phương thẳng đứng của khối lượng được treo, (2) tất cả các thành phần của hệ thống treo trừ lốp xe là tuyệt đối cứng, (3) khối lượng của đòn ngang dưới, thành phần lò xo, giảm chấn coi như không đáng kể, (4) lò xo, lốp xe và giảm chấn nằm trong vùng tuyến tính của chúng. Lựa chọn dao động thẳng đứng của khối lượng được treo z_s và góc quay của đòn ngang dưới θ là các tọa độ suy rộng thì phương trình dao động của hệ thống treo tích cực Macpherson được biểu diễn như sau:

$$\dot{x}(t) = F(x) + G(x_3)u_a(t) + H(x_3)z_r(t) + d(t) \quad (1)$$

Trong đó: $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4] \triangleq [z_s \ \dot{z}_s \ \theta \ \dot{\theta}]$ là vector trạng thái của hệ, $u_a \in R$ là lực điều khiển tích cực, $z_r \in R$ là kích thích từ mặt đường, $d \in R^4$ là thành phần bất định trong phương trình động lực học (1) biểu diễn các nhiễu ngoài tác động vào hệ thống hoặc các phần động lực học chưa được xét đến của hệ. Các vector $F, G, H \in R^4$ là các hàm phi tuyến bao hàm các thành phần bất định trong phương trình động lực học của hệ (tham khảo trong bài báo [15]).

3. MỤC TIÊU ĐIỀU KHIỂN VÀ THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰA TRÊN MẠNG NEURON VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN RISE BẢO HÒA

Khối lượng được treo hay thân xe luôn dao động dưới tác động của kích thích từ mặt đường, nhiệm vụ của bộ điều khiển hệ thống treo tích cực Macpherson là dập tắt nhanh gia tốc dao động thẳng đứng của thân xe nhằm nâng cao độ êm dịu chuyển động, đồng thời vẫn giữ đủ độ bám mặt đường để đảm bảo độ an toàn chuyển động cho

ô tô. Về phương diện điều khiển, hệ thống treo tích cực Macpherson là hệ thống thiếu cơ cấu chấp hành (under-actuated system) [15], do vậy rất khó để đạt đồng thời cả hai mục tiêu $z_s \rightarrow 0$ và $\theta \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$. Tuy nhiên, để đảm bảo độ an toàn chuyển động cho ô tô, góc quay của đòn ngang dưới θ chỉ yêu cầu bị chặn trong một giới hạn xác định, và điều này có thể đạt được khi độ lớn của lực chủ động u_a bị hạn chế trong một giới hạn cho trước. Do vậy, mục tiêu điều khiển đối với hệ thống treo tích cực Macpherson là thiết kế tín hiệu điều khiển u_a sao cho đồng thời cả biên độ, vận tốc, gia tốc dao động thẳng đứng của khối lượng được treo $z_s, \dot{z}_s, \ddot{z}_s \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$, với tín hiệu điều khiển bị hạn chế trong một giới hạn cho trước \bar{u} .

Từ mục tiêu điều khiển và các bước thiết kế luật điều khiển RISE bảo hòa, các sai số điều khiển và sai số điều khiển phụ trợ được định nghĩa như sau:

$$e_1 \triangleq z_s, e_2 \triangleq \dot{e}_1 + \alpha_1 \tanh(e_1) + \tanh(e_f) \quad (2)$$

$$r \triangleq \dot{e}_2 + \alpha_2 \tanh(e_2) + \alpha_2 e_2 \quad (3)$$

Với $\alpha_1, \alpha_2 \in R^+$ là các hằng số điều khiển dương và tín hiệu $e_f \in R$ là tín hiệu ra của hệ con có phương trình như sau:

$$\dot{e}_f \triangleq \cosh^2(e_f) \{-\gamma_1 e_2 + \tanh(e_1) - \gamma_2 \tanh(e_f)\} \quad (4)$$

Với $\gamma_1, \gamma_2 \in R^+$ cũng là các hằng số điều khiển dương. Giả thiết rằng đo được hoàn toàn các biến trạng thái biên độ dao động và vận tốc dao động thẳng đứng z_s, \dot{z}_s của khối lượng được treo. Căn cứ vào định nghĩa (2)-(4), các sai số điều khiển e_1, e_2 là các tín hiệu đo được, nên có thể sử dụng để thiết kế điều khiển; còn tín hiệu r là tín hiệu không đo lường được, được sử dụng trong quá trình phát triển luật điều khiển.

