

# PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN CỦA HỆ THỐNG TREO GHẾ Ô TÔ BẰNG GỐI ĐỖ TỪ LƯU BIẾN THÔNG QUA PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG TÍCH HỢP

ANALYSIS OF THE DAMPING PERFORMANCE OF AN AUTOMOTIVE SEAT SUSPENSION SYSTEM USING A MAGNETORHEOLOGICAL MOUNT VIA AN INTEGRATED SIMULATION APPROACH

Hoàng Quang Tuấn<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Mạnh Dũng<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.168>

## TÓM TẮT

Bài báo phát triển một mô hình mô phỏng tích hợp nhằm đánh giá hiệu quả ứng dụng gối đỡ từ lưu biến (MR) cho hệ thống treo ghế ô tô. Kết quả mô phỏng điện từ bằng Altair Flux cho thấy cấu hình tấm chắn từ được cải tiến giúp tăng mật độ từ thông và nâng lực giảm chấn điều khiển lên khoảng 46 - 50% so với thiết kế ban đầu. Các đặc tính lực thu được được đưa vào mô hình động lực học một bậc tự do (1-DOF) xây dựng trên MATLAB/Simulink để phân tích đáp ứng dao động dưới kích thích điều hòa từ mặt đường. Kết quả cho thấy khi dòng điều khiển tăng từ 0 lên 2A, chuyển vị ghế giảm từ  $3 \times 10^{-3}$  m xuống gần bằng 0, thời gian đạt trạng thái ổn định rút ngắn còn khoảng 4s và gia tốc cực đại giảm từ  $3 \text{ m/s}^2$  xuống  $2,2 \text{ m/s}^2$ , chứng minh sự cải thiện rõ rệt về độ êm dịu. Phương pháp mô hình hóa liên hợp điện - cơ được đề xuất cho phép đánh giá định lượng hiệu quả của hệ treo ghế dùng MR và khẳng định tiềm năng ứng dụng của gối đỡ MR trong các hệ thống treo bán chủ động nhằm nâng cao sự thoải mái và giảm mệt mỏi cho người lái trong điều kiện vận hành kéo dài.

**Từ khóa:** Gối đỡ từ biến MR, hệ thống treo ghế ô tô, mô phỏng điện từ - động lực học tích hợp, chất lỏng từ biến (MRF).

## ABSTRACT

This paper develops an integrated modelling and simulation framework to evaluate the application of a magnetorheological (MR) mount for automotive seat suspension systems. Electromagnetic optimization performed using Altair Flux demonstrates that an improved magnetic-shield configuration increases magnetic flux density and enhances controllable damping force by approximately 46 - 50% relative to the baseline design. The obtained force characteristics are incorporated into a single-degree-of-freedom (1-DOF) dynamic model developed in MATLAB/Simulink to investigate vibration responses under harmonic road excitation. Simulation results reveal that increasing the control current from 0 to 2A significantly improves vibration isolation performance: the seat displacement decreases from  $3 \times 10^{-3}$  m to nearly zero, the stabilization time is reduced to approximately 4 s, and the peak acceleration declines from  $3 \text{ m/s}^2$  to  $2.2 \text{ m/s}^2$ , indicating notable enhancement in ride comfort. The proposed methodology provides a unified electromechanical modelling approach that enables quantitative analysis of MR-based seat suspension systems. Furthermore, the findings highlight the potential of MR mounts for integration into semi-active seat suspension applications aimed at improving occupant comfort and reducing driver fatigue in prolonged operating conditions.

**Keywords:** Magnetorheological Mount, Automotive Seat Suspension, Integrated Electromagnetic-Dynamic Simulation, Magnetorheological Fluid (MRF).

<sup>1</sup>Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: [tuanhq@hauai.edu.vn](mailto:tuanhq@hauai.edu.vn)

Ngày nhận bài: 20/3/2026

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/4/2026

Ngày chấp nhận đăng: 29/6/2026

## 1. GIỚI THIỆU

Trong ngành công nghiệp ô tô hiện đại, sự thoải mái và an toàn của người lái tiếp tục là những tiêu chí trọng

yếu trong thiết kế và phát triển phương tiện. Dao động và rung lắc truyền từ mặt đường qua hệ thống treo đến cơ thể người lái được xem là một trong những yếu tố ảnh

hường đáng kể đến chất lượng vận hành và sức khỏe người sử dụng [1, 2]. Để giảm thiểu các tác động bất lợi này, nhiều giải pháp giảm chấn cho hệ thống treo ghế đã được nghiên cứu và triển khai, hướng đến việc cải thiện sự thoải mái và tăng cường bảo vệ người lái trong những điều kiện vận hành khắc nghiệt [3, 4].

Một trong những công nghệ giảm chấn tiên tiến hiện nay là bộ giảm chấn từ biến (Gối đỡ từ biến MR), cho phép điều chỉnh đặc tính giảm chấn theo thời gian thực thông qua việc điều khiển từ trường. Với việc sử dụng chất lỏng từ biến (MR Fluid), gối đỡ từ biến MR mang lại khả năng thay đổi lực giảm chấn nhanh và linh hoạt, giúp tối ưu hóa hiệu quả cách ly dao động trong nhiều điều kiện giao thông khác nhau [5-7]. Mặc dù gối đỡ từ biến MR đã được ứng dụng trong một số cấu hình treo ô tô, việc áp dụng trong hệ thống treo ghế vẫn còn tương đối mới mẻ, đặc biệt tại Việt Nam, nơi các nghiên cứu chuyên sâu về lĩnh vực này chưa thực sự phổ biến.



Hình 1. Ghế dùng hệ thống treo bán chủ động gối đỡ từ biến MR [8]

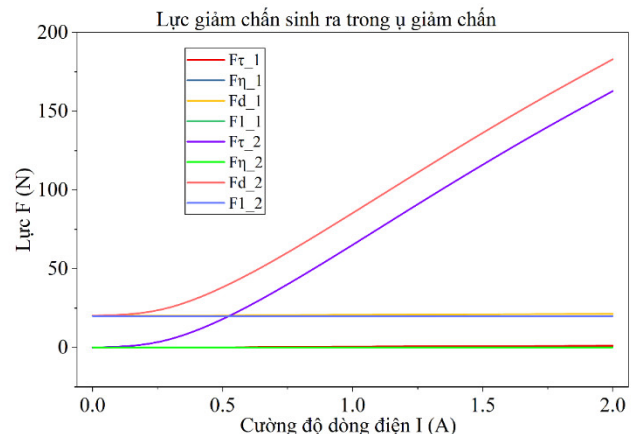
Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn đó, nghiên cứu này tập trung xây dựng và mô phỏng hệ thống treo ghế ứng dụng gối đỡ từ biến MR nhằm đánh giá khả năng cải thiện hiệu quả giảm chấn và nâng cao mức độ thoải mái cho người lái. Mô hình nghiên cứu được phát triển dựa trên cơ sở cải tiến kết cấu ảnh hưởng đến từ trường của Hoàng Quang Tuấn [9], kết hợp với các kết quả mô phỏng điện - từ và cơ học để thiết lập mô hình động lực học một bậc tự do (1-DOF) đại diện cho hệ gối đỡ từ biến MR. Thông qua phân tích đáp ứng dao động và đánh giá mức độ kiểm soát rung khi thay đổi lực điều khiển, nghiên cứu làm rõ hiệu quả cải thiện đặc tính cách ly cũng như tiềm năng ứng dụng của cấu hình đề xuất trong thực tế. Cách tiếp cận tích hợp từ mô phỏng - mô hình hóa - đánh giá động lực học này không chỉ cung cấp một quy trình

nghiên cứu toàn diện mà còn tạo nền tảng quan trọng cho việc tối ưu hóa thiết kế Gối đỡ từ biến MR và mở rộng ứng dụng trong các hệ thống giảm chấn điều khiển thông minh trong tương lai.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

### 2.1. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được triển khai theo quy trình mô phỏng - phân tích hai tầng. Trước hết, Altair Flux được sử dụng để mô phỏng trường điện từ của gối đỡ giảm chấn từ biến, nhằm đánh giá và cải tiến cấu trúc với mục tiêu tăng cường cường độ từ trường và nâng cao lực giảm chấn. Kết cấu cải tiến cho phép tập trung từ thông hiệu quả hơn, làm gia tăng đáng kể mật độ từ tại lớp dầu MR, từ đó cải thiện lực giảm chấn như thể hiện ở hình 2 [9]. Trong đó  $F_{d\_1}$  biểu diễn tổng lực giảm chấn của mô hình ban đầu, còn  $F_{d\_2}$  là tổng lực giảm chấn của mô hình cải tiến. Nhờ sự gia tăng lực giảm chấn, gối đỡ MR có khả năng nâng cao đáng kể hiệu quả cách ly rung động từ động cơ, giảm biên độ dao động và tạo tiền đề để ứng dụng vào mô hình dao động một bậc tự do (1-DOF).



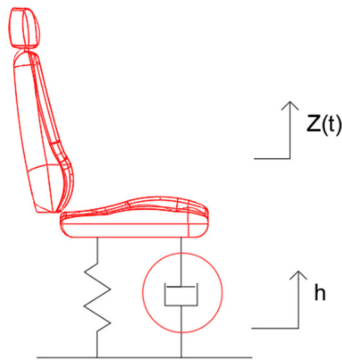
Hình 2. Lực giảm chấn được gia tăng khi sử dụng kết cấu mới [9]

Ở tầng phân tích thứ hai, MATLAB/Simulink được sử dụng để xây dựng mô hình động lực học 1-DOF, trong đó ghế và người lái được quy đổi về một khối lượng tương đương, liên kết với phần tử đàn hồi và phần tử giảm chấn phụ thuộc từ trường. Mô hình tính đến các yếu tố như độ cứng lò xo, độ cứng cao su, độ nhớt của chất lỏng MR và ứng suất cắt phụ thuộc vào cường độ từ trường được xác định từ mô phỏng Flux, cho phép đánh giá toàn diện ảnh hưởng của từng tham số đến hiệu suất hệ treo ghế. Các kịch bản mô phỏng với các mức dòng kích từ khác nhau được xây dựng nhằm phân tích đáp ứng dao động của hệ, qua đó làm rõ mối liên hệ giữa thiết kế điện - từ và hành vi cơ học. Quy trình nghiên cứu này cung cấp cơ sở định

lượng quan trọng cho việc tối ưu hóa gối giảm chấn MR trong ứng dụng hệ thống treo ghế ô tô.

## 2.2. Mô hình giảm dao động của ghế ứng dụng Ụ MR

Dựa trên phương pháp nghiên cứu đã trình bày ở mục trước, mô hình giảm dao động của ghế sử dụng gối đỡ từ biến MR được xây dựng và minh họa trong hình 3, nhằm phục vụ cho quá trình mô phỏng cũng như phân tích đáp ứng dao động của ghế lái.



Hình 3. Mô hình khối hệ thống treo ghế ứng dụng Ụ MR

Mô hình dao động của hệ thống được thiết lập dựa trên các phương trình chuyển động cơ bản của lý thuyết dao động cơ học, trong đó  $Z(t)$  biểu diễn chuyển vị theo thời gian của ghế ( $m$ ) và  $h(t)$  là kích thích động học đầu vào tại sàn cabin (đã được lọc qua hệ thống treo chính của ô tô), được mô tả dưới dạng hàm điều hòa  $0,01\sin\omega t(m)$  [10]. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá chi tiết sự tương tác giữa lực giảm chấn phụ thuộc từ trường của gối đỡ MR và đáp ứng dao động của hệ ghế, đồng thời tạo cơ sở cho việc phân tích khả năng giảm rung của cấu hình treo ghế trong các điều kiện vận hành khác nhau.

## 2.3. Mô hình toán học

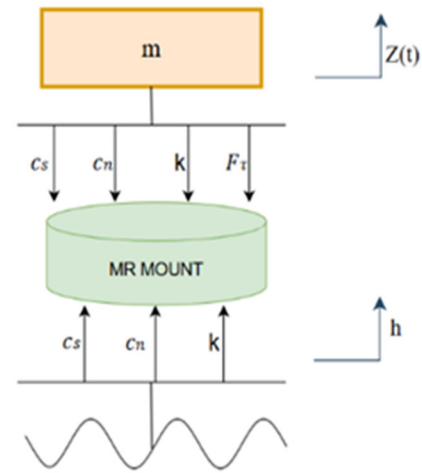
Để thiết lập mô hình động lực học một bậc tự do, bước quan trọng đầu tiên là xây dựng phương trình mô tả lực giảm chấn của gối đỡ từ biến MR, nhằm định lượng và phân tách rõ các thành phần lực tác động lên hệ. Việc xác định chính xác lực giảm chấn cho phép mô hình hóa đúng hành vi phi tuyến của gối đỡ MR dưới tác động của từ trường và điều kiện dao động. Theo đó, lực giảm chấn của gối đỡ MR được xác định theo công thức sau [11]:

$$F_d = F_1 + F_\eta + F_\tau + F_{lx} \quad (1)$$

Trong đó:  $F_1$ : Lực đàn hồi của cao su (N),  $F_\eta$ : Lực nhớt từ của chất lỏng (N),  $F_\tau$ : Lực sinh ra do hiệu ứng từ trường (N),  $F_{lx}$ : Lực đàn hồi của lò xo (N).

Phương trình dao động của lò xo [12]:

$$F_{lx} = c_s(h - Z) \quad (2)$$



Hình 4. Mô hình 1 bậc tự do

Theo định luật Hooke, lực đàn hồi của thành phần cao su trong gối đỡ từ biến MR được tính toán theo công thức [9]:

$$F_1 = k \cdot (h - Z) \quad (3)$$

Lực sinh ra do hiệu ứng nhớt của chất lỏng là lực cản xuất hiện khi chất lỏng bị biến dạng do chuyển động tương đối giữa các bề mặt và được biểu diễn theo công thức [9]:

$$F_\eta = c_n \cdot (\dot{h} - \dot{Z}) \quad (4)$$

Với  $\dot{h} - \dot{Z}$  là vận tốc tương đối giữa đĩa chuyển động và vỏ (m/s),  $c_n$  là hệ số cản nhớt của gối đỡ. Hệ số  $c_n$  được xác định thông qua đặc tính nhớt cơ bản của chất lỏng MR ở trạng thái không có từ trường và các thông số hình học của khe hở làm việc.

Lực giảm chấn do hiệu ứng của từ trường được biểu diễn [9]:

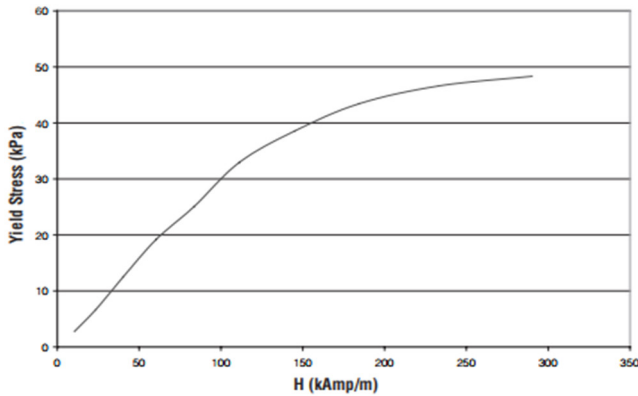
$$F_\tau = \int_{r_{min}}^{r_{max}} \frac{2\tau_y}{h_1 - x(t)} (r_{max} - r) 2\pi r dr$$

$$= \frac{4\pi\tau_y}{h_1 - x(t)} \left( \frac{r_{max}(r_{max}^2 - r_{min}^2)}{2} - \frac{r_{max}^3 - r_{min}^3}{3} \right) \quad (5)$$

Mối quan hệ giữa ứng suất chảy  $\tau_y$  và cường độ từ trường  $H$  được thể hiện ở đường cong đặc trưng do Lord Corporation cung cấp. Sử dụng phương pháp Curve Fitting trên phần mềm Matlab để đưa ra được đa thức biểu thị mối quan hệ giữa ứng suất chảy và cường độ từ trường. Công thức và các hệ số trong phương trình được thể hiện bên dưới. Từ đường đặc tính của dầu sử dụng phương pháp nội suy đường cong (Curver Fitting) từ phần mềm MATLAB được phương trình:

$$\tau_y = p_0 + p_1 H_{MR}^1 + p_2 H_{MR}^2 + p_3 H_{MR}^3 + p_4 H_{MR}^4$$

$$+ p_5 H_{MR}^5 + p_6 H_{MR}^6 + p_7 H_{MR}^7 + p_8 H_{MR}^8 \quad (6)$$



Hình 5. Đường đặc tính của dầu

Trong đó:  $\tau_y$  là ứng suất cắt (Pa),  $p_i$  là các hệ số được xác định bằng phương pháp Curve Fitting,  $H_{MR}$  là cường độ từ trường (A/m) [9].

Các hệ số  $p_i$  với các mức dầu khác nhau được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Các hệ số  $p_i$  xác định theo phương pháp khớp đường cong Curve Fitting

| MRF   | 122EG [13] | 132DG [14] | 140CG [15] |
|-------|------------|------------|------------|
| $p_0$ | 0,2976     | 0,0123     | 18,165     |
| $p_1$ | 0,095      | 0,2151     | 0,4484     |
| $p_1$ | 4,70E-03   | 5,00E-03   | 5,90E-03   |
| $p_3$ | -6,65E-05  | -1,01E-04  | -2,66E-04  |
| $p_4$ | 4,51E-07   | 1,08E-06   | 5,67E-06   |
| $p_5$ | -1,76E-09  | -7,15E-09  | -6,83E-08  |
| $p_6$ | 4,02E-12   | 2,80E-11   | 4,52E-10   |
| $p_7$ | -4,95E-15  | -5,87E-14  | -1,53E-12  |
| $p_8$ | 2,53E-18   | 5,07E-17   | 2,08E-15   |

Nghiên cứu sử dụng mô hình 1 bậc tự do là nhằm đơn giản hóa bài toán, tập trung vào mối quan hệ giữa lực kích thích từ mặt đường tác động trực tiếp và vật giảm chấn từ đó có thể tính toán ra các thông số động lực học như chuyển vị, vận tốc, gia tốc. Từ những kết quả này đã mang lại những thông số, hiểu biết cơ bản về đặc tính

phi tuyến của gối đỡ từ biến. Mô hình 1 bậc tự do của ghế lái được xây dựng theo phương trình (7) [16]:

$$m\ddot{Z}(t) + c_n\dot{Z}(t) + kZ(t) = F_{input}(t) \quad (7)$$

Trong đó:  $m$  là khối lượng của vật đang dao động (kg);  $Z(t)$ ,  $\dot{Z}(t)$ ,  $\ddot{Z}(t)$  lần lượt là chuyển vị, vận tốc, gia tốc của vật đang dao động theo thời gian  $t$ . Kết hợp giữa mô hình động lực học và cơ sở lý thuyết tính toán lực giảm chấn trong gối đỡ từ biến MR sẽ đánh giá một cách chi tiết và chính xác hơn về hiệu quả làm việc của gối đỡ từ biến MR.

#### 2.4. Bảng thông số mô phỏng

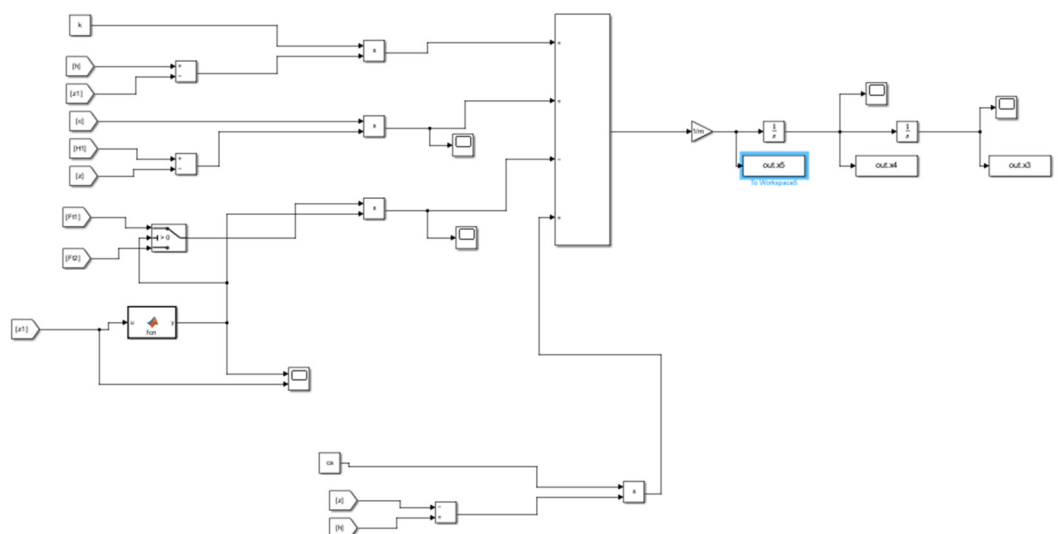
Để tính toán và áp dụng được mô hình 1 bậc tự do (1-DOF) vào trong phần mềm MATLAB/Simulink ngoài những thông số được nêu ở trên còn sử dụng một số thông số cần thiết trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số mô phỏng

| Tên gọi                          | Kí hiệu | Giá trị | Đơn vị |
|----------------------------------|---------|---------|--------|
| Độ cứng của lò xo                | $c_s$   | 8000    | N/m    |
| Khối lượng của người và ghế [17] | $m$     | 71      | Kg     |
| Độ cứng của cao su               | $k$     | 20000   | N/m    |

#### 2.5. Mô hình Simulink hệ thống ghế ứng dụng gối đỡ MR

Áp dụng các thông số lực tính toán (bảng 2) và mô hình 1 bậc tự do (1-DOF) vào phần mềm MATLAB & Simulink [18] để tính toán ra được lực giảm chấn và các thông số động lực học từ đó đánh giá được mức độ hiệu quả của mô hình gối đỡ từ biến MR.

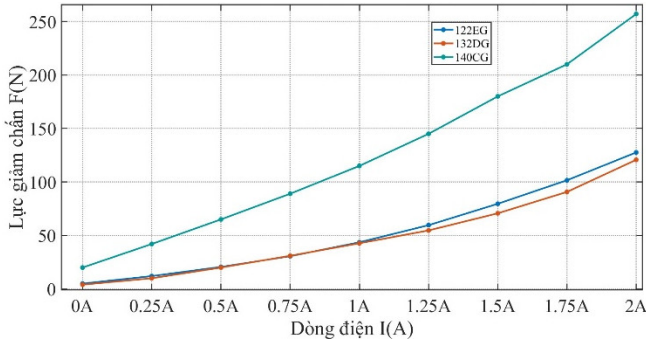


Hình 6. Mô hình Simulink hệ thống treo ghế ứng dụng gối đỡ MR

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Lực giảm chấn

Với các mức dầu khác nhau sau khi mô phỏng và tính toán đã sinh ra các lực giảm chấn khác nhau được thể hiện trong hình 7.



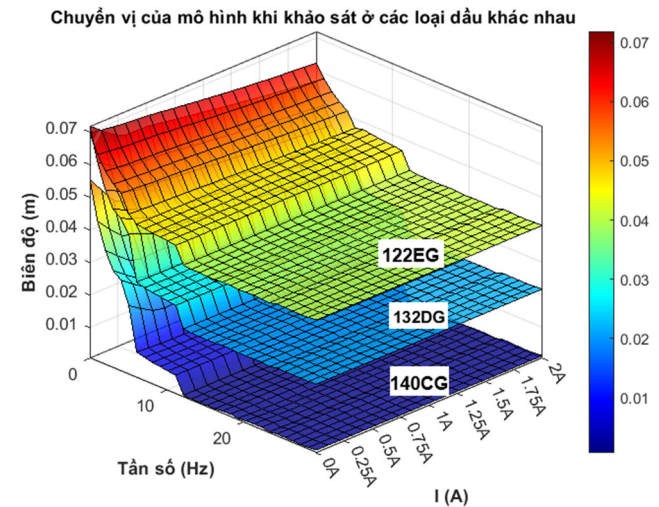
Hình 7. Lực giảm chấn ở các mức dầu khác nhau

Hình 7 thể hiện quan hệ giữa dòng điện kích từ và lực giảm chấn sinh ra đối với ba loại chất lỏng từ lưu biến (MRF): 122EG, 132DG và 140CG. Kết quả cho thấy lực giảm chấn tăng gần như tuyến tính theo dòng điện trong dải khảo sát 0 - 2A, phản ánh đặc tính tăng ứng suất chảy của MRF khi mật độ từ thông tăng. Trong ba loại MRF, 140CG tạo ra lực giảm chấn lớn nhất ở mọi mức dòng điện, đạt xấp xỉ 240N tại 2A cao hơn đáng kể so với 132DG (~160N) và 122EG (~150N). Sự khác biệt này bắt nguồn từ mật độ hạt từ cao hơn và độ nhớt cơ bản lớn hơn của 140CG, dẫn đến khả năng hình thành cấu trúc chuỗi liên kết mạnh hơn trong từ trường. Hai loại MRF còn lại (122EG và 132DG) thể hiện xu hướng tương đồng nhưng giá trị lực thấp hơn, đặc biệt tại các mức dòng lớn hơn 1,5A, cho thấy độ bão hòa từ thấp hơn. Nhìn chung, kết quả chỉ ra rằng việc lựa chọn MRF ảnh hưởng đáng kể đến khả năng thay đổi lực giảm chấn của hệ thống, trong đó 140CG phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu lực lớn, trong khi 122EG và 132DG thích hợp hơn cho các hệ thống cần lực điều khiển vừa phải và ổn định.

#### 3.2. Chuyển vị của gối đỡ từ biến MR với các mức dầu khác nhau

Dựa trên lực giảm chấn được tính toán và trình bày trong hình 7, mô hình Simulink được xây dựng để xác định chuyển vị của gối đỡ từ lưu biến (MR Mount) khi sử dụng các loại dầu MRF khác nhau trong dải tần số khảo sát 1 - 30Hz. Kết quả mô phỏng cho thấy biên độ chuyển vị của hệ dao động giảm dần khi dòng điện kích từ tăng đối với cả ba loại dầu MRF. Trong đó, dầu MRF-140CG tạo ra biên độ nhỏ nhất, phù hợp với quy luật giảm chấn do loại dầu này sinh ra lực giảm chấn lớn nhất. Hai loại dầu 122EG và 132DG thể hiện xu hướng tương tự về đặc tính

lực; tuy nhiên, khi áp dụng vào mô hình chuyển vị, dầu 132DG cho hiệu quả giảm dao động cao hơn.

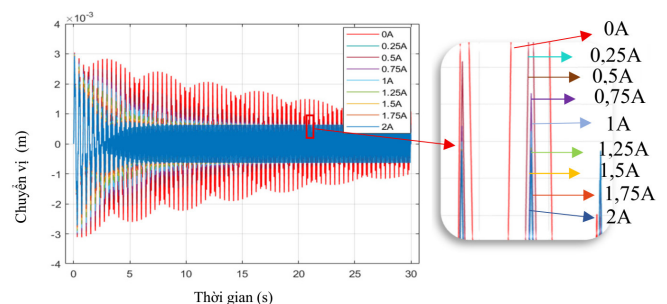


Hình 8. Biên độ của gối đỡ từ biến MR với các mức dầu khác nhau

Xét theo tần số kích thích, biên độ dao động giảm rõ rệt khi tần số tăng. Ở vùng tần số thấp, sự khác biệt giữa các loại dầu MRF được thể hiện rõ hơn; trong khi ở vùng tần số cao, biên độ dao động của cả ba loại dầu tiệm cận nhau do hệ trở nên cứng hơn và chịu ảnh hưởng đáng kể của quán tính.

#### 3.3. Động lực học của gối đỡ từ biến MR với mức dầu 132DG

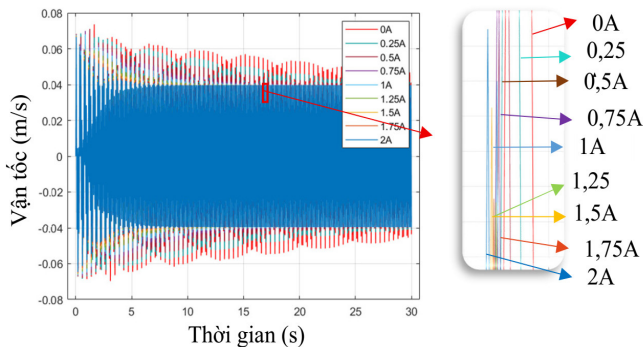
Dựa trên kết quả phân bố biên độ theo tần số và dòng điện (hình 8), dầu MRF-132DG thể hiện giá trị biên độ dao động nằm giữa hai loại dầu 122EG và 140CG trong toàn bộ miền khảo sát. Biên độ của dầu 132DG không quá lớn như 122EG và cũng không quá nhỏ như 140CG, cho thấy đặc tính đáp ứng ổn định và phù hợp cho các phân tích động lực học chi tiết. Do mục tiêu của giai đoạn nghiên cứu tiếp theo là đánh giá hành vi dao động theo thời gian và khả năng kiểm soát rung kéo dài, dầu 132DG được lựa chọn để tiếp tục khai thác trong các bước mô phỏng sau.



Hình 9. Chuyển vị của ghế theo thời gian ở các dòng điện khác nhau

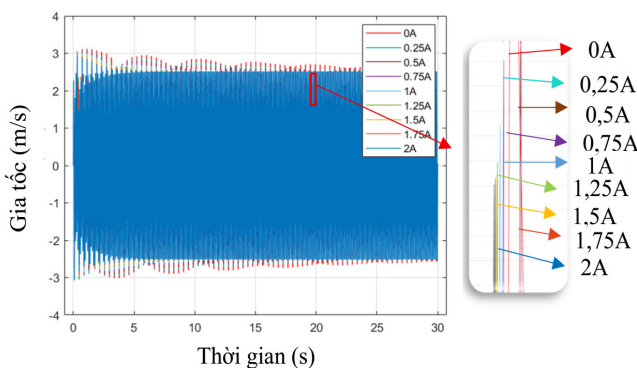
Kết quả mô phỏng chuyển vị theo thời gian (hình 9) là cơ sở đánh giá khả năng giảm dao động của hệ thống treo ghế sử dụng gối đỡ MR. Khi không cấp dòng điện

( $I = 0A$ , đường màu đỏ), hệ dao động với biên độ lớn, đạt xấp xỉ  $3 \times 10^{-3}m$ , và thể hiện quá trình tắt dần rất chậm, phản ánh khả năng tiêu tán năng lượng hạn chế. Khi dòng điện kích từ được tăng từ 0,25A đến 2A, biên độ dao động giảm đáng kể và thời gian đạt trạng thái ổn định được rút ngắn tương ứng. Đặc biệt, tại dòng điện cực đại  $I = 2A$ , chuyển vị nhanh chóng được khống chế quanh vị trí cân bằng chỉ sau khoảng 4 giây, chứng tỏ cơ chế điều khiển bằng dòng điện đã gia tăng đáng kể khả năng tiêu tán năng lượng của hệ. Điều này khẳng định hiệu quả kiểm soát dao động của gối đỡ từ lưu biến trong ứng dụng treo ghế ô tô.



Hình 10. Vận tốc của ghế theo thời gian ở các dòng điện khác nhau

Hình 10 mô tả sự biến thiên vận tốc của mô hình, một tham số quan trọng trong việc mô phỏng và đánh giá lực giảm chấn. Tương tự nhận xét về chuyển vị, vận tốc cực đại cũng giảm dần khi dòng điện kích từ tăng. Cụ thể, vận tốc lớn nhất giảm từ khoảng 0,07m/s tại dòng 0A xuống còn xấp xỉ 0,04m/s ở 2A. Sự suy giảm vận tốc này phản ánh rằng phần tử giảm chấn MR tạo ra lực cản lớn hơn và hiệu quả hơn lên khối lượng dao động, góp phần triệt tiêu vận tốc dao động nhanh chóng. Đây là cơ sở để nâng cao khả năng kiểm soát gia tốc và cải thiện độ êm dịu cho người ngồi.



Hình 11. Gia tốc của ghế theo thời gian ở các dòng điện khác nhau

Dựa trên tiêu chuẩn quốc tế ISO 2631-1 về đánh giá tác động của rung động toàn thân đến cơ thể người, giá trị gia tốc dao động là thông số cốt lõi quyết định mức độ

thoải mái. Ở trạng thái không cấp dòng điện ( $I = 0A$ ), gia tốc cực đại đạt khoảng  $3m/s^2$ , biểu hiện mức độ rung mạnh, có khả năng gây khó chịu trong quá trình vận hành. Khi dòng điện được cung cấp, gia tốc của hệ thống giảm đáng kể và nhanh chóng ổn định quanh giá trị xấp xỉ  $2,2m/s^2$ . Kết quả này cho thấy tải trọng động truyền lên ghế đã được giảm thiểu rõ rệt. Sự cải thiện này bắt nguồn từ cơ chế của chất lỏng từ biến: khi dòng điện kích từ tăng, lực cắt của dầu MR tăng theo, kéo theo hệ số giảm chấn hiệu dụng tăng và làm giới hạn giá trị gia tốc đỉnh. Nhờ đó, hệ thống có khả năng cách ly hiệu quả hơn các kích thích từ mặt đường, nâng cao chất lượng vận hành và độ êm dịu của ghế ô tô một cách đáng kể.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết lập thành công một mô hình mô phỏng toàn diện cho hệ thống treo ghế ô tô sử dụng gối đỡ từ lưu biến, kết hợp phân tích điện từ, dự đoán lực giảm chấn và mô phỏng động lực học. Thiết kế tấm chắn từ cải tiến cho thấy hiệu quả vượt trội khi làm tăng 46–50% mật độ từ thông và lực giảm chấn điều khiển, chứng minh tính ưu việt so với cấu hình ban đầu. Khi áp dụng vào hệ treo ghế, gối đỡ MR giúp giảm biên độ chuyển vị của ghế ở trạng thái ổn định giảm từ hơn  $1 \times 10^{-3}m$  (ở chế độ thụ động 0A) xuống còn khoảng  $0,5 \times 10^{-3}m$  (khi cấp dòng 2A), rút ngắn thời gian ổn định còn khoảng 4s và giảm gia tốc cực đại từ  $3m/s^2$  xuống  $2,2m/s^2$ , qua đó cải thiện đáng kể độ êm dịu và khả năng cách ly rung động.

Đóng góp nổi bật của nghiên cứu nằm ở việc phát triển mô hình liên hợp mô tả đồng thời đặc tính điện từ và đáp ứng dao động của hệ thống treo ghế - điều kiện cần thiết cho việc thiết kế, đánh giá và tối ưu hóa các hệ thống treo bán chủ động. Về mặt ứng dụng, gối đỡ MR có tiềm năng được tích hợp vào các dòng xe thương mại nhằm nâng cao sự thoải mái và giảm mệt mỏi của người lái. Trong tương lai, nghiên cứu sẽ được mở rộng theo hướng thử nghiệm thực nghiệm trên mô hình ghế nguyên mẫu, phát triển các thuật toán điều khiển tiên tiến (Skyhook, LQR, điều khiển thích nghi), tối ưu hóa vật liệu MRF và hình học cuộn dây, đồng thời xem xét mô phỏng cho toàn bộ hệ thống treo ô tô với kích thích mặt đường thực để tăng cường giá trị ứng dụng công nghiệp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Wang S., Elahinia M., Nguyen T., "Displacement and force control of a quarter car using a mixed mode MR Mount," *Shock and Vibration*, 20/1, 1-17, 2013.

- [2]. Ahn Y.K., Yang B.S., Ahmadian M., Morishita S., "A small-sized variable-damping mount using magnetorheological fluid," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 16/2, 127-133, 2005.
- [3]. Carlson J.D., Jolly M.R., "MR fluid, foam and elastomer devices," *Mechatronics*, 10/4-5, 555-569, 2000.
- [4]. Ahamed R., Choi S.B., Ferdaus M.M., "A state of the art on magnetorheological materials and their potential applications," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 29/10, 2051-2095, 2018.
- [5]. Seong M.S., Choi S.B., Kim C.H., "Design and performance evaluation of MR damper for integrated isolation mount," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 22/15, 1729-1738, 2011.
- [6]. Chen S., Li R., Du P., Zheng H., Li D., "Parametric modeling of a magnetorheological engine mount based on a modified polynomial Bingham model," *Frontiers in Materials*, 6, 68, 2019.
- [7]. Heidarian A., Wang X., "Review on seat suspension system technology development," *Applied Sciences*, 9/14, 2834, 2019.
- [8]. Zhu H., Rui X., Yang F., Zhu W., Gu J., "Semi-active scissors-seat suspension with magneto-rheological damper," *Frontiers in Materials*, 7, 591283, 2020.
- [9]. Tuan H.Q., "Nghiên cứu ảnh hưởng của tấm chắn từ trong ụ giảm chấn sử dụng chất lỏng từ biến," *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, 2025.
- [10]. Hsieh C. Y., *Energy harvesting and control of a regenerative suspension system using switched mode converters*. PhD dissertation, University of California, 2014.
- [11]. Bai X.X., Chen P., Qian L.J., Kan P., "Design and analysis of a magnetorheological fluid mount featuring uni-directional squeeze mode," in *Proceedings of Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, ASME, 57304, V002T04A001, 2015.
- [12]. Thanh H.Q., *Sức bền vật liệu 2*. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, 2021.
- [13]. Creact Corporation, *MRF-122EG Magneto-Rheological Fluid Datasheet*. Accessed: 08.10.2025. Available at: [https://www.creact.co.jp/measure/mr-er/mr/file/MRF-122EG\\_datasheet.pdf](https://www.creact.co.jp/measure/mr-er/mr/file/MRF-122EG_datasheet.pdf)
- [14]. Parker Hannifin Corporation, *MRF-132DG Magneto-Rheological Fluid Datasheet*. Accessed: 08.10.2025. Available at: [https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Assembly---Protection-Solutions-Division/Technical-Datasheets-%28TDS%29/Datasheet---MRF-132DG\\_MRFluid\\_DS7015.pdf](https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Assembly---Protection-Solutions-Division/Technical-Datasheets-%28TDS%29/Datasheet---MRF-132DG_MRFluid_DS7015.pdf)
- [15]. LORD Corporation, *MRF-140CG Magneto-Rheological Fluid*. Accessed: 08.10.2025. Available at: <https://www.shoplordmr.com/mr-products/mrf-140cg-magneto-rheological-fluid-1-liter>
- [16]. Guo C., Gong X., Xuan S., Qin L., Yan Q., "Compression behaviors of magnetorheological fluids under nonuniform magnetic field," *Rheologica Acta*, 52/2, 165-176, 2013.
- [17]. Rakheja S., Haru I., Boileau P. É., "Seated occupant apparent mass characteristics under automotive postures and vertical vibration," *Journal of Sound and Vibration*, 253/1, 57-75, 2002.
- [18]. MathWorks, *Simulink - Simulation and Model-Based Design*. Accessed: 08.10.2025. Available at: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Hoang Quang Tuan, Nguyen Manh Dung**

Hanoi University of Industry, Vietnam