

# PHÂN TÍCH NGẪU NHIÊN TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA Ô TÔ VỚI NHIỀU THAM SỐ NGẪU NHIÊN SỬ DỤNG MÔ PHỎNG MONTE CARLO

STOCHASTIC VEHICLE'S NATURAL FREQUENCY ANALYSIS WITH MULTIPLE  
RANDOM VARIABLES USING MONTE CARLO SIMULATION

Nguyễn Văn Thuận, Nguyễn Hữu Thật

Trường Đại học Nha Trang

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này, phân tích ngẫu nhiên tần số dao động của mô hình ô tô sử dụng phương pháp mô phỏng Monte Carlo (MCS) với biến vật liệu không chắc chắn. Sử dụng phương trình Lagrange để thiết lập công thức tính tần số dao động riêng của mô hình ô tô. Nghiên cứu ứng xử dao động tự do của ô tô với biến ngẫu nhiên là độ cứng của hệ thống treo và bánh xe. Kết quả mô phỏng được thể hiện thông qua giá trị trung bình và hệ số biến thiên của tần số riêng có chứa biến ngẫu nhiên trong ma trận độ cứng của hệ. Những ảnh hưởng của ngẫu nhiên độ cứng tới sự biến đổi của tần số riêng của dao động ô tô được khảo sát chi tiết.

**Từ khóa:** Dao động ô tô; Tần số riêng; Mô phỏng Monte Carlo.

## ABSTRACT

This work presents the Monte Carlo simulation to investigate the stochastic vehicle's natural frequencies with uncertain material. The governing equations for the natural frequency of vehicles are derived from Lagrange's equations. The randomness in suspension stiffness type stiffness is considered a random variable. The mean value and variation coefficient of the vehicle's natural frequencies are obtained by stiffness matrix of the system random variables. The effects of random stiffness on natural frequencies of vehicle is discussed in detail.

**Keywords:** Vehicle vibration; Natural frequencies; Monte Carlo simulation.



## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dao động của ô tô chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố như vật liệu hệ thống treo, hệ thống khung, mặt đường... Điều này làm mất tính an toàn và êm dịu của ô tô. Việc giảm dao động và tiếng ồn luôn được các hãng ô tô quan tâm giải quyết. Tuy nhiên, quá trình chế tạo hệ thống treo không thể tránh khỏi những lỗi liên quan đến vật liệu và điều này sẽ ảnh hưởng đến cơ tính của hệ thống. Kiểm soát dao động khi ô tô chuyển động là vấn đề rất phức tạp, có rất nhiều phương pháp đưa ra trong đó việc giả định các thông số vật liệu ngẫu nhiên được cho là hiệu quả. Hiện tại, chủ đề nghiên cứu trên nhận được sự quan tâm của nhiều tác giả trong và ngoài nước.

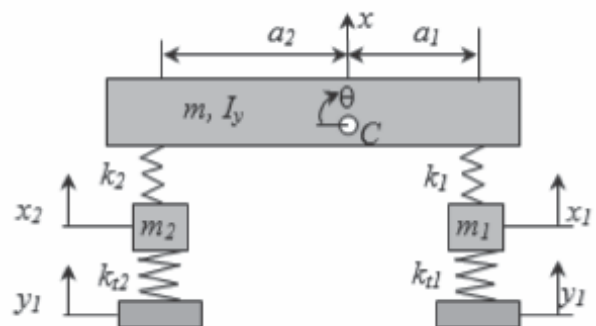
Jagtap và các cộng sự đã nghiên cứu mô phỏng mô hình dao động một phần tư của ô tô bằng phần mềm Matlab [1]. Đây là bước cơ sở cho những nghiên cứu về ngẫu nhiên sau này. Trong nghiên cứu về tính ngẫu nhiên của mô hình dao động một phần tư, tác giả Turkyay và Akcay đã nghiên cứu sự thay đổi của tần số riêng của mô hình với các biến là khối lượng và độ cứng [2]. Cũng theo hướng nghiên cứu về ngẫu nhiên các biến trong bài toán dao động, nhóm nghiên cứu của Thompson đã khảo sát mô hình dao động một phần hai ô tô sử dụng cả thực nghiệm và phương pháp phân tích phổ [3]. Sử dụng phương pháp phi thống kê Chaotic để khảo sát dao động của mô hình dao động ô tô ba chiều được trình bày trong nghiên cứu của Zhu và Ishitobi [4]. Tác giả Narayanan và cộng sự lại nghiên cứu ngẫu nhiên dao động riêng của ô tô với giả thiết phi tuyến cho các các phần tử của hệ thống treo. Một trong những yếu tố ảnh hưởng đến dao động của ô tô là mặt đường, giả thiết các thông số mặt đường không chắc chắn được đề cập trong công trình của Gobbi và các cộng sự [6]. Tác giả Thuan và cộng sự

lại tập trung hướng nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhiều thông số ngẫu nhiên đến tần số riêng của dao động ô tô bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo và phương pháp phi thống kê [7]. Những công trình nghiên cứu trên cho thấy chủ đề ngẫu nhiên dao động ô tô đã và đang được các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước quan tâm. Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu về chủ đề ngẫu nhiên dao động ô tô còn hạn chế về số lượng. Với sự phát triển của công nghệ máy tính phương pháp mô phỏng Monte Carlo trong phân tích ngẫu nhiên ngày càng phổ biến.

