

Nguyễn Văn Dự (Chủ biên)  
Nguyễn Hữu Công - Dương Thế Hùng

MÔ HÌNH HÓA VÀ PHÂN TÍCH  
ĐỘNG LỰC HỌC THIẾT BỊ TỰ HÀNH  
NHỜ RUNG ĐỘNG TÍCH HỢP VÀ ĐẬP



NHÀ XUẤT BẢN  
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN



**PGS.TS NGUYỄN VĂN DỰ (Chủ biên)**  
**PGS.TS NGUYỄN HỮU CÔNG, TS DƯƠNG THẾ HÙNG**

**MÔ HÌNH HÓA VÀ PHÂN TÍCH**  
**ĐỘNG LỰC HỌC THIẾT BỊ TỰ HÀNH**  
**NHỜ RUNG ĐỘNG TÍCH HỢP VA ĐẬP**

**NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**  
**NĂM 2017**

**MÃ SỐ:** 03 - 35  
ĐHTN - 2011017

## Lời giới thiệu

Rung động có mặt ở mọi nơi, cả trong kỹ thuật và trong đời sống. Trong nhiều trường hợp, rung động được coi là có hại, chẳng hạn khi phương tiện giao thông chịu kích động từ mặt đường; các tháp vô tuyến, cao ốc chịu tác động gió và động đất; cầu giao thông nhịp lớn chịu tác động của phương tiện vận tải, cầu treo chịu tác động của gió bão; các thiết bị, quốc bin hoạt động với tốc độ cao... Trong nhiều trường hợp khác, rung động là có lợi và được nghiên cứu khai thác, chẳng hạn rung động làm giảm ma sát, trợ giúp gia công, đầm nén đất, trộn đều hoặc phân tách vật liệu...

Các thiết bị tự di chuyển (hay còn gọi là thiết bị tự hành) được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp nhằm đáp ứng yêu cầu hoạt động trong môi trường khó khăn cho việc can thiệp trực tiếp của con người, hoặc trong các điều kiện khắc nghiệt, chẳng hạn trong công tác cứu hộ, kiểm tra hầm ò, chẩn đoán các đường ống ngầm hay đào đường ống ngầm trong xây dựng. Những năm gần đây, xu hướng phát triển các thiết bị tự hành (autogenous mobile systems hoặc locomotion systems) đã và đang thu hút nhiều nghiên cứu. Trong cơ y sinh (Biomechanics), các hệ thống tự hành hứa hẹn cải thiện khả năng điều khiển viên nang nội soi (capsule endoscopy) đáp ứng yêu cầu di chuyển, tiến/ lui trong mao mạch. Thiết bị tự hành hoạt động nhờ rung động (vibration-driven) là một loại hình mới, có thể di chuyển chỉ nhờ lực tác động tương tác giữa phần thân của thiết bị với chuyển động tuần hoàn của một khối lượng bên trong hệ thống. Nhiều ưu việt của dạng thiết bị này đã được khẳng định, bao gồm tính đơn giản trong thiết kế, không cần các kết cấu dẫn động bên ngoài (external driving mechanisms) như bánh xe, xích, chân hay mái chèo... Kết cấu không có thiết bị dẫn động ngoài cho phép tạo ra hệ tự hành có

thể dễ dàng đóng gói trong hình dạng tròn nhẵn, kích thước nhỏ gọn, có thể di chuyển trên nhiều dạng bề mặt hoặc trong các môi trường có lực cản khác nhau.

Cuốn sách này giới thiệu cách thức tiếp cận bài toán thiết kế và phân tích động lực học các hệ thống tự di chuyển nhờ rung động kết hợp với va đập. Tiến trình và cách thức giải quyết từng bước quá trình mô hình hóa, phân tích và lựa chọn tham số được trình bày chi tiết. Bài toán rung động - va đập (vibro-impact) là một bài toán phi tuyến mạnh, do có sự thay đổi đột ngột của các thông số khi phát sinh va đập. Các bài toán phi tuyến có đặc tính là rất nhạy với sự thay đổi của các tham số. Nghiên cứu xác định bộ tham số tối ưu thường được tiến hành thông qua phân tích ứng xử động lực học của cơ hệ khi các tham số thay đổi. Những kết quả nghiên cứu về động lực học phi tuyến là rất khả quan nhờ những thành tựu của lý thuyết toán học và các công cụ giải tích số hiện đại và tiện dụng.

