

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

ĐÀO SỸ LUẬT

**NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP HỆ ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ THỐNG
TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN NHIỀU ĐỘNG CƠ LIÊN KẾT ĐÀN HỒI
BẰNG PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY THỰC.**

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2022

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

ĐÀO SỸ LUẬT

**NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP HỆ ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ THỐNG
TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN NHIỀU ĐỘNG CƠ LIÊN KẾT ĐÀN HỒI
BẰNG PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY THỰC.**

Chuyên ngành : Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa

Mã số : 9.52.02.16

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

Người hướng dẫn khoa học:

1. GVC, TS. Nguyễn Phú Đăng
2. GVC, TS. Phạm Văn Thuận

HÀ NỘI - 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn khoa học của TS. Nguyễn Phú Đăng, TS. Phạm Văn Thuận cùng với các tài liệu tham khảo đã trích dẫn.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ một công trình nào khác.

Tác giả

Đào Sỹ Luật

LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi xin chân thành cảm ơn TS. Nguyễn Phú Đăng, người hướng dẫn khoa học thứ nhất và TS. Phạm Văn Thuận, người hướng dẫn thứ hai, đã tận tình chỉ bảo, đưa ra những nội dung chính cần phải giải quyết để tôi hoàn thành bản luận án này. Đồng thời tôi xin cảm ơn Ban Giám Đốc, Khoa Kỹ thuật Điều khiển, Bộ môn Điện tử y sinh - Học viện Kỹ thuật Quân sự và Ban Giám hiệu, Khoa Kỹ thuật- Đại học Đồng Nai, đã luôn tạo mọi điều kiện tốt nhất để tôi hoàn thành bản luận án này.

Cuối cùng, tôi xin chân thành cảm ơn gia đình, bạn bè và các đồng nghiệp đã luôn động viên, chia sẻ và giúp đỡ tôi trong suốt thời gian thực hiện luận án.

Tác giả luận án

Đào Sỹ Luật

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	viii
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	xi
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu.....	1
2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	2
3. Mục tiêu, nhiệm vụ, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án.....	2
4. Nội dung và bố cục của luận án	4
5. Những đóng góp về khoa học và thực tiễn của đề tài	5
Chương 1. BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN	
NHIỀU ĐỘNG CƠ CÓ CHỨA PHẦN TỬ LIÊN KẾT ĐÀN HỒI	6
1.1 . Tổng quan hệ truyền động điện có chứa phần tử liên kết đàn hồi.....	6
1.2. Đánh giá các nghiên cứu trong và ngoài nước.....	10
1.2.1. Các nghiên cứu trong nước.....	10
1.2.2. Các nghiên cứu ngoài nước	11
1.3. Xây dựng mô hình hệ truyền động điện nhiều động cơ có chứa phần tử liên kết đàn hồi	17
1.3.1. Mô tả bằng tải đàn hồi dạng vòng kín	17
1.3.2. Sơ đồ cấu trúc động cơ không đồng bộ với roto ngắn mạch trong hệ tọa độ quay (d, q):	20
1.3.3. Cấu trúc hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ có chứa bằng tải đàn hồi dạng vòng kín.....	24
1.4. Thiết lập vấn đề nghiên cứu	26
1.5. Kết luận chương 1	28
Chương 2. ƯỚC LƯỢNG HÀM TRUYỀN ĐẠT MÔ TẢ CÁC ĐỐI	
TƯỢNG CÓ THAM SỐ PHÂN BỐ.....	29

2.1. Phương pháp nội suy thực (Real Interpolation Method - RIM).....	30
2.1.1. Đặc trưng số của tín hiệu liên tục	31
2.1.2. Tính chất chéo nhau của phép biến đổi tích phân thực	32
2.2. Cơ sở ước lượng hàm truyền đạt mô tả các đối tượng có tham số phân bố bằng phương pháp nội suy thực	33
2.3. Đánh giá sai số ước lượng.....	36
2.4. Nâng cao độ chính xác ước lượng bằng phương pháp lặp.....	39
2.5. Nâng cao độ chính xác xấp xỉ dựa trên sự phân bố không đều các điểm nút nội suy	42
2.6. Xây dựng chương trình tự động ước lượng.....	47
2.7. Kết luận chương 2	51
Chương 3. CƠ SỞ TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY THỰC	53
3.1. Thiết lập bài toán.....	53
3.2. Thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh.....	55
3.2.1. Xác định hệ số hồi tiếp K_{ht}	56
3.2.2. Xác định hàm truyền mong muốn của hệ thống.....	56
3.2.3. Giải phương trình tổng hợp	66
3.3. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh của hệ thống sau tổng hợp.....	68
3.3.1. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh theo thời gian quá độ yêu cầu (t_{qd}^{yc}).....	68
3.3.2. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh sử dụng các hàm trọng lượng đặc biệt ..	68
3.3.3. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh dựa trên các hàm truyền mong muốn suy rộng (σ_{yc}).....	70
3.4. Tổng hợp các hệ thống điều khiển tự động nhiều vòng.....	71
3.4.1. Tổng hợp lần lượt từng vòng điều khiển	74
3.4.2. Tổng hợp đồng thời các vòng điều khiển	76
3.5. Hiện thực hóa chương trình tổng hợp trên máy tính.....	78