Phương trình (3) của hệ hở được viết lại dựa trên phương trình (1)-(4) như sau:

$$r = C\dot{x} - \gamma_1 e_2 + S \quad (5)$$

Với $C \triangleq [\alpha_2 \quad 1 \quad 0 \quad 0]$ và

$$S = \alpha_1 \cosh^{-2}(e_1)(e_2 - \alpha_1 \tanh(e_1) - \tanh(e_f)) + \alpha_2 \tanh(e_2) + (1 + \alpha_1 \alpha_2) \tanh(e_1) - (\gamma_2 - \alpha_2) \tanh(e_f).$$

Mục tiêu điều khiển là dập tắt nhanh dao động của hệ thống treo tích cực Macpherson (1) có thể đạt được bằng sự lựa chọn của lực điều khiển tích cực u_a có dạng như sau:

$$u_a \triangleq -\hat{\Omega}^{-1} \gamma_1 \tanh(u) \quad (6)$$

Với các thành phần trong luật điều khiển RISE bảo hòa (6) sẽ được giải thích cụ thể sau đây: $\hat{\Omega} \in R$ là hằng số, $\hat{\Omega} \triangleq C\hat{G}$ với $\hat{G} \in R^4$ là hằng số ước lượng tốt nhất cho ma trận đầu vào G trong (1). Hằng số $\hat{\Omega}$ trong (6) được giả sử là khả nghịch, hay có tồn tại nghịch đảo. Thêm nữa, $u(t) \in R$ là tín hiệu phụ trợ và là tín hiệu ra của hệ con thứ hai như sau:

$$\dot{u} \triangleq \cosh^2(u) [\alpha_2 \tanh(e_2) + \alpha_2 e_2 + \beta_1 \operatorname{sgn}(e_2) + W^T \sigma(V^T x)] \quad (7)$$

Với $\beta_1 \in R^+$ là hằng số điều khiển, phần $W^T \sigma(V^T x)$ là mạng neuron hai lớp truyền thẳng để xấp xỉ cho một phần của (5), với $W \in R^l$ và $V \in R^{4 \times l}$ là các ma trận trọng số của mạng neuron có l neuron trong lớp ẩn và hàm $\sigma(\cdot) \in R^l$ là hàm hoạt động của mạng neuron (thường được chọn là hàm sigmoid hoặc tanh). Ngoài ra, các ma trận trọng số W, V được cập nhật theo quy luật sau [16]:

$$\dot{W} = \operatorname{proj}(\Gamma_w \sigma e_2), \dot{V} = \operatorname{proj}(\Gamma_v x e_2 W^T \sigma') \quad (8)$$

Với $\Gamma_w \in R^{l \times l}, \Gamma_v \in R^{4 \times 4}$ là các ma trận hằng số, xác định dương và đối xứng và $\sigma' = d\sigma(\xi) / d\xi|_{\xi=V^T x}$.

Phân tích luật điều khiển được lựa chọn trong (6), từ tính chất của hàm *tanh*, ta thấy lực điều khiển tích cực u_a bị bảo hòa trong giới hạn $|\hat{\Omega}^{-1} \gamma_1|$. Bằng việc lựa chọn thích

hợp các hằng số điều khiển $\gamma_1, \hat{\Omega}$ có thể thay đổi được giới hạn bảo hòa của lực điều khiển u_a để đảm bảo được rằng độ lớn lực điều khiển u_a nằm trong một giới hạn cho trước \bar{u} , tức là: $|u_a| \leq |\hat{\Omega}^{-1} \gamma_1| \leq \bar{u}$.

