

MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC CỦA MỘT CƠ CẤU RUNG VA ĐẬP MỚI

Nguyễn Văn Dự (*Tr ường Đại học KTCN – ĐH Thái Nguyên*)

1. Giới thiệu

Các máy móc khai thác tính tích cực của rung động đã được giới thiệu và sử dụng rộng rãi trên thế giới từ những năm 1940, sau khi Tsaplin [1] đưa ra mô hình cơ cấu rung va đập sử dụng bánh quay lệch tâm. Lợi ích cao của việc tích hợp rung động với va đập đã được chứng minh bởi các công trình nghiên cứu của Barkan [2], Rodger và Littlejohn [3]. Các nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng của Pavlovskaja [4, 5], Wiercigroch [6, 7], Woo [8] đã khẳng định rõ hơn lợi ích này. Tuy nhiên các mô hình ứng dụng vẫn chỉ dựa trên cơ cấu bánh lệch tâm rất cồng kềnh. Với ý đồ giảm thiểu kích thước và khai thác rung-va đập theo phương ngang, Lok [9] đã nghiên cứu mô hình rung dùng cơ cấu cam. Dù vậy, cơ cấu này với nhược điểm ma sát lớn, làm phát sinh nhiệt cao và nhanh mòn đã cản trở việc phát triển và ứng dụng trong thực tiễn. Một nghiên cứu ứng dụng va đập trong các máy khoan ngang đã được tiến hành bởi Franca và Weber [10], sử dụng nguồn rung động là máy tạo rung dựa trên nguyên lý nam châm điện. Cơ cấu này cũng đòi hỏi kích thước máy khá lớn để có thể sinh được lực va đập đủ lớn. Các ví dụ ứng dụng của nguyên lý dùng nam châm điện như chuông điện, bơm phun... có thể minh họa rằng cơ cấu dạng này chỉ phù hợp cho ứng dụng cần biên độ rung cũng như lực va đập nhỏ.

Cho đến nay, các nghiên cứu về cuộn cảm được tiến hành cho các dạng ứng dụng như một cơ cấu đóng mở [11, 12, 13] hoặc rung động hành trình ngắn [14, 15, 16, 17]. Việc sử dụng cuộn cảm như một động cơ chuyển động thẳng khứ hồi đã được Mendrela [18, 19] đề xuất và nghiên cứu. Tuy nhiên, động cơ của ông chỉ được phân tích ở chế độ không tải và ở dạng một mô hình đơn giản.

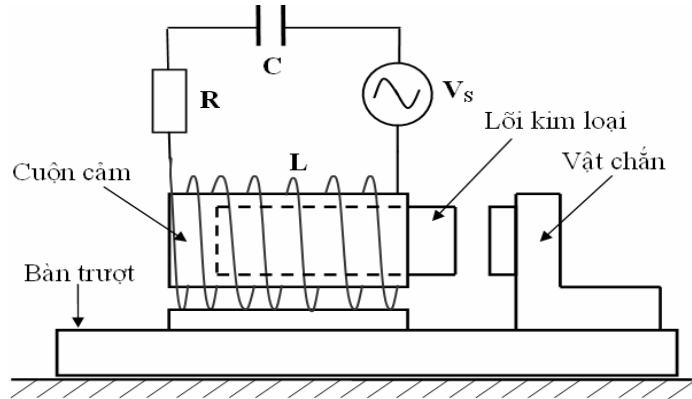
Một cơ cấu rung-va đập mới, khai thác chuyển động tuần hoàn của lõi kim loại trong một cuộn cảm, tận dụng nguyên lý cộng hưởng điện trong mạch RLC, được giới thiệu bởi tác giả [20, 21], đã thu hút được sự chú ý của các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực ứng dụng cơ học phi tuyến. Bài báo này trình bày việc xây dựng mô hình vật lý và toán học cho cơ cấu này.

Bài báo được cấu trúc như sau: Trước hết, nguyên lý hoạt động của cơ cấu rung va đập dùng cuộn cảm được trình bày ở phần 2. Mô hình vật lý và toán học của cơ cấu được phát triển và diễn giải ở phần 3. Tiếp theo, việc so sánh kiểm chứng tính đúng đắn của mô hình qua số liệu thí nghiệm được trình bày ở phần 4. Phần 5 là kết luận của bài báo.