3.5.1. Lưu đồ thuật toán chương trình	78
3.5.2. Xây dựng chương trình tổng hợp	79
3.6. Kết luận chương 3	81
Chương 4. XÂY DỰNG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN HAI ĐỘNG CƠ CÓ CHỨA BĂNG TẢI ĐÀN HỒI DẠNG VÒNG KÍN	82
4.1. Tổng hợp hệ thống điều khiển.....	82
4.1.1. Tổng hợp vòng điều khiển từ thông.....	82
4.1.2. Tổng hợp vòng điều khiển tốc độ	86
4.2. Mô phỏng, đánh giá hệ thống điều khiển sau tổng hợp	88
4.3. Xây dựng mô hình thực nghiệm hệ truyền động điện hai động cơ có chứa băng tải đàn hồi.....	93
4.3.1. Sơ đồ chức năng của hệ thống	93
4.3.2. Thiết kế phần cứng hệ thống	96
4.3.3. Xây dựng các chương trình điều khiển, giám sát hệ thống.....	102
4.3.4. Đánh giá mô hình thực nghiệm	103
4.4. Kết luận chương 4	106
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	107
1. Kết luận	107
2. Hướng nghiên cứu tiếp theo	108
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ	109
TÀI LIỆU THAM KHẢO	110
PHỤ LỤC CÁC CHƯƠNG TRÌNH.....	119

BẢNG CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

STT	Ký hiệu/Chữ viết tắt	Ý nghĩa
1	ACS	Hệ thống điều khiển tự động
2	SDP	Hệ thống điều khiển có tham số phân bố
3	FLC	Bộ điều khiển logic mờ
4	NN	Mạng nơ ron
5	LQG	Điều khiển tối ưu toàn phương tuyến tính
6	NADRC	Điều khiển bù nhiễu phi tuyến
7	RIM	Phương pháp nội suy thực
8	K_{ht}	Hệ số hồi tiếp
9	σ_{yc}	Độ quá chỉnh yêu cầu của hệ
10	σ_{th}	Độ quá chỉnh của hệ được tổng hợp
11	$\Delta\sigma$	Sai lệch độ quá chỉnh cho phép
12	t_{qd}^{yc}	Thời gian quá độ yêu cầu của hệ mong muốn
13	t_{qd}^{th}	Thời gian quá độ của hệ được tổng hợp
14	$t_{qd}^{\min}$	Thời gian quá độ nhỏ nhất
15	$W_{mm}^k(s)$	Hàm truyền của hệ kín mong muốn
16	$W_{th}^k(s)$	Hàm truyền của hệ kín được tổng hợp
17	$W_{rp}(s)$	Hàm truyền đặt của các bộ điều chỉnh vị trí
18	$W_{rc}(s)$	Hàm truyền đặt của các bộ điều chỉnh tốc độ
19	$W_{rt}(s)$	Hàm truyền đặt của các bộ điều chỉnh vòng dòng
20	q	Hệ số truyền của băng tải đàn hồi
21	λ	Tọa độ không gian đầu ra của hệ

22	E_{tp}	Điện áp của bộ biến đổi Thiristor
23	E_d	Sức phản điện của động cơ
24	$I_1(t)$	Dòng điện của bộ biến đổi Thiristor
25	i	Hệ số truyền của hộp giảm tốc
26	R_1	Bán kính của tang quán chủ động
27	$F(x,t)$	Lực căng của băng tải tại điểm có tọa độ x
28	$v(x,t)$	Tốc độ dịch chuyển của mặt cắt băng tải tại tọa độ x theo thời gian t
29	$u(x,t)$	Độ dịch chuyển của mặt cắt băng tải tại tọa độ x theo thời gian t
30	ρ_l	Mật độ tuyến tính của phân tử cơ học đàn hồi
31	T_a	Hằng số điện từ của mạch phản ứng
32	R_a	Trở kháng của mạch phản ứng
33	C_M	Hằng số cơ học của động cơ
34	ρ	Mật độ vật chất của khâu liên kết đàn hồi
35	$\omega_d(s)$	Vận tốc góc của động cơ
36	$\varphi_d(s)$	Góc quay của động cơ
37	T_{in}, k_{in}	Hằng số thời gian và hệ số khuếch đại của bộ biến đổi
38	τ	Thời gian trễ

