

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

VIỆN CƠ HỌC

---o0o---

DƯƠNG NGỌC HẢO

**PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG PHI TUYẾN TRONG HỆ
CHỊU KÍCH ĐỘNG NGẪU NHIÊN VÀ TUẦN HOÀN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2015

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

VIỆN CƠ HỌC

---o0o---

DƯƠNG NGỌC HẢO

**PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG PHI TUYẾN TRONG HỆ
CHỊU KÍCH ĐỘNG NGẪU NHIÊN VÀ TUẦN HOÀN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật

Mã số: 62 52 01 01

Người hướng dẫn khoa học:

GS. TSKH. Nguyễn Đông Anh

Hà Nội - 2015

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành cảm ơn thầy hướng dẫn GS.TSKH. Nguyễn Đông Anh đã tận tâm hướng dẫn khoa học, luôn động viên và giúp đỡ tác giả cả về vật chất lẫn tinh thần để tác giả hoàn thành luận án này.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Khoa Đào tạo sau đại học và cán bộ Viện Cơ học, bạn bè và đồng nghiệp tại trường đại học Công nghệ thông tin, ĐHQG Tp. HCM, đã động viên, giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình làm luận án. Nhân đây, tác giả cũng gửi lời cảm ơn đến NCS. Nguyễn Như Hiếu, người đã lắng nghe và chia sẻ rất nhiều với tác giả về chuyên môn, và đặc biệt là PGS.TS. Dương Anh Đức, người đã tạo điều kiện tốt nhất để tác giả an tâm thực hiện nghiên cứu của mình.

Sau hết, tác giả chân thành cảm ơn bố mẹ, vợ con, và gửi lời cảm ơn đến người thân đã rất kiên nhẫn động viên tác giả trong thời gian làm luận án.

Tác giả luận án,

Dương Ngọc Hào

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, dưới sự hướng dẫn trực tiếp của GS. TSKH. Nguyễn Đông Anh. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận án,

Dương Ngọc Hào

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	iii
LỜI CAM ĐOAN	iv
MỤC LỤC	v
DANH MỤC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ	viii
DANH MỤC BẢNG	x
CÁC KÝ HIỆU DÙNG TRONG LUẬN ÁN	xii
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN	5
1.1. Giới thiệu	5
1.2. Các phương pháp nghiên cứu hệ dao động ngẫu nhiên phi tuyến	7
1.3. Hệ dao động chịu kích động tuần hoàn và ngẫu nhiên	13
1.4. Mục tiêu của luận án	15
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	16
2.1. Các khái niệm cơ bản trong giải tích ngẫu nhiên	16
2.1.1. Sơ lược về lý thuyết xác suất	16
2.1.1.1. Không gian xác suất	16
2.1.1.2. Biến ngẫu nhiên	17
2.1.2. Quá trình ngẫu nhiên	21
2.1.2.1. Định nghĩa	21
2.1.2.2. Một số quá trình ngẫu nhiên thường gặp	22
2.1.3. Tích phân ngẫu nhiên	26
2.1.3.1. Mở đầu	26

2.1.3.2. Tích phân Ito – Tích phân Stratonovich.....	28
2.1.3.3. Tính chất của tích phân Ito	29
2.1.4. Phương trình vi phân ngẫu nhiên	31
2.2. Cơ sở lý thuyết nghiên cứu hệ dao động ngẫu nhiên	34
2.2.1. Phương pháp trung bình ngẫu nhiên theo biên độ và pha	34
2.2.2. Phương pháp trung bình ngẫu nhiên trong hệ tọa độ Đề-các	36
2.2.3. Phương pháp hàm hỗ trợ và lời giải phương trình Fokker-Planck (FP)	39
2.2.3.1. Phương pháp hàm hỗ trợ	39
2.2.3.2. Nghiệm của phương trình FP với các hệ số dịch chuyển tuyến tính ..	40
2.2.3.3. Tuyến tính hóa tương đương- giải xấp xỉ phương trình FP	46
2.2.4. Phương pháp mô phỏng số.....	50
2.3. Kết luận chương 2	52
CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG TRONG HỆ PHI TUYẾN CHỊU KÍCH ĐỘNG NGẪU NHIÊN VÀ TUẦN HOÀN.....	53
3.1. Hệ dao động Van der Pol.....	55
3.1.1. Tính toán lý thuyết.....	56
3.1.2. Kết quả và thảo luận	58
3.1.3. So sánh với phương pháp phi tuyến tương đương	65
3.2. Hệ dao động Duffing.....	67
3.2.1. Tính toán lý thuyết.....	67
3.2.2. Kết quả và thảo luận	69
3.3. Dao động Van der Pol – Duffing	74
3.3.1. Tính toán lý thuyết.....	74
3.3.2. Kết quả và thảo luận	75
3.4. Hệ dao động Mathieu-Duffing.....	79

