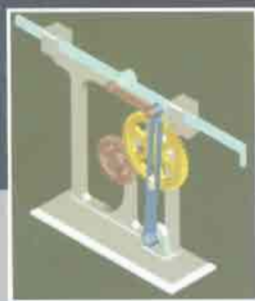
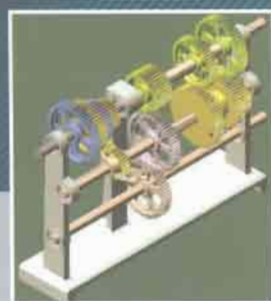


TS. NGUYỄN HỮU LỘC

# THIẾT KẾ & PHÂN TÍCH hệ thống cơ khí



## THEO ĐỘ TIN CẬY



TS. NGUYỄN HỮU LỘC

**THIẾT KẾ VÀ PHÂN TÍCH  
HỆ THỐNG CƠ KHÍ  
THEO ĐỘ TIN CẬY**

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

# LỜI NÓI ĐẦU

Trong giai đoạn hiện nay các kỹ sư thiết kế đối mặt với những thử thách mới: yêu cầu sử dụng mô phỏng tính toán, đòi hỏi rút ngắn thời gian thiết kế sản phẩm – từ ý tưởng ban đầu đến thị trường, độ tin cậy, an toàn và chất lượng cao, ít ảnh hưởng đến môi trường. Do cần thiết sản phẩm phải có tính cạnh tranh cao, độ phức tạp thiết kế kỹ thuật gia tăng và bản chất thay đổi các đại lượng trong kỹ thuật, đòi hỏi người kỹ sư có các kiến thức cần thiết để ứng dụng xác suất và thống kê toán vào phân tích và thiết kế kỹ thuật. Tính thay đổi có mặt khắp nơi trong mọi giai đoạn của quá trình thiết kế và phát triển sản phẩm hoặc hệ thống kỹ thuật nào đó bất kỳ. Do đó cùng với các kiến thức về thiết kế thì các kiến thức xác suất thống kê toán rất cần thiết cho người cán bộ nghiên cứu và kỹ sư thiết kế giải quyết các bài toán thiết kế phức tạp. Thiết kế theo phương pháp xác suất ngày càng được ứng dụng rộng rãi và phần quan trọng là phân tích và thiết kế theo độ tin cậy.

Qua kinh nghiệm gần 10 năm giảng dạy môn học này cho sinh viên ngành cơ khí, hướng dẫn các đề tài học viên cao học và thực hiện một số đề tài nghiên cứu theo hướng đề tài này, chúng tôi đã biên soạn và ngày càng hoàn thiện hơn cuốn sách này để phục vụ cho công tác đào tạo và nghiên cứu cho sinh viên các ngành kỹ thuật, cán bộ giảng dạy và nghiên cứu.

Cuốn sách được Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật xuất bản năm 2005 với mục đích giúp cho các bạn đọc có thêm tài liệu tham khảo về lãnh vực này.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn các ý kiến đóng góp, phê bình những thiếu sót của sách để chúng tôi có thể nâng cao chất lượng tài liệu trong các lần xuất bản sau. Mọi ý kiến đóng góp, phê bình và thắc mắc xin gửi về địa chỉ :

**Nguyễn Hữu Lộc, bộ môn Thiết kế máy, khoa Cơ Khí. 268 Lý  
Thường Kiệt, quận 10, trường Đại học Bách Khoa TP Hồ Chí  
Minh.**

hoặc email: [nhlcad@yahoo.com](mailto:nhlcad@yahoo.com)