2. Nguyên lý hoạt động của cơ cấu rung-va đập

Hiện tượng cộng hưởng điện trong mạch RLC đã được biết đến như một bài toán căn bản trong các giáo trình vật lý và cơ sở kỹ thuật điện. Do cộng hưởng, dòng điện xoay chiều đi qua cuộn dây sẽ đạt giá trị lớn tại hai phía gần hai đầu mút ống dây. Vị trí có cộng hưởng và giá trị lớn nhất của dòng điện khi đó tùy thuộc vào điện cảm L của cuộn dây, giá trị điện trở thuần R của nó cũng như độ lớn điện dung C .

Chọn vị trí ban đầu của lõi kim loại ở gần một đầu ống dây, lõi này sẽ bị lực điện từ sinh ra trong ống hút về phía điểm giữa chiều dài ống dây ngay sau khi đóng điện. Do quán tính, nó sẽ chuyển động vượt qua điểm giữa này và tiến về phía đầu kia của ống. Nếu điểm cộng hưởng điện gần điểm nút này, lực điện từ khi này tác động theo chiều ngược lại sẽ làm dừng lõi kim loại và kéo nó chuyển động ngược lại. Bằng cách lựa chọn các giá trị L, C và điện áp xoay chiều một cách phù hợp, ta sẽ nhận được chuyển động khứ hồi tuần hoàn liên tục của lõi kim loại. Đặt trước vị trí lớn nhất của biên độ dao động của lõi này một vật chắn, cả vật chắn và ống dây được đặt trên một bàn trượt, ta được một cơ cấu rung-va đập có thể khai thác như mô hình trên hình 1.

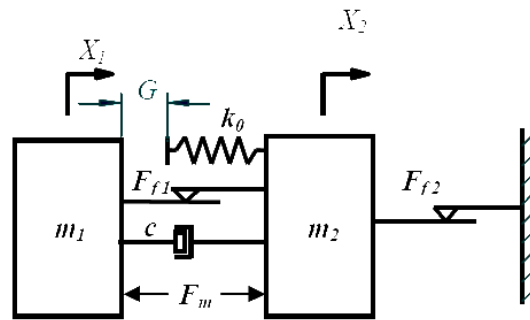


Hình 1. Nguyên lý cơ cấu rung và đập

3. Mô hình vật lý và mô hình toán học của cơ cấu

3.1. Mô hình vật lý

Mô hình hóa lõi kim loại thành một đối tượng có khối lượng m_1 , bàn trượt là đối tượng m_2 , lực ma sát giữa ống dây và lõi kim loại là F_{f1} , giữa bàn trượt và nền là F_{f2} , thành phần lực cản phụ thuộc vận tốc là c , tác dụng tương hỗ của vật chắn và lõi được mô hình hóa thành hệ lò xo k_0 , lực điện từ là F_m , ta có mô hình vật lý của cơ hệ như hình 2. Chuyển vị của m_1 là X_1 , của m_2 là X_2 như hình vẽ.



Hình 2. Mô hình vật lý của cơ hệ

3.2. Mô hình toán học

Sử dụng định luật 2 Niu-tơn cho từng đối tượng m_1, m_2 , ta có:

$$+ \text{Đối với } m_1: m_1 \frac{d^2 X_1}{dt^2} = F_m - F_{f1} - c \left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt} \right) - H \quad (1)$$

$$+ \text{Đối với } m_2: m_2 \frac{d^2 X_2}{dt^2} = -F_m + F_{f1} + c \left(\frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt} \right) + H - F_{f2} \quad (2)$$

