



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.1.24-35>

***Corresponding author:**

Email address:

hieuchm.brt@gmail.com

Received: 08/12/2024

Received in Revised Form:

11/01/2025

Accepted: 14/01/2025

Evaluation of the Ride Comfort of an Active Suspension System for 1/4 Car Using PID and Fuzzy Controllers in MATLAB/SIMULINK

Cao Huynh Minh Hieu^{1*}, Nguyen Thuy Luu²

¹Faculty of Mechanical and Dynamic Engineering, Ba Ria - Vung Tau College of Technology, Viet Nam

²Faculty of Basic Theory and Culture, Ba Ria - Vung Tau College of Technology, Viet Nam; email: luunt@bctech.edu.com

Abstract: The study evaluates the ride comfort of a 1/4 car active suspension system under various road conditions with continuous excitation frequencies, using PID and Fuzzy controllers. A simulation model was developed in MATLAB/SIMULINK to compare the performance of the two controllers. Results indicate that the PID controller demonstrates high accuracy and effectiveness in reducing vibrations, while the Fuzzy controller, despite being more flexible and efficient, faces challenges in achieving precise and smooth control. The study highlights the superiority of the PID controller in applications requiring high stability and rapid response.

Keywords: Active Suspension System for a 1/4 car, PID Controller, Fuzzy Controller, Vehicle Oscillations.



Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:
<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.1.24-35>

*Tác giả liên hệ:
Địa chỉ Email:
hieuchm.brt@gmail.com

Ngày nộp bài: 08/12/2024
Ngày nộp bài sửa: 11/01/2025
Ngày chấp nhận: 14/01/2025

Đánh giá độ êm dịu của hệ thống treo chủ động 1/4 xe bằng bộ điều khiển PID và Fuzzy trên phần mềm MATLAB/SIMULINK

Cao Huỳnh Minh Hiếu^{1*}, Nguyễn Thủy Lưu²

¹Khoa Cơ Khí Động Lực, Trường Cao Đẳng Kỹ Thuật Công Nghệ Bà Rịa – Vũng Tàu, Việt Nam

²Khoa Lý thuyết cơ bản – Văn hóa, Trường Cao Đẳng Kỹ Thuật Công Nghệ Bà Rịa – Vũng Tàu, Việt Nam; email: luunt@bctech.edu.com

Tóm tắt: Bài báo nghiên cứu đánh giá độ êm dịu của hệ thống treo chủ động 1/4 xe dưới các điều kiện đường xá khác nhau với tần số kích ứng liên tục, bằng cách sử dụng bộ điều khiển PID và Fuzzy. Mô hình được xây dựng trên MATLAB/SIMULINK để so sánh hiệu suất của hai bộ điều khiển. Kết quả cho thấy PID đạt độ chính xác cao và hiệu quả trong việc giảm dao động, trong khi Fuzzy mặc dù linh hoạt và hiệu quả cao hơn tuy nhiên gặp khó khăn trong việc điều khiển chính xác và mượt mà. Nghiên cứu khẳng định ưu thế của PID trong các ứng dụng yêu cầu độ ổn định và đáp ứng nhanh.

Từ khóa: Hệ thống treo chủ động 1/4 xe, bộ điều khiển PID, bộ điều khiển Fuzzy, dao động ô tô.

1. Đặt vấn đề

1.1. Giới thiệu

Dao động của ô tô không chỉ gây ảnh hưởng tiêu cực đến độ êm dịu và an toàn khi vận hành mà còn tác động xấu đến độ bền của các cụm tổng thành và cảm giác lái. Nghiên cứu quốc tế, như của Chen và cộng sự [1], đã chỉ ra rằng dao động không kiểm soát có thể làm giảm đáng kể mức độ thoải mái của người lái và hành khách, đặc biệt trên các địa hình phức tạp. Hệ thống treo bị động truyền thống tuy phổ biến nhưng chỉ hoạt động hiệu quả trên các điều kiện đường nhất định, trong khi đó, hệ thống treo chủ động với khả năng điều chỉnh đặc tính giảm chấn và đàn hồi theo thời gian thực được xem là giải pháp tối ưu để cải thiện cả độ êm dịu và ổn định chuyển động [2].

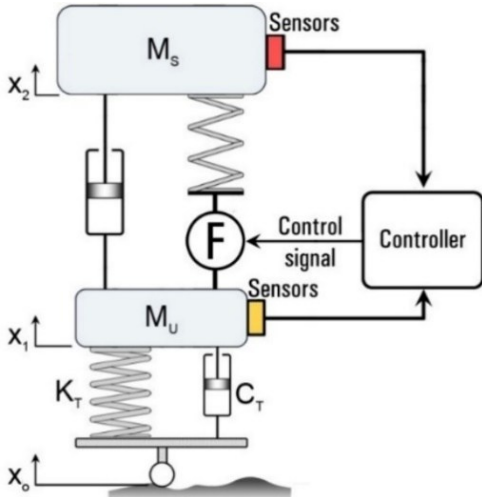
Tại Việt Nam, các nghiên cứu trong lĩnh vực này vẫn còn nhiều hạn chế, chủ yếu tập trung vào việc cải tiến hệ thống treo bị động. Một số nghiên

cứu gần đây đã đề cập đến hệ thống treo chủ động, nhưng việc áp dụng các thuật toán điều khiển tiên tiến trên địa hình thực tế vẫn chưa được khai thác triệt để. Bài báo này tập trung đánh giá hiệu suất của hệ thống treo chủ động 1/4 xe bằng cách sử dụng bộ điều khiển PID và fuzzy, thực hiện mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink. Kết quả nghiên cứu không chỉ khắc phục các hạn chế của các nghiên cứu trước đây mà còn đề xuất một giải pháp khả thi nhằm nâng cao độ êm dịu và tính ổn định của xe trên địa hình đa dạng, đóng góp tích cực vào việc phát triển công nghệ ô tô hiện đại tại Việt Nam.

1.2. Phân tích Hệ thống treo chủ động

Hệ thống treo chủ động là hệ thống treo kết hợp các thành phần bị động với các bộ chấp hành để cung cấp thêm lực, kéo hoặc đẩy khối lượng thân xe, từ đó đạt được mức độ êm dịu mong muốn và ngăn chặn các rung động do bất thường từ mặt

đường. Các hệ thống điều khiển chủ động có thể cải thiện chất lượng hệ thống treo thông qua việc bổ sung một bộ giảm chấn chủ động, tạo ra lực tức thời giúp đỡ tải và đảm bảo sự an toàn, thoải mái cho người lái, đồng thời chống lại các yếu tố gây ảnh hưởng bên ngoài [3,5].



