

MỘT MÔ HÌNH MỚI CỦA CƠ CẤU RUNG VÀ ĐẬP RLC A NEW MODEL OF THE RLC VIBRATION IMPACT MECHANISM

Nguyễn Văn Dự, Nguyễn Đăng Hào, Lê Xuân Hưng
Trường đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

La Ngọc Tuấn
Trường Đại học SPKT Vinh

TÓM TẮT

Rung động tích hợp và đập mang lại nhiều lợi ích cho các máy xây dựng có chức năng đào và nén đất. Để tích hợp được rung động vào máy đào đường ống ngầm (moling machines), cần có các cơ cấu rung có kích thước theo phương hướng tâm nhỏ gọn. Một cơ cấu như vậy đã được tác giả giới thiệu lần đầu tiên năm 2007 [1-4], hoạt động dựa trên nguyên lý dao động của lõi sắt của ống dây trong mạch cộng hưởng RLC. Đề xuất đó đã nhận được sự quan tâm lớn của các nhà nghiên cứu động lực học phi tuyến ứng dụng. Tuy nhiên, nó chưa có tính ứng dụng cao do công suất sinh ra còn quá nhỏ. Bài báo này giới thiệu một mô hình cơ cấu rung-và đập mới, cũng dựa trên mạch cộng hưởng RLC nhưng đi theo hướng khai thác rung động của chính ống dây. Cơ cấu mới này có khả năng cải thiện tốc độ dịch chuyển của máy lên đến 6 lần.

ABSTRACT

Vibration combined with impact brings advantages to civil machines working with soils. In order to combine vibration with impact of moling machines, vibrators with compact centripetal dimension are needed. A such vibrator, invented in 2007 by Nguyen et al [1-4], has attracted attentions from applied nonlinear dynamics researchers. In the former rig, the principle upon which the experimental rig is based is the combination of resonance in an RLC circuit and a solenoid, to effect impacts of a metal bar on an obstacle block. However, it should be further improved to be powerful enough for applying to actual moling machines. This paper introduces a new model of a vibro-impact mechanism which is more powerful than the former. The new mechanism is also based on the resonance in an RLC circuit and a solenoid, but to effect vibration and impacts of the solenoid instead. Experimental study shows that the new design can cause the progression rate to increase as much as 6 times compared to the former design.

I. GIỚI THIỆU

Trên thế giới, để tạo các đường ống ngầm dưới lòng đất, thường sử dụng các máy đào đường ngầm ngang (Moling Machines). Chúng có các ưu việt rất lớn như: không phá hủy các công trình có sẵn bên trên, tiết kiệm công lao động và thời gian, giá thành thấp..., do vậy được khuyến khích sử dụng thay cho phương pháp đào và lấp (Open excavate) truyền thống. Các máy đào đường ngầm ngang (Moling machines) còn có các tên thương mại như “Máy đào ngang và đập” (Impact moling machines) hay “Dụng cụ xuyên đất” (Earth piercing tools). Chúng thường có đường kính từ 10 đến 100 mm, tùy thuộc cỡ dây, cáp, ống cần đặt ngầm. Các máy móc thương mại này làm việc dựa trên nguyên lý va đập thuần túy, sử dụng các piston khí nén dịch chuyển đầu búa theo phương ngang và tạo lực va đập mà không thể tích hợp rung động vào máy, dù rằng rung động tích hợp và

đập đã được chứng minh là có thể làm tăng năng suất của các máy đào/ nén đất, giảm sức cản của đất và tăng tính ổn định của hệ thống [5-8]. Một cơ cấu rung-và đập có kích thước nhỏ gọn, có thể tích hợp vào trong các máy đào đường ngầm ngang vẫn chưa tồn tại do hạn chế về kích thước của các cơ cấu rung truyền thống.

Cho đến nay, các máy rung-và đập thương mại và nhiều nghiên cứu thực nghiệm vẫn sử dụng cơ cấu bánh lệch tâm do Tsaplin [9] đề xuất, rất công kênh. Với ý đồ giảm thiểu kích thước và khai thác rung - va đập theo phương ngang, Lok [10] đã nghiên cứu mô hình rung dùng cơ cấu cam. Dù vậy, cơ cấu này có 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 [11], 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 (khoảng 400 mm đường kính) để có thể sinh được lực va đập đủ lớn.

Việc sử dụng cuộn cảm như một động cơ có lõi sắt chuyển động thẳng khứ hồi đã được Mendrela [12] 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.