Các bước phân tích ổn định theo lý thuyết ổn định Lyapunov không được trình bày trong bài báo này do giới hạn của bài báo, cũng như định hướng của bài báo này là tập trung giới thiệu phương pháp và kết quả mô phỏng kiểm chứng của thuật toán.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Hiệu quả của bộ điều khiển đưa ra được kiểm chứng qua chương trình mô phỏng được xây dựng trên phần mềm Matlab, áp dụng cho hệ thống treo tích cực Macpherson có các tham số động học và động lực học cho trong bảng 1. Nhiều tác động $d(t)$ được lựa chọn có dạng tổ hợp của ma sát tĩnh và ma sát động có dạng: $d = [0 \quad d_1(t) \quad 0 \quad d_2(t)]$, trong đó $d_1 = 5,3x_2 + 8,45 \tanh(x_2)$ và $d_2 = 1,1x_4 + 2,35 \tanh(x_4)$. Lực điều khiển u_a bị hạn chế trong giới hạn $|u_a| \leq \bar{u} = 2700N$, đây chính là giới hạn lớn nhất của lực giảm chấn tích cực trong [5]. Các hằng số điều khiển của bộ điều khiển đề xuất được lựa chọn như sau: $\alpha_1 = 2, \alpha_2 = 5, \gamma_1 = 420, \gamma_2 = 2, \beta_1 = 0,1$, ước lượng của ma trận đầu vào $\hat{G} = [0 \quad 0,002 \quad 0 \quad 0,0436]^T$. Điều kiện ban đầu của hệ thống và các hệ con là $x(0) = 0, v(0) = 0, e_f(0) = 0$. Mạng neuron được thực hiện với 7 neuron lớp ẩn và các tham số $\Gamma_w = 0,5I_{7 \times 7}, \Gamma_v = I_{4 \times 4}$ và hệ số ban đầu của các ma trận trọng số được chọn bằng 0.

Bảng 1. Các tham số động học và động lực học của hệ thống treo Macpherson

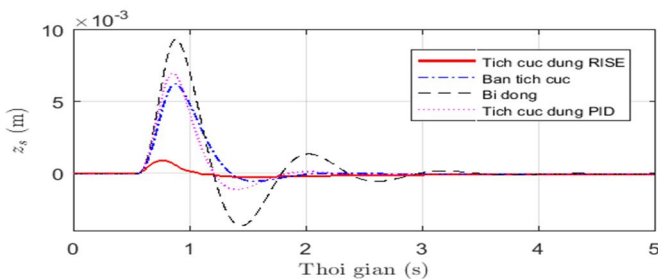
Tham số	Kí hiệu	Giá trị
Khối lượng được treo	m_s	453 (kg)
Khối lượng không được treo	m_u	71 (kg)
Độ cứng của lò xo	k_s	17658 (N/m)
Độ cứng của phần tử lốp	k_t	183887 (N/m)
Hệ số cản giảm chấn	c_p	1950 (N.sec/m)
Tọa độ của điểm A	y_A/z_A	0,1074/0,5825 (m)

Chiều dài đòn ngang dưới	l_b	0,34 (m)
Khoảng cách OC	l_c	0,37 (m)
Góc quay ban đầu của đòn ngang	θ_0	$-13,7^\circ$

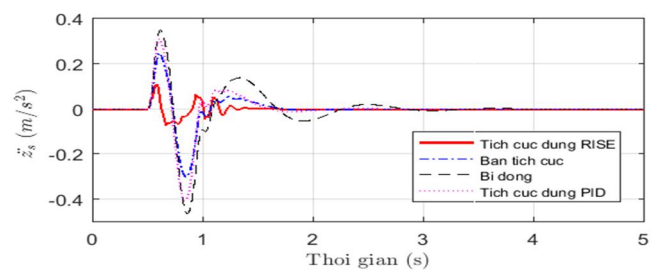
4.1. Kết quả mô phỏng trên miền thời gian

Trong mô phỏng trên miền thời gian, ô tô được giả sử di chuyển với vận tốc cố định 50mph và chịu tác động của kích thích mặt đường dạng bậc cho bởi $z_r = |z_r| [1 - \cos(\omega_r(t - 0,5))]$ với $0,5 \leq t \leq T + 0,5$ và $z_r = 0$ nếu $t < 0,5$ hoặc $t > T + 0,5$, trong đó $|z_r| = 5\text{cm}$ là nửa chiều cao của mấp mô mặt đường, $\omega_r = 2\pi V / D_r = 2\pi / T$ là tần số kích thích của mặt đường, $D_r = 10\text{m}$ là chiều rộng của mấp mô mặt đường.