Tài liệu này được viết nhằm cung cấp cách thức tiếp cận, giải quyết bài toán ứng dụng động lực học phi tuyến trong các thiết bị kỹ thuật. Nội dung tài liệu này gồm 4 chương. Các vấn đề cơ bản của nghiên cứu động lực học được trình bày trong chương 1. Một số công cụ hỗ trợ nghiên cứu bằng máy tính được trình bày trong chương 2. Đây là các gói phần mềm chuyên dụng, miễn phí hoặc cho phép dùng thử, rất phù hợp với khả năng tài chính của các nhà nghiên cứu trẻ trong nước. Chương 3 và 4 giới thiệu từng bước tiến trình phát triển mô hình, thiết kế và triển khai thiết bị thí nghiệm, cách thức sử dụng công cụ để phân tích, lựa chọn thông số thiết kế cho hai mô hình thiết bị tự di chuyển nhờ rung động - va đập điển hình. Mô hình mới, tích hợp động cơ chuyên động thẳng dựa trên nguyên lý cộng hưởng trong mạch điện trở - điện cảm - điện dung (RLC) được giới thiệu trong chương 3. Mô hình tích hợp tương tác cơ - điện phản ánh điều kiện làm việc thực của thiết bị, có thể coi là một ví dụ điển hình về cơ cấu rung được cấp nguồn năng lượng không lý tưởng (năng lượng

nguồn áp bị ảnh hưởng của kết quả chuyển động). Mô hình trong chương 4 được phát triển từ một mô hình dao động nổi tiếng (Mô hình Duffing có nguồn kích thích tuần hoàn, nhưng được xem xét theo góc nhìn mới về tương tác lực, lần đầu tiên ứng dụng cho thiết bị tự di chuyển). Mô tả đầy đủ hai mô hình này được trình bày trong hai bản thảo công bố khoa học ở phần Phụ lục. Độc giả có thể dễ dàng tìm thấy các công bố khoa học đã được xuất bản này.

Cun sách có thể dùng như một tài liệu chuyên đề về động lực học ứng dụng cho các nghiên cứu sinh, học viên cao học và sinh viên các trường đại học kỹ thuật. Các nhà nghiên cứu trẻ, các kỹ sư cũng có thể sử dụng cun sách như một tài liệu tham khảo cơ sở khi muốn tìm hiểu sâu hơn về bản chất động lực học bên trong các máy móc, thiết bị cơ khí và cơ kỹ thuật.

Sản được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOTED) trong đề tài mã số 107.01-2012.33.

Là xuất bản đầu tiên khó có thể tránh hết sai sót. Nhóm tác giả xin cảm ơn mọi quan tâm, đóng góp về nội dung và trình bày của cuốn sách để lần tái bản sau được hoàn thiện hơn.

*Các ý kiến đóng góp xin gửi về:*

[vandu@nut.edu.vn](mailto:vandu@nut.edu.vn) hoặc [vandu@alumni.nottingham.ac.uk](mailto:vandu@alumni.nottingham.ac.uk).

