

THIẾT KẾ VÀ TÍNH TOÁN TỐI ƯU MỘT BỘ GIẢM CHẤN MỚI DÙNG LƯU CHẤT TỪ BIẾN VÀ CƠ CẤU VÍT ME BI ỨNG DỤNG TRONG NGÀNH Ô TÔ

LÊ HẢI ZY ZY, NGUYỄN QUỐC HƯNG, DIỆP BẢO TRÍ*

Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh

*Tác giả liên hệ: diepbaotri@iuh.edu.vn.

DOIs: : <https://www.doi.org/10.46242/jstih.v75i3.5268>

Tóm tắt. Trong nghiên cứu này sẽ trình bày một thiết kế mới về bộ giảm chấn kiểu mới sử dụng chất từ lưu biến (MRF) sử dụng cho giảm xóc trong ô tô, với mục tiêu chính là cải thiện lực giảm chấn so với bộ giảm chấn sử dụng MR đã nghiên cứu trước đây. Bộ giảm chấn này là sự kết hợp giữa nguyên lý của vít me bi và phanh từ biến để mà có thể chuyển chuyển xoay thành chuyển động tịnh tiến. Trong nghiên cứu này sẽ tổng hợp và phân tích một số nghiên cứu trước đó có liên quan đến nội dung nghiên cứu, sau đó việc thiết kế cơ cấu và mô hình hóa bộ giảm chấn mới này sẽ được thực hiện bằng cách áp dụng mô hình dẻo Bingham và phương pháp phần tử hữu hạn. Các mô hình toán cũng sẽ được thiết lập để tính toán lực giảm chấn và mô men ma sát của bộ giảm chấn được đề xuất này. Để đạt được lực giảm chấn cần thiết với chi phí sản xuất thấp nhất, việc áp dụng phương pháp tối ưu hóa PSO cho bộ giảm chấn sử dụng lưu chất từ biến này. Dựa vào các thông số tối ưu đạt được sẽ được sử dụng để chế tạo mô hình thực tế và kiểm nghiệm khả năng thực tế của bộ giảm chấn dùng lưu chất từ biến, kết quả này sau đó được so sánh với kết quả mô phỏng. Bộ giảm chấn dùng lưu chất từ biến mới như là một giải pháp hiệu quả để kiểm soát độ rung động trong nhiều ứng dụng bao gồm ô tô, máy móc và tòa nhà. Cuối cùng nghiên cứu này sẽ mang lại khả năng giảm chấn được cải thiện và ứng dụng rộng rãi trong thực tế.

Từ khóa. Lưu chất từ lưu biến, Giảm chấn từ lưu biến, Vít me bi, PSO.

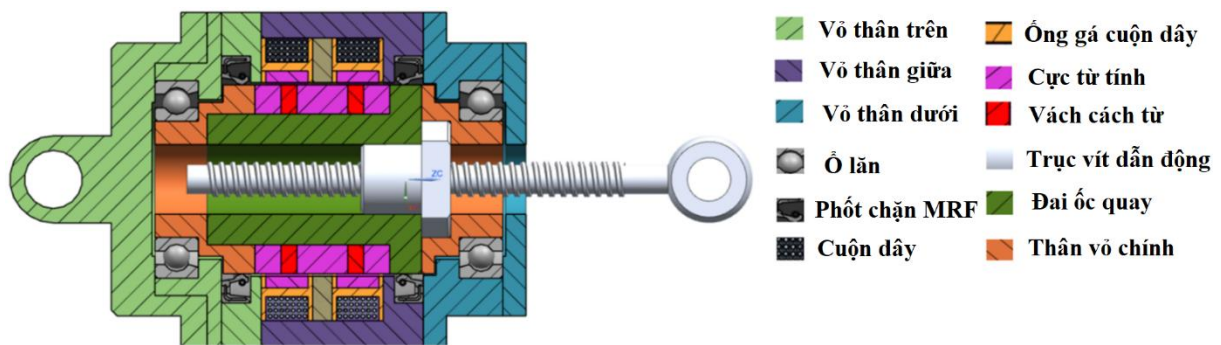
1 GIỚI THIỆU

Trong vài thập kỷ qua, các công nghệ liên quan đến việc kiểm soát trạng thái dao động đặc biệt là trong các lĩnh vực như kỹ thuật dân dụng, kỹ thuật ô tô và máy móc chính xác [1,2]. Với sự tiến bộ về công nghệ thì đòi hỏi các yêu cầu về hiệu suất, tiêu chí về thiết kế, chi phí sản xuất ngày càng khó khăn hơn cho các thiết bị, máy móc khác nhau. Đáng chú ý là việc kiểm soát dao động trong các kết cấu, robot và hệ thống treo ngày càng trở nên quan trọng và có giá trị hơn đối với việc thiết kế trở nên chính xác hơn và thiết bị ít bị rung động dẫn tới hoạt động tốt hơn. Trong số các lĩnh vực trên thì lĩnh vực ô tô yêu cầu khắt khe hơn trong việc kiểm soát độ rung động trong quá trình hoạt động. Nếu kiểm soát hiệu quả độ rung động trong hệ thống treo ô tô thì sẽ mang lại lợi ích đáng kể như nâng cao cảm giác thỏa mái cho cả người lái và hành khách. Trong những năm gần đây, ngày càng có nhiều nghiên cứu ứng dụng chất lỏng từ lưu biến (MRF) trong kỹ thuật ô tô [3]. Với khả năng đáp ứng nhanh chóng của MRF và điều khiển khả năng đáp ứng thông qua dòng điện áp dụng giúp chúng trở thành ứng cử viên đầy hứa hẹn cho các ứng dụng giảm rung động như bộ giảm chấn từ lưu biến [4]. Các tính năng vượt trội của bộ giảm chấn MR bao gồm lực giảm chấn lớn, khả năng đáp ứng liên tục và khả năng thích ứng tuyệt vời, khiến chúng trở thành một lựa chọn đáng tin cậy so với các loại giảm chấn truyền thống.

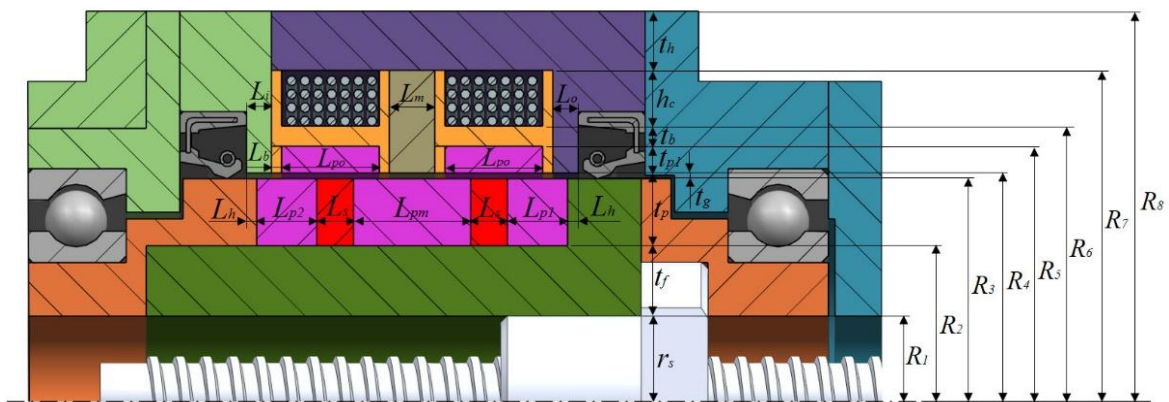
Trong những năm gần đây, một số nhà nghiên cứu tập trung chủ yếu vào việc phát triển và ứng dụng bộ giảm chấn MR trong hệ thống treo của ô tô. Theo nghiên cứu của Hong. SR và các cộng sự đã phát triển một phương pháp phân tích không thứ nguyên cho các bộ giảm chấn từ lưu biến (MR) [5]. Thí nghiệm của họ đã chứng minh tính hiệu quả của phương pháp này trong việc đánh giá lực giảm chấn và dải dao động của bộ giảm chấn MR hoạt động ở chế độ hỗn hợp. Các thí nghiệm sau đó cho thấy rằng bộ giảm chấn MR chế độ hỗn hợp sử dụng cả chế độ van và chế độ cắt nhằm tạo ra lực giảm chấn lớn hơn bộ giảm chấn chế độ van [6]. Nguyen QH và các cộng sự tập trung vào việc tối ưu hóa thiết kế bộ giảm chấn MR áp dụng cho các loại xe nói chung, nghiên cứu này đã xem xét tới lực giảm chấn và dải hoạt động [7]. Kết quả của họ cho thấy sự gia tăng đáng kể ở cả hai thông số so với kết quả ban đầu. Tuy nhiên, phương pháp bậc nhất được sử dụng trong nghiên cứu của họ yêu cầu lựa chọn cẩn thận các biến đầu vào để tránh các vấn đề về hội tụ trong quá trình tối ưu hóa các mục tiêu đề ra. Ngoài ra, Nguyen Q. H và các cộng sự nghiên cứu thiết

kế và ứng dụng giảm xóc MR trong hệ thống treo trên ô tô [8]. Nghiên cứu của họ đã chứng minh rằng việc tối ưu hóa bộ giảm xóc MR có thể cải thiện đáng kể hiệu suất kiểm soát độ rung của hệ thống treo. Tuy nhiên nhược điểm của bộ giảm chấn tuyến tính bao gồm yêu cầu về không gian làm việc và giá trị lực trạng thái ban đầu đáng kể. Vì vậy, đã có những nghiên cứu tập trung vào việc phát triển giảm chấn MR xoay để giải quyết những hạn chế này. Với tác giả Park YJ và các cộng sự đã phát triển một bộ giảm chấn MR xoay mới dùng cho ô tô sản xuất được trang bị hệ thống treo bán chủ động [9]. Kết quả mô phỏng và thử nghiệm của nghiên cứu này cho thấy mô men giảm chấn tối đa có thể điều khiển lên tới 600 Nm thấp hơn một chút so với giá trị mô phỏng là 744,8 Nm. Ngoài ra, nguyên mẫu còn đạt được thời gian phản hồi là 50 ms khi sử dụng bộ điều khiển PI. Yu J và các cộng sự đã giới thiệu một giảm chấn MR xoay có thiết kế dùng đai ốc hoạt động được hai chế độ dòng chảy và cắt [10]. Nghiên cứu của họ chứng minh rằng thiết kế này mang lại kết cấu hợp lý hơn so với bộ giảm chấn MR xoay với chế độ cắt truyền thống. Mặc dù có nhiều nghiên cứu về bộ giảm chấn sử dụng MRF, nhưng vẫn chưa có nghiên cứu nào kết hợp chuyển động tịnh tiến và chuyển động xoay để nâng cao hiệu suất và tính linh hoạt trong hệ thống treo ô tô và các cơ cấu khác liên quan. Vì vậy, nghiên cứu này sẽ tập trung thiết kế và phát triển cơ cấu giảm chấn sử dụng MR mới dựa trên nguyên lý làm việc của vít me bi (gọi là giảm chấn SMRB). Sau khi xem xét và phân tích các nghiên cứu liên quan, cấu hình và nguyên lý làm việc của giảm chấn SMRB được trình bày ở mục 2. Sau đó, sử dụng mô hình dẻo Bingham và phương pháp phần tử hữu hạn, mô hình toán của giảm chấn SMRB sẽ được phân tích ở mục 3. Ngoài ra, để cải thiện lực giảm chấn của bộ giảm chấn SMRB thì bài toán tối ưu hóa được trình bày và giải quyết bằng phương pháp tối ưu hóa bầy đàn (PSO).

2 CẤU HÌNH VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG



a) Cấu tạo của giảm chấn SMRB

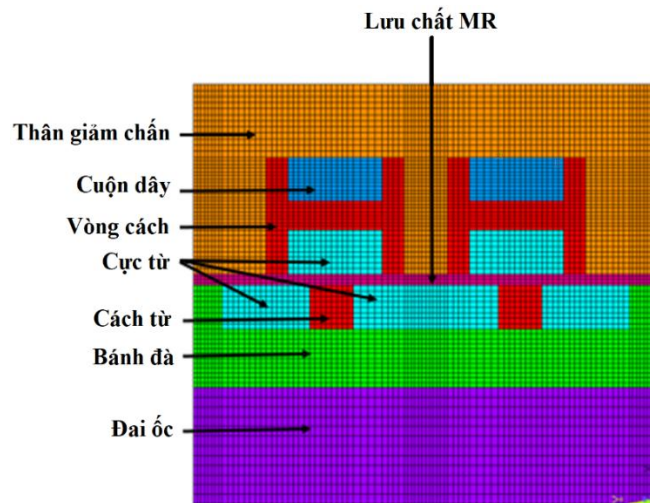


ngoài của bộ giảm chấn SMRB được đề xuất. Do đó, mô men xoay của đai ốc trên trục vít cũng là mô men xoay của bánh đà. Hai ổ lăn được sử dụng để đảm bảo chuyển động xoay tốt nhất có thể của bánh đà khi có lực tuyến tính tác dụng lên trục vít. Tại vị trí giữa bánh đà và thân vỏ của nó được bố trí một khe hở hình khuyên được thiết kế để chứa đầy chất lỏng MRF và bố trí hai phốt ngăn không cho MRF rò rỉ trên khe hình khuyên này. Các vòng nhôm và cực từ được sắp xếp xen kẽ nhau để nhằm tạo thành từ trường đối hướng, cho phép kiểm soát độ nhớt của MRF trong khe hở bằng từ trường được tạo ra bởi hai cuộn dây sắp xếp đối lập nhau. Do đó, lực giảm chấn mong muốn của bộ giảm chấn SMRB có thể được điều khiển bằng cách cung cấp dòng điện cho cuộn dây. Với sự đơn giản này và lực cản tối thiểu của cơ cấu vít me bi sẽ mang lại lợi thế trong việc hiện thực hóa giảm chấn SMRB, đảm bảo hiệu suất hiệu quả và đáng tin cậy trong các ứng dụng trong lĩnh vực ô tô sau này.

3 MÔ HÌNH HÓA BỘ GIẢM CHẤN SMRB

3.1 Phân tích mạch từ

Sự phân bố mật độ từ trường trong mạch từ của bộ giảm chấn SMRB đóng vai trò chủ yếu trong việc phân tích các đặc tính của bộ giảm chấn MR. Hình dạng của mạch từ, tính chất vật liệu (mối quan hệ mật độ từ thông và cường độ từ trường B-H), thông số chia lưới (loại phần tử và kích thước lưới), cường độ dòng điện áp dụng và các điều kiện biên khác đều là những yếu tố đầu vào cần thiết để mô phỏng mạch từ của bộ giảm chấn này. Cụ thể, sơ đồ mạch từ gần đúng của bộ giảm chấn SMRB được hiển diễn trong Hình 1b. Về yếu tố biến thứ nguyên, có ba loại biến như biến thiết kế (có thể được thay đổi bởi chương trình tối ưu hóa trong quá trình tối ưu hóa), biến hằng số (có thể không thay đổi trong quá trình tối ưu hóa), biến phụ thuộc (bị ảnh hưởng bởi hai biến trên). Ngoài ra, các cạnh bên ngoài của vỏ được thiết lập như các đường biên của từ trường với điều kiện biên của các đường từ trường song song.



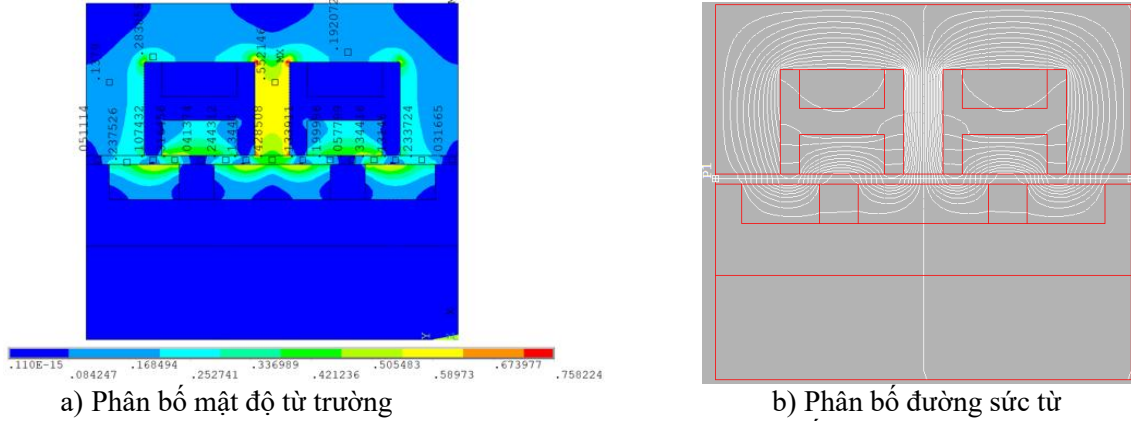
Hình 2: Mô hình phần tử hữu hạn phân tích mạch từ của SMRB.

Sao đó tác giả tiến hành phân tích mạch từ cho bộ giảm chấn SMRB được thực hiện với phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) được tích hợp trong phần mềm ANSYS. Phần tử tứ giác (phần tử đối xứng trục PLANE 13) trong ANSYS APDL được sử dụng trong phương pháp phần tử hữu hạn được mô tả trong Hình 2. Mật độ từ thông và các đường sức từ của bộ giảm chấn SMRB được mô phỏng trong ANSYS APDL được thể hiện bởi Hình 3a và Hình 3b. Ngoài ra, khi phân tích tính chất từ tính của các bộ phận như thân vỏ sử dụng thép C45 và đường cong B-H của thép C45 được áp dụng trong nghiên cứu này. Ngược lại, độ thấm từ tương đối của các thành phần không từ tính như cuộn dây (làm bằng đồng) và các cực trung gian (làm bằng thép không gỉ không từ tính – Inox 304), độ thấm từ tương đối của các bộ phận này được giả định là 1,0 trong nghiên cứu này (tương ứng với độ thấm của không khí). Điện trở suất của đồng dùng trong cuộn dây là $\rho_d = 0.01726 \cdot 10^{-6}$. Ngoài ra lưu chất MRF sử dụng trong nghiên cứu này là MRF132-DG, do hãng Lord của Mỹ sản xuất.

Đường cong B-H biểu diễn tính chất từ tính của MRF được thể hiện theo [11] bởi công thức:

$$B = 1.91 \cdot \Phi^{1.133} [1 - \exp(-10.97 \cdot \mu_0 \cdot H)] + \mu_0 \cdot H \quad (1)$$

Trong đó B là mật độ từ trường (Tesla), H là cường độ từ trường (A/m) và $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ là độ từ thẩm chân không của MRF (Tm/A). Mật độ từ thông qua khe MRF cần được xác định để phân tích hoạt động của MRF trong khe vì mật độ từ thông trong khe MRF không giống nhau ở các vị trí khác nhau. Do đó, giá trị trung bình của mật độ từ thông trên khe MRF được xác định bằng cách tính tích phân của mật độ từ thông dọc theo đường đi (P1 được hiển thị trong Hình 3b).



Hình 3: Mô phỏng từ trường của giảm chấn SMRB.

3.2 Mô hình toán của giảm chấn SMRB

Để đánh giá toàn diện về bộ giảm chấn SMRB dựa trên nguyên lý hoạt động hỗ trợ của vít me bi thì mối quan hệ giữa lực dọc trục và mô men xoay trên đai ốc vít me bi được đánh giá trong nghiên cứu [12]. Cần lưu ý rằng mô men giảm chấn của giảm chấn SMRB thực chất là mô men giảm chấn do MRF gây ra trên bánh đà liên kết với đai ốc vít me dưới tác dụng của từ trường và các thành phần mô men ma sát khác (ổ lăn, phốt chặn MRF). Do đó, mối quan hệ giữa lực giảm chấn (F_d) và mô men giảm chấn của SMRB (T_d) có thể xác định như sau [12]:

$$T_d = F_d D_b \frac{\tan(\gamma + \varphi)}{2} \quad (2)$$

Trong đó D_b là đường kính đai ốc; γ là góc nâng trục vít; φ là góc ma sát lăn thay thế. Mặt khác, để tính mô men giảm chấn do MRF gây ra chúng tôi giả định rằng vận tốc lưu chất trong khe MRF được phân bố tuyến tính và MRF ứng xử theo mô hình dẻo Bingham. Do đó, đặc tính lưu biến của MRF có thể được xác định bằng công thức sau [13]:

$$\tau = \tau_y + \eta \frac{r\Omega}{t_g} \quad (3)$$

Trong đó τ là ứng suất cắt của rãnh MRF, τ_y là ứng suất chảy dẻo của MRF, η là độ nhớt sau chảy dẻo của MRF, r là bán kính tại lớp MRF được xem xét và t_g là kích thước khe hở của MRF. Ứng suất sau chảy dẻo (τ_y) và độ nhớt sau chảy dẻo (η) của MRF phụ thuộc vào từ trường áp dụng lên khe MRF và được tính bởi công thức thực nghiệm sau [13]:

$$\tau_y = \tau_{y\infty} + (\tau_{y0} - \tau_{y\infty})(2e^{-B\alpha\tau_y} - e^{-2B\alpha\tau_y}) \quad (4)$$

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(2e^{-B\alpha\eta} - e^{-2B\alpha\eta}) \quad (5)$$

Vì vậy, mô men giảm chấn của bộ giảm chấn đề xuất được tính bằng:

$$T_d = T_{MR} + 2T_{Is} + 2T_b \quad (6)$$

Trong đó T_{MR} , T_{ls} , và T_b lần lượt là mô men ma sát gây ra bởi MR, phốt chặn MRF và ổ lăn, trong nghiên cứu này do dùng ổ lăn nên ma sát của ổ lăn nhỏ nên bỏ qua.

Các thành phần mô men ma sát trong phương trình (6) được xác định theo [13] như sau:

$$T_{MR} = 2\pi R_3^2 L_c \tau_{yc} + \eta_c \frac{R_3 \Omega}{t_g} \quad (7)$$

$$T_{ls} = 0.65 (2R_3)^2 \Omega^{1/3} \quad (8)$$

Trong đó: bán kính ngoài của cụm lõi từ cố định trên bánh đà là R_3 ; chiều dài cụm lõi từ là L_c ; ứng suất và độ nhớt sau chảy dẻo của MRF lần lượt là τ_{yc} , η_c ; vận tốc góc của bánh đà Ω (rad/s) phụ thuộc vào vận tốc của trục vít trong quá trình chuyển động lên xuống.

4 KẾT QUẢ TỐI ƯU HÓA CỦA GIẢM CHẤN SMRB

Trong phần này, nhóm nghiên cứu giải quyết vấn đề tối ưu hóa giảm chấn SMRB chủ yếu tập trung vào hai yếu tố chính đó là: lực giảm chấn và kích thước tổng thể của SMRB. Mục tiêu là tăng lực giảm chấn để đáp ứng các yêu cầu trong thực tế. Tuy nhiên, lực giảm chấn (F_d) chịu ảnh hưởng đáng kể bởi các thông số hình học của bộ giảm chấn. Vì vậy, bài toán tối ưu hóa nhằm mục đích điều chỉnh các tham số hình học này để đạt được lực giảm chấn mong muốn đồng thời muốn đạt khối lượng của SMRB nhỏ nhất (M_d) và chi phí sản xuất thấp nhất. Điều này liên quan đến việc giảm thiểu khối lượng trong khi thay đổi các thông số hình học của bộ giảm chấn SMRB để đảm bảo lực giảm chấn đáp ứng theo yêu cầu đã đưa ra. Về mặt toán học, hàm mục tiêu và các ràng buộc được biểu diễn như sau:

Hàm mục tiêu:

$$OBJ_1 = M_d = V_{fl} \rho_{fl} + V_s \rho_s + V_p \rho_p + V_b \rho_b + V_c \rho_c + V_h \rho_h + V_{bs} \rho_{bs} + V_{MR} \rho_{MR}$$

Với ràng buộc:

$$F_d \geq F_{dr}$$

Trong đó V_{fl} , V_s , V_p , V_b , V_c , V_h , V_{br} và V_{MR} lần lượt là thể tích của bánh đà, vách ngăn cách, cực từ, ống lắp cuộn dây, cuộn dây, thân vỏ, vít me bi và MRF của giảm chấn SMRB; ρ_{fl} , ρ_s , ρ_p , ρ_b , ρ_c , ρ_h , ρ_{bs} , ρ_{MR} lần lượt là khối lượng riêng của mật độ của bánh đà, vách ngăn cách, cực từ, ống lắp cuộn dây, cuộn dây, thân vỏ, vít me bi và MRF của giảm chấn SMRB.

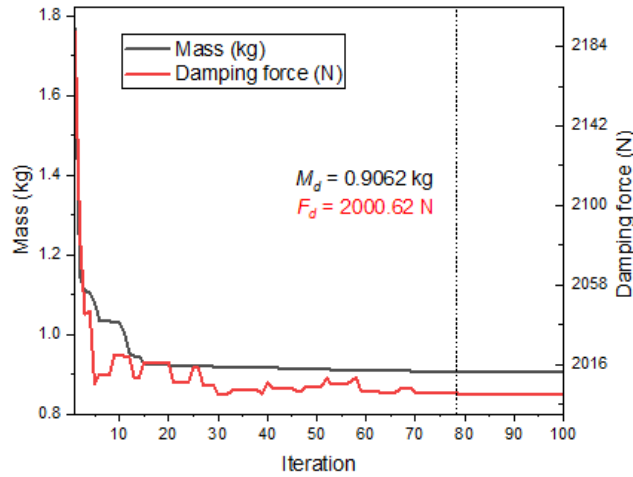
Trong nghiên cứu này, lực giảm chấn yêu cầu (F_{dr}) được chọn là 2000 N vì lực giảm chấn tối đa của bộ giảm chấn thông thường ở mẫu ô tô thường là 2000N [14]. Ngoài ra, các giá trị kích thước hình học của bộ giảm chấn SMRB được chọn làm biến thiết kế (DV) cho bài toán tối ưu hóa của bộ giảm chấn SMRB đó là kích thước của bánh đà (t_f), cực từ (t_p , t_{p1}), ống gá cuộn dây (t_b , L_{p1} , L_{p2} , L_{pm} , L_{po}), cuộn dây (w_c , h_c) và thân vỏ (t_h), lõi (L_i , L_o , L_h , L_m), ống gá cuộn dây (t_b , L_b), khe hở MRF (t_g) và bề dày ngăn từ (L_s). Điều quan trọng cần lưu ý là kích thước khe hở của MRF càng nhỏ thì mô men ma sát càng lớn. Điều này cũng dẫn đến lực giảm chấn lớn hơn. Tuy nhiên sẽ dẫn tới việc chế tạo mô hình thực tế trở nên khó khăn hơn và đòi hỏi độ chính xác cao trong quá trình gia công. Vì vậy, chúng tôi xem xét và lựa chọn kích thước khe hở MRF (t_g) nằm trong khoảng từ 0,8 đến 1,5 mm. Ngoài ra, để tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình chế tạo mô hình đề xuất, các tham số thiết kế bị ràng buộc như sau: $L_i = L_o$, $L_{p1} = L_{p2}$.

Việc giải quyết vấn đề tối ưu hóa đã có nhiều kỹ thuật khác nhau được áp dụng và phát triển, bao gồm các phương pháp như Newton, Newton-Raphson, Penalty, phương trình bậc hai và giảm độ dốc. Đáng chú ý, phương pháp tối ưu bầy đàn (PSO) nổi bật về tính hiệu quả của nó trong các giải pháp tối ưu toàn cục thông qua các thiết lập ban đầu đơn giản. Điểm mạnh của PSO nằm ở việc sử dụng các thuật toán đơn giản, giúp giảm đáng kể chi phí tính toán liên quan đến bộ nhớ và thời gian xử lý. Phương pháp này lấy cảm hứng từ các hành vi bầy đàn tự nhiên để khám phá giải pháp không gian, nhằm tối ưu hóa các số liệu chính như Pbest (cá nhân tốt nhất) và Gbest (toàn cục tốt nhất) [15]. Trong nghiên cứu này, PSO đã được triển khai trên nền tảng phần mềm MATLAB và được tích hợp với phần mềm ANSYS APDL, qua đó thu được kết quả tối ưu. Để giải quyết vấn đề tối ưu hóa ở trên, cần xác định các biến thiết kế đầu vào như đã đề cập ở trên, cùng với số lần lặp tối đa ($i_{max}=100$) và kích thước tổng thể ($p_{op}=50$). Ngoài ra, công việc quan trọng là phải xác định các hệ số gia tốc của cá thể (c_1) và bầy đàn (c_2), cũng như hệ số quán tính (w), là các yếu tố để đạt được sự hội tụ nhanh hơn. Do đó, hệ số co thắt của tối ưu hóa bầy đàn do Clerc và Kennedy đề

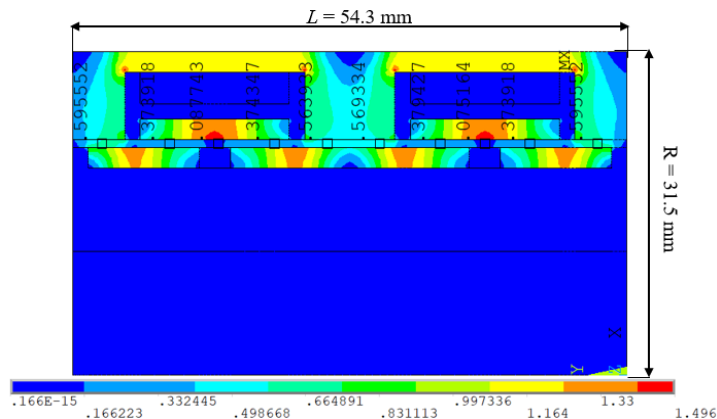
xuất sẽ được áp dụng trong nghiên cứu này để tăng cường khả năng hội tụ. Cách tiếp cận hệ số co thắt được xác định như sau [16]:

$$\zeta = 2k / \left| 2 - \phi - \sqrt{\phi^2 - 4\phi} \right| \quad (9)$$

Với $k = 1$, $\phi = \phi_1 + \phi_2$, $\phi > 4$, $\phi_1 = \phi_2 = 2.05$, $c_1 = \zeta\phi_1$, $c_2 = \zeta\phi_2$, và $w = \zeta$



a) Kết quả tối ưu của M_d và F_d



b) Phân bố mật độ từ thông của giảm chấn SMRB ở mức tối ưu

Hình 4: Kết quả tối ưu của giảm chấn SRMB.

Cần lưu ý rằng cuộn dây được sử dụng là dây đồng có kích thước 24 gauge, đường kính dây 0,511mm, dòng điện áp dụng cho cuộn dây tối đa có thể lên đến khoảng 3 A. Để đảm bảo an toàn trong quá trình tối ưu hóa và làm việc thì dòng điện cung cấp cho cuộn dây được thiết lập ở mức 2,5 A. Ngoài ra, tỷ lệ lấp đầy cuộn dây là 70% được chọn cho thông số thiết kế của bộ giảm chấn SMRB và có tham khảo những thực nghiệm trước đây, giả định tổn thất từ tính là 10% được coi là tổn thất năng lượng trong bộ giảm chấn SMRB do các yếu tố như độ trễ và dòng điện xoáy. Sau 100 lần lặp khi chạy tối ưu thì kết quả tối ưu của bộ giảm chấn SMRB thu được ở lần lặp thứ 79 (Hình 4a). Kết quả cho thấy khối lượng của bộ giảm chấn SMRB giảm đáng kể ở mức tối ưu (0,9062 kg) so với khối lượng ban đầu của nó (3,07 kg). Đồng thời, lực giảm chấn ở mức tối ưu đạt 2000,62 N, thỏa mãn điều kiện bài toán tối ưu đó là giá trị lớn hơn hoặc bằng 2000 N. Lực giảm chấn (2000,62 N) được cải thiện đáng kể so với kết quả ở các giá trị DV ban đầu (358,93N). Hơn nữa, lực ngoài trạng thái (F_{d0}), là lực ma sát khi không bị ảnh hưởng bởi từ trường là 80,2 N. Hình 4a và 4b mô tả mục tiêu và ràng buộc cũng như mật độ từ thông của bộ giảm chấn SMRB tại mức tối ưu tương ứng. Mật độ từ thông tối đa trong khe MRF ở mức tối ưu có thể đạt được là 0,595 (T). Đồng

thời, chiều dài và bán kính lõi từ của giảm chấn SMRB lần lượt là 54,3 mm và 31,5 mm. Kết quả Bảng 1 trình bày tóm tắt về các thông số hình học và hiệu suất tối ưu của bộ giảm chấn SMRB đạt được.

Bảng 1. Kết quả tối ưu hóa của giảm chấn SMRB.

Biến thiết kế (mm)	Hiệu suất
$t_f = 8$; $t_p = 2$; $t_g = 0,8$; $t_{pl} = 2$; $t_b = 1,5$; $h_c = 3,1$; $t_h = 2$; $L_h = 1,5$; $L_{pl} = 17,4$; $L_s = 3$; $L_{pm} = 23,1$; $k = 3,48$; $L_m = 8$	$F_d = 2000,62$ N $M_d = 0,9062$ kg $F_{d0} = 80,2$ N

5 KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một bộ giảm chấn MR dạng mới được đề xuất để thay thế các bộ giảm chấn MR truyền thống, nhằm tăng cường tính linh hoạt trong chuyển động tịnh tiến và chuyển động xoay đồng thời giảm lực cản từ ban đầu của chúng. Sau khi xem xét các tài liệu nghiên cứu liên quan và xác định điểm mạnh và điểm yếu của chúng, chúng tôi đã đưa ra cấu hình cho bộ giảm chấn MR mới để giải quyết những thiếu sót trên. Sau đó, việc thiết kế và mô hình hóa bộ giảm chấn SMRB đã được tiến hành. Bằng cách sử dụng phân tích phần tử hữu hạn, chúng tôi đã tối ưu hóa thiết kế bộ giảm chấn SMRB thông qua tích hợp MATLAB và ANSYS APDL bằng phương pháp tối ưu hóa bầy đàn (PSO) để thu được kết quả tối ưu. Kết quả tối ưu hóa cho thấy lực giảm chấn cực đại là 2000,62 N và khối lượng của nó tương đối nhỏ ở mức 0,9062 kg. Hướng nghiên cứu trong tương lai với mục tiêu là chế tạo nguyên mẫu để thử nghiệm nhằm đánh giá mối quan hệ giữa dòng điện và lực giảm chấn của bộ giảm chấn SMRB được đề xuất. Ngoài ra, bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu sẽ được xem xét để nâng cao hiệu suất hoạt động của bộ giảm chấn SMRB trong tương lai. Hơn nữa, một bộ điều khiển sẽ được phát triển để điều khiển và đánh giá khả năng phản hồi của chúng trên mẫu xe hơi. Nghiên cứu này sẽ góp phần vào quá trình thiết kế và tối ưu hóa bộ giảm chấn SMRB, dẫn đến nâng cao hiệu suất giảm chấn và ứng dụng trong thực tế rộng rãi hơn.

REFERENCES

- [1] Gong W, Xiong S, Tan P, Experimental and numerical studies on pseudo-negative-stiffness control of a base isolated building using magneto-rheological dampers, *Smart Mater Struct*, 2019.
- [2] Powell LA, Hu W, Wereley NM, Magnetorheological fluid composites synthesized for helicopter landing gear applications, *J Intell Mater Syst Struct*, 2013.
- [3] Sharma SK, Kumar A, Ride performance of a high speed rail vehicle using controlled semi active suspension system. *Smart Mater Struct*, 2017.
- [4] Kim HC, Shin YJ, You W, Jung KC, Oh JS, Choi SB, A ride quality evaluation of a semi-active railway vehicle suspension system with MR damper: railway field tests, *Proc Instit Mech Eng Part F*, 2017.
- [5] Hong SR, Choi SB, Choi YT, Wereley NM, Non-dimensional analysis and design of a magnetorheological damper, *Journal of Sound and Vibration*, 2005.
- [6] Hong SR, Wereley NM, Choi YT, Choi S, Analytical and experimental validation of a nondimensional Bingham model for mixed-mode magnetorheological dampers, *Journal of Sound and Vibration*, 2008.
- [7] Nguyen QH, Choi SB, Optimal design of vehicle magnetorheological damper considering the damper force and dynamic range, *Smart Mater Struct*, 2008.
- [8] Nguyen QH, Choi SB, Optimal design of MR shock absorber and application to vehicle suspension, *Smart Mater Struct*, 2009.
- [9] Park YJ, Kang BH, Choi SB, A new rotary Magnetorheological damper for semi-active suspension system of low-floor vehicle, *Actuators*, 2024.
- [10] Yu J, Dong X, Wang W, Prototype and test of a novel rotary magnetorheological damper based on helical flow, *Smart Mater Struct*, 2016.

- [11] Varela-Jiménez MI, Vargas-Luna JT, Cortés-Ramírez JA and Song G, Constitutive model for shear yield stress of magnetorheological fluid based on the concept of state transition, *Smart Mater Struct*, 2015.
- [12] Liu C, Zhao C, Liu Z, Wang S, Dynamic analysis of ball screw feed system with the effects of excitation amplitude and design parameters, *Applied Sciences*, 2011.
- [13] Nguyen VB, Le DH, Nguyen QH, Do QD, D HMH, Choi SB, Design and experimental evaluation a novel magneto-rheological brake with tooth shaped rotor, *Smart Mater Struct*, 2021.
- [14] Oh JS, Choi SB Ride Quality Control of a Full Vehicle Suspension System Featuring Magnetorheological Dampers With Multiple Orifice Holes, *Frontiers*, 2019.
- [15] Wang D, Tan D, Liu L, Particle swarm optimization algorithm: an overview, *Soft Comput*, 2018.
- [16] Pranava G, Prasad PV, Constriction Coefficient Particle Swarm Optimization for Economic Load Dispatch with valve point loading effects. In 2013 International conference on power, energy and control (ICPEC), pp. 350-354. IEEE, Dindigul, India, 2013.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF A NOVEL DAMPER USING MAGNETORHEOLOGICAL FLUID AND BALL SCREW MECHANISM FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

LE HAI ZY ZY¹, NGUYEN QUOC HUNG¹, DIEP BAO TRI^{1*}

Faculty of Mechanical Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City

Corresponding author: diepbaotri@iuh.edu.vn

Abstract. This study presents a novel design of a damper utilizing magnetorheological fluid (MRF) for automotive suspension systems, aiming to enhance damping force compared to previously studied MR-based dampers. The proposed damper integrates the principles of a ball screw and magnetorheological brake to convert rotational motion into linear motion. In this research, prior studies relevant to the topic are reviewed and analyzed. Subsequently, the design and modeling of this new damper is carried out using the Bingham plastic model and the finite element method (FEM). Mathematical models will also be developed to calculate the damping force and friction torque of the proposed damper. To achieve the required damping force at the lowest production cost, the particle swarm optimization (PSO) method is applied to optimize the design of proposed MR damper. The optimized parameters are then used to fabricate a prototype and test its practical performance. The experimental results are compared with simulation data. The novel magnetorheological fluid damper offers an efficient solution for vibration control across various applications, including automotive systems, machinery, and buildings. Ultimately, this research aims to deliver improved damping performance and foster widespread practical applications.

Keywords. Magnetorheological fluid, MR damper, Ball screw mechanism, PSO.

Ngày nhận bài: 05/01/2025

Ngày nhận đăng: 10/4/2025