## 2. PHÂN TÍCH NGẪU NHIÊN TẦN SỐ DAO ĐỘNG Ô TÔ

### 2.1. Mô hình dao động một phần hai của ô tô

Nghiên cứu này nhóm tác giả phân tích dao động một phần hai với tham số ngẫu nhiên là độ cứng hệ thống treo và độ cứng của bánh xe. Mô hình giả thiết với các thông số và hệ tọa độ được giới thiệu như hình 1. Trong đó, khối lượng ô tô ( $m$ ), khối lượng bánh xe trước và sau ( $m_1, m_2$ ), độ cứng của hệ thống treo cầu trước và sau ( $k_1, k_2$ ), độ cứng của bánh xe trước và sau ( $k_{t1}, k_{t2}$ ).



Hình 1. Mô hình dao động một phần hai của ô tô

Xây dựng công thức tính động năng và thế năng của hệ dao động:

$$K = \frac{1}{2} (m\dot{x}^2 + m_1\dot{x}_1^2 + m_2\dot{x}_2^2 + I_y\dot{\theta}^2) \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{2} [k_{t1}(x_1 - y_1)^2 + k_{t2}(x_2 - y_2)^2] + \frac{1}{2} [k_1(x - x_1 - a_1\theta)^2 + k_2(x - x_2 - a_2\theta)^2] \quad (2)$$

Áp dụng phương trình tính toán dao động Lagrange cho kết quả:

$$[M]\{\ddot{X}\} + [K]\{X\} = 0 \quad (3)$$

Trong đó, M là ma trận khối lượng và K là ma trận độ cứng của hệ.

Tần số dao động ô tô khi không xét đến hệ số giảm chấn sẽ được xác định bằng cách giải phương trình đặc trưng để xác định trị riêng.

$$\det([K] - \lambda[M]) = 0 \quad (4)$$

Giải phương trình 4, ta thu được tần số dao động riêng  $\omega_i = \sqrt{\lambda_i}$ .

## 2.2. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo trong phân tích ngẫu nhiên

Phương pháp mô phỏng Monte Carlo được sử dụng để mô tả các thông số không chắc chắn (vật liệu, độ cứng...) trong kỹ thuật [8]. Bài báo sử dụng phương pháp mô phỏng Monte Carlo để phân tích ngẫu nhiên dao động của ô tô. Các biến ngẫu nhiên sẽ được mô phỏng 10.000 lần thông qua việc sử dụng phần mềm Matlab. Mỗi một lần mô phỏng các biến ngẫu nhiên sẽ giải tính được các tần số dao động riêng, từ đó, tính toán thống kê được đặc trưng ngẫu nhiên của tần số dao động riêng như giá trị trung bình và độ lệch chuẩn. Sự biến đổi

của ngẫu nhiên đặc trưng tần số dao động được đánh giá thông qua công thức hệ số biến thiên (HSBT) như sau:

$$HSBT = \frac{DLC}{|TB|} \quad (5)$$

Trong đó, TB là giá trị trung bình của tần số, DLC là độ lệch chuẩn.

## 3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

### 3.1. Số liệu đầu vào tính toán dao động ô tô

Mô hình dao động ô tô như hình 1 với các với các giá trị trung bình của các tham số đầu vào như bảng 1, giá trị sử dụng tại bảng được tham khảo trong tài liệu về động lực học ô tô [9].

