

SO SÁNH HIỆU SUẤT LÀM VIỆC HỆ THỐNG TREO BÁN CHỦ ĐỘNG SỬ DỤNG GIẢM CHẤN TỪ HÓA MR VÀ TREO BỊ ĐỘNG CHO MÔ HÌNH ¼ XE

COMPARISON OF OPERATING PERFORMANCE OF SEMI-ACTIVE USED MAGNETORHEOLOGICAL DAMPER AND PASSIVE SUSPENSION SYSTEM FOR QUARTER VEHICLE MODEL

Vũ Hải Quân^{1,*}, Nguyễn Anh Ngọc¹, Lê Hồng Quân¹,
Hoàng Quang Tuấn¹, Bùi Văn Hải¹, Nguyễn Trọng Đức¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.175>

TÓM TẮT

Tính êm dịu chuyển động của xe ô tô phụ thuộc vào kết cấu, đặc điểm, cường độ kích động và cả kỹ thuật điều khiển của lái xe. Hệ thống treo đóng một vai trò quan trọng để đảm bảo sự thoải mái khi lái xe và khả năng bám đường. Ngày nay, hệ thống treo bán chủ động với hiệu suất làm việc tốt và chi phí sản xuất không quá cao đã được nhiều nhà sản xuất xe hơi áp dụng rộng rãi và cho kết quả của thử nghiệm với nhiều ưu điểm so với hệ thống treo bị động. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu, ứng dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng, đánh giá động lực học hệ thống treo bán chủ động sử dụng giảm chấn dầu từ trường. Kết quả cho thấy các thông số động lực học của hệ thống treo bán chủ động tốt hơn so với treo bị động.

Từ khóa: Hệ thống treo bán chủ động; giảm chấn dầu từ trường; êm dịu; mô hình Bingham.

ABSTRACT

The ride comfort of a vehicle depends on the structure of suspension system, characteristics, intensity of excitation and control technique. Suspension system plays an important role in ensuring driving comfort and stability. Today, semi-active suspension with good performance and low production cost has been widely adopted by many car manufacturers and the results of testing have many advantages over the system. This paper presents the results of research and application of Matlab / Simulink software to simulate and evaluate semi-active suspension dynamics using magnetic oil damping. The results show that the dynamic characteristics of the semi-active suspension are better than that of the passive suspension.

Keywords: Semi-active suspension system; magnetic oil damping; ride comfort; Bingham model.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: quanvh@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/3/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/5/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2023

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống treo truyền thống trên ô tô được thiết kế để thỏa hiệp giữa các tiêu chí có tích chất mâu thuẫn nhau: Duy

trì sự êm dịu, thoải mái của hành khách và đảm bảo tính năng ổn định của xe khi di chuyển trong các điều kiện khác nhau. Hệ thống treo tích cực đảm bảo sự êm dịu, hỗ trợ xe và cung cấp khả năng kiểm soát chuyển động của xe bằng cách việc liên tục ghi nhận các thông số, xử lý thông tin và điều khiển cơ cấu chấp hành để thay đổi hoặc cung cấp thêm năng lượng bổ sung nhằm đảm bảo sự êm dịu của phần khối lượng được treo của ô tô. Những năm gần đây, hệ thống treo bán chủ động đã được các nhà sản xuất xe hơi nghiên cứu tỉ mỉ và áp dụng phổ biến, kết quả kiểm nghiệm thực tế cho thấy hiệu quả làm việc của hệ thống treo bán chủ động ổn định và cho hiệu suất tốt hơn nhiều so với hệ thống treo bị động truyền thống.

Hệ thống treo bán chủ động hoạt động trên cơ sở thay đổi độ nhớt dầu thủy lực bên trong giảm chấn và không bổ sung năng lượng cho hệ thống treo, vì vậy hệ thống cần năng lượng để hoạt động thấp và ít tốn kém chi phí hơn so với hệ thống treo chủ động hoàn toàn. Trong các thành tố của hệ thống treo bán chủ động có điều khiển, giảm chấn từ hóa MR có vai trò quan trọng nhất vì đây chính là cơ cấu chấp hành, cho phép thay đổi lực cản của giảm chấn trong phạm vi lớn, tùy theo điều kiện di chuyển thực tế của xe. Giảm chấn từ hóa MR yêu cầu nguồn năng lượng cung cấp thấp, có thể hoạt động độc lập bằng pin, thiết kế cơ học đơn giản và chi phí sản xuất thấp.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề cập tới đến việc mô hình hóa và điều khiển giảm chấn từ hóa MR sử dụng trong hệ thống treo của xe nhằm cải thiện sự thoải mái và sự ổn định của xe. Chất lỏng MR là chất lỏng được sử dụng phổ biến trong bộ giảm chấn để có hệ số nhớt của giảm chấn thay đổi [1]. Thông qua việc thay đổi độ nhớt của giảm chấn sẽ cho phép điều chỉnh lực cản, qua đó, việc điều khiển dao động không mong muốn của các phần khối lượng của hệ thống treo được kiểm soát hiệu quả trong dải tần số rộng. Hệ thống treo tích cực và bán tích cực thường được áp cho các hệ thống trên ô tô phân khúc cao cấp. Giảm chấn từ hóa MR về cơ bản bao gồm: xi lanh, piston, cuộn dây điện từ và