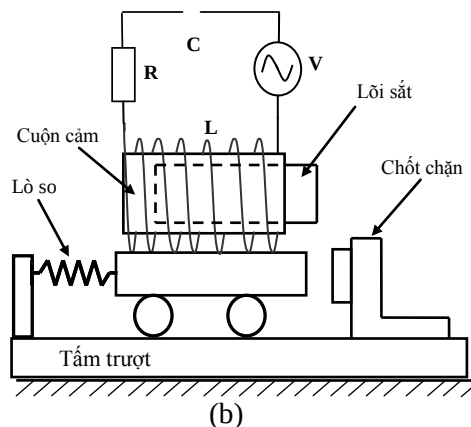
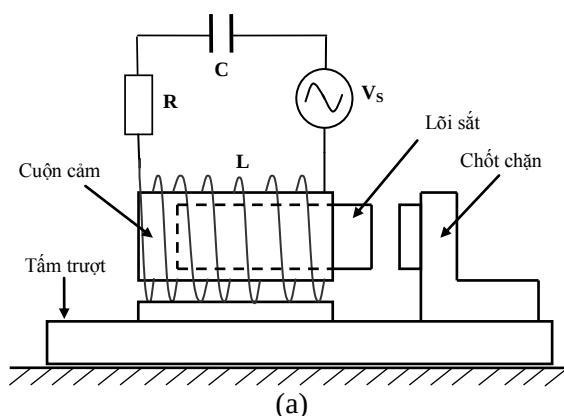
Một cơ cấu rung - va đập có kích thước nhỏ gọn, khai thác chuyển động tuần hoàn của lõi kim loại trong một cuộn cảm, tận dụng nguyên lý cộng hưởng điện trong mạch RLC, được giới thiệu bởi tác giả năm 2007 [1-4] đã thu hút được sự chú ý của các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực ứng dụng cơ học phi tuyến. Tuy nhiên, khả năng ứng dụng của nó còn hạn chế do lực va đập tạo được còn rất yếu. Bài báo

này giới thiệu một cơ cấu rung-và đập RLC mới, có cùng cấu tạo cơ bản và kích thước với cơ cấu trước đây, nhưng có hiệu năng cao hơn đến 6 lần.

Bài báo này được cấu trúc như sau: Trước hết, nguyên lý hoạt động của cơ cấu rung - va đập mới được trình bày ở phần 2. Mô hình vận hành thí nghiệm được trình bày trong phần 3. Phần 4 là các kết quả và thảo luận. Phần 5 là kết luận của bài báo.

II. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA CƠ CẤU RUNG-VA ĐẬP MỚI

Hình 1 trình bày nguyên lý hoạt động của cơ cấu rung-và đập được giới thiệu bởi tác giả năm 2007 (Gọi tắt là cơ cấu RLC-07 - Hình 1a) và của cơ cấu va đập mới (Gọi tắt là cơ cấu RLC-09 - Hình 1b).



Hình 1. Nguyên lý làm việc các cơ cấu rung-và đập (a) Cơ cấu RLC-07 và (b) Cơ cấu RLC-09

Cả hai cơ cấu này đều hoạt động dựa trên nguyên lý cộng hưởng của mạch RLC. Cuộn cảm có chứa lõi sắt có thể chuyển động tự do trong lòng nó. Tụ điện C, được mắc nối tiếp với cuộn cảm, có giá trị điện dung được chọn sao cho gây nên hiện tượng cộng hưởng điện ở gần hai đầu ống dây. Khi lõi sắt có vị trí tại nơi xảy ra cộng hưởng, lực điện từ tương tác giữa ống dây và lõi có giá trị rất lớn sẽ kéo lõi sắt chuyển động rất nhanh về phía điểm giữa ống dây. Do quán tính, lõi sắt tiếp tục chuyển động về phía đầu kia của ống dây. Tại đây, lực điện từ có giá trị lớn sẽ buộc lõi sắt dừng lại và chuyển động ngược lại. Điều chỉnh các giá trị phù hợp của điện áp xoay chiều, điện cảm của ống dây và điện dung ... sẽ nhận được chuyển động tuần hoàn, liên tục của lõi sắt.

Trong cơ cấu RLC-07 (Hình 1a), một chốt chặn được đặt chắn ngang trên đường chuyển động của lõi sắt. Cả cuộn cảm và chốt đều được gắn cố định trên một tấm trượt. Tấm trượt này có thể trượt trên một hệ ray dẫn. Ma sát giữa tấm trượt và ray dẫn có thể điều chỉnh được để phục vụ cho các khảo sát số liệu. Thực nghiệm cho thấy, va đập của lõi sắt với chốt chặn làm tăng tần số dao động của lõi sắt. Kết quả rung động-và đập mang lại chuyển động của tấm trượt có ma sát với ray dẫn được tăng cường, được coi như chuyển động tương tự của máy đào ngầm có lực cản của đất.

