

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG DAO ĐỘNG CỦA Ô TÔ SỬ DỤNG HỆ THỐNG TREO MACPHERSON TÍCH CỰC ĐIỀU KHIỂN RISE

INVESTIGATION OF QUALITATIVE OSCILLATION USING MACPHERSON ACTIVE SUSPENSION WITH SATURATED RISE CONTROLLER

Lê Hữu Chúc*, Trịnh Khắc Phong

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu và đánh giá chất lượng dao động của ô tô sử dụng hệ thống treo tích cực Macpherson bằng điều khiển RISE. Phương pháp điều khiển RISE là một phương pháp điều khiển bền vững và bộ điều khiển RISE là bộ điều khiển thỏa mãn đồng thời tính chất điều khiển ổn định, bền vững và tính chất liên tục. Do vậy, bộ điều khiển này có tính ứng dụng cao vào thực tế. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở quan trọng trong định hướng cho các nghiên cứu chuyên sâu về hệ thống treo nói chung và hệ thống treo tích cực nói riêng.

Từ khóa: Hệ thống treo Macpherson, điều khiển phi tuyến, điều khiển RISE.

ABSTRACT

This paper presents results of study and evaluation of car qualitative oscillation using Macpherson active suspension with saturated controller. The RISE control methodology is a sustainable control methodology and the RISE controller is a controller that satisfies both stable control, firm side and continuous properties. Therefore, this controller has high applicability in practice. These results are very helpful for assist research about suspension system.

Keywords: Macpherson active suspension, Control force, RISE control methodology.

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: chuchh@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 11/01/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019

1. GIỚI THIỆU

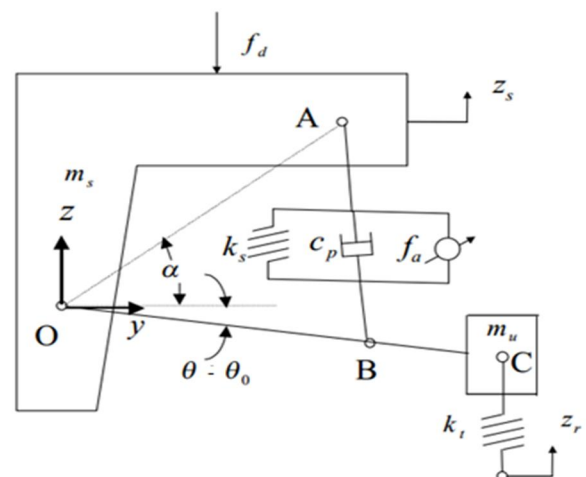
Đặc điểm của hệ thống treo MacPherson là giảm thiểu được số điểm lắp với thân xe so với hệ thống treo thông thường (từ 4 điểm - 2 thanh đòn hình tam giác nằm song song với nhau xuống còn 2 điểm của giảm chấn), phần dẫn hướng của hệ thống chỉ còn 1 thanh dẫn hướng nằm phía dưới (lower control arm). Từ đó cải thiện được tính năng lắp ráp, giúp hệ thống treo đơn giản, giá thành rẻ và tiết kiệm không gian của khoang động cơ đối với xe dẫn động cầu trước. Tuy nhiên, hệ thống treo MacPherson có nhược điểm là tính năng ổn định thân xe chưa được cao. Vì vậy việc thiết kế điều khiển cho hệ thống treo tích cực Macpherson

vẫn là vấn đề khó cần được nghiên cứu, do mô hình động học của hệ này là phi tuyến và khó xác định được chính xác [1], do đó luôn tồn tại các thành phần bất định trong mô hình động lực học và hệ luôn chịu tác động nhiễu mặt đường. Yêu cầu đặt ra là cần có phương pháp điều khiển bền vững đối với sự bất định của mô hình.

Thuật toán điều khiển RISE là tín hiệu điều khiển liên tục. Thuật toán điều khiển RISE cũng là một thuật toán điều khiển ổn định bền vững, có khả năng kháng nhiễu và đặc biệt là tính liên tục của tín hiệu, dẫn tới khả năng thực thi cao trong thực tế. Tính ổn định bền vững của thuật toán điều khiển RISE được thể hiện ở chỗ: khi phân tích ổn định theo phương pháp Lyapunov, các tham số của hệ động lực học không đòi hỏi phải xác định tường minh, hơn nữa ngay cả trong trường hợp hệ động học bị tác động của nhiễu tác động ngoài thì tính chất ổn định của hệ không thay đổi. Chính vì những ưu điểm của thuật toán, nhóm tác giả muốn nghiên cứu thuật toán điều khiển RISE cho hệ thống treo tích cực trên ô tô.

2. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN RISE

2.1. Xây dựng mô hình dao động 1/4 với hệ thống treo Macpherson



Hình 1. Sơ đồ 1/4 mô hình của xe

Giả thiết nghiên cứu: Khi thiết lập mô hình dao động ô tô cần một số giả thiết. Những giả thiết này nhằm làm cho

quá trình nghiên cứu, tính toán đơn giản hơn, song không làm mất đi tính tổng quát của bài toán, đảm bảo độ chính xác cần thiết. Nếu như khối lượng của đòn ngang dưới là nhỏ hơn nhiều so với khối lượng bánh xe do đó có thể được bỏ qua. Theo giả định trên, một mô hình mới của hệ thống treo Macpherson được giới thiệu trong hình 1.

Sự dịch chuyển theo chiều dọc Z_s của khối được treo và góc quay θ của đòn ngang dưới được chọn là tọa độ suy rộng. Các giả định trên, mô hình động lực học được thể hiện trên hình 1.

Thiết lập hệ phương trình vi phân

Phương trình 1:

$$(m_s + m_u)\ddot{Z}_s + m_u l_C \cos(\theta - \theta_0) \ddot{\theta}_0 - m_u l_C \sin(\theta - \theta_0) \dot{\theta}^2 + k_t(Z_s + l_C(\sin(\theta - \theta_0) - \sin(-\theta_0))) - Z_r = f_a - f_d \tag{1}$$

Phương trình 2:

$$m_u l_C \ddot{\theta} + m_u l_C \cos(\theta - \theta_0) \ddot{Z}_s - \frac{1}{2} k_s \sin(\alpha' - \theta) \left[b_1 - \frac{d_1}{\sqrt{a_1 - b_1 \cos(\alpha' - \theta)}} \right] + k_t l_C^2 \cos(\theta - \theta_0) \{Z_s + l_C[\sin(\theta - \theta_0) - \sin(-\theta_0)] - Z_r\} + \frac{C_p b_1^2 \sin^2(\alpha' - \theta) \dot{\theta}}{4[a_1 - b_1 \cos(\alpha' - \theta)]} = -l_B f_a \tag{2}$$

2.2. Xây dựng và xác định tính ổn định của thuật toán điều khiển RISE

Các giả thiết trên cho thấy bộ điều khiển đưa ra được phép sử dụng trên nhiều dòng xe với các tham số khác nhau và không biết trước. Giả thiết kích thích mặt đường liên tục là phù hợp với đa số các biên dạng mặt đường trong thực tế. Ta sẽ sử dụng lý thuyết ổn định Lyapunov để chứng minh rằng: với tín hiệu điều khiển RISE $u(t)$ như trên thì các biến trạng thái sẽ được đưa về giá trị cân bằng để đạt được tính êm dịu chuyển động của ô tô.

Đối với phương pháp điều khiển RISE ta chọn tín hiệu điều khiển $u(t)$ như sau:

$$u = -Ke_2(t) + Ke_2(0) - \int_0^t [K\alpha_2 e_2(\tau) + \beta_1 \text{sgn}(e_2(\tau))] d\tau$$

Trong đó, các tham số điều khiển thỏa mãn điều kiện:

$$\alpha_1 > \frac{1}{2}; \quad \alpha_2 > \beta_2 + \frac{1}{2};$$

$$\beta_1 > C_{HS1} + \frac{C_{HS2}}{\alpha_2}; \quad \beta_2 > C_{HS3}$$

Tính đạo hàm theo thời gian của tín hiệu điều khiển $u(t)$ sẽ là:

$$\dot{u} = -Kr - \beta_1 \text{sign}(e_2)$$

Như vậy mục tiêu điều khiển của ta là đưa các biến trạng thái về gần giá trị cân bằng, tức là đưa các giá trị $x \rightarrow 0, \dot{x} \rightarrow 0$. Tương đương với yêu cầu $e_1 \rightarrow 0, e_2 \rightarrow 0$ và $r \rightarrow 0$.

Từ mục tiêu điều khiển trên, kết hợp với điều kiện M là ma trận xác định dương, ta chọn hàm Lyapunov như sau:

$$V = \frac{1}{2} e_1^T e_1 + \frac{1}{2} e_2^T e_2 + \frac{1}{2} r^T M r + P \tag{3}$$

trong đó, hàm $P(t)$ được định nghĩa như sau:

$$P(t) = \beta \|e_2(0)\| - e_2(0)^T N(0) - \int_0^t L(\tau) d\tau \tag{4}$$

$$\text{Với: } L(t) = r^T [N - \beta_1 \text{sign}(e_2)] - \beta_2 \|Z(t)\|^2 \tag{5}$$

Lấy đạo hàm theo thời gian của hàm $P(t)$ ta được:

$$\dot{P}(t) = -L(t) = -r^T [N - \beta_1 \text{sign}(e_2)] + \beta_2 \|Z(t)\|^2 \tag{6}$$

Cuối cùng ta chứng minh được $P(t)$ là hàm xác định dương $P(t) \geq 0$. Để đưa hàm $P(t)$ vào hàm Lyapunov.

Ta sẽ chứng minh hàm $V(t)$ thỏa mãn bổ đề Barbalat.

$$\Rightarrow e_1 \rightarrow 0; e_2 \rightarrow 0 \text{ và } r \rightarrow 0.$$

3. ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG DAO ĐỘNG CỦA Ô TÔ SỬ DỤNG HỆ THỐNG TREO TÍCH CỰC ĐIỀU KHIỂN RISE

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ đưa ra các trường hợp khảo sát với các loại biên dạng đường khác nhau với hệ thống treo tích cực và hệ thống treo bị động. Từ đó so sánh để thấy được chất lượng dao động của hệ thống treo tích cực mà tác giả thiết kế. Biên dạng mặt đường được xác định thông qua độ sai lệch theo phương thẳng đứng của bề mặt đường so với mặt chuẩn. Tùy theo chiều dài mấp mô hoặc chiều cao của nó mà biên dạng đường có thể phân ra thành các nhóm đặc trưng khác nhau. Có thể chia làm ba nhóm chủ yếu sau:

- Nhóm 1: mấp mô đơn vị (xung đơn vị).
- Nhóm 2: mấp mô có dạng hàm điều hòa.
- Nhóm 3: mấp mô thay đổi liên tục với hình dạng bất kỳ (ngẫu nhiên)

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của ô tô khảo sát

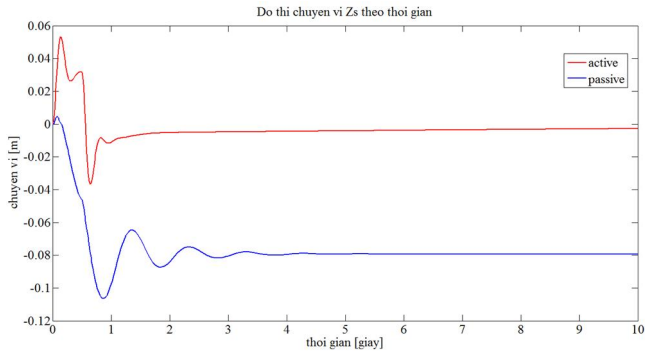
TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Khối lượng được treo	m_s	250	Kg
2	Khối lượng không được treo	m_u	35	Kg
3	Hệ số cản giảm chấn	C_p	980	N.s/m
4	Độ cứng của lò xo	k_s	16000	N/m
5	Độ cứng của phần tử lốp	k_t	160000	N/m
6	Độ dài đoạn OA	l_A	0,72	m
7	Độ dài đoạn OB	l_B	0,23	m
8	Độ dài đoạn OC	l_C	0,27	m

3.1. Đánh giá chất lượng dao động của ô tô sử dụng hệ thống treo Macpherson tích cực điều khiển RISE

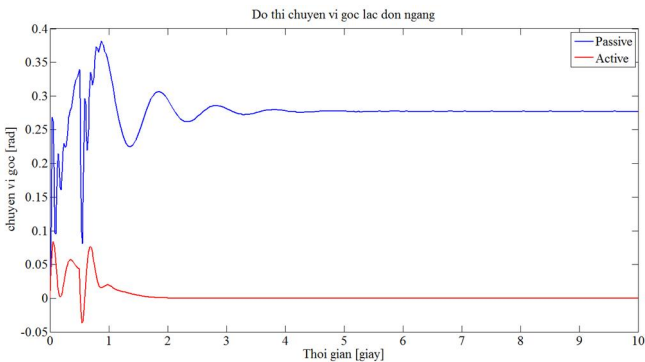
Ta thực hiện khảo sát trên mặt đường có mấp mô dạng xung vuông với các vận tốc xe và biên độ mấp mô khác nhau. Với mỗi kích thích mặt đường, tiến hành khảo sát dao động đồng thời cho cả trường hợp hệ thống treo có điều khiển (active) và hệ thống treo không điều khiển (passive) để so sánh. Ta chọn bộ tham số điều khiển của bộ điều khiển RISE như sau: $\alpha_1 = 5; \alpha_2 = 2; k = 500; \beta_1 = 30$.

3.2. Khảo sát với kích thích mặt đường dạng xung vuông

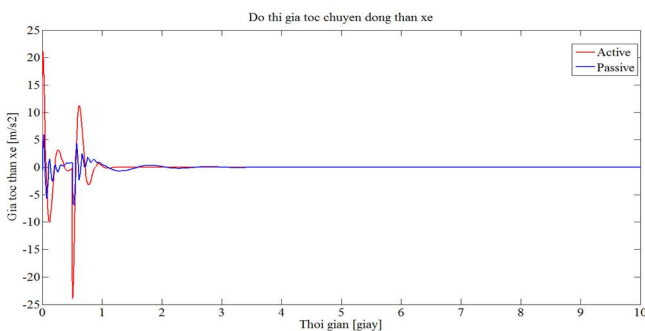
Mô phỏng 1 với mấp mô dạng bậc xung đơn vị với chiều cao mấp mô 0,05(m), kết quả khảo sát như hình 2 ÷ 5.



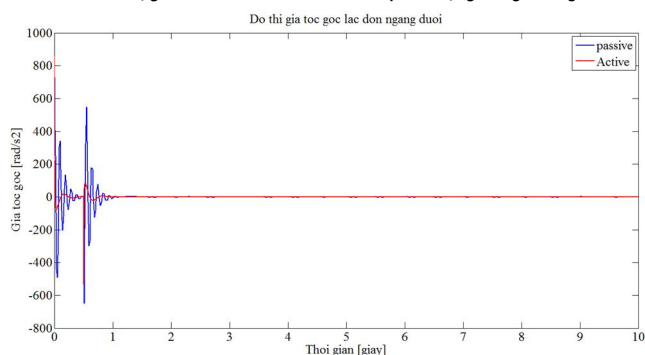
Hình 2. Đồ thị chuyển vị thân xe (kích thích mấp mô dạng xung vuông)



Hình 3. Đồ thị góc lắc đòn ngang (kích thích mấp mô dạng xung vuông)



Hình 4. Đồ thị gia tốc thân xe (kích thích mấp mô dạng xung vuông)



Hình 5. Đồ thị gia tốc góc lắc đòn ngang dưới

Trong trường hợp này ta tính được giá trị trung bình của gia tốc dao động RMS như sau:

- Hệ thống treo thụ động:

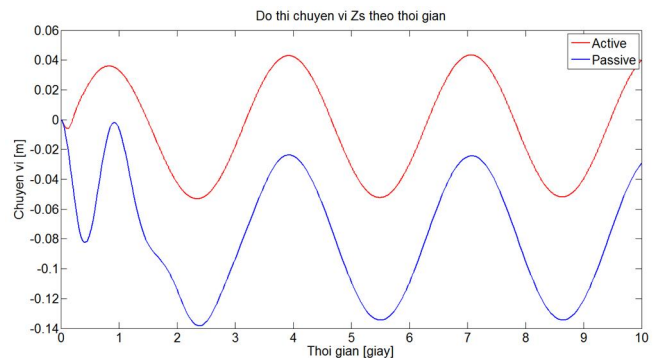
$$RMS_{gia\ tốc} = 0,00863; RMS_{góc\ lắc} = 1,222$$

- Hệ thống treo có BDK RISE:

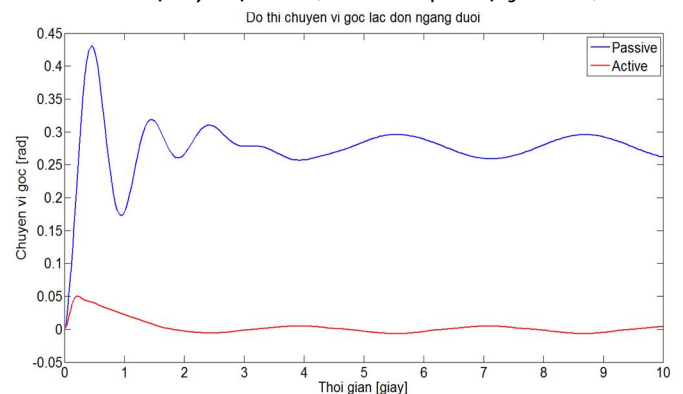
$$RMS_{gia\ tốc} = 0,00409; RMS_{góc\ lắc} = 0,04298$$

3.3 Khảo sát với kích thích mặt đường dạng hàm điều hòa

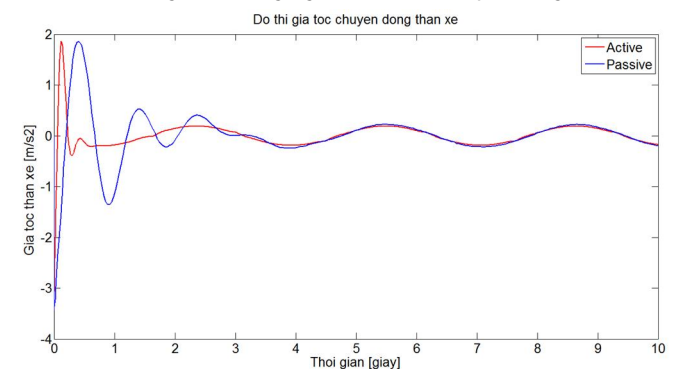
Mô phỏng 2 với mấp mô dạng hàm điều hòa với chiều cao mấp mô 0,05 (m), kết quả mô phỏng như hình 6 ÷ 9.



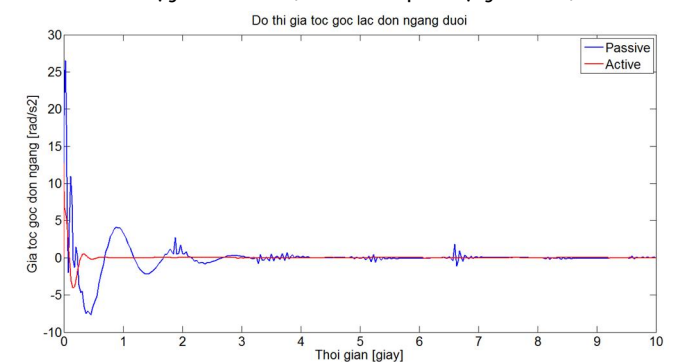
Hình 6. Đồ thị chuyển vị thân xe (kích thích mấp mô dạng điều hòa)



Hình 7. Đồ thị góc lắc đòn ngang dưới (kích thích mấp mô dạng điều hòa)



Hình 8. Đồ thị gia tốc thân xe (kích thích mấp mô dạng điều hòa)



Hình 9. Đồ thị gia tốc góc lắc đòn ngang dưới

Trong trường hợp này ta tính được giá trị trung bình của gia tốc dao động RMS như sau:

- Hệ thống treo thụ động:

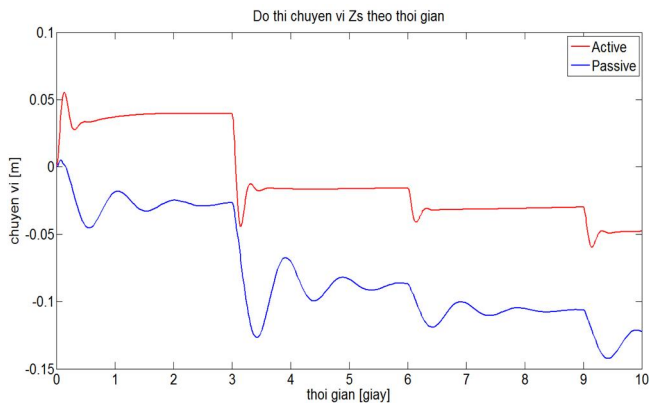
$$RMS_{gia\ tốc} = 0,1969; RMS_{g\acute{o}c\ lắc} = 0,01166$$

- Hệ thống treo có BDK RISE:

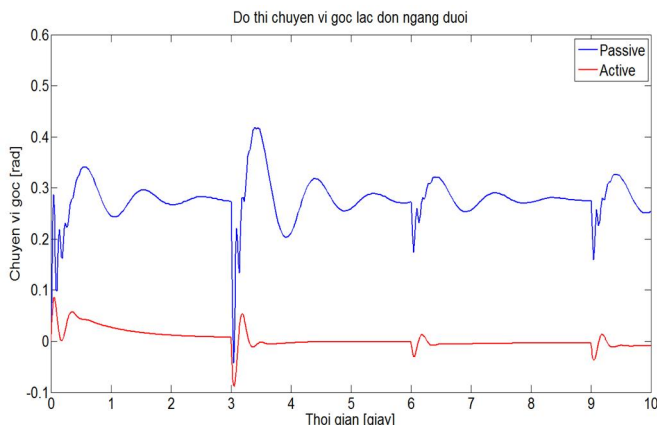
$$RMS_{gia\ tốc} = 0,1755; RMS_{g\acute{o}c\ lắc} = 0,00154$$

3.4. Khảo sát với kích thích mặt đường với mấp mô thay đổi liên tục với hình dạng bất kỳ

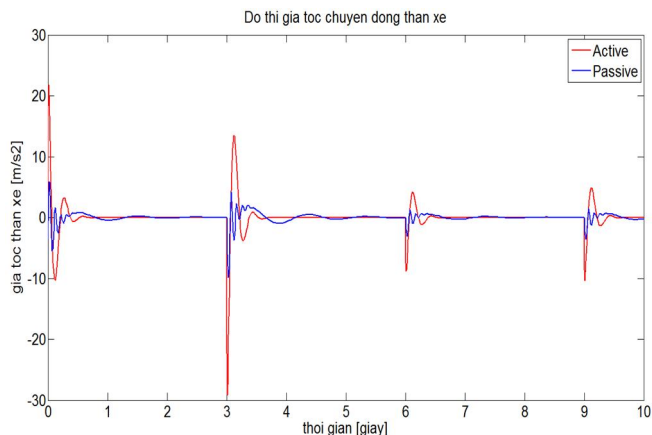
Mô phỏng 3 với mấp mô thay đổi liên tục với hình dạng bất kỳ (ngẫu nhiên), kết quả mô phỏng như hình 10 ÷ 13.



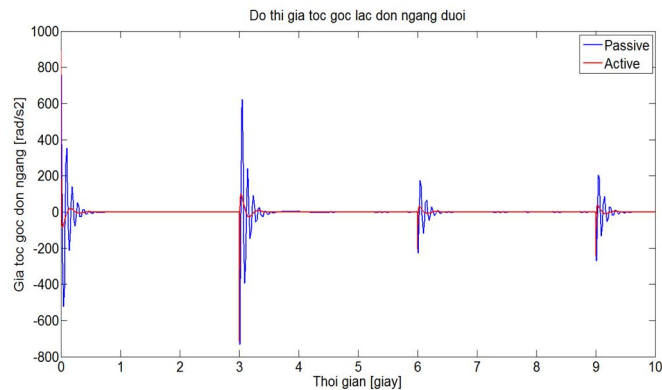
Hình 10. Đồ thị chuyển vị thân xe (kích thích mấp mô dạng ngẫu nhiên)



Hình 11. Đồ thị góc lắc đòn ngang dưới (kích thích mấp mô dạng ngẫu nhiên)



Hình 12. Đồ thị gia tốc thân xe (kích thích mấp mô dạng ngẫu nhiên)



Hình 13. Đồ thị gia tốc góc lắc đòn ngang dưới

Trong trường hợp này ta tính được giá trị trung bình của gia tốc dao động RMS như sau:

- Hệ thống treo thụ động:

$$RMS_{gia\ tốc} = 0,233; RMS_{g\acute{o}c\ lắc} = 2,345$$

- Hệ thống treo có BDK RISE:

$$RMS_{gia\ tốc} = 0,00125; RMS_{g\acute{o}c\ lắc} = 0,03057$$

Đánh giá độ bền vững của thuật toán với sự thay đổi của các tham số không xác định

Kết quả mô phỏng mô hình dao động 1/4 ô tô trong hai trường hợp không có điều khiển (bị động) và có điều khiển RISE cho thấy:

- Khi kích thích mặt đường dạng xung vuông:

Giá trị bình phương trung bình gia tốc thân xe nhỏ hơn:

$$\frac{RMS_{passive}}{RMS_{active}} = \frac{0,00863}{0,00409} = 2,11\text{ lần}$$

Giá trị bình phương trung bình gia tốc góc lắc đòn ngang nhỏ hơn:

$$\frac{RMS_{passive}}{RMS_{active}} = \frac{1,222}{0,04298} = 28,43\text{ lần}$$

- Khi kích thích mặt đường dạng hàm điều hòa

Giá trị bình phương trung bình gia tốc thân xe nhỏ hơn:

$$\frac{RMS_{passive}}{RMS_{active}} = \frac{0,1969}{0,1755} = 1,12\text{ lần}$$

Giá trị bình phương trung bình gia tốc góc lắc đòn ngang nhỏ hơn:

$$\frac{RMS_{passive}}{RMS_{active}} = \frac{0,01166}{0,00154} = 7,57\text{ lần}$$

- Khi kích thích mặt đường dạng mấp mô ngẫu nhiên

Giá trị bình phương trung bình gia tốc thân xe nhỏ hơn:

$$\frac{RMS_{passive}}{RMS_{active}} = \frac{0,233}{0,00125} = 186,41\text{ lần}$$

Giá trị bình phương trung bình gia tốc góc lắc đòn ngang nhỏ hơn:

$$\frac{RMS_{passive}}{RMS_{active}} = \frac{2,345}{0,03057} = 76,71\text{ lần}$$

4. KẾT LUẬN

Hệ thống treo tích cực khắc phục được nhược điểm trên của hệ thống treo thụ động. Với hệ thống treo này biên độ dao động của khối lượng được treo giảm đáng kể so với hệ thống treo thụ động. Khi khảo sát trên miền thời gian dễ dàng nhận thấy tính tích cực trong việc sử dụng bộ điều khiển RISE so với hệ thống treo thụ động, đảm bảo được độ êm dịu chuyển động. Khi thay đổi các biên dạng mặt đường khác nhau thì giá trị bình phương trung bình của gia tốc dao động với hệ thống treo tích cực đều giảm so với hệ thống treo bị động.

Bộ điều khiển RISE đã trở thành công cụ thiết kế vạn năng bộ điều khiển bền vững cho đối tượng tuyến tính và phi tuyến. Bộ điều khiển RISE dễ điều khiển và mềm dẻo trong thiết kế và ứng dụng. RISE đặc biệt ứng dụng cho hệ cơ điện có cấu trúc biến đổi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đinh Thị Huyền Hà, 2017. *Điều khiển hệ thống treo tích cực Macpherson bằng bộ điều khiển RISE bão hòa*. Science and technology development Journal, vol 20, No.K5-2017
- [2]. Trần Văn Như, 2003. *Ứng dụng máy tính giải các bài toán dao động trên ô tô*. Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường, trường Đại học Giao thông Vận tải.
- [3]. Andrew A. and Hedrick J.K., 1995. *Nonlinear Adaptive Control of Active Suspension*. IEEE Transaction on control systems technology.
- [4]. Fallah M.S, Bhat R, and Xie W.F, 2008. *New Nonlinear Model of Macpherson Suspension System for Ride Control Applications*. 2008 American Control Conference Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, USA, June 11-13, 2008
- [5]. Hong K.S, 1999. *A New Modeling of the Macpherson Suspension System and its Optimal Pole-Placement Control*. Pusan National University.
- [6]. Jie F., 2014. *Active suspension system of quarter car*. University of Florida.
- [7]. Muhamad F.I, Yahaya M.S, Muhamad K.A, Mohd H.C.H, Peng K., Norhazimi Hamzah, 2012. *A linear model of quarter car active suspension system using composite nonlinear feedback control*. Faculty of Electrical Engineering University Malaysia-Temasek Laboratories National University of Singapore-Industrial Automation.
- [8]. Rajeswari K, Lakshmi P., 2012. *Simulation of suspension system with sliding mode observer and control*. Department of Electronics & Instrumentation Engineering, Velammal Engineering College, Chennai.

AUTHORS INFORMATION

Le Huu Chuc, Trinh Dac Phong

Hanoi University of Industry