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1. 1. Cấu trúc hệ truyền động nhiều động cơ liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi	7
Hình 1.2. Sơ đồ chức năng hệ truyền động trong máy cán liên tục	8
Hình 1.3. Sơ đồ chức năng máy làm giấy	8
Hình 1.4. Sơ đồ chức năng máy sản xuất màng mỏng quang học	9
Hình 1. 5. Mô hình chung hệ thống truyền động điện tháo-quần băng vật liệu đàn hồi	9
Hình 1.6. Cấu trúc tổng quát hệ thống điều khiển truyền động hai động cơ liên kết bởi băng tải đàn hồi	17
Hình 1.7. Mô hình khảo sát băng tải đàn hồi dạng vòng kín	18
Hình 1.8: Các sơ đồ thay thế của động cơ điện không đồng bộ với roto ngắn mạch trong hệ tọa độ quay (d,q) với tốc độ ω_1 được định vị theo véc tơ từ thông roto $\bar{\Psi}_2$: a - theo trục d, b - theo trục q	21
Hình 1.9: Sơ đồ cấu trúc động cơ điện không đồng bộ với roto ngắn mạch trong hệ tọa độ quay (d,q) với liên kết phản hồi phi tuyến chéo nhau	23
Hình 1.10. Sơ đồ cấu trúc động cơ điện không đồng bộ trong hệ tọa độ quay (d,q)	24
Hình 1.11. Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ có tính đến ảnh hưởng của băng tải đàn hồi vào vòng tốc độ	25
Hình 2. 1. Sự biến thiên của hàm truyền đạt thực $W_{dt}(\delta)$	35
Hình 2. 2. Dạng đồ thị của các đa thức Chebyshev đầu tiên $T_n(x)$	43
Hình 2. 3. Đồ thị của một số đa thức Chebyshev $T_n(t)$ đầu tiên khi $a=1$...	44
Hình 2. 4. Biểu diễn thuật toán Remez xác định xấp xỉ đều tối ưu	47
Hình 2. 5. Giao diện chương trình tự động ước lượng hàm truyền đạt bằng phương pháp nội suy thực	49
Hình 3. 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển tự động điển hình	54

Hình 3. 2. Đồ thị của đặc trưng quá độ mong muốn $h_{mm}^k(t)$ và mô hình tìm được $h(t)$	64
Hình 3. 3. Đồ thị của đáp ứng quá độ $h_{mm}^k(t)$ với các điểm đặc trưng	65
Hình 3.4. Biểu diễn hàm $w(t)$ với các giá trị δ khác nhau.....	69
Hình 3. 5. Đồ thị của các hàm $h_{mm}^k(t)$ và $w(t)$ với các giá trị δ khác nhau..	70
Hình 3. 6. Sơ đồ cấu trúc tổng quát của hệ thống điều khiển nhiều vòng	72
Hình 3. 7. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống ba vòng điều khiển.....	76
Hình 3.8. Lưu đồ thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh của hệ thống tự động nhiều vòng	78
Hình 3.9. Giao diện chương trình tự động tổng hợp bộ điều chỉnh của hệ thống cơ điện tử nhiều vòng.....	79
Hình 3. 10. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống sau tổng hợp.....	80
Hình 3. 11. Các quá trình quá độ của hệ thống trước và sau tổng hợp	80
Hình 4. 1. Các quá trình quá độ của mạch dòng: 1- mong muốn; 2- tổng hợp	85
Hình 4. 2. Quá trình quá độ của vòng từ thông: 1- mong muốn; 2- tổng hợp	86
Hình 4. 3. Quá trình quá độ của vòng điều khiển tốc độ: 1- mong muốn; 2- tổng hợp.....	88
Hình 4. 4. Giao diện chương trình tự động tổng hợp hệ truyền động điện có chứa băng tải đàn hồi	90
Hình 4. 5. Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động điện hai động cơ chủ động liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi	91
Hình 4. 6. Quá trình quá độ vòng dòng điện	92
Hình 4.7. Quá trình quá độ vòng tốc độ	92
Hình 4. 8. Biểu diễn lực căng của băng tải tại đầu trục hai trục động cơ	92
Hình 4.9. Sai lệch lực căng của băng tải giữa hai trục động cơ	93