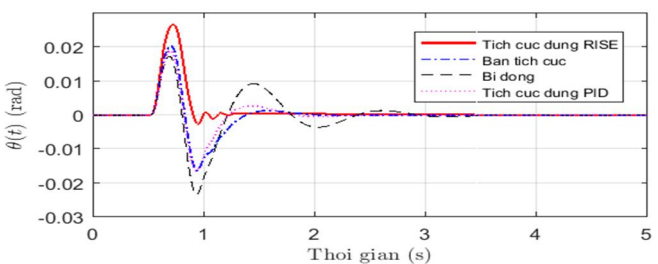
Kết quả điều khiển của bộ điều khiển RISE bảo hòa kết hợp mạng neuron trên hệ thống treo tích cực Macpherson được so sánh với 3 hệ thống treo khác: hệ thống treo bị động, hệ thống treo bán tích cực điều khiển Skyhook cải tiến [5] với các tham số điều khiển $K_1 = 200, K_2 = 20$ và hệ thống treo tích cực điều khiển bằng luật điều khiển PID, trong đó $K_p = 2400, K_i = 100, K_D = 1150$. Các tham số điều khiển này đều được lựa chọn trong các kết quả điều khiển tốt nhất của các bộ điều khiển tương ứng trong giới hạn đã cho cho lực điều khiển.



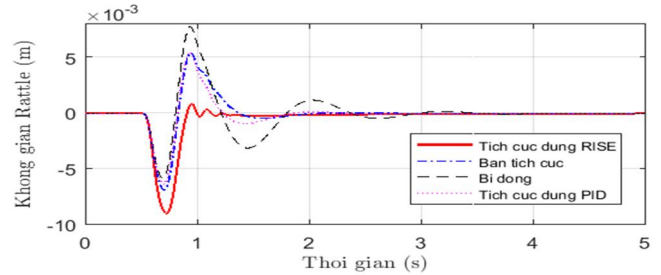
Hình 2. Biên độ dao động thẳng đứng của khối lượng được treo dưới tác động của kích thích bậc



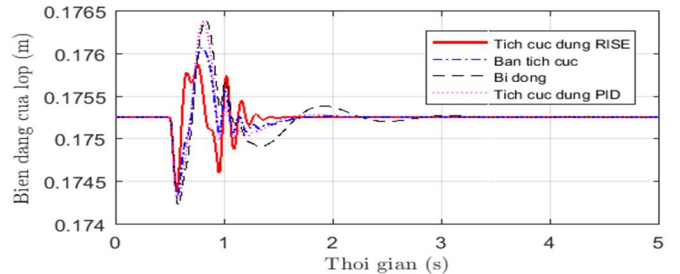
Hình 3. Gia tốc dao động thẳng đứng của khối lượng được treo dưới tác động của kích thích bậc



Hình 4. Góc quay đòn ngang dưới tác động của kích thích bậc



Hình 5. Khoảng cách giữa khối lượng được treo và khối lượng không được treo (Rattle space) dưới tác động của kích thích bậc



Hình 6. Biến dạng của lớp dưới tác động của kích thích bậc

Để đánh giá hiệu quả của phương pháp điều khiển được giới thiệu, các đồ thị của dịch chuyển z_s , gia tốc dao động z_s'' , góc quay của đòn ngang θ , khoảng cách giữa khối lượng được treo và khối lượng không được treo y_{sd} (không gian rattle), biến dạng của lớp y_{td} lần lượt được đưa ra ở hình 2-6. Nhận thấy, biên độ dao động và gia tốc dao động của khối lượng được treo của hệ thống treo tích cực sử dụng bộ điều khiển đề xuất dập tắt nhanh hơn và có độ vọt lố nhỏ hơn so với các trường hợp còn lại. Trong khi đó, góc quay của đòn quay ngang, không gian rattle và biến dạng của lớp được giữ trong giới hạn chấp nhận được. Tuy nhiên còn quá sớm để kết luận về độ êm dịu, vì đây là kết quả tại 1 tần số xác định. Để đánh giá tốt hơn cần thực hiện mô phỏng trên miền tần số.