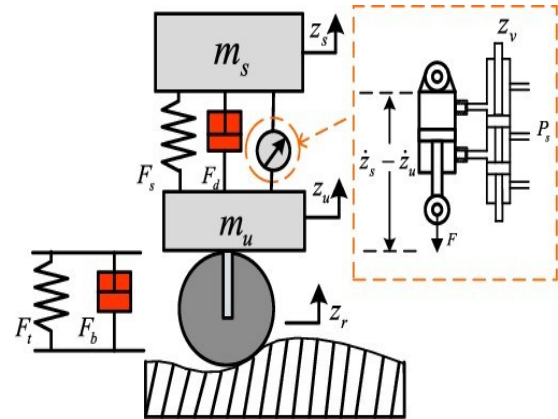
Hình 1. Cấu trúc hệ thống treo chủ động

Công nghệ này cho phép xe đạt được độ êm dịu và khả năng điều khiển vượt trội bằng cách duy trì bánh xe vuông góc với mặt đường khi vào cua, từ đó cải thiện độ bám đường và tính ổn định của xe. Hệ thống này sử dụng bộ vi mạch điều khiển để phân tích dữ liệu từ các cảm biến gắn trên xe, phát hiện chuyển động của thân xe và áp dụng các thuật toán điều khiển để tối ưu hóa hoạt động của hệ thống treo. Đáng chú ý, trong một số thiết kế, hệ thống treo chủ động tích hợp cả các thành phần đàn hồi và giảm chấn có khả năng biến thiên liên tục trong quá trình vận hành, giúp xe thích nghi tốt hơn với các điều kiện đường xá đa dạng.

Hệ thống treo chủ động thủy lực hoạt động dựa trên cơ cấu servo thủy lực, trong đó áp lực được cung cấp bởi một bơm thủy lực áp suất cao với cơ chế piston hướng kính. Hệ thống được trang bị các cảm biến giám sát liên tục chuyển động của thân xe và các chế độ lái, cung cấp dữ liệu thời gian thực cho bộ xử lý trung tâm. Thông qua các thuật toán điều khiển, bộ xử lý này điều chỉnh hoạt động của hệ thống treo để đảm bảo độ ổn định và hiệu suất vận hành tối ưu [3,6].

Sau khi nhận và xử lý dữ liệu từ các cảm biến, bộ điều khiển điện tử (ECU) sẽ điều khiển các

servo thủy lực được lắp tại mỗi bánh xe. Các servo này ngay lập tức điều chỉnh hệ thống treo để tạo ra lực phản kháng, giảm thiểu hiện tượng nghiêng ngang của thân xe khi vào cua, cũng như hiện tượng chúi đầu hoặc chúi đuôi trong các chế độ lái khác nhau. Điều này giúp cải thiện độ ổn định và khả năng điều khiển của xe trong mọi tình huống vận hành [4,7].



Hình 2. Hệ thống treo chủ động điều khiển bằng thủy lực

1.3. Thiết lập mô hình thuật toán cho hệ thống treo chủ động

Dao động của phần thân xe và các cầu xe sẽ được khảo sát với các thành phần như sau: [3,6].

- Thân xe có 3 chuyển động chính tương ứng với 3 bậc tự do là:

- + Dịch chuyển thẳng đứng của khối tâm Z_B .
- + Dịch chuyển góc j_B (góc lắc dọc) quanh trục OY' .

+ Dịch chuyển góc Ψ_B (góc lắc ngang) quanh trục OX'

- Các cầu xe (khối lượng không được treo – KLKĐT) có 4 chuyển động chính tương ứng với 4 bậc tự do là: [4,7]

- + Dịch chuyển thẳng đứng của khối tâm cầu trước Z_{C1} .
- + Dịch chuyển thẳng đứng của khối tâm cầu sau Z_{C2} .
- + Dịch chuyển góc Ψ_{C1} của cầu trước quanh các trục song song với OX .
- + Dịch chuyển góc Ψ_{C2} của cầu sau quanh các trục song song với OX .

Quy ước các chuyển vị Z_B, Z_{C1}, Z_{C2} , lấy từ vị trí cân bằng tĩnh, ước là các giá trị này được đo

lượng tương đối với vị trí cân bằng và không tính đến ảnh hưởng của trọng lượng bản thân các khối lượng dao động. Điều này giúp đơn giản hóa các tính toán và tập trung vào các dao động động học của hệ thống.

Do tính phức tạp của hệ thống 7 bậc tự do, nghiên cứu thường dựa vào các giả thiết để giảm về 3 bậc tự do, đảm bảo tính toán dễ dàng mà vẫn duy trì độ chính xác trong thiết kế và phân tích.

2. Xây dựng mô hình

2.1. Các giả thuyết đơn giản hoá hệ thống

Giả thiết xét môđun ở tần số thấp (20Hz) và bỏ qua sự dao động của động cơ.

Trong ô tô du lịch, hệ dao động có thể được coi là được cấu tạo bởi thùng xe (khối lượng được treo - KLĐT) và cầu xe (khối lượng không được treo - KLKĐT). Đáng lưu ý, trên thùng xe có động cơ với khối lượng lớn, và khi dao động, động cơ này sẽ ảnh hưởng đáng kể đến dao động của toàn bộ hệ thống.

Động cơ có tần số dao động riêng vào khoảng **300 Hz** [3], trong khi đó:

- Tần số dao động riêng của thùng xe (KLĐT) nằm trong khoảng **0 - 2 Hz** [3].
- Tần số dao động riêng của cầu xe (KLKĐT) nằm trong khoảng **10 - 14 Hz** [3].

Khi xem xét trong khoảng tần số kích thích **0 - 20 Hz**, đây là vùng có thể xảy ra hiện tượng cộng hưởng giữa hai khối lượng (thùng xe và cầu xe) và là vùng làm việc quan trọng nhất của hệ thống treo.

Tuy nhiên, trong khoảng này, động cơ không xảy ra hiện tượng cộng hưởng và không tác động đáng kể đến dao động của xe. Vì vậy, có thể bỏ qua ảnh hưởng của động cơ và chỉ tập trung vào các dao động của thùng xe và cầu xe.

Giả thiết ô tô chỉ dao động trong mặt phẳng dọc.

Với việc xét ô tô trong khoảng tần số thấp và hệ dao động chỉ gồm hai khối lượng thì dao động trong mặt phải ngang sẽ ít ảnh hưởng nên ta sẽ bỏ qua [3].

Giả thiết dao động giữa cầu trước và cầu sau là độc lập nhau.