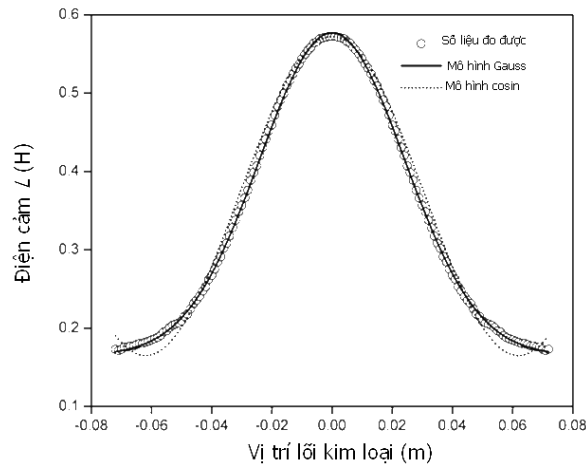
Trong đó, $H(\cdot)$ là hàm gián đoạn phản ánh sự va đập của m_1 với lò xo k_0 , được mô tả:

$$H = \begin{cases} k_0(X_1 - X_2 - G), & (X_1 - X_2 - G) > 0 \\ 0, & (X_1 - X_2 - G) \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Thành phần lực điện từ F_m được tính dựa theo nguyên lý bảo toàn năng lượng [22] và được biểu diễn dưới dạng:

$$F_m = 0.5i^2 \frac{\partial L}{\partial (X_1 - X_2)} \quad (4)$$

Ở đây, điện cảm L được coi như một hàm của chuyển vị tương đối $(X_1 - X_2)$, được biểu diễn dưới dạng hàm phân bố Gauss (Hình 3):



Hình 3. Biểu diễn điện cảm L theo chuyển vị của lõi

$$L = L_0 + \frac{A_G}{\sigma\sqrt{\pi/2}} e^{-2[(X_1 - X_2)/\sigma]^2} \quad (5)$$

Hệ số A_G và độ rộng phân bố chuẩn σ tìm được bằng thực nghiệm; L_0 là điện cảm của ống dây khi không có lõi kim loại bên trong.

Dòng điện chạy qua cuộn cảm dùng cho công thức (4) có thể tính theo phương trình:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + \left[R + 2 \frac{\partial L}{\partial X} \frac{dX}{dt} \right] \frac{di}{dt} + \left[\frac{1}{C} + \frac{\partial^2 L}{\partial X^2} \left(\frac{dX}{dt} \right)^2 + \frac{\partial L}{\partial X} \frac{d^2 X}{dt^2} \right] i = \omega V_s \cos(\omega t) \quad (6)$$

Trong đó V_s là giá trị đỉnh (lớn nhất) của điện áp hình sin, ω là tần số của điện áp này.

Kết hợp (1), (2) và (6), đồng thời đặt:

$$u' = v; \quad v' = \frac{d^2 X_1}{dt^2}; \quad \omega' = x; \quad x' = \frac{d^2 X_2}{dt^2}; \quad y' = z; \quad z' = \frac{d^2 i}{dt^2},$$

$$L_d = \frac{\partial L}{\partial (X_1 - X_2)}, \quad L_{dd} = \frac{\partial^2 L}{\partial (X_1 - X_2)^2}$$

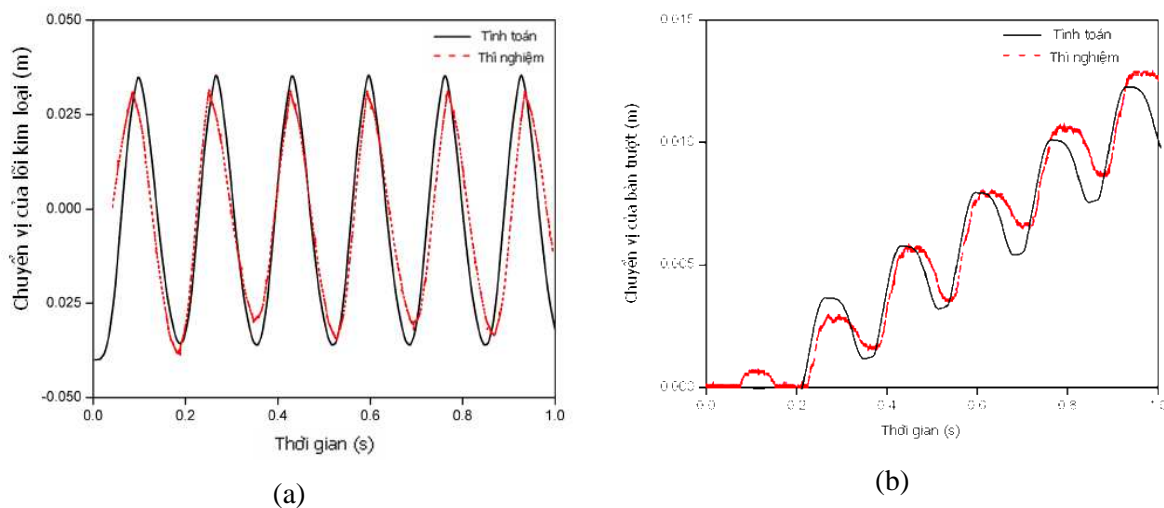
ta được hệ phương trình mô tả hệ như sau:

$$\begin{cases} u' = v \\ v' = \frac{1}{m_1} (F_m - F_{f1} - c(v-x) - H) \\ \omega' = x \\ x' = \frac{1}{m_2} (-F_m + F_{f1} + c(v-x) + H - F_{f2}) \\ y' = z \\ z' = \frac{1}{L} \left\{ \omega V_s \cos(\omega t) + [R + 2L_d(v-x)]z - \left[\frac{1}{C} + L_{dd}(v-x)^2 + L_d(v'-x') \right] y \right\} \end{cases} \quad (7)$$

Kết quả giải hệ phương trình (7) trên máy tính được so sánh với kết quả thí nghiệm để kiểm chứng tính đúng đắn của mô hình và được trình bày trong phần tiếp theo.

4. Kiểm chứng mô hình qua số liệu thí nghiệm

Hình 4 trình bày một cặp số liệu tính toán được so sánh với kết quả thí nghiệm.



Hình 4: So sánh kết quả tính toán và thí nghiệm cho (a) chuyển vị của lõi kim loại và (b) chuyển vị của bàn trượt

Qua đồ thị trên hình 4, có thể thấy rằng mô hình toán học đã đề xuất cho kết quả rất gần với số liệu đo được qua thí nghiệm. Sự tương tự về hình dáng các đồ thị cũng như giá trị của chúng cho thấy mô hình toán học đã đề xuất có thể dùng được để phân tích cũng như dự đoán ứng xử của cơ hệ.

5. Kết luận

Một cơ cấu rung động kết hợp với va đập đã được xây dựng và vận hành. Mô hình vật lý và toán học mô tả cơ hệ sau khi được kiểm chứng đã cho thấy tính khả dụng của nó. Mô hình nếu được phát triển và hoàn thiện sẽ có thể được sử dụng tốt để nghiên cứu đặc tính của cơ hệ trong các điều kiện và thông số vận hành khác nhau, từ đó xác định được miền hoạt động tối ưu cũng như nâng cao hiệu suất của cơ cấu.

Do khuôn khổ bài báo có hạn, các vấn đề chi tiết về các thông số hoạt động không được trình bày ở đây. Độc giả quan tâm xin vui lòng liên hệ với tác giả.

Tóm tắt

Bài báo này trình bày mô hình vật lý và mô hình toán học đã được sử dụng để nghiên cứu một cơ cấu rung va đập mới. Cơ cấu này khai thác các tác động tương hỗ cơ-điện của một cuộn cảm trong trường điện từ dao động. Mô hình hóa đóng một vai trò hữu ích trong việc nghiên cứu ứng xử của cơ hệ này. Mô hình đã được kiểm nghiệm bởi các số liệu thí nghiệm.

Summary

In this paper, physical and mathematical models used to investigate a new vibro-impact mechanism are presented. Electro-mechanical interactions of an inductor with oscillating magnetic field have been deployed in the vibratory unit. Modelling work would be useful to investigate dynamic behaviours of the system. The validity of the model has been scrutinized by experimental results.