3.4.1. Tính toán lý thuyết.....	79
3.4.2. Kết quả và thảo luận	82
3.5. Kết luận chương 3	87
CHƯƠNG 4. PHÂN TÍCH BAN ĐẦU ĐÁP ỨNG THỨ ĐIỀU HÒA TRONG HỆ ĐẠO ĐỘNG PHI TUYẾN CHỊU KÍCH ĐỘNG NGẪU NHIÊN VÀ TUẦN HOÀN	89
4.1. Giới thiệu	89
4.2. Kỹ thuật phân tích	90
4.3. Kết quả và thảo luận.....	97
4.4. Kết luận chương 4	100
KẾT LUẬN	102
DANH SÁCH CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ ĐÃ ĐƯỢC CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN	105
TÀI LIỆU THAM KHẢO	106
PHỤ LỤC	112
Phụ lục A	112
Phụ lục B	116

DANH MỤC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Hệ một bậc tự do. a) Kết cấu toà nhà 1 tầng. b). Mô hình tương đương.....	8
Hình 2.1. Một quỹ đạo của chuyển động Brown (quá trình Wiener)	23
Hình 2.2. Quỹ đạo của phương trình vi phân thường	27
Hình 2.3. Quỹ đạo của một quá trình ngẫu nhiên	27
Hình 3.1.1. Đồ thị trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng theo tham số Q	61
Hình 3.1.2. Đồ thị trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng theo tham số Q so sánh với kết quả mô phỏng số	62
Hình 3.1.3. Đồ thị hàm mật độ xác suất đồng thời $p(x, \dot{x})$ của hệ dao động Van der Pol tại thời điểm $t = 294s$	63
Hình 3.1.4. Đồ thị của hàm mật độ xác suất của dịch chuyển x theo các thời gian khác nhau	64
Hình 3.1.5. Đồ thị của hàm mật độ xác suất của dịch chuyển x tại thời điểm $t = 294(s)$	64
Hình 3.1.6. Đồ thị đường cong $\langle E(x^2) \rangle$ của hệ Van der Pol theo ν trong lân cận ω	65
Hình 3.2.1. Kết quả tính toán $E[x(t)]$ và $E[x^2(t)]$ bằng phương pháp giải tích và so với kết quả mô phỏng số	71
Hình 3.2.2. Đồ thị bình phương biên độ của đáp ứng trung bình theo tham số Q	71
Hình 3.2.3. Đồ thị bình phương biên độ của đáp ứng trung bình theo tham số σ^2	72

Hình 3.2.4. Đồ thị trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $\langle E(x^2) \rangle$ theo tham số σ^2	72
Hình 3.2.5. Đồ thị đường cong cộng hưởng của hệ Duffing.....	73
Hình 3.3.1. Đồ thị trung bình theo thời gian của $E[x^2(t)]$ theo tham số phi tuyến γ	78
Hình 3.3.2. Đồ thị trung bình theo thời gian của $E[x^2(t)]$ theo biên độ lực kích động tuần hoàn Q	78
Hình 3.4.1. Kết quả giải tích $E[x(t)]$ được so sánh với các kết quả số.....	84
Hình 3.4.2. Kết quả giải tích $E[x^2(t)]$ được so sánh với các kết quả số	84
Hình 3.4.3. Đồ thị hàm mật độ xác suất đồng thời của hệ Mathieu-Duffing tại thời điểm $t = 294s$	85
Hình 3.4.4. Đồ thị hàm mật độ xác suất của x tại thời điểm $t = 294(s)$	86
Hình 3.4.5. Đồ thị hàm mật độ xác suất của x tại vài thời điểm (s)	86
Hình 4.1. Đồ thị trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng thứ điều hòa theo tham số σ^2	99
Hình 4.2. Ảnh hưởng của σ^2 và Q_0 lên trung bình bình phương đáp ứng thứ điều hòa.....	99
Hình 4.3. Ảnh hưởng σ^2 và h lên trung bình bình phương đáp ứng thứ điều hòa ...	100

DANH MỤC BẢNG

Bảng 3.1.1. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số ε	58
Bảng 3.1.2. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số ν	59
Bảng 3.1.3. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số Q	60
Bảng 3.1.4. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số σ^2	61
Bảng 3.1.5. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo kỹ thuật của luận án và phương pháp phi tuyến tương đương theo tham số	66
Bảng 3.2.1. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số γ	69
Bảng 3.2.2. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số σ^2	69
Bảng 3.2.3. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số σ^2 với các giá trị ε khác nhau	70
Bảng 3.3.1. Sai số giữa kết quả mô phỏng và các giá trị xấp xỉ của trung bình theo thời gian của trung bình bình phương đáp ứng $E[x^2(t)]$ theo tham số ε	75