Hình 4.10. Mô hình tổng quát hệ truyền động hai động cơ có băng tải đàn hồi	94
Hình 4.11. Sơ đồ chức năng hệ thống điều khiển giám sát hệ truyền động băng tải với hai động cơ liên kết đàn hồi	94
Hình 4.12. Mô hình phân cơ hệ truyền động băng tải.....	96
Hình 4.13. Panel điều khiển hệ thống	101
Hình 4.14. Mô hình thực nghiệm hệ truyền động hai động cơ có chứa băng tải đàn hồi dạng vòng kín	101
Hình 4. 15. Giao diện điều khiển, giám sát hệ thống	102
Hình 4.16. Biểu đồ thay đổi tốc độ các động cơ khi tốc độ đặt là 181vòng/phút và 543 vòng/phút, tải thay đổi từ 0-10kg.....	105
Hình 4.17: Biểu đồ tốc độ băng tải thay đổi từ 10m/phút -> 5m/phút -> 4m/phút -> 7m/phút khi tải thay đổi từ 0-10kg.....	105

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 2. 1. Các kết quả tính toán hàm truyền đạt xấp xỉ của mô hình (1.10) ..	50
Bảng 2. 2. Các kết quả tính toán hàm truyền đạt xấp xỉ của mô hình (1.11) ..	51
Bảng 3. 1. Kết quả tính toán hàm truyền mong muốn đáp ứng yêu cầu đặt ra	66
Bảng 3. 2. Tham số của các bộ điều chỉnh sau tổng hợp	80
Bảng 4. 1. Kết quả tổng hợp vòng lặp dòng điện	84
Bảng 4. 2. Kết quả tổng hợp vòng điều khiển từ thông	85
Bảng 4.3. Kết quả tổng hợp vòng điều khiển tốc độ	87
Bảng 4.4. Thông số động cơ không đồng bộ	97
Bảng 4.5. Các thông số của Encoder E6B2 – CWZ6C	97
Bảng 4.6. Chức năng các nút bấm và các cửa sổ hiển thị trên giao diện chính	102

MỞ ĐẦU

Bài toán điều khiển các đối tượng có tham số phân bố được coi là một trong những vấn đề trọng tâm của lý thuyết điều khiển hiện đại, bởi vì việc tăng độ chính xác và chất lượng làm việc của các hệ thống điều khiển đối với lớp đối tượng này chỉ có thể đạt được khi tính đến sự phân bố theo không gian của các tham số đối tượng. Các phương pháp chung tính toán các hệ thống điều khiển các đối tượng có tham số phân bố đã được xem xét trong nhiều tài liệu chưa phải là các chuẩn kỹ thuật chung. Vì vậy cần tìm kiếm các phương pháp mới sao cho nó cho phép vừa tính đến sự phân bố của các tham số đối tượng điều khiển, đồng thời ứng dụng được các phương pháp kinh điển đã biết.

Các hệ truyền động điện tự động nhiều động cơ chủ động liên thuộc nhau về tốc độ là thành phần cơ bản trong hầu hết các dây chuyền sản xuất công nghiệp, trong đó phần tử liên kết đàn hồi là thành phần có tham số phân bố điển hình. Chất lượng điều khiển các hệ thống này sẽ quyết định độ chính xác và chất lượng làm việc của toàn bộ dây chuyền. Để nâng cao chất lượng điều khiển các hệ truyền động như vậy, cần thiết phải tính đến ảnh hưởng của băng tải đàn hồi liên kết các động cơ. Điều này làm cho việc tổng hợp bộ điều chỉnh sẽ khó khăn hơn nhiều. Thực tế đã có nhiều nghiên cứu xem xét giải quyết vấn đề này với các chiến lược và phương pháp khác nhau xong chúng chưa hẳn là chuẩn kỹ thuật chung. Vì vậy, đề tài “***Nghiên cứu tổng hợp hệ điều khiển cho hệ thống truyền động điện nhiều động cơ liên kết đàn hồi bằng phương pháp nội suy thực***” sẽ đề xuất một giải pháp tổng hợp và hiệu chuẩn bộ điều chỉnh dựa trên cơ sở phương pháp nội suy thực với thủ tục đơn giản, cho phép giảm khối lượng tính toán và bảo lưu các tính chất đặc trưng và ảnh hưởng của băng tải đến hệ thống.

1. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu

Các đối tượng có tham số phân bố nói chung và hệ truyền động điện nhiều động cơ có chứa liên kết đàn hồi nói riêng được mô tả bởi các phương trình vi phân đạo hàm riêng, các phương trình tích phân, vi - tích

phân và các dạng khác nữa. Việc giải riêng rẽ các phương trình này là vấn đề rất phức tạp mà hầu như phương pháp nào cũng đều phải sử dụng các giải pháp xấp xỉ, không đưa ra được lời giải tổng quát. Vì vậy, việc phát triển các phương pháp và thuật toán nhằm nâng cao độ chính xác tổng hợp các hệ thống điều khiển cho lớp đối tượng này có tính cấp thiết và ý nghĩa khoa học tốt.

2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Thành công của luận án mang lại những ý nghĩa về khoa học và thực tiễn sau:

- Việc xây dựng thuật toán và hiện thực hóa chương trình tự động ước lượng hàm truyền đạt mô tả bằng tải đàn hồi cũng như thiết lập cơ sở tổng hợp bộ điều chỉnh cho hệ truyền động điện nhiều động cơ liên kết đàn hồi bằng phương pháp nội suy thực đã cung cấp thêm một giải pháp hữu ích trong phân tích và tổng hợp các hệ thống phi tuyến phức tạp, nó cho phép bảo lưu các tính chất đặc trưng của đối tượng có tham số phân bố với khối lượng tính toán ít và thủ tục đơn giản.

- Kết quả nghiên cứu của đề tài là cơ sở để xây dựng các hệ thống điều khiển, giám sát trung tâm cho các dây chuyền sản xuất tự động trong công nghiệp có chứa hệ truyền động nhiều động cơ liên kết đàn hồi, như sản xuất giấy, gia công màng mỏng quang học, lắp ráp tự động,....

3. Mục tiêu, nhiệm vụ, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Mục tiêu:

Mục đích của luận án là phát triển phương pháp và thuật toán tổng hợp hệ điều khiển cho hệ thống truyền động điện tự động nhiều động cơ chủ động có tính đến ảnh hưởng của băng tải liên kết đàn hồi, cụ thể:

- Phát triển thuật toán ước lượng hàm truyền đạt mô tả đối tượng có tham số phân bố

- Xây dựng thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh ứng dụng phương pháp nội suy thực và mô hình thực nghiệm của hệ truyền động điện nhiều động cơ chủ động có chứa phần tử liên kết đàn hồi.

Nhiệm vụ:

Để đạt được mục tiêu trên, luận án giải quyết các nhiệm vụ sau:

- Đánh giá các phương pháp điều khiển và xây dựng mô hình của hệ truyền động điện hai động cơ có liên kết đàn hồi
- Mô hình hóa và ước lượng hàm truyền đạt mô tả băng tải đàn hồi dạng vòng kín bằng phương pháp nội suy thực.
- Nghiên cứu cơ sở và xây dựng chương trình tự động tổng hợp hệ thống điều khiển cho hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi.
- Tổng hợp tham số các vòng điều khiển và xây dựng mô hình thực nghiệm hệ truyền động điện hai động cơ có chứa băng tải đàn hồi.

Đối tượng nghiên cứu:

Hệ thống điều khiển tự động các đối tượng có tham số phân bố nói chung và cụ thể là hệ truyền động điện nhiều động cơ chủ động có chứa phần tử liên kết đàn hồi.

Phạm vi nghiên cứu:

Trên cơ sở đối tượng nghiên cứu đã được xác định, phạm vi nghiên cứu của luận án là các phương pháp và cách thức nâng cao chất lượng tổng hợp bộ điều chỉnh cho các hệ thống có tham số phân bố. Mô phỏng, xây dựng mô hình thực nghiệm và đánh giá kết quả tổng hợp hệ truyền động điện hai động cơ có liên kết đàn hồi.

Phương pháp nghiên cứu:

Phương pháp tiếp cận một cách toàn diện, kết hợp nghiên cứu cơ sở lý thuyết tổng hợp hệ thống điều khiển đối tượng có tham số phân bố bằng phương

pháp nội suy thực. Xây dựng thuật toán tổng hợp, mô phỏng, đánh giá kết quả trên Matlab & Simulink và thực hiện tính toán tham số bộ điều chỉnh của hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ có chứa băng tải