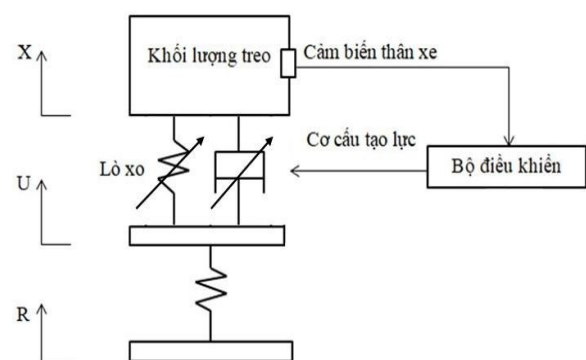
Trên thực tế, trong các xe ô tô hiện nay vẫn tồn tại sự dao động giữa cầu trước và cầu sau. Tuy nhiên, tần số dao động của chúng có thể khác nhau tùy vào loại ô tô, tải trọng và mục đích sử dụng cụ thể của từng phương tiện. Việc đơn giản hóa mô hình bằng cách giả thuyết rằng dao động của cầu trước và cầu sau là độc lập với nhau là một trong những phương pháp phổ biến để giảm độ phức tạp trong quá trình mô phỏng. Thêm vào đó, trong quá trình thiết kế và chế tạo ô tô, các nhà sản xuất thường ưu tiên đảm bảo dao động của cầu trước và cầu sau hoạt động độc lập nhằm cải thiện hiệu suất và độ êm dịu của xe [3].

Giả thiết mô phỏng hệ thống treo độc lập, chỉ xét dao động của một bên trái hoặc phải của xe.

Chúng ta chỉ khảo sát và đánh giá hệ thống treo độc lập của 1 bên trái hoặc phải của xe. Từ các giả thuyết trên có được mô đun 1/4 xe xét cho một bánh gồm có phần tử giảm chấn và đàn hồi. Vì ta đang mô phỏng hệ thống treo chủ động, nên lúc này trên hệ thống treo sẽ có thêm cảm biến thân xe, đo độ dịch chuyển của trọng tâm thùng xe (hay KLĐT) so với mặt đường sau đó gửi tín hiệu về bộ điều khiển, bộ điều khiển sẽ xuất tín hiệu cho các cơ cấu chấp hành thực hiện việc tăng hoặc giảm các hệ số của hệ thống treo sao cho đảm bảo với điều kiện ban đầu đặt ra trong điều kiện mặt đường khác nhau.

2.2. Mô hình hóa hệ thống

Từ các giả thiết trên ta có mô hình hệ thống treo chủ động trên 1/4 xe dùng 3 bậc tự do như sau:



Hình 3. Mô hình hệ thống treo chủ động 1/4 xe
Nguyên lý hoạt động của hệ thống treo chủ động dựa trên các cảm biến độ cao thân xe theo

đổi liên tục khoảng cách giữa thân xe và đòn treo để xác định độ cao gầm xe. Thông tin này được truyền về ECU, nơi xử lý tín hiệu và điều khiển giảm chấn và độ cứng của lò xo thông qua bộ chấp hành. Bộ chấp hành điện tử phản ứng nhanh chóng và chính xác với các thay đổi trong điều kiện hoạt động, đảm bảo hệ thống treo duy trì êm dịu, ổn định và an toàn trong mọi tình huống.

Các phương trình chuyển động được viết là [1].

$$M_s \ddot{z}_s + K_s(z_s - z_{us}) + b(\dot{z}_s - \dot{z}_{us}) - u_a = 0 \quad (1)$$

$$M_{us} \ddot{z}_{us} + K_s(z_{us} - z_s) + b(\dot{z}_{us} - \dot{z}_s) - u_a = 0 \quad (2)$$

Hai phương trình trên là cơ sở để xây dựng mô hình toán học và thuật toán điều khiển cho hệ thống treo chủ động.

Trong đó M_s là khối lượng được treo (KLĐT), z_s là dịch chuyển thẳng đứng của (KLĐT), \dot{z}_s là tốc độ dịch chuyển thẳng đứng của (KLĐT), \ddot{z}_s là gia tốc dịch chuyển thẳng đứng của (KLĐT), M_{us} là khối lượng không được treo (KCLKĐT), z_{us} là dịch chuyển thẳng đứng của (KCLKĐT), \dot{z}_{us} là tốc độ dịch chuyển thẳng đứng của (KCLKĐT), \ddot{z}_{us} là gia tốc dịch chuyển thẳng đứng của (KCLKĐT), z_r là chiều cao mấp mô mặt đường, k_s là độ cứng của phần tử đàn hồi, b là hệ số cản giảm chấn của phần tử giảm chấn, K_t là độ cứng hướng kính của lốp, $(z_s - z_{us})$ là dịch chuyển tương đối giữa hai khối lượng, $(\dot{z}_s - \dot{z}_{us})$ là tốc độ chuyển động tương đối giữa hai khối lượng, u_a là lực điều khiển từ bộ chấp hành thủy lực.

Nếu lực điều khiển $u_a = 0$, thì phương trình (1) trở thành phương trình của hệ thống treo bị động.

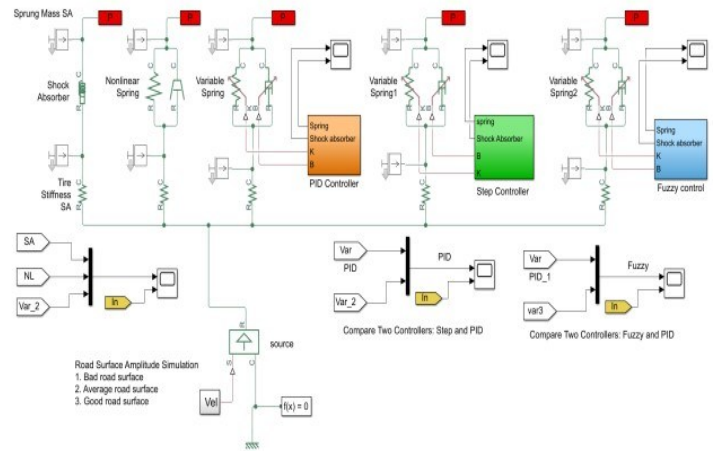
2.3. Mô phỏng của hệ thống treo chủ động trên Simscape

Trong khuôn khổ bài báo này, chúng ta xét trên mô đun 1/4 xe trên ô tô du lịch 4 chỗ, và có các thông số Bảng 1.

Bảng 1. Thông số đầu vào của hệ thống

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Gia tốc trọng trường	g	9.81	m/s ²
2	Khối lượng được treo	KLĐT	350	Kg
3	Khối lượng không được treo	KCLKĐT	50	Kg

Từ những dữ kiện đầu vào, các giả thiết mô phỏng của hệ thống ta có mô hình mô phỏng của hệ thống.



Hình 4. Mô hình hệ thống treo chủ động 1/4 trên Simscape

Dựa vào các khối có sẵn trong môi trường Simscape chúng ta đã tiến hành xây dựng mô hình bao gồm 5 hệ thống treo được xây dựng trên mô hình 1/4 xe. Mô hình bao gồm:

Một hệ thống treo chỉ có bộ giảm chấn mà không có phần tử đàn hồi, hệ số giảm chấn của hệ thống treo trên là không thay đổi được.