*Thái Nguyên, ngày 26/3/2017*

**Các tác giả**



## MỤC LỤC

Lời giới thiệu .....	3
<b>Chương 1. Giới thiệu .....</b>	<b>8</b>
1.1. Giới thiệu khái quát .....	8
1.2. Nguyên lý rung - va đập .....	13
1.3. Mô hình hóa hệ dao động cưỡng bức một bậc tự do .....	14
1.4. Mô hình rung động - va đập .....	18
1.5. Kết luận chương .....	23
<b>Chương 2. Một số công cụ giải tích số .....</b>	<b>24</b>
2.1. Giới thiệu .....	24
2.2. Phần mềm XPPAUTO .....	24
2.2.1. Cài đặt phần mềm .....	25
2.2.2. Tạo file ODE .....	26
2.2.3. Thu thập kết quả giải tích số .....	28
2.2.4. Một số lưu ý khi tạo file ODE .....	32
2.2.5. Khai báo hàm phụ trợ .....	33
2.3. Phần mềm Dynamics .....	34
2.3.1. Cài đặt và chạy chương trình .....	34
2.3.2. Tự tạo mô hình .....	36
2.3.3. Giải phương trình .....	40
2.3.4. Kết xuất số liệu .....	43
2.4. Phần mềm OriginLab .....	45
2.5. Kết luận chương .....	46
<b>Chương 3. Mô hình rung động dựa trên mạch cộng hưởng RLC .....</b>	<b>47</b>
3.1. Nguyên lý hoạt động .....	47
3.2. Cơ cấu RLC-07 .....	51
3.2.1. Nguyên lý hoạt động .....	51
3.2.2. Mô hình hóa .....	52
3.2.3. Nghiên cứu thực nghiệm .....	56
3.2.4. Phân tích động lực học .....	63



3.3. Cấu trúc RLC-07-V2 .....	75
3.3.1. Mô hình cơ hệ .....	75
3.3.2. Sơ đồ và vận hành thí nghiệm .....	77
3.3.3. Phân tích động lực học .....	80
3.3.4. Tối ưu hóa .....	84
3.4. Cấu trúc RLC-09 .....	91
3.4.1. Cơ sở phát triển .....	91
3.4.2. Mô hình hóa .....	93
3.5. Kết luận chương .....	97
<b>Chương 4. Động lực học mô hình có lực kích thích tuần hoàn</b> .....	<b>99</b>
4.1. Mô hình khảo sát .....	100
4.1.1. Mô hình vật lý .....	100
4.1.2. Mô hình toán học .....	101
4.2. Quỹ đạo pha và bản đồ Poincaré .....	106
4.2.1. Khái lược .....	106
4.2.2. Thu thập dữ liệu số .....	109
4.2.3. Dựng đồ thị tổng hợp .....	122
4.3. Điểm rẽ nhánh (Bifurcation) .....	127
4.3.1. Khái niệm .....	127
4.3.2. Tạo đồ thị rẽ nhánh .....	128
4.4. Kết luận chương .....	132
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....	<b>133</b>
<b>PHỤ LỤC 1</b> .....	<b>138</b>
<b>PHỤ LỤC 2</b> .....	<b>157</b>

# Chương 1. Giới thiệu

## 1.1. Giới thiệu khái quát

Ứng dụng của rung động kết hợp với va đập trong các máy xây dựng đã được biết đến ở Liên Xô (cũ) từ những năm 1940. Cơ cấu rung - va đập đầu tiên, còn được biết đến với tên gọi “búa rung - va đập” dùng trong các máy đóng cọc, được Tsaplin giới thiệu năm 1949 [1]. Các nghiên cứu đã cho thấy việc sử dụng va đập kết hợp với rung động đã làm tăng hiệu năng của cơ cấu “xét về cả khả năng xuyên sâu xuống đất lẫn tốc độ xuyên” [2].

Năm 1955, Lukomskii đã khảo sát ảnh hưởng của các thông số độ cứng lò xo và khoảng cách từ búa đến điểm tiếp nhận va đập, từ đó có những đóng góp quan trọng cho việc thiết kế các cơ cấu rung - va đập sau đó [2]. Ảnh hưởng tích cực của rung động đến việc làm giảm sức cản tiếp tuyến cũng như hệ số ma sát của đất cát đối với các đối tượng chuyển động đã được nghiên cứu bởi Barkan [3]. Các kết quả nghiên cứu này sau đó đã được khẳng định bằng các nghiên cứu thực nghiệm của Rodger and Littlejohn [4], không những cho các vật liệu đất cát mà còn cho những vật liệu kém dính kết khác. Các thành tựu nghiên cứu đã được ứng dụng trong các máy đóng cọc, ép tấm, máy đầm rung và nhiều thiết bị xây dựng khác.

Trong một xu hướng tương tự, kỹ thuật tạo các đường ống nhỏ, xuyên ngầm dưới lòng đất nhưng theo phương ngang đã được phát triển rất mạnh mẽ ở các nước công nghiệp phát triển. Các máy tạo đường ống dựa trên nguyên tắc nén đất thường được gọi là