

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

-----

**DƯƠNG ĐĂNG PHONG**

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI  
CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa**

Thái Nguyên - 2014

## MỤC LỤC

MỞ ĐẦU.....	1
ĐẶT VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU .....	3
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ.....	7
Giới thiệu .....	7
1.1. CÁC YÊU CẦU CƠ BẢN CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG .....	7
1.1.1. Truyền động chính xác .....	8
1.1.2. Truyền động tốc độ cao .....	8
1.1.3. Truyền động công suất lớn .....	8
1.1.4. Độ hở mặt bên .....	8
1.2. NHỮNG ẢNH HƯỞNG TÁC ĐỘNG ĐẾN HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG..	9
1.2.1. Ảnh hưởng của đàn hồi đến phần cơ của hệ thống truyền động .....	13
1.2.2. Ảnh hưởng của ma sát trong hệ thống truyền động.....	14
1.2.3. Ảnh hưởng của khe hở trong hệ thống truyền động .....	15
1.3. NHỮNG ĐẶC TRƯNG ĂN KHỚP CỦA CẶP BÁNH RĂNG .....	18
1.3.1. Điều kiện ăn khớp đúng .....	19
1.3.2. Điều kiện ăn khớp trùng .....	19
1.3.3. Điều kiện ăn khớp khít .....	20
1.4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN HỌC.....	22
1.4.1. Xây dựng mô hình toán học theo các đặc trưng ăn khớp của cặp bánh răng .....	22
1.4.2. Xây dựng mô hình toán khi xét tới yếu tố đàn hồi c và momen ma sát $M_{ms}$ .....	24
Kết luận chương 1. ....	28
CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN .....	29
2.1. GIỚI THIỆU CHUNG .....	29
2.1.1. Cấu trúc chung của hệ thống điều khiển .....	29
2.1.2. Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng hệ điều khiển .....	30
2.1.3. Các hệ điều khiển kinh điển .....	32
2.2. ĐIỀU KHIỂN PID TUYẾN TÍNH .....	35
2.2.1 Bộ điều khiển tỷ lệ, vi phân, tích phân .....	35
2.2.2. Các bộ điều khiển tỷ lệ tích phân, tỷ lệ vi phân, tỷ lệ vi tích phân. ....	39
2.2.3. Các bộ điều khiển PID số.....	44
2.3. Điều khiển PID phi tuyến.....	46
2.3.1. Mô tả hệ phi tuyến.....	46
2.3.2. Đặc điểm hệ phi tuyến.....	46
2.3.3. Các khâu phi tuyến điển hình.....	48
2.4. ĐIỀU KHIỂN MỜ KINH ĐIỂN VÀ LOGIC MỜ .....	57

2.4.1. Khái quát về lý thuyết điều khiển mờ .....	57
2.4.2. Định nghĩa tập mờ .....	58
2.4.3. Biến mờ, hàm biến mờ, biến ngôn ngữ .....	60
2.4.4. Suy luận mờ và luật hợp thành .....	60
2.4.5. Cấu trúc bộ điều khiển mờ .....	62
2.4.6. Phân loại điều khiển mờ và các mờ cơ bản .....	69
2.5. ĐIỀU KHIỂN PID MỜ .....	70
2.5.1. Hệ điều khiển thích nghi mờ .....	70
2.5.2. Hệ điều khiển mờ lai .....	71
2.5.3. Bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số bộ điều khiển PD .....	73
2.5.4. Bộ điều khiển mờ tự chỉnh cấu trúc .....	73
CHƯƠNG 3 THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ .....	75
3.1. KHÁI QUÁT .....	75
3.2. ẢNH HƯỞNG CỦA BÁNH RĂNG ĐẾN CHẤT LƯỢNG HỆ TRUYỀN ĐỘNG .....	75
3.2.1. Sơ đồ khối của hệ truyền động qua bánh răng .....	75
3.2.2. Mô phỏng hoạt động của bánh răng .....	76
3.2.3. Mô phỏng quan hệ giữa các mô men trong hệ bánh răng .....	78
3.3. THIẾT KẾ PID KINH ĐIỂN CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG .....	79
3.3.1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống .....	79
3.3.2. Mô hình toán học động cơ điện một chiều kích từ độc lập .....	80
3.3.3. Bộ chỉnh lưu .....	82
3.3.4. Máy phát tốc .....	83
3.3.5. Biến dòng .....	83
3.3.6. Thiết kế mạch vòng dòng điện .....	83
3.3.7. Thiết kế mạch vòng tốc độ .....	85
3.3.8. Kết quả mô phỏng .....	86
3.4. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG .....	87
3.4.1. Cấu trúc bộ điều khiển thích nghi mờ .....	87
3.4.2. Kết quả mô phỏng .....	88
3.5 Nhận Xét .....	90
CHƯƠNG 4: TIẾN HÀNH THỰC NGHIỆM .....	91
4.1 Xây dựng mô hình thực nghiệm: .....	91
1. Máy tính Pentum IV- phần mềm Matlab 7.04 và phần mềm ControlDesk Verson 5.0. ....	91
2. Card DSPACE 1104. ....	92

3. Driver servo motor Midi-Maestro 140x14/28 .....	92
4. Cặp bánh răng tự chế tạo: .....	93
5. Động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập : .....	93
6. Tải: là động cơ dị bộ 3 pha làm việc ở chế độ hãm .....	94
7. Hai sensor tốc độ (Encoder): loại 1000 xung/vòng được gắn với trục chủ động và bị động. ....	94
4.2 Kết quả thực nghiệm như sau: .....	96
4.2.1 Kết quả thí nghiệm với bộ điều khiển PID .....	96
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....	99
1. Kết luận .....	99
2. Kiến nghị .....	99
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	101

## DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1: Một số hệ truyền động có khe hở .....	7
Hình 1.2 Mô hình hai khối lượng có liên hệ đàn hồi .....	9
Hình 1.3 a,b Sơ đồ cấu trúc hệ thống hai khối lượng có liên hệ đàn hồi .....	9
Hình 1.4 : Sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động .....	11
Hình 1.5. Đặc tính logarit của hệ thống .....	12
Hình 1.6. Mối quan hệ ma sát khô và vận tốc .....	14
Hình 1.7 Mô hình vật lý khe hở .....	15
Hình 1.8 Đặc tính Deadzone.....	16
Hình 1.9 Mô hình ăn khớp bánh răng .....	18
Hình 1.10: Mô hình cặp bánh răng ăn khớp đúng .....	19
Hình 1.11: Mô hình cặp bánh răng ăn khớp trùng .....	20
Hình 1.12. Mô hình cặp bánh răng ăn khớp tại tâm ăn khớp P .....	21
Hình 1.13: Mô hình truyền động bánh răng phẳng .....	22
Hình 1.14. Sơ đồ truyền động .....	24
Hình 1.15 Sơ đồ tính toán động lực học .....	25
Hình 1.16: Sơ đồ động lực học .....	27
Hình 2.1. Cấu trúc chung của hệ thống điều khiển.....	30
Hình 2.2: Thể hiện đặc tính của sai số xác lập .....	31
Hình 2.3. Đặc tính của lượng quá điều chỉnh.....	31
Hình 2.4. Thể hiện đặc tính của thời gian quá độ .....	32
Hình 2.5. Thể hiện đặc tính của số lần dao động .....	32
Hình 2.6. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển tỷ lệ $K_p$ .....	36
Hình 2.7. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển tích phân $K_i$ .....	37
Hình 2.8. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển vi phân $K_d$ .....	39
Hình 2.9. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển PID .....	42
Hình 2.10 Khâu có vùng kém nhạy .....	49
Hình 2.11. Khâu hạn chế (bão hòa) .....	49
Hình 2.12. Khâu hạn chế có vùng kém nhạy .....	50
Hình 2.13. Khâu kiểu rơi le hai vị trí.....	50

Hình 2.14. Khâu kiểu rơ le ba vị trí.....	51
Hình 2.15. Khâu biến đổi A-D .....	51
Hình 2.16. Khâu kiểu rơ le hai vị trí có trễ.....	51
Hình 2.17. Khâu kiểu rơ le ba vị trí có trễ .....	52
Hình 2.18a;b Khâu kiểu khe hở.....	53
Hình 2.18c;d Khâu kiểu khe hở.....	54
Hình 2.18e Khâu kiểu khe hở.....	55
Hình 2.19a;b;c Khâu kiểu gối tỳ.....	55
Hình 2.19d;e Khâu kiểu gối tỳ.....	56
Hình 2.20: Khâu kiểu từ trễ .....	57
Hình 2.21: Một số dạng hàm liên thuộc .....	58
Hình 2.23. Quan hệ điều khiển giữa Y và X.....	60
Hình 2.24. Hàm của một khoảng giá trị.....	60
Hình 2.25: Sơ đồ khối của bộ điều khiển mờ.....	62
Hình 2.26: Hàm liên thuộc của luật hợp thành .....	65
Hình 2.27: Giải mờ bằng phương pháp cực đại.....	67
Hình 2.28: Giải mờ theo nguyên tắc trung bình .....	67
Hình 2.29: Giải mờ theo nguyên tắc cận trái .....	68
Hình 2.30: Giải mờ theo phương pháp cận phải.....	68
Hình 2.31: Giải mờ theo phương pháp điểm trọng tâm .....	68
Hình 2.32: Sơ đồ cấu trúc phương pháp điều khiển thích nghi trực tiếp .....	70
Hình 2.33: Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển thích nghi .....	71
Hình 2.34: Mô hình bộ điều khiển mờ lai kinh điển .....	72
Hình 2.35: Cấu trúc hệ mờ lai Cascade .....	73
Hình 3.1: Sơ đồ khối của hệ truyền động qua bánh răng .....	76
Hình 3.2 Hệ truyền động qua bánh răng thực tế .....	76
Hình 3.3: Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động bánh răng .....	77
Hình 3.4: Đặc tính tốc độ của bánh răng chủ động và bị động .....	77
Hình 3.5: Sơ đồ mô phỏng quan hệ mô men của cặp bánh răng.....	78
Hình 3.6. Cấu trúc chung của hệ điều chỉnh tốc độ sử dụng hệ chấp hành T-Đ .....	79
Hình 3.7. Sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động .....	79

Hình 3.8. Sơ đồ thay thế động cơ điện một chiều kích từ độc lập .....	81
Hình 3.9. Sơ đồ cấu trúc mạch vòng dòng điện .....	84
Hình 3.10. Sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều chỉnh tốc độ ( $E_a = 0$ ) .....	85
Hình 3.11: Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động qua bánh răng khi sử dụng PID kinh điển .....	86
Hình 3.12: Đặc tính quá độ của hệ truyền động bánh răng khi sử dụng PID kinh điển .....	86
Hình 3.13: a) Cấu trúc hệ thống điều khiển; b) Cấu trúc bộ điều khiển và cơ cấu thích nghi .....	88
Hình 3.14: Hàm liên thuộc đầu vào và đầu ra của bộ điều khiển mờ .....	88
Hình 3.15: Quan hệ vào – ra của bộ điều khiển mờ .....	89
Hình 3.16: Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động bánh răng khi sử dụng điều khiển mờ thích nghi .....	89
Hình 3.17: Đặc tính quá độ của hệ truyền động bánh răng khi sử dụng điều khiển mờ thích nghi .....	90
Hình 3.18: Đặc tính tốc độ của hệ truyền động qua bánh răng khi sử dụng PID kinh điển và khi sử dụng điều khiển mờ thích nghi .....	90
Hình 4.1 Máy tính Pentium IV .....	91
Hình 4.2: Card DSPACE 1104 .....	92
Hình 4.3: Bộ biến đổi công suất và Driver DC Servo motor .....	93
Hình 4.4: Cặp bánh răng tự chế tạo.....	93
Hình 4.6: Tải .....	94
Hình 4.7: Sensor tốc độ .....	94
Hình 4.8 Bàn thí nghiệm, phân nguồn, kết nối và máy tính điều khiển.....	95
Hình 4.8: Sơ đồ khối hệ thống thực .....	95
Hình 4.9 Mô hình thực nghiệm khi có bộ điều khiển PID .....	96
Hình 4.10: Đặc tính tốc độ của trục bị động khi dùng bộ điều khiển PID kinh điển .....	97
Hình 4.11: Đặc tính tốc độ của trục bị động khi sử dụng bộ điều khiển thích nghi mờ .....	98

---

**MỞ ĐẦU**

Nước ta đang trong thời kỳ đẩy nhanh tốc độ công nghiệp hoá – Hiện đại hoá đất nước, cùng với sự phát triển của các lĩnh vực khoa học kỹ thuật, kinh tế... Trong xã hội, sự phát triển của kỹ thuật điều khiển và tự động hoá ngày càng được nâng cao và hoàn thiện về mọi mặt.

Đối với hệ truyền động có khe hở là một hệ truyền động phi tuyến (như truyền động có bánh răng, truyền động đai...) được sử dụng rất rộng rãi trong thực tế sản xuất bởi vì chúng có những ưu điểm như khả năng truyền lực, hệ số có ích lớn và truyền động êm. Truyền động bánh răng (là một đại diện điển hình cho truyền động có khe hở) là nhưng cơ cấu quan trọng trong máy móc, phạm vi tốc độ và truyền lực của bánh răng rất lớn. Các giảm tốc vòng của bánh răng có khả năng truyền công suất tới hàng chục nghìn KW. Tốc độ cao có thể đạt tới 150m/s. Sử dụng bánh răng có thể truyền được chuyển động quay giữa các trục song song với nhau, chéo nhau hoặc vuông góc với nhau. Tuy nhiên truyền động bánh răng có nhược điểm là luôn chịu các ảnh hưởng: tồn tại khe hở, chịu tác dụng của lực đàn hồi và luôn bị mài mòn do ma sát khô phi tuyến, đã làm xấu đi đặc tính động của hệ thống điều khiển tự động truyền động cơ điện, khi tác động của những ảnh hưởng trên càng lớn, hệ thống càng dao động mạnh gây mất ổn định hệ thống. Chính vì những đặc điểm trên. Qua nghiên cứu cho tôi nhìn cách tổng quan về hệ truyền động có khe hở nói chung hay truyền động có bánh răng thường gặp. Và ở đề tài này tôi sẽ nghiên cứu về truyền động có bánh răng như một truyền động đại diện cho truyền động có khe hở.

Điều khiển quá trình sản xuất đang là mũi nhọn và then chốt để giải quyết vấn đề nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Một trong những vấn đề quan trọng trong điều khiển hệ thống là việc tự động điều chỉnh độ ổn định, sai số nhỏ nhất và trong khoảng thời gian nhỏ nhất. Về lĩnh vực điều khiển, có thể nói rằng bộ điều khiển PID được xem như một giải pháp đa năng cho các ứng dụng điều khiển vì nó có các ưu điểm vượt trội so với các phương pháp điều khiển kinh điển khác. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID cũng còn những hạn chế của nó như: Chất lượng phụ thuộc nhiều vào các tham số bộ điều khiển ( $K_p$ ,  $T_I$ ,  $T_D$ ) nên có sai số điều khiển, đặc biệt đối với đối tượng điều khiển là hệ truyền động khe hở nói chung và hệ truyền động có bánh răng nói riêng, thuộc hệ thống phi tuyến, có các tham số thay đổi (có những nhược điểm nêu ở trên) thì áp dụng bộ PID có tham số không đổi sẽ cho chất lượng không đảm bảo.



Trong các phương pháp điều khiển hiện đại, logic mờ và điều khiển mờ, đặc biệt là các bộ điều khiển mờ nâng cao đã đem lại cho công nghệ điều khiển truyền thống một cách nhìn mới, nó cho phép điều khiển được khá hiệu quả các đối tượng không rõ ràng, các đối tượng phi tuyến. Điều khiển mờ, mờ lai được sử dụng ngày càng nhiều vì nó có các ưu điểm nổi bật so với hệ thống thường, với khả năng tự chỉnh định lại các thông số của bộ điều chỉnh cho phù hợp với đối tượng chưa biết rõ đã đưa hệ thích nghi, mờ lai trở thành các hệ điều khiển thông minh.

Việc áp dụng bộ điều khiển mờ thích nghi hoặc mờ lai cho hệ sẽ góp phần nâng cao chất lượng hệ thống điều khiển, áp dụng cho điều khiển hệ truyền động có khe hở (đại diện là truyền động có bánh răng) sẽ cho hệ truyền động bánh răng sẽ cho ta chất lượng động của hệ thống tăng lên, hệ thống làm việc ổn định, nâng cao năng suất lao động và chất lượng trong sản xuất.

Xuất phát từ những luận điểm đã nêu trên, ta thấy việc **“NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ”**

Là vấn đề cần thiết, được nhiều nhà khoa học quan tâm

Phần nội dung của luận văn gồm 4 chương:

- CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ
- CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN
- CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ
- CHƯƠNG 4: TIẾN HÀNH THỰC NGHIỆM

Mặc dù bản thân đã có nhiều cố gắng trong quá trình nghiên cứu, với sự hướng dẫn tận tình của thầy giáo: PGS.TS.Lại Khắc Lãi, song do điều kiện và khả năng bản thân tác giả có những hạn chế nhất định nên luận văn chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót. Tác giả mong nhận được sự góp ý, nhận xét để luận văn được hoàn thiện hơn.

Thái Nguyên, ngày 22 tháng 04 năm 2014

Tác giả luận văn

Dương Đăng Phong

---

**ĐẶT VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU**

---

Ngày nay kỹ thuật điều khiển tốc độ động cơ điện đã đạt được những tiến bộ đáng kể, song vẫn không thể thay thế được cơ cấu bánh răng vì ngoài chức năng điều chỉnh tốc độ cơ cấu bánh răng còn đảm nhận một vài chức năng khác như thay đổi chiều chuyển động quay sang chuyển động tịnh tiến, tăng mô men quay để kéo máy sản xuất...

Hệ truyền động qua bánh răng hiện nay được ứng dụng rộng rãi trong thực tế, chúng là các bộ phận quan trọng thuộc phần cơ của các thiết bị, máy móc, trong các dây truyền sản xuất công nghiệp, các loại máy sản xuất nói chung... có thể nói rằng đây là bộ phận không thể thiếu của đa số các loại máy móc trong dây truyền sản xuất tự động, trong dân dụng và các ngành: Y tế, thí nghiệm, khoa học kỹ thuật, quân sự... chúng có thể đơn giản chỉ là một bộ phận nhỏ nằm trong bộ phận công tác hoặc có thể nằm trong một hệ thống cơ điện phức tạp của các dây truyền tự động lớn hoặc nằm trong cả hệ thống truyền động bao gồm nhiều khối chuyển động có liên quan với nhau như: Động cơ, hộp số, các bộ truyền... Đặc điểm của hệ truyền động có bánh răng là một hệ phi tuyến với các tham số thay đổi và không được biết trước. Các tham số có thể là xác định hoặc bất định và luôn chịu ảnh hưởng của nhiễu tác động.

Trong hệ truyền động bánh răng, sự truyền động được thực hiện nhờ ăn khớp của các bánh răng trên bánh răng hoặc thanh răng. Truyền động bánh răng được sử dụng trong nhiều loại máy và cơ cấu khác nhau để truyền chuyển động quay từ trục này sang trục khác hoặc để biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến và ngược lại, chúng có những ưu điểm như khả năng truyền lực lớn, hệ số có ích lớn và truyền động êm. Truyền động bánh răng là những cơ cấu quan trọng trong ô tô, máy kéo, động cơ đốt trong, máy công cụ, máy nông nghiệp, người máy, cần cầu và nhiều thiết bị khác... Phạm vi tốc độ và truyền lực của bánh răng rất lớn. Các giảm tốc bánh răng có khả năng truyền công suất tới hàng chục nghìn KW. Tốc độ vòng của bánh răng trong các cơ cấu truyền chuyển động tốc độ cao có thể đạt tới 150m/s. Trong truyền động bánh răng thường có bánh răng chủ động, bánh răng bị động và một vài bánh răng trung gian. Sử dụng bánh răng có thể truyền được chuyển động quay giữa các trục song song với nhau, chéo nhau hoặc vuông góc với nhau tùy theo yêu cầu của các hệ, các máy sản xuất.

Tuy nhiên trên thực tế trong các hệ thống truyền động có bánh răng còn tồn tại nhược điểm là giữa bộ phận chủ động và bộ phận bị động luôn tồn tại một khe hở nhất định (có độ dư, trễ giữa các chuyển động) do lỗi chế tạo hoặc do ma sát bị mài mòn trong quá trình làm việc; bề mặt các thanh răng luôn chịu lực do va đập, chịu tác dụng của lực đàn hồi... Các nguyên nhân đó dẫn đến các bánh răng không đảm bảo các điều kiện ăn khớp đã nêu ở trên, làm giảm chất lượng hệ, có sai lệch trong truyền động, giảm độ chính xác đối với các hệ điều khiển vị trí. Đặc biệt khi tồn tại khe hở sẽ làm giảm tuổi thọ của các chi tiết cơ khí, phát ra tiếng ồn, gây rung động, sự ổn định và hiệu suất của hệ thống bị thay đổi.

Để khắc phục nhược điểm này trước đây người ta thường dùng các biện pháp cơ học như nâng cao độ chính xác khi chế tạo bánh răng, sử dụng các bánh răng có biên dạng phù hợp... Các giải pháp này cần một chi phí lớn và không thể khắc phục hết được.

Để hạn chế ảnh hưởng và khắc phục nhược điểm này, trước đây người ta thường dùng các biện pháp cơ học như nâng cao độ chính xác khi chế tạo bánh răng, sử dụng các bánh răng có biên dạng phù hợp, tìm cách giảm nhỏ khe hở, thay thế các cơ cấu đã bị mài mòn, dư bằng cơ cấu mới... Các giải pháp này cần một chi phí lớn và không thể khắc phục hết được. Ví dụ như có thể kể đến việc thu hẹp khe hở đầu cánh tuabin bằng cách giảm khoảng dự phòng dành cho dẫn nở trong quá trình máy nóng lên. Việc chủ động điều chỉnh khe hở (active clearance control - ACC) đã được công ty MHI (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.) áp dụng cho các tuabin M701G1 và G2 và công ty GE áp dụng cho các tuabin H System của họ, tất cả đều dựa trên kỹ thuật nhiệt; sử dụng giải pháp cơ khí, do Siemens đề ra trong quá trình thử nghiệm một tổ máy tại nhà máy Kraftwerke Mainz - Wiesbaden (KMW). Tổ máy này vận hành như một tuabin khí chu trình hỗn hợp (combined cycle gas turbine - CCGT) chuẩn nhưng cũng được Siemens sử dụng cho mục tiêu chế tạo thử. Giải pháp này mang tên tối ưu hóa khe hở bằng thủy lực. Để khắc phục ảnh hưởng của dao động đàn hồi, thường sử dụng các biện pháp cơ khí như làm tăng độ cứng các thiết bị dẫn động giữa động cơ và tải, sử dụng các khớp nối ngắn và khỏe hơn, hạn chế sử dụng nhiều thiết bị dẫn động nối ghép với nhau. Sử dụng bộ lọc thông thấp, lọc khe hẹp, lọc trùng bậc hai sau mạch vòng vị trí trong mạch vòng điều khiển... Tuy nhiên các phương pháp trên còn tồn tại một số hạn chế nhất định, chưa thực sự tối ưu.

Trong những năm gần đây, các giải pháp về điện đã được các nhà khoa học quan tâm đến trên quan điểm áp dụng những quy luật điều khiển phi tuyến để điều khiển phối hợp giữa bộ phận chủ động và bộ phận bị động trong hệ. Nghiên cứu về hệ thống truyền động có tính đến các yếu tố như biến dạng đàn hồi, vùng không nhay, góc khe hở, ma sát khô phi tuyến là đề tài hấp dẫn để giảm những ảnh hưởng xấu do các yếu tố trên gây ra nhằm nâng cao chất lượng của hệ thống truyền động.

Về vấn đề này, trên thế giới nói chung và ở nước ta nói riêng đã có một số nghiên cứu và đã đạt được những thành quả đáng kể như có thể thấy trong các tài liệu [1],[3],[4],[6],[8],[13]. Trong đó tập trung giải quyết ảnh hưởng của đàn hồi, ảnh hưởng của khe hở, ma sát khô phi tuyến đến hệ thống; tài liệu [13] nghiên cứu điều khiển thích nghi bền vững cho hệ khớp nối mềm, nghiên cứu điều khiển chuyển động cho hệ truyền động khớp nối mềm với hệ điều khiển phản hồi trạng thái sử dụng bộ lọc thông thấp, lọc khe hẹp, lọc trùng bậc hai của tác giả Bùi Chính Minh nhằm hạn chế dao động cộng hưởng; nghiên cứu tổng hợp điều khiển thích nghi dựa trên phương pháp backstepping cho hệ truyền động có đàn hồi, khe hở và ma sát khô phi tuyến của tác giả Huỳnh Văn Đông [6] nhằm đảm bảo cho hệ thống ổn định bền vững trong quá trình làm việc khi tham số là bất định; các nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng hệ truyền động có khe hở của các tác giả Lại Khắc Lãi, Lê Thị Thu Hà, Lê Thị Minh Nguyệt [1],[3],[4],[5]. Các nghiên cứu của Kahraman, Singh nhằm mô tả trạng thái động lực học phi tuyến của hệ thống bánh răng thẳng và giải thích sự hư hỏng cục bộ của chúng bởi tác động (kích thích) bên ngoài.

Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển áp dụng riêng một cách cụ thể để nâng cao chất lượng cho hệ truyền động điện có bánh răng là một đề tài khá mới mẻ nhưng rõ ràng đây là một vấn đề cần thiết vì như đã phân tích ở trên, hệ truyền động qua bánh răng hiện nay được sử dụng rất phổ biến ở các thiết bị máy móc, trong sản xuất, trong hầu hết các lĩnh vực y tế, quân sự, các ngành khoa học kỹ thuật nói chung. Khi hệ có sử dụng bánh răng thì đương nhiên hệ sẽ bị ảnh hưởng xấu do tồn tại khe hở, ma sát, đàn hồi của đối tượng cơ khí làm giảm chất lượng, làm việc kém chính xác và thậm chí là mất ổn định.

**Ở luận văn này tác giả nghiên cứu và mô tả các ảnh hưởng ngẫu nhiên của cơ cấu bánh răng (đại diện cho truyền động có khe hở) đến chất lượng của hệ thống truyền động điện, đồng thời đề xuất các phương pháp sử dụng bộ điều**

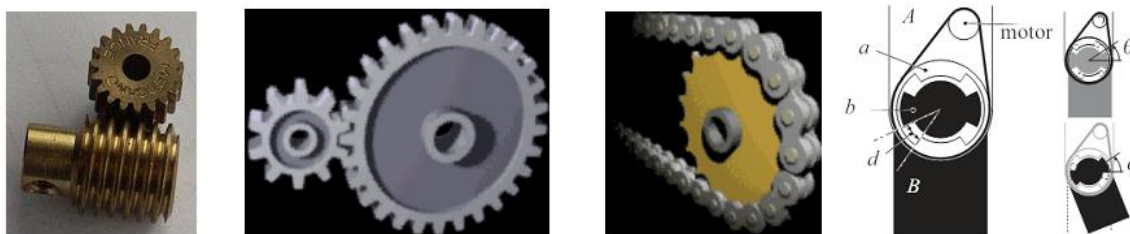
khắc phục những ảnh hưởng đó, mặt khác với những kết quả đưa ra có thể làm cơ sở cho những nghiên cứu tiếp theo nhằm tìm ra các giải pháp mới trên cơ sở ứng dụng các phương pháp điều khiển hiện đại để nâng cao chất lượng hệ truyền động có bánh răng. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm sẽ cho thấy hiệu quả và tính khả thi của phương pháp.

## CHƯƠNG 1

### TỔNG QUAN VỀ HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ

#### Giới thiệu

Hệ truyền động có khe hở là một hệ truyền động phi tuyến được sử dụng rất rộng rãi trong thực tế như các truyền động có bánh răng, truyền động đai, truyền động xích, truyền động vít – đai ốc, truyền động trục vít - bánh răng, vv..... Trong hệ bánh răng, sự truyền động được thực hiện nhờ ăn khớp của các bánh răng trên bánh răng hoặc thanh răng. Truyền động bánh răng được sử dụng trong nhiều loại máy và cơ cấu khác nhau để truyền chuyển động quay từ trục này sang trục khác và để biến đổi chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến và ngược lại. Truyền động bánh răng là những cơ cấu quan trọng trong ô tô, máy kéo, động cơ đốt trong, máy công cụ, máy nông nghiệp, người máy, cần cẩu và nhiều thiết bị khác.... Phạm vi tốc độ và truyền lực của bánh răng rất lớn. Các giảm tốc bánh răng có khả năng truyền công suất tới hàng chục nghìn KW. Tốc độ vòng của bánh răng trong các cơ cấu truyền chuyển động tốc độ cao có thể đạt tới 150m/s. Trong truyền động bánh răng thường có bánh răng chủ động, bánh răng bị động và một vài bánh răng trung gian. Sử dụng bánh răng có thể truyền được chuyển động quay giữ các trục song song với nhau, chéo nhau hoặc vuông nhau. Đối với truyền động đai do đặc điểm kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, giá thành rẻ nên cũng được sử dụng nhiều trong các hệ thống. Công suất truyền có thể đạt tới 3000KW, vận tốc của đai có thể đạt  $v = 100\text{m/s}$  và tỉ số truyền động  $i$  có thể tới 10. Truyền động xích được sử dụng ít hơn do có nhiều nhược điểm có khe hở lớn và phát ra tiếng ồn lớn trong quá trình làm việc.



Hình 1.1: Một số hệ truyền động có khe hở

*Sau đây tôi sẽ nghiên cứu về hệ truyền động qua bánh răng*

#### 1.1. CÁC YÊU CẦU CƠ BẢN CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG

Theo chức năng sử dụng truyền động hệ bánh răng có các yêu cầu khác nhau, cụ thể như sau:

### 1.1.1. Truyền động chính xác

Trong xích động học của máy cắt kim loại và dụng cụ đo truyền động bánh răng cần có độ chính xác động học cao. Ví dụ như truyền động bánh răng của xích phân độ trong máy gia công răng hoặc đầu phân độ vạn năng... Trong các truyền động này bánh răng thường có truyền động nhỏ. Chiều dài răng không lớn, làm việc với tải trọng và vận tốc nhỏ. Yêu cầu chủ yếu của các truyền động này là “Mức chính xác động học cao” có nghĩa là đòi hỏi sự phối hợp chính xác của truyền động.

### 1.1.2. Truyền động tốc độ cao

Trong các hộp tốc độ của động cơ máy bay, ô tô, tuốc bin... Bánh răng của truyền động thường có module trung bình, chiều dài răng lớn, vận tốc vòng của bánh răng có thể đạt tới hơn 120- 150 m/s. Công suất truyền động tới 40.000 KW và hơn nữa. Bánh răng làm việc trong điều kiện như vậy sẽ phát sinh rung động và ồn. Yêu cầu của nhóm truyền động này là “Mức chính xác truyền động êm” có nghĩa là bánh răng truyền động ổn định, không có sự thay đổi tức thời về tốc độ, gây va đập và ồn.

### 1.1.3. Truyền động công suất lớn

Truyền động với vận tốc nhỏ nhưng truyền động mômen xoắn lớn. Bánh răng của truyền động thường có module và chiều dài răng lớn. Ví dụ: truyền động bánh răng trong máy cán thép, nghiền lanh ke (xi măng), trong cơ cấu nâng hạ như cầu trục, ba lăng... Yêu cầu chủ yếu của các truyền động này là “Mức tiếp xúc mặt răng” lớn, đặc biệt là tiếp xúc theo nhiều dài răng. Mức tiếp xúc mặt răng phải đảm bảo độ bền khi truyền mômen xoắn lớn.

### 1.1.4. Độ hở mặt bên

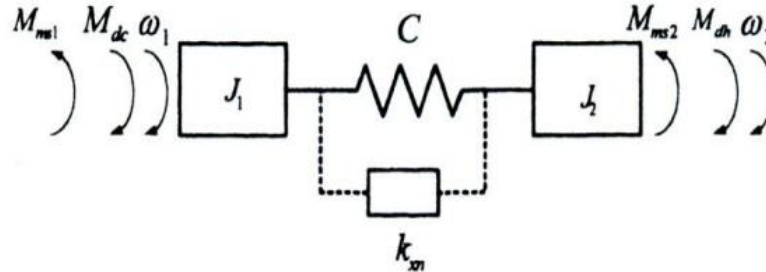
Đối với bất kỳ truyền động bánh răng nào cũng cần phải có độ hở mặt bên giữa các mặt răng phía không làm việc của cặp bánh răng ăn khớp. Độ hở đó cần thiết để tạo điều kiện bôi trơn mặt răng, để bù sai số co giãn nở nhiệt, do gia công và lắp ráp, tránh hiện tượng kẹt răng.

Như vậy đối với bất kỳ truyền động bánh răng nào cũng phải có 4 yêu cầu: mức chính xác động học, mức chính xác làm việc êm, mức chính xác tiếp xúc và độ hở mặt bên. Nhưng tùy theo chức năng sử dụng mà đề ra các yêu cầu chủ yếu đối với truyền động bánh răng, tất nhiên yêu cầu chủ yếu ấy phải ở mức độ chính xác cao hơn so với các yêu cầu khác.

## 1.2. NHỮNG ẢNH HƯỞNG TÁC ĐỘNG ĐẾN HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG

Hệ truyền động qua bánh răng luôn chịu ảnh hưởng tác động của lực đàn hồi, ma sát, khe hở... Những tác động này đã làm xấu đi đặc tính động, dẫn đến giảm chất lượng hệ. Theo [6] đã phân tích các ảnh hưởng này tác động lên hệ thống.

Để làm cơ sở phân tích, ta xét mô hình hai khối lượng có sơ đồ như sau:



Hình 1.2 Mô hình hai khối lượng có liên hệ đàn hồi

Ta có hệ phương trình:

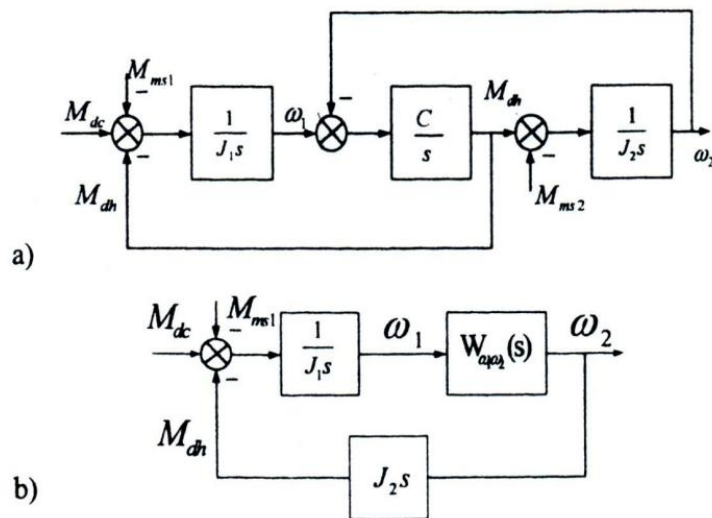
$$M_{dc} - M_{dh} - M_{ms1} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}$$

$$M_{dh} - M_{ms2} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}$$

$$M_{dh} = C(q_1 - q_2)$$

Từ hệ phương trình trên ta có sơ đồ cấu trúc hình 1.3a

Biến đổi sơ đồ cấu trúc được hình 1.3b với  $W_{\omega_1\omega_2}$  là hàm truyền của tốc độ  $\omega_2$  theo  $\omega_1$ :



Hình 1.3 a,b Sơ đồ cấu trúc hệ thống hai khối lượng có liên hệ đàn hồi

Để nghiên cứu tính chất động học, ta xem xét phần cơ như đối tượng điều chỉnh với giả thiết:

$$M_{ms1} = 0;$$



$$M_{ms2} = 0;$$

Ta xác định hàm truyền đạt phần cơ 2 khối lượng khi tác động điều khiển là Momen  $M_{dc}$  của động cơ và lượng ra là  $\omega_1$ :

$$W_{\omega_1}(s) = \frac{\omega_1}{M_{dc}} = \frac{W_{1H}}{1 + W_{1H} \cdot W_{ph}} \quad (1.1)$$

Trong đó:

$$W_{1H} = \frac{1}{J_1 s}; W_{ph} = J_2 \cdot s \cdot W_{\omega_1 \omega_2}(s)$$

$$W_{\omega_1 \omega_2}(s) = \frac{\omega_2(s)}{\omega_1(s)} = \frac{1}{\frac{J_2}{C} \cdot s^2 + 1}$$

Vậy

$$W_{\omega_1}(s) = \frac{\frac{J_2}{C} s^2 + 1}{J_1 \cdot s \left( \frac{J_1 J_2}{C J_\Sigma} s^2 + 1 \right)} \quad (1.2)$$

ở đây:

$$J_\Sigma = J_1 + J_2$$

Phương trình đặc tính của hệ

$$J_\Sigma \cdot s \left( \frac{J_1 J_2}{C J_\Sigma} s^2 + 1 \right) = 0 \quad (1.3)$$

Nghiệm của phương trình đặc tính (1.3) là:

$$s_1 = 0;$$

$$s_{2,3} = \pm j \sqrt{\frac{C(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}} = \pm j \Omega_{12}$$

Kí hiệu:

$$\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1} = \frac{J_\Sigma}{J_1} \text{ là tỉ số momen quán tính.}$$

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{C(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}} \text{ là tần số cộng hưởng của phần cơ hệ đàn hồi 2 khối lượng.}$$

$$\Omega_{01} = \sqrt{\frac{C}{J_1}} \text{ là tần số cộng hưởng của khối lượng thứ 1 khi } J_2 \rightarrow \infty.$$

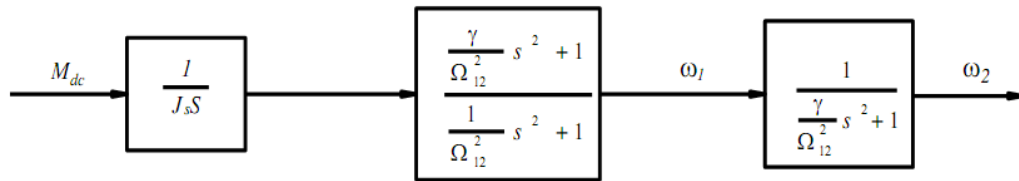
$$\Omega_{02} = \sqrt{\frac{C}{J_{12}}} = \frac{\Omega_{12}}{\sqrt{\gamma}} \text{ là tần số cộng hưởng của khối lượng thứ 2 khi } J_1 \rightarrow \infty.$$

Ta có

$$W_{\omega_1 \omega_2}(s) = \frac{1}{\left( \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} s^2 + 1 \right)} \quad (1.4)$$

$$W_{\omega_1}(s) = \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot s} \cdot \frac{\left( \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} s^2 + 1 \right)}{\left( \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} s^2 + 1 \right)} \quad (1.5)$$

Từ các biểu thức (1.4) và (1.5) cho phép chúng ta biểu diễn phần cơ đối tượng điều khiển, gồm 3 khâu như hình 2.4

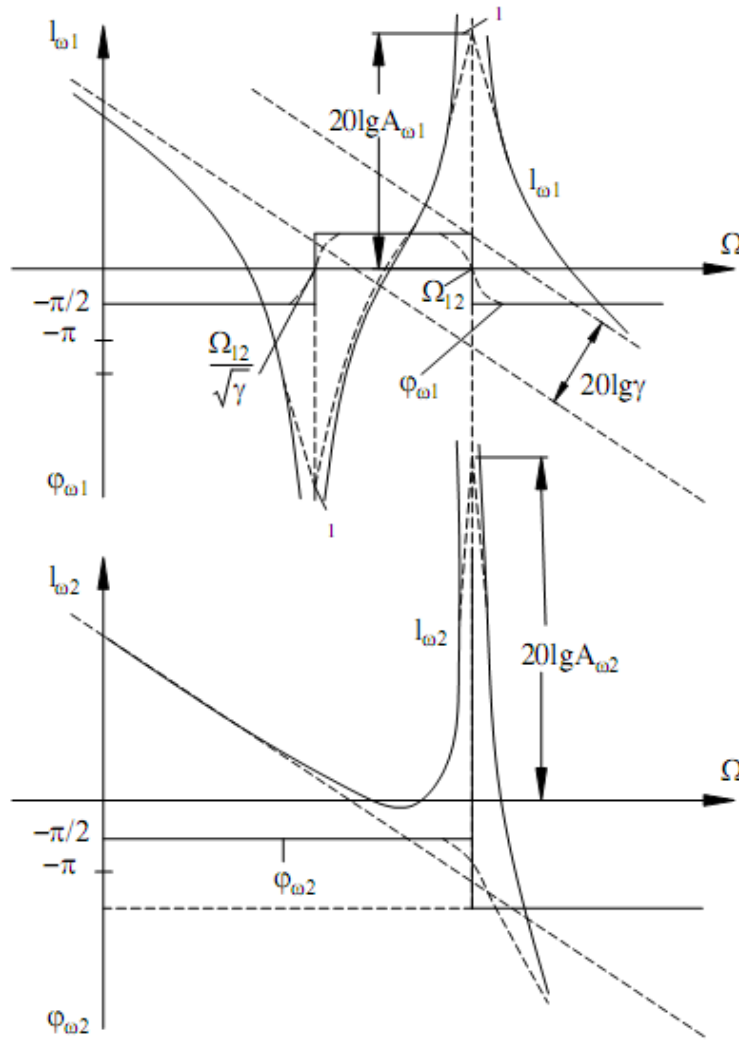


Hình 1.4 : Sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động

Từ sơ đồ này ta xác định hàm truyền đạt của  $W_{\omega_2}$  theo tác động điều khiển  $M_{dc}$

$$W_{\omega_2}(s) = \frac{\omega_2(s)}{M_{dc}(s)} = W_{\omega_1}(s) \cdot W_{\omega_1 \omega_2}(s) = \frac{1}{J_{\Sigma} s} \cdot \frac{1}{\left( \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} s^2 + 1 \right)} \quad (1.6)$$

Đặc tính tần số biên độ Logarit



Hình 1.5. Đặc tính logarit của hệ thống

Sử dụng phương pháp tần số để phân tích tính chất động học đặc tính cơ của hệ thống truyền động, bằng cách thay  $s = j\Omega$ , được đặc tính biên độ pha:

$$W_{\omega_2}(j\Omega) = \frac{1}{jJ_{\Sigma}\Omega} \cdot \frac{1 - \gamma \left( \frac{\Omega}{\Omega_{12}} \right)^2}{1 - \left( \frac{\Omega}{\Omega_{12}} \right)^2} = A_{\omega_1}(\Omega) \cdot e^{-j\varphi_{\omega_1}(\Omega)} \quad (1.7)$$

Trong đó  $A_{\omega_1}(\Omega)$  là đặc tính tần số biên độ;  $\varphi_{\omega_1}(\Omega)$  là đặc tính tần số pha.

Đặc tính logarit của hệ thống với lượng ra là  $\omega_1, \omega_2$  có dạng như hình 1.5

Xây dựng đặc tính tần số tiệm cận: Có thể xây dựng trực tiếp theo hàm truyền.

Đối với  $W_{\omega_1}$  hệ thống gồm 3 khâu nối tiếp:

- Khâu tích phân :  $\frac{1}{J_{\Sigma} \cdot s}$  ;

- Khâu nâng bậc 2:  $\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} s^2 + 1$  có tần số cộng hưởng :  $\Omega_{c_1} = \frac{\Omega_{12}}{\sqrt{\gamma}}$  ;

- Khâu quán tính bậc 2:  $\frac{\gamma}{\frac{1}{\Omega_{12}^2} s^2 + 1}$  có tần số cộng hưởng :  $\Omega_{c_1} = \Omega_{12}$  .

Khi  $\Omega = \Omega_{c_1}$  hàm truyền tần số có điểm 0 và đặc tính tần số logarit (ĐTTSLG) có điểm gián đoạn và tiến đến  $\infty$ . Khi  $\Omega = \Omega_{c_2}$  hàm truyền có tần số có điểm cực và ĐTTSLG tiến đến  $\infty$  tạo ra điểm gián đoạn thứ 2.

Đoạn tiệm cận thấp tần của ĐTTSLG xác định bởi khâu tích phân với hệ số là  $\frac{1}{J_\Sigma}$  và có độ dốc là -20db/dec.

Đoạn cao tần: ( $\Omega \gg \Omega_{12}$ ):

$$A_{\omega_1} = \frac{1}{J_\Sigma \Omega} \cdot \frac{1 - \gamma \left( \frac{\Omega}{\Omega_{12}} \right)^2}{1 - \left( \frac{\Omega}{\Omega_{12}} \right)^2} \quad \text{Khi } \Omega \rightarrow \infty; A_{\omega_1} \rightarrow \frac{1}{J_\Sigma \Omega} \text{ (Khâu tích phân)}$$

Như vậy đoạn cao tần tương đương khâu tích phân với hệ số  $\gamma$  lần lớn hơn đoạn đầu ĐTTSLGR tiệm cận của hệ thống khi lượng ra là  $\omega_1$  cho tiệm cận trên hình 1.5a.

Trên hình 1.5b là đặc tính tần số Logarit của hệ thống với lượng ra là  $\omega_2$  (hàm truyền (1.7)). Hàm truyền có tử số là một, ĐTTSLG đoạn tần số thấp giống với  $L_{\omega_1}$  và có một điểm gián đoạn tại tần số cộng hưởng  $\Omega_{12}$ .

### 1.2.1. Ảnh hưởng của đàn hồi đến phần cơ của hệ thống truyền động

Trên cơ sở các đặc tính tần số trên, ta tiến hành xét các ảnh hưởng của khâu đàn hồi đến chuyển động của động cơ và máy công tác cho thấy: ảnh hưởng của khâu đàn hồi đến khối lượng 1 và 2 là khác nhau.

Đối với khối lượng 1, với tần số không lớn hơn của tác động điều khiển  $M_{dc}$ , chuyển động của nó được quyết định chủ yếu bởi momen quán tính tổng  $J_\Sigma$  của hệ truyền động. Tính chất động học phần cơ của truyền động giống như một khâu tích phân. Khi  $M_{dc} = \text{const}$  tốc độ  $\omega_1$  thay đổi tuyến tính, đồng thời cộng thêm dao động do phần đàn hồi gây ra. Khi tần số dao động của momen gần đến giá trị cộng hưởng  $\Omega_{12}$  thì biên độ dao động của tốc độ  $\omega_1$  tăng và tại  $\Omega = \Omega_{12}$  tăng đến vô cùng. Sự xuất hiện

cộng hưởng phụ thuộc vào thông số phần cơ. Ta có thể tìm ra các điều kiện khi đó ảnh hưởng của đàn hồi đến chuyển động của khối lượng thứ nhất không đáng kể.

Từ (1.5) : Nếu máy công tác có quán tính nhỏ  $J_2 \ll J_1$ ,  $\gamma \rightarrow 1$  thì chuyển động của khối lượng thứ nhất được xác định bằng chuyển động của khâu tích phân  $W_{\omega_1} = \frac{1}{J_{\Sigma} s}$ .

Và khi  $\Omega_{12} \rightarrow \infty$  thì trong miền tần số nhỏ và trung bình, chuyển động của khối lượng 1 tương đương khâu tích phân: (Khi  $\Omega_{12} \rightarrow \infty$  thì  $W_{\omega_1} \rightarrow \frac{1}{J_{\Sigma} s}$  )

Từ hai điều kiện nêu trên, có thể rút ra kết luận sau: Khi tổng hợp hệ điều khiển truyền động chỉ sử dụng phản hồi theo  $\omega_1$  (tốc độ động cơ) nếu  $J_2 \ll J_1$  hoặc  $\Omega_{12} \gg \Omega_c$  (với  $\Omega_c$  là tần số cắt của ĐTTSLG mong muốn của hệ khi coi phần cơ cứng tuyệt đối) thì có thể bỏ qua ảnh hưởng của đàn hồi.

Từ (1.6) cho thấy khối lượng thứ 2 có tính dao động cao hơn khối lượng 1:

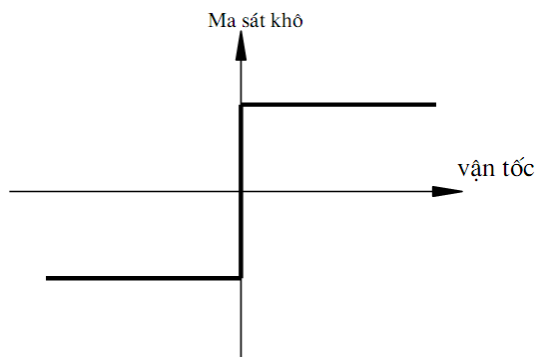
Trong miền tần số thấp ĐTTSLG tiệm cận  $L_{\omega_1}$  và  $L_{\omega_2}$  trùng nhau

Trong miền tần số trung, chuyển động của khối lượng 2 tương tự khâu tích phân

$$W_{\omega_2} \rightarrow \frac{1}{J_{\Sigma} s}$$

Khi  $\Omega > \Omega_{12}$  độ nghiêng ở đoạn cao tần của ĐTTSLG  $L_{\omega_2}$  là -60db/dec. Vì thế nó không tác dụng làm yếu đi sự gia tăng của dao động cộng hưởng với bất kỳ giá trị nào của  $\gamma$ .

### 1.2.2. Ảnh hưởng của ma sát trong hệ thống truyền động



Hình 1.6. Mối quan hệ ma sát khô và vận tốc

Trong thực tế, một lượng nhỏ ma sát hầu như luôn tồn tại trong phần cơ hệ thống, ma sát tĩnh có hai tác động cơ bản đến hệ cơ điện, đó là: Một phần momen hoặc lực của cơ cấu chấp hành bị mất đi do phải thắng lực ma sát dẫn đến không hiệu quả về

năng lượng; khi cơ cấu chấp hành dịch chuyển hệ thống đến vị trí cuối cùng, vận tốc gần bằng không và momen lực của cơ cấu chấp hành sẽ tiệm cận giá trị cân bằng một cách chính xác với các tải trọng lực và ma sát. Do ma sát tĩnh có thể nhận được bất kỳ giá trị nào tại vận tốc không, cơ cấu chấp hành sẽ có sự khác nhau nhỏ giữa các vị trí nghỉ cuối cùng- phụ thuộc vào giá trị cuối cùng của ma sát tĩnh. Tác động này làm cho khả năng lặp lại của hệ cơ điện.

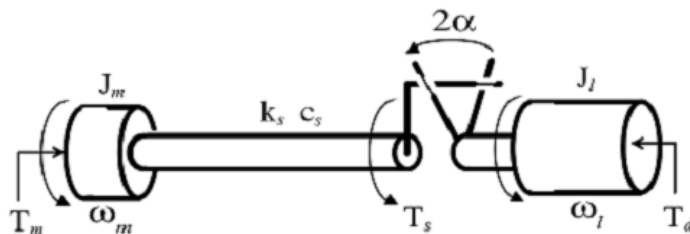
### 1.2.3. Ảnh hưởng của khe hở trong hệ thống truyền động

Đối với hệ thống truyền động qua bánh răng, ngoài sự ảnh hưởng của đàn hồi, ma sát đã được đề cập ở trên còn phải kể đến sự ảnh hưởng của khe hở bởi lẽ giữa bộ phận chủ động và bộ phận bị động giữa các bánh răng luôn tồn tại một khe hở nhất định. Khi xuất hiện các khe hở, nói cách khác là có độ dư, trễ giữa các chuyển động, làm sai lệch truyền động, giảm độ chính xác đối với các hệ điều khiển vị trí, khe hở có thể làm giảm tuổi thọ của các chi tiết cơ khí, phát ra tiếng ồn, gây rung động, sự ổn định và hiệu suất của hệ thống thay đổi... Các hệ bánh răng khác nhau đều có đặc điểm, tính chất, ứng dụng ở các loại máy móc khác nhau. Vì vậy, tùy theo từng hệ và trạng thái hoạt động của máy móc ta sử dụng cũng phải sử dụng các mô hình toán học khác nhau. Hiện nay để mô tả khe hở người ta thường sử dụng 3 loại mô hình sau [5]:

- Mô hình vật lý của khe hở;
- Mô hình Deadzone (vùng chết);
- Mô hình với hàm mô tả.

#### 1.2.3.1. Mô hình vật lý của khe hở

Xét một hệ vật lý gồm có một trục quán tính tự do với độ hở của khe hở là  $2\alpha$ , một lò xo có hệ số đàn hồi là  $k_s$  và độ giảm chấn  $c_s$  (hình 1.7). Biểu thức của momen quay có dạng:



Hình 1.7 Mô hình vật lý khe hở

$$T = k_s \cdot \theta_s + c_s \cdot \dot{\theta}_s = k_s (\theta_d - \theta_b) + c_s (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_b) \quad (1.8)$$

$$\theta_s = \theta_d - \theta_b \quad (1.9)$$

Trong đó:

$\theta_s$  là độ xoắn trục,  $\theta_d$  độ lệch góc của động cơ và mép tải,  $\theta_b$  mô tả góc của khe hở,  $\theta_b \leq |\alpha|$ . Có 3 trường hợp khác nhau, chỗ tiếp xúc với khe hở góc  $\alpha$ , không tiếp xúc và tiếp xúc với khe hở góc  $-\alpha$ . Khi không tiếp xúc được xác định bởi:

$$\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_b = -\frac{k(\theta_d - \theta_b)}{c_s} \quad (1.10)$$

$$\text{Với : } \theta_d - \theta_b = (\theta_d - \theta_b) \cdot e^{\frac{-k_s(t-t_0)}{c_s}} \quad (1.11)$$

Biểu thức đạo hàm của góc khe hở là:

$$\dot{\theta}_b = \begin{cases} \max(0, \dot{\theta}_d + \frac{k_s}{c_s}(\theta_d - \theta_b)) & \text{khi } \theta_b = -\alpha \\ \dot{\theta}_d + \frac{k_s}{c_s}(\theta_d - \theta_b) & \text{khi } |\theta_b| < \alpha \\ \min(0, \dot{\theta}_d + \frac{k_s}{c_s}(\theta_d - \theta_b)) & \text{khi } \theta_b = \alpha \end{cases} \quad (1.12)$$

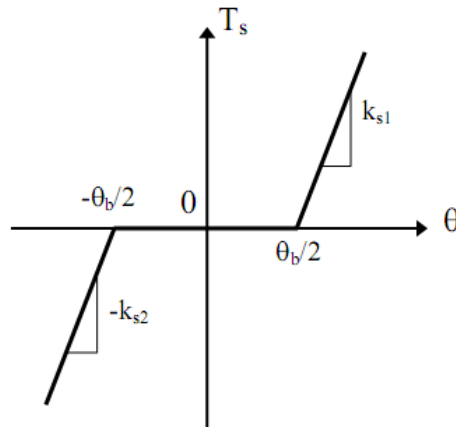
### 1.2.3.2. Mô hình Deadzone (vùng chết)

Đây là mô hình đơn giản hóa của mô hình vật lý chính xác, bỏ qua sự rung động bên trong của trục, do đó mô hình này hợp lí nếu như ở đó không có hoặc có sự rung động nhỏ của trục. Mô hình Deadzone là mô hình được dùng nhiều trong thực tiễn. Ở mô hình này, momen quay của trục là  $T_s$ :

$$T_s = k_s \cdot \theta_s = k_s \cdot D_s(\theta_d) \quad (1.13)$$

Hàm số Deadzone  $D_\alpha$  được định nghĩa

$$D_\alpha = \begin{cases} \theta_d - \alpha & \text{khi } \theta_d > \alpha \\ 0 & \text{khi } |\theta_d| \leq \alpha \\ \theta_d + \alpha & \text{khi } \theta_d < -\alpha \end{cases} \quad (1.14)$$



Hình 1.8 Đặc tính Deadzone.

Trong các trường hợp, trục của mô hình hoàn toàn không có rung động và không có quán tính. Khi đó chỗ tiếp xúc không có khe hở, trục của động cơ được giả sử như trạng thái ổn định và được mô tả trên hình 1.18

Nếu sự rung động bên trong trục được bỏ qua thì mô hình có thể thích nghi với hệ có khe hở đảo chiều. Các thông số của mô hình Deadzone ( $k_{s1}$ ,  $k_{s2}$  và  $\theta_b$ ) có thể dùng để đánh giá luật thích nghi. Mô hình Deadzone gần đúng có thể sử dụng để bù khe hở thực tế.

### 1.2.3.3. Mô hình với hàm mô tả

Theo cách này người ta thường chia hệ thống phi tuyến thành 2 phần: Phần tuyến tính và phần phi tuyến, phần phi tuyến giống như khe hở có thể được mô tả bởi hàm số.

Để nhận được hàm mô tả trước hết từ đầu vào của phần tử phi tuyến với sóng hình sin cộng với hằng số B:

$$\theta_d = B + A \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.15)$$

Khi đó đầu ra của phần tử phi tuyến được lấy gần đúng bằng hằng số bù  $N_B B$  ở đầu ra của hàm điều hòa  $N_A A$

$$\theta_s = N_B B + N_A A \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.16)$$

$$N_A(A, B, \omega) = N_p(A, B, \omega) + jN_q(A, B, \omega); N_B = N_B(A, B, \omega) \quad (1.17)$$

Cả hai thông số được gọi là 2 đầu vào của hàm số, DIDs. Đầu vào DIDF có thể mô tả bởi

$$T_s(\theta_d, \dot{\theta}_d) = N_B B + N_p \sin(\omega t) + N_q \sin(\omega t) \quad (1.18)$$

Với điều kiện của phép toán là:

$$T_0 = BN_B(A, B, \omega) \quad (1.19)$$

Với điều kiện duy nhất:  $B^*(A, T_0, \omega)$

Khi  $T_0 = 0$  mô tả hàm số được rút gọn về mô tả nguồn hình sin, SIDF. Trong nhiều trường hợp khe hở được mô tả với SIDF, việc mô tả hàm số được biểu diễn như sau:

$$N(X, \omega) = \frac{Y_1}{X} \cdot \exp^{j\varphi_1} \quad (1.21)$$

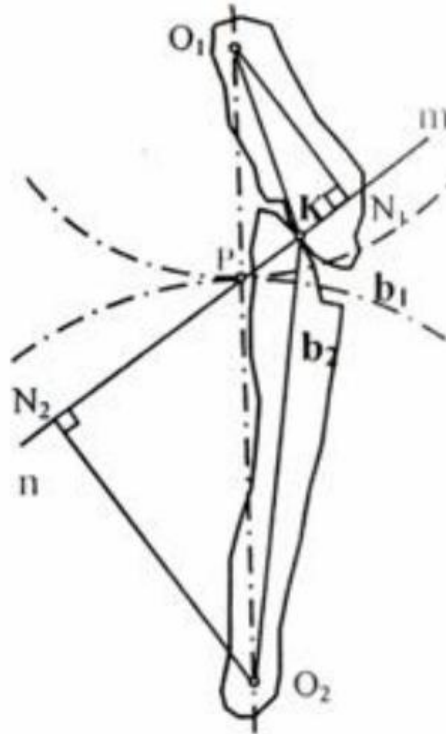
Với X là biên độ của nguồn hình sin;  $Y_1$  là biên độ của thành phần điều hòa cơ bản;  $F_1$  là góc pha của thành phần điều hòa cơ bản. Việc miêu tả hàm số có thể dựa vào tần số nhưng điều đó cũng không cần thiết. Đối với bộ điều khiển phi tuyến, chúng được giới hạn bởi chu kỳ nếu đầu vào hệ phi tuyến là nguồn hình sin.



### 1.3. NHỮNG ĐẶC TRƯNG ĂN KHỚP CỦA CẶP BÁNH RĂNG

Đối với phần lớn cơ cấu bánh răng dùng trong kỹ thuật, yêu cầu chủ yếu là đảm bảo truyền chuyển động quay với tỉ số truyền cố định.

Muốn tỉ số truyền không đổi, pháp tuyến chung của cặp biên dạng đối tiếp phải luôn cắt đường nối tâm ở một điểm cố định.



Hình 1.9 Mô hình ăn khớp bánh răng

Điểm P cố định nói trên, được gọi là tâm ăn khớp. Trên hai bánh răng hai vòng tròn đó tiếp xúc nhau tại P, tâm tương ứng là  $O_1$  và  $O_2$ . Khi hai bánh răng đó ăn khớp hai vòng tròn đó lăn và không trượt lên nhau. Hai vòng tròn đó được gọi là các vòng lăn của cặp bánh răng đối tiếp.

Khi điểm P cố định tỉ số truyền  $i_{12}$  là không đổi và bằng:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_1N_1}{O_2N_2} = \frac{O_1P}{O_2P} \quad (1.22)$$

Trong đó:

Điểm K là điểm tiếp xúc của hai biên dạng  $b_1$  và  $b_2$ .

Đường thẳng mn là pháp tuyến chung của hai biên dạng  $b_1$  và  $b_2$

$O_1N_1$  và  $O_2N_2$  vuông góc với pháp tuyến mn.

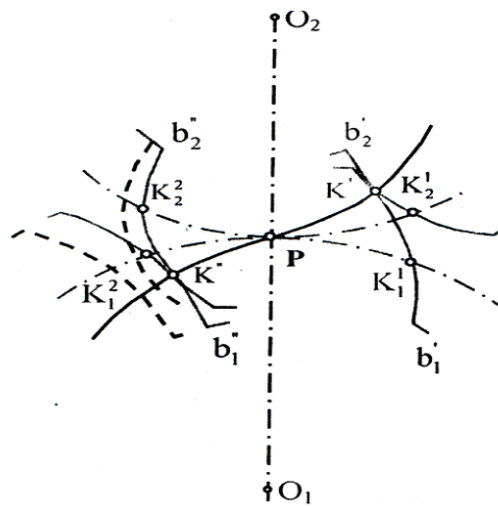
Để đảm bảo hai bánh răng ăn khớp với tỉ số truyền cố định (còn được gọi là ăn khớp đều) thì các cặp biên dạng đối tiếp của hai bánh răng phải liên tục kế tiếp nhau vào tiếp xúc trên vòng ăn khớp. Muốn vậy phải thỏa mãn các điều kiện sau [2]:

### 1.3.1. Điều kiện ăn khớp đúng

Cặp bánh răng ăn khớp đúng nếu bước răng trên vòng lăn của chúng bằng nhau (hình 1.10):  $t_{L1} = t_{L2}$  (1.23)

Trong đó:  $t_{L1}$  là cung  $K_1^1 K_1^2$ : là bước răng trên vòng lăn của bánh răng thứ nhất;

$t_{L2}$  là cung  $K_2^1 K_2^2$ : là bước răng trên vòng lăn của bánh răng thứ hai.



Hình 1.10: Mô hình cặp bánh răng ăn khớp đúng

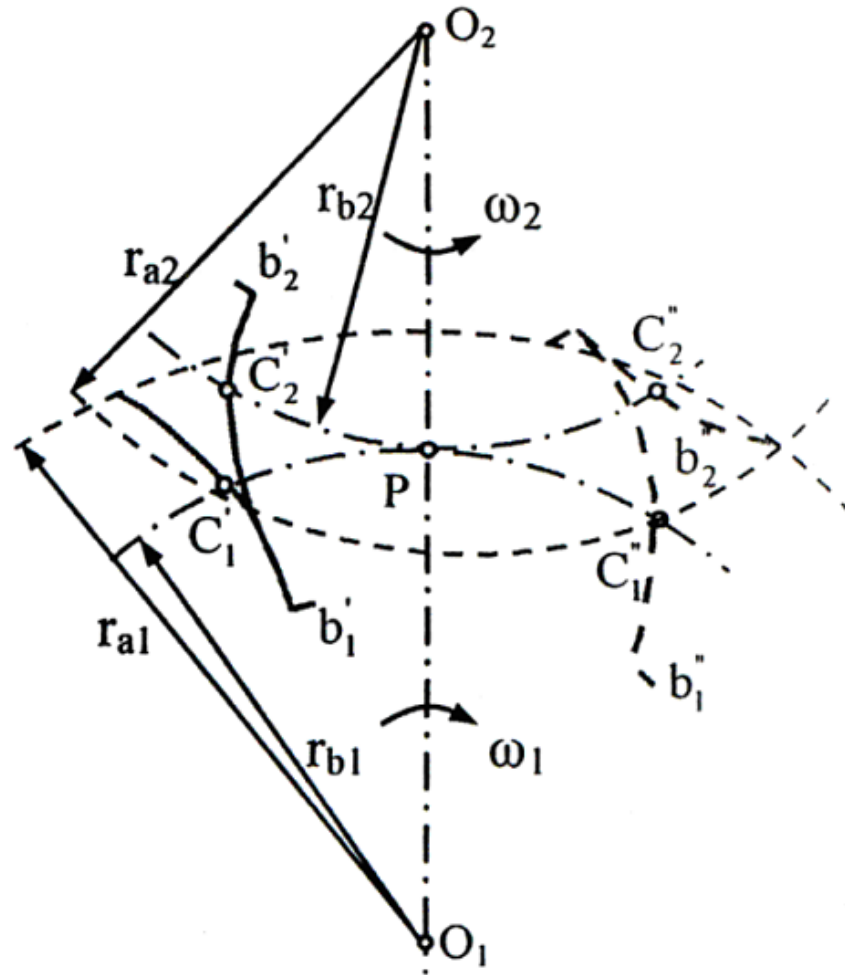
### 1.3.2. Điều kiện ăn khớp trùng

Điều kiện ăn khớp trùng: các cặp biên dạng đối tiếp cùng phía phải có đoạn làm việc lớn sao cho thỏa mãn điều kiện:

$$C'C'' > t_L; \quad \varepsilon = \frac{C'C''}{t_L} > 1 \quad (1.24)$$

Trong đó:  $C'C''$  là cung ăn khớp (hình 1.11)

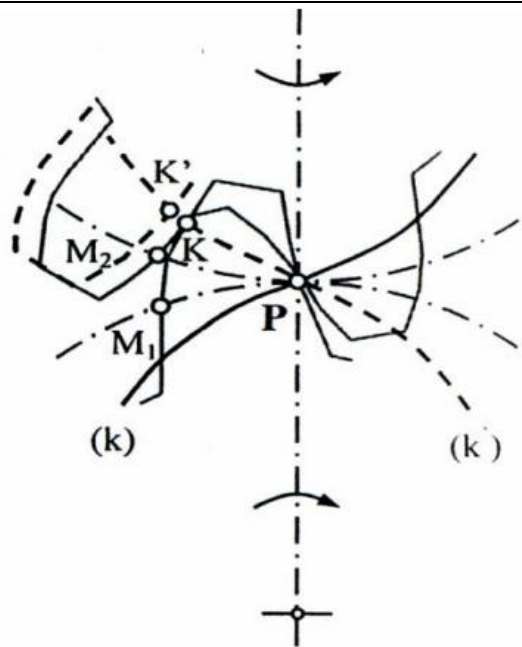
Tỉ số  $\varepsilon$  được gọi là hệ số trùng khớp. Khi thiết kế bánh răng thông thường đòi hỏi  $\varepsilon > 1$ .



Hình 1.11: Mô hình cặp bánh răng ăn khớp trùng

### 1.3.3. Điều kiện ăn khớp khít

Như ta đã biết, đối với các bánh răng thông thường mỗi răng có hai biên dạng đối xứng nhau. Trong quá trình ăn khớp, biên dạng chịu lực của răng được gọi là biên dạng làm việc. Khi các điều kiện ăn khớp đúng và ăn khớp trùng được đảm bảo, cặp bánh răng sẽ ăn khớp đều nếu biên dạng làm việc không đối xứng. Nếu vì một nguyên nhân nào đó, biên dạng làm việc đối xứng, ví dụ như vận tốc của bánh dẫn bị giảm đột ngột hoặc vận tốc của bánh dẫn bị tăng đột ngột do tác động của ngoại lực, muốn cặp bánh răng ăn khớp đều còn phải đảm bảo điều kiện ăn khớp khít.



Hình 1.12. Mô hình cặp bánh răng ăn khớp tại tâm ăn khớp P

Giả sử có một cặp bánh răng đang ăn khớp tại tâm ăn khớp P (hình 1.12). Nếu bánh răng 1 là bánh dẫn quay theo chiều kim đồng hồ thì đường ăn khớp là k. Khi biên dạng đối tiếp đối phía, đường ăn khớp sẽ là k'. Nếu trên k' giữa hai biên dạng khe hở (ví dụ trên hình, nếu biên dạng của răng 2 ở vị trí biểu thị bằng nét chấm, khe hở là KK') thì biên dạng làm việc đối phía, trước hết xảy ra hiện tượng gián đoạn truyền chuyển động và sau đó là hiện tượng va đập. Hiện tượng này sẽ không xảy ra nếu không có khe hở biên dạng (khi biên dạng của răng 2 ở vị trí bằng nét liền). Hai bánh răng được gọi là ăn khớp khít nếu hai bánh răng ăn khớp không có khe hở biên dạng.

Điều kiện ăn khớp khít là trên vòng lăn chiều dày của bánh răng này phải bằng chiều rộng của bánh kia, nghĩa là:

$$s_{L1} = w_{L2}; w_{L1} = s_{L2} \quad (1.25)$$

Trong đó:

$s_{L1}, s_{L2}$ : Chiều dày răng của bánh thứ 1 và thứ 2.

$w_{L2}, w_{L1}$ : Chiều rộng rãnh của bánh răng thứ 1 và thứ 2.

Điều kiện ăn khớp khít chỉ thỏa mãn với một cặp vòng lăn nhất định, tức là với một khoảng cách tâm nhất định. Khi khoảng cách khác đi, điều kiện đó sẽ không được đảm bảo nữa.

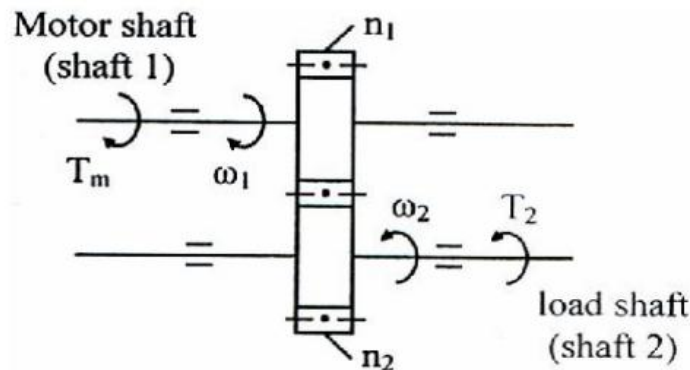
Trong thực tế có rất nhiều nguyên nhân khác nhau khiến cơ cấu bánh răng trong hệ thống truyền động điện không thỏa mãn các điều kiện ăn khớp đã nêu ở trên. Trong đó phải

kể đến quá trình thay đổi tốc độ hoặc đảo chiều quay theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất, quá trình bị mài mòn của cặp bánh răng ăn khớp, sự biến dạng của ổ, trục...

## 1.4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN HỌC

### 1.4.1. Xây dựng mô hình toán học theo các đặc trưng ăn khớp của cặp bánh răng

Để xây dựng mô hình toán học của truyền động có khe hở, xét mô hình truyền động bánh răng phẳng như hình 1.13:



Hình 1.13: Mô hình truyền động bánh răng phẳng

Bánh răng 1 có trục được nối cứng với trục động cơ điện được gọi là bánh răng chủ động, quay với tốc độ góc  $\omega_1$  (hoặc  $n_1$ ). Bánh răng 2 có trục nối với máy sản xuất gọi là bánh răng bị động quay với tốc độ góc  $\omega_2$  (hoặc  $n_2$ ). Các thông số được giả thiết như sau:

$r_{10} = 50$  mm: Bán kính thiết kế của hai bánh răng 1;

$r_{20} = 100$  mm: Bán kính thiết kế của hai bánh răng 2;

$r_1, r_2$ : Bán kính thực của bánh răng 1 và 2 (bán kính chế tạo);

$J = 0,4$  Nm: Momen quán tính ;

$\delta_1, \delta_2$ : Sai số giữa bán kính thiết kế và bán kính thực của bánh răng 1 và bánh răng 2.

Ta có:  $r_1 = r_{10} - \delta_1$

$r_2 = r_{20} - \delta_2$

Thực tế cho thấy các sai số  $\delta_1, \delta_2$  là một hàm phụ thuộc rất nhiều thông số ngẫu nhiên như: Độ chính xác khi gia công, sai số do thiết bị đo lường, phụ thuộc vào nhiệt, do biến dạng bề mặt, do bị mài mòn trong quá trình làm việc....

Xét tỉ số truyền giữa các cặp bánh răng:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_{10} - \delta_1}{r_{20} - \delta_2} = \frac{r_{10} - \delta_1}{r_{20} \left( 1 - \frac{\delta_2}{r_{20}} \right)} \quad (1.26)$$

Vì  $\left| \frac{\delta_2}{r_{20}} \right| \ll 1$  nên ta có thể triển khai biểu thức cuối cùng của (1.26) thành chuỗi

lũy thừa và giữ lại ở số hạng bậc nhất, ta có:

$$\frac{r_1}{r_2} \approx \frac{r_{10} - \delta_1}{r_{20}} \left( 1 + \frac{\delta_2}{r_{20}} \right) = \frac{r_{10}}{r_{20}} - \frac{\delta_1}{r_{20}} + \frac{r_{10}}{r_{20}} \cdot \frac{\delta_2}{r_{20}} - \frac{\delta_1 \delta_2}{r_{20}^2} \quad (1.27)$$

Bỏ qua các vô cùng bé bậc cao, ta được

$$\frac{r_1}{r_2} \approx \frac{r_{10}}{r_{20}} - \frac{\delta_1}{r_{20}} + \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \quad (1.28)$$

Theo (1.22) ta có:  $-\frac{r_2}{r_1} = \frac{O_2P}{O_1P} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = i_{12}$

Thay vào (1.28) ta được:

$$\Rightarrow \frac{\omega_2}{\omega_1} = -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \quad (1.30)$$

Nếu bỏ qua tổn thất do ma sát thì công suất truyền của cặp bánh răng là không đổi, nghĩa là:

$$T_1 \omega_1 = T_2 \omega_2 \rightarrow T_1 = T_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (1.31)$$

Trong đó:  $T_1$  là momen trên trục vào và  $T_2$  là momen trên trục ra. Thay (1.30) vào (1.31) ta được :

$$T_1 = T_2 \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \right) \quad (1.32)$$

Ở đây momen quay được truyền từ động cơ qua bộ truyền bánh răng đến tải. Giả thiết là độ cứng vững của các trục là vô cùng lớn. Gọi momen quán tính và hệ số ma sát nhớt trên các thành phần truyền động (bánh răng 1 và 2) lần lượt  $J_1, b_1$  và  $J_2, b_2$ . Áp dụng định lí momen động lượng cho các trục, ta có:

$$\text{Trục 1: } J_1 \dot{\omega}_1 + b_1 \omega_1 + T_1 = T_m \quad (1.33)$$

$$\text{Trục 2: } J_2 \dot{\omega}_2 + b_2 \omega_2 + T_L = T_2 \quad (1.34)$$

Ở đây:  $T_m$  là momen trên trục động cơ;  $T_1$  là momen trên bánh răng;  $T_2$  là momen truyền động trên bánh răng 2;  $T_L$  là momen tải.

Khử  $T_1$  và  $T_2$  từ phương trình (1.33) và (1.34) bởi (1.32)

$$J_1 \dot{\omega}_1 + b_1 \omega_1 + J_2 \dot{\omega}_2 + b_2 \omega_2 + T_L \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \right) = T_m \quad (1.35)$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} - \frac{\delta_1}{r_{20}} + \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \rightarrow \omega_2 = \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \right) \cdot \omega_1 \quad (1.36)$$

Thay (1.36) vào (1.35) ta có phương trình cân bằng momen của cơ cấu bánh răng khi tính đến ảnh hưởng của khe hở:

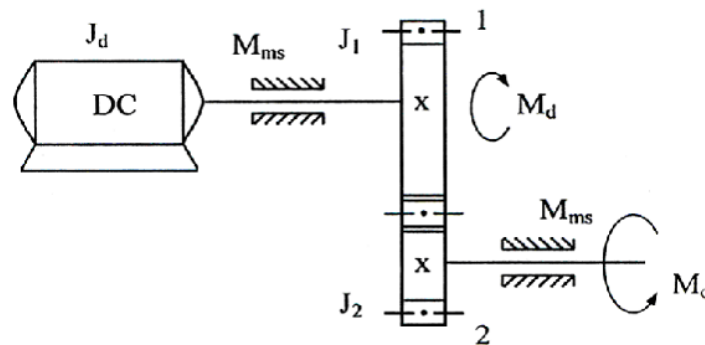
$$\left[ J_1 + \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \right)^2 \right] \dot{\omega}_1 + \left[ b_1 + \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\varepsilon_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \varepsilon_2 \right)^2 \right] \omega_1 + \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \right) T_L = T_m \quad (1.37)$$

Các phương trình (1.36) và (1.37) là phương trình cân bằng tốc độ và phương trình cân bằng momen của cơ cấu bánh răng có kể đến các sai lệch mang tính ngẫu nhiên  $\varepsilon_1$  và  $\varepsilon_2$ . Các phương trình này được sử dụng để khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của cơ cấu bánh răng đến chất lượng hệ thống truyền động có sự tham gia của chúng. Trong đó phương trình (1.36) dùng để đánh giá ảnh hưởng của cơ cấu bánh răng đến tốc độ cũng như vị trí, còn phương trình (1.37) dùng để đánh giá ảnh hưởng của cơ cấu đến momen.

#### 1.4.2. Xây dựng mô hình toán khi xét tới yếu tố đàn hồi c và momen ma sát $M_{ms}$

Trong khi nghiên cứu sự làm việc của bộ truyền động cơ khí nói chung và bộ truyền bánh răng nói riêng thường người ta giả thiết các vật liệu làm ra nó cứng tuyệt đối, có nghĩa là hoàn toàn không bị biến dạng dưới tác động của lực. Nhưng trong thực tế dưới tác động của lực bao giờ cũng xảy ra biến dạng, tuy nhiên để làm việc được và không xảy ra hiện tượng phá hủy, người ta chỉ cho phép lực tác động nằm trong một giới hạn nhất định để sao cho khi hết tác động của lực chỉ tiết trở về trạng thái ban đầu, hay nói cách khác nghiên cứu chi tiết làm việc trong giới hạn đàn hồi. Dưới đây xây dựng là mô hình thực nghiệm về bộ truyền bánh răng có tính đến yếu tố đàn hồi để tiến hành nghiên cứu chất lượng của bộ truyền khi kể đến ảnh hưởng của yếu tố đàn hồi.

##### a. Sơ đồ truyền động

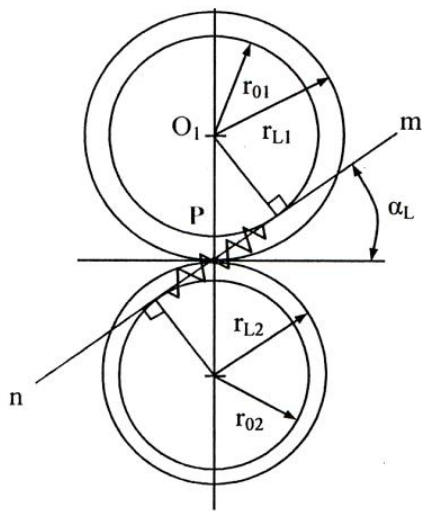


Hình 1.14. Sơ đồ truyền động

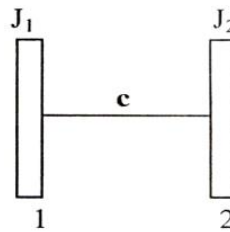
Trên hình 1.14 là sơ đồ truyền động từ động cơ qua bánh răng 1 tới bánh răng 2, trong đó kí hiệu:

- $J_d$  là momen quán tính khối lượng của rotor động cơ;
- $J_1$  là momen quán tính khối lượng của bánh răng 1 đối với trục đi qua trọng tâm;
- $J_2$  là momen quán tính khối lượng của bánh răng 2 đối với trục đi qua trọng tâm;
- $M_d$  là momen phát động của động cơ phát động;
- $M_c$  là momen cản;
- $M_{ms}$  là momen ma sát trong các ổ trục

**b. Sơ đồ tính toán động lực học:**



Hình 1.15a.



Hình 1.15b

**\* Độ cứng của bộ truyền bánh răng**

Với giả thiết làm các trục bánh răng có độ cứng tuyệt đối, còn vật liệu làm các bánh răng có bị biến dạng tại các điểm ăn khớp P, nếu răng của bánh răng có độ cứng tuyệt đối thì tỷ số truyền được viết như sau:

$$i_{12} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{r_{L2}}{r_{L1}} = -\frac{r_{20}}{r_{10}} = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad (1.38)$$

Khi đó:

$$\varphi_2 = i_{12} \cdot \varphi_1 \quad (1.39)$$

Trong đó:

$i_{12}$ : Tỷ số truyền của cặp bánh răng;

$\omega_1, \omega_2$ : Vận tốc góc của các bánh răng;

$r_{L1}, r_{L2}$ : Bán kính của các vòng tròn lăn;



$r_{10}, r_{20}$ : Bán kính của các vòng tròn cơ sở;

$z_1, z_2$ : Số răng của bánh răng.

Khi xem răng của các bánh răng trên hình 1.15a có bị biến dạng với độ cứng của nó là  $c$  thì mô hình cặp bánh răng ăn khớp có thể được biểu diễn dưới mô hình 1.15b. Trong đó  $c$  được gọi là độ cứng của bánh răng. Độ cứng  $c$  của bánh răng thực phụ thuộc vào các thông số chế tạo và vật liệu làm các bánh răng, nên việc xác định độ cứng của bánh răng có thể được xác định bằng thực nghiệm để đo hệ số  $k_1, k_2$  hoặc bằng tính toán cụ thể như sau:

$$c = \frac{r_{L1}^2}{\left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)} \quad (1.40)$$

Trong đó các hệ số biến dạng  $k_1, k_2$  được tính theo công thức:

$$k = \frac{1}{\left( \frac{h}{\beta SG} + \frac{h^3}{3EI} \right)} \quad (1.41)$$

Trong đó:

$h$ : Chiều cao của răng;

$S$ : Diện tích đế răng;

$E$ : Module đàn hồi kéo nén của vật liệu làm bánh răng;

$G$ : Module đàn hồi trượt;

$I$ : Momen quán tính của tiết diện đế răng đối với đường trung hòa của tiết diện đế răng;

$\beta$ : Hệ số dạng răng khi trượt.

Cũng có thể sử dụng công thức tính độ cứng của bánh răng như sau:

$$c = \frac{Ed \left( 1 - \frac{0,65h_c}{d_c} \right)}{\sqrt{0,3 + \frac{5,4h_c}{d_c}}} \quad (1.42)$$

Trong đó:

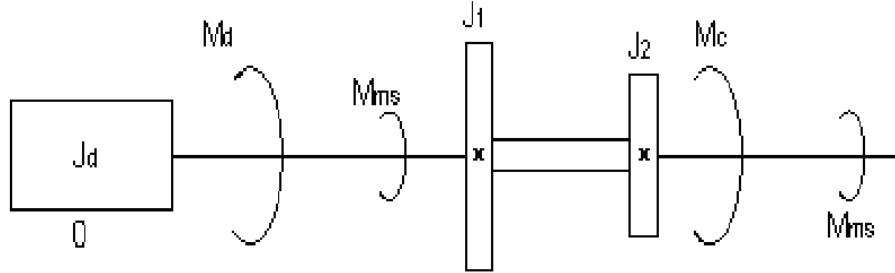
$E$ : module đàn hồi kéo nén của vật liệu làm bánh răng;

$d$ : đường kính vòng tròn chia;  $d = mz$  với  $m$ : module của bánh răng;  $z$ : số răng;

$h_c$ : chiều cao răng;

$d_c$ : đường kính vòng tròn chân răng.

Trong thực tế độ cứng  $c$  của cặp bánh răng trong quá trình ăn khớp là một hàm phi tuyến do các hệ số  $k_1, k_2$  thay đổi, khi tiếp xúc của hai biên dạng đối tiếp dịch chuyển từ chân răng đến đỉnh răng trong quá trình ăn khớp. Tuy nhiên, trong một phạm vi gần đúng nhất định có thể xem như phi tuyến. Sơ đồ động lực học:



Hình 1.16: Sơ đồ động lực học

### c. Thiết lập phương trình động lực học

Dựa trên định luật Niu tơn về chuyển động, xét với trường hợp chỉ có một cặp biên dạng đối tiếp đang tiếp xúc với nhau tại điểm tâm ăn khớp P trong đoạn ăn khớp thực của cặp bánh răng và gọi  $\omega_1, \dot{\omega}_1; \omega_2, \dot{\omega}_2$  là vận tốc góc và gia tốc góc của các bánh răng 1 và 2. Ta thiết lập được phương trình động lực học của một cặp bánh răng như sau:

$$\begin{cases} J_1' \dot{\omega}_1 + b_1 \omega_1 + M_{dh1} = M_d \\ J_2 \dot{\omega}_2 + b_2 \omega_2 - M_{dh2} = -M_{tai} \end{cases}$$

Trong đó:

$$J_1' = J_d + J_1$$

$M_{dh1}, M_{dh2}$ : là các mô men đàn hồi

$M_d$ : mô men phát động động cơ

$M_{tai}$ : tùy thuộc vào dạng của tải trọng, ví dụ  $M_{tai} = M_{tai}(\omega_2, \omega_1, t)$

$M_{ms}$ : Giả thiết với trường hợp các ổ có được bôi trơn bằng dầu, khi đó lực ma sát tỉ lệ với vận tốc. Ta có phương trình sau:

$$\begin{cases} J_1' \dot{\omega}_1 + b_1 \omega_1 + M_{dh1} = M_d \\ J_2 \dot{\omega}_2 + b_2 \omega_2 - M_{dh2} = -M_c \end{cases} \quad (1.43)$$

Nếu bỏ qua tổn thất do ma sát thì công suất truyền của cặp bánh răng là không đổi, nghĩa là:

$$M_{dh1} \cdot \omega_1 = M_{dh2} \cdot \omega_2 \rightarrow M_{dh1} = M_{dh2} \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (1.44)$$

Thay (1.36) vào (1.44) ta có:

$$M_{dh1} = M_{dh2} \left[ -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \cdot \delta_2 \right] \quad (1.45)$$

Khử  $M_{dh1}$  và  $M_{dh2}$  từ phương trình (1.45) bởi (1.36) ta có

$$J_1' \dot{\omega}_1 + b_1 \omega_1 + (J_2 \dot{\omega}_2 + b_2 \omega_2 + M_c) \left[ -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right] = M_d \quad (1.46)$$

$$J_2 \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right) \dot{\omega}_2 + b_2 \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right) \omega_2 + \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right) M_c = M_d - J_1' \dot{\omega}_1 - b_1 \omega_1 \quad (1.47)$$

Các phương trình (1.36) và (1.47) là phương trình cân bằng tốc độ và phương trình cân bằng mô men của cơ cấu bánh răng có kể đến các sai lệch khe hở mang tính chất ngẫu nhiên  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  và kể đến ảnh hưởng của tính đàn hồi của các bánh răng, các trục và kể đến ma sát giữa các ổ trục. Các phương trình này được sử dụng để khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của cơ cấu bánh răng đến chất lượng hệ thống truyền động có sự tham gia của chúng.

### Kết luận chương 1.

Trên cơ sở các phân tích ở trên, cho thấy trong hệ truyền động bánh răng luôn tồn tại nhược điểm là chịu các ảnh hưởng của đàn hồi, ma sát, khe hở đến chuyển động hệ. Trong thực tế, một lượng nhỏ ma sát hầu như luôn tồn tại trong phần cơ hệ thống, ma sát tĩnh có hai tác động cơ bản đến hệ cơ điện, đó là: Một phần mô men hoặc lực của cơ cấu chấp hành bị mất đi do phải thắng lực ma sát dẫn đến không hiệu quả về năng lượng. Khi cơ cấu chấp hành dịch chuyển hệ thống đến vị trí cuối cùng, vận tốc gần bằng không và mô men lực của cơ cấu chấp hành sẽ tiệm cận giá trị cân bằng một cách chính xác với các trọng lực và ma sát. Do ma sát tĩnh có thể nhận được bất kỳ giá trị nào tại vận tốc không, cơ cấu chấp hành sẽ có sự khác nhau nhỏ giữa các vị trí nghỉ cuối cùng – phụ thuộc vào giá trị cuối cùng của ma sát tĩnh. Tác động này làm giảm khả năng lặp lại của hệ cơ điện.

Khi xuất hiện các khe hở sẽ làm sai lệch truyền động, giảm độ chính xác đối với các hệ điều khiển vị trí, khe hở có thể làm giảm tuổi thọ của các chi tiết cơ khí, phát ra tiếng ồn, gây rung động, sự ổn định và hiệu suất của hệ thống bị thay đổi... Các hệ bánh răng khác nhau đều có đặc điểm, tính chất, ứng dụng ở các loại máy móc khác nhau và có các tác động ảnh hưởng của khe hở đến từng hệ thống cũng khác nhau.

Trong thực tế có rất nhiều nguyên nhân khác nhau khiến các cơ cấu bánh răng trong hệ thống truyền động điện không thoả mãn các điều kiện ăn khớp đã nêu ở trên. Trong số đó phải kể đến quá trình thay đổi tốc độ hoặc đảo chiều quay theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất, quá trình bị mài mòn của cặp bánh răng ăn khớp, sự biến dạng của ổ trục,...

---

**CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN**

---

**2.1. GIỚI THIỆU CHUNG**

Hệ thống điều khiển nói chung bao gồm các hệ tuyến tính và các hệ phi tuyến, trong đó hệ phi tuyến mang đặc điểm và tính chất đa dạng, phức tạp hơn nhiều so với hệ tuyến tính. Thông thường khi khảo sát các hệ tuyến tính do đại đa số các phần tử trong hệ là tuyến tính và thường được giả thiết là hệ thống tuyến tính nên việc phân tích, tính toán, tổng hợp được áp dụng theo các phương pháp tuyến tính. Như vậy chỉ đúng trong những điều kiện nhất định.

Thực tế chúng ta thấy trong hệ chỉ cần một phần tử mang tính chất phi tuyến thì hệ phải được xem là phi tuyến. Hệ phi tuyến tồn tại dưới hai hình thức: Một là các khâu phi tuyến có sẵn trong hệ điều khiển đã được xem như là phần tử tuyến tính, hai là các khâu phi tuyến được người thiết kế đưa vào nhằm đạt được một chế độ hay một kết quả mong muốn trong điều khiển.

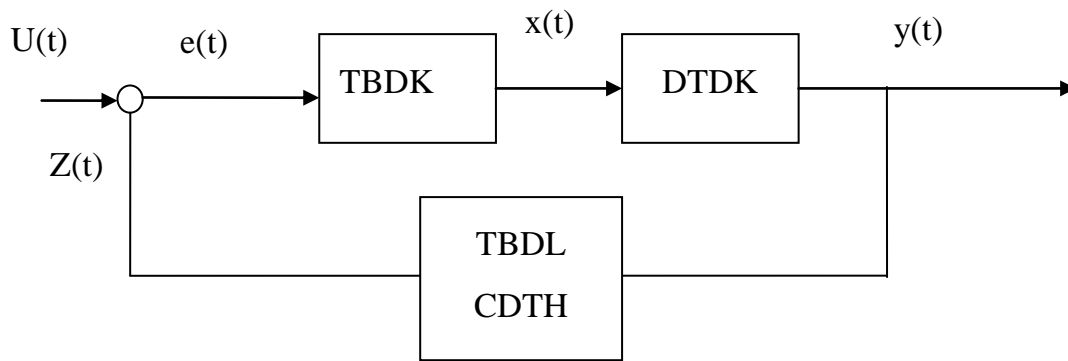
Vì vậy cần thiết phải tính đến ảnh hưởng của những phần tử phi tuyến đối với hệ, biết đến đặc điểm và tính chất mang tính phi tuyến của hệ nói chung cũng như của các phần tử của nó nói riêng để khảo sát, tính toán và tổng hợp được bộ điều khiển đảm bảo chất lượng điều khiển cần đạt tới.

Hệ điều chỉnh tự động là khâu cuối cùng tác động trực tiếp lên đối tượng điều khiển, chất lượng của các quá trình này ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng của các quá trình công nghệ trong sản xuất. Chất lượng của hệ thống điều khiển tự động được đánh giá bởi tính ổn định và các chỉ tiêu khác của quá trình xác lập và quá độ. Tính ổn định của hệ thống là chỉ tiêu đánh giá hệ thống có thể làm việc được hay không, trong đó chất lượng động là một yếu tố ảnh hưởng lớn đến hệ thống điều khiển tự động. Việc lựa chọn phương pháp điều khiển phù hợp sẽ nâng cao chất lượng hệ thống điều khiển tự động.

Bộ điều khiển PID là một cơ chế điều khiển lặp hồi tiếp được sử dụng rộng rãi trong hệ thống điều khiển công nghiệp do dễ áp dụng và dễ sử dụng. Một bộ điều khiển PID cố gắng điều chỉnh giữa giá trị biến đo được và giá trị mong muốn đạt được bằng cách tính toán và xuất ra một “hành động điều chỉnh” nhanh chóng để giữ cho lỗi ở mức nhỏ nhất có thể được.

**2.1.1. Cấu trúc chung của hệ thống điều khiển**

Cấu trúc chung của hệ thống điều khiển như hình 2.1



Hình 2.1. Cấu trúc chung của hệ thống điều khiển

Trong đó:

- ĐTDK: Đối tượng điều khiển;
- TBDK: Thiết bị điều khiển;
- TBDL- CDTH: Thiết bị đo lường và chuyển đổi tín hiệu.

Hình 2.1: Cấu trúc chung của hệ thống điều khiển

$u(t)$ : Là tín hiệu vào của hệ thống, còn gọi là tín hiệu đặt hay lượng chủ đạo để xác định điểm làm việc của hệ thống;

$y(t)$ : Tín hiệu đầu ra của hệ thống, đây chính là đại lượng điều chỉnh;

$x(t)$ : Tín hiệu điều khiển tác động lên đối tượng;

$e(t)$ : Tín hiệu phản hồi.

Thiết bị điều khiển là thành phần quan trọng nhất để duy trì chế độ làm việc cho cả hệ thống điều khiển.

## 2.1.2. Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng hệ điều khiển

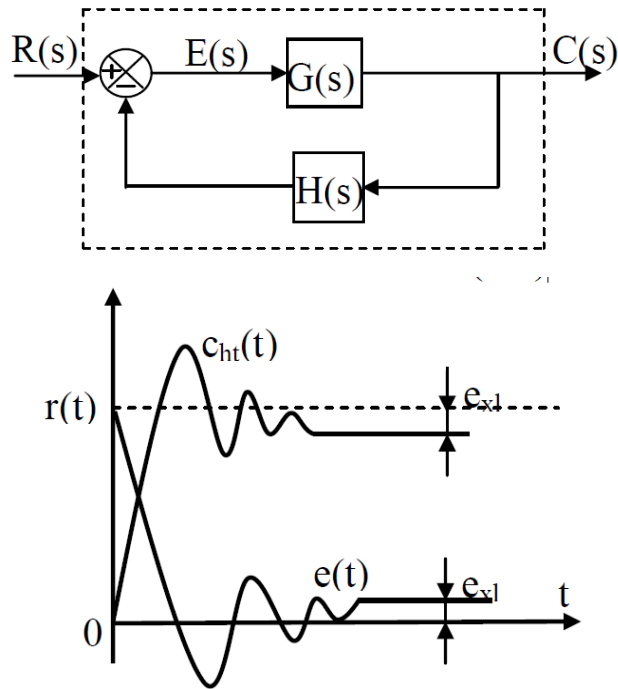
### 2.1.2.1. Chỉ tiêu chất lượng tĩnh

Chỉ tiêu chất lượng tĩnh được đánh giá bằng sai số xác lập (sai lệch tĩnh): Là sai lệch của lượng ra so với yêu cầu khi quá trình điều khiển đã kết thúc.

Sai số xác lập: Là sai số của hệ thống khi thời gian tiến đến vô cùng

$$e_{xl} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$$

$$e_{xl} = \lim_{s \rightarrow 0} s.E(s)$$

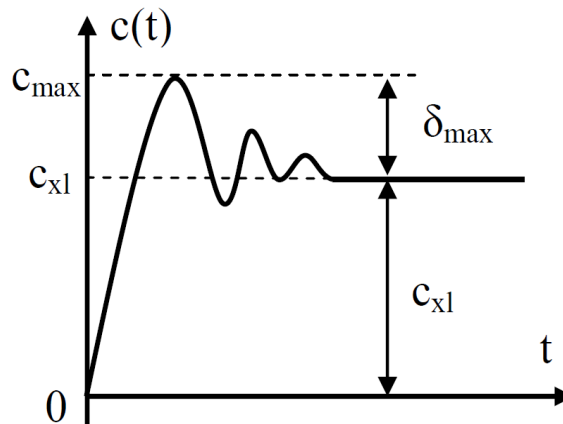


Hình 2.2: Thể hiện đặc tính của sai số xác lập

### 2.1.2.2. Chỉ tiêu chất lượng động

Chất lượng động của hệ thống được đánh giá qua 3 tiêu chí cơ bản: Lượng quá điều chỉnh, thời gian quá độ và số lần dao động

**a. Lượng quá điều chỉnh** : Là lượng sai lệch đáp ứng của hệ thống so với giá trị xác lập của nó.



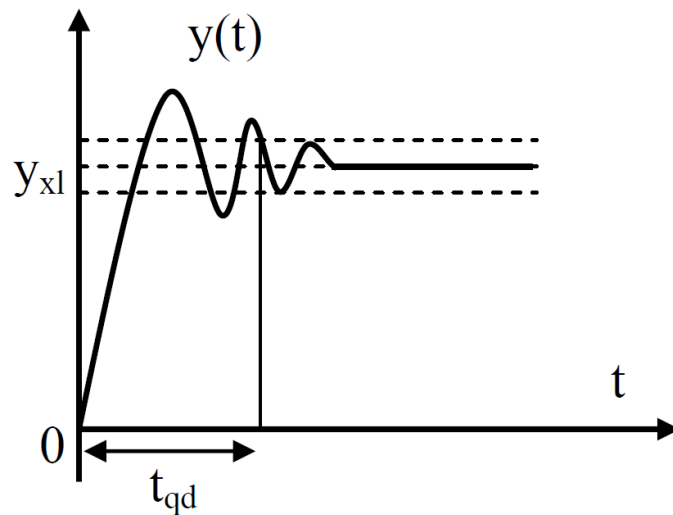
Hình 2.3. Đặc tính của lượng quá điều chỉnh

Lượng quá điều chỉnh  $\delta_{\max}$  (Percent of Overshoot- POT) được tính bằng công thức:

$$\delta_{\max} = \frac{e_{\max} - e_{xl}}{e_{xl}} \cdot 100\%$$

**b. Thời gian quá độ**

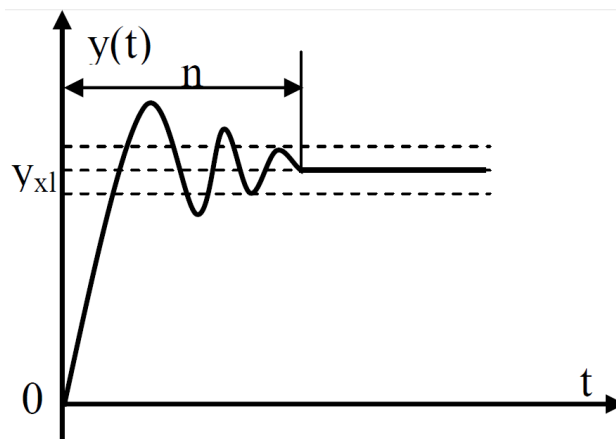
Thời gian quá độ ( $t_{qd}$ ): là thời gian kể từ khi có tác động vào hệ thống (khởi động hệ thống) cho đến khi sai lệch của quá trình điều khiển nằm trong giới hạn cho phép  $\varepsilon\%$ .  $\varepsilon\%$  thường được chọn là 2% (0.02) hoặc 5% (0.05)



Hình 2.4. Thể hiện đặc tính của thời gian quá độ

### c. Số lần dao động

$n$  là số lần dao động của  $y(t)$  xung quanh giá trị  $y_{xl}$



Hình 2.5. Thể hiện đặc tính của số lần dao động

Giá trị  $n$  càng nhỏ càng tốt. Giá trị  $n$  do yêu cầu thiết kế đặt ra, thường  $n \leq 3$ .

### 2.1.3. Các hệ điều khiển kinh điển

Lý thuyết điều khiển kinh điển ra đời rất sớm và đã có nhiều đóng góp quan trọng trong các lĩnh vực của điều khiển về kỹ thuật. Việc tổng hợp các hệ điều khiển có thể chia thành 2 loại: Hệ điều khiển tuyến tính và hệ điều khiển phi tuyến.

#### 2.1.3.1. Tổng hợp bộ điều khiển tuyến tính

Các bộ điều chỉnh PID tuyến tính (bao gồm P, PI, PD và PID) đã được nghiên cứu và phát triển tới mức hoàn thiện. Để xác định được thông số tối ưu, phương pháp module đối

xứng và các phần mềm lập trình chuyên dụng để tự động xác định tối ưu các thông số PID. Đặc điểm của phương pháp này là cần biết chính xác mô hình của đối tượng.

### 2.1.3.2. Tổng hợp bộ điều khiển phi tuyến

Thực tế các hệ thống và các đối tượng vật lý ít nhiều đều có tính phi tuyến, chúng chỉ tuyến tính trong một vùng làm việc nào đó. Vì vậy việc nghiên cứu tổng hợp hệ phi tuyến có ý nghĩa rất phổ biến và thực tiễn. Các phương pháp phân tích, tổng hợp hệ phi tuyến không tiến bộ nhanh như hệ tuyến tính và hiện nay còn đang trong giai đoạn phát triển. Hệ phi tuyến có những đặc điểm riêng khác hẳn hệ tuyến tính, ví dụ như: tính tạo tần, tính phi tuyến, tính xếp chồng. Vì vậy để phân tích và tổng hợp hệ phi tuyến ta phải dùng các phương pháp tuyến tính hóa.

Tuyến tính hóa là phương pháp xấp xỉ những phương trình vi phân không tuyến tính bằng những phương trình tuyến tính. Vì các phương pháp tổng hợp và phân tích các hệ tuyến tính rất phong phú nên biện pháp đầu tiên để tổng hợp và phân tích các hệ phi tuyến là biến nó thành tuyến tính. Như người ta đã thường nói: “Nếu chỉ có một công cụ duy nhất là cái búa, hãy làm cho mọi bài toán giống như cái đinh”.

Điều kiện đặt ra khi tuyến tính hóa là mô hình tuyến tính ấy làm việc ở lân cận “điểm làm việc” hay “trạng thái cân bằng”. Mức độ thay đổi quanh điểm làm việc của các biến tùy thuộc vào hai yếu tố: một là bản chất của tính phi tuyến (mức độ chênh lệch so với đặc tính tuyến tính), hai là độ chính xác tương đối mà ta mong muốn đối với mô hình tương đối thật.

Tuy nhiên việc dùng mô hình tuyến tính chính xác trong phạm vi thay đổi nhỏ của các biến có ý nghĩa thực tế. Nguyên nhân là nhiều hệ điều khiển tự động thực tế được thiết kế duy trì một trạng thái cân bằng mong muốn. Lý do khác là ngay ở các hệ phi tuyến rõ rệt, nhưng nhiễu loạn bé làm chênh lệch khỏi nghiệm của phương trình phi tuyến thường có thể được mô tả bằng mô hình tuyến tính.

Các phương pháp thường dùng là:

- Phương pháp tuyến tính hóa gần đúng: Được áp dụng cho các hệ gần tuyến tính, lúc đó sai lệch so với tuyến tính không quá lớn. Khi hệ thống làm việc ở lân cận một điểm nào đó ta có thể coi vùng làm việc đó của hệ là tuyến tính.

- Phương pháp tuyến tính hóa điều hòa: Là phương pháp khảo sát hệ thống trong miền tần số gần giống với tiêu chuẩn Nايquist, phương pháp này còn được gọi là



phương pháp hàm mô tả. Việc dùng hàm mô tả là một cố gắng để mở rộng gần đúng hàm truyền của hệ tuyến tính sang hệ phi tuyến.

Hàm mô tả (hay hệ số khuếch đại phức) của khâu phi tuyến là tỉ số giữa thành phần cơ bản của đáp ứng đầu ra với kích thích hình sin ở đầu vào. Nếu một hệ có chứa nhiều khâu phi tuyến ta phải gộp tất cả chúng lại để được hàm mô tả tổ hợp.

Phương pháp này cho phép đưa ra kết quả hợp lí và có thể dùng cho các bậc bất kì, xong vì là phương pháp gần đúng nên phải kiểm tra lại độ chính xác bằng các kĩ thuật khác hoặc bằng mô phỏng trên máy tính.

- Phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn: Từ đặc tuyến phi tuyến của hệ ta có thể chia thành nhiều đoạn nhỏ, mỗi đoạn nhỏ coi là đoạn thẳng và được mô tả bởi phương trình tuyến tính. Phương pháp này có ưu điểm là tạo ra lời giải tương đối chính xác cho hệ phi tuyến bất kì. Phương trình vi phân dẫn ra trên mỗi đoạn là tuyến tính và có thể giải được dễ dàng bằng các kĩ thuật tuyến tính thông dụng.

- Phương pháp mặt phẳng pha: Dùng cho các hệ phi tuyến bậc 2. Sự tác động của bộ phận điều chỉnh được phân làm 2 vùng: vùng tác động lớn và vùng tác động nhỏ. Vùng tác động lớn tồn tại khi hệ thống ở xa trạng thái cân bằng, khi có tác động lớn hệ thống sẽ nhanh chóng dịch chuyển về trạng thái cân bằng với tốc độ dịch chuyển lớn như vậy hệ thống dễ dàng vượt qua trạng thái cân bằng và gây ra độ quá điều chỉnh lớn, đây là điều không mong muốn. Vì vậy khi hệ thống gần đến trạng thái cân bằng, cần phải chuyển sang vùng tác động nhỏ để giảm độ quá điều chỉnh. Xuất phát từ ý tưởng đó các bộ điều chỉnh có cấu trúc thay đổi ra đời phát triển đã đáp ứng phần nào yêu cầu nâng cao chất lượng hệ điều khiển phi tuyến.

Trong một thời gian dài kể từ khi ra đời, lí thuyết điều khiển kinh điển đã có nhiều đóng góp để giải quyết các bài toán điều khiển trong thực tế. Tuy nhiên chất lượng của hệ thống cũng chỉ đạt được ở mức độ còn nhiều hạn chế, đặc biệt là đối với hệ phi tuyến. Với sự ra đời của các lí thuyết điều khiển hiện đại như điều khiển mờ, điều khiển thích nghi, điều khiển nơ ron... đã tạo điều kiện thuận lợi để các nhà kĩ thuật nghiên cứu ứng dụng nhằm ngày càng nâng cao chất lượng của hệ thống điều khiển tự động, nhất là đối với các hệ thống lớn, hệ có tính phi tuyến mạnh và khó mô hình hoá.

## 2.2. ĐIỀU KHIỂN PID TUYẾN TÍNH

Khi khảo sát đặc tính động học của một đối tượng điều khiển hay một hệ thống, do đa số các phần tử trong hệ thống là tuyến tính và để đơn giản các đối tượng khảo sát người ta thường coi là tuyến tính. Khi đó hệ thống được mô tả bằng một hệ phương trình vi phân tuyến tính để khảo sát hệ thống có một số ưu điểm sau:

- Mô hình đơn giản, các tham số mô hình tuyến tính dễ dàng xác định bằng phương pháp kinh điển, thực nghiệm.
- Phương pháp tổng hợp bộ điều khiển đơn giản.
- Cấu trúc đơn giản của mô hình cũng như bộ điều khiển cho phép chỉnh định lại thông số cũng như cấu trúc của bộ điều khiển cho phù hợp với yêu cầu đề ra.

Do những ưu điểm trên mà lý thuyết điều khiển tuyến tính đã tìm được miền ứng dụng lớn. Ngay cả trong trường hợp đối tượng hay hệ thống là phi tuyến, người ta cũng tìm cách thay thế gần đúng bằng một mô hình tuyến tính để dễ thực hiện bài toán tổng hợp và phân tích hệ. Tuy nhiên như vậy để có được kết quả điều khiển như mong muốn là vấn đề khó đạt được.

### 2.2.1 Bộ điều khiển tỷ lệ, vi phân, tích phân

Nhiều năm trước đây các luật điều khiển này chiếm ưu thế trong ngành tự động hoá, có thể coi là bộ điều khiển lý tưởng cho các đối tượng liên tục.

Các bộ điều khiển PI, PD, PID, thực sự là các bộ điều khiển động mà việc thay đổi tham số của nó có khả năng làm thay đổi đặc tính động và tĩnh của hệ thống.

#### 2.2.1.1 Bộ điều khiển tỷ lệ ( $p$ ):

Tín hiệu điều khiển  $u(t)$  tỷ lệ với tín hiệu vào  $e(t)$

Phương trình vi phân mô tả động học

$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

trong đó:  $u(t)$  là tín hiệu ra của bộ điều khiển

$e(t)$  là tín hiệu vào

$K_p$  là hệ số khuếch đại của bộ điều khiển

+ Hàm truyền đạt trong miền ảnh Laplace

$$W_p = U(p)/E(p) = K_p$$

+ Hàm truyền đạt trong miền tần số

$$W(j\omega) = K_p$$

+ Hàm quá độ là hàm mô tả tác động tín hiệu vào  $1(t)$

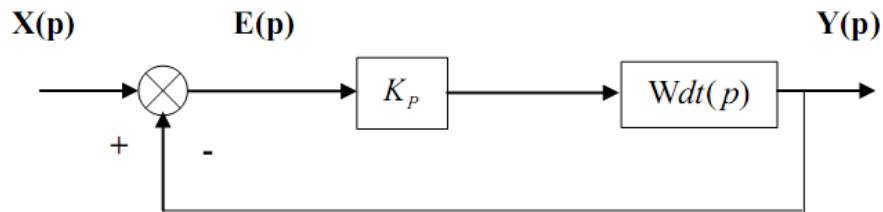
$$h(t) = K_p \cdot 1(t)$$

+ Hàm quá độ xung

$$W(t) = \frac{dh(t)}{dt} = K_p \delta(t)$$

Trong đó:  $\delta(t)$  là xung dirac

+ Sai lệch hệ thống:



Hình 2.6. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển tỷ lệ  $K_p$

Sai lệch hệ thống được tính:  $\delta = \lim_{p \rightarrow 0} E(p)$

Ta có:  $E(p) = X(p) - Y(p) = X(p) - K_p \cdot Wdt(p) \cdot E(p)$

$$\Rightarrow E(p) = \frac{1}{1 + K_p \cdot Wdt(p)} X(p)$$

Xét trường hợp tổng quát:

$$W(t) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n} \quad (2.1)$$

Trong đó  $m = n-1$

- Ưu điểm: Bộ điều khiển tỷ lệ có tính tác động nhanh khi đầu vào có tín hiệu sai lệch thì tác động ngay tín hiệu đầu ra.

- Nhược điểm: Hệ thống luôn tồn tại sai lệch dư, khi tín hiệu sai lệch đầu vào của bộ điều khiển bé thì không gây tín hiệu tác động điều khiển. Muốn khắc phục nhược điểm này thì ta phải tăng hệ số khuếch đại  $K_p$ . Như vậy hệ thống sẽ kém ổn định.

### 2.2.1.2. Bộ điều khiển tích phân (I):

Tín hiệu điều khiển  $U(t)$  tỷ lệ với tích phân của tín hiệu vào  $e(t)$

Phương trình vi phân mô tả động học

$$\int U(t) = K \int_0^t e(t) dt = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Trong đó :  $U(t)$  là tín hiệu điều khiển

$e(t)$  là tín hiệu vào của bộ điều khiển

$T_1$  là hằng số thời gian tích phân

+ Hàm truyền trong miền ảnh laplace.

$$W_1(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = \frac{1}{T_1 \cdot p}$$

+ Hàm truyền trong miền tần số.

$$W(j\omega) = \frac{1}{T_1 \cdot j\omega} = j \frac{1}{T_1 \omega} = \frac{1}{T_1 \omega} \cdot e^{j\frac{\pi}{2}}$$

Trong đó:  $A(\omega) = \frac{1}{T_1 \omega}$  ;  $\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2}$

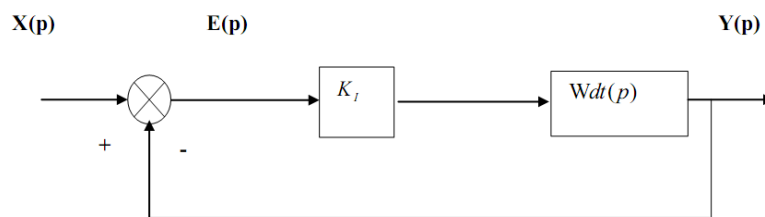
+ Hàm quá độ.

$$h(t) = \frac{1}{T_1} \int_0^t 1(t) dt = \frac{1}{T_1} \cdot t$$

+ Hàm quá độ xung.

$$W(t) = \frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{T_1}$$

+ Sai lệch hệ thống:



Hình 2.7. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển tích phân  $K_i$

Sai lệch hệ thống được tính:

$$\varphi = \lim_{p \rightarrow 0} E(p)$$

Ta có:

$$E(p) = X(p) - \frac{1}{T_1 \cdot p} \cdot Wdt(p) \cdot E(p)$$

$$\Rightarrow E(p) = \frac{1}{1 + \frac{1}{T_1 \cdot p} \cdot Wdt(p)} \cdot X(p)$$

Xét trường hợp tổng quát

$$W(t) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n} \quad (2.2)$$

Trong đó:

$$m = n - 1$$

Tín hiệu vào bậc thang:

$$X(t) = 1(t) \Rightarrow X(p) = A/p$$

$$\delta = \lim_{p \rightarrow 0} \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{K_I \cdot p} \cdot \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}} \cdot \frac{A}{p} \right) = 0$$

\* Ưu điểm: Bộ điều khiển tích phân loại bỏ được sai lệch dư của hệ thống, ít chịu ảnh hưởng tác động của nhiễu cao tần.

\* Nhược điểm: Bộ điều khiển tác động chậm nên tính ổn định của hệ thống kém

2.2.1.3. Bộ điều khiển vi phân D:

Tín hiệu ra của bộ điều khiển tỷ lệ với vi phân tín hiệu vào.

Phương trình vi phân mô tả động học:

$$U(t) = T_D \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

Trong đó:  $e(t)$  Là tín hiệu vào của bộ điều khiển

$U(t)$  Là tín hiệu điều khiển

$T_D$  : Là hằng số thời gian vi phân

+ Hàm truyền trong miền Laplace:

$$W(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = T_D \cdot p$$

+ Hàm truyền trong miền tần số:

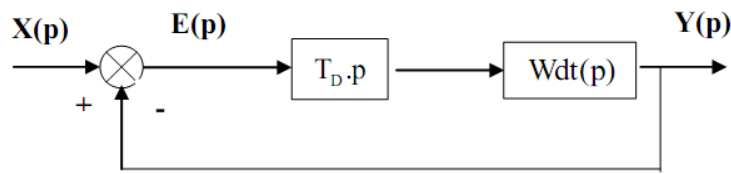
$$W(j\omega) = T_D \cdot j\omega = T_D \cdot \omega e^{j\frac{\pi}{2}}$$

Trong đó:  $A(\omega) = T_D \omega$  ;  $\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2}$

+ Hàm quá độ:  $h(t) = T_D \frac{d1(t)}{dt} = T_D \delta(t)$

+ Hàm quá độ xung :  $W(t) = \frac{dh(t)}{dt} = T_D \delta(t)$

+ Sai lệch của hệ thống:



Hình 2.8. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển vi phân Kd

+ Sai lệch của hệ thống được tính:

$$\delta = \lim_{p \rightarrow 0} E(p)$$

$$E(p) = X(p) - Y(p) = X(p) - T_D \cdot p \cdot Wdt(p) \cdot E(p)$$

$$\text{Ta có : } \Rightarrow E(p) = \frac{1}{1 + T_D \cdot p \cdot Wdt(p)} \cdot X(p)$$

Trường hợp tổng quát:

$$W(t) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}$$

Trong đó :  $m = n - 1$

Khi tín hiệu vào là tín hiệu bậc thang

$$X(t) = 1(p) \rightarrow X(p) = A/p$$

$$\delta = \lim_{p \rightarrow 0} \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{K_D \cdot p} \cdot \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}} \cdot \frac{A}{p} \right) \neq 0$$

\* Ưu điểm: Luật điều khiển vi phân đặc tính tác động nhanh, đây là một đặc tính mà trong điều khiển tự động thường rất mong muốn.

\* Nhược điểm: Khi hệ thống dùng bộ điều khiển có luật vi phân thì hệ thống dễ bị tác động bởi nhiễu cao tần. Đây là loại nhiễu thường tồn tại trong công nghiệp.

### 2.2.2. Các bộ điều khiển tỷ lệ tích phân, tỷ lệ vi phân, tỷ lệ vi tích phân.

Các luật tỷ lệ, tích phân, vi phân thường tồn tại những nhược điểm riêng. Do vậy để khắc phục những nhược điểm trên người ta thường kết hợp các luật đó lại để có bộ điều khiển loại bỏ nhược điểm đó, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật của hệ thống trong công nghiệp.

#### 2.2.2.1 Bộ điều khiển tỷ lệ tích phân (PI)

Phương trình vi phân mô tả quan hệ vào ra của bộ điều khiển

$$U(t)=K_1e(t)+K_2\int_0^te(t)dt$$

$$U(t)=K_p\left(e(t)+\frac{1}{T_I}\int_0^te(t)dt\right)$$

Trong đó:  $e(t)$  Là tín hiệu vào của bộ điều khiển

$U(t)$ : Là tín hiệu ra của bộ điều khiển

$K_p=K_1$  : Là hệ số khuếch đại

$T_I=\frac{K_1}{K_2}$  : Là hằng số thời gian tích phân

+ Hàm truyền đạt trong miền ảnh Laplace

$$W(p)=\frac{U(p)}{E(p)}=K_p\left(1+\frac{1}{T_I.p}\right)$$

+ Hàm truyền đạt trong miền tần số:

$$W(j\omega)=\frac{U(j\omega)}{E(j\omega)}$$

$$W(j\omega)=K_p\left(1+\frac{1}{T_I.j\omega}\right)=A(\omega).e^{j\varphi(\omega)}$$

$$\text{Trong đó: } A(\omega)=K_p.\sqrt{1+\frac{1}{T_I^2.\omega^2}}; \quad \varphi(\omega)=\text{artg}\left(-\frac{1}{T_I\omega}\right)$$

+ Hàm quá độ:

$$h(t)=K_p\left(1(t)+\frac{1}{T_I}\int_0^t1(t)dt\right)=K_p\left(1+\frac{1}{T_I}t\right)$$

+ Hàm quá độ xung:

$$w(t)=K_p\left(\delta(t)+\frac{1}{T_I}\right)$$

Ta nhận thấy trong bộ điều khiển có hai tham số  $K_p$  và  $T_I$ , khi ta cho  $T_I$  tiến đến vô cùng thì bộ điều khiển làm việc theo luật tỷ lệ. khi  $K_p = 0$  thì bộ điều khiển làm việc theo luật tích phân.

Tín hiệu ra của bộ điều khiển lệch pha so với tín hiệu vào một góc  $\alpha$ ,  $\left(-\frac{\pi}{2} < \alpha < 0\right)$

Bộ điều khiển triệt tiêu sai lệch dư của hệ thống, và đáp ứng được tính tác động nhanh. Bằng thực nghiệm hoặc lý thuyết ta xác định các tham số  $K_p$ ,  $T_i$  để bộ điều khiển đáp ứng đặc tính theo yêu cầu của hệ thống.

### 2.2.2.2 Bộ điều khiển tỷ lệ vi phân PD

Phương trình mô tả quan hệ tín hiệu vào và tín hiệu ra của bộ điều khiển.

$$U(t) = K_1 e(t) + K_2 \frac{de(t)}{dt}$$

$$U(t) = K_p \left( e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Trong đó :

$e(t)$  : Là tín hiệu vào của bộ điều khiển

$U(t)$  : Là tín hiệu ra của bộ điều khiển

$K_p = K_1$  : Là hệ số khuếch đại

$T_d = \frac{K_1}{K_2}$  : Là hằng số thời gian vi phân

+ Hàm truyền đạt trong miền Laplace :

$$W(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = K_p (1 + T_D \cdot p)$$

+ Hàm truyền trong miền tần số:

$$W(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{E(j\omega)} = K_p (1 + jT_D \omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$$

Trong đó:

$$A(\omega) = K_p \sqrt{1 + T_D^2 \cdot \omega^2}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg(T_D \cdot \omega)$$

+ Hàm quá độ:

$$h(t) = K_p \left( 1(t) + T_D \frac{d1(t)}{dt} \right) = K_p (1(t) + T_D \delta(t))$$

+ Hàm quá xung:

$$W(t) = K_p (\delta(t) + T_D \delta'(t))$$

Khi hệ thống sử dụng bộ điều khiển tỷ lệ vi phân dễ bị tác động bởi nhiễu cao tần. Tồn tại sai lệch dư, nhưng đáp ứng được tính tác động nhanh.



### 2.2.2.3. Bộ điều khiển tỷ lệ vi tích phân PID

Để cải thiện chất lượng của các bộ điều khiển PI, PD người ta kết hợp ba luật điều khiển tỷ lệ, vi phân, tích phân để tổng hợp thành bộ điều khiển tỷ lệ vi tích phân (PID). Có đặc tính mềm dẻo phù hợp cho hầu hết các đối tượng trong công nghiệp.

Phương trình vi phân mô tả quan hệ vào ra của các bộ điều khiển.

$$U(t) = K_1 e(t) + K_2 \int_0^t e(t) dt + k_3 \frac{de(t)}{dt}$$

$$U(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Trong đó :

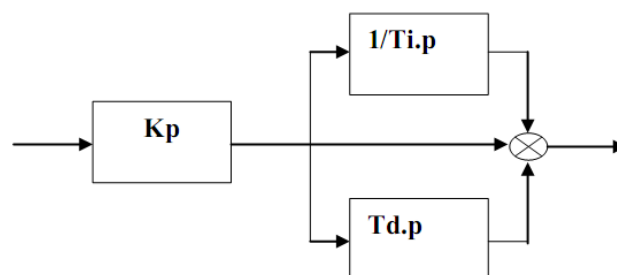
$e(t)$  : Là tín hiệu vào của bộ điều khiển

$U(t)$  : Là tín hiệu ra của bộ điều khiển

$K_p = K_1$  : Là hệ số khuếch đại

$T_d = \frac{K_3}{K_1}$  : Là hằng số thời gian vi phân

$T_i = \frac{K_1}{K_2}$  : Là hằng số thời gian tích phân



Hình 2.9. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển PID

+ Hàm truyền đạt trong miền Laplace :

$$W(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p \right)$$

+ Hàm truyền trong miền tần số:

$$W(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{E(j\omega)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{jT_i \cdot \omega} + jT_d \omega \right)$$

$$= K_p \left( 1 + j(T_d \cdot \omega - \frac{1}{T_i \cdot \omega}) \right) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$$

Trong đó:

$$A(\omega) = K_p \sqrt{1 + \left( T_D \cdot \omega - \frac{1}{T_I \cdot \omega} \right)^2}$$

$$\varphi(\omega) = \text{artg} \left( T_D \cdot \omega - \frac{1}{T_I \cdot \omega} \right)$$

+ Hàm quá độ:

$$\begin{aligned} h(t) &= K_p \left( 1(t) + \frac{1}{T_I} \int 1(t) dt + T_D \frac{d1(t)}{dt} \right) \\ &= K_p \left( 1(t) + \frac{1}{T_I} t + T_D \delta(t) \right) \end{aligned}$$

+ Hàm quá độ xung:

$$W(t) = \frac{dh(t)}{dt} K_p \left( \delta(t) + \frac{1}{T_I} + T_D \delta'(t) \right)$$

Bộ điều khiển PID có ba tham số  $K_p$ ,  $T_i$  và  $T_d$

+ Khi  $T_i = \infty$ ,  $T_d = 0$  thì bộ điều khiển làm việc theo luật tỷ lệ.

+ khi  $T_i = \infty$ , thì bộ điều khiển làm theo luật tỷ lệ - vi phân

+ khi  $T_d = 0$  thì bộ điều khiển làm theo luật tỷ lệ - tích phân

Tín hiệu ra của bộ điều khiển lệch pha so với tín hiệu vào một góc

$$\alpha, \left( -\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{đây là đặc tính mềm dẻo của bộ điều khiển.}$$

Nếu ta chọn được các tham số phù hợp cho bộ điều khiển PID thì hệ thống cho ta đặc tính như mong muốn, đáp ứng cho các hệ thống trong công nghiệp.

Trong bộ điều khiển có thành phần tích phân nên hệ thống triệt tiêu được sai lệch dư.

### 2.2.3. Các bộ điều khiển PID số:

Như ta đã biết bộ điều khiển kinh điển PID có đặc tính mềm dẻo, được sử dụng rất phổ biến và mang lại hiệu quả cao trong hầu hết các hệ thống điều khiển tự động như không chế nhiệt độ, mức và tốc độ... mà ngay nay cả lý

thuyết điều khiển hiện đại cũng không thể tha thứ được các ưu điểm của bộ điều khiển PID.

Trong những năm gần đây lĩnh vực điện tử và tin học phát triển đột phá. Việc ứng dụng tin học vào tự động hoá là một vấn đề tất yếu và đưa ngành công nghiệp hoá không ngừng phát triển. Tuy nhiên bộ điều khiển PID được xây dựng bằng các thiết bị điện tử và có những nhược điểm nhất định.

+ Tốc độ xử lý kém

+ Dễ chịu tác động phá huỷ của môi trường

+ Các thông số của bộ điều khiển dễ bị thay đổi do yếu tố nhiệt độ môi trường và tuổi thọ thiết bị. Nên việc sử dụng các bộ PID số ngày càng rộng rãi, nó được xây dựng trên các phần mềm chuyên dụng hoặc ngôn ngữ lập trình phổ thông. Để làm được điều đó ta phải xấp xỉ liên tục các bộ điều khiển.

### 2.2.3.1. Tích phân xấp xỉ liên tục

$$U(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

- Xấp xỉ theo nguyên tắc hình thang

$$U_1(k) = \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k \frac{1}{2} e(i) + e(i-1)$$

$$\Rightarrow U_1(k) = U_1(k-1) + \frac{T}{T_i} \frac{1}{2} e(i) + e(k-1)$$

Trong đó:

T là chu kỳ trích mẫu

T<sub>i</sub> là hằng số thời gian tích phân

- Xấp xỉ theo nguyên tắc hình chữ nhật

$$U_1(k) = \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^k e(i-1)$$

$$\Rightarrow U_1(k) = U_1(k-1) + \frac{T}{T_i} e(k-1)$$

### 2.2.3.2. Vi phân xấp xỉ liên tục

- Khai triển thành chuỗi

$$\frac{df(t)}{dt} \approx c_0 f_k + c_1 f_{k-1} + \dots + c_n f_{k-n}$$

$$S.F(s) \approx F(s) [C_0 + C_1 e^{-kT} + \dots + C_n e^{-knT}]$$

-Vi phân xấp xỉ bậc 1

$$T_D \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{T_D}{T} (3.e_k - e_{k-1})$$

$$\Rightarrow U_k = U_{k-1} + \frac{T_D}{T} e_k - 2.e_{k-1} + e_{k-2}$$

- Vi phân xấp xỉ bậc 2

$$T_D \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{T_D}{2T} (3.e_k - 4e_{k-1} + e_{k-2})$$

$$\Rightarrow U_k = U_{k-1} + \frac{T_D}{2T} (3e_k - 7.e_{k-1} + 5e_{k-2} - e_{k-3})$$

### 2.2.3.3. Xấp xỉ PID

- Vi phân xấp xỉ bậc 1, tích phân xấp xỉ hình chữ nhật

$$U(t) = K_{DC} \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

$$U_k = K_{DC} \left[ e_k + \frac{T}{T_I} \sum_{i=1}^k e_{i-1} + \frac{T_D}{T} e_k - e_{k-1} \right]$$

$$\Rightarrow U_k = U_{k-1} + K_{DC} \left[ e_k - e_{k-1} + \frac{T}{T_I} e_{k-1} + \frac{T_D}{T} e_k - 2.e_{k-1} + e_{k-2} \right]$$

$$U_k = U_{k-1} + r_0.e_k + r_1.e_{k-1} + r_2.e_{k-2}$$

Trong đó:

$$r_0 = K_{DC} (1 + \frac{T_D}{T}); \quad r_1 = K_{DC} (\frac{T}{T_I} - \frac{2T_D}{T} - 1); \quad r_2 = K_{DC} \frac{T_D}{T}$$

-Hàm truyền gián đoạn:

$$W(Z) = \frac{U(Z)}{E(Z)} = \frac{r_0 + r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2}}{1 - Z^{-1}}$$

Ta biết các đối tượng điều khiển trong công nghiệp hầu hết là đối tượng liên tục.

Để sử dụng được các bộ điều khiển số ta cần sử dụng các bộ biến đổi A/D và D/A vào hệ thống

### **2.3. Điều khiển PID phi tuyến**

#### **2.3.1. Mô tả hệ phi tuyến**

Trên thực tế các đối tượng điều khiển trong công nghiệp lại có đặc tính động học phi tuyến, do đó không thể dùng nguyên lý xếp chồng để khảo sát hệ như ở hệ tuyến tính. Mặt khác không phải dùng trong mọi trường hợp những giả thiết cho phép xấp xỉ hệ thống bằng mô hình tuyến tính được thoả mãn, lúc này bắt buộc phải khảo sát hệ là phi tuyến. Hệ phi tuyến có đặc điểm đa dạng và phức tạp hơn nhiều so với hệ tuyến tính do đó công cụ toán học để phân tích hệ mang tính chất khó khăn và phức tạp hơn.

#### **2.3.2. Đặc điểm hệ phi tuyến**

Khi khảo sát các hệ tuyến tính, do đại đa số các phần tử của nó là phần tử tuyến tính, cho nên việc phân tích và tổng hợp theo phương pháp tuyến tính chỉ đúng trong điều kiện nhất định. Chỉ cần một phần tử trong cả hệ là phi tuyến thì hệ được xem là phi tuyến. Hệ phi tuyến tồn tại dưới hai hình thức. Một là các khâu phi tuyến có sẵn trong hệ trong hệ điều khiển được xem là tuyến tính. Một khuếch đại điện tử hay bán dẫn được xem là phần tử tuyến tính vẫn có cùng kém nhạy và bảo hoà cho nên xét cho cùng cũng là một phần tử phi tuyến. Hai là các khâu phi tuyến được đưa vào nhằm đạt được một chế độ hay chất lượng mong muốn.

Vì vậy phải cần thiết phải biết tính đến ảnh hưởng của những phần tử phi tuyến đối với hệ, biết đến đặc điểm, tính chất của hệ phi tuyến nói chung cũng như các phần tử của nó nói riêng để có được một hệ điều khiển mong muốn.

Đặc điểm quan trọng của hệ tuyến tính là nguyên lý xếp chồng (xếp chồng nguyên nhân và hậu quả). Ở hệ phi tuyến nguyên lý này không tồn tại: khi có một tác động phức tạp đối với hệ, thì quá trình của hệ không thể được xem như tổng hợp của những quá trình từ các thành phần riêng lẻ của tác động phức tạp ấy tạo nên. Điều này cũng hạn chế khả năng áp dụng công cụ toán học quan trọng vào các hệ phi tuyến như biến đổi laplace và Fourier

Hệ phi tuyến đa dạng và phức tạp hơn nhiều so với hệ tuyến tính.

Nếu ở hệ tuyến tính, hệ không ổn định, có biên độ ngày càng tăng là không thể chấp nhận được thì ở hệ phi tuyến, vấn đề ổn định được đặt ra theo cách khác. Một số hệ phi tuyến mà chế độ tự dao động (dao động với biên độ không đổi) lại là chế độ bình thường của hệ.

Ở hệ tuyến tính, ổn định là trở về trạng thái cân bằng ban đầu khi mất tác động kích thích từ bên ngoài. Ổn định như thế là ổn định tiệm cận hay ổn định tại một điểm, có thể thích hợp với cả hệ phi tuyến. Ở hệ phi tuyến thường dùng khái niệm ổn định ở một vùng, đặc trưng cho sự trở về một vùng định trước nào đó của hệ, khi tác động từ ngoài vào giảm dần đến không.

Khi đánh giá về cả hai dạng ổn định nói trên, người ta dùng ổn định trong phạm vi bé, phạm vi lớn và trong toàn bộ. Nhưng khái niệm về ổn định khác nhau ở hệ phi tuyến sẽ được lần lượt đề cập đến các chương sau,

Công cụ toán học để phân tích các hệ phi tuyến cũng mang tính chất cá biệt, vì những hệ phi tuyến khác nhau được mô tả bằng những phương trình dạng khác nhau. Do đó sự phức tạp trong việc đơn giản các phương trình vi phân phi tuyến là ở chỗ tìm ra những phương pháp gần đúng để đánh giá về tính chất của quá trình xảy ra trong hệ. Trong đó các đặt tính phi tuyến của các phần tử thực được thay thế bằng các đặc tính phi tuyến gần như lý tưởng, bởi tính chất của các phần tử phi tuyến cũng như phương pháp phân tích hệ là phương pháp gần đúng.

Như vậy việc phân tích các quá trình ở hệ thực có hai bước xấp xỉ: bước một là lập các phương trình vi phân phi tuyến để mô tả gần đúng hệ và bước hai là giải gần đúng các phương trình ấy. Nếu ở bước một tìm được nghiệm chính xác của các phương trình xấp xỉ thì được gọi là cách giải chính xác bài toán, còn nếu cả hai bước đều là gần đúng thì đó là cách giải gần đúng bài toán.

Để giải các phương trình phi tuyến, ngoài các phương pháp giải tích và đồ thị, ngày càng phổ biến phương pháp dùng máy tính số để mô hình hoá và tìm đáp số của bài toán dựa vào các phần mềm ngày càng hoàn thiện như MATLAB.

### 2.3.3. Các khâu phi tuyến điển hình

Các khâu phi tuyến điển hình thường gặp rất đa dạng. Dùng hàm  $z = z(x)$  để mô tả mối quan hệ biến đầu ra  $z$  là hàm của một biến đầu vào  $x$ , có đặc tính phi tuyến mà biến đầu ra  $z$  phụ thuộc nhiều biến đầu vào  $x$ . Trong trường hợp này dùng phương pháp biến đổi sơ đồ khối để đưa về dạng thông thường: một vào một ra.

Đặc điểm:

\*Tính đối xứng

Đặc tính phi tuyến là đối xứng nếu:

$$z(x) = z(-x)$$

Đặc tính phi tuyến là không đối xứng nếu:

$$z(x) = -z(-x)$$

\*Tính trơn

Bất cứ điểm nào của đặc tính  $z(x)$  cũng tương ứng với một đạo hàm  $dz/dx$  thì đặc tính ấy gọi là trơn. Ngược lại nếu có điểm gãy khúc, đạo hàm  $dz/dx$  sẽ gián đoạn và đặc tính ấy không trơn. Trong thực tế thường gặp những đặc tính tuyến tính từng đoạn, hoặc đặc tính phi tuyến trơn nhưng được tuyến tính hoá từng đoạn để đơn giản khi khảo sát.

\*Tính đơn trị

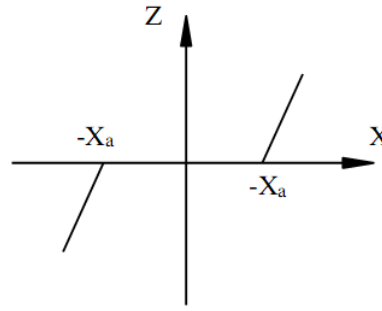
Nếu một đại lượng của  $x$  ứng với một đại lượng của  $z$ - đặc tính là đơn trị, ngược lại một đại lượng của  $x$  ứng với hai hoặc nhiều hơn đại lượng của  $z$ - đặc tính ấy là đa trị.

#### 2.3.3.1. Khâu có vùng kém nhạy

Các mạch khuếch đại điện tử, từ, thủy lực khi tín hiệu vào nhỏ tồn tại vùng nhạy nhất định.

Đặc tính của khâu được mô tả bằng phương trình sau:

$$z = \begin{cases} 0 & \text{khi } |x| \leq x_a \\ k(x-x_a) & \text{khi } x > x_a \\ k(x+x_a) & \text{khi } x < -x_a \end{cases} \quad (2.5)$$

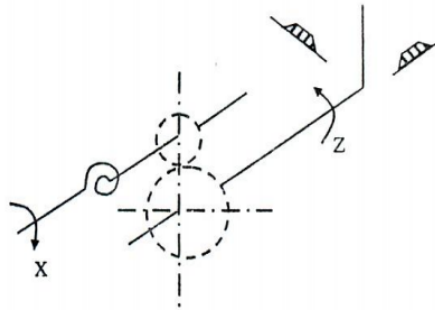


Hình 2.10 Khâu có vùng kém nhạy

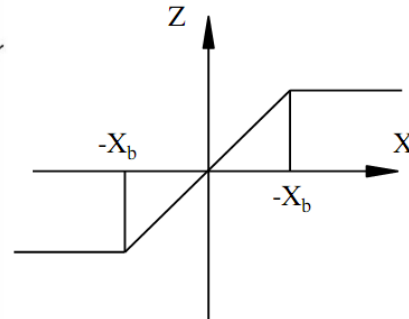
### 2.3.3.2. Khâu hạn chế (bão hoà)

Mô hình cơ học của khâu hạn chế như hình 2.11a, đó là mối liên hệ hai trục bằng lò xo ở đầu vào và cùng hạn chế hay điểm tựa ở van bị dẫn. Đặc tính của khâu (hình 2.11b) và được mô tả bằng phương trình sau:

$$z = \begin{cases} k_x & \text{khi } |x| \leq x_b \\ z_b \operatorname{sign} x & \text{khi } |x| > x_b \end{cases} \quad (2.6)$$



Hình 2.11a



Hình 2.11b

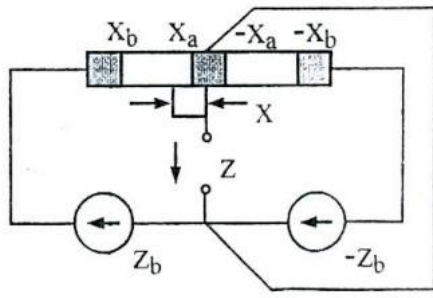
### 2.3.3.3. Khâu hạn chế có vùng kém nhạy

Mô hình của phần tử này là biến áp như ở hình 2.12a. Đặc tính của khâu hạn chế có vùng kém nhạy (hình 2.12b)

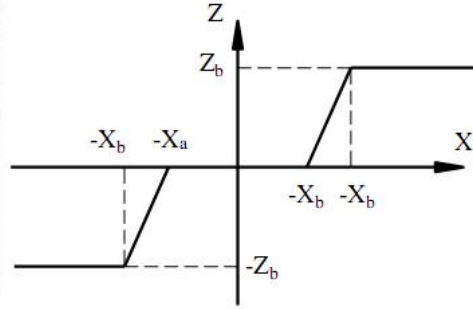
Phương trình mô tả của khâu:

$$z = \begin{cases} 0 & \text{khi } |x| \leq x_a \\ k(x - x_a) & \text{khi } x_b > x > x_a \\ k(x + x_a) & \text{khi } -x_b < x < -x_a \\ z_b \operatorname{sign} x & \text{khi } |x| \leq x_b \end{cases} \quad (2.7)$$





Hình 2.12a



Hình 2.12b

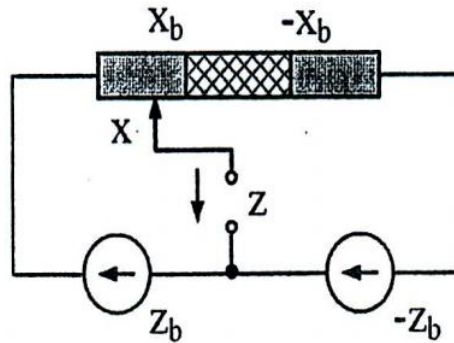
#### 2.3.3.4. Khâu kiểu role hai vị trí

Khi môđun của tín hiệu vào khi  $|x| \leq x_b$ , role hở mạch (hình 2.13a) nên không thể nói gì về điện áp đầu ra  $z$  và không có mối liên hệ gì về giữ đầu ra và đầu vào. Khi

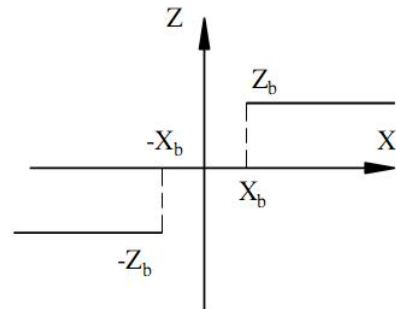
$$|x| \geq x_b, \text{ đại lượng } z \text{ sẽ có trị số } z = \begin{cases} z_b \text{sign}x & \text{khi } |x| \geq x_b \\ 0 & \text{khi } |x| \leq x_a \\ \text{không tồn tại} & \text{khi } x_b < |x| < x_b \end{cases} \text{ hay } -z_b \text{ tùy thuộc}$$

vào dấu của  $x$ . Ta có đặc tính như hình 2.13b và phương trình sau:

$$z = \begin{cases} z_b \text{sign}x & \text{khi } |x| \geq x_b \\ \text{không tồn tại} & \text{khi } |x| < x_b \end{cases} \quad (2.8)$$



Hình 2.13a



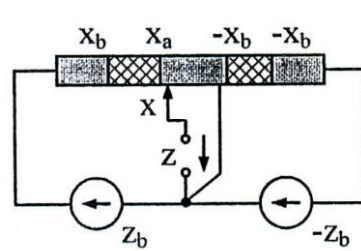
Hình 2.13b

#### 2.3.3.5. Khâu kiểu role ba vị trí

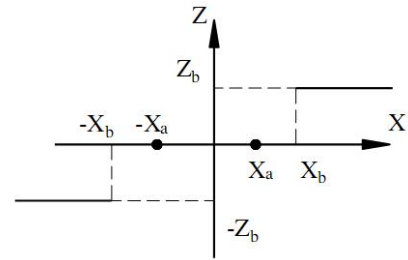
Mô hình của biến áp như ở hình 2.14a

Đặc tính role ba vị trí không kể đến từ dư của nó như hình 2.14b. Đặc tính được mô tả bởi:

$$z = \begin{cases} z_b \text{sign}x & \text{khi } |x| \geq x_b \\ 0 & \text{khi } |x| \leq x_a \\ \text{không tồn tại} & \text{khi } x_b < |x| < x_b \end{cases} \quad (2.9)$$



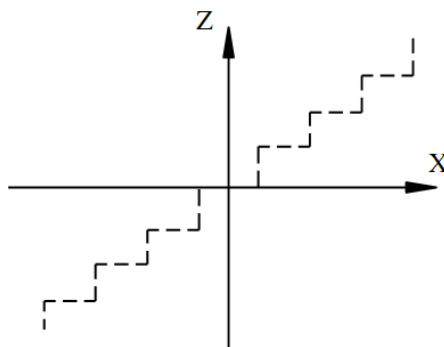
Hình 2.14a



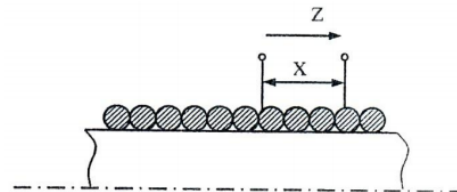
Hình 2.14b

### 2.3.3.6. Khâu biến đổi A-D

Thuộc loại này có đặc tính của bộ biến đổi tương tự - số của phần tử lượng tử hoá theo mức. Đặc tính mô tả ở hình 2.15a. Khi độ di chuyển  $x$  của con trượt là liên tục thì đầu ra của biến áp là những đại lượng gián đoạn ứng với sự chuyển đổi điện áp mỗi vòng dây như ở hình 2.15b.

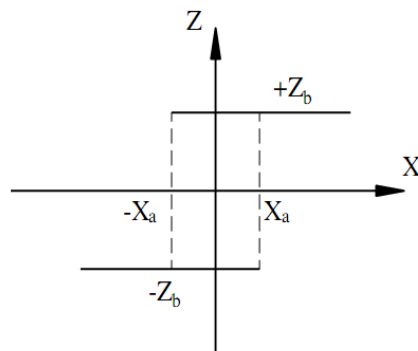


Hình 2.15a

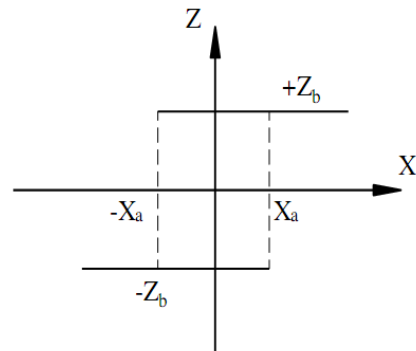


Hình 2.15b

### 3.3.3.7. Khâu kiểu role hai vị trí có trễ



Hình 2.16a



Hình 2.16b

Đối với role hai vị trí, điều chỉnh đối xứng, khi đóng tiếp điểm theo một hướng chuyển động nhất định cũng như khi đổi chiều chuyển động thì điện áp vào và điện áp ra đều cùng dấu. Đặc tính của role hai vị trí có trễ như ở hình 2.16a và có mô tả toán học như sau:

$$z = \begin{cases} +z_b & \text{khi } -x_a < x < \infty \\ -z_b & \text{khi } -\infty < x < +x_a \end{cases} \quad (2.10)$$

Trong khoảng  $-x_a < x < x_a$ ,  $z$  có hai trị số  $+z_b$  và  $-z_b$  tùy thuộc vào đại lượng của  $x$  trước đó. Chuyển đổi của  $x$  từ nhánh dưới lên được mô tả bởi:  $x = -x_a$ ,  $z = z_b$ ,  $dx/dt > 0$ ;

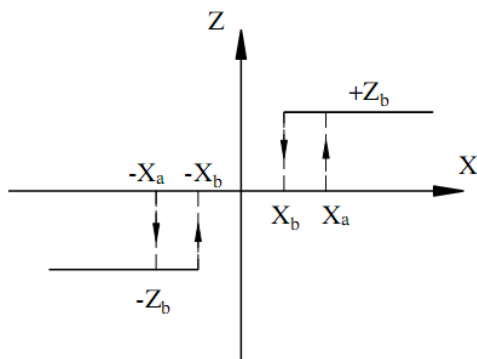
Khi chuyển đổi của  $x$  từ nhánh trên xuống:

$$x = -x_a, \quad z = z_b, \quad dx/dt < 0$$

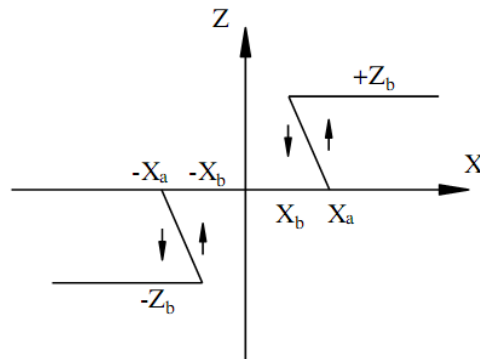
Role hai vị trí có hồi tiếp dương được thực hiện bằng khuếch đại có hạn chế như ở hình 2.16b. Trong khoảng  $-x_a < x < x_a$  đường chuyển đổi  $-x_b < x < +x_b$  có độ nghiêng và thường không ổn định. Do đó mặc dù khi  $-x_a < x < x_a$ , mỗi trị số của  $x$  tương ứng với ba trị số của  $z$  nhưng chỉ có hai trị số  $+z_b$  và  $-z_b$  tương ứng với hai trạng thái ổn định nên đặc tính ở hình 2.16b cũng được xem như hình 2.16a.

Sự tương đương ấy sử dụng để phân tích các hệ role.

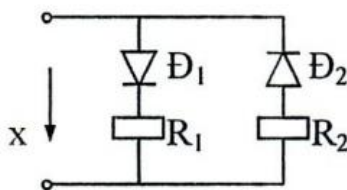
### 2.3.3.8. Khâu kiểu ba vị trí trễ



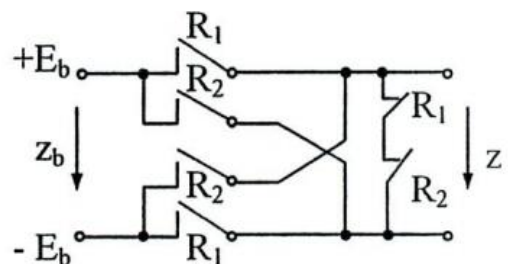
Hình 2.17a



Hình 2.17b



Hình 2.17c



Hình 2.17d

Khi tính đến sự khác nhau của điện áp vào, đặc tính của role ba vị trí có tính chất khác nhau. Ví dụ chuyển đổi từ  $z = 0$  đến  $z = z_b$  xảy ra khi  $x = x_a$  thì khi trở về lại xảy ra khi  $x = x_b$  như ở hình 2.17a.

$$z = \begin{cases} z_b \text{sign}x & \text{khi } |x| > x_b \\ 0 & \text{khi } |x| < x_a \end{cases} \quad (2.1)$$

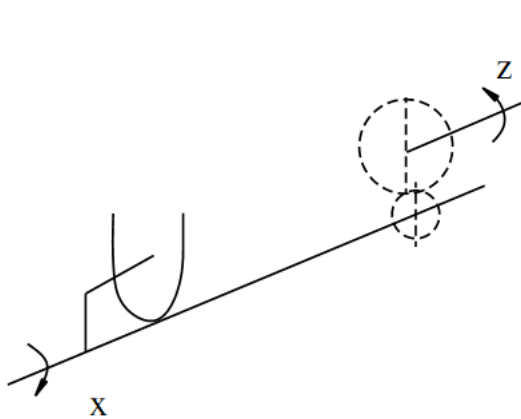
Ở khoảng  $x_b < |x| \leq x_a$ ,  $z$  có hai trị số. Nếu role được mắc hồi tiếp bởi khách đại có vùng kém nhạy và bão hoà (hình 2.12) thì đặc tính như ở hình 2.17b. Để có đặc tính như hình 2.17a có thể dùng sơ đồ điện như ở hình 2.17c gồm hai role điện từ R1 và R2 đấu qua hai chỉnh lưu Đ1 và Đ2. Các tiếp điểm của role R1 và R2 đóng mạch giữa nguồn điện áp  $E_b$  sao cho điện áp  $z$  có trị số  $-z_b$ ,  $-E_b$  bằng 0 hay  $+z_b$ ,  $+E_b$  tùy thuộc vào trị số của  $x$  như ở hình 2.17a.

### 2.3.3.9. Khâu kiểu khe hở

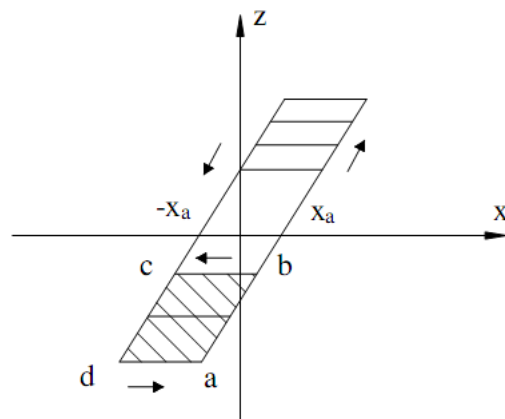
Đối với các hệ cơ học tính phi tuyến của hệ chủ yếu do ma sát, ảnh hưởng của các khe hở, độ ngẽn, gối tỳ...

Khi cần nghiên cứu chi tiết các quá trình này xảy ra trong hệ thì cần tính đến những đặc điểm phi tuyến ấy.

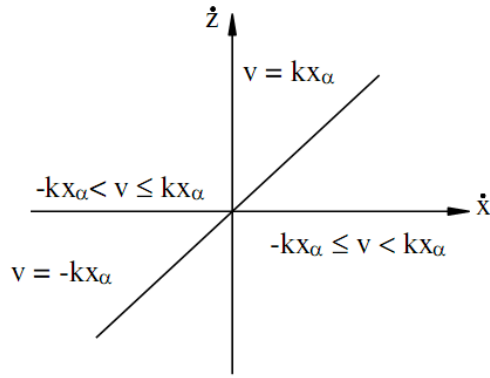
Dạng phi tuyến thường gặp ở các hệ truyền động cơ khí khe hở.



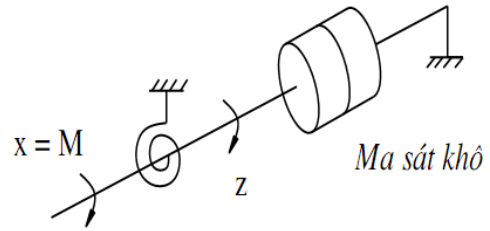
Hình 2.18a



Hình 2.18b



Hình 2.18c



Hình 2.18d

Xét hệ cơ học gồm 2 trục chuyển động (hình 2.18a) trục dẫn x và trục bị dẫn z.

Do có khe hở nên mối liên hệ giữa vị trí trục dẫn x và trục bị dẫn z không đơn vị. Mỗi vị trí của x tương ứng với nhiều vị trí của z nằm trong giới hạn  $k(x-x_a) \leq z \leq k(x+x_a)$  tùy thuộc và vị trí đại hay cực tiểu của z trước đó. Đặc tính của khâu khe hở được mô tả như sau:

$$z = \begin{cases} k\dot{x} & \begin{cases} \text{khi } \dot{x} > 0; & v = kx_a \\ \text{khi } \dot{x} < 0; & v = -kx_a \end{cases} \\ 0 & \begin{cases} \text{khi } \dot{x} > 0; & -kx_a \leq v < kx_a \\ \text{khi } \dot{x} < 0; & -kx_a < v \leq kx_a \end{cases} \end{cases} \quad (2.12)$$

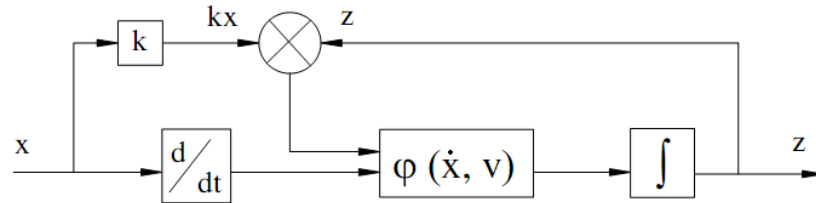
Quan hệ giữa z và x được biểu diễn trên hình 2.18b và quan hệ giữa  $\dot{z}$  và  $\dot{x}$  được biểu diễn trên hình 2.18c

Đối với hệ thống cơ khí có ma sát khô (hình 2.18d) cách mô tả cũng tương tự như hệ có khe hở. Trong trường hợp này mômen M được cân bằng bởi mômen của lò xo  $\alpha z$  ( $\alpha$ - hệ số tỷ lệ) và mômen ma sát khô  $\pm x_a$  mà dấu của chúng tùy thuộc vào  $\dot{z}$ . Ở hệ này lượng vào là mômen quay  $x = M$  và lượng ra z là góc quay của trục:

$$x = M = \alpha z \pm x_a$$

Với  $k=1/\alpha$  ;  $z = k(x \pm x_a)$  . Khi đó ta có phương trình cho hệ cơ học có ma sát khô là :

Nếu gọi  $\varphi(\dot{x}, v)$  là hàm phi tuyến dùng để biến đổi tín hiệu  $\dot{x}$  và v thành  $\dot{z}$  thì khâu có khe hở mô tả bởi (2.12) có sơ đồ cấu trúc như hình 2.18e.

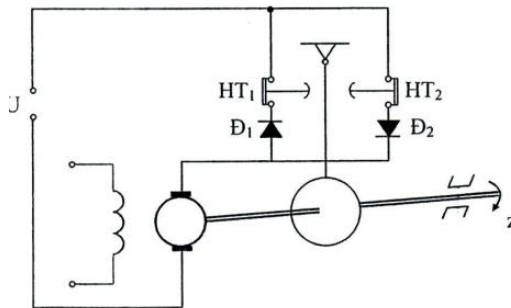


Hình 2.18e

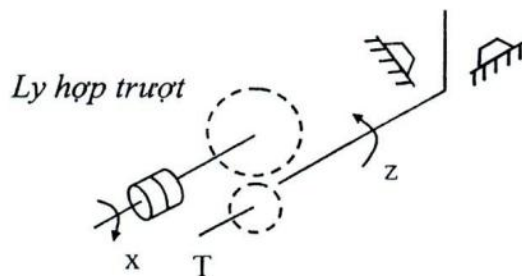
Cấu trúc này sẽ được dùng để khảo sát ảnh hưởng của khe hở đến chất lượng hệ thống điều khiển tự động.

### 2.3.3.10. Khâu kiểu gối tỷ

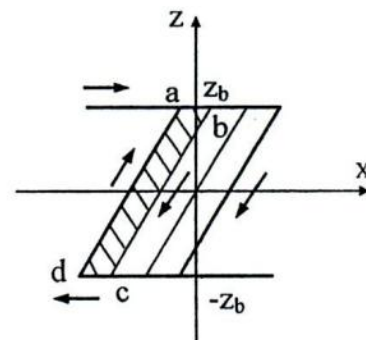
Nếu thay lò xo ở khâu hạn chế (hình 2.11a) bằng bộ ly hợp ma sát trượt (hình 2.19b) thì có khâu kiểu gối tỷ. Trong hệ cơ khí thường có những bộ phận mà chuyển động không giới hạn, Ở hình 2.19b khi bị giới hạn bởi gối tỷ thì chuyển động của x vẫn tiếp tục do chế độ trượt ở bộ ly hợp T khi mômen vượt quá giới hạn ma sát. Nếu thay đổi hướng chuyển động của trục chủ đạo, bộ ly hợp T lại làm việc và hai trục liên kết cơ học với nhau.



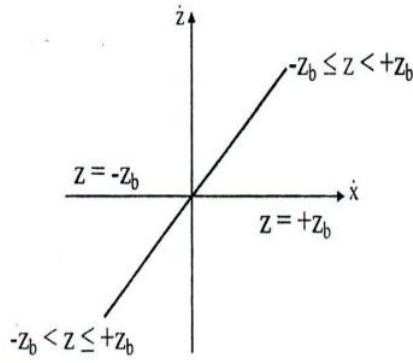
Hình 2.19a



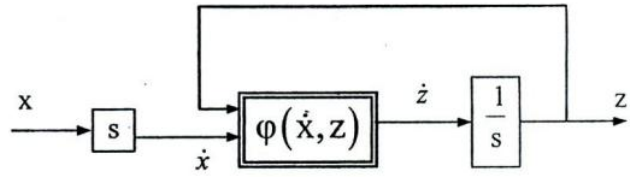
Hình 2.19b



Hình 2.19c



Hình 2.19d



Hình 2.19e

Mỗi vị trí của trục dẫn x tương ứng với nhiều vị trí của trục bị dẫn trong giới hạn  $-z_b < z < z_b$

Đặc tính của khâu kiểu gối tỳ có dạng:

$$z = \begin{cases} k\dot{x} & \begin{cases} \text{khi } \dot{x} > 0 \text{ và } -z_b \leq z < z_b \\ \text{khi } \dot{x} > 0 \text{ và } -z_b < z \leq z_b \end{cases} \\ 0 & \begin{cases} \text{khi } \dot{x} > 0 \text{ và } z = z_b \\ \text{khi } \dot{x} < 0 \text{ và } z = -z_b \end{cases} \end{cases} \quad (2.13)$$

Sơ đồ cấu trúc như hình 2.19e. Mỗi liên hệ giữa  $\dot{z}$  và  $\dot{x}$  theo (2.13) như ở hình 2.19d, mô hình của động cơ lái có tiếp điểm hành trình ở mạch phần cứng như ở hình 2.19a là mô hình của khâu.

Khi đóng mạch phản ứng của động cơ bởi công tắc hành trình  $HT_1$  và diốt  $D_1$ , tốc độ động cơ  $\dot{z}$  tỷ lệ với điện áp  $u$ , nghĩa là  $\dot{z} = ku$ . Khi trục động cơ quay đến điểm tỳ, tiếp điểm  $HT_2$  mở và  $z = 0$ . Nếu động cơ dừng chính xác thì mối quan hệ  $\dot{u} = \dot{x}$  và  $\dot{z}$  (hình 2.19d) hệ ở (hình 2.19a) mô tả khâu phi tuyến kiểu gối tỳ.

So sánh đặc tuyến các khâu kiểu khe hở và gối tỳ ta đều thấy rằng khi thay đổi chu kỳ biến đổi  $x$  sẽ dẫn đến biến đổi có chu kỳ của  $z$  và trên đặc tính  $z(x)$ , mối quan hệ là đường khép kín. Có điều là đặc tính kiểu khe hở (hình 2.18b) cũng như đặc tính role trễ (hình 2.17a) thì đường cong ngược chiều kim đồng hồ, tương ứng với:

$$\oint z dx > 0 \quad \oint z dx < 0 \quad (2.14)$$

Đặc tính kiểu gối tỳ (hình 1.14c) cùng chiều kim đồng hồ, tương ứng với:

$$\oint z dx > 0 \quad (2.15)$$

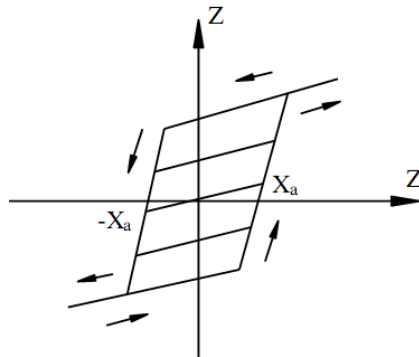
Hai dạng đặc tính này, khi hệ số khuếch đại lớn thì đặc tính càng gần với dạng hình chữ nhật.

### 2.3.3.11. Khâu kiểu từ trễ

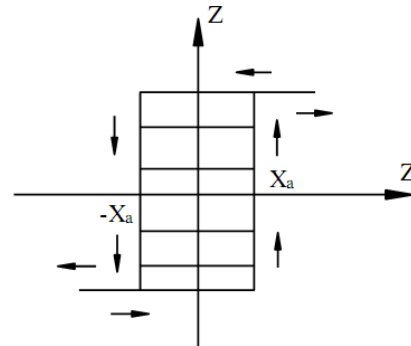
Khi khảo sát các bộ nhớ từ tính, ta thấy lá trễ có dạng những đường cong tuyến tính từng đoạn và khép kín như ở hình 1.15a. Đặc tính có thể được mô tả bởi hệ phương trình:

$$\left. \begin{aligned} z &= \mu_1(x \pm x_a) \\ z &= \mu_2 x + c \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Mà  $-z_b < c < z_b$  còn  $\mu_1$  và  $\mu_2$  là các hệ số hằng. Bên trong lá trễ, tùy thuộc điều kiện ban đầu,  $z$  có thể có nhiều trị số khác nhau trong miền  $z = \mu_2 x - z_b$  đến  $z = \mu_2 x + z_b$ . Khi  $\mu_1 \rightarrow \infty$  và  $\mu_2 \rightarrow 0$  lá trễ có dạng chữ nhật như ở hình 2.20b. Đặc tính này khác với kiểu khe hở khi  $k \rightarrow \infty$  giới hạn của  $z$  từ  $-z_b$  đến  $+z_b$ .



Hình 2.20a



Hình 2.20b

## 2.4. ĐIỀU KHIỂN MỜ KINH ĐIỂN VÀ LOGIC MỜ

### 2.4.1. Khái quát về lý thuyết điều khiển mờ

Từ những năm đầu của thập kỷ 90 cho đến nay, hệ điều khiển mờ đã được các nhà khoa học trong nhiều lĩnh vực khoa học quan tâm, nghiên cứu và ứng dụng vào sản xuất.

Tập mờ và logic mờ dựa trên các suy luận của con người với các thông tin không chính xác hoặc không đầy đủ về hệ thống để hiểu biết và điều khiển hệ thống một cách chính xác.

Điều khiển mờ chính là bắt chước cách xử lý thông tin và điều khiển của con người đối với các đối tượng. Do đó điều khiển mờ đã giải quyết thành công các vấn đề điều khiển phức tạp trước đây chưa giải quyết được.



## 2.4.2. Định nghĩa tập mờ

Tập mờ là một tập hợp mà mỗi phần tử  $x$  của nó được gán một giá trị thực  $\mu(x) \in [0,1]$  để chỉ thị độ phụ thuộc của  $x$  vào tập đã cho. Khi độ phụ thuộc bằng 0 thì phần tử đó sẽ hoàn toàn không phụ thuộc vào tập đã cho, ngược lại với độ phụ thuộc bằng 1, phần tử đó là hoàn toàn thuộc tập đã cho.

Cho tập  $E$ , gọi  $\underline{A}$  là tập con mờ của  $E$ , ký hiệu  $\underline{A}$

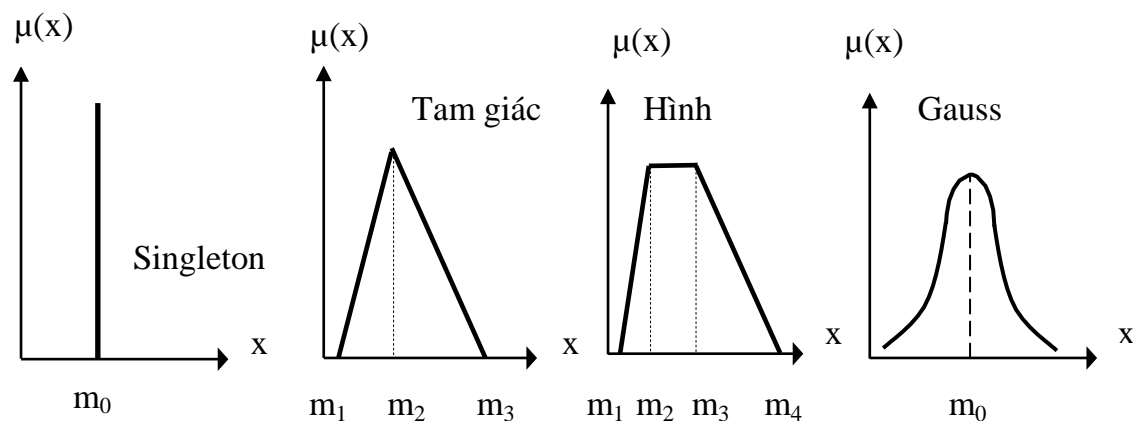
$$\underline{A} := \{x/\mu_A(x); x \in E\} \quad (2.17)$$

Trong đó:

$\mu_A(x)$  được gọi là hàm liên thuộc của tập mờ  $A$  với  $\mu_A(x)$  nhận các giá trị trong khoảng  $[0;1]$ . Về mặt toán học người ta nói rằng hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  đã ánh xạ mỗi phần tử  $x$  trong tập  $E$  thành một giá trị liên thuộc liên tục trong khoảng 0 và 1.

Ví dụ một số dạng hàm liên thuộc như hình (2.17)

- Hàm Singleton (còn gọi là hàm Kronecker).
- Hàm hình tam giác.
- Hàm hình thang.
- Hàm Gauss.



Hình 2.21: Một số dạng hàm liên thuộc

Các phép toán trên tập mờ

Cho tập  $E$  và  $A, B$  là hai tập mờ con của  $E$ , nghĩa là:

$$\underline{A} := \{x/\mu_A(x); x \in E\}$$

$\mu_A(x)$  nhận các giá trị trong khoảng  $[0;1]$

$$\tilde{B} := x/\mu_B(x); x \in E$$

$\mu_B(x)$  nhận các giá trị trong khoảng  $[0;1]$

Các tập mờ cũng có 3 phép toán cơ bản là phép hợp, phép giao và phép bù.

**Phép hợp (OR):**

Hợp của 2 tập mờ  $\tilde{A}$  và  $\tilde{B}$  có cùng cơ sở  $E$  là một tập mờ cũng xác định trên cơ sở  $E$  với hàm liên thuộc:

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} := [x/\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}} \ x], x \in E \quad (2.18)$$

Trong đó:

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \text{Max } \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x), x \in E \quad (2.19)$$

**Phép giao (AND):**

Giao của 2 tập mờ  $\tilde{A}$  và  $\tilde{B}$  có cùng cơ sở  $E$  là một tập mờ cũng xác định trên cơ sở  $E$  với hàm liên thuộc:

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} := [x/\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}} \ x], x \in E \quad (2.20)$$

Trong đó:

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \text{Min } \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x), x \in E \quad (2.21)$$

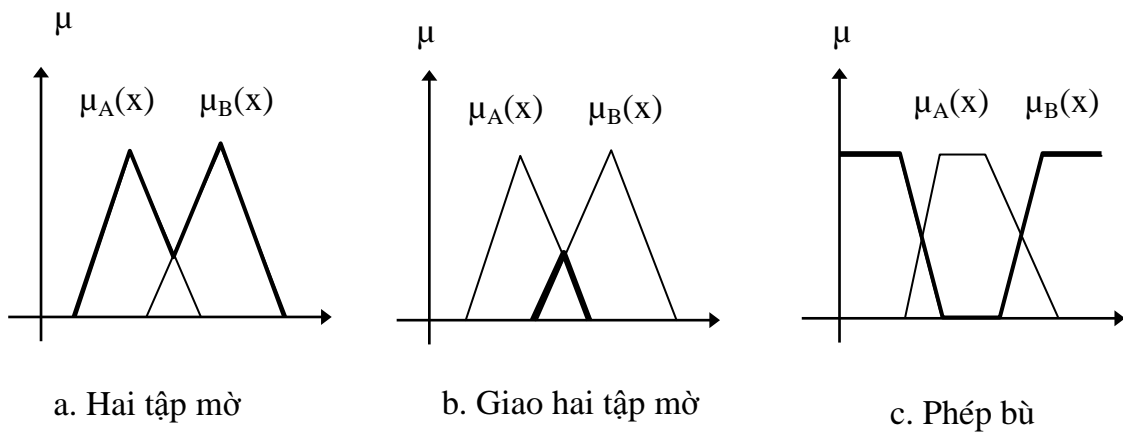
**Phép bù (NOT):** Cho tập mờ  $\tilde{A}$ , gọi tập bù mờ của  $\tilde{A}$  là  $\bar{\tilde{A}}$  và được định nghĩa bởi:

$$\bar{\tilde{A}} := [x/\mu_{\bar{\tilde{A}}} \ x], x \in E \quad (2.22)$$

Với :

$$\mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (2.23)$$

Đồ thị mô tả các phép toán hợp, giao và bù của hai tập mờ như hình (2.22)



### 2.4.3. Biến mờ, hàm biến mờ, biến ngôn ngữ

Cho tập mờ A có hàm liên thuộc là  $\mu_A(x)$ , hàm liên thuộc này cũng chính là hàm liên thuộc của phần tử x của tập mờ A. Lúc này ta dùng các ký hiệu:

$$a := \mu_A(x), b := \mu_B(x), \dots \quad (2.24)$$

Thì ta gọi  $a, b$  là các biến mờ.

Cho  $y = f(a, b, \dots)$  là một hàm của các biến  $a, b, \dots$  điều kiện để y được gọi là hàm biến mờ y chỉ phụ thuộc vào các biến mờ và thỏa mãn điều kiện:

$$0 \leq y \leq 1 \quad (2.25)$$

Biến ngôn ngữ là một biến mà có thể gán các giá trị của biến cũng được biểu hiện bằng ngôn ngữ. Ở đây các giá trị của biến được đặc trưng bởi định nghĩa tập mờ trong miền xác định mà biến được định nghĩa.

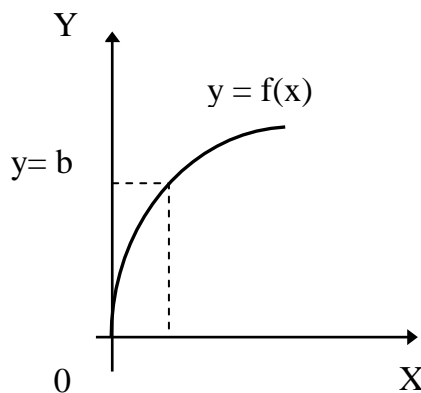
Ví dụ tốc độ động cơ có các giá trị ngôn ngữ là: rất chậm, chậm, trung bình, nhanh, rất nhanh....

### 2.4.4. Suy luận mờ và luật hợp thành

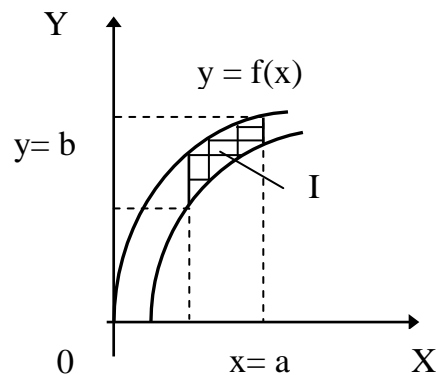
**Suy luận mờ:** Suy luận mờ thường được gọi là suy luận xấp xỉ (Fuzzy reasoning or approximate reasoning) là thủ tục suy luận (inference procedure) để suy diễn kết quả từ tập các quy tắc. **Nếu .... Thì** theo một hay nhiều điều kiện.

**Luật hợp thành:** Giả thiết quan hệ điều khiển giữa y và x được biểu diễn như hình (2.23). Khi cho  $x = a$  thì với quan hệ  $y = f(x)$  thì ta suy ra  $y = f(a) = b$ .

Tổng quát ta cho a là một khoảng và  $f(x)$  là hàm của một khoảng giá trị như hình 2.24



Hình 2.23



Hình 2.24

Để tìm khoảng kết quả  $y = b$  ứng với khoảng  $x = a$  trước tiên ta mở rộng vùng  $a$  theo kiểu hình trụ từ  $X$  sang vùng  $X \times Y$  và tìm vùng  $I$  là giao của khoảng giá trị  $a$  với hàm của khoảng giá trị  $f(x)$  và sau đó chiếu lên trục  $Y$  ta được  $y = b$ .

Mở rộng hơn cho  $A$  là tập mờ của  $X$  và  $R$  là quan hệ mờ trên  $X \times Y$ . Để tìm tập mờ kết quả  $B$  ta lại xây dựng kiểu mở rộng hình trụ  $c(A)$  với  $A$  làm cơ sở (mở rộng vùng  $A$  từ  $X$  sang  $X \times Y$ ). Sau đó tìm phần giao của  $c(A)$  với  $R$  và chiếu lên trục  $Y$  ta sẽ tìm được tập mờ kết quả  $B$ .

Cho các hàm liên tục  $\mu_A, \mu_{C/A}, \mu_B, \mu_R$  tương ứng với các tập mờ  $\underline{A}, \underline{C(A)}, \underline{B}, \underline{R}$  trong đó  $\mu_{C/A}(x,y) = \mu_A(x)$ . Ta có

$$\mu_{C/A \cap R} = \min \mu_{C/A}(x,y), \mu_R(x,y) = \min \mu_A(x), \mu_R(x,y) \quad (2.26)$$

Hình chiếu của tập  $c(A) \cap R$  lên trục  $Y$  là:

$$\mu_B(y) = \max \min \mu_A(x), \mu_R(x,y) \quad (2.27)$$

$$\text{Hay: } \mu_B(y) = \bigcup \mu_A(x) \cap (\mu_R(x,y)) \quad (2.28)$$

(2.26) là biểu hiện sự hợp thành Max- Min

Nếu ta chọn phép (Và) là lấy tích phân và phép (Hoặc) là phép lấy Max thì (2.27) sẽ là

$$\mu_B(y) = \bigcup \mu_A(x) \cdot \mu_R(x,y) \quad (2.29)$$

(2.29) là biểu hiện của luật hợp thành Max-Prod.

Ứng với mỗi luật hợp thành khác nhau ta có phương pháp suy luận mờ khác nhau như suy luận mờ dựa trên luật hợp thành MAX-MIN, suy luận mờ dựa trên luật hợp thành MAX-PROD....

Ví dụ ta đi xây dựng công thức tổng quát cho suy luận mờ khi sử dụng luật hợp thành Max-Min như sau:

Cho  $\underline{A}, \underline{A'}$  và  $\underline{B}$  là các tập mờ của tập cơ sở  $X, Y$  và  $Y$ . Giả thiết luật kéo theo mờ  $\underline{A} \Rightarrow \underline{B}$  được thể hiện như một quan hệ mờ  $R$  trên  $X \times Y$  như vậy tập mờ  $\underline{B'}$  cảm sinh từ “ $x$  là  $A$ ” và luật mờ “nếu  $x$  là  $A$  thì  $y$  là  $B$ ” sẽ được xác định bởi:

$$\mu_B(y) = \max \min \mu_A(x), \mu_R(x,y) \quad (2.30)$$

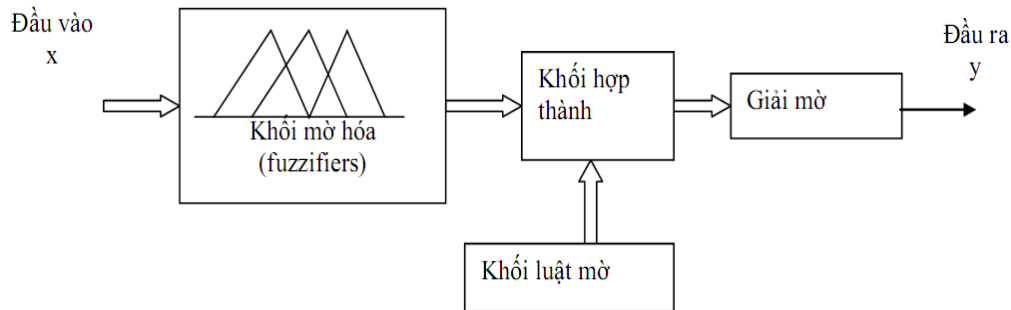
$$\text{Hoặc: } \mu_B(y) = \bigcup \mu_A(x) \cap \mu_R(x,y) \quad (2.31)$$

$$\text{Hay: } \underline{B'} = \underline{A'} * R = \underline{A'} * (\underline{A} \Rightarrow \underline{B}) \quad (2.32)$$

(2.32) là công thức tổng quát cho suy luận mờ sử dụng luật hợp thành MaxMin.

### 2.4.5. Cấu trúc bộ điều khiển mờ

Hoạt động của một bộ điều khiển mờ phụ thuộc vào khả năng và phương pháp ta rút ra kết luận theo tư duy của con người, sau đó được cài đặt vào máy tính trên cơ sở logic mờ. Một bộ điều khiển mờ bao gồm bốn khối cơ bản: Khối mờ hóa, khối hợp thành, khối luật mờ và khối giải mờ.



Hình 2.25: Sơ đồ khối của bộ điều khiển mờ

- Khối mờ hóa (fuzzifiers)
- Khối hợp thành
- Khối luật mờ
- Khối giải mờ

Nguyên tắc tổng hợp một bộ điều khiển mờ hoàn toàn dựa vào những phương pháp toán học trên cơ sở định nghĩa các biến ngôn ngữ vào/ra và sự lựa chọn những luật điều khiển. Do các bộ điều khiển mờ có khả năng xử lý các giá trị vào/ra biểu diễn dưới dạng dấu phẩy động với độ chính xác cao nên chúng hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu của một bài toán điều khiển “rõ ràng” và “chính xác”.

#### 2.4.5.1. Khâu mờ hóa

Khâu mờ hóa có nhiệm vụ chuyển một giá trị rõ hóa đầu vào  $x_0$  thành một vector  $\mu$  gồm các độ phụ thuộc của giá trị rõ đó theo các giá trị mờ (tập mờ) đã định nghĩa cho biến ngôn ngữ đầu vào.

Mờ hóa được định nghĩa như sự ánh xạ từ tập các giá trị thực (giá trị rõ)  $x^* \in U \subset \mathbb{R}^n$  thành lập các giá trị mờ  $A'$  ở trong  $U$ . Hệ thống mờ như là một bộ phận xấp xỉ vạn năng.

Nguyên tắc chung của việc thực hiện mờ hóa là:

- Từ tập giá trị thực  $x$  đầu vào sẽ tạo ra tập mờ  $c$  với hàm truyền liên thuộc có giá trị chủ động  $x^*$
- Nếu có nhiều ở đầu vào thì việc mờ hóa sẽ góp phần tử nhiều.

- Việc mờ hóa phải tạo điều kiện đơn giản cho máy tính sau này.

Thông thường có 3 phương pháp mờ hóa: mờ hóa đơn trị, mờ hóa Gauss (Gaussian fuzzifier) và mờ hóa hình tam giác (triangular fuzzifier). Thường sử dụng mờ hóa Gauss hoặc mờ hóa tam giác vì hai phương pháp này không những cho phép tính toán đơn giản mà còn đồng thời có thể khử nhiễu ở đầu vào.

**a. Mờ hóa đơn trị (Singleton fuzzifier):** Mờ hóa đơn trị là từ điểm các giá trị thực  $x^* \in U$  lấy các giá trị tập mờ  $A'$ , nghĩa là hàm liên thuộc dạng:

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1 & x = x^* \\ 0 & x \neq x^* \end{cases}$$

**b. Mờ hóa Gauss (Gaussian Fuzzifier):** Mờ hóa Gauss là từ các điểm giá trị thực  $x \in U$  lấy các giá trị trong tập mờ  $A'$  với các hàm liên thuộc Gauss.

**c. Mờ hóa hình tam giác (Triangular Fuzzifier):** Mờ hóa hình tam giác từ các điểm giá trị thực  $x \in U$  lấy các giá trị trong tập mờ  $A'$  với các hàm liên thuộc dạng hình tam giác hoặc hình thang

Ta thấy mờ hóa đơn trị cho phép tính toán về sau rất đơn giản nhưng không khử được nhiễu ở đầu vào, mờ hóa Gauss hoặc mờ hóa tam giác không những cho phép tính toán về sau tương đối đơn giản mà còn đồng thời có thể khử nhiễu đầu vào.

#### 2.4.5.2. Khâu thực hiện luật hợp thành

Khâu thực hiện luật hợp thành gồm có 2 khối đó là: Khối luật mờ và khối luật hợp thành.

Khối luật mờ (suy luận mờ) bao gồm các luật “Nếu ... thì” dựa vào các luật mờ cơ sở được người thừa kế viết ra cho thích hợp với từng biến và giá trị của các biến ngôn ngữ theo quan hệ mờ vào/ ra.

Khối hợp thành dùng để biến đổi các giá trị mờ hóa của biến ngôn ngữ đầu vào thành các giá trị mờ của biến ngôn ngữ đầu ra theo quy luật hợp thành nào đó.

Khâu thực hiện luật hợp thành có tên gọi là thiết bị hợp thành, xử lý vector  $\mu$  và các giá trị mờ  $B'$  của tập biến đầu ra.

Cho hai biến ngôn ngữ  $\chi$  và  $\gamma$ . Nếu biến  $\chi$  nhận giá trị (mờ)  $A$  với hàm liên thuộc  $\mu_A(x)$  và  $\gamma$  nhận giá trị (mờ)  $B$  với hàm liên thuộc  $\mu_B(y)$  thì biểu thức  $\chi = A$  được gọi là mệnh đề điều kiện và  $\gamma = B$  được gọi là mệnh đề kết luận.

Nếu ký hiệu mệnh đề  $\chi = A$  là  $p$  và mệnh đề  $\gamma = B$  là  $q$  thì mệnh đề hợp thành:

$$p \Rightarrow q \text{ (từ } p \text{ suy ra } q) \quad (2.33)$$

hoàn toàn tương đương với luật điều khiển:

$$\text{nếu } \chi = A \text{ thì } \gamma = B \quad (2.34)$$

Mệnh đề hợp thành trên là một ví dụ đơn giản về bộ điều khiển mờ. Nó cho phép từ một giá trị đầu vào  $x_0$  hay cụ thể từ độ phụ thuộc  $\mu_A(x_0)$  đối với tập mờ  $A$  của giá trị đầu vào  $x_0$  xác định được hệ số thỏa mãn mệnh đề kết luận  $q$  của giá trị đầu ra  $y$ . Hệ số thỏa mãn mệnh đề kết luận này được gọi là giá trị của mệnh đề hợp thành khi đầu vào bằng  $A$  và các giá trị của mệnh đề hợp thành (2.23) là một giá trị mờ. Biểu diễn giá trị mờ đó là tập hợp  $C$  thì mệnh đề hợp thành (2.24) chính là một ánh xạ:

$$\mu_A(x_0) \rightarrow \mu_C(y)$$

Ta có công thức xác định hàm liên thuộc cho mệnh đề hợp thành  $B' = A \Rightarrow B$

$$\mu_{B'}(y) = \min \mu_A \mu_B(y) : \text{được gọi là quy tắc hợp thành MIN}$$

$$\mu_{B'}(y) = \mu_A \mu_B(y) ; \text{được gọi là quy tắc hợp thành PROD}$$

Đây là hai quy tắc hợp thành thường được dùng trong lý thuyết điều khiển mờ để mô tả mệnh đề hợp thành  $A \Rightarrow B$

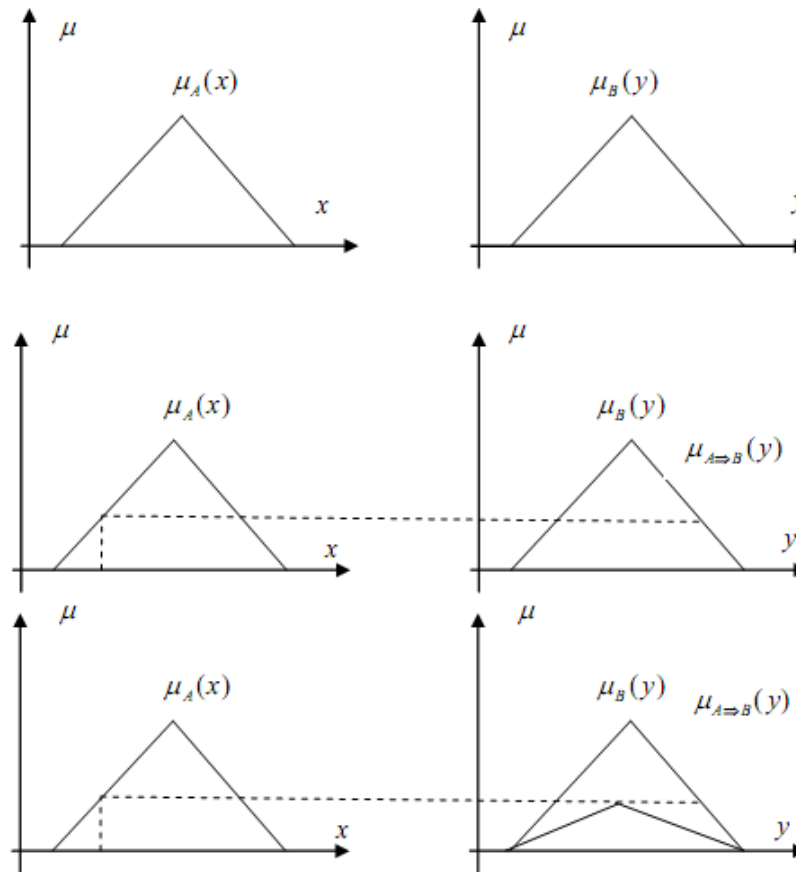
Hàm liên thuộc  $\mu_{A \Rightarrow B}(y)$  của mệnh đề hợp thành  $A \Rightarrow B$  sẽ được kí hiệu là  $R$ . Ta có luật hợp thành là tên chung gọi mô hình  $R$  biểu diễn một hay nhiều hàm liên thuộc cho một hay nhiều mệnh đề hợp thành. Một luật hợp thành chỉ có một mệnh đề hợp thành được gọi là luật hợp thành đơn. Ngược lại nếu có nhiều hơn một mệnh đề hợp thành ta sẽ gọi nó là mệnh đề hợp thành kép. Ngoài ra  $R$  còn có một số tên gọi khác phụ thuộc vào cách kết hợp các mệnh đề hợp thành (max hay sum) và quy tắc sử dụng trong từng mệnh đề hợp thành (min hay prod)

- Luật hợp thành max- PROD: nếu các hàm liên thuộc thành phần được xác định theo quy tắc hợp thành PROD và phép hợp giữa các mệnh đề hợp thành lấy theo quy luật max.

- Luật hợp thành max- MIN: nếu các hàm liên thuộc thành phần được xác định theo quy tắc hợp thành MIN và phép hợp giữa các mệnh đề hợp thành lấy theo quy luật max.

- Luật hợp thành sum- MIN: nếu các hàm liên thuộc thành phần được xác định theo quy tắc hợp thành MIN và phép hợp thành được lấy theo công thức Lukasiewicz.

- Luật hợp thành sum- PROD: nếu các hàm liên thuộc thành phần được xác định theo quy tắc hợp thành PROD và phép hợp thành được lấy theo công thức Lukasiewicz.



Hình 2.26: Hàm liên thuộc của luật hợp thành

Tổng quát, ta xét thuật toán xây dựng luật hợp thành có nhiều mệnh đề hợp thành. Xét luật hợp thành gồm p luật hợp thành:

R: Nếu  $x = A_1$  thì  $y = B_1$  hoặc

R: Nếu  $x = A_2$  thì  $y = B_2$  hoặc

....

R: Nếu  $x = A_p$  thì  $y = B_p$

Trong đó các giá trị mờ  $A_1, A_2, \dots, A_p$  có cùng tập nền X và  $B_1, B_2, \dots, B_p$  có cùng tập nền Y.

Gọi các hàm liên thuộc  $A_k$  và  $B_k$  là  $\mu_{A_k}(x)$  và  $\mu_{B_k}(y)$  với  $k = 1, 2, \dots, p$ . Tổng quát lại thuật toán triển khai  $R = R_1 \cup R_2 \dots \cup R_p$  sẽ như sau:

Rời rạc hóa X tại n điểm  $x_1, x_2, \dots, x_n$  và Y tại m điểm  $y_1, y_2, \dots, y_m$

- Xác định các vector  $\mu_{A_k}(x)$  và  $\mu_{B_k}(y)$ ,  $k = 1, 2, \dots, p$  theo



$$\mu_{Ak}^T = (\mu_{Ak}(x_1), \mu_{Ak}(x_{21}), \dots, \mu_{Ak}(x_{nl}))$$

$$\mu_{Bk}^T = (\mu_{Bk}(y_1), \mu_{Bk}(y_{21}), \dots, \mu_{Bk}(x_{nl}))$$

- Xác định mô hình cho luật điều khiển

$$R_k = \mu_{Ak}^T \cdot \mu_{Bk}^T = r_{ij}^k \text{ với } i=1, \dots, n \text{ và } j=1, \dots, m$$

Trong đó phép nhân được thay bằng phép tính lấy cực tiểu min khi sử dụng quy tắc hợp thành MIN

$$- \text{Xác định luật hợp thành } R = \max_{k=1,2,\dots,p} r_{ij}^k \quad (2.35)$$

Từng mệnh đề trên được mô hình hóa thống nhất theo một quy tắc chung, ví dụ hoặc theo quy tắc max-MIN hoặc theo max-PROD. Khi đó các luật điều khiển  $R_k$  sẽ có một tên chung là luật hợp thành max-MIN hoặc luật hợp thành max-PROD. Tên chung này cũng sẽ là tên gọi của luật hợp thành  $R$ , ngoài ra khi công thức xác định luật hợp thành  $R$  ở trên được thay bằng công thức

$$R = \min \left\{ 1, \sum_{k=1}^p R_k \right\} \quad (2.36)$$

Thì ta có luật hợp thành sum-MIN và sum-PROD tương ứng

Luật hợp thành sum-MIN và sum-PROD có tính thống kê hơn so với luật hợp thành max-MIN và max-PROD và nó tính đến mọi giá trị đầu ra của mọi mệnh đề hợp thành  $R_k$ .

#### 2.4.5.3. Khâu giải mờ

Bộ điều khiển mờ tổng hợp được như trên chưa thể áp dụng được trong điều khiển đối tượng, vì đầu ra luôn là một giá trị mờ  $B'$ . Một bộ điều khiển mờ hoàn chỉnh phải có thêm khâu giải mờ. Khâu giải mờ có nhiệm vụ chuyển đổi tập mờ  $B'$  thành một giá trị rõ  $y'$  chấp nhận được cho đối tượng.

Giải mờ được định nghĩa như là sự ánh xạ (sự làm tương ứng) từ tập mờ  $B'$  trong tập mờ cơ sở  $V$  (thuộc phần thực  $R$ ;  $V \subset R$ ; đó là đầu ra của khối hợp thành và suy luận mờ) thành giá trị rõ đầu ra  $y \in V$ . Như vậy nhiệm vụ của giải mờ là tìm một điểm rõ  $y \in V$  làm đại diện tốt nhất cho tập mờ  $B'$ . Có ba điểm lưu ý sau đây lúc chọn phương pháp giải mờ:

- Tính hợp lý của kết quả. Điểm rõ  $y^* \in V$  là điểm đại diện (cho “năng lượng”) của tập mờ  $B'$ , điều này có thể nhận trực giác tính hợp lý của kết quả khi đã có hàm liên thuộc của tập mờ  $B'$

- Việc tính toán đơn giản, đây là điều rất quan trọng để tính toán nhanh, vì các bộ điều khiển mờ làm việc ở thời gian thực.

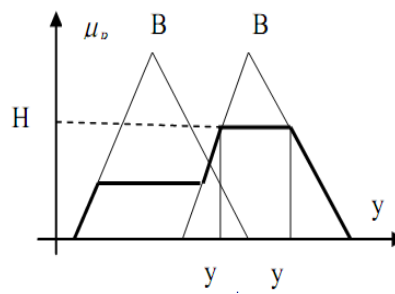
- Tính liên tục: Một sự thay đổi nhỏ trong tập mờ B' chỉ làm thay đổi nhỏ kết quả giải mờ, nghĩa là không gây ra thay đổi đột biến giá trị giải mờ  $y \in V$ .

Như vậy mờ hóa là quá trình xác định một giá trị rõ ở đầu ra theo hàm liên thuộc hợp thành đã tìm được từ các luật hợp thành và điều kiện đầu vào. Có ba phương pháp giải mờ thường dùng là phương pháp cực đại, phương pháp tâm và phương pháp bình tâm.

**Giải mờ theo phương pháp cực đại:** Gồm hai bước:

**Bước 1:** Xác định miền chứa giá trị rõ đầu ra  $y$ . Đó là miền mà giá trị rõ đầu ra  $y$  có hàm liên thuộc đạt giá trị cực đại, nghĩa là:  $G = y \in Y \mid \mu_B(y) = \text{Max}$

**Bước 2:** Xác định  $y'$  có thể chấp nhận được từ  $G$ . Lúc này có 3 cách tính.



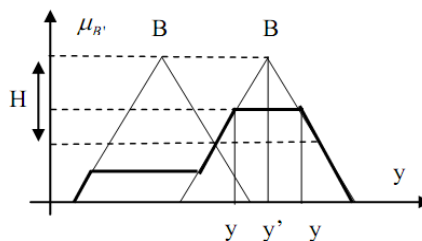
Hình 2.27: Giải mờ bằng phương pháp cực đại

Trong hình 2.27 thì  $G$  là khoảng  $[y_1, y_2]$  của miền giá trị tập mờ đầu ra  $B_2$  của luật điều khiển  $R_2$

Ba cách tính đó là: Nguyên lý cận trái, cận phải và trung bình. Kí hiệu  $y_1, y_2$  là điểm cận trái và cận phải của  $G$ .

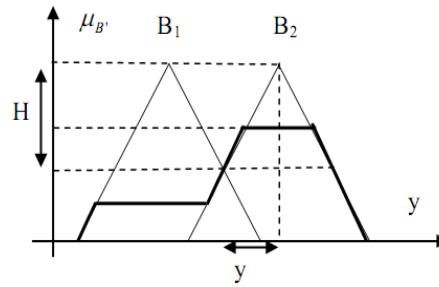
- Nguyên lý trung bình: Theo nguyên lý trung bình giá trị rõ  $y'$  sẽ là:

$$y' = \frac{y_1 + y_2}{2}$$



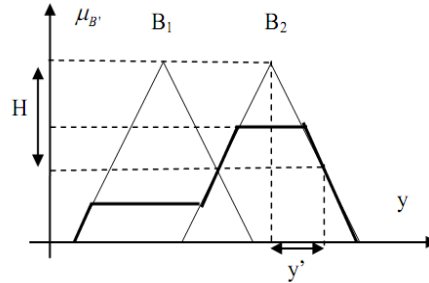
Hình 2.28: Giải mờ theo nguyên tắc trung bình

- Nguyên lý cận trái: Giá trị rõ  $y'$  được lấy bằng cận trái  $y_1$  của  $G$



Hình 2.29: Giải mờ theo nguyên tắc cận trái

- Nguyên lý cận phải: Giá trị rõ  $y'$  được lấy bằng cận phải  $y_2$  của  $G$



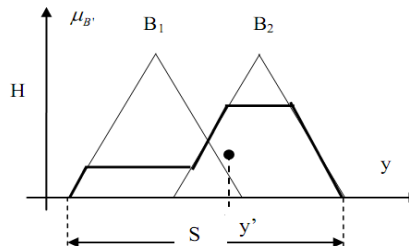
Hình 2.30: Giải mờ theo phương pháp cận phải

### Giải mờ theo phương pháp trọng tâm

Phương pháp trọng tâm sẽ cho ta kết quả  $y'$  là hoành độ điểm trọng tâm của miền được bao bởi trục hoành và đường  $\mu_{B'}(y)$ . Công thức xác định  $y'$  theo phương pháp điểm trọng tâm như sau:

$$y' = \frac{\int_S y \mu_{B'}(y) dy}{\int_S \mu_{B'}(y) dy} \quad (2.37)$$

Trong đó  $S$  là miền xác định tập mờ  $B'$ . Công thức này cho phép xác định giá trị  $y'$  với sự tham gia của tất cả các tập mờ đầu ra một cách bình đẳng và chính xác. Tuy nhiên lại không để ý đến độ thỏa mãn của luật điều khiển quyết định và thời gian tính toán lâu.



Hình 2.31: Giải mờ theo phương pháp điểm trọng tâm

Phương pháp trọng tâm có ưu điểm là có tính đến ảnh hưởng của tất cả các luật điều khiển giá trị đầu ra. Tuy vậy cũng có nhược điểm là khi gặp các dạng hàm liên thuộc hợp thành các dạng đối xứng thì kết quả sai nhiều. Vì giá trị tính được lại đúng vào chỗ hàm liên thuộc có giá trị thấp nhất, thậm chí bằng 0, điều này hoàn toàn sai về suy nghĩ thực tế. Để tránh điều này khi định nghĩa các hàm liên thuộc cho từng giá trị mờ của một biến ngôn ngữ nên chú ý sao cho luật hợp thành đầu ra tránh được dạng này, có thể bằng cách kiểm tra sơ bộ qua mô phỏng

### **Giải mờ theo phương pháp trung bình tâm**

Nếu giả thiết mỗi tập mờ  $\mu'_{B_k}(y)$  được xấp xỉ bằng một cặp giá trị  $(y_k, H_k)$  duy nhất (singleton); trong đó  $H_k$  là độ cao của  $\mu'_{B_k}(y)$  và  $y_k$  là một điểm mẫu trong miền giá trị của  $\mu'_{B_k}(y)$  có  $\mu'_{B_k}(y) = H_k$  thì

$$y' = \frac{\sum_{k=1}^q y_k H_k}{\sum_{k=1}^q H_k}$$

(2.38)

Đây là công thức xấp xỉ  $y'$  theo phương án độ cao. Nhiều trường hợp sử dụng đầu ra dạng singleton rất có hiệu quả trong quá trình giải mờ vì đơn giản được công thức tính toán cần thiết. Công thức này được áp dụng cho mọi luật hợp thành như max-MIN, max-PROD, sum-MIN và sum-PROD.

## **2.4.6. Phân loại điều khiển mờ và các mờ cơ bản**

### **2.4.6.1. Phân loại bộ điều khiển mờ**

Cũng giống như bộ điều khiển kinh điển, bộ điều khiển mờ được phân loại dựa trên các quan điểm khác nhau .

Theo số lượng đầu vào và đầu ra

- Bộ điều khiển mờ một vào một ra (SISO)
- Bộ điều khiển mờ nhiều vào một ra (MISO)
- Bộ điều khiển mờ nhiều vào nhiều ra (MIMO)

Theo bản chất của tín hiệu đưa vào bộ điều khiển

- Bộ điều khiển mờ tĩnh
- Bộ điều khiển mờ động

### **2.4.6.2. Các bộ điều khiển mờ cơ bản**

- Bộ điều khiển Mamdani (MCFC)

- Bộ điều khiển tra bảng (CMFC)
- Bộ điều khiển Tagaki- Sugeno (TSFC)

## 2.5. ĐIỀU KHIỂN PID MỜ

### 2.5.1. Hệ điều khiển thích nghi mờ

Hệ điều khiển thích nghi mờ là hệ điều khiển thích nghi được xây dựng trên cơ sở hệ mờ

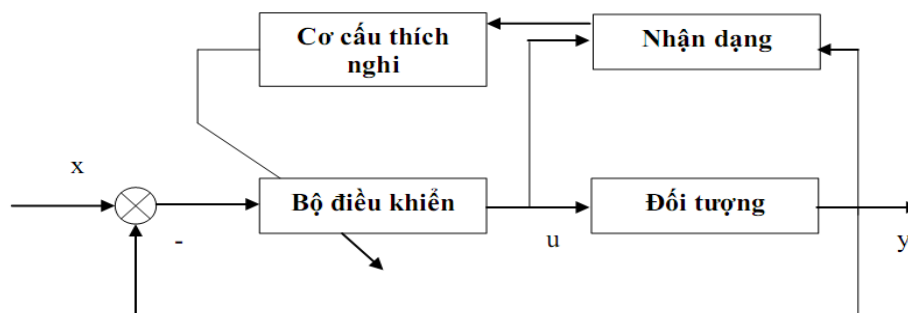
\* Phân loại hệ điều khiển thích nghi mờ

- Bộ điều khiển mờ tự chỉnh là bộ điều khiển mờ có khả năng chỉnh định các giá trị tham số của tập mờ (các hàm liên thuộc)
- Bộ điều khiển mờ tự thay đổi cấu trúc là bộ điều khiển mờ có khả năng tự chỉnh định lại các luật điều khiển

\* Các phương pháp điều khiển thích nghi mờ

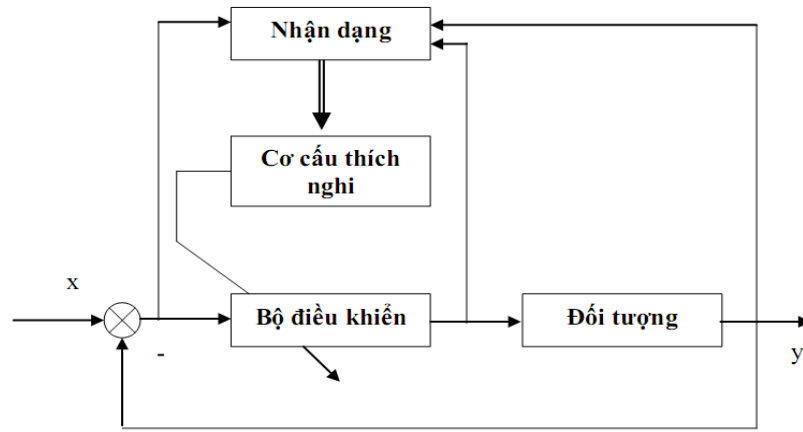
Các bộ điều khiển thích nghi mờ được xây dựng trên cơ sở của hai phương pháp

- Phương pháp trực tiếp: Phương pháp trực tiếp thực hiện thông qua việc nhận dạng thường xuyên các tham số của đối tượng trong hệ kín. Quá trình nhận dạng thông số của đối tượng có thể thực hiện thường xuyên do trạng thái của các tín hiệu vào/ra của đối tượng, chọn một thuật toán hợp lý trên cơ sở đối tượng đã biết trước hoặc mô hình mờ.



Hình 2.32: Sơ đồ cấu trúc phương pháp điều khiển thích nghi trực tiếp

- Phương pháp gián tiếp: Phương pháp này thực hiện thông qua các phẩm hàm mục tiêu của hệ kín xây dựng trên các chỉ tiêu chất lượng. Phẩm hàm mục tiêu có thể được xây dựng trên cơ sở các chỉ tiêu chất lượng động của hệ thống, như quá độ điều chỉnh, thời gian quá độ hay các chỉ tiêu tích phân sai lệch...



Hình 2.33: Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển thích nghi

So với những hệ điều khiển thích nghi kinh điển, hệ điều khiển thích nghi mờ có miền tham số chỉnh định rất lớn. Bên cạnh các tham số  $K_p$ ,  $T_I$ ,  $T_D$  giống như bộ điều khiển PID thông thường. Ở bộ điều khiển ta còn có thể chỉnh định các tham số khác như hàm liên thuộc, các luật hợp thành, các phép toán OR, AND, NOT, nguyên lý giải mờ...

Trong thực tế hệ điều khiển thích nghi được sử dụng ngày càng nhiều vì nó có các ưu điểm nổi bật so với các hệ điều khiển thông thường khác. Với khả năng tự chỉnh định lại các tham số của bộ điều chỉnh cho phù hợp với đối tượng chưa biết rõ đã đưa hệ thích nghi mờ thành một bộ điều khiển thông minh.

### 2.5.2. Hệ điều khiển mờ lai

Thực tế ứng dụng của kỹ thuật điều khiển mờ cho thấy rằng không phải cứ thay thế một bộ điều khiển kinh điển bằng một bộ điều khiển mờ thì sẽ có một hệ thống tốt hơn. Tuy nhiên trong nhiều trường hợp để phát huy được hết ưu điểm của mỗi loại điều khiển mờ và điều khiển rõ, để hệ thống có đặc tính động học tốt, bền vững hơn cần phải thiết kế thiết bị điều khiển lai giữa bộ điều khiển mờ và điều khiển rõ với nhau. Từ đó dẫn đến khái niệm “hệ mờ lai” và lĩnh vực thiết kế, ứng dụng bộ điều khiển mờ lai để nâng cao chất lượng hệ thống. Hệ điều khiển mờ lai sẽ phát huy hết các ưu điểm của bộ điều khiển mờ và điều khiển rõ.

Hệ mờ lai (Furry- hybrid) là một hệ thống điều khiển tự động, trong đó thiết bị điều khiển gồm hai thành phần: Phần thiết bị điều khiển rõ (thường là bộ điều khiển PID kinh điển) và phần thiết bị điều khiển mờ.

Sử dụng bộ điều khiển mờ lai sẽ phát huy ưu nhược điểm của cả bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển rõ (hay bộ điều khiển PID kinh điển). Ta xét hệ thống điều khiển

có hai cấu trúc vòng, một trong hai vòng điều khiển sử dụng bộ điều khiển mờ, vì vậy có hai khả năng kết hợp là:

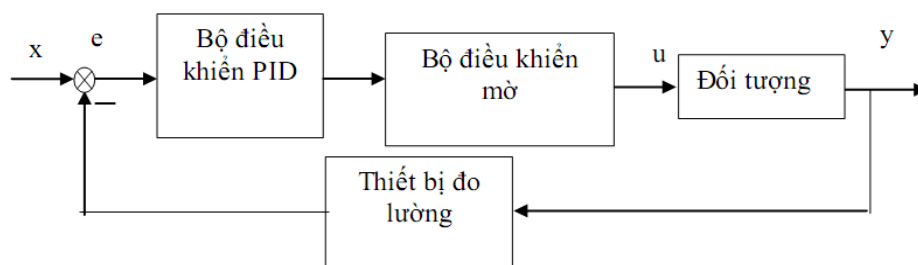
- Khả năng 1: Bộ điều khiển mờ được sử dụng ở mạch vòng điều khiển trong, mạch vòng điều khiển ngoài sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển. Bộ điều khiển mờ lai được xây dựng theo phương pháp này được gọi là bộ điều khiển mờ lai kinh điển.

- Khả năng 2: Bộ điều khiển kinh điển PID được sử dụng ở mạch vòng điều khiển trong, mạch vòng điều khiển ngoài sử dụng bộ điều khiển ngoài dụng bộ điều khiển mờ để chỉnh định tham số cho bộ điều khiển PID. Bộ điều khiển mờ lai xây dựng theo phương pháp này được gọi là bộ điều khiển mờ lai chỉnh định tham số bộ điều khiển PID.

### **Bộ điều khiển mờ lai kinh điển**

Khi thiết kế bộ điều khiển mờ lai kinh điển, trước hết ta có thể thiết kế bộ điều khiển mờ ở mạch vòng trong mà chưa cần quan tâm đến điều kiện ổn định của hệ thống. Sau đó khi thiết kế bộ điều khiển PID ở mạch vòng ngoài ta mới xét tới vấn đề ổn định. Như vậy bộ điều khiển PID ở mạch vòng ngoài sẽ thực hiện chức năng giám sát ổn định hệ thống, còn bộ điều khiển mờ ở mạch trong sẽ đảm bảo chất lượng điều chỉnh cho hệ thống.

Chức năng giám sát của bộ điều khiển PID ở mạch vòng ngoài được lý giải như sau: Nếu bộ điều khiển mờ ở mạch vòng trong hoạt động tốt tức là đảm bảo chất lượng điều chỉnh cho hệ thống thì bộ điều khiển PID ở mạch vòng ngoài không tham gia vào công việc điều chỉnh. Khi bộ điều khiển mờ ở mạch vòng trong hoạt động tốt có khuynh hướng gây mất ổn định cho hệ thống thì bộ điều khiển PID ở mạch vòng ngoài sẽ can thiệp nhằm đưa hệ thống về trạng thái ổn định.

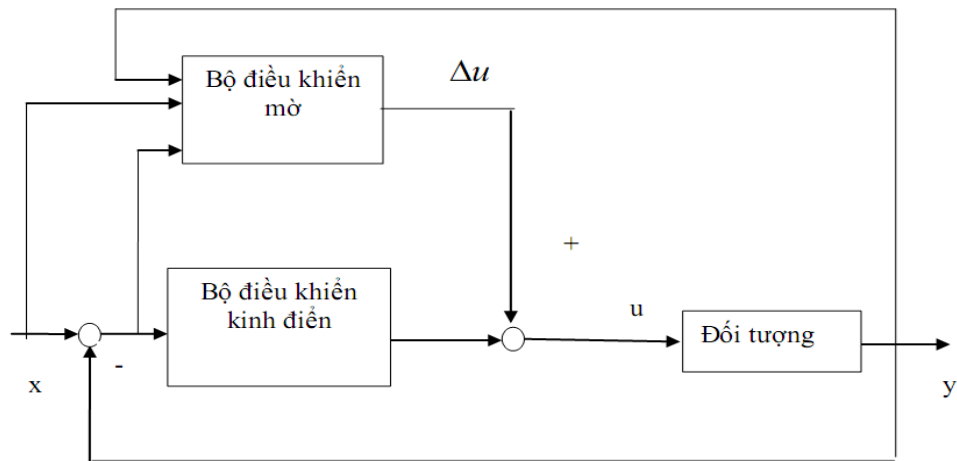


Hình 2.34: Mô hình bộ điều khiển mờ lai kinh điển

### **Bộ điều khiển mờ lai cascade**

Trong hệ mờ lai khác được biểu diễn như hình 2.35, ở trong đó phần bù tín hiệu điều chỉnh  $\Delta u$  được lấy ra từ bộ điều khiển mờ. Trong trường hợp hệ thống có cấu trúc

như trên thì việc chọn các đại lượng đầu vào của hệ mờ phụ thuộc vào từng ứng dụng cụ thể. Tất nhiên các đại lượng thường được sử dụng làm tín hiệu vào của hệ mờ là tín hiệu chủ đạo  $x$ , sai lệch  $e$ , tín hiệu ra  $y$  cùng với các đạo hàm hoặc các tích phân của các đại lượng này. Về nguyên tắc có thể sử dụng các đại lượng khác của đối tượng cũng như sử dụng các nhiễu xác định được.



Hình 2.35: Cấu trúc hệ mờ lai Cascade

### 2.5.3. Bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số bộ điều khiển PID

Cơ sở của phương pháp này là dựa vào việc phân tích sai lệch  $e(t)$  và đạo hàm của sai lệch, các tham số  $K_p$ ,  $T_I$ ,  $T_D$  của bộ điều khiển PID sẽ được tự động chỉnh định theo phương pháp chỉnh định mờ Zhao, Tomizuka và Isaka.

### 2.5.4. Bộ điều khiển mờ tự chỉnh cấu trúc

Bộ điều khiển mờ tự chỉnh định các luật điều khiển được gọi là bộ điều khiển mờ tự chỉnh cấu trúc. Bộ chỉnh định được thiết kế đảm bảo đầu ra là giá trị hiệu chỉnh của tín hiệu điều khiển  $u(t)$ . Để thay đổi luật điều khiển trước tiên phải xác định quan hệ giữa các giá trị được hiệu chỉnh ở đầu ra bộ điều khiển với giá trị biến đổi đầu vào. Do vậy cần có mô hình thô của đối tượng, mô hình này được dùng để tính toán giá trị đầu vào tương ứng với giá trị đầu ra cần đạt được của bộ điều khiển. Dựa trên tín hiệu ra mong muốn và tín hiệu vào tương ứng của bộ điều khiển có thể xác định và hiệu chỉnh nguyên tắc điều khiển, các nguyên tắc này đảm bảo chất lượng điều khiển của hệ thống. Đối với những đối tượng bậc cao có thời gian trễ lớn có thể có thời gian chỉnh định chậm, còn đối với các hệ thống bậc thấp có thời gian trễ nhỏ yêu cầu thời gian



chỉnh định nhanh. Việc chỉnh định chỉ có ý nghĩa khi quá trình chỉnh định kết thúc trước khi hệ thống kết thúc quá trình quá độ.

**\* Kết luận chương 2:**

Qua tìm hiểu, phân tích về các phương pháp điều khiển đã trình bày ở trên cho thấy:

Đối với các phương pháp điều khiển kinh điển đã ra đời từ rất sớm, có nhiều đóng góp để giải quyết các bài toán điều khiển trong thực tế. Ở những năm trước đây với việc điều khiển hệ tuyến tính, các luật điều khiển PI, PD, PID thực sự chiếm ưu thế trong ngành tự động hóa, có thể coi là bộ điều khiển lý tưởng cho các đối tượng liên tục vì có các ưu điểm như mô hình và phương pháp tổng hợp bộ điều khiển đơn giản, dễ áp dụng và sử dụng...Tuy nhiên chất lượng điều khiển của hệ thống cũng chỉ đạt được ở mức độ còn nhiều hạn chế, đặc biệt là đối với hệ phi tuyến

Những năm gần đây là sự ra đời và phát triển của lý thuyết điều khiển hiện đại, đặc biệt là các bộ điều khiển thông minh đã được ứng dụng để giải quyết hàng loạt các bài toán điều khiển cho hệ thống điều khiển tự động. Trong đó lý thuyết Logic mờ tạo ra các bộ điều khiển mờ, các bộ điều khiển mờ nâng cao. Với những tính chất tương đối hoàn thiện như có tính phi tuyến mạnh, khả năng chống nhiễu cao, có tham số rải và thời gian trễ lớn nên rất phù hợp với những hệ phi tuyến nhằm đáp ứng yêu cầu trong điều khiển tự động. Ngoài ra các bộ điều khiển mờ cho phép lặp lại các tính chất của các bộ điều khiển kinh điển. Việc thiết kế bộ điều khiển mờ cũng rất đa dạng, qua việc tổ chức các nguyên tắc điều khiển và chọn tập mờ cho các biến ngôn ngữ cho phép người ta thiết kế các bộ điều khiển mờ khác nhau. Khối lượng công việc cần thực hiện khi thiết kế một bộ điều khiển mờ không phụ thuộc vào đặc tính của đối tượng. Tuy nhiên việc vận dụng vào để thiết kế bộ điều khiển còn phụ thuộc nhiều vào kiến thức, kinh nghiệm, khả năng vận dụng phù hợp của chuyên gia thiết kế.

---

**CHƯƠNG 3****THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ CHO  
HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ****3.1. KHÁI QUÁT**

Ở luận văn này tác giả nghiên cứu và mô tả các ảnh hưởng ngẫu nhiên của cơ cấu bánh răng đến chất lượng của hệ thống truyền động điện, từ đó thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở đánh giá, so sánh giữa phương pháp điều khiển kinh điển và điều khiển thích nghi mờ. Với những kết quả nghiên cứu lý thuyết, mô phỏng đưa ra sẽ cho ta thấy hiệu quả điều khiển khi sử dụng bộ điều khiển thích nghi mờ nhằm nâng cao chất lượng hệ truyền động có bánh răng.

Để hoàn thành nhiệm vụ của đề tài đã đặt ra, tác giả thực hiện trình tự các bước sau:

- Xây dựng mô hình toán học cho động cơ điện một chiều kích từ độc lập để điều khiển tốc độ động cơ trong hệ truyền động.

- + Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh dòng điện cho hai trường hợp sau: Sử dụng bộ điều chỉnh PID và bộ điều chỉnh PID chỉnh định thích nghi mờ.

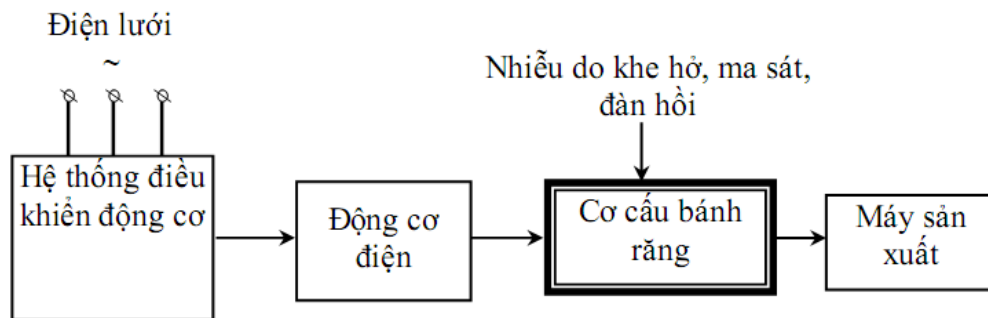
- + Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh tốc độ, bằng các bộ điều chỉnh PID theo phương pháp tối ưu modul và tối ưu đối xứng.

- Đưa mô hình toán học của cơ cấu bánh răng, với các hệ phương trình phi tuyến đã được xây dựng ở Chương 1 vào hệ truyền động và thực hiện mô phỏng trên phần mềm MATLAB. Từ đó so sánh kết quả để đánh giá và kết luận.

**3.2. ẢNH HƯỞNG CỦA BÁNH RĂNG ĐẾN CHẤT LƯỢNG HỆ TRUYỀN ĐỘNG****3.2.1. Sơ đồ khối của hệ truyền động qua bánh răng**

Hệ thống truyền động điện qua bánh răng được mô tả bằng sơ đồ khối như hình 3.1. Trong đó động cơ điện được cấp điện từ lưới qua bộ điều khiển, trục động cơ nối với bánh răng chủ động và truyền chuyển động đến máy sản xuất thông qua bánh răng bị động (hoặc một vài bánh răng trung gian). Truyền động bánh răng được sử dụng

trong nhiều loại máy và cơ cấu khác nhau để truyền chuyển động quay từ trục này sang trục khác hoặc để biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến và ngược lại. Truyền động bánh răng là những cơ cấu quan trọng trong ô tô, động cơ đốt trong, máy công cụ, máy nông nghiệp, máy cần cẩu và nhiều loại thiết bị khác.



Hình 3.1: Sơ đồ khối của hệ truyền động qua bánh răng



Hình 3.2 Hệ truyền động qua bánh răng thực tế

### 3.2.2. Mô phỏng hoạt động của bánh răng

Xét cơ cấu bánh răng gồm 2 bánh răng thẳng, răng trụ. Ở chương 1 đã viết được phương trình mô tả quan hệ tốc độ của trục bánh răng chủ động và bánh răng bị động là:

$$\omega_2 = \left[ -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right] \omega_1 \quad (3.1)$$

Trong đó:

$r_{10}, r_{20}$  là bán kính thiết kế của bánh răng 1 và bánh răng 2

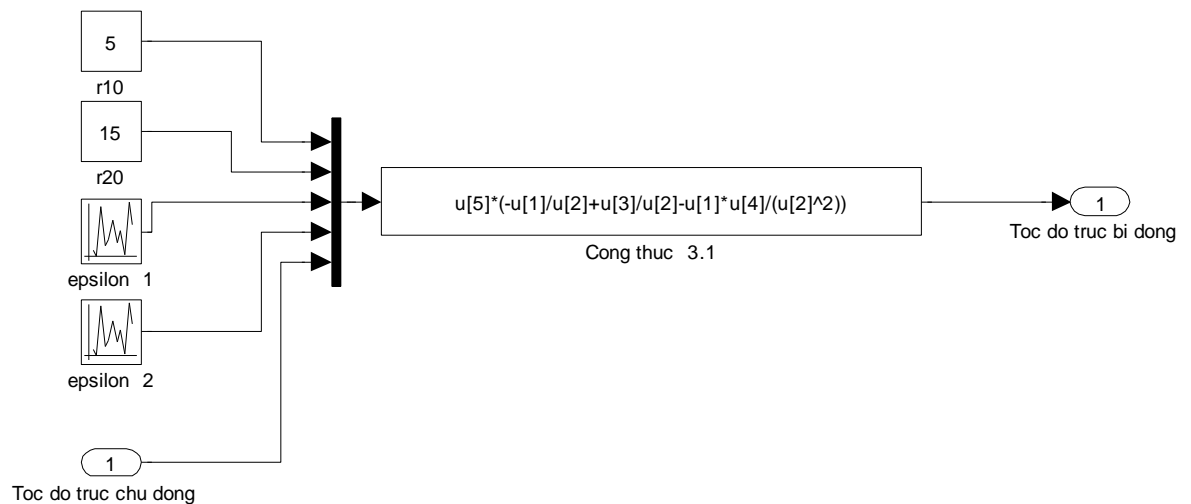
$r_1, r_2$  là bán kính thực của chúng (còn gọi là bán kính chế tạo)

Gọi  $\delta_1, \delta_2$  là độ lệch giữ bán kính thiết kế và bán kính thực ta có:

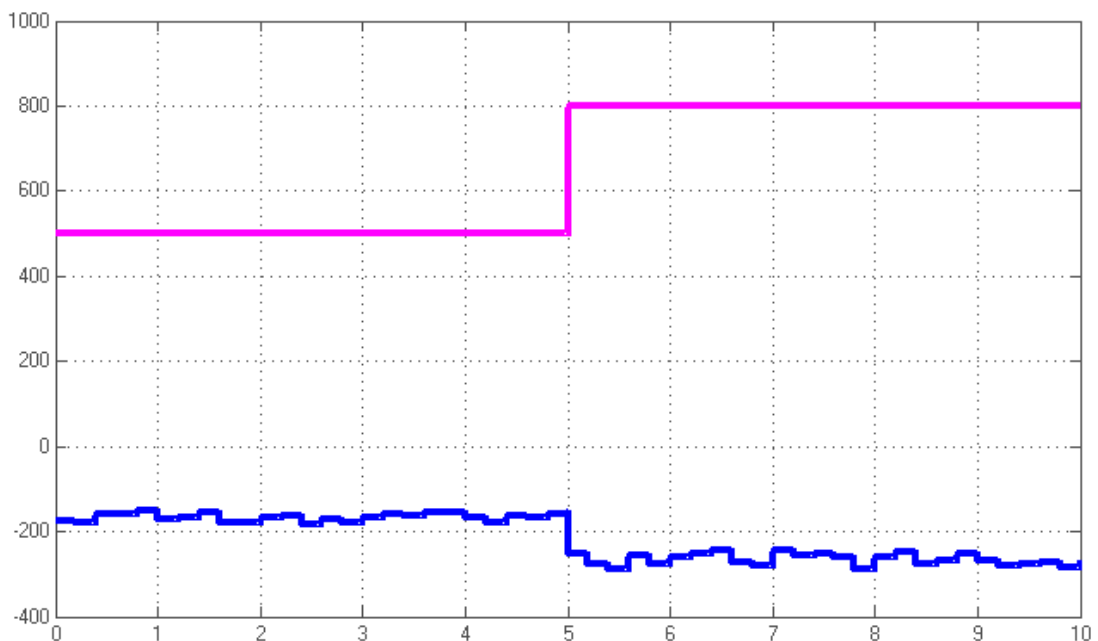
$$r_1 = r_{10} - \delta_2$$

$$r_2 = r_{20} - \delta_2$$

Từ (3.1) ta mô phỏng được quan hệ giữa các tốc độ của trục chủ động và trục bị động. Hình 3.2 là sơ đồ mô phỏng, hình 3.3 là quan hệ tức thời của tốc độ 2 trục bánh răng bị động khi kể đến khe hở do sai số chế tạo



Hình 3.3: Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động bánh răng



Hình 3.4: Đặc tính tốc độ của bánh răng chủ động và bị động

Kết quả mô phỏng ở hình 3.3 cho thấy do ảnh hưởng khe hở, đàn hồi và ma sát nên tốc độ trục bị động bị dao động dẫn đến tỉ số truyền tức thời của cặp bánh răng luôn thay đổi, sự thay đổi này có tính ngẫu nhiên phụ thuộc vào tốc độ làm việc của hệ.

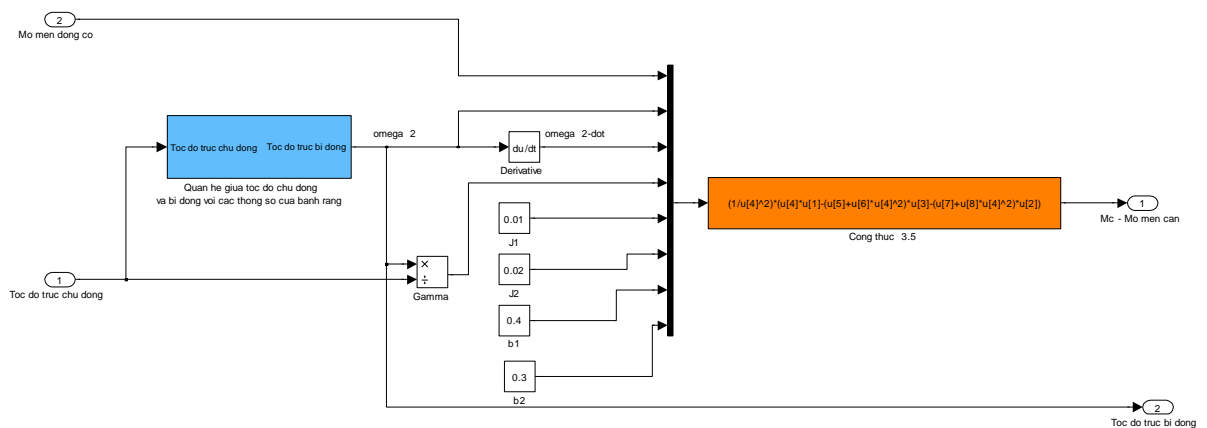
### 3.2.3. Mô phỏng quan hệ giữa các mô men trong hệ bánh răng

Ở chương 1 ta đã viết được hệ phương trình động lực học của cặp bánh răng khi kể đến khe hở, đàn hồi và ma sát:

$$J_2 \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right) \dot{\omega}_2 + b_2 \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right) \omega_2 + \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right) M_c = M_{dc} - \bar{J}_1 \dot{\omega}_1 - b_1 \omega_1$$

$$(3.4) \quad \left[ \bar{J}_1 + J_2 \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right)^2 \right] \dot{\omega}_2 + \left[ b_1 + b_2 \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right)^2 \right] \omega_2 + \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right)^2 M_c = \left( -\frac{r_{10}}{r_{20}} + \frac{\delta_1}{r_{20}} - \frac{r_{10}}{r_{20}^2} \delta_2 \right) M_{dc} \quad (3.5)$$

Từ (3.4) hoặc (3.5) ta mô phỏng được quan hệ giữa mô men trục chủ động  $M_{dc}$  và mô men trục bị động  $M_c$  có kể đến khe hở, ma sát, đàn hồi. Hình 3.4 dưới đây là sơ đồ mô phỏng động lực học của cặp bánh răng theo phương trình (3.5)



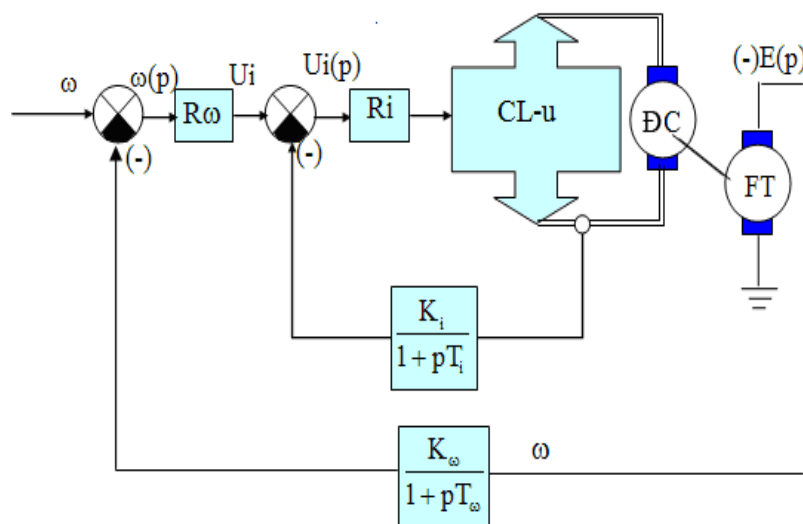
Hình 3.5: Sơ đồ mô phỏng quan hệ mô men của cặp bánh răng

### 3.3. THIẾT KẾ PID KINH ĐIỂN CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG

### 3.3.1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống:

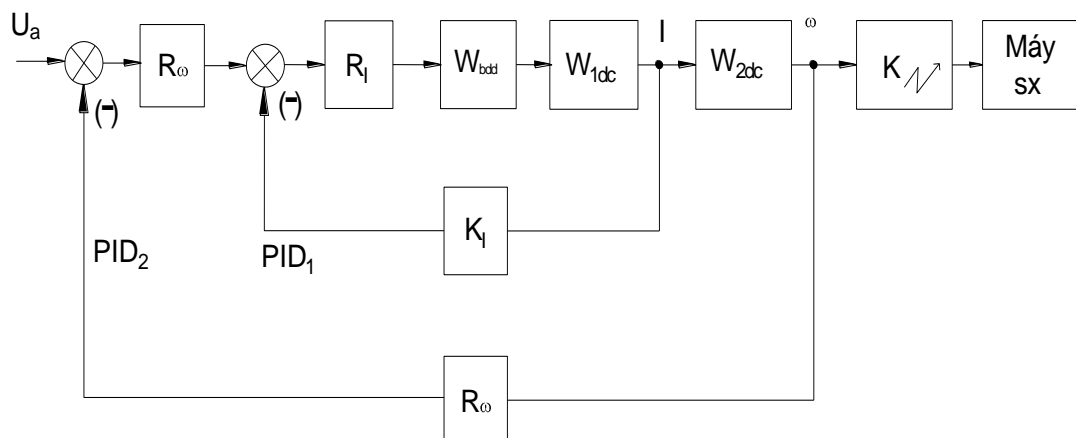
Trong hệ thống điều khiển, tác giả sử dụng động cơ điện trong hệ truyền động là động cơ điện một chiều kích từ độc lập. Hệ điều khiển động cơ là hệ chấp hành T-Đ, cấu trúc chung bao gồm hai mạch vòng là:

- Mạch vòng dòng điện
- Mạch vòng tốc độ



Hình 3.6. Cấu trúc chung của hệ điều chỉnh tốc độ sử dụng hệ chấp hành T-Đ

Ta có sơ đồ cấu trúc hệ thống như sau:



Hình 3.7. Sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động

### 3.3.2. Mô hình toán học động cơ điện một chiều kích từ độc lập

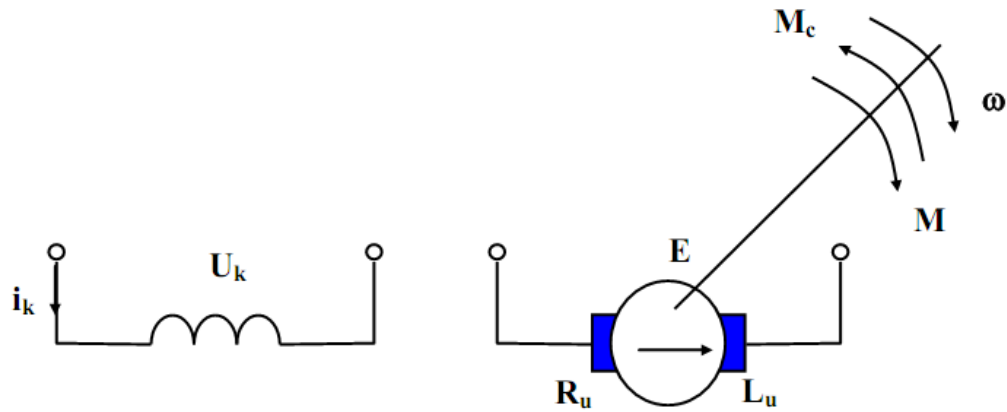
Trên thực tế đặc tính của động cơ điện một chiều kích từ độc lập và kích từ song song là giống nhau nên khi cần công suất lớn người ta thường dùng động cơ kích từ độc lập để có thể điều chỉnh dòng điện kích thích được thuận tiện do đó mà điều chỉnh tốc độ dễ dàng và kinh tế hơn mặc dù nó đòi hỏi phải có dòng bên ngoài.

Vậy trong đề tài này tác giả chỉ xét đến động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập được chọn có các thông số cho ở bảng sau:

Ký hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị tính
$P_{dm}$	Công suất định mức	1,5	Kw
$U_{dm}$	Điện áp định mức	220	V
$I_{dm}$	Dòng điện định mức	6.8	A
$n_{dm}$	Tốc độ định mức	1500	Vòng/phút
$\eta_{dm}$	Hiệu suất định mức	90	%
$J$	Mô men quán tính	0,005	kg.m <sup>2</sup>
$K_b$	Hằng số sức phản điện động	0,174	V.s/rad
$K_a$	Hằng số từ thông động cơ	0,176	N.m/A
$R_{\alpha}$	Điện trở phần ứng	1,8	$\Omega$
$L_{\alpha}$	Điện cảm phần ứng	0,09	H

Ta có sơ đồ thay thế động cơ điện một chiều kích từ độc lập



Hình 3.8. Sơ đồ thay thế động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Trong đó:

$U_k$ : Điện áp kích từ (V);

$I_k$ : Dòng kích từ (A);

$R_k; L_k$ : Điện trở và điện cảm kích từ ( $\Omega; H$ );

$U_r$ : Điện áp phản ứng (V)

$I_r$ : Dòng điện phản ứng (A)

$R_r, L_r$ : Điện trở và điện cảm phản ứng ( $\Omega; H$ )

$M$ : Mô men quay trên trục động cơ ( $kg.m^2$ );

$M_c$ : Mô men cản (tải) ( $kg.m^2$ );

$\omega$ : Vận tốc góc của trục động cơ (rad/s);

Khi đặt lên dây quấn kích từ một điện áp  $U_k$  nào đó sẽ tạo ra dây quấn kích từ dòng điện  $i_k$  và do đó mạch từ của máy sẽ có từ thông  $\Phi$ . Tiếp đó, đặt một giá trị điện áp  $U_a$  lên mạch phần ứng thì trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện  $i_a$  chạy qua. Tương tác giữa dòng điện phần ứng và từ thông kích từ tạo thành mômen điện từ.

Các phương trình toán học mô tả động cơ điện một chiều như sau :

Phương trình điện áp phản ứng :  $M = k_a \cdot i_u$  (3.6)

$$u_u = e_u + R_u i_u + L_u \frac{di_u}{dt} \quad (3.7)$$

$$e_u = k_b \omega \quad (3.8)$$

Ở chế độ xác lập, tốc độ động cơ được tính qua phương trình điện áp:



$$\omega = \frac{U_u - R_u I_u}{k_a} \quad (3.9)$$

Phương trình chuyển động của động cơ là:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3.10)$$

Phương trình chuyển động của động cơ trong miền laplace

$$M(p) - M_c(p) = J\omega p \quad (3.11)$$

Trong tính toán, ta giả thiết  $M_c$  ( $M_c$  là tổng mô men tải và mô men ma sát) và biến đổi Laplace (3.11), ta được

$$M(p) = J\omega p = k_a i_u, \text{ ở đây } p \text{ là toán tử Laplace} \quad (3.12)$$

Từ (3.12), (3.6), (3.7) và (3.9), sau khi biến đổi Laplace, ta có:

$$U_u(p) = R_u \frac{Jp}{k_a} \omega(p) + L_u \frac{Jp^2}{k_a} \omega(p) + k_b \omega(p) \quad \text{Hay}$$

$$\frac{\omega(p)}{U_u(p)} = \frac{k_d}{T_u T_c p^2 + T_c p + 1}$$

$$\text{Trong đó: } T_u = \frac{L_u}{R_u}, T_c = \frac{JR_u}{k_a k_b} : \text{Hằng số thời gian điện (s) và hằng số thời}$$

gian cơ của động cơ (s),  $k_d = 1/k_b$  là hằng số của động cơ (s).

### 3.3.3. Bộ chỉnh lưu

Để điều chỉnh điện áp cấp cho phản ứng của động cơ điện một chiều (qua đó điều chỉnh tốc độ động cơ) chúng ta cần có bộ biến đổi. Ở đây, ta sử dụng bộ biến đổi chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển đối xứng với các tham số sau:

$U_{dk}$ : Điện áp điều khiển đầu vào;

$U_d$ : Điện áp một chiều ở đầu ra để đưa vào phản ứng của động cơ ( $U_u$ ).

$U_{dk}$  có nhiệm vụ thay đổi góc mở  $\alpha$  của các van tiristo và có giá trị rất bé so với  $U_d$ , nên bộ chỉnh lưu chính là bộ khuếch đại với hệ số khuếch đại  $K_{cl}$ .

$$\text{Chọn } K_{cl} = \frac{U_{dm}}{U_{dk}} = \frac{U_{dm}}{15} = 14.6.$$

Theo bài ra ta biết  $U_{dm} = 220$  (V) vậy  $K_{cl} = 14.6$

Ngoài ra, bộ chỉnh lưu còn có tính trễ với thời gian trễ  $\tau \approx \frac{1}{2Pf} = T$  (trong đó:  $f = 50\text{Hz}$  là tần số điện áp lưới;  $P$  là số xung đập mạch). Do thời gian trễ  $T \ll 1$

Hàm truyền của bộ chỉnh lưu có dạng:

$$W_{cl}(p) = K_{cl} \cdot e^{-\tau p} = \frac{K_{cl}}{e^{\tau \cdot p}} = \frac{K_{cl}}{1 + \frac{\tau p}{1!} + \frac{(\tau p)^2}{2!} + \frac{(\tau p)^3}{3!} + \dots + \frac{(\tau p)^k}{k!}} \approx \frac{K_{cl}}{\tau p + 1} \quad (3.13)$$

Trong đó  $T_{cl} = 0,001$  (s). Vậy ta có hàm truyền bộ chỉnh lưu như sau:

$$W_{cl}(p) = \frac{K_{cl}}{T_{cl}p + 1} = \frac{14.6}{0,001p + 1}$$

### 3.3.4. Máy phát tốc:

Hàm truyền của máy phát tốc có dạng

$$W_{ft} = \frac{k_{ft}}{T_{ft}s + 1} \quad (3.14)$$

$T_{ft}$  là hằng số thời gian của máy phát tốc

Trong đó,  $K_{ft} = \omega_{dm}/15 = 2\pi n_{dm}/900 = 10.4$ ; Chọn  $T_{ft} = 0.001$  (s)

$$\Rightarrow W_{ft} = \frac{k_{ft}}{T_{ft}p + 1} = \frac{10.4}{0.001p + 1}$$

### 3.3.5. Biến dòng:

Ta có hàm truyền bộ biến dòng là

$$W_{bd} = \frac{k_{bd}}{T_{bd}p + 1}$$

$$k_{bd} = I_{dm} / 15 = 0.4$$

$T_{bd}$  là hằng số thời gian của bộ biến dòng chọn  $T_{bd} = 0.0015$  (s). Vậy

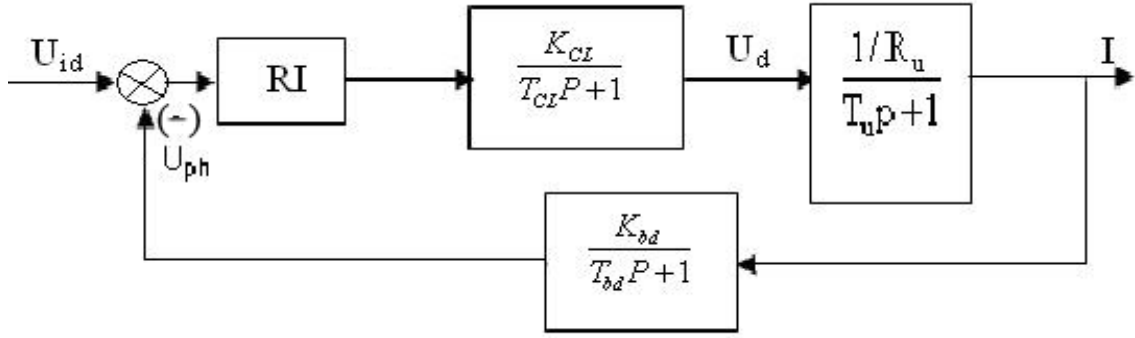
$$W_{bd} = \frac{k_{bd}}{T_{bd}p + 1} = \frac{0.4}{0.0015p + 1}$$

### 3.3.6. Thiết kế mạch vòng dòng điện

Ta xét trong trường hợp hệ thống truyền động điện có hằng số thời gian cơ lớn hơn rất nhiều so với hằng số thời gian điện từ của mạch phản ứng.

Lúc này ta có thể coi sức điện động của động cơ không ảnh hưởng đến quá trình điều chỉnh của mạch vòng dòng điện ( tức là  $e = 0$ ).

Ta có sơ đồ cấu trúc mạch vòng dòng điện như sau:



Hình 3.9. Sơ đồ cấu trúc mạch vòng dòng điện

Từ sơ đồ ta có hàm truyền hệ hở khi chưa có (RI) là:

$$W_{hi}(p) = \frac{U_i(p)}{U_{dk}(p)} = \frac{k_{cl} \cdot k_{bd} \cdot 1/R_u}{(pT_{cl} + 1)(pT_u + 1)(pT_{bd} + 1)} \quad (3.15)$$

Trong đó các hằng số thời gian  $T_{bd}, T_{cl}$  là rất nhỏ so với hằng số thời gian của điện từ. Ta đặt:  $T_{oi} = T_{bd} + T_{cl}$

$$T_u = L_u/R_u = 0.09/1.8 = 0.05 \text{ (s)}$$

$$T_{oi} = 0.0015 + 0.001 = 0.0025 \text{ (s)}$$

Như vậy  $T_{oi} \ll T_u$

Ta viết lại công thức (3.15) như sau:

$$S_{oi}(p) = \frac{k_{cl} \cdot k_{bd} \cdot 1/R_u}{(pT_{oi} + 1)(pT_u + 1)} \quad (3.16)$$

Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu modul ta tìm được hàm truyền của bộ điều chỉnh dòng có dạng khâu PI :

$$F_{OMi}(p) = \frac{1}{1 + 2pT_\sigma + 2p^2T_\sigma^2} \quad (3.17)$$

Mặt khác ta có:

$$F_{OMi}(p) = \frac{R_i(p) \cdot S_{oi}(p)}{1 + R_i(p) \cdot S_{oi}(p)}$$

$$\Rightarrow R_i(p) = \frac{F_{OMi}(p)}{S_{oi}(p) - F_{OMi}(p) \cdot S_{oi}(p)}$$

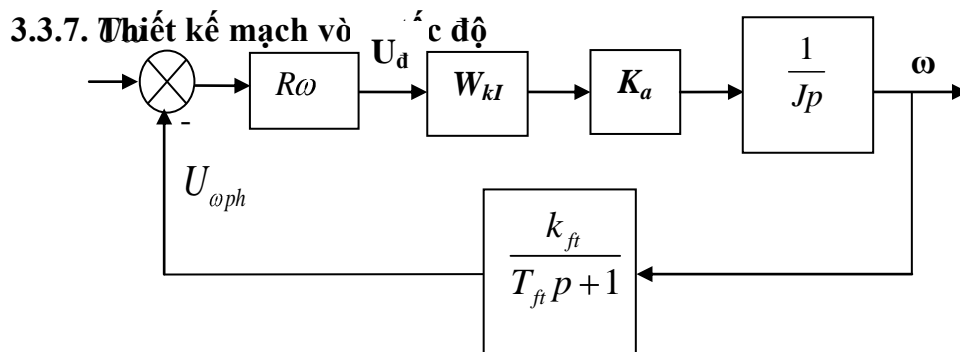
Chọn  $T_{\sigma} = \min(T_{oi}, T_u) = T_{oi}$  Vậy ta có hàm truyền hệ kín của bộ điều chỉnh dòng điện là:

$$W_{Ri} = \frac{1 + pT_u}{k_{cl}k_{bd} \frac{T_{oi}}{R_u} 2p} = \frac{R_u T_u}{k_{cl}k_{bd} T_{oi} 2} \left(1 + \frac{1}{pT_u}\right)$$

Thay số vào ta có:

$$W_{Ri} = 3.08 \left(1 + \frac{1}{0.05p}\right)$$

$$W_{Ri} = \left(3.08 + \frac{27.2}{p}\right)$$



Hình 3.10. Sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều chỉnh tốc độ ( $E_a = 0$ )

Ta có hàm truyền hệ hở của mạch vòng tốc độ như sau:

$$W_{ho} = W_{kl}k_a \frac{1}{Jp} \frac{k_{ft}}{T_{ft}p + 1} = \frac{k_a \cdot k_{ft} (T_{bd} + 1) / k_{bd}}{Jp[2T_{oi}p(T_{cl} + 1)(T_{bd} + 1) + 1](T_{ft} + 1)} \quad (3.18)$$

Bỏ qua các thành phần bậc cao ta có:

$$W_{ho} \approx \frac{k_a \cdot k_{ft} / Jk_{bd}}{p(2T_{oi}p + 1)} \quad (3.19)$$

Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng với đối tượng có hàm truyền dạng tích phân quán tính bậc nhất, chọn bộ điều khiển PD có dạng:

$$W_{k\omega} = K_{\omega}(1 + T_{\omega}p) \quad (3.20)$$

Trong đó:  $T_{\omega} = 2aT_{oi}$  (s);  $k_{\omega} = \frac{Jk_{bd}}{2k_a k_{ft} T_{oi} \sqrt{a}}$

Chọn  $a = 9$  và thay số vào ta được:

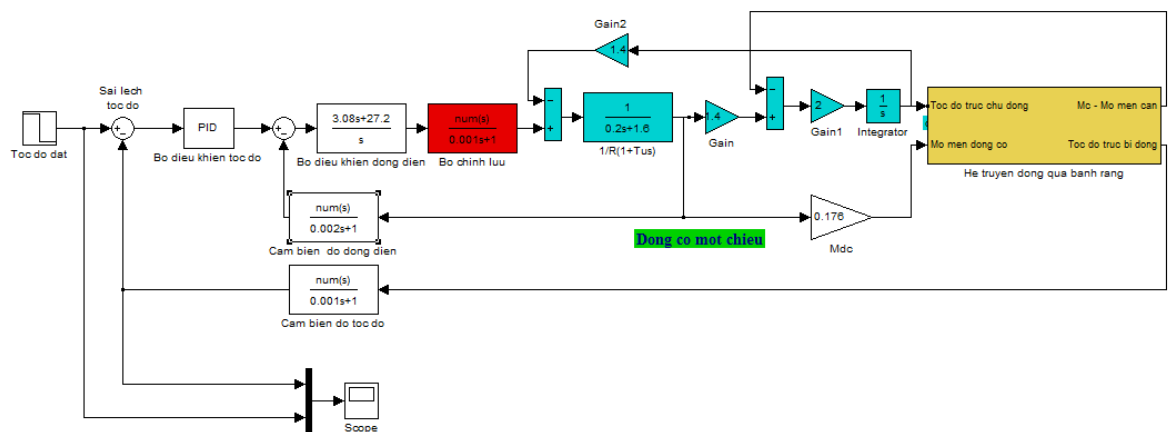
$$T_{\omega} = 2aT_{oi} = 0.045 \text{ (s)}$$

$$k_{\omega} = \frac{Jk_{bd}}{2k_a k_{ft} T_{oi} \sqrt{a}} = 0.073$$

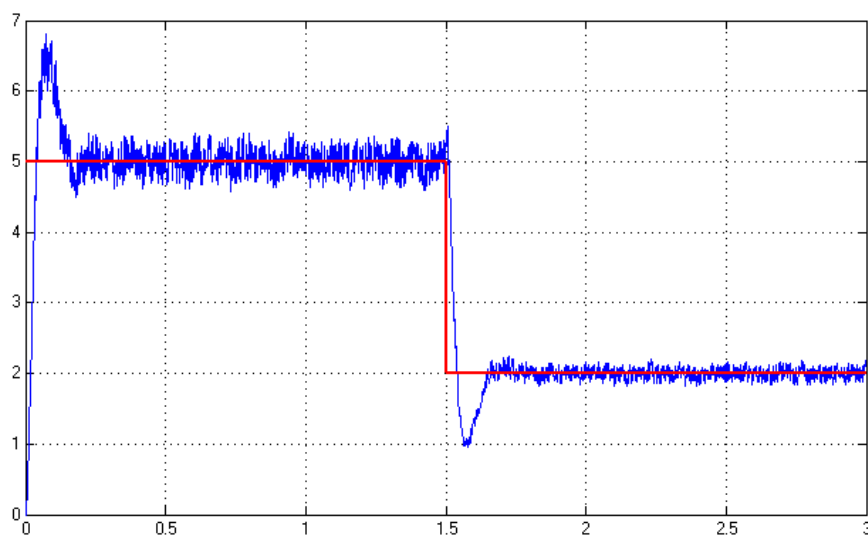
Như vậy:

$$W_{k\omega} = K_{\omega}(1 + T_{\omega}p) = 0.073(1 + 0.045p)$$

### 3.3.8. Kết quả mô phỏng



Hình 3.11: Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động qua bánh răng khi sử dụng PID kinh điển



Hình 3.12: Đặc tính quá độ của hệ truyền động bánh răng khi sử dụng PID kinh điển

### 3.4. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG QUA BÁNH RĂNG

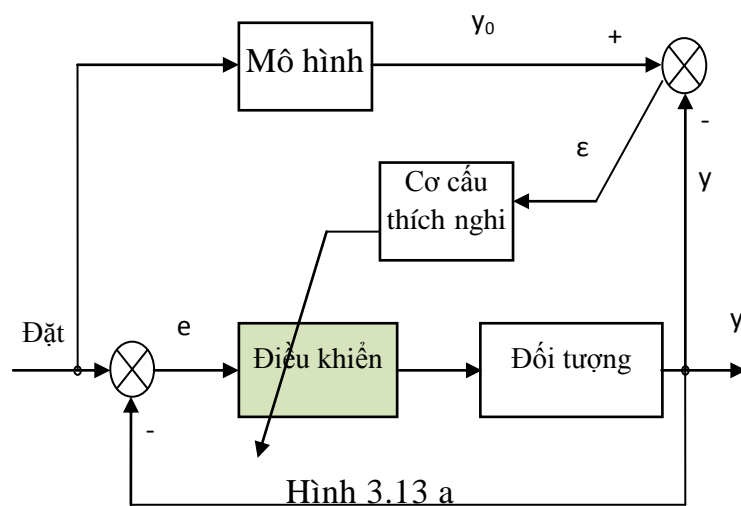
#### 3.4.1. Cấu trúc bộ điều khiển thích nghi mờ

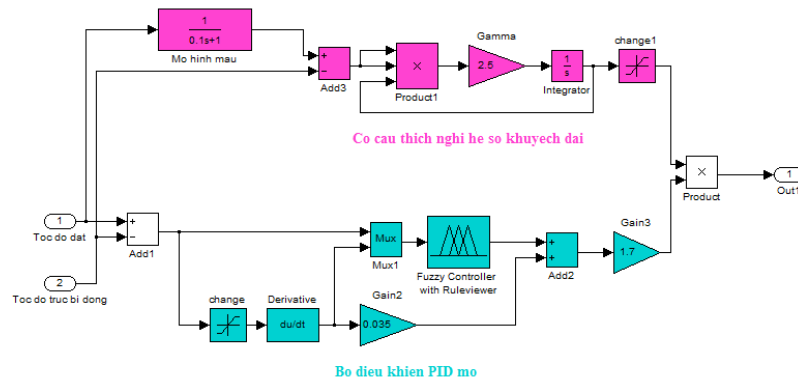
Với đặc điểm của hệ thống truyền động qua bánh răng là một hệ phi tuyến có các tham số thay đổi và có nhược điểm luôn chịu những tác động ảnh hưởng của khe hở, đàn hồi, ma sát. Để điều khiển hệ, chúng ta biết có nhiều cách khắc phục những dao động do cơ cấu bánh răng gây nên, có thể lựa chọn các bộ điều khiển PID, các bộ điều khiển hiện đại như điều khiển mờ, mờ lai, mờ thích nghi... Mỗi phương pháp điều khiển đều cho một hiệu quả và chất lượng nhất định. Các bộ điều khiển PID kinh điển đơn giản, dễ thực hiện nhưng thực sự không phù hợp với hệ, chúng ta đã thấy được qua đặc tính hệ truyền động ở hình 3.12. Như vậy trong luận văn này tác giả đề xuất phương pháp sử dụng bộ điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu có cấu trúc như hình 3.13a. Trong đó bộ điều khiển theo qui luật tỉ lệ vi phân, qui luật vi phân được giữ không đổi còn qui luật tỉ lệ là một bộ điều khiển phi tuyến gồm bộ điều khiển mờ cơ bản có hệ số khuếch đại đầu ra được thay

đổi theo luật:  $\frac{dK}{dt} = 2,5 \cdot e^2 k$

Mô hình mẫu có dạng:  $W_M = \frac{1}{0.1s + 1}$

Bộ điều khiển mờ có hàm liên thuộc đầu vào, đầu ra như hình 3.14 và quan hệ vào-ra được chỉ ra trên hình 3.15

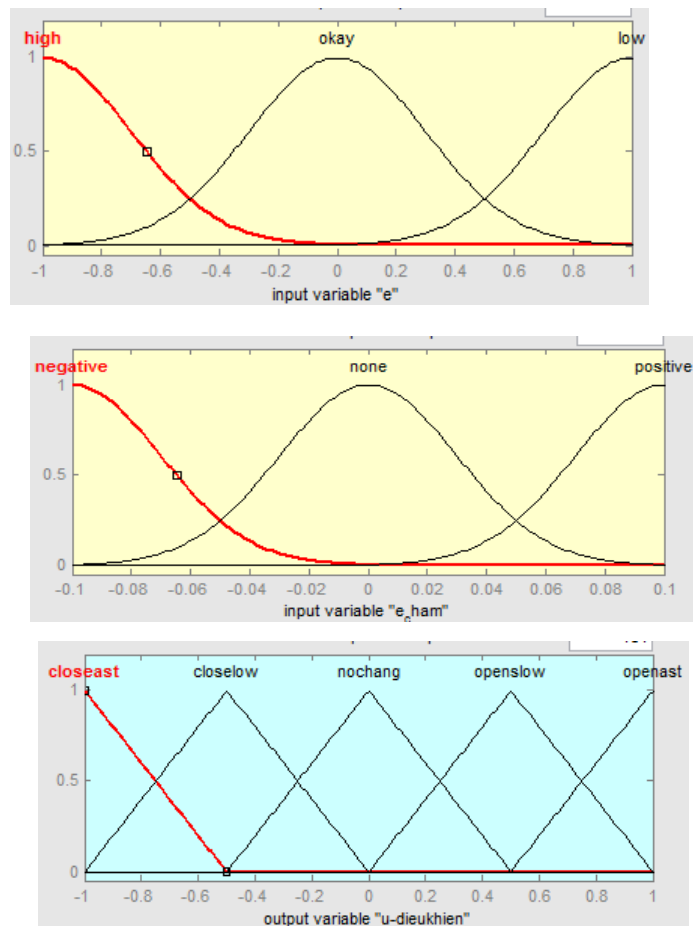




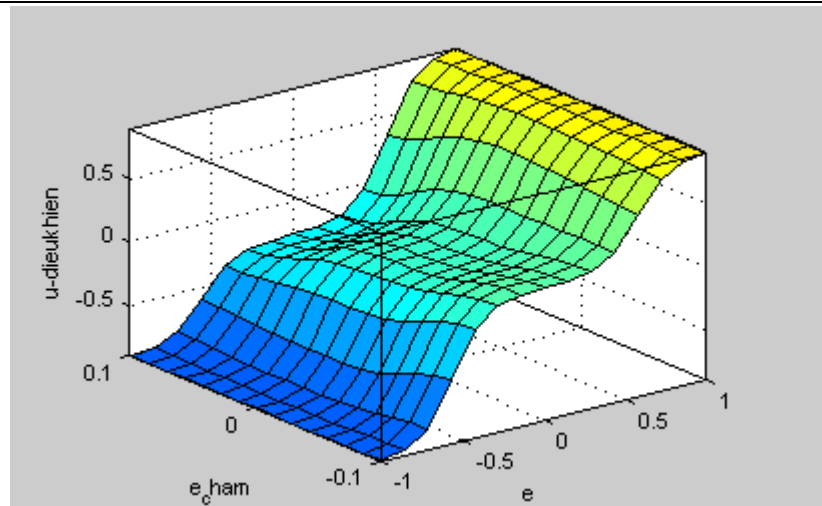
Hình 3.13

Hình 3.13: a) Cấu trúc hệ thống điều khiển; b) Cấu trúc bộ điều khiển và cơ cấu thích nghi

### 3.4.2. Kết quả mô phỏng



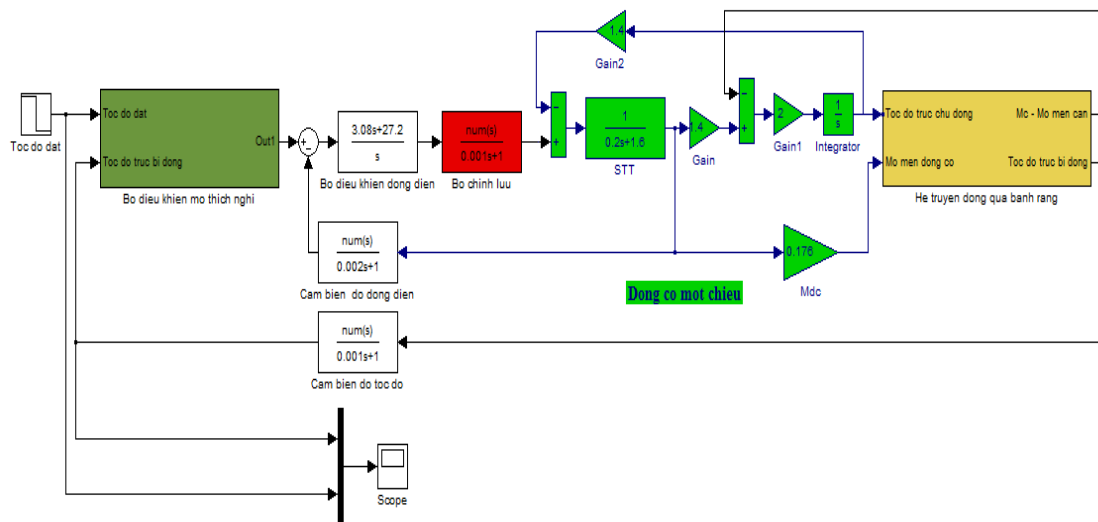
Hình 3.14: Hàm liên thuộc đầu vào và đầu ra của bộ điều khiển mờ



Hình 3.15: Quan hệ vào – ra của bộ điều khiển mờ

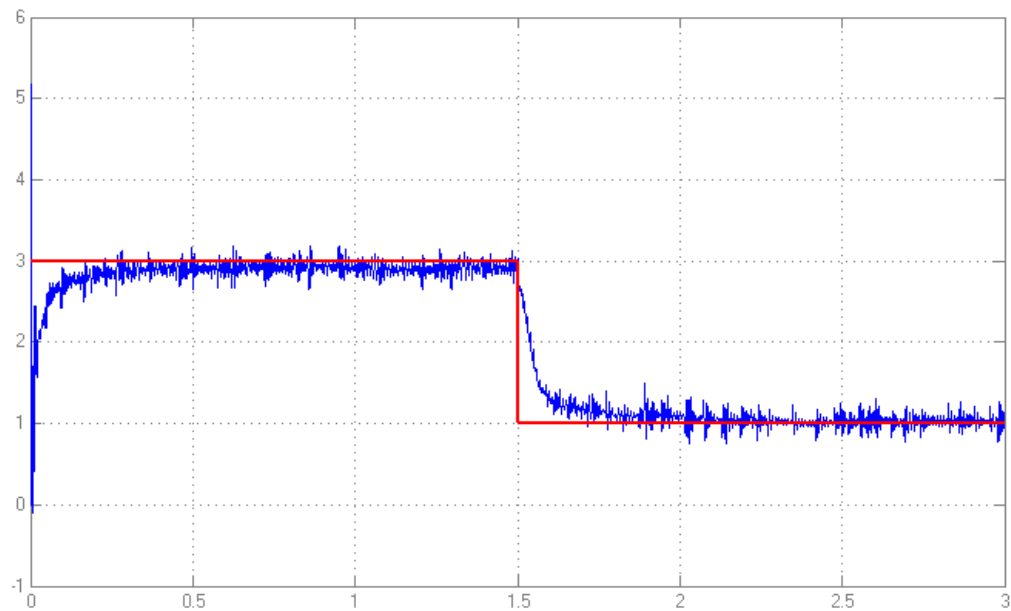
Sau khi thiết kế xong bộ điều khiển mờ, kết nối vào đối tượng ta có sơ đồ mô phỏng như hình 3.16 và kết quả mô phỏng được chỉ ra trên các hình 3.17 và hình 3.18.

Trong đó hình 3.17 là đường đặc tính động khi sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi; hình 3.18 là kết quả so sánh đặc tính động khi sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển và khi sử dụng bộ điều khiển mờ.

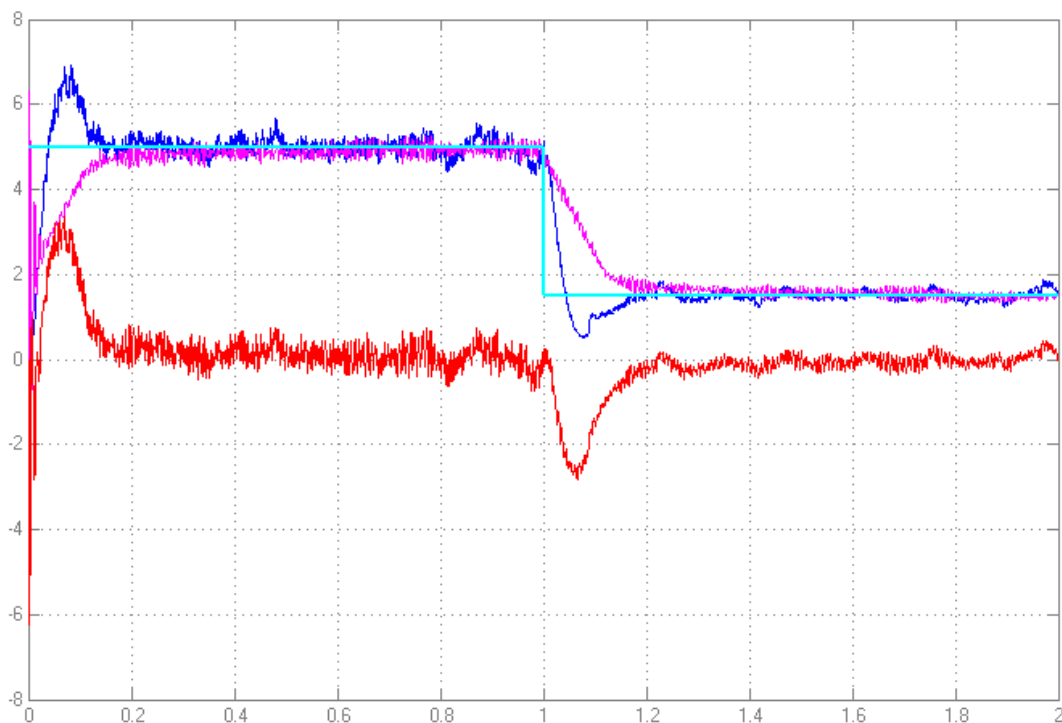


Hình 3.16: Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động bánh răng khi sử dụng điều khiển mờ thích nghi





Hình 3.17: Đặc tính quá độ của hệ truyền động bánh răng khi sử dụng điều khiển mờ thích nghi



Hình 3.18: Đặc tính tốc độ của hệ truyền động qua bánh răng khi sử dụng PID kinh điển và khi sử dụng điều khiển mờ thích nghi

### 3.5 Nhận Xét

Từ các kết quả mô phỏng trên cho thấy với bộ điều khiển PID kinh điển thì thời gian quá độ, biên độ, rung, độ va đập của tốc độ phía trục bị động tăng lên; Khi đưa bộ điều khiển mờ thích nghi vào thay thế, thì bộ điều khiển mờ thích nghi đã khắc phục được các tồn tại trên, chất lượng động tăng lên rõ rệt, thời gian quá độ giảm, quá trình làm việc của hệ thống ổn định.

## CHƯƠNG 4: TIẾN HÀNH THỰC NGHIỆM

### 4.1 Xây dựng mô hình thực nghiệm:

**Thiết bị phần cứng:**

**1. Máy tính Pentum IV- phần mềm Matlab 7.04 và phần mềm ControlDesk Version 5.0.**



Hình 4.1 Máy tính Pentum IV

Toàn bộ thuật toán nhận dạng và điều khiển đều được thực hiện thông qua các phần mềm sau đó được dịch và nạp vào card điều khiển DSP 1104. Các phần mềm bao

gồm phần mềm lập trình C, phần mềm Matlab 7.04, phần mềm tập giao diện hiển thị Control Desk. Tất cả phần mềm được cài đặt trên máy tính

## 2. Card DSPACE 1104.

Được gá lắp trên Mainboard của máy tính qua khe PCI. Card DSPACE 1104 là card điều khiển số, được thiết kế đặc biệt để phát triển các bộ điều khiển số đa biến tốc độ cao và mô phỏng thời gian thực.

- Các chân tín hiệu vào ra và nguồn của Card DSP 1104 được nối đến đối tượng bằng 2 cáp PIA và PIB
- Kênh chuyển đổi số - tương tự DACH6 đưa tín hiệu điều khiển đến Driver.
- Kênh chuyển đổi tương tự - số ADCH6 nhận tín hiệu dòng điện.
- Kênh chuyển đổi tương tự - số ADCH8 nhận tín hiệu từ encoder.



Hình 4.2: Card DSPACE 1104

## 3. Driver servo motor Midi-Maestro 140x14/28

- Bộ biến đổi công suất là bộ biến đổi xung áp có đảo chiều dòng, mạch lực dùng tranzitor IGBT.
- Điện áp đặt vào phần ứng của động cơ  $U_{dm}=140v$ .
- Dòng điện định mức  $I_{dm}=4A$ .
- Nhận tín hiệu điều khiển tương tự (-10v đến 10v).

- Cho ra tín hiệu tỷ lệ với dòng điện.
- Có thể thực hiện thuật toán điều khiển PID tùy theo cấu trúc Daughter board.



Hình 4.3: Bộ biến đổi công suất và Driver DC Servo motor

#### 4. Cặp bánh răng tự chế tạo:



Hình 4.4: Cặp bánh răng tự chế tạo

#### 5. Động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập :

Động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập nối với trục chủ động

Công suất động cơ = 1,5kw



Hình 4.5: Động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập

**6. Tải: là động cơ dị bộ 3 pha làm việc ở chế độ hãm**



Hình 4.6: Tải

**7. Hai sensor tốc độ (Encoder):** loại 1000 xung/vòng được gắn với trục chủ động và bị động.

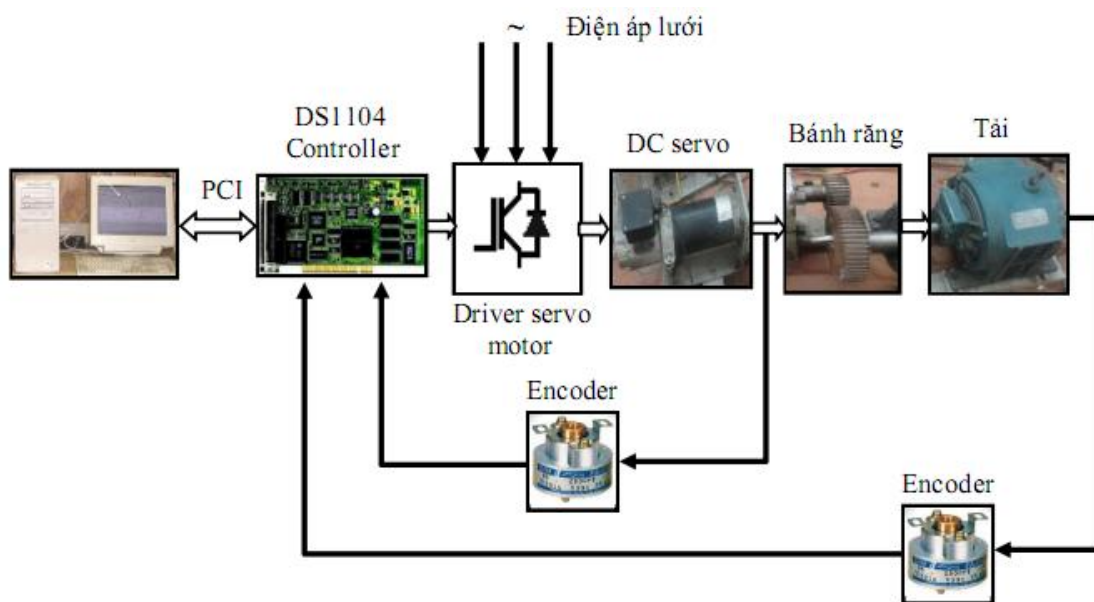


Hình 4.7: Sensor tốc độ



Hình 4.8 Bàn thí nghiệm, phần nguồn, kết nối và máy tính điều khiển

Sơ đồ khối hệ thống thực như sau:



Hình 4.8: Sơ đồ khối hệ thống thực

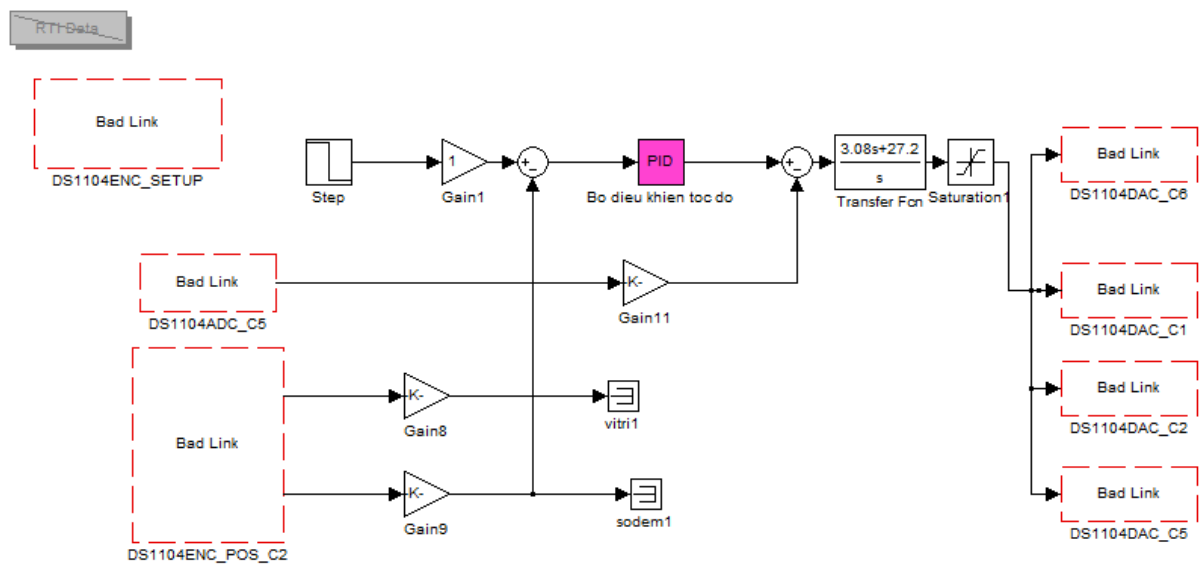




Hệ thống truyền động có bánh răng thực

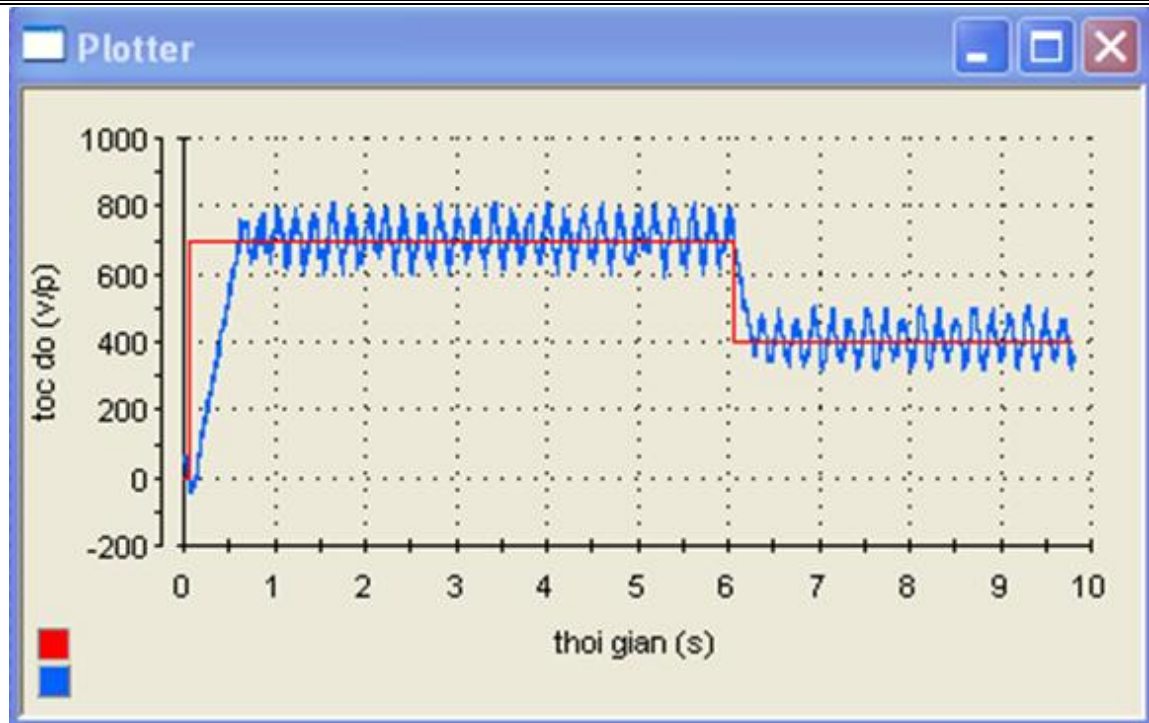
## 4.2 Kết quả thực nghiệm như sau:

### 4.2.1 Kết quả thí nghiệm với bộ điều khiển PID



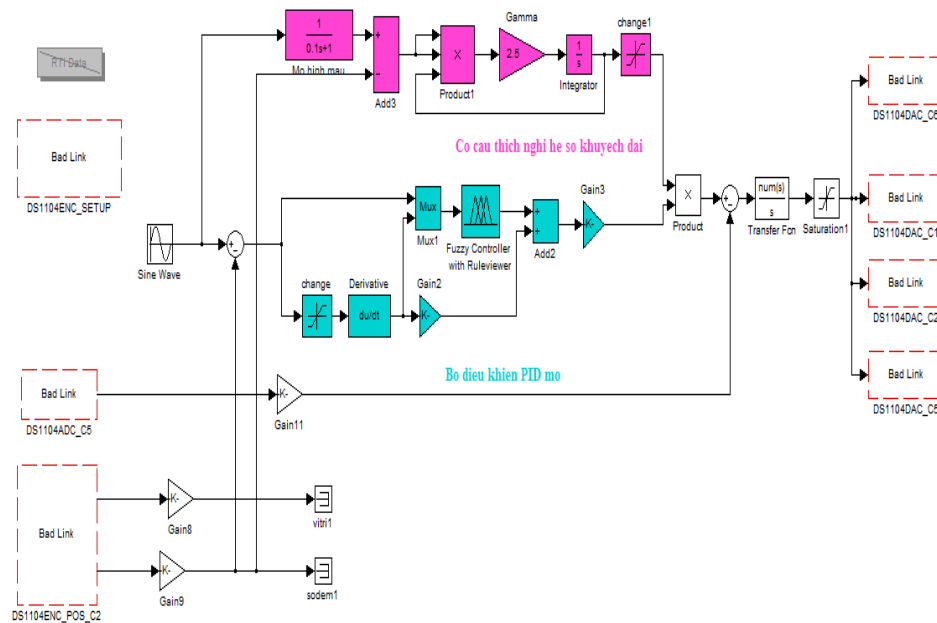
Hình 4.9 Mô hình thực nghiệm khi có bộ điều khiển PID

-Đặc tính tốc độ của trục bị động khi dùng bộ điều khiển PID kinh điển.



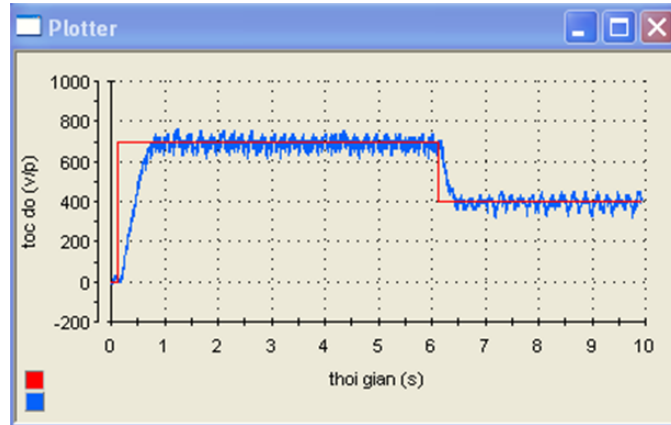
Hình 4.10: Đặc tính tốc độ của trục bị động khi dùng bộ điều khiển PID kinh điển

#### 4.2.2 Kết quả thí nghiệm với bộ điều khiển mờ thích nghi



-Đặc tính tốc độ của trục bị động khi sử dụng bộ điều khiển thích nghi mờ.





Hình 4.11: Đặc tính tốc độ của trục bị động khi sử dụng bộ điều khiển thích nghi mờ

**Kết Luận :** Từ kết quả mô phỏng và thực nghiệm ta thấy rằng khi sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi cho hệ thống truyền động có sự tham gia của bánh răng đã cho phép ta giảm đáng kể những dao động gây nên bởi khe hở, đàn hồi và ma sát của bánh răng so với khi sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển.

Kết quả trên đã khẳng định tính đúng đắn của thuật toán và cho phép áp dụng vào điều khiển các hệ thống truyền động thực tế.

---

**KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

---

**1. Kết luận**

Sau 6 tháng nghiên cứu tài liệu cũng như tìm hiểu trong thực tế và được sự hướng dẫn nhiệt tình từ PGS.TS LẠI KHẮC LÃI, tác giả đã hoàn thành luận văn với những nội dung cụ thể như sau:

- Khảo sát phân tích và nêu ra được những ảnh hưởng ngẫu nhiên tác động lên hệ thống, đó là các nhược điểm của hệ truyền động có bánh răng.

- Xây dựng được 2 mô hình toán học của hệ truyền động có bánh răng: Mô hình theo đặc trưng ăn khớp của cặp bánh răng; mô hình khi xét tới hệ số đàn hồi  $c$  và mô men ma sát  $M_{ms}$

- Thiết kế được bộ điều khiển PID kinh điển và bộ điều khiển mờ thích nghi theo mô hình mẫu cho hệ truyền động qua bánh răng.

- Kết quả mô phỏng và làm thực nghiệm tại trung tâm thí nghiệm trường Đại Học Kỹ Thuật Công Nghiệp Thái Nguyên cho thấy khi sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi đã cho chất lượng động của hệ thống tăng lên rõ rệt, hệ thống làm việc ổn định. Vì vậy việc áp dụng bộ điều khiển mờ thích nghi cho hệ truyền động có bánh răng sẽ góp phần nâng cao chất lượng điều khiển hệ thống, nâng cao năng suất lao động, nâng cao chất lượng sản phẩm.

- Kết quả nghiên cứu trên có thể áp dụng trên thực tế để điều khiển các hệ thống cũng như các dây truyền công nghệ có yêu cầu chất lượng cao như điều khiển robot, điều khiển ra đa...

- Các kết quả cũng cho thấy tính khả thi của việc tiếp tục triển khai nghiên cứu phát triển để ứng dụng các bộ điều khiển hiện đại vào điều khiển nhằm nâng cao chất lượng hệ thống điều khiển tự động trong thực tiễn sản xuất, góp phần nâng cao năng suất lao động và chất lượng sản phẩm.

**2. Kiến nghị**

Việc ứng dụng điều khiển để nâng cao chất lượng hệ thống truyền động qua bánh răng ta có thể sử dụng nhiều phương pháp điều khiển với các bộ điều khiển khác nhau, tuy nhiên hiệu quả đạt được cũng nhận được chất lượng khác nhau. Ở luận văn này tác giả lựa chọn sử dụng bộ điều khiển mờ thích nghi theo mô hình mẫu để nâng cao chất lượng hệ thống truyền động. Qua phân tích và nghiên cứu chúng ta đã nhận thấy khi sử dụng bộ điều khiển này đã khắc phục được những nhược điểm của cơ cấu

bánh răng so với bộ điều khiển PID kinh điển.

Để ngày càng hoàn thiện và nâng cao chất lượng hơn nữa về vấn đề điều khiển hệ truyền động qua bánh răng, tác giả có một số kiến nghị sau:

- Nghiên cứu tiếp tục hoàn thiện hơn nữa về lý thuyết, có thể tiến hành nghiên cứu thiết kế và ứng dụng phát triển bằng những bộ điều khiển hiện đại khác.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Lại Khắc Lãi, Lê Thị Thu Hà; *"Một phương pháp nâng cao chất lượng hệ truyền động qua bánh răng"*; Tuyển tập hội nghị toàn quốc lần thứ 5 về Cơ điện tử., Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ; Trang 134-137; (10/2010)
- [2]. Đinh Gia Tường, Nguyễn Xuân Lạc, Trần Doãn Tiến; *"Nguyên Lý máy"*; NXB Giáo dục, 2003.
- [3]. Lại Khắc Lãi, Lê Thị Thu Hà; *"Hai giải pháp nâng cao chất lượng hệ truyền động có khe hở"* Tạp chí Khoa học Công nghệ - Đại học Thái Nguyên; số 6 (2009)
- [4]. Lê Thị Thu Hà; *"Nghiên cứu nâng cao chất lượng hệ truyền động có khe hở"*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ 2009. MS: BN2009- TN02-09.
- [5]. Lại Khắc Lãi, Lê Thu Hà, Lê Thị Nguyệt; *"Khảo sát chất lượng hệ điều khiển có khe hở"* Tạp chí Khoa học Công nghệ - Đại học Thái Nguyên; số 3 (2009)
- [6]. Huỳnh Văn Đông; *"Tổng hợp điều khiển thích nghi dựa trên phương pháp backstepping cho hệ truyền động có đàn hồi, khe hở và ma sát khô phi tuyến"*; Luận án tiến sĩ kỹ thuật (2009)
- [7] Nguyễn như Hiền, Lại Khắc Lãi (2007), *Hệ mờ và nơron trong kỹ thuật điều khiển*, NXB Khoa học tự nhiên và công nghệ, Hà Nội.
- [8] Lại Khắc Lãi (2007), *Ứng dụng hệ mờ - nơron để nhận dạng hệ phi tuyến nhiều chiều*, Tạp chí Khoa học & Công nghệ các trường Đại học kỹ thuật (số 60).
- [9] Nguyễn Thương Ngô (2006), *"Lý thuyết điều khiển tự động - Quyển 3"*, nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [10] Đỗ Trung Hải (2006), *"Nghiên cứu lý thuyết điều khiển mờ và mạng nơron ứng dụng giải quyết bài toán phi tuyến trong hệ truyền động điện"*, Đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp bộ, trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên
- [11] Phan Xuân Minh & Nguyễn Doãn Phước (2006), *"Lý thuyết điều khiển mờ"*, nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [12]. Lại Khắc Lãi *"Một thuật toán thiết kế bộ điều khiển thông minh và ứng dụng"* Tuyển tập các báo cáo khoa học Hội nghị toàn quốc lần thứ 6 về tự động hoá; trang 306-311 (2005)
- [13] Bùi Chính Minh, *"Nghiên cứu điều khiển chuyển động cho hệ có xét đến ảnh hưởng của khớp nối mềm với hệ điều khiển phản hồi trạng thái"*, Báo cáo NCKH

cấp bộ năm 2005, mã số CB2005-07.

[14] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh & Hán Thành Trung (2003), “*Lý thuyết điều khiển phi tuyến*”, nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[15] Lại Khắc Lãi, “*Xây dựng hệ điều khiển thông minh để điều khiển đối tượng phi tuyến khó mô hình hoá*”, Đề tài NCKH cấp bộ năm 2002; Mã số: B2002.02.03.

[16]. Lassaad Walha, Tahar Fakhfakh, Mohamed Haddar; “*Nonlinear dynamics of a two-stage gear system with mesh stiffness fluctuation, bearing flexibility and backlash*”; Mechanism and Machine Theory 44 (2009) 1058-1069.