Trong cơ cấu RLC-09 (Hình 1(b)), cuộn cảm có thể chuyển động tương đối so với tấm trượt thông qua bốn bánh xe. Ngoài ra, nó được liên kết với tấm trượt thông qua các lò xo. Hệ lò

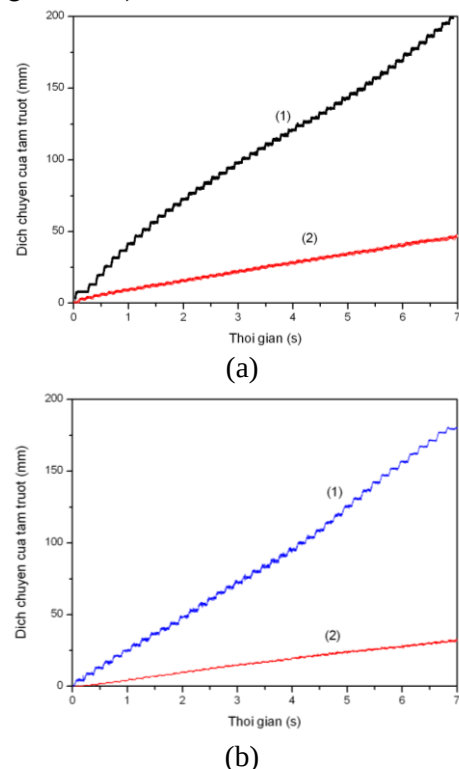
so này được đưa vào nhằm khai thác đặc tính cộng hưởng của cơ hệ sau này. Lõi sắt được dao động tự do trong lòng ống dây. Dưới tác dụng tương hỗ của lực điện từ giữa ống dây và lõi sắt, cả lõi sắt và ống dây đều dao động với cùng tần số nhưng ngược pha nhau. Chốt chặn được chuyển đến chặn một phía biên độ dao động của cuộn cảm. Kết quả tích hợp của rung động và va đập của ống dây với chốt chặn dẫn đến chuyển động của tấm trượt so với ray dẫn. Hai tập thí nghiệm đã được tiến hành để so sánh hiệu quả của cơ cấu mới này với cơ cấu RLC-07. Kết quả cho thấy RLC-09 mang lại khả năng di chuyển cao hơn nhiều lần. Các thí nghiệm được mô tả trong phần 3 dưới đây.

III. MÔ HÌNH VẬN HÀNH THÍ NGHIỆM

Cuộn cảm được chế tạo với đường kính ngoài 94 mm, lõi sắt có đường kính 28 mm, nặng 0,3 kg. Điện cảm của ống dây có giá trị lớn nhất là 0,25 H (khi có lõi sắt) và 0,15 H (khi không có lõi sắt). Hệ thống được cung cấp bởi một điện áp xoay chiều 90 V. Về hệ cơ khí, tấm trượt và các chi tiết trên nó có khối lượng 6,6 kg, bao gồm cuộn cảm và lõi sắt nặng 3,2 kg. Lực ma sát giữa tấm trượt và ray dẫn được thiết lập ở hai giá trị là 4 kg lực và 6 kg lực. Một cơ cấu kẹp liên kết giữa cuộn cảm và tấm trượt được thiết lập để có thể chuyển đổi cơ cấu về một trong hai dạng mô hình nguyên lý, RLC-07 và RLC-09, tương ứng với trạng thái cuộn cảm được cố định hay có thể di chuyển tự do so với tấm trượt. Lượng dịch chuyển của tấm trượt được đo bằng thiết bị LVDT (Linear Variable Differential Transformer) mua từ hãng Farnell in One. Tín hiệu được đưa vào máy vi tính bằng bộ thu nhận dữ liệu DAQ USB-6008 của National Instruments và phần mềm NI LabView Signal Express 3.0. Phần mềm OriginLab được sử dụng để phân tích và xử lý dữ liệu. Với mỗi giá trị của lực ma sát được xác lập, hai thí nghiệm được tiến hành để so sánh hiệu năng của cơ cấu mới so với cơ cấu cũ. Thí nghiệm thứ nhất thu thập số liệu chuyển động của tấm trượt khi cơ cấu được xác lập theo mô hình RLC-07. Thí nghiệm thứ hai được tiến hành tương tự cho cơ cấu xác lập theo mô hình RLC-09. Kết quả thu được và thảo luận sẽ được trình bày trong phần 4.

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Lượng dịch chuyển của tấm trượt khi sử dụng từng cơ cấu ứng với các giá trị ma sát khác nhau được trình bày trên hình 2. Trong cùng một khoảng thời gian, cơ cấu RLC-09 luôn gây nên lượng dịch chuyển của tấm trượt nhanh hơn nhiều so với cơ cấu RLC-07 gây nên. Chẳng hạn, sau 7 giây, với ma sát bằng 4 kg lực (Hình 2a), cơ cấu RLC-07 chỉ có thể dịch chuyển tấm trượt đi được một lượng 50 mm; trong khi đó, cơ cấu RLC-09 mang lại lượng di trượt của tấm trượt là 200 mm – tức là nhanh hơn bốn lần. Tương tự, khi ma sát giữa tấm trượt và ray dẫn được xác lập là 6 kg lực (Hình 2b), sử dụng cơ cấu RLC-09 thu được lượng dịch chuyển của hệ thống nhiều hơn 6 lần (180 mm khi sử dụng RLC-09 và 31 mm khi sử dụng RLC-07).



