

# MÔ HÌNH HÓA VÀ PHÂN TÍCH HỆ THỐNG TREO TÍCH CỰC CHO MÔ HÌNH ¼ XE SỬ DỤNG MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN KHÁC NHAU

MODELING AND ANALYSIS OF ACTIVE SUPPLY SYSTEM FOR MODELS VEHICLES USING SOME DIFFERENT CONTROL METHODS

Nguyễn Trọng Đức<sup>1</sup>, Bùi Tuấn Anh<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Trung<sup>3</sup>,  
Nguyễn Đức Huy<sup>4</sup>, Đào Duy Hoàng Nam<sup>2</sup>, Vũ Hải Quân<sup>5,\*</sup>

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả mô phỏng và khảo sát hiệu suất làm việc của hệ thống treo chủ động cho mô hình ¼ xe khi sử dụng bộ điều khiển tuyến tính hai bậc tự do (LQR), kiểm soát tính phân đạo hàm theo tỉ lệ (PID) và bộ điều khiển Fuzzy. Mô hình nghiên cứu sử dụng là mô hình tuyến tính. Kết quả mô phỏng cho phép đánh giá một số thông số động lực học của hệ thống treo: Dịch chuyển thân xe; Gia tốc thân xe; Lực tạo bởi cơ cấu điều khiển trên ba biên dạng đường khác nhau. Hiệu suất làm việc của hệ thống treo được xác định bởi sự thoải mái khi đi trên xe và tốc độ xử lý của hệ thống treo. Cảm giác thoải mái có thể được đánh giá thông qua sự dịch chuyển của thân xe, trong khi đó năng lượng tiêu tốn của hệ thống treo thể hiện qua lực tác dụng lên hệ thống. Bài báo sử dụng ba loại biên dạng mặt đường kết hợp với ba thuật toán điều khiển để mô phỏng và đánh giá. Thông qua việc xây dựng các mô hình toán học và ứng dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng đánh giá hiệu suất của hệ thống treo có thể sử dụng bộ điều khiển LQR; PID và Fuzzy để đánh giá.

**Từ khóa:** Mô hình một phần tư xe; Hệ thống treo chủ động; LQR; PID; FUZZY.

## ABSTRACT

This paper presents the simulation results and investigates the performance of the active suspension system for the ¼ car model when using a linear two-degree-of-freedom (LQR) controller, controlling the derivative with respect to proportions (PID) and the FUZZY controller. The research model used is a linear model. Simulation results allow to evaluate some dynamic parameters of the suspension system: Body displacement; Body acceleration; Force generated by the control mechanism on three different line profiles. Suspension performance is determined by ride comfort and suspension handling speed. Comfort can be judged by the displacement of the body, while the energy consumption of the suspension is expressed in the force applied to the system. The paper uses three types of pavement profiles combined with three control algorithms for simulation and evaluation. Through the construction of mathematical models and the application of Matlab/Simulink software to simulate and evaluate the performance of the suspension system, LQR; PID and Fuzzy controllers can be used to evaluate.

**Key words:** Models of a quarter of a vehicle; Active suspension; LQR; PID; FUZZY.

<sup>1</sup>Lớp ĐH Kỹ thuật Ô tô 01 - K12, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Lớp ĐH Kỹ thuật Ô tô 02 - K12, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Lớp ĐH Kỹ thuật 06 - K13, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>4</sup>Lớp ĐH Kỹ thuật Ô tô 07 - K13, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>5</sup>Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: vuhaiquanhv@yahoo.com.vn

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

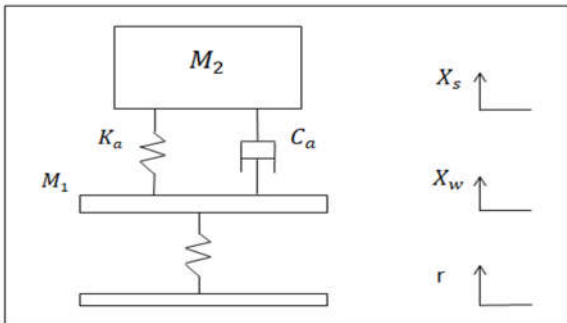
Ô tô là một hệ dao động nằm trong mối liên hệ chặt chẽ với đường có biên dạng phức tạp. Dao động của ô tô không những ảnh hưởng đến con người, hàng hóa chuyên chở, độ bền của các cụm tổng thành, những dao động này còn gây ảnh hưởng xấu đến xe và đặc biệt là cảm giác của người lái. Chính vì vậy hệ thống treo được ra đời để giải quyết các vấn đề về độ êm dịu chuyển động và an toàn chuyển động của ô tô. Hệ thống treo thụ động chỉ đáp ứng được với các cung đường nhất định. Hệ thống treo thông thường bao gồm một lò xo, giảm xóc thủy lực, thanh xoắn, còn được gọi là hệ thống treo bị động. Một trong những hướng phát triển chính mà các hãng xe hơi lớn đang hướng tới hiện nay là thiết kế hệ thống treo chủ động. Thuật ngữ "chủ động" có thể hiểu là một hệ thống treo, trong đó các thông số làm việc có thể được thay đổi trong quá trình hoạt động. Bộ điều khiển điện tử có chức năng xác định và điều khiển cơ cấu chấp hành giúp cho xe có khả năng duy trì tính năng êm dịu và ổn định trên nhiều dạng địa hình vận hành khác nhau.

Việc xây dựng phương pháp để điều khiển hệ thống treo chủ động là yếu tố then chốt để đảm bảo hiệu suất làm việc của hệ thống. Với phương pháp kiểm soát chính xác sẽ cung cấp tốt hơn sự thỏa hiệp giữa cảm giác thoải mái khi ngồi trên xe và tính năng ổn định của xe khi di chuyển trên đường. Ngày nay có rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để nâng cao hiệu suất của hệ thống treo tốt hơn bằng cách đưa ra phương pháp kiểm soát phù hợp [1, 2, 4]. Trong hầu

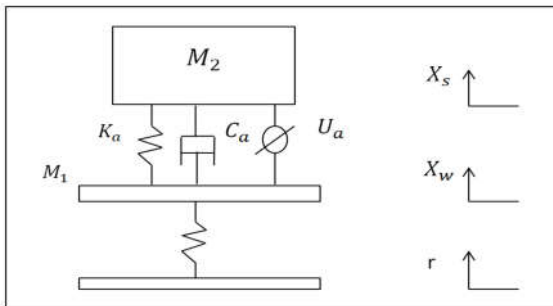
hết các nghiên cứu đã được thực hiện, một mô hình tuyến tính được sử dụng giả định. Một trong những lý do là nó có thể dễ dàng mô tả và xác định được những thông số cơ bản động lực học của một chiếc xe thực tế. Áp dụng phương pháp LQR, PID, Fuzzy cho hệ thống treo chủ động đã được đề xuất trong mô hình một phần tư xe [2] Phương pháp LQR, PID, Fuzzy được sử dụng để có thể cải thiện việc xử lý xe và tạo ra sự thoải mái khi ngồi trên xe [3].

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC

Mô hình động học của hệ thống này được chia thành hai loại. Mô hình đầu tiên được xác định trong miền thời gian, để thực hiện mô hình hóa chiến lược của hệ thống kiểm soát LQR; PID; Fuzzy phải được đại diện trong không gian. Mô hình động lực biểu diễn không gian trạng thái được tham khảo theo tài liệu [3, 4]. Trên hình 1 trình bày sơ đồ động học của hệ thống treo bị động và chủ động mô hình một phần tư xe.



a) Treo bị động



b) Treo chủ động

Hình 1. Mô hình một phần tư xe của hệ thống treo

$M_1$ : Khối lượng của bánh xe/khối lượng không được treo (kg).

$M_2$ : Khối lượng thân xe/khối lượng treo (kg).

$r$ : Trạng thái mặt đường.

$X_w$ : Dịch chuyển bánh xe (m).

$X_s$ : Dịch chuyển thân xe (m).

$K_a$ : Độ cứng của lò xo thân xe (N/m).

$K_t$ : Độ cứng của lốp (N/m).

$C_a$ : Hệ số của giảm chấn (N/m).

$U_a$ : Cơ cấu tạo lực (N)

Mô hình động học hình 1, có thể được chia thành hai phần chính như sau:

Tại  $M_1$

$$F = M_a$$

$$-K_t(X_w - r) - K_a(X_w - X_s) - C_a(\dot{X}_w - \dot{X}_s) - U_a = M_1\ddot{X}_w \quad (1)$$

$$\ddot{X}_w = \frac{-K_t(X_w - r) - K_a(X_w - X_s) - C_a(\dot{X}_w - \dot{X}_s) - U_a}{M_1}$$

Tại  $M_2$

$$F = M_a$$

$$-K_a(X_s - X_w) - C_a(\dot{X}_s - \dot{X}_w) + U_a = M_2\ddot{X}_s \quad (2)$$

$$\ddot{X}_s = \frac{-K_a(X_s - X_w) - C_a(\dot{X}_s - \dot{X}_w) + U_a}{M_2}$$

Các biến đổi trạng thái được thiết lập trong phương trình có thể được viết như sau:

$$\dot{X}(t) = Ax(t) + B_{u(t)} + f(t)$$

Trong đó:

$$\dot{X}_1 = \dot{X}_s - \dot{X}_w \approx X_2 - X_4$$

$$\dot{X}_2 = \ddot{X}_s$$

$$\dot{X}_3 = \dot{X}_w - \dot{r} \approx X_4 - \dot{r}$$

$$\dot{X}_4 = \dot{X}_w$$

Viết lại phương trình ở ma trận dạng hiệu suất.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \\ \dot{X}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ -K_a & -C_a & 0 & C_a \\ M_2 & M_2 & 0 & M_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ K_a & C_a & -K_t & -C_a \\ M_1 & M_1 & M_1 & M_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \\ X^4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \\ M_1 \end{bmatrix} U_a + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \dot{r}$$

Cách tiếp cận thứ hai của mô hình là áp dụng phương pháp điều khiển PID. Mô hình động lực của hệ thống được tham khảo từ tài liệu [3, 4]. Phương trình toán học cho hệ thống cũng là được chia thành hai phần chính như sau:

Tại  $M_1$

$$[M_1s^2 + C_a s + K_a + K_t]X_w(s) - [C_a s + K_a]X_s(s) = K_t r(s) \quad (3)$$

Tại  $M_2$

$$[M_2s^2 + C_a s + K_a]X_s(s) - [C_a s + K_a]X_w(s) = 0 \quad (4)$$

## 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Ba bộ điều khiển khác nhau để khảo sát và thảo luận: Bộ điều khiển LQR; Bộ điều khiển PID; Bộ điều khiển Fuzzy

### 3.1. Bộ điều khiển LQR

LQR là một trong những phương pháp điều khiển phổ biến nhất thường được sử dụng để nghiên cứu việc kiểm soát hệ thống treo tích cực.

Xem xét bộ biến trạng điều chỉnh thông tin cho hệ thống:

$$u(t) = -Kx(t) \quad (5)$$

$K$  là trạng thái ma trận khuếch đại có hồi tiếp

Quy trình tối ưu hóa bao gồm xác định đầu vào điều khiển  $U$ , giúp giảm thiểu chỉ tiêu chất lượng. Chỉ tiêu chất lượng  $J$  xác định năng lượng tiêu tốn của tín hiệu điều khiển. Khi đó, nếu ma trận  $K$  được xác định để tối thiểu hóa chỉ tiêu chất lượng  $J$  thì luật điều khiển  $u(t)$  sẽ tối ưu với mọi trạng thái ban đầu  $x(0)$ .

$$J = \frac{1}{2} \int_0^t (x^T Q x + u^T R u) dt \tag{6}$$

Trong đó U là đầu vào trạng thái và Q và R là trọng số ma trận trọng số xác định dương. Ma trận khuếch đại K (bộ điều khiển) được biểu diễn bởi:

$$K = R^{-1} B^T P \tag{7}$$

Trong đó: ma trận P được đánh giá là kết quả của phương trình Algebraic Riccati (IS). Như sau:

$$A^T P + PA - PBR^{-1} B^T P + Q = 0 \tag{8}$$

Bộ điều chỉnh phản hồi U

$$u(t) = -(R^{-1} B^T P)x(t) = -Kx(t) \tag{9}$$

Việc lựa chọn hàm chỉ tiêu chất lượng J, véc tơ trạng thái x và tín hiệu điều khiển u sẽ ảnh hưởng lớn đến việc tìm các ma trận Q, R.

$$Q = \begin{bmatrix} 1000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1000 \end{bmatrix} \quad \text{và} \quad R = 0,001$$

Do đó giá trị độ khuếch đại của K = [29,7144 2405,8 - 11327 - 357,2037]

**3.2. Bộ điều khiển PID**

Cách tiếp cận thứ hai của mô hình là thực hiện phương pháp điều khiển PID. PID một bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ (bộ điều khiển PID - Proportional Integral Derivative) là một cơ chế phản hồi vòng điều khiển (bộ điều khiển) tổng quát được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển công nghiệp - bộ điều khiển PID là bộ điều khiển được sử dụng nhiều nhất trong các bộ điều khiển phản hồi và chỉ áp dụng cho hệ SISO theo nguyên lý hồi tiếp. Phương trình điều khiển thuật toán PID được tham khảo tại tài liệu [4].

$$U(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \tag{10}$$

Áp dụng phương pháp Ziegler-Nichols 2 ta có:

Hệ số  $K_p, K_i, K_d$  cần tìm là:  $K_p = 94120,8; K_i = K_p/T_i = 651071,1593; K_d = T_D * K_p = 3401,596$ .

**3.3. Bộ điều khiển Fuzzy**

Bộ điều khiển thứ 3 của mô hình là thực hiện phương pháp điều khiển Fuzzy. Fuzzy là bộ điều khiển sử dụng thuật toán mờ hoá các thông số đầu vào, biến các thông số đầu vào thành các lực đầu ra cần thiết để điều khiển hệ thống thông qua bảng luật điều khiển.

Chọn các hệ số tiền xử lý và hậu xử lý:

- Gọi  $K_1$  là hệ số tiền xử lý của tín hiệu đầu vào E (độ dịch chuyển thân xe), chọn  $K_1 = 1/0,05$  tức là miền dịch chuyển thân xe được xác định khi có dao động trong khoảng -0,05 đến 0,05m.

- Gọi  $K_2$  là hệ số tiền xử lý của tín hiệu đầu vào CE (vận tốc của dịch chuyển E), chọn  $K_2 = 1$  tức là miền dịch chuyển vận tốc được xác định khi có dao động trong khoảng -1 đến 1m/s.

Bảng 1. Luật điều khiển Fuzzy

		Dịch chuyển thân xe						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
Vận tốc	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
	NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
	ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
	PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
	PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

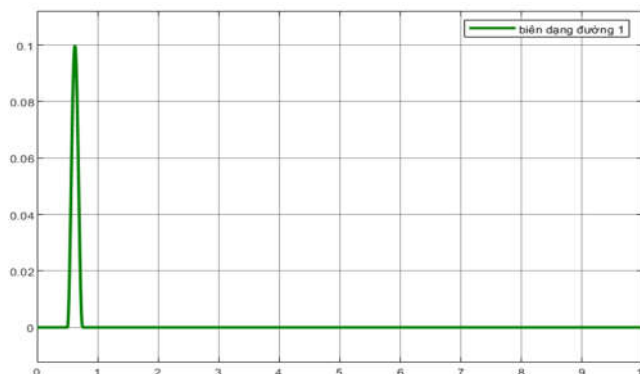
Với các ký hiệu NB=Negative Big, NM=Negative Medium, NS=Negative Small, ZE=Zero, PS=Positive Small, PM=Positive Medium, PB=Positive Big.

**4. MÔ PHỎNG**

Các thông số đầu vào đó chính là sự thay đổi của biên dạng mặt đường, được thể hiện qua hình số 2 và biểu thức số (11).

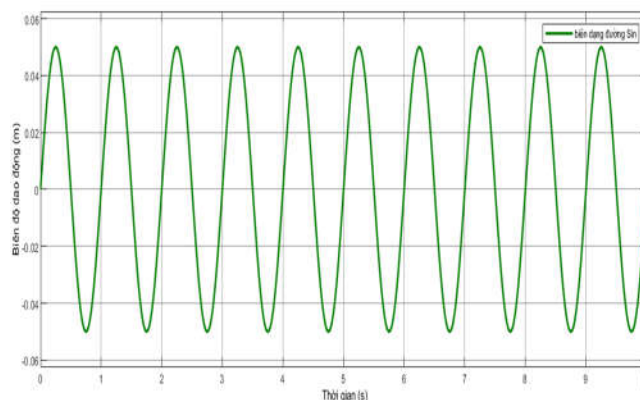
Biên dạng bề mặt đường 1 với một vị trí mấp mô:

$$r(t) = \begin{cases} a(1 - \cos 8\pi t) & 0,5s \leq t \leq 0,75s \\ 0 & \text{trái lại} \end{cases} \tag{11}$$



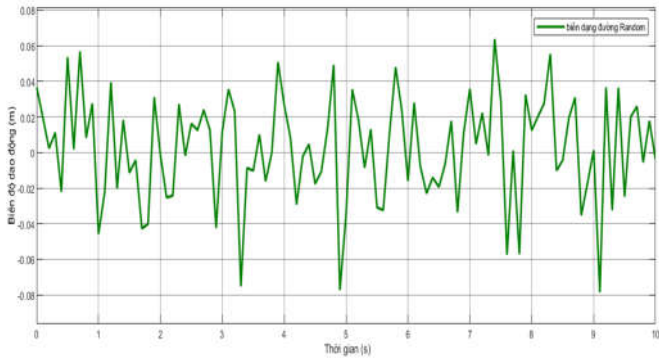
Hình 2. Biên dạng đường 1

Biên dạng bề mặt đường loại 2 là biên dạng đường hình sin sử dụng có biên độ là 0,05 m và tần số là 1Hz. Được thể hiện qua hình 3.



Hình 3. biên dạng đường hình sin 2

Biên dạng đường loại thứ 3 là biên dạng đường random. Đây là biên dạng đường gần nhất với môi trường thực tế xe có thể gặp phải và được thể hiện qua hình 4.



Hình 4. Biên dạng đường hình random 3

Bộ thông số mô hình 1/4 xe của hệ thống treo chủ động được thể hiện trong bảng 2.

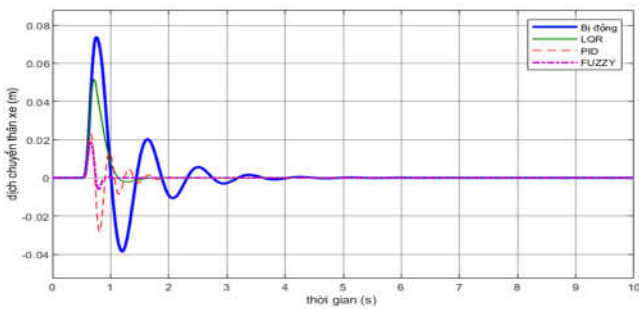
Bảng 2. Thông số cho một phần tư xe

Khối lượng được treo	$M_1 = 290\text{kg}$
Khối lượng không được treo	$M_2 = 59\text{kg}$
Độ cứng của lò xo	$K_a = 16812\text{N/m}$
Độ cứng của lốp	$K_t = 190000\text{N/m}$
Hệ số đàn hồi của giảm chấn	$C_a = 1000\text{N/m}$

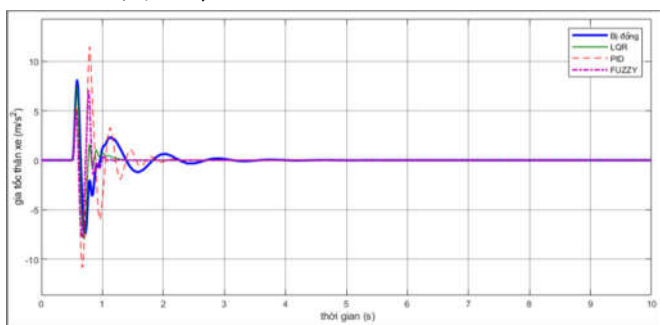
**5. KẾT QUẢ**

Với mục đích so sánh hiệu suất làm việc của hệ thống treo chủ động sử dụng ba phương pháp điều khiển LQR, PID và Fuzzy so với hệ thống treo bị động. Những thông số động lực học được so sánh là: Dịch chuyển thân xe; Gia tốc thân xe; Lực tạo bởi cơ cấu điều khiển.

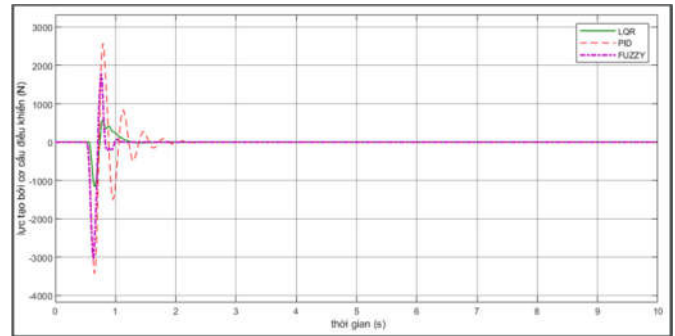
**5.1. Trường hợp với biên dạng đường loại 1**



Hình 5. Độ dịch chuyển thân xe 1

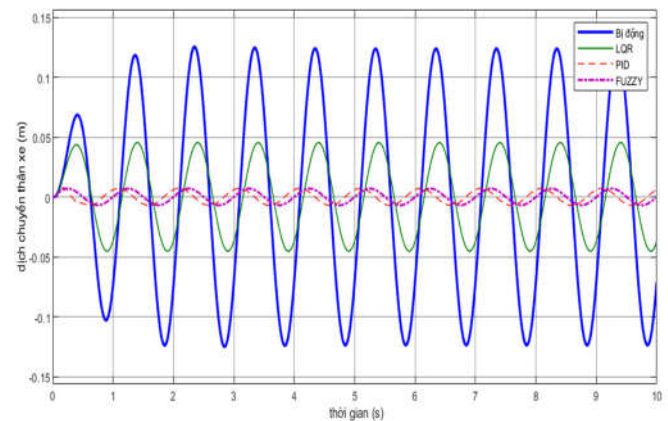


Hình 6. Gia tốc thân xe 1

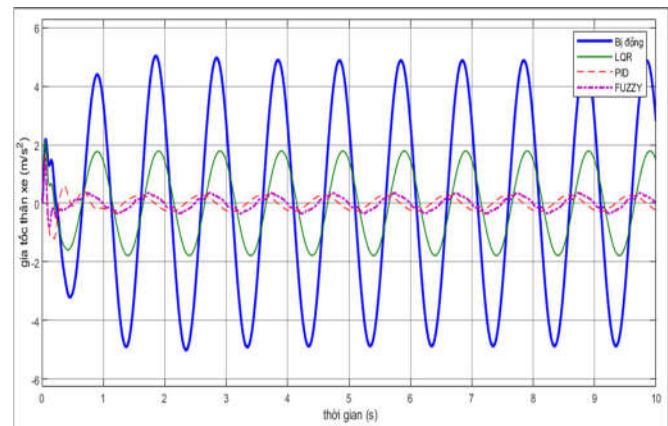


Hình 7. Lực tạo bởi cơ cấu điều khiển 1

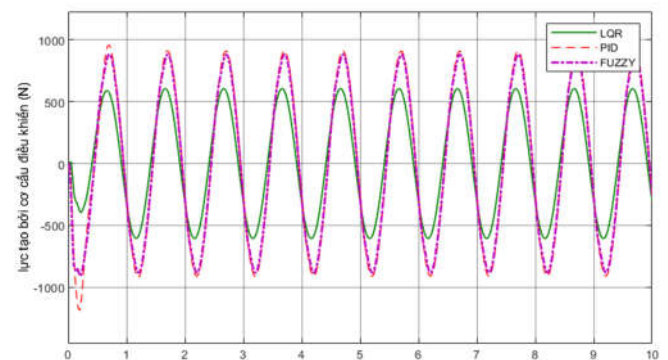
**5.2. Đối với biên dạng đường loại 2**



Hình 8. Độ dịch chuyển thân xe 2

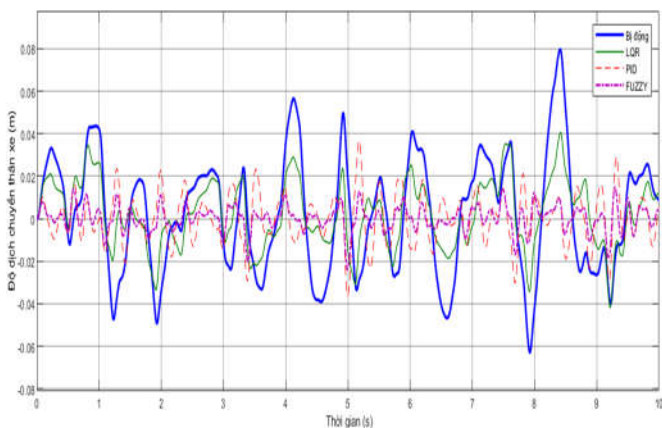


Hình 9. Gia tốc thân xe 2

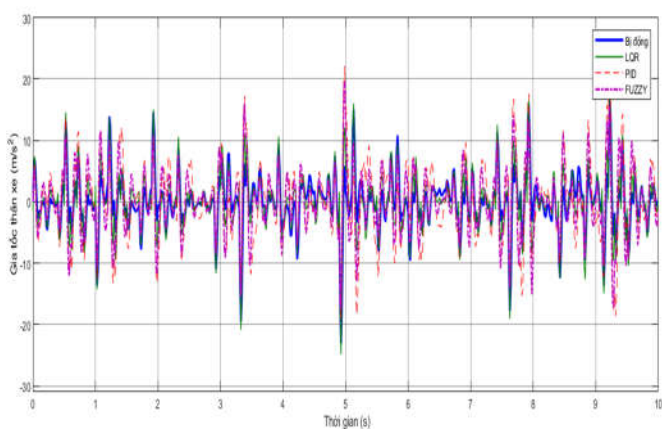


Hình 10. Lực tạo bởi cơ cấu điều khiển 2

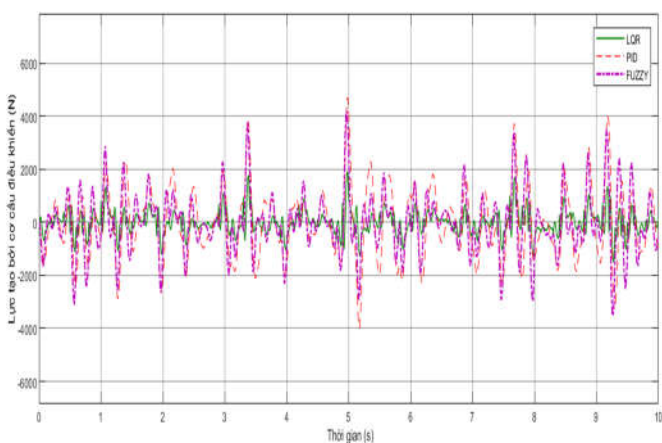
5.3. Đối với biên dạng đường loại 3



Hình 11. Độ dịch chuyển thân xe 3



Hình 12. Gia tốc thân xe 3



Hình 13. Lực tạo bởi bộ điều khiển 3

6. KẾT LUẬN

Bộ điều khiển LQR ưu tiên về tối ưu lực tạo ra là nhỏ nhất để tiết kiệm chi phí cho người sử dụng khi chỉ bằng 10% so với lực tạo ra từ bộ điều khiển PID và bằng 33,33% so với lực tạo ra từ bộ điều khiển Fuzzy với biên dạng đường random. Bộ điều khiển PID có ưu thế chú trọng khi chỉ số biên độ dịch chuyển thân xe là nhỏ khi so với hệ thống treo bị động chiếm 51,43% và bằng 90% bộ điều khiển LQR.

Bộ điều khiển Fuzzy kết hợp hài hòa giữa chi phí sử dụng và khả năng dập tắt dao động nhanh mà tối ưu nhất. Ngoài ra, Fuzzy còn được gọi là bộ điều khiển thông minh đang được nghiên cứu, ứng dụng trong hiện tại và sẽ phổ biến ở tương lai gần.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Vũ Hải Quân, Trịnh Duy Hùng, 2019. *Xây dựng mô hình nghiên cứu hệ thống treo có điều khiển cho mô hình toàn xe*. Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường, ISSN 1859-3941, trang 72-77, số 10.

[2]. Vũ Hải Quân, Hoàng Quang Tuấn, 2019. *Mô hình hóa và điều khiển hệ thống treo tích cực cho mô hình ¼ xe*. Hội thảo Quốc gia: Đào tạo nguồn nhân lực Công nghiệp Ô tô gắn với nhu cầu sử dụng lao động của xã hội. Khu vực Bắc Bộ: Thực trạng và giải pháp trong bối cảnh hội nhập và cách mạng công nghiệp 4.0" ISSN 0866 – 7056, Đại học Thái Nguyên.

[3]. Rosheila Darus, Yahaya Md Sam, 2008. *Modeling and Control Active Suspension System for a Full Car Model*. 5th International CSP A, 2008. pg. 13-18.

[4]. Sam Y.M., Ghani M.R.A, Ahmad N., 2000. *LQR Controller for Active Car Suspension*. IEEE Control System 2000 1441-1444.

[5]. Hespanhna J.P., 2007. *Undergraduate Lecture Note on LQG/LGR controller Design*. University of California Santa Barbara.

[6]. Wu S.J., Chiang H.H., Chen J.H., Lee T.T., *Optimal Fuzzy Control Design for Half-Car Active Suspension Systems*. IEEE Proceeding of the International Conference on Networking, Sensing and Control. March, Taipei, Taiwan: IEEE. 2004. 21-23.

[7]. Astrom K.J., Wittenmark B., 1995. *Adaptive Control*. Second Editon, Addison- Wesley Pub.

[8]. Chen H.Y., Huang S.J., 2005. *Adaptive Control for Active Suspension System*. International Conference on Control and Automatic. June. Budapest, Hungary.

[9]. Ikenaga S., Lewis F.L., Campos J., Davis L., 2000. *Active Suspension Control of Ground Vehicle Based on a Full Car Model*. Proceeding of America Control Conference. June. Chicago, Illinois.

[10]. Shariati A., Taghirad H.D., Fatehi A, 2004. *Decentralized Robust H-∞ Controller Design for a Full Car Active Suspension System Control*. University of Bath, United Kingdom.

[11]. William D.L., Hadad W.M., 1997. *Active Suspension Control to Improve Vehicle Ride and Handling*. Vehicle System Dynamic. 28: 1-24 70

[12]. Sam Y.M, 2004. *Proportional Integral Sliding Mode Control of an Active Suspension System*. Malaysia University of Technology, PHD Dissertation, Malaysia University of Technology.

[13]. Hyvarinen J.P., 2004. *The Improvement of Full Vehicle Semi-Active Suspension through Kenimatical Model*. Master Science Disertation. Oulu of University Findland.

[14]. Winfred K.N., Dion R.T., Scott C.J., Jon B., Dale G., George W.A., Ron R., Jixiang S., Scott G., Li C. 2002. *Development and Control of a Prototype Pneumatic Active Suspension System*. IEEE Transaction on Education. Vol. 45; No.1; pp. 43-49./.