Tài liệu tham khảo

- [1].Tsaplin S (1953), Vibratory impact mechanisms for road and bridge construction, *Autotranzidat*,.
- [2].Barkan D. D (1962), *Dynamics of bases and foundations*, McGraw-Hill, New York,.
- [3].Rodger A. A. and Littlejohn, G. S (1980), A study of vibratory driving in granular soils, *Geotechnique*, 30(269).
- [4].Pavlovskaja E., Wiercigroch M. and Grebogi C. (2001), Modelling of an impact system with a drift, *Phys. Rev. E* 64, 056224.
- [5].Pavlovskaja E., Wiercigroch M., Woo K-C. and Rodger A. A (2003), Modelling of ground moling dynamics by an impact oscillator with a frictional slider, *Meccanica*,38:85-97.
- [6].Wiercigroch M., Krivtsov A. and Wojewoda, J. IN (2000) *Nonlinear dynamics and chaos of mechanical systems with discontinuities* (M.Wiercigroch and B. de Kraker, editors), Singapore: World Scientific, Dynamics of high frequency percussive drilling of hard materials,.
- [7].Wiercigroch M., Wojewoda J. and Krivtsov A.M (2005), Dynamics of ultrasonic percussive drilling of hard rocks, *Journal of Sound and Vibration* ,280(3-5):739-757.
- [8].Woo K-C., Rodger A. A., Neilson R.D. and Wiercigroch M (2000), Application of the harmonic balance method to ground moling machines operating in periodic regimes, *Chaos, Solitons and Fractals* 11(15), 2515-2525.
- [9].Lok H-P., Neilson R.D. and Rodger A.A (1999), Computer-based model of vibro-impact driving, *Proceedings of ASME DETC: Symposium on Nonlinear Dynamics in Engineering Systems, Las Vegas*,.
- [10].Franca L. F. P. and Weber H. I. (2004), Experimental and numerical study of a new resonance hammer drilling model with drift, *Chaos, Solitons and Fractals* 21, 789-801.
- [11]. Miller C. and Bredemyer, L. (2006), Innovative safety valve selection techniques and data, *Journal of Hazardous Materials* (in print).
- [12].Topcu, E.E., Yuksel, I. and Kamis, Z.(2006). Development of electro-pneumatic fast switching valve and investigation of its characteristics. *Mechatronics* 16, pp 365–378.
- [13].Ahn K. and Yokota S. (2005), Intelligent switching control of pneumatic actuator using on/off solenoid valves. *Mechatronics* 15, pp 683–702.

[14]. Kallenbach E., Kube H., Zoppig, V., Feindt K., Hermann, R. and Beyer, F. (1999), New polarized electromagnetic actuators as integrated mechatronic components – design and application. *Mechatronics* 9, pp 769-784.

[15]. Gomis-Bellmunt, O., Galceran-Arellano, S., Sudria-Andreu A., Montesinos-Miracle, D., Flavio Campanile, L. (2007), Linear electromagnetic actuator modeling for optimization of mechatronic and adaptronic systems. *Mechatronics*, 17:153-163.

[16]. Rashedin R. and Meydan T (2006), Solenoid actuator for loudspeaker application. *Sensors and Actuators A*, 129:220–223.

[17]. Xu Y. and Jones B (1997), Simple means of predicting the dynamic response of electromagnetic actuators. *Mechatronics* 7(7):589-598.

[18]. Mendrela, E.A. and Pudlowski, Z.J (1992), Transients And Dynamics In A Linear Reluctance Self-Oscillating Motor, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 7(1).

[19]. Mendrella, E.A (1999), Comparision of the Performance of a Linear Reluctance Oscillating Motor Operating Under AC Supply with One Under DC Supply, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 14(3):328-332.

[20]. Nguyen Van Du and Ko-Choong Woo (2005), Experimental investigation of frictional characteristics of vibro-impact moling, *IMA International Conference, Recent Advances in Nonlinear Mechanics, Aberdeen, UK, Page 78, Book of abstract, Springer 2005*.

[21]. Nguyen Van Du, Ko-Choong Woo and Pavlovskaja E. (2007), Experimental study and mathematical modelling of a New of Vibro-impact moling device, *International Journal of Nonlinear Mechanics, (Accepted 2007)*.

[22]. Nasar S.A. (1995), Electric devices and power systems, McGraw-Hill..