Hình 2. Dịch chuyển của tấm trượt khi sử dụng cơ cấu dạng RLC-07 (đường 2) và khi sử dụng cơ cấu dạng RLC-09 (đường 1); ma sát giữa tấm trượt và ray dẫn có giá trị (a) 4 kg lực và (b) 6 kg lực.

Nguyên nhân mang lại tốc độ dịch chuyển nhanh hơn khi hệ thống sử dụng cơ cấu RLC-09 có thể giải thích như sau.

Cơ cấu RLC-09 có khối lượng dao động lớn hơn (3,2 kg) so với cơ cấu RLC-07 (0,3 kg). Khối lượng chuyển động lớn hơn có thể gây động năng và đập lớn hơn. Bên cạnh đó, hệ lò so kết nối cho phép cơ hệ có thể tận dụng khả năng cộng hưởng và giữ cho dao động ổn định liên tục.

V. KẾT LUẬN

Một cơ cấu rung và đập mới, khai thác dao động của cuộn cảm trong mạch điện RLC đã được thiết kế, chế tạo và vận hành thử nghiệm. Kết quả cho thấy khả năng sử dụng cơ

cấu này cho các máy rung và đập yêu cầu kích thước nhỏ gọn là rất hứa hẹn.

Hướng nghiên cứu đang được tiếp tục triển khai là xây dựng mô hình toán học mô tả hệ thống, phân tích động lực học cơ hệ để tìm ra các đặc tính quan trọng của hệ thống. Đầu tư phân tích và khai thác cộng hưởng cơ của hệ thống cũng như cải tiến kết cấu của cơ cấu cho phù hợp với các ứng dụng cụ thể là các hướng nghiên cứu tiếp theo nên được quan tâm.

Nghiên cứu được thực hiện từ nguồn tài chính của đề tài NCKH cấp Bộ B2008-TN02-01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Van-Du Nguyen and Ko-Choong Woo*; Optimization of a solenoid-actuated vibro-impact mechanism for ground moling machines; International conference, Advance Problems in Mechanics, St. Petersburg (Russia), June 2007, pp 459-471.
2. *Van-Du Nguyen and Ko-Choong Woo*; New electro-vibroimpact system; Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 222, No. 4. (2008), pp. 629-642.
3. *Van-Du Nguyen and Ko-Choong Woo*; Nonlinear dynamic responses of new electro-vibroimpact system, Journal of Sound and Vibration; Volume 310, Issues 4-5, March 2008, pp. 769-775.
4. *Van-Du Nguyen, Ko-Choong Woo and Ekaterina Pavlovskaja*; Experimental study and Mathematical Modelling of a New of Vibro-impact moling device; International Journal of Non-Linear Mechanics, vol. 43 (2008), issue 6, pp. 542-550.
5. *Barkan D.D.*; Dynamics of Bases and Foundations; McGraw-Hill, New York, 1962.
6. *Alain E.H.*; Soil behaviour under vibratory driving; Proceeding of the international conference on vibratory pile driving and deep soil compaction. Kouvain-la neuve, Belgium, Sep. 2002.
7. *Rodger A.A. and Littlejohn G.S.*; A study of vibratory driving in granular soils; Geotechnique 30, 269, 1980.
8. *Pavlovskaja E., Wiercigroch M., Woo K.-C., Rodger A.A.*; Modelling of Ground Moling Dynamics by an Impact Oscillator with a Frictional Slider; Meccanica 38: pp 85-97, 2003.
9. *Don C.W.*; Vibratory and impact-vibration pile driving equipment; Available online at www.vulcanhammer.net.
10. *Lok, H.P., Neilson, R.D. and Rodger, A.A.*; Computer-based model of vibro-impact driving; Proceedings of ASME DETC: Symposium on Nonlinear Dynamics in Engineering Systems, Las Vegas, 1999.
11. *Franca L.F.P., Weber H.I.*; Experimental and numerical study of a new resonance hammer drilling model with drift, Chaos, Solitons and Fractals 21, pp 789-801, 2004.
12. *Mendrela E.A. and Pudlowski Z.J.*; Transients and dynamics in a linear reluctance selfoscillating motor; IEEE Transactions on Energy Conversion, 7(1), pp 183-191, 1992.

Địa chỉ liên hệ: Nguyễn Văn Dữ - Tel: 0916.056.618, email: vandu@tmu.edu.vn.
Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên
Tích Lương, Thái Nguyên