Một hệ thống treo có các phần tử giảm chấn và đàn hồi tuy nhiên hệ số giảm chấn và hệ số đàn hồi của hệ thống treo này không thay đổi được trên các loại đường khác nhau (Passive suspension).

Một hệ thống treo có các phần tử giảm chấn và đàn hồi thay đổi được dựa vào bộ điều khiển “Step-controller” tức là hệ thống chỉ điều khiển được hệ số giảm chấn và hệ số đàn hồi ở từng loại mặt đường tức là hệ số không thể biến thiên liên tục.

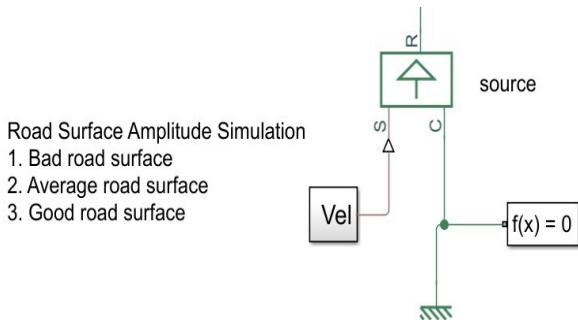
Hai hệ thống treo có các phần tử giảm chấn và đàn hồi thay đổi được theo biên dạng mặt đường, các hệ số giảm chấn và đàn hồi được điều chỉnh tự động dựa vào tín hiệu của cảm biến độ dịch chuyển của KLĐT và được điều khiển bằng bộ điều khiển “PID controller” và “Bộ điều khiển mờ - PD Fuzzy”.

Việc mô phỏng hệ thống treo chủ động trên mô hình 1/4 xe trong môi trường mô phỏng Simscape cho phép ta quan sát được đồ thị độ dịch chuyển của KLĐT theo thời gian trong từng loại

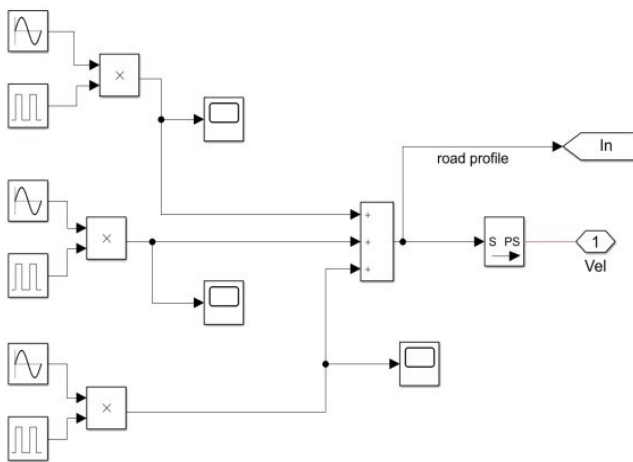
mặt đường khác nhau. Từ đó phân tích và lựa chọn thay đổi thông số hay xây dựng bộ điều khiển PID hay Fuzzy cho hệ thống treo chủ động được dễ dàng và khách quan hơn.

2.4. Mô phỏng biên độ mặt đường

Mặt đường trong thực tế thường được đặc trưng bằng các sóng ngẫu nhiên hoặc tuần hoàn, và chất lượng mặt đường được đánh giá dựa trên mật độ phổ công suất (PSD - Power Spectral Density) theo tiêu chuẩn ISO 8608:2016. Theo đó:



Hình 5. Mô phỏng biên độ mặt đường



Hình 6. Sơ đồ khối mô phỏng biên độ mặt đường

Mặt đường tốt có mật độ phổ công suất thấp, tương ứng với tần số cao và biên độ sóng nhỏ.

Mặt đường xấu có mật độ phổ công suất cao hơn, tương ứng với tần số thấp, biên độ sóng lớn, và bước sóng dài.

Khi mô phỏng, mặt đường được biểu diễn dưới dạng biên dạng ngẫu nhiên hoặc sóng hình sin tuần hoàn, với đặc tính Giả sử xe chuyển động với vận tốc không đổi V_x biên dạng mặt đường $z(x)$ được mô tả bởi hàm dạng:

$$z(x) = A \sin(2\pi f x) \tag{3}$$

trong đó: A: Biên độ sóng, đại diện cho độ cao của mặt đường, f: Tần số đặc trưng, liên quan đến mức

độ gồ gề hoặc chất lượng mặt đường.

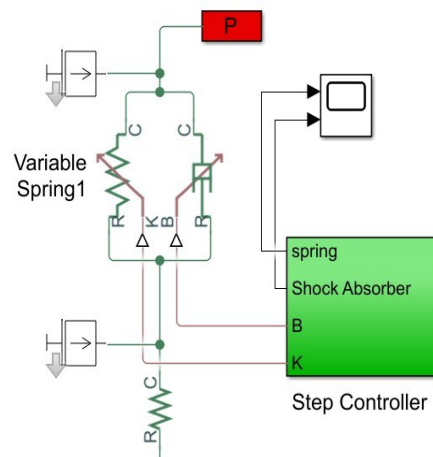
Quá trình mô phỏng sử dụng các đặc trưng của mặt đường (xấu, trung bình, tốt) để tạo biên dạng ngẫu nhiên thông qua hàm mật độ phổ công suất $S(f)$. Tín hiệu PSD được tích hợp với vận tốc V_x để tạo ra biên dạng mặt đường $z(x)$ thực tế, đảm bảo sát với điều kiện vận hành thực tế.

Các đặc trưng này sau đó được đưa vào mô hình động học của hệ thống treo, nơi tần số dao động của mặt đường tác động lên hệ thống. Từ đó, các chỉ số như dao động thân xe, tải trọng lên bánh xe, và độ ổn định của bộ điều khiển được phân tích và đánh giá, giúp cải thiện hiệu quả và độ bền của hệ thống treo trong các điều kiện mặt đường khác nhau.

Bộ điều khiển Step

Bộ điều khiển Step thực chất là một bộ điều khiển vòng lặp hở (Open – loop control) điều chỉnh độ cứng phần tử đàn hồi. Trên thực tế, điều này giống như người dùng lựa chọn chế độ làm việc của hệ thống treo khi đi vào các địa hình khác nhau và lựa chọn thế nào thì hoàn toàn phụ thuộc vào cảm giác người dùng và hệ thống không thể tự động điều chỉnh một cách liên tục.