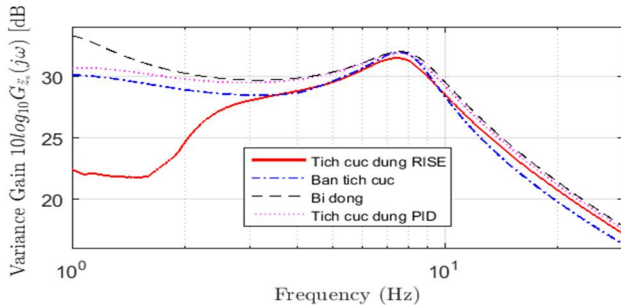
4.2. Kết quả mô phỏng trên miền tần số

Trong mô phỏng trên miền tần số, kích thích mặt đường được lựa chọn dưới dạng hàm điều hòa hình sin có dải tần số f thay đổi từ 1 tới 30Hz, tức $z_r = A \sin(2\pi ft)$ với $t \in [0, NT]$ với N chọn đủ lớn, thông thường $N = 15$ và $T = 1/f$ (s). Hệ số tiêu chuẩn (Variance Gain) sử dụng để đánh giá được định nghĩa như sau:

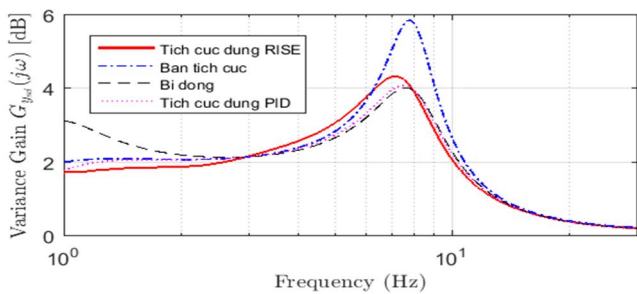
$$G_z(j\omega) = \frac{\int_0^{2\pi N/\omega} z^2 dt}{\int_0^{2\pi N/\omega} z_r^2 dt}$$

Với z là đại lượng quan tâm, đó lần lượt là gia tốc z_s'' , không gian rattle y_{sd} và biến dạng của lớp y_{td} . Đồ thị kết quả được biểu diễn ở hình 7-9. Nhận thấy, về phương diện độ êm dịu chuyển động, hệ thống treo tích cực sử dụng bộ điều khiển đề xuất tốt hơn bộ điều khiển PID và hệ thống treo bị động trong mọi tần số và hệ thống treo tích cực sử dụng điều khiển đề xuất cũng có kết quả tốt hơn so với hệ thống

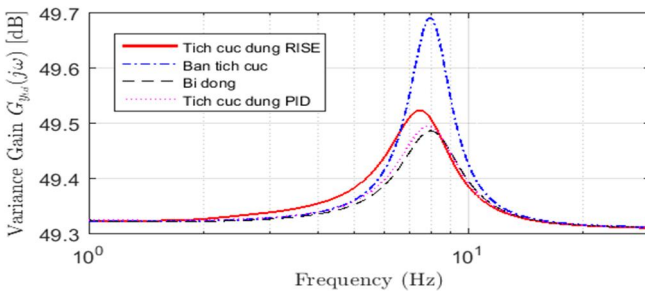
treo bán tích cực điều khiển Skyhook cải tiến trong dải tần số 4 - 8Hz (đây là dải tần số ảnh hưởng nhiều nhất đến con người). Về phương diện độ an toàn chuyển động thì kết quả của phương pháp điều khiển đề xuất có giá trị đỉnh variance gain của y_{sd} và y_{td} đều nhỏ hơn của hệ thống treo bán tích cực và không lớn hơn nhiều so với hai phương pháp còn lại. Như vậy có thể khẳng định độ êm dịu chuyển động được cải thiện đáng kể với phương pháp điều khiển đề xuất, trong khi độ an toàn chuyển động ở trong giới hạn chấp nhận được.