Bảng 1. Số liệu đầu vào tính toán tần số dao động ô tô

| Thông số                          | Đơn vị | Giá trị |
|-----------------------------------|--------|---------|
| m                                 | kg     | 420     |
| m <sub>1</sub>                    | kg     | 53      |
| m <sub>2</sub>                    | kg     | 53      |
| k <sub>1</sub> , k <sub>2</sub>   | N/m    | 10,000  |
| k <sub>t1</sub> , k <sub>t2</sub> | N/m    | 200,000 |

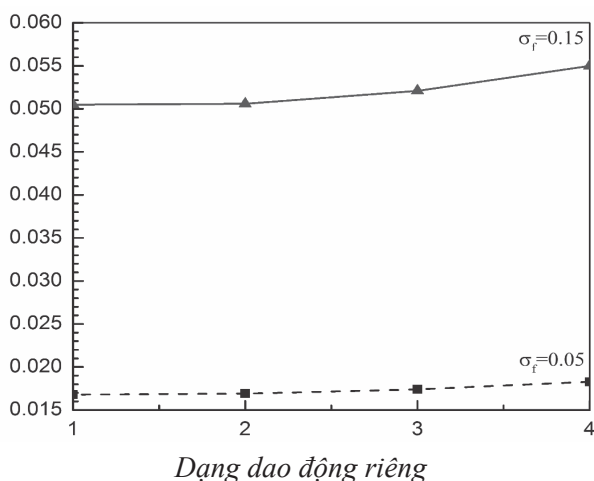
### 3.2. Kết quả tính toán

Trước tiên cần tính toán dao động riêng ô tô với bài toán tiền định ứng với các giá trị trung bình của tham số đầu vào. Giá trị tần số dao động riêng  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  được xác định trong bảng 1.

Bảng 2. Tần số dao động tại 4 dạng dao động riêng đầu tiên

| Dạng dao động riêng | Tần số dao động riêng (rad/s) |
|---------------------|-------------------------------|
| 1                   | 1.11                          |
| 2                   | 1.46                          |
| 3                   | 8.43                          |
| 4                   | 10.02                         |

Kết quả tính toán tần số ở bảng 2 và dạng dao động riêng hoàn toàn đúng với kết quả được tính toán trong tài liệu động lực học ô tô [9].



Hình 2. Hệ số biến thiên và sự thay đổi độ lệch chuẩn

Khảo sát sự thay đổi của hệ số biến thiên khi thay đổi độ lệch chuẩn đầu vào của biến khối lượng và độ cứng được thể hiện trên hình 2. Hai trường hợp độ lệch chuẩn ban đầu của độ cứng được khảo sát là 0.05 và 0.15. Theo những kết quả trên hình khảo sát cho thấy rằng, giá trị biến thiên đạt được trong cả hai trường hợp là nhỏ hơn so với giá trị đầu vào của độ lệch chuẩn.

## 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nghiên cứu tính

toán biến thiên của tần số dao động ngẫu nhiên của mô hình dao động ô tô một phần hai khi xét đến các tham số ngẫu nhiên là độ cứng bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Kết quả cho thấy khi ngẫu nhiên độ cứng mô hình dao động ô tô một phần hai ảnh hưởng nhiều đến hệ số biến thiên của các tần số dao động riêng của ô tô. Hệ số biến thiên của tần số dao động riêng nhỏ hơn 50% hệ số biến thiên của các tham số đầu vào trong trường hợp tất cả các tham số đầu vào có cùng hệ số biến thiên. Điều đó cho thấy xu hướng giảm sự thay đổi của tần số so với các tham số đầu vào.

## Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Nha Trang trong đề tài mã số TR2021-13-12.❖

Ngày nhận bài: 22/11/2022

Ngày phản biện: 02/12/2022

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. K. K. Jagtap and D. R. Dolas, "Simulation of quarter car model using Matlab" International Journal of Engineering Research and General Science, vol. 3, 2015.
- [2]. S. Turkay and H. Akcay, "A study of random vibration characteristics of the quarter-car model," Journal of Sound and Vibration, pp. 111-124, 2004.
- [3]. A. G. Thompson and B. R. Davis, "Computation of the rms state variables and control forces in a half-car model with preview active suspension using spectral decomposition method," Journal of Sound and Vibration, vol. 3, pp. 571-583, 2005.
- [4]. Q. Zhu and M. Ishitobi, "Chaotic vibration of a nonlinear full-vehicle model," International Journal of Solids and Structures, vol. 43, pp. 747-759, 2006.
- [5]. S. Narayanan and S. Senthil, "Stochastic optimal active control of a 2-dof quarter car model with non-linear passive suspension elements" vol. 211, pp. 495-506, 1998.
- [6]. M. Gobbi, F. Levi and G. Mastinu, "Multi-objective stochastic optimisation of the suspension system of road vehicles," Journal of Sound and Vibration, vol. 298, pp. 1055-1072, 2006.
- [7]. N. V. Thuan, and T. D. Hien, "Variability in frequency of vehicle vibration analysis with multiple random variables" Transport and Communications Science Journal, vol. 72, pp. 215-226, 2021.
- [8]. J. E. Hurtado and A. H. Barbat, "Monte Carlo Techniques in Computational Stochastic Mechanics" Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 5, pp. 3-30, 1998.
- [9]. R. N. Jazar, "Vehicle dynamic: Theory and application", Springer, New York, 2014.