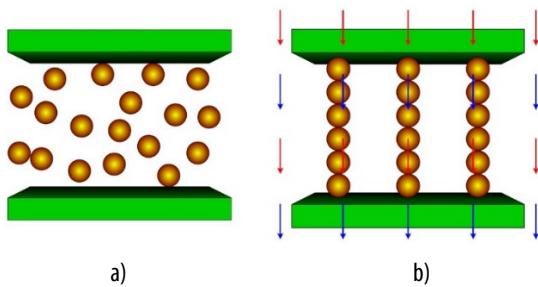
chất lỏng MF. Nếu mạch điều khiển trong hệ thống treo bán chủ động bị lỗi, giảm chấn sẽ chỉ hoạt động như trong hệ thống treo bị động thông thường. Bingham và Bouc-wen là hai mô hình tham chiếu được sử dụng phổ biến áp dụng giảm chấn từ hóa MR để làm cơ sở nghiên cứu động lực học của giảm chấn dùng dầu từ trường [2].

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT NGHIÊN CỨU HỆ THỐNG TREO BÁN CHỦ ĐỘNG TRÊN Ô TÔ

2.1. Giảm chấn dùng dầu từ trường (magnetorheological fluid)

Lưu chất từ biến (MF) là một dạng của lưu chất thông minh, bao gồm hydrocarbon tổng hợp hoặc silicon kết hợp với thể huyền phù của các hạt từ tính thêm vào đó để loại bỏ sự kết tủa của các hạt có khối lượng lớn khi MRF ở trạng thái lỏng, chất hoạt tính bề mặt, hạt nano từ hóa, hoặc những hạt được phủ từ tính sẽ được thêm vào. Sự kết tủa sẽ làm ảnh hưởng lớn đến đặc tính hoạt động của MRF.

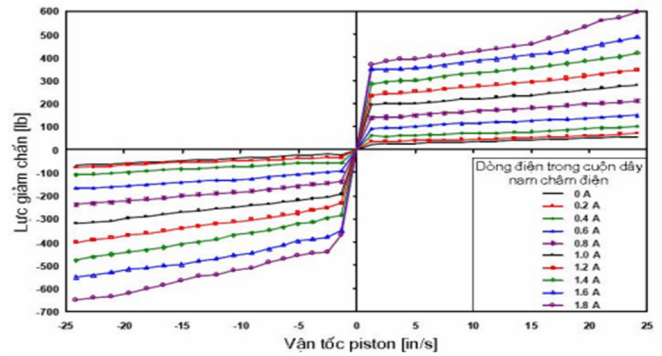
Ở trạng thái bình thường, khi không cấp dòng điện, các hạt trong dầu chuyển động tự do và chất lỏng có đặc tính như chất lỏng Newton. Tuy nhiên, khi có tác dụng của từ trường ngoài, lưu chất không còn tuân theo thuộc tính Newton nữa mà chuyển sang thuộc tính của chất lỏng Bingham, các hạt kim loại bên trong lưu chất này gắn kết lại với nhau theo hình dạng của đường sức từ và có khả năng chống phá vỡ liên kết, độ bền vững của liên kết này phụ thuộc vào độ lớn của từ trường ngoài cung cấp (hình 1). Các lưỡng cực sắp xếp song song với các đường từ thông thu được để tạo thành các cấu trúc dạng chuỗi của các hạt sắt giữa cực bắc và cực nam. Các hạt tạo thành mỗi chuỗi chống lại chuyển động ra khỏi đường thông lượng tương ứng của chúng và lực cản của giảm chấn tỷ lệ với cường độ của từ trường tác dụng.



Hình 1. Đặc tính của chất lỏng MR khi có dòng điện (a) và không có dòng điện (b) [2]

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến các tính chất lưu biến của MRF như: mật độ, kích thước của hạt, sắp xếp hình dạng, đặc tính của dòng chất lỏng mang hạt tải điện, chất thêm vào, nhiệt độ và từ trường đặt vào... Sự liên quan của các yếu tố này rất phức tạp và quan trọng trong việc xây dựng các phương pháp để cải thiện tính chất của dòng chất lỏng cho các ứng dụng phù hợp. Để hoạt động tốt, MRF phải có độ nhớt và độ kháng từ của các hạt thấp mà không ảnh hưởng đến từ trường bên ngoài và có thể đạt được ứng suất tối đa khi có đủ từ trường tác động. Thông thường để làm tăng ứng suất của MRF, người ta thường

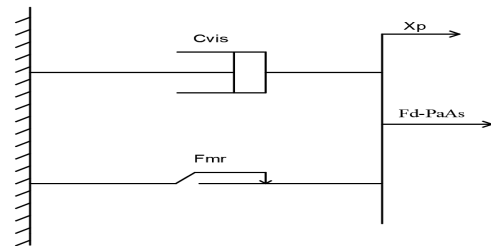
tăng các thành phần khối lượng của các hạt trong MR hoặc tăng cường độ của từ trường bên ngoài cung cấp. Tuy nhiên, trong tính toán thiết kế, kích thước và hình dạng của các thiết bị sử dụng MRF ảnh hưởng đáng kể đến việc tiêu hao năng lượng của thiết bị ứng dụng nó. Trên hình 2 thể hiện đồ thị đặc tính của dầu từ trường trong giảm chấn [2].



Hình 2. Đường đặc tính của giảm chấn dùng dầu MR [7]

2.2. Lý thuyết điều khiển theo mô hình Bingham

Trong sơ đồ cấu trúc của giảm chấn sử dụng chất lỏng lưu biến trên mô hình Bingham (hình 3), có là một phần tử ma sát Coulomb F_{MR} được đặt song song c_{vis} [7].

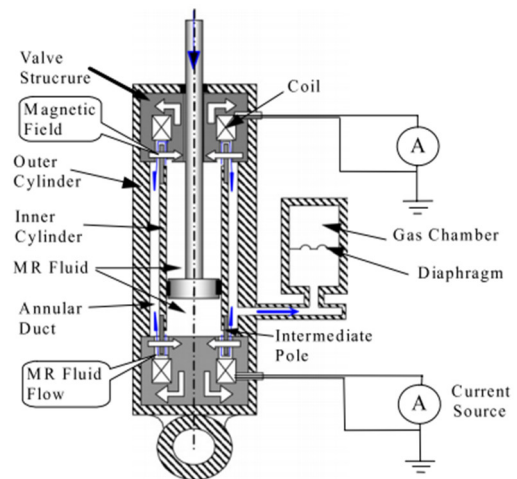


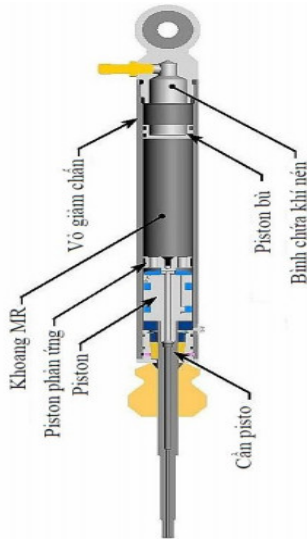
Hình 3. Sơ đồ Bingham model [3]

Theo mô hình MR của Bingham, khi vận tốc dịch chuyển của piston khác không, lực cản của giảm chấn F_d có thể được xác định bằng công thức:

$$F_d = P_a A_s + c_{vis} \dot{x}_p + F_{MR} \text{sgn}(\dot{x}_p) \tag{1}$$

Trong đó: $P_a A_s$ là lực đàn hồi của dung dịch dầu được sử dụng trong giảm chấn, c_{vis} là lực nén do tác động từ tính nhớt của chất lỏng MR; F_{MR} áp lực tạo ra chất lỏng MR.





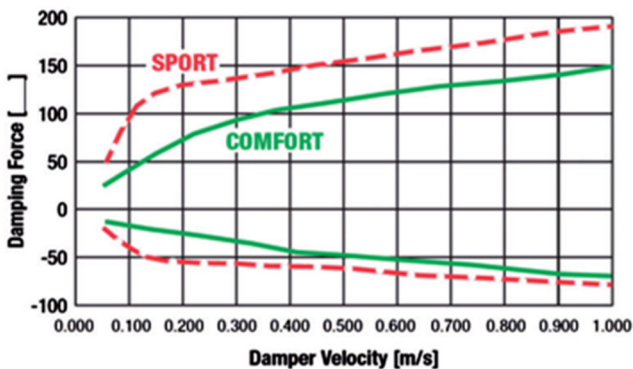
Hình 4. Cấu tạo của van điều lưu MR [1]

Van tiết lưu MR được chia thành các khoang trên và dưới bởi pittông và chứa đầy chất lỏng MR. Khi pittông di chuyển chất lỏng MR chảy từ buồng này sang buồng kia qua các lỗ ở hai đầu và ống hình khuyên giữa các xi lanh bên trong và bên ngoài. Buồng khí nằm bên ngoài hoạt động như một bộ tích tụ của dòng chất lỏng MR do chuyển động của pittông gây ra. Với giả thiết bỏ qua lực ma sát giữa các phốt dầu và giả sử trạng thái gần như tĩnh của van tiết lưu, lực giảm chấn của van tiết lưu MR có thể được xác định như phương trình (1), tại đó, hệ số nhớt được xác định như sau:

$$c_{vis} = \frac{6\eta}{\pi} \left[\left(\frac{L}{R_2 t_g^3} + \frac{2L_m}{R_1 t_g^3} \right) (A_p - A_s)^2 + \frac{2L_m}{R_1 t_g^3} A_p^2 \right]; \quad (2)$$

$$F_{MR} = (2A_p - A_s) \frac{2cL_m}{t_m} \tau_y.$$

Trong đó: A_p , A_s lần lượt là diện tích mặt cắt của pittông và trục pittông; τ_y là ứng suất chảy của chất lỏng MR do từ trường tác dụng gây ra, η là độ nhớt dẻo không phụ thuộc từ trường. L là chiều dài của hình trụ bên trong và t_g là khe hở của ống hình khuyên giữa hình trụ bên trong và bên ngoài. R_1 và R_2 lần lượt là bán kính trung bình của cực trung gian và của ống hình khuyên. L_m là chiều dài của cực từ, và t_m là khe hở của lỗ của cơ cấu van MR. c là hệ số phụ thuộc vào cấu hình vận tốc dòng chảy và nó có phạm vi giá trị từ giá trị nhỏ nhất là 2,07 đến giá trị lớn nhất là 3,07.

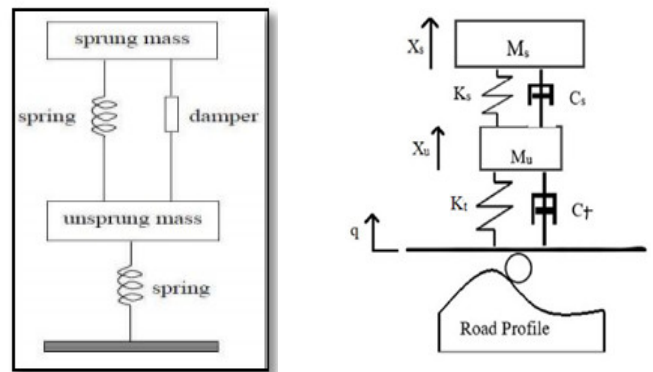


Hình 5. Vùng điều khiển của giảm chấn thủy lực dùng dầu từ trường MR [7]

Lực cản của giảm chấn cần được điều chỉnh thông qua việc thay đổi độ nhớt của chất lỏng MR để đáp ứng vùng điều khiển tối ưu như hình 5.

2.3. Xây dựng mô hình toán của hệ thống treo bị động cho mô hình ¼ xe

Các loại xe thông dụng ngày nay được trang bị hệ thống treo bị động để kiểm soát biên độ dao động thẳng đứng phần khối lượng được treo và các dao động không mong muốn của xe. Trong cấu trúc của hệ thống treo bị động các phần tử của hệ thống treo không thể tự cung cấp năng lượng bổ sung cho hệ thống treo. Hệ thống treo bị động hạn chế dao động của thân xe và bánh xe bằng cách giới hạn vận tốc dịch chuyển tương đối của chúng đến một giá trị đảm bảo sự thoải mái, êm dịu khi xe di chuyển. Kết quả này đạt được bằng cách lắp đặt một số bộ phận giảm chấn đặt giữa thân xe và các bánh xe của các xe ô tô, ví dụ như: loại giảm chấn thủy lực. Đặc tính làm việc của giảm chấn được thiết kế để giảm gia tốc dọc thân xe và tạo lực bám tốt nhất giữa bánh xe với mặt đường. Nghĩa là, để đảm bảo sự êm dịu khi di chuyển nên hạn chế gia tốc dịch chuyển của thân xe bằng giảm chấn đàn hồi, nhưng như vậy sẽ cho phép sự dịch chuyển tương đối giữa bánh xe và đường lớn hơn, làm giảm khả năng bám của xe. Ngoài ra, hành trình dịch chuyển của hệ thống thường được gọi là biên độ dịch chuyển của phần khối lượng được treo sẽ làm giảm sự tách bánh xe khỏi mặt đường. Để giảm vận tốc tương đối hay nói cách khác là tăng độ bám đường của xe thì cần thiết kế bộ giảm chấn cứng hơn. Với hệ số cản lớn hơn sẽ làm tăng độ bám đường xe, tuy nhiên cũng sẽ làm gia tăng gia tốc dịch chuyển thân xe, làm giảm tính êm dịu cần thiết của hệ thống treo.



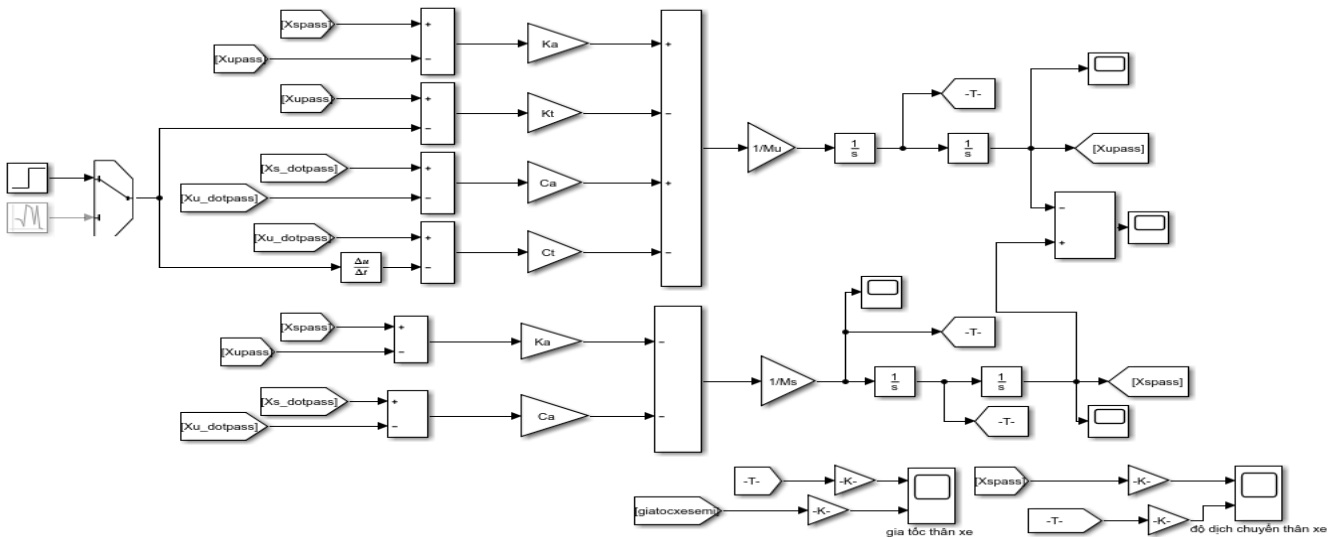
Hình 6. Mô hình ¼ của hệ thống treo bị động [2]

Thiết kế ban đầu cho hệ thống treo ô tô tập trung vào việc đáp ứng các tiêu chí không bị hạn chế đối với hệ thống treo bị động, với mong muốn độ cứng của hệ thống treo thấp, giảm khối lượng không được treo và hệ số cản của giảm xóc tốt để tăng khả năng kiểm soát tốt nhất. Do đó, hệ thống treo bị động được thiết kế với các giá trị xác định, với giá thành thấp và đã được sử dụng rộng rãi cho xe hơi ngày nay. Tuy nhiên, giảm xóc thông thường không cung cấp năng lượng cho hệ thống treo và chỉ điều khiển sự dịch chuyển của thân xe và bánh xe bằng cách hạn chế vận tốc của phần khối lượng được treo và không được treo theo tỷ lệ do các kỹ sư xác định trong quá trình thiết kế. Do đó, hiệu

suất làm việc tối ưu của treo bị động chỉ đáp ứng trên một số biên dạng đường xác định. Sơ đồ vật lý biểu diễn hệ thống treo bị động được thể hiện trong hình 6 [2].

Mô hình đề xuất trên hình 6 là mô hình 2 bậc tự do của hệ thống treo bị động. Phương trình điều chỉnh dao động cho mô hình ¼ xe được viết như sau:

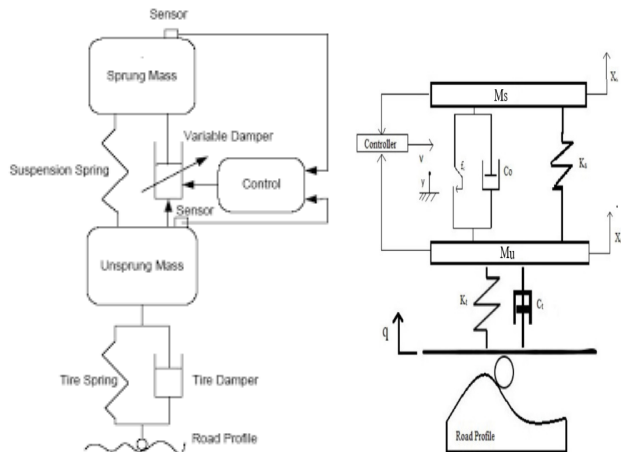
$$\begin{aligned}
 & -K_t(X_u - q) - C_t(\dot{X}_u - \dot{q}) + K_a(X_s - X_u) + \\
 & C_s(\dot{X}_s - \dot{X}_u) = M_u\ddot{X}_u \\
 & -K_a(X_s - X_u) - C_a(\dot{X}_s - \dot{X}_u) = M_s\ddot{X}_s
 \end{aligned}$$



Hình 7. Mô hình Simulink mô phỏng cho hệ thống treo bị động

Các phương trình trên là phương trình vi phân cấp hai của hệ thống treo bị động. Việc giải phương trình chuyển động này rất khó nên thông thường có thể sử dụng phần mềm Matlab/Simulink. Việc giải phương trình và xác định các thông số làm việc sẽ được thực hiện bằng cách viết các phương trình trong Matlab và sử dụng các khối thư viện Simulink sẵn có. Mô hình simulink mô phỏng cho hệ thống treo bị động được thể hiện trên hình 7.

2.4. Xây dựng mô hình toán của hệ thống treo bán chủ động cho mô hình ¼ xe



Hình 8. Mô hình ¼ của hệ thống treo bán chủ động [2]

Hệ thống treo bán chủ động có thể thay đổi độ nhớt dầu thủy lực của giảm xóc và không bổ sung năng lượng cho hệ thống treo, hệ thống này đòi hỏi ít năng lượng để hoạt động và chi phí đầu tư. Trong kết cấu hệ thống treo bán tích cực bộ giảm chấn lưu biến từ tính (MR) có vị trí quan trọng nhất vì lực cản của giảm chấn thay đổi trong phạm vi lớn với mức năng lượng tiêu thụ rất nhỏ có thể hoạt động bằng pin, thiết kế cơ học đơn giản và chi phí sản xuất thấp. Mô hình vật lý hệ thống treo bán tích cực được giới thiệu trên hình 8 [2].

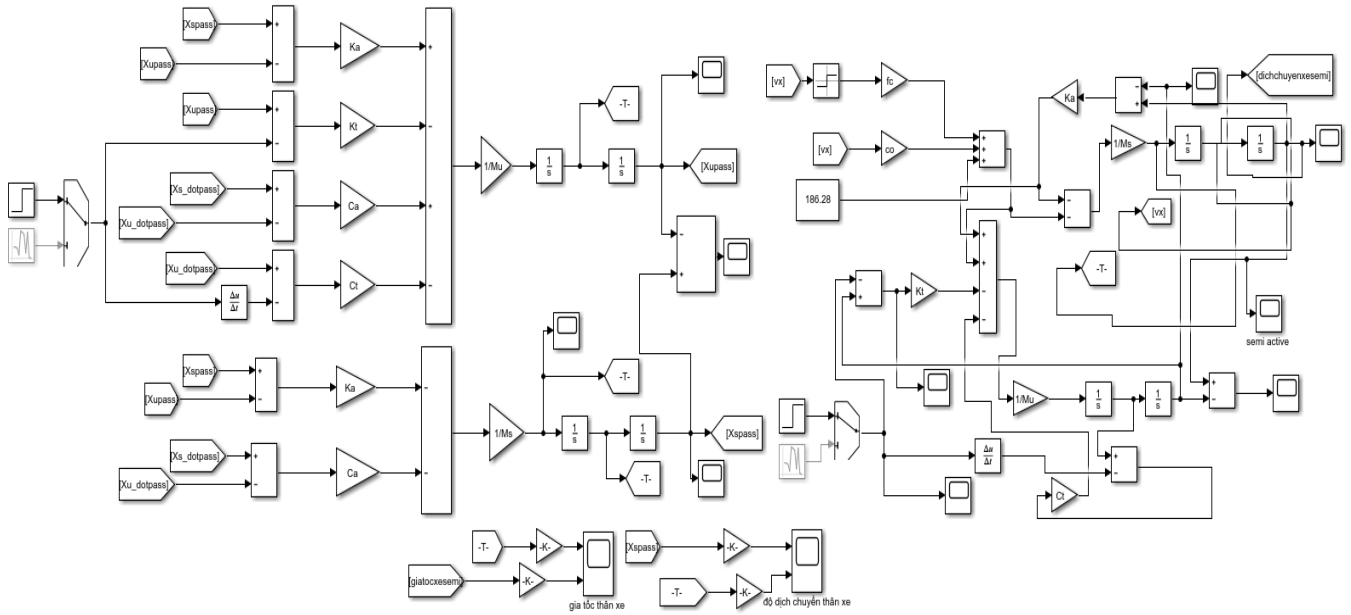
Sơ đồ hình 8 là mô hình 2 bậc tự do với van tiết lưu MR. Động lực học của giảm chấn thủy lực MR được mô hình hóa trên cơ sở của mô hình tham chiếu Bingham. Đây là mô hình cơ bản được sử dụng để mô tả nguyên lý hoạt động của giảm chấn thủy lực MR. Mô hình Bingham thể hiện mối liên hệ phi tuyến giữa độ nhớt chất lỏng đi qua lỗ van tiết lưu.

Theo mô hình vật lý của Bingham, khi vận tốc piston khác 0, trong đó PaAs là lực đàn hồi của dung dịch dầu được sử dụng trong giảm chấn, cvis là lực nén do tác động từ tính nhớt của chất lỏng MR; FMR lực do áp lực tạo ra từ ứng suất chảy của chất lỏng MR, chúng liên tục được điều khiển do cường độ của từ trường xuyên qua giảm chấn chứa dung dịch MR.

Mô hình Bingham là một mô hình đơn giản mà chỉ cần hai tham số để mô tả hoạt động của giảm chấn MR, qua đó làm cho việc phân tích trở nên đơn giản.

$$\begin{aligned}
 & -K_t(X_u - q) - C_t(\dot{X}_u - \dot{q}) + K_a(X_s - X_u) \\
 & + C_s(\dot{X}_s - \dot{X}_u) + P_aA_s + c_{vis}\dot{x}_p + F_{MR}\text{sgn}(\dot{x}_p) \\
 & = M_u\ddot{X}_u - K_a(X_s - X_u) - C_a(\dot{X}_s - \dot{X}_u) - (P_aA_s + \\
 & c_{vis}\dot{x}_p + F_{MR}\text{sgn}(\dot{x}_p)) = M_s\ddot{X}_s
 \end{aligned}$$

Mô hình simulink mô phỏng cho hệ thống treo bán chủ động được thể hiện trên hình 9.



Hình 9. Mô hình mô phỏng cho hệ thống treo bán tích cực (Bingham)

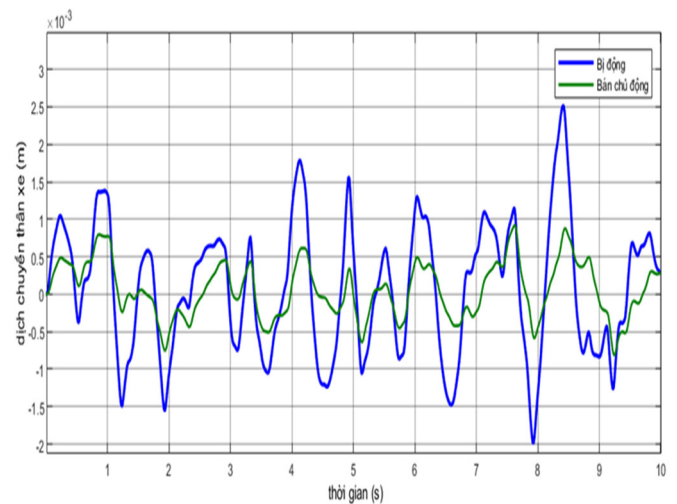
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Bảng 1. Thông số đầu vào hệ thống treo cho mô hình ¼ xe [2]

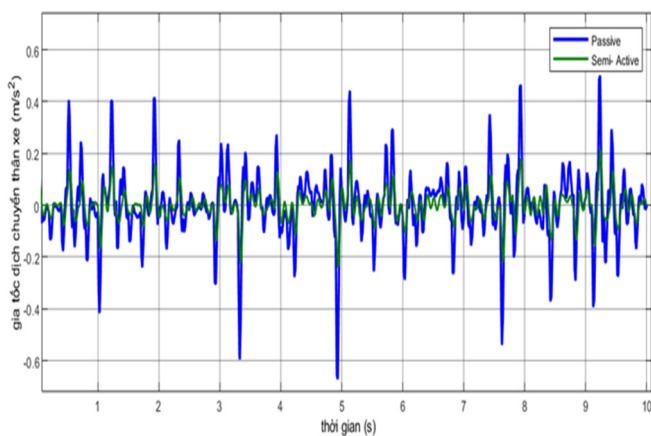
Tham số hệ thống	Giá trị
Khối lượng treo (M_s)	290kg
Khối lượng không được treo (M_u)	59kg
Độ cứng lò xo (K_s)	16182N/m
Hệ số cản giảm chấn (C_s)	1000N-sec/m
Độ cứng của lớp (K_t)	190000N/m
Hệ số giảm chấn của lớp (C_t)	230N-sec/m

Bảng 2. Các thông số mô phỏng với mô hình tham chiếu bingham [2]

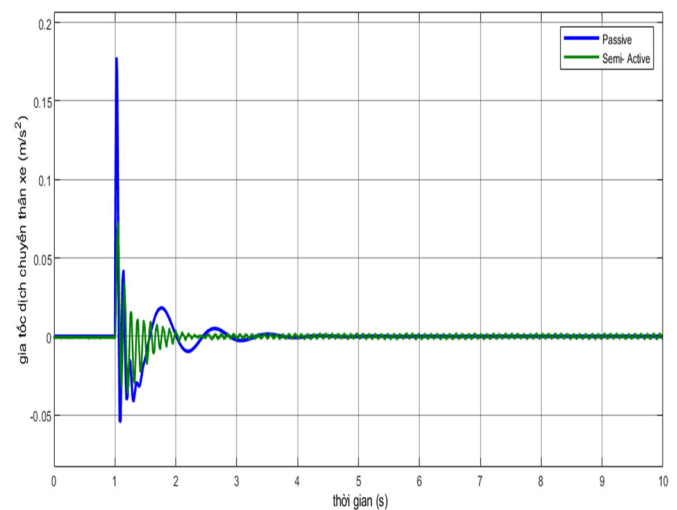
Hiện hành	Giá trị của các tham số		
I (A)	F_{MR} [N]	C_{vis} [N-giây/m]	$P_a A_s$ [N]
0,0	43,95	735,90	195,51
0,4	262,13	3948,70	186,28



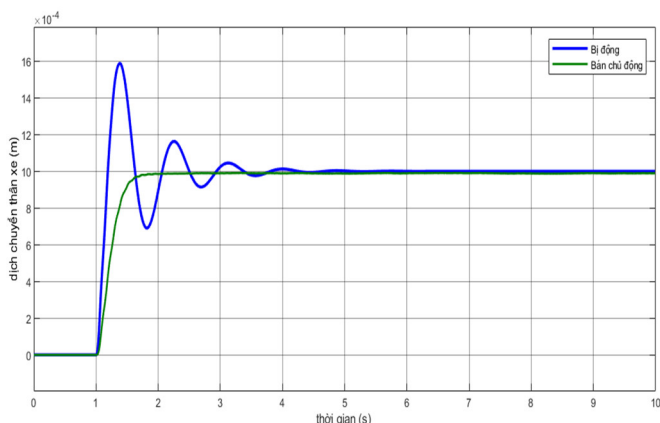
Hình 11. Dịch chuyển thân xe với biên dạng đường Random



Hình 10. Gia tốc thân xe với biên dạng đường Random



Hình 12. Gia tốc thân xe với biên dạng đường Step



Hình 13. Dịch chuyển thân xe với biên dạng đường Step

Bảng 3. So sánh giá trị thông số làm việc của hệ thống treo với biên dạng đường Step

Hệ thống treo	Hệ thống treo bị động	Hệ thống treo bán chủ động
Gia tốc khối lượng treo (m/s ²)	0,183	0,073
Dịch chuyển thân xe (m)	0,0016	0,0009

Bảng 4. So sánh giá trị thông số làm việc của hệ thống treo với biên dạng đường Random

Hệ thống treo	Hệ thống treo bị động	Hệ thống treo bán chủ động
Gia tốc khối lượng treo (m/s ²)	0,730	0,240
Dịch chuyển thân xe (m)	0,0025	0,00092

4. KẾT LUẬN

Phân tích kết quả thấy rằng, hệ thống treo bán chủ động có kết cấu đơn giản, nguyên lý hoạt động của hệ thống cho phép thay đổi lực cản giảm chấn thông qua việc điều khiển độ nhớt của chất lỏng trong phạm vi rộng, yêu cầu về tiêu hao năng lượng thấp. Ngày nay, hệ thống treo bán chủ động được nhiều nhà sản xuất xe hơn ưu tiên đầu tư nghiên cứu và áp dụng trên một số dòng xe ô tô cao cấp.

Kết quả mô phỏng cho thấy, phần trăm sai lệch lớn nhất của gia tốc dịch chuyển thân xe giữa hệ thống treo bán chủ động và hệ thống treo bị động trên cơ sở mô hình tham chiếu Bingham lần lượt là: 39,89% và 32,88%, sai khác sự dịch chuyển thân xe tương ứng là: 56,25% và 36,8% ứng với các biên dạng đường Step và Random cho mô hình ¼ xe. Kết quả cho thấy, hệ thống treo bán chủ động cho giá trị gia tốc dao động, biên độ dịch chuyển của phần khối lượng được treo đều tốt hơn của hệ thống treo bị động trên cả hai biên dạng đường mô phỏng. Đánh giá tổng quan trên cơ sở các tiêu chí: gia tốc dịch chuyển, biên độ và thời gian dập tắt dao động cho thấy hiệu suất làm việc của hệ thống treo bán chủ động sử dụng giảm chấn dầu từ trường (MR) tốt hơn so với hệ thống treo bị động.

Định hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả là tối ưu hóa các thuật điều khiển cho hệ thống treo bán chủ động với các mô hình tham chiếu khác nhau nhằm nâng cao hiệu suất làm việc của hệ thống treo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Quoc-Hung Nguyen, Seung-Bok Choi, 2008. *Optimal design of a vehicle magnetorheological damper considering the damping force and dynamic range*. Smart Structures and Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

[2]. Ankita R. Bhise, Rutuja G. Desai, R. N. Yerrawar, A. C. Mitra, R. R. Arakerimath, 2016. *Comparison Between Passive And Semi-Active Suspension System Using Matlab/Simulink*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X, Volume 13, Issue 4 Ver. I, PP 01-06.

[3]. Bogdan Sapiński, Jacek Filuś, 2003. *Analysis of parametric models of mr linear damper*. Journal of theoretical and applied mechanics 41, 2, pp. 215-240.

[4]. <https://www.lord.com/products-and-solutions/active-vibration-control/industrial-suspension-systems/magneto-rheological-mr-fluid>

[5]. Ahmad ZaimSolehin Bin Che Hasan, 2010. *Modelling and Simulation of Modified Skyhook Control for Semi-Active Suspension*. Bachelor of Engineering, University Malaysia Pahang.

[6]. H. F. Lam, C. Y. Lai, W. H. Liao, 2002. *Automobile Suspension Systems with MR Fluid Dampers*. Department of Mechanical and Automation Engineering. The Chinese University of Hong Kong. Technical Report.

[7]. R. N. Yerrawar, R. R. Arakerimath, Sagar Rajendra Patil, Prashant Sambhaji Walunj, 2014. *Performance Comparison of Semi-Active Suspension and Active Suspension System Using MATLAB/ Simulink*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 3, Issue 12.

[8]. Dau Duc Tinh, Ha Manh Thi, Nguyen Van Nguyen, Nguyen Hoang Son, Vu Hai Quan, 2019. *Simulation and calculation of testing the parameters of the active suspension system on modern cars*. Scientific Research Students, Hanoi University of Industry, Vol. 9.

[9]. Vu Hai Quan, Hoang Quang Tuan, 2019. *Simulation and control of active suspension for quarter vehicle model*. Vietnam Mechanical Engineering Journal, Vol. Special, 61-66.

[10]. Vu Hai Quan, Le Huu Chuc, 2020. *Simulation and control of active suspension for a full car model*. Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, 56(2), 84-89.

AUTHORS INFORMATION

Vu Hai Quan, Nguyen Anh Ngoc, Le Hong Quan, Hoang Quang Tuan, Bui Van Hai, Nguyen Trong Duc
Hanoi University of Industry, Vietnam