Hình 7. Variance gain của gia tốc \dot{z}_s



Hình 8. Variance gain của không gian rattle y_{sd}



Hình 9. Variance gain của biến dạng của lò y_{td}

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu phương pháp điều khiển RISE bảo hòa kết hợp với mạng neuron cho mô hình phi tuyến của hệ thống treo tích cực Macpherson. Với lực điều khiển bị hạn chế trong một giới hạn xác định. Trong bộ điều khiển, mạng neuron được sử dụng nhằm xấp xỉ cho các thành phần không xác định trong phương trình động lực học của hệ, các ma trận trọng số của mạng neuron được cập nhật liên tục dựa trên luật cập nhật online. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm chứng trên cả miền thời gian và tần số và được so sánh với kết quả điều khiển trên hệ thống treo tích cực điều khiển PID, hệ thống treo bán tích cực điều khiển Skyhook cải tiến và hệ thống treo bị động thông qua chương trình mô phỏng trên Matlab.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hong K.S., Jeon D.S., Yoo W.S., Sunwoo H., Shin S.Y., Kim C.M., Park B.S., 1999. A new model and an optimal pole-placement control of the macpherson suspension system. *SAE Technical Paper*, 2452-2461.
- [2]. Fallah M., Bhat R., Xie W., 2009. New model and simulation of macpherson suspension system for ride control applications. *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 47, no. 2, pp. 195-220.
- [3]. Shojaeefard M. H., Khalkhali A., Yarmohammadisatri S., 2017. An efficient sensitivity analysis method for modified geometry of macpherson suspension based on pearson correlation coefficient. *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 55, no. 6, pp. 827-852.
- [4]. Dutta S., Choi S.M., Choi S.B., 2016. A new adaptive sliding mode control for macpherson strut suspension system with magneto-rheological damper. *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 27, no. 20, pp. 2795-2809.
- [5]. Hedrick J. K., 2002. Modified skyhook control of semi-active suspensions: A new model, gain scheduling, and hardware-in-the-loop tuning. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 124, pp. 158-167.
- [6]. Akraminia, M., Tatari, M., Fard, M., Jazar, R. N., 2015. Designing active vehide suspension system using critic-based control strategy. *Nonlinear Engineering*, vol. 4, pp. 141-154.
- [7]. Kaleemullah, M., và Faris, W. F., 2014. Active suspension control of vehide with uncertainties using robust controllers. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, vol. 9, pp. 293-310.
- [8]. Lauwerys, C., Swevers, J., Sas, P., 2005. Robust linear control of an active suspension on a quarter car test-rig. *Control engineering practice*, vol. 13, pp. 577-586.
- [9]. Hrovat, D., 1997. Survey of advanced suspension developments and related optimal control applications. *Automatica*, vol. 33, pp. 1781-1817.
- [10]. Du, H., Lam, J., and Sze, K. Y., 2005. Design of non-fragile H_∞ controller for active vehide suspensions. *Modal Analysis*, vol. 11, pp. 225-243.
- [11]. Fialho, I. J., and Balas, G. J., 2000. Design of nonlinear controllers for active vehide suspensions using parameter-varying control synthesis. *Vehicle System Dynamics*, vol. 33, pp. 351-370.
- [12]. Fialho, I., Balas, G. J., 2002. Road adaptive active suspension design using linear parameter-varying gain-scheduling. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 10, pp. 43-54.
- [13]. Lin, J.-S., Kanellakopoulos, J., 1997. Road-adaptive nonlinear design of active suspensions. In *American Control Conference, Proceedings of the 1997*, pp. 714-718.
- [14]. Al-Holou, N., Lahdhiri, T., Joo, D. S., Weaver, J., Al-Abbas, F., 2002. Sliding mode neural network inference fuzzy logic control for active suspension systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 10, pp. 234-246
- [15]. Đinh Thị Thanh Huyền, 2017. Điều khiển hệ thống treo tích cực Macpherson bằng bộ điều khiển RISE bảo hòa. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Quốc gia HCM*, số K5/2017, trang 42-48.
- [16]. H. T. Dinh, R. Kamalapurkar, S. Bhasin, W. E. Dixon, 2014. Dynamic Neural Network-based Robust Observers for Uncertain Nonlinear Systems. *Neural Networks*, pp. 44-52.

AUTHOR INFORMATION

Đinh Thị Thanh Huyền

Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications