

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU HỆ THỐNG TREO CHỦ ĐỘNG TRÊN Ô TÔ VỚI HAI BẬC TỰ DO

Nguyễn Đức Ngọc
Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Hệ thống treo chủ động trên ô tô có khả năng tự động điều chỉnh độ cứng, cơ chế hoạt động để đáp ứng với độ nghiêng khung xe và tốc độ xe khi vào cua, độ nhấp nhô của mặt đường, giữ thăng bằng khi phanh, mục đích đem lại cho xe có một hệ thống treo thích hợp và hiệu quả nhất. Bài viết nghiên cứu về hệ thống treo chủ động của ô tô, ứng dụng phương pháp điều khiển tối ưu của SIMULINK, thiết lập mô hình bài toán, thiết kế mô hình điều khiển. Mô phỏng hoạt động của hệ thống treo chủ động để cho kết quả về dao động giá treo, biến dạng lốp, gia tốc dao động, lực tác động lên hệ thống treo sát giống với thực tế vận hành xe trên đường.

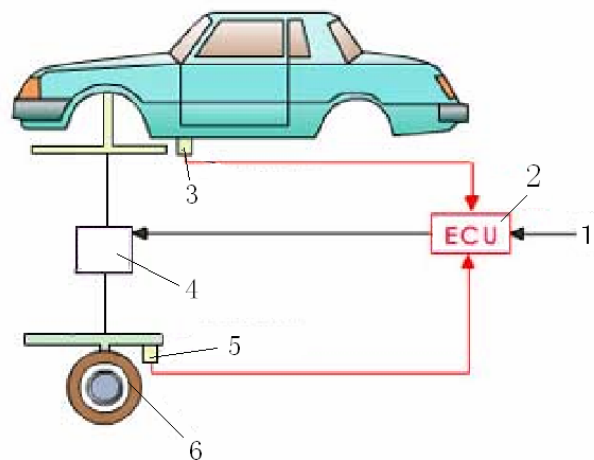
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi ô tô chuyển động trên đường không bằng phẳng, xe thường chịu tải trọng dao động do bề mặt đường nhấp mô sinh ra. Những dao động này ảnh hưởng xấu tới tuổi thọ của xe và đặc biệt là gây cảm giác không thoải mái đối với người ngồi trong xe. Các kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng dao động của ô tô đối với cơ thể con người đều đi tới kết luận là nếu con người phải chịu đựng lâu trong môi trường dao động của ô tô sẽ mắc những bệnh về thần kinh và não. Vì vậy tính êm dịu trong chuyển động là một trong những chỉ tiêu quan trọng của xe. Tính năng này phụ thuộc vào khá nhiều yếu tố trong đó hệ thống treo đóng vai trò quyết định.

Hệ thống treo của ô tô thường sử dụng được phân loại theo kết cấu có hai kiểu chính: Hệ thống treo phụ thuộc và hệ thống treo độc lập; phân loại theo nguyên lý hoạt động điều khiển gồm có: hệ thống treo bị động, hệ thống treo bán chủ động và hệ thống treo chủ động. Mục đích chính của hệ thống treo là làm giảm rung xóc khi xe vận hành trên đường không bằng phẳng, tạo điều kiện cho bánh xe dao động theo phương thẳng đứng, tránh dao động lắc ngang hay lắc dọc đồng thời đảm bảo truyền lực và mômen ổn định. Với hệ giảm chấn quá mềm hệ thống treo sẽ tạo ra nhiều rung động đàn hồi khi làm việc, ngược lại với hệ quá cứng sẽ làm cho

xe bị xóc mạnh. Sự dung hoà giữa hai đặc điểm trên chính là ý tưởng để các nhà thiết kế đưa ra hệ thống treo hiện đại.

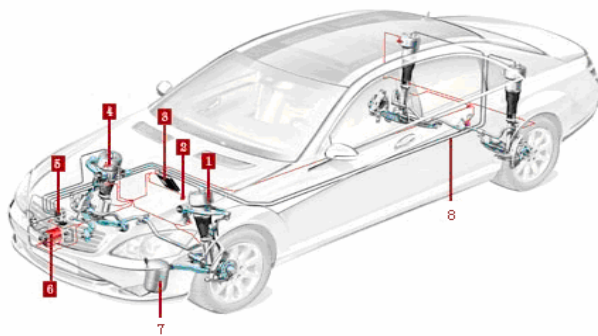
2. CẤU TẠO HỆ THỐNG TREO CHỦ ĐỘNG (hình 1):



Hình 1: Cấu tạo 1/4 hệ thống treo chủ động
1- Nguồn năng lượng cung cấp đầu vào;
2- Máy tính ECU; 3,5- Cảm biến;
4- Giảm chấn chủ động; 6- Bánh xe

Hệ thống treo bị động sử dụng nhíp lá, lò xo xoắn kết hợp với giảm chấn thủy lực... ra đời từ rất sớm nhưng chưa thể đáp ứng đòi hỏi cao về độ êm dịu của xe con. Hệ thống treo chủ động cũng không phải là một phát minh mới, nó xuất hiện từ

những năm 1955 cùng với hệ thống treo Mc Pherson. Nhưng ở thời kỳ này ngành công nghệ chưa đáp ứng tốt được yêu cầu kỹ thuật cho các chi tiết trong hệ thống treo chủ động nên người ta vẫn phải dùng lò xo xoắn, nhíp lá, thanh xoắn làm cơ cấu giảm chấn. Ngày nay các nhà thiết kế ô tô đã ứng dụng nhiều thành tựu mới của công nghệ vật liệu, kỹ thuật cơ - điện tử để cho ra đời hệ thống treo có tính năng kỹ thuật tiên tiến, đó là các hệ thống treo chủ động thủy lực - khí nén; khí nén - điện tử EAS (hình 2); Hệ thống treo điện tử. Các hệ thống này hiện đang dùng cho dòng xe cao cấp như Audi, BMW, Lexus... Với hệ thống treo chủ động trang bị trên xe người lái có thể lựa chọn, điều chỉnh độ đàn hồi cho thích hợp với chế độ vận hành của xe trên đường thông qua công tắc điều khiển lựa chọn chế độ Comfort hay Sport.



Hình 2: Sơ đồ hệ thống chủ động treo khí nén - điện tử

1: Giảm xóc khí nén; 2: cảm biến gia tốc của xe; 3: ECU (hộp điều khiển điện tử của hệ thống treo); 4: Cảm biến độ cao của xe; 5: Cụm van phân phối và cảm biến áp suất khí nén; 6: Máy nén khí; 7: bình chứa khí nén; 8: đường dẫn khí.

Nguyên tắc hoạt động của hệ thống treo chủ động khí nén: Các cảm biến độ cao xe liên tục

theo dõi khoảng cách giữa thân xe và các đòn treo để phát hiện độ cao gầm xe, cảm biến tốc độ ghi nhận và gửi tín hiệu tốc độ xe đến ECU hệ thống treo. ECU hệ thống treo: Có nhiệm vụ nhận tín hiệu từ tất cả các cảm biến để điều khiển lực của giảm chấn và độ cứng của lò xo, độ cao xe theo điều kiện hoạt động của xe thông qua bộ chấp hành điều khiển hệ thống, đồng thời dẫn động van quay của giảm chấn và van khí của xi lanh khí nén để thay đổi lực giảm chấn và độ cứng hệ thống treo. Bộ chấp hành điều khiển điện tử phản ứng chính xác với sự thay đổi liên tục về điều kiện hoạt động của xe.

Ưu điểm hệ thống treo chủ động: Có khả năng điều chỉnh độ cứng để đáp ứng với độ nghiêng khung xe và tốc độ xe khi vào cua, góc cua và góc quay vô lăng của người lái; Có thể tự động thay đổi sao cho cơ chế hoạt động của hệ thống treo được thích hợp và hiệu quả nhất đối với từng hành trình. Như khi phanh độ nhún các bánh trước sẽ cứng hơn bánh sau, còn khi tăng tốc thì ngược lại; Có khả năng tự động thích nghi với tải trọng của xe, thay đổi độ cao gầm xe cho phù hợp với điều kiện hành trình.

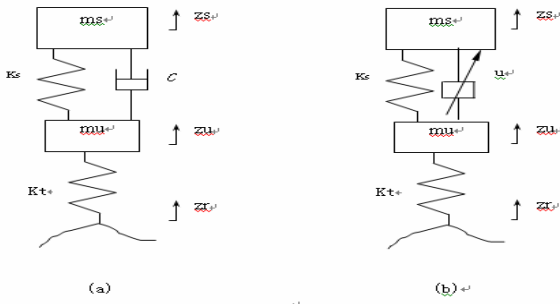
3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU HỆ THỐNG TREO CHỦ ĐỘNG

3.1 Thiết lập mô hình hai bậc tự do của hệ thống treo bị động và chủ động

Thiết lập mô hình 1/4 hệ thống treo ô tô: Với mô hình hệ thống treo bị động gồm lò xo, giảm chấn thủy lực, lớp xe và khối lượng giá treo tạo thành mô hình hai bậc tự do (hình 3a); Mô hình hệ thống treo chủ động gồm lò xo, bộ sinh lực tương tác U, lớp xe và khối lượng giá treo (hình 3b). Thiết lập mô hình với các thông số theo bảng 1:

Bảng 1: Thông số của hệ thống treo hai bậc tự do

Khối lượng trên giá treo	m_s	310	kg
Khối lượng dưới giá treo	m_u	28	kg
Độ cứng của lớp	kt	$1,8 \times 10^5$	N/m
Độ cứng của lò xo	k_s	$1,8 \times 10^4$	N/m
Hệ số dao động giảm chấn	C_s	10^3	Ns/m



Hình 3: 1/4 Mô hình hệ thống treo ô tô

Hệ thống gồm: m_s khối lượng xe tác động lên lò xo; m_u khối lượng cụm dưới lò xo; K_s độ cứng lò xo; C_s hệ số dao động giảm dần của giảm chấn thủy lực; z_s, z_u, z_r khoảng cách vị trí khối lượng. Ứng dụng định luật 2 Newton thiết lập phương trình động lực học ta có:

$$\text{Trong đó: } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_s}{m_s} & -\frac{C_s}{m_s} & \frac{K_s}{m_s} & \frac{C_s}{m_s} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K_s}{m_u} & \frac{C_s}{m_u} & -\frac{K_s + K_t}{m_u} & -\frac{C_s}{m_u} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -\frac{1}{m_u} \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_t}{m_u} \end{bmatrix}, \quad U = u, \quad W = z_r$$

Mục đích của phương pháp điều khiển tối ưu hệ thống treo chủ động là nâng cao tính năng điều khiển và tính ổn định của ô tô, khi xe vận hành các tín hiệu nhiễu của mặt đường tác động lên giá treo, hệ thống treo chủ động có tác dụng làm giảm bớt dao động và sự biến dạng của lớp, không chế độ lắc lư của giá treo. Từ đó ta có hàm số mục tiêu:

$$J = \int_0^{\infty} (q_1 \ddot{z}_s^2 + q_2 (z_s - z_u)^2 + q_3 (z_u - z_r)^2 + r \dot{u}^2) dt \quad (3.4)$$

$$\text{Trong đó: } C = \begin{bmatrix} -\frac{K_s}{m_s} & -\frac{C_s}{m_s} & \frac{K_s}{m_s} & \frac{C_s}{m_s} \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{m_s} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}.$$

Hàm số mục tiêu (3.6):

$$J = \int_0^{\infty} (Y^T Q Y + U^T R U) dt \quad (3.6)$$

$$\text{Trong đó: } Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 \end{bmatrix}, \quad R = r.$$

$$m_s \ddot{z}_s + K_s (z_s - z_u) + C_s (\dot{z}_s - \dot{z}_u) = u \quad (3.1)$$

$$m_u \ddot{z}_u + K_s (z_u - z_s) + K_t (z_u - z_r) + C_s (\dot{z}_u - \dot{z}_s) = -u \quad (3.2)$$

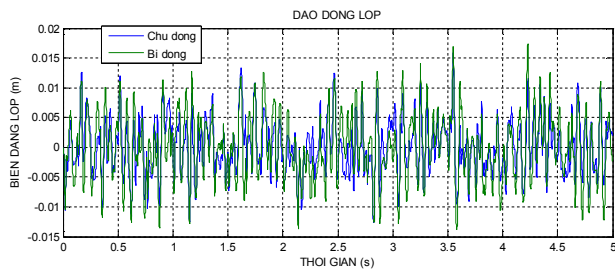
Để thiết kế hệ thống điều khiển dựa trên cơ sở tiêu chuẩn tích phân tối ưu tuyến tính, các tham số của khâu điều khiển được chọn xuất phát từ nỗ lực tìm cực tiểu cho một hàm chất lượng. Các tham số giá trị $z_s, z_u, \dot{z}_s, \dot{z}_u$ được gán giá trị là $x_1 = z_s, x_2 = \dot{z}_s, x_3 = z_u, x_4 = \dot{z}_u \Rightarrow$ ta có Vector $X = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T$, vector điều khiển $U = [u]$, tín hiệu nhiễu mặt đường $W = [z_r]$. Từ đó thiết lập được mô hình phương trình trạng thái:

$$\dot{X} = AX + BU + EW \quad (3.3)$$

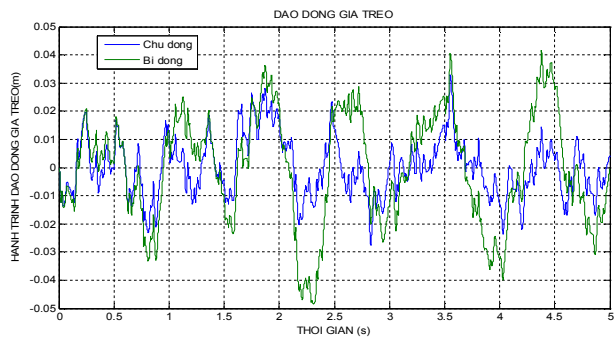
Trong đó: q_1, q_2, q_3, r là các tham số trạng thái.

Đặt gia tốc dao động của giá treo \ddot{z}_s , hành trình động của giá treo $z_s - z_u$, độ biến dạng của lớp $z_u - z_r$ là các giá trị biến đổi. Ta có Vector $Y = [\ddot{z}_s, z_s - z_u, z_u - z_r]^T$, từ phương trình trạng thái, ta có Vector Y dưới:

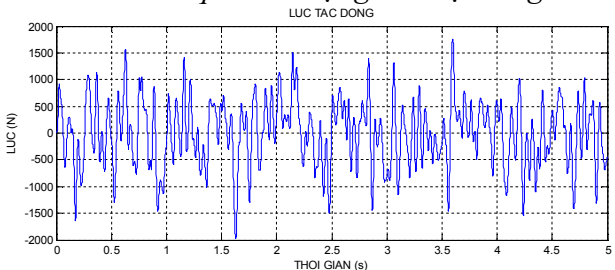
$$Y = CX + DU + FW \quad (3.5)$$



Hình 7: Kết quả dao động biến dạng của lớp



Hình 8: Kết quả dao động của hệ thống treo



Hình 9: Kết quả lực chủ động tác động lên hệ thống treo

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Cui Shengmin. XIAN DAI QI CHE XI TONG KONG ZHI JI SHU, Nhà xuất bản đại học Bắc Kinh, 2008.1.1
- [2]. Xie Shihong. MATLAB R2008 KONG ZHI XI TONG DONG TAI FANG ZHEN, Nhà xuất bản Công Nghệ Hóa Học Bắc Kinh, 2009.1.
- [3]. Yu fan, Lin yi. QI CHE XI TONG DONG LI XUE, Nhà xuất bản công nghệ cơ khí, 2005.6
- [4]. Semiha Turkey, Huseyin Akcay. Aspects of achievable performance for quarter-car active suspensions, Available online 25 October 2007.
- [5]. Nurkan Yagiz, Yuksel Hacıoglu. Backstepping control of a vehicle with active suspensions, Control Engineering Practice- Available online 2 June 2008

Abstract

RESEARCH ON ACTIVE SUSPENSION MODEL OF TWO-DOF VEHICLE FOR OPTIMAL CONTROL

The active suspension system on the car is capable of adjusting the hardness automatically, the mechanism working to meet the tilt chassis and controlling vehicle speed when automobiles are turning on the uneven road, keeping sharp with the brakes. The purpose is to give the car a suspension appropriately and most effectively. This paper covers the research on the active suspension system of automobiles. Applying the optimal controlling of SIMULINK to establish the model of dynamic equations which simulates the operating of active suspension and achieve a result of variation pylons, tire deformation, acceleration varies and force acting on the suspension which are similar to the actual operation of vehicles on the road.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả mô phỏng trên cho thấy, việc ứng dụng hệ thống treo chủ động trên ô tô đem lại những lợi ích tốt hơn nhiều so với hệ thống treo bị động, với hệ thống treo chủ động chỉ cần điều khiển lực tác động chủ yếu trong phạm vi 1000N, nó làm cho hệ thống treo chủ động có kết quả dao động của hệ thống treo ổn định hơn, và biến dạng của lớp nhỏ hơn so với hệ thống treo bị động.

Căn cứ từ phương pháp điều khiển tối ưu trên cho kết quả lực tác động cần thiết trên hệ thống treo chủ động, từ đó là cơ sở để tiến hành thiết kế các hệ thống giá treo có cấu tạo khác nhau, với mục đích đem lại sự an toàn và thoải mái cho người vận hành, như hệ thống treo chủ động khí nén, điện từ, ..

Với ứng dụng SIMULINK trong việc điều khiển tối ưu, đây là một phương pháp điều khiển hiện đại được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực điều khiển tự động, thiết nghĩ với kết quả nghiên cứu ban đầu này, được vận dụng và phát triển trong việc nghiên cứu các vấn đề liên quan để có những kết quả khoa học tốt hơn, sẽ đem lại những lợi ích to lớn cho công cuộc phát triển đất nước.