TP Hồ Chí Minh, 10/2005

**TS NGUYỄN HỮU LỘC**

# MỤC LỤC

<b>CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN</b>	<b>9</b>
1.1. Khái niệm	9
1.2 Nội dung độ tin cậy máy	10
1.3 Phân tích và thiết kế theo độ tin cậy	14
1.4 Đối tượng độ tin cậy	15
1.5 Lịch sử kỹ thuật độ tin cậy	16
1.6 Quản lý độ tin cậy	18
1.7 Các dạng hỏng chi tiết cơ khí và kết cấu	19
1.8 Tình hình nghiên cứu	24
<b>CHƯƠNG 2 HÀM PHÂN PHỐI CÁC ĐẠI LƯỢNG NGẪU NHIÊN</b>	<b>25</b>
2.1 Các đại lượng ngẫu nhiên	25
2.2 Các sự phụ thuộc chủ yếu	29
2.3 Hàm cường độ hỏng	31
2.4 Hàm phân phối đều	33
2.5 Hàm phân phối mũ	34
2.6 Hàm phân phối chuẩn	36
2.7 Hàm phân phối logarit chuẩn	41
2.8 Hàm phân phối Weibull	44
2.9 Hàm phân phối Gamma	45
2.10 Bài tập	46
<b>CHƯƠNG 3 CÁC ĐẠI LƯỢNG NGẪU NHIÊN TRONG THIẾT KẾ</b>	<b>47</b>
3.1 Kích thước hình học chi tiết	47
3.1.1 Sai lệch kích thước các chi tiết	47
3.1.2 Sai số chuỗi kích thước	48
3.2 Tải trọng tác dụng	51
3.2.1 Đặc trưng tải trọng máy theo quan điểm xác suất	53
3.2.2 Bản chất ngẫu nhiên của tải trọng	56
3.3 Độ bền vật liệu	58
3.3.1 Thống kê tính chất đàn hồi vật liệu	58
3.3.2 Các mô hình thống kê cho độ bền vật liệu	60
3.4 Giới hạn mỏi	61
3.4.1 Giới thiệu	61
3.4.2 Sử dụng các phương pháp thống kê đồng dạng để xác định đặc tính mỏi của chi tiết máy	65
3.5 Bài tập	67
<b>CHƯƠNG 4 HÀM SỐ CỦA CÁC ĐẠI LƯỢNG NGẪU NHIÊN</b>	<b>69</b>
4.1 Hàm số của một biến số	69
4.2 Hàm số nhiều biến số	71
4.1.1 Phụ thuộc tuyến tính	71
4.1.2 Phụ thuộc phi tuyến	74
4.3 Phân tích tương quan trong các phụ thuộc độ tin cậy	76
4.4 Bài tập	80

## Mục lục

<b>CHƯƠNG 5 PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ THEO ĐỘ TIN CẬY</b>	
<b>BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP XẤP XỈ</b>	<b>83</b>
5.1 Giới thiệu	83
5.2 Tổng quan về quá trình phân tích độ tin cậy	86
5.3 Phương pháp xấp xỉ bậc nhất	88
5.4 Phương pháp xấp xỉ bậc hai	95
5.5 Phương pháp mômen thích hợp	97
5.6 Phương pháp phân tích trường hợp xấu nhất	100
5.7 Phân tích độ nhạy	103
5.8 Phân tích ngược độ tin cậy	106
5.9 Kết luận	108
5.10 Bài tập	109
<b>CHƯƠNG 6 PHÂN TÍCH THEO ĐỘ TIN CẬY BẰNG PHƯƠNG PHÁP</b>	
<b>MỒ PHỎNG VÀ BỀ MẶT ĐÁP ỨNG</b>	<b>111</b>
6.1 Phương pháp Monte Carlo	111
6.1.1 Khái niệm	112
6.1.2 Tạo số ngẫu nhiên	115
6.1.3 Giá trị biến ngẫu nhiên phân phối chuẩn	116
6.1.4 Giá trị biến ngẫu nhiên logarit chuẩn	120
6.1.5 Trình tự tổng quát để tạo giá trị biến ngẫu nhiên từ một phân phối bất kỳ	122
6.1.6 Độ chính xác của xác suất dự đoán	122
6.2 Lấy mẫu theo Latin Hypercube	123
6.3 Phương pháp dự đoán điểm Rosenblueth	125
6.4 Phương pháp bề mặt đáp ứng	127
6.4.1 Thúc nghiệm yếu tố từng phần	128
6.4.2 Phương án thúc nghiệm cấp 2	129
6.5 Kết luận	131
6.6 Bài tập	131
<b>CHƯƠNG 7 THIẾT KẾ VÀ PHÂN TÍCH KẾT CẤU THEO ĐỘ TIN CẬY</b>	<b>133</b>
7.1 Phân tích và thiết kế trên cơ sở độ tin cậy theo độ bền	134
7.2 Thiết kế và phân tích theo hệ số an toàn trung bình	137
7.3 Tính toán thanh chịu kéo	141
7.4 Tính toán thanh chịu uốn	145
7.5 Tính toán thanh chịu xoắn	147
7.5.1 Phụ thuộc kích thước vào dung sai bán kính	148
7.5.2 Phụ thuộc kích thước vào độ phân tán vật liệu	148
7.5.3 Phụ thuộc kích thước vào độ phân tán mômen xoắn	149
7.6 Tính toán dầm chữ I chịu uốn	149
7.7 Tính toán thanh uốn dọc	152
7.7.1 Phụ thuộc kích thước vào dung sai đường kính	153
7.7.2 Phụ thuộc kích thước vào độ phân tán tải trọng	154
7.8 Tính thanh chịu lực phức tạp	154
7.9 Bài tập	157

	<u>Mục lục</u>
<b>CHƯƠNG 8 CƠ SỞ PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ CHI TIẾT MÁY</b>	
<b>THEO ĐỘ TIN CẬY</b>	<b>161</b>
8.1 Độ tin cậy bộ truyền bánh ma sát	161
8.2 Độ tin cậy bộ truyền đai	162
8.3 Độ tin cậy bộ truyền bánh răng	163
8.3.1 Tính toán theo độ bền tiếp xúc	163
8.3.2 Phân tích và thiết kế theo độ bền uốn	169
8.3.3 Độ tin cậy bộ truyền bánh răng trong trường hợp tổng quát	173
8.4 Độ tin cậy của trục	174
8.5 Độ tin cậy ổ lăn	181
8.6 Độ tin cậy ổ trượt	185
8.7 Độ tin cậy ly hợp	187
8.7.1 Độ tin cậy ly hợp một chiều	187
8.7.2 Độ tin cậy ly hợp chốt an toàn	189
8.7.3 Độ tin cậy ly hợp ma sát an toàn	189
8.7.4 Độ tin cậy ly hợp bi an toàn	190
8.8 Độ tin cậy lò xo	191
8.8.1 Lò xo xoắn ốc nén, kéo	191
8.8.2 Lò xo xoắn ốc xoắn	193
8.9 Độ tin cậy của mối ghép ren	194
8.9.1 Xác suất làm việc không hỏng theo điều kiện không tách bề mặt ghép $R_1$	194
8.9.2 Xác suất làm việc không hỏng theo điều kiện không trượt bề mặt ghép $R_2$	195
8.9.3 Xác suất làm việc không hỏng bulông theo độ bền tĩnh $R_3$	195
8.9.4 Xác suất làm việc không hỏng bulông theo độ bền mỏi $R_4$	196
8.10 Độ tin cậy mối ghép có độ dôi	198
8.11 Kết luận	200
8.12 Bài tập	200
<b>CHƯƠNG 9 PHÂN TÍCH MÁY THÀNH HỆ THỐNG</b>	<b>203</b>
9.1 Phân tích an toàn hệ thống	203
9.2 Các dạng hỏng và phân tích ảnh hưởng	205
9.3 Phân tích cây sự kiện	206
9.4 Phân tích cấu trúc cây dạng hỏng	208
9.5 Cut-set nhỏ nhất	214
9.6 Ứng dụng phân tích hệ thống truyền động thành hệ thống	217
9.7 Kết luận	220
9.8 Bài tập	221
<b>CHƯƠNG 10 PHÂN TÍCH VÀ PHÂN PHỐI ĐỘ TIN CẬY HỆ THỐNG</b>	<b>223</b>
10.1 Độ tin cậy hệ thống nối tiếp và song song	223
10.1.1 Độ tin cậy hệ thống nối tiếp	223
10.1.2 Độ tin cậy hệ thống song song	227
10.1.3 Độ tin cậy hệ thống hỗn hợp	229
10.2 Đánh giá độ tin cậy hệ dạng chuỗi gồm n phần tử giống nhau	232
10.3 Độ tin cậy hệ thống có thành phần dự trữ	235

## **Mục lục**

10.3.1	Khi dự trữ cố định (các phần mắc tử song song)	236
10.3.2	Dự trữ có các thành phần dự trữ làm việc khi thành phần chính bị hỏng	237
10.3.3	Độ tin cậy hệ thống có phần tử thay thế trong thời gian phục hồi phần tử bị hỏng	237
10.3.4	Độ tin cậy hệ thống khi các thành phần dự trữ làm việc với chế độ tải nhẹ hơn	239
10.4	Tính toán độ tin cậy của hệ thống kết hợp phức tạp	240
10.4.1	Phương pháp xác suất có điều kiện	240
10.4.2	Phương pháp đánh số	241
10.4.3	Phương pháp cut-set	243
10.4.4	Ví dụ	245
10.5	Nâng cao độ tin cậy của hệ thống	248
10.5.1	Nâng cao độ tin cậy hệ thống nối tiếp	248
10.5.2	Nâng cao độ tin cậy hệ thống mắc song song	250
10.6	Phân phối độ tin cậy hệ thống	252
10.6.1	Phương pháp phân phối đều	253
10.6.2	Phương pháp phân phối có trọng số	253
10.6.3	Phương pháp Agree	255
10.7	Bài tập	257
<b>CHƯƠNG 11 THIẾT KẾ TỐI ƯU THEO ĐỘ TIN CẬY</b>		<b>261</b>
11.1	Khái niệm thiết kế tối ưu	262
11.1.1	Quá trình thiết kế tối ưu	262
11.1.2	Bài toán thiết kế tối ưu	262
11.2	Phân phối tối ưu độ tin cậy hệ thống	265
11.2.1	Định dạng bài toán tối ưu phân phối	265
11.2.2	Giải các bài toán tối ưu phân phối độ tin cậy	267
11.3	Dạng bài toán thiết kế tối ưu kết cấu theo độ tin cậy	277
11.4	Trình tự thiết kế tối ưu kết cấu trên cơ sở độ tin cậy	283
11.4.1	Phương pháp hai vòng lặp	283
11.4.2	Các phương pháp khác giải bài toán tối ưu	286
11.5	Bài tập	288
<b>CHƯƠNG 12 CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN THIẾT KẾ VÀ PHÂN TÍCH HỆ THỐNG CƠ KHÍ THEO ĐỘ TIN CẬY (RADME)</b>		<b>293</b>
12.1	Tính toán và phân tích bộ truyền bánh răng	294
12.2	Tính toán và phân tích trục	297
12.2.1	Tính trục I	297
12.2.2	Tính trục II	299
12.3	Chọn và phân tích ổ	300
12.4	Kết luận	301
12.5	Bài tập	301
<b>PHỤ LỤC 1</b>		<b>303</b>
<b>PHỤ LỤC 2</b>		<b>305</b>
<b>PHỤ LỤC 3</b>		<b>306</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>		<b>308</b>

## CHƯƠNG 1

# TỔNG QUAN

Hiện tại các kỹ sư thiết kế đối mặt với những thử thách mới: yêu cầu sử dụng mô phỏng tính toán, đòi hỏi rút ngắn thời gian thiết kế sản phẩm – từ ý tưởng ban đầu đến thị trường, độ tin cậy và chất lượng cao, ít ảnh hưởng đến môi trường. Do cần thiết sản phẩm phải có tính cạnh tranh cao, tăng độ phức tạp thiết kế kỹ thuật và bản chất thay đổi các đại lượng trong kỹ thuật, đòi hỏi người kỹ sư có kiến thức cần thiết để ứng dụng xác suất và thống kê toán vào phân tích và thiết kế kỹ thuật. Tính thay đổi có mặt khắp nơi trong mọi giai đoạn của quá trình thiết kế sản phẩm và hệ thống kỹ thuật bất kỳ. Hiện nay trong thiết kế sản phẩm mới thì việc ứng dụng các phương pháp xác suất thống kê là phần không thể tách rời trong thiết kế và phân tích. Do đó cùng với các kiến thức về thiết kế thì các kiến thức xác suất thống kê toán rất cần thiết cho người kỹ sư để giải quyết các bài toán thiết kế phức tạp. Thiết kế theo phương pháp xác suất ngày càng được ứng dụng rộng rãi và một phần quan trọng là phân tích và thiết kế theo độ tin cậy.

### 1.1. KHÁI NIỆM

Độ tin cậy là tính chất của đối tượng (chi tiết máy, máy, công trình...) thực hiện được chức năng, nhiệm vụ đã định, duy trì trong một thời gian các chỉ tiêu sử dụng, các thông số làm việc trong giới hạn quy định tương ứng với chế độ, điều kiện vận hành, chăm sóc và sửa chữa cụ thể.

Độ tin cậy là một trong các thành phần chất lượng của bất kỳ hệ thống kỹ thuật nào. Mức độ của độ tin cậy chủ yếu là xác định sự phát triển của kỹ thuật theo các hướng chính: tự động hóa sản xuất, tăng cường quá trình sản xuất và giao thông, tiết kiệm nguyên và nhiên liệu. Các phương tiện kỹ thuật hiện đại hiện nay gồm nhiều cơ cấu, thiết bị và dụng cụ có quan hệ mật thiết với nhau. Ví dụ: mỗi tổ hợp cán kéo tự động bao gồm hơn 1 triệu chi tiết. Một hệ thống thiết bị điều khiển tên lửa bằng điện tử bao gồm vài chục triệu phần tử trong khi đó các thiết bị điện tử đầu tiên chỉ khoảng vài chục đến vài trăm phần tử. Sự hư hỏng của bất cứ phần tử nào trong hệ thống (nếu không có dự trữ) kéo theo sự hư hỏng hoàn toàn hệ thống.



## Chương 1

Độ tin cậy không đủ của máy dẫn đến: Chi phí sửa chữa lớn, ngừng máy, làm ngừng trệ việc cung cấp cho các khu dân cư điện, nước, khí đốt, phương tiện giao thông. Trong vài trường hợp dẫn đến tai nạn làm cho thiệt hại kinh tế lớn, phá hủy các công trình, thiệt hại về con người.

Sự phát triển nhanh chóng khoa học về độ tin cậy trong hiện nay liên quan đến:

- Tự động hóa, sắp xếp máy móc trong các dây chuyền sản xuất lớn.
- Giải quyết các vấn đề liên quan đến công nghệ không sử dụng sức con người (sử dụng người máy).
- Không ngừng tăng cường sự làm việc của máy, giảm lượng tiêu hao kim loại của máy, tăng cường cường độ sử dụng của máy.

### **1.2. NỘI DUNG ĐỘ TIN CẬY MÁY**

Phân tích lý thuyết một hiện tượng, qui trình công nghệ, chức năng và kết cấu máy dựa trên cơ sở chọn các mô hình xác định hoặc sơ đồ tính. Khi đó chú ý đến các nhân tố ảnh hưởng và bỏ qua các nhân tố ít bị ảnh hưởng. Hiện tồn tại hai phương pháp phân tích: đơn định và xác suất (thống kê). Theo phương pháp đầu tiên tất cả các nhân tố ảnh hưởng đến mô hình được xem như là đơn định. Các bài toán đơn định chỉ có một nghiệm duy nhất. Trong thực tế thì các kết luận rút ra từ các mô hình đơn định khác xa với kết quả quan sát thực nghiệm. Một trong các nguyên nhân chủ yếu là do một số lượng lớn các nhân tố không kiểm soát được, tương quan phức tạp ảnh hưởng đến trạng thái của hệ thống thực. Do đó, trạng thái hệ thống thực mang tính ngẫu nhiên.

Ứng dụng các phương pháp xác suất để giải các bài toán độ tin cậy gặp rất nhiều khó khăn về tâm lý và kỹ thuật, đặc biệt với các hệ thống phức tạp, sản xuất đơn chiếc và các thiết bị cần có độ an toàn cao. Các mô hình xác suất thường rất phức tạp, cách duy nhất thu được kết quả số chính xác là mô hình hoá thống kê, còn gọi là phương pháp Monte Carlo.

Trong lý thuyết độ tin cậy tồn tại hai hướng, chúng có nội dung và hệ thống khái niệm chung nhưng cách tiến hành khác nhau. Hướng thứ nhất là lý thuyết toán (hệ thống) độ tin cậy, hướng thứ hai gọi là lý thuyết vật lý độ tin cậy. Đối tượng của lý thuyết toán (hệ thống) độ tin cậy là các phần tử tác dụng lẫn nhau đảm bảo khả năng làm việc theo sơ đồ logic: sơ đồ, cây hỏng hóc... Các dữ liệu ban đầu của lý thuyết toán (hệ thống) độ tin cậy thu được bằng con đường xử lý thống kê các kết quả thực nghiệm và các dữ liệu quá trình vận hành. Các bài toán lý thuyết toán (hệ thống) độ tin cậy được giải trong khuôn khổ lý thuyết xác suất và thống

## **Tổng quan**

kê toán, nghĩa là không chú ý đến các mô hình vật lý hồng học hoặc các hiện tượng vật lý liên quan đến hồng học.

Dữ liệu lý thuyết vật lý độ tin cậy có thể tìm trong các công trình liên quan đến hệ số an toàn khi tính toán các kết cấu kỹ thuật. Đặc tính nổi bật của lý thuyết vật lý độ tin cậy là để duy trì khả năng làm việc hệ thống và hồng học xuất hiện là kết quả của sự tác dụng lẫn nhau của hệ thống và tác động từ bên ngoài (tải trọng vận hành, điều kiện môi trường làm việc...) và các quá trình cơ học, vật lý và hoá học xảy ra trong các phần tử hệ thống trong quá trình vận hành. Ngoại trừ lý thuyết toán xác suất thống kê, lý thuyết vật lý độ tin cậy còn sử dụng các mô hình và phương pháp của khoa học tự nhiên và kỹ thuật khác nhau.

Lĩnh vực ứng dụng chủ yếu của lý thuyết toán (hệ thống) độ tin cậy: tự động hóa, kỹ thuật điện, kỹ thuật máy tính, thông tin... Lĩnh vực ứng dụng chủ yếu của lý thuyết vật lý độ tin cậy: ngành xây dựng, ít hơn là trong ngành hàng không và tàu thủy, trong những năm gần đây được ứng dụng rộng rãi trong ngành chế tạo máy.

Hai hướng lý thuyết bổ sung cho nhau: các khái niệm lý thuyết toán (hệ thống) độ tin cậy được đưa vào trong lý thuyết vật lý bằng các thuật ngữ mô hình vật lý tương ứng. Lý thuyết vật lý độ tin cậy xem như là phần mở rộng của lý thuyết toán và thêm vào các mô hình vật lý. Theo những kiến thức tích lũy về bản chất vật lý hồng học trong các hệ thống không cơ khí phạm vi ứng dụng của lý thuyết vật lý độ tin cậy ngày càng phổ biến hơn trong các lĩnh vực tự động hóa, kỹ thuật máy tính..

Trong các máy và hệ thống máy hiện đại bao gồm nhiều phần tử không cơ khí (điện, điện tử, công nghệ thông tin...). Khi đó cần phải sử dụng cả lý thuyết toán (hệ thống) và vật lý độ tin cậy. Các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy các chi tiết cơ khí và hệ thống cơ khí dựa trên cơ sở các mô hình vật lý, tuy nhiên để đánh giá độ tin cậy máy và hệ thống máy ta sử dụng các mô hình lý thuyết toán (hệ thống) độ tin cậy thường xuyên hơn.

## **Mô hình độ tin cậy**

Mô hình toán của lý thuyết độ tin cậy chia ra hai nhóm:

- Nhóm đầu tiên là mô hình cấu trúc, nó dựa trên sơ đồ logic tác dụng lẫn nhau của các phần tử hệ thống với mục đích đảm bảo khả năng làm việc hệ thống. Khi đó sử dụng thông tin thống kê về độ tin cậy các phần tử không chú ý đến tính chất vật lý của vật liệu, chi tiết và mối ghép, đến tải trọng ngoài và tác động lẫn nhau giữa chúng và đến cơ chế tác dụng lẫn nhau giữa các phần tử. Mô hình cấu trúc biểu diễn dạng sơ đồ khối và biểu đồ (ví dụ cây sự cố), thông tin ban đầu được cho biết dưới dạng giá trị xác suất làm việc không hỏng các phần tử, cường độ hồng...