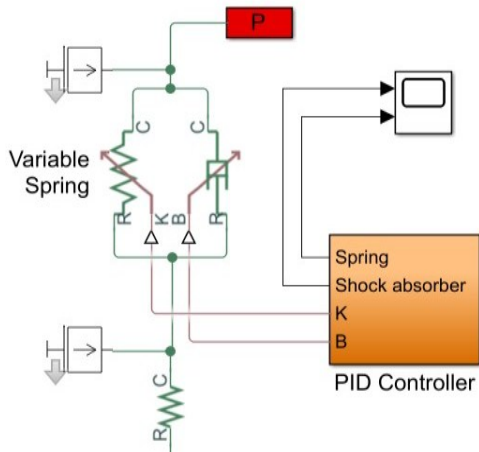
Trong mô phỏng này, không hề có bất kì cảm biến nào phản hồi lại hoạt động của hệ thống treo cho bộ điều khiển Step điều chỉnh.



Hình 7. Mô phỏng hệ thống Step - Controller

Bộ điều khiển PID

Sử dụng bộ điều khiển PID để điều chỉnh hệ số đàn hồi (độ cứng) của lò xo và hệ số giảm chấn. Qua đó điều khiển được độ êm dịu, ổn định của KLĐT.



Hình 8. Mô phỏng của hệ thống PID

Khối PID sẽ đưa ra tín hiệu là giá trị hệ số đàn hồi gửi về cơ cấu chấp hành lò xo. Đồng thời từ hệ số đàn hồi ta tính toán được hệ số giảm chấn thông qua quan hệ [1].

$$B=2\sqrt{K}\sqrt{M_{KLDT}} \quad (4)$$

trong đó: B là Hệ số giảm chấn của bộ phận giảm chấn, K là Hệ số đàn hồi của bộ phận đàn hồi.

Bộ điều khiển sẽ điều khiển trực tiếp giá trị của hệ số giảm chấn và đàn hồi. Vì các hệ số này không thể mang giá trị âm do đó có sự tồn tại của khối trị tuyệt đối phía sau đầu ra của bộ điều khiển.

Bộ điều khiển dùng cho mô hình hệ thống treo chủ động là bộ điều khiển sử dụng cả ba thành phần P, I, D. Điều khiển trên miền thời gian liên tục và chọn.

Sử dụng phương pháp Ziegler – Nichols để chọn giá trị cho các hệ số bộ điều khiển. Cuối có các thông số thiết lập như sau:

Bảng 2. Thông số thiết lập cho khối PID Controller

Controller	PID
Form	Parallel
Time domain	Continuous – time
Controller Parameters	$K_p = 666420$
	$K_i = 4165125$
	$K_d = 26656.8$

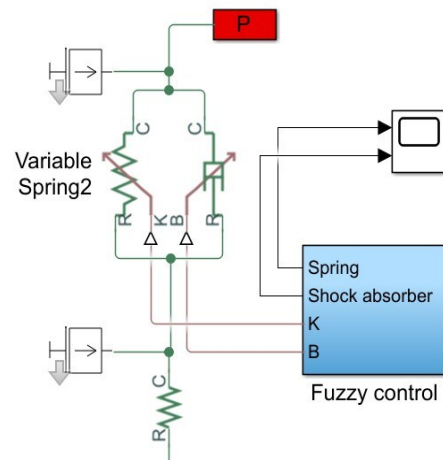
Bộ điều khiển mờ PD Fuzzy

Hệ thống Fuzzy Logic là một hệ thống điều khiển hoặc quyết định dựa trên nguyên tắc của "mờ" thay vì logic truyền thống giữa đúng và sai.

Theo đó, chúng chấp nhận sự mập mờ và không rõ ràng trong thông tin đầu vào và xử lý dữ liệu theo cách mà logic nhị phân không thể làm

được.

Sử dụng bộ điều khiển mờ để điều chỉnh hệ số đàn hồi của lò xo và hệ số giảm chấn. Qua đó điều khiển được độ êm dịu, ổn định của KLĐT.



Hình 9. Mô phỏng hệ thống PD Fuzzy

Trên nguyên tắc điều khiển cũng sử dụng tương tự như của bộ điều khiển PID sử dụng công thức (4) làm chuẩn chúng ta có mô hình sau:

Bảng 3. Luật mờ của mô phỏng PD Fuzzy

	BN	NS	ZE	PS	PB
BN	3	2	1	0	-1
ZE	2	1	0	-1	-2
PB	1	0	-1	-2	-3

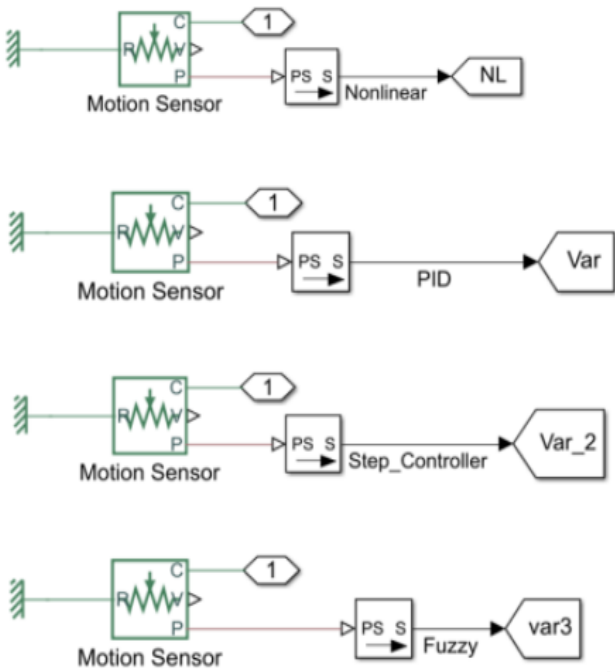
3. Kết quả và Thảo luận

Sau khi đã thiết lập mô hình và các điều kiện biên ta tiến hành so sánh và đánh giá sự hiệu quả các bộ điều khiển với nhau:

- Giữa bộ điều khiển PID và Step – Controller.
- + Step – Controller đại diện cho bộ điều khiển có sự tác động, lựa chọn thông số của người lái xe.
- + PID đại diện cho 1 bộ điều khiển hoàn toàn tự động.

- Giữa bộ điều khiển PID và bộ điều khiển mờ Fuzzy, điều này giúp đánh giá và so sánh ưu điểm và nhược điểm của các bộ điều khiển tự động hiện tại.

Các mô hình dao động cần được thiết lập sao cho trọng tâm của chúng càng gần điểm **Setpoint** càng tốt, nhằm đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và đáp ứng nhanh trong các điều kiện thay đổi.



Hình 10. Cảm biến giám sát độ dịch chuyển trọng tâm thân xe

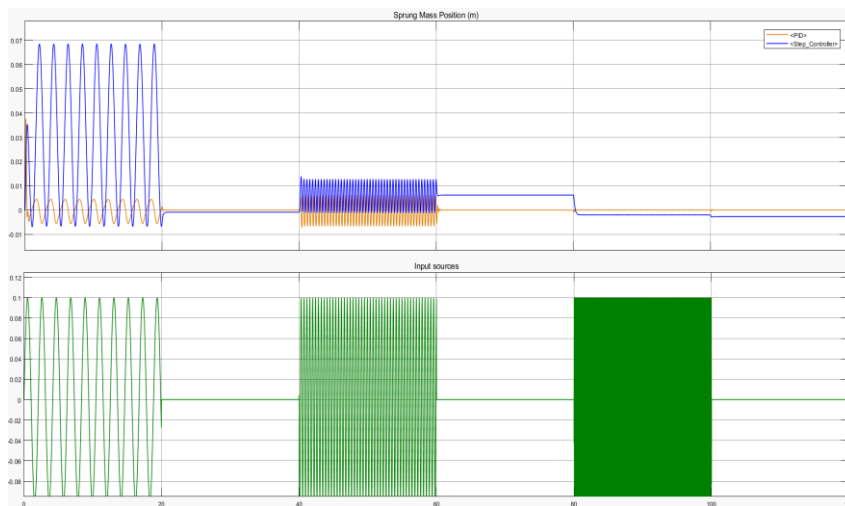
3.1. So sánh và đánh giá sự hiệu quả giữa điều khiển PID và Step - Controller

Đối với loại đường xấu nhất

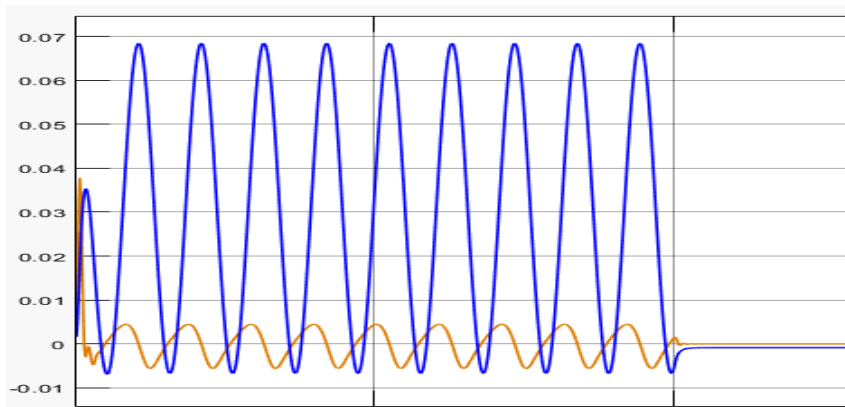
Kết quả cho thấy, đường màu xanh có biên độ dao động lớn hơn đáng kể so với đường màu vàng, điều này cho thấy KLĐT của hệ thống treo được điều khiển bởi Step Controller đang có dao động tương đối mạnh.

Ngoài ra, các dao động của đường màu xanh cũng thể hiện xu hướng ngày càng ra xa vị trí cân bằng **setpoint**, cho thấy bộ điều khiển này không đảm bảo duy trì ổn định gần điểm cân bằng trong suốt quá trình hoạt động.

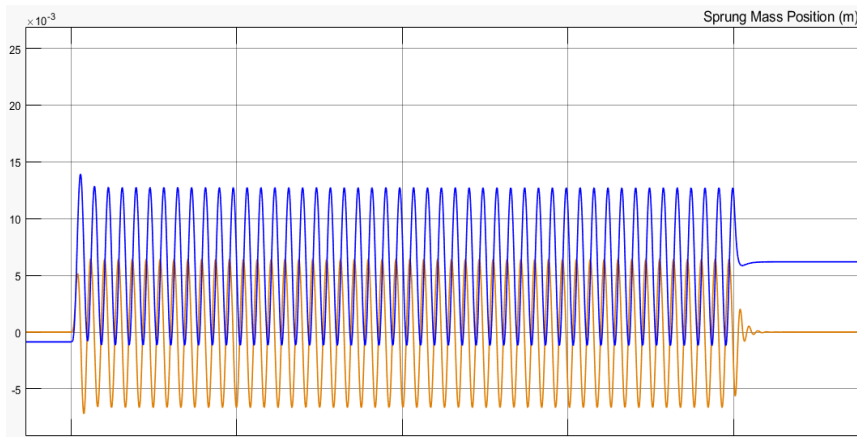
Đối với đường màu vàng, các dao động có biên độ tương đối nhỏ và duy trì gần vị trí cân bằng 0. Điều này cho thấy KLĐT của hệ thống treo được điều khiển bởi PID đang dần ổn định và đảm bảo trạng thái êm dịu trong suốt quá trình hoạt động.



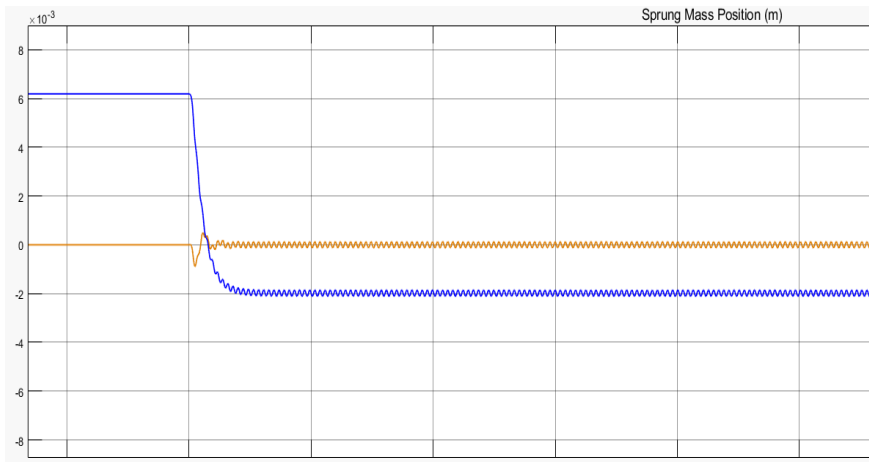
Hình 11. Độ dịch chuyển trọng tâm của PID và Step trong 3 loại đường; đường màu xanh biểu thị cho Hệ thống treo gồm 1 lò xo và 1 giảm chấn được điều khiển bởi Step Controller; đường màu vàng biểu thị cho Hệ thống treo gồm 1 lò xo và 1 giảm chấn được điều khiển bởi PID.



Hình 12. Độ dịch chuyển trọng tâm trong điều kiện đường xấu



Hình 13. Độ dịch chuyển trọng tâm trong điều kiện đường trung bình



Hình 14. Độ dịch chuyển trọng tâm trong điều kiện đường tốt

Đối với loại đường trung bình

Quan sát kết quả, đường màu xanh vẫn xuất hiện các dao động nhỏ (khoảng giây thứ 80 và giây thứ 100), và các dao động này chưa hoàn toàn trở về vị trí cân bằng **setpoint**. Trong khi đó, đường màu vàng gần như là một đường thẳng và trùng với đường thẳng qua vị trí **setpoint**.

Qua đó, ta nhận thấy khi xe vận hành, bộ điều khiển PID giúp hệ thống duy trì trạng thái ổn định và êm dịu hơn, trong khi đó Step Controller vẫn có dao động và chưa thể trở về trạng thái cân bằng hoàn toàn. Điều này chỉ ra sự hiệu quả của PID trong việc kiểm soát dao động và duy trì sự êm dịu trong suốt quá trình hoạt động của hệ thống treo.

Đối với loại đường tốt nhất

Quan sát kết quả, ta nhận thấy khi xe vận hành, bộ điều khiển PID Controller hiệu quả hơn trong việc duy trì hệ thống ở trạng thái ổn định và êm dịu, trong khi bộ điều khiển Step Controller vẫn

có dao động và chưa thể đưa hệ thống về trạng thái cân bằng hoàn toàn.

Điều này cho thấy PID Controller có khả năng kiểm soát và giảm dao động tốt hơn trong điều kiện vận hành của hệ thống treo.

Tóm lại: Trong cả ba trường hợp được khảo sát, bộ điều khiển PID luôn thể hiện khả năng điều khiển và cải thiện đặc tính dao động của hệ thống treo tốt hơn so với Step Controller. Điều này cho thấy, việc sử dụng bộ điều khiển PID là giải pháp hiệu quả trong việc giảm dao động và đáp ứng tốt các yêu cầu đặt ra trong quá trình vận hành hệ thống treo.

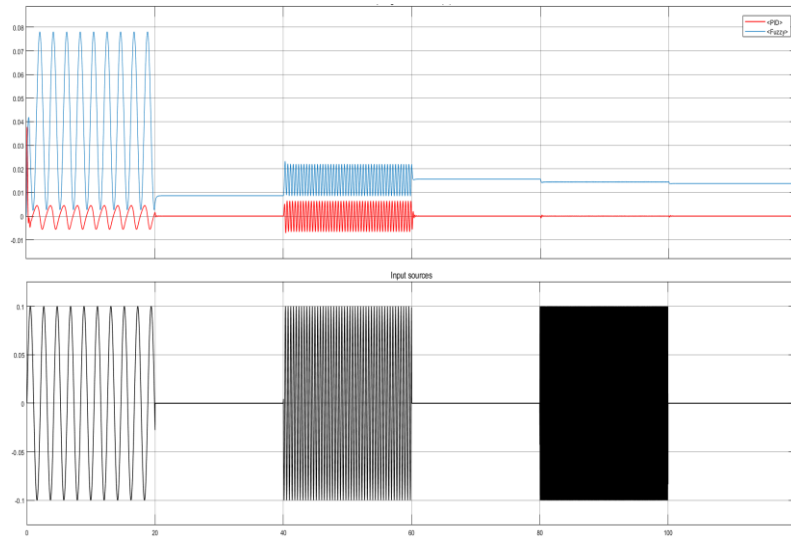
3.2. So sánh và đánh giá sự hiệu quả điều khiển PID và bộ điều khiển mờ Fuzzy

Biểu đồ Hình 15 cho thấy vị trí của KLĐT trong cùng một hệ thống treo tuy nhiên được thử nghiệm bởi 2 bộ điều khiển khác nhau là PID và Fuzzy.

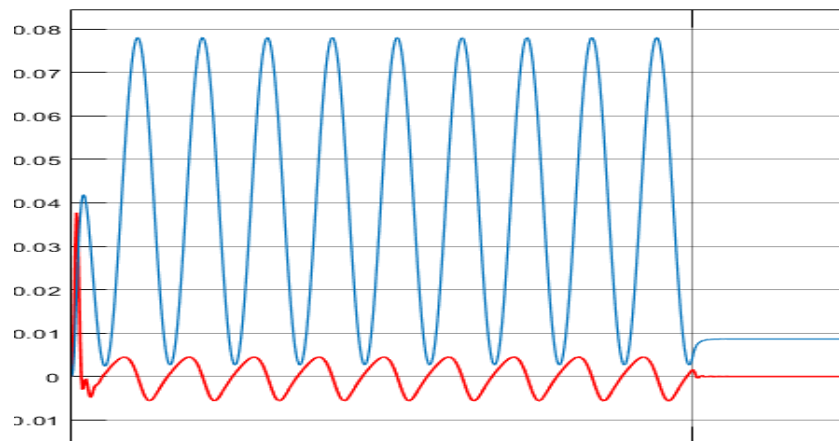
Đối với loại đường xấu nhất

Đối với loại mặt đường xấu, cả hai bộ điều khiển đều xuất hiện hiện tượng **Overshoot** cao trong giai đoạn đầu của quá trình dao động. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID cho thấy khả năng bám

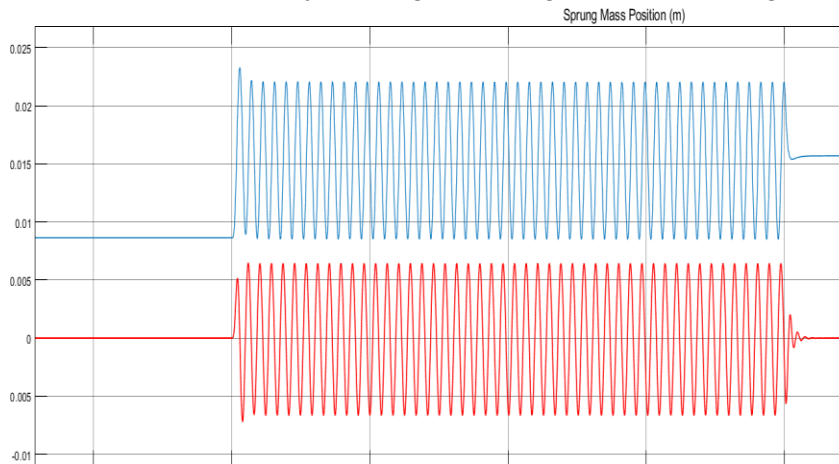
sát điểm **Setpoint** tốt hơn so với bộ điều khiển Fuzzy. Điều này chỉ ra rằng hệ thống PID tạo ra độ êm dịu và ổn định tốt hơn so với bộ điều khiển Fuzzy trong điều kiện này.



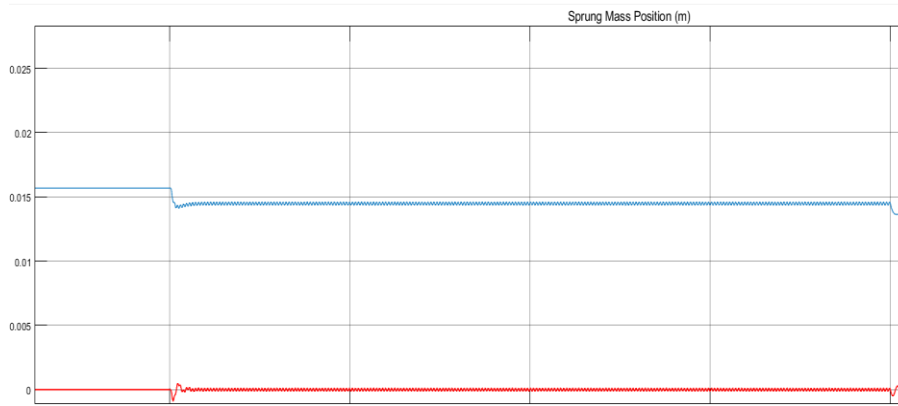
Hình 15. Độ dịch chuyển trọng tâm của PID và Step trong 3 loại đường; đường màu xanh biểu thị cho HTT gồm 1 lò xo và 1 giảm chấn được điều khiển bởi Fuzzy; đường màu vàng biểu thị cho HTT gồm 1 lò xo và 1 giảm chấn được điều khiển bởi PID controller



Hình 16. Độ dịch chuyển trọng tâm trong điều kiện đường xấu



Hình 17. Độ dịch chuyển trọng tâm trong điều kiện đường trung bình



Hình 18. Độ dịch chuyển trọng tâm trong điều kiện đường tốt

Đối với loại đường trung bình

Khi di chuyển vào vùng biên độ mật đường trung bình, cả hai bộ điều khiển đều đang dần ổn định hơn. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID vẫn thể hiện khả năng bám sát vào **setpoint** tốt hơn so với bộ điều khiển Fuzzy, trong khi bộ điều khiển Fuzzy không duy trì được điều này. Dù vậy, biên độ dao động của cả hai bộ điều khiển đều không quá lớn, điều này chứng tỏ cả hai đều hoạt động hiệu quả trong việc đảm bảo ổn định thân xe trong các điều kiện vận hành.

Đối với loại đường tốt nhất

Quan sát kết quả cho thấy, đường màu xanh đã gần như thẳng và ít xuất hiện dao động, tuy nhiên nó không hoàn toàn bám sát vào điểm Setpoint mà tách ra khỏi điểm **setpoint** với khoảng cách là 0,014 m. Trong khi đó, đường màu vàng gần như là một đường thẳng trùng với đường thẳng qua vị trí **setpoint**.

Qua đó, ta nhận thấy khi xe chạy trên loại mặt đường tốt nhất, bộ điều khiển PID sẽ giúp xe nhanh chóng đạt được trạng thái êm dịu và thoải mái nhất, mang lại hiệu quả cao trong việc giảm dao động và cải thiện trải nghiệm lái xe.

Tóm lại: Mặc dù kết quả của bộ điều khiển Fuzzy và PID gần như tương tự nhau, việc điều khiển với Fuzzy lại tỏ ra khó khăn hơn so với PID. Điều quan trọng là bộ điều khiển PID đã đạt được yêu cầu của bài toán, đó là bám sát điểm Setpoint, trong khi bộ điều khiển Fuzzy không thể thực hiện điều này hiệu quả. Điều này cho thấy PID có ưu thế trong việc đáp ứng chính xác và ổn định hơn trong các điều kiện điều khiển cụ thể.

4. Kết luận

Qua quá trình khảo sát và so sánh ba bộ điều khiển PID, Fuzzy, và Step Controller, ta rút ra các kết luận như sau:

- *Bộ điều khiển PID*, cho thấy khả năng điều khiển vượt trội trong việc bám sát điểm Setpoint, duy trì độ êm dịu và ổn định tốt hơn trong hầu hết các điều kiện mặt đường và trạng thái vận hành của hệ thống treo.

- *Bộ điều khiển Fuzzy*, mặc dù cũng mang lại kết quả ổn định và êm dịu tương tự PID, nhưng không thể bám sát Setpoint hiệu quả như PID. Điều này khiến Fuzzy khó kiểm soát và đáp ứng nhanh như mong muốn.

- *Bộ điều khiển Step Controller*, thể hiện khả năng điều khiển cơ bản nhưng chưa đạt được độ ổn định và khả năng giảm dao động tốt như PID và Fuzzy.

Tóm lại, trong các điều kiện khảo sát, PID Controller là giải pháp hiệu quả và ưu việt nhất, đáp ứng đầy đủ yêu cầu bài toán đặt ra về việc giảm dao động, ổn định hệ thống và bám sát điểm Setpoint một cách chính xác.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn các giảng viên, bạn bè và đồng nghiệp đã luôn hỗ trợ, tạo điều kiện thuận lợi cho chúng tôi trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu để hoàn thành bài báo này. Đặc biệt, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến những đồng nghiệp đã trực tiếp hướng dẫn khoa học, tận tình chỉ bảo và hỗ trợ tôi trong quá trình nghiên cứu và thực hiện bài báo.

Tài liệu tham khảo

- [1] J. Chen, Y. Zhang, and X. Wang. (2020). Research on Active Suspension Systems to Improve Vehicle Comfort and Stability. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(4), 3567-3576.
- [2] P. Smith, T. Brown, and M. Johnson. (2019). Adaptive Control Strategies for Active Suspension Systems in Modern Vehicles. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 24(5), 2178-2186.
- [3]. L.M. Long. (2017). Giáo trình Dao động và tiếng ồn ô tô. NXB Đại Học Quốc Gia Tp Hồ Chí Minh.
- [4]. L.T. Vinh, T.M. Toàn. (2019). Giáo trình Phương pháp tính và Matlab. NXB Bách Khoa – Hà Nội.
- [5]. S. Mouleeswaran. (2012). Design and Development of PID Controller-Based Active Suspension System for Automobiles. In book: *PID Controller Design Approaches - Theory, Tuning and Application to Frontier Areas*. InTech.
- [6]. A.E.-N.S. Ahmed, A.S. Ali, N.M. Ghazaly, G.T.A.el- Jaber. (2015). PID Controller of Active Suspension System for A Quarter Car Model. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 8(6), 899-909.
- [7]. M.F. Ismaila, Y.M. Sam, S. Sudin, K. Peng, M.K. Aripin. (2014). Modeling and Control of a Nonlinear Active Suspension Using Multi-Body Dynamics System Software. *Jurnal Teknologi*, 67(1), 35-46.
- [8]. M. Avesh, R. Srivastava. (2012). Modeling Simulation and Control of active suspension system in Matlab Simulink environment. *2012 Students Conference on Engineering and Systems*.
- [9]. Control Tutorials for Matlab & Simulink. [Available] Website: <https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Suspension§ion=SimulinkSimscap> (truy cập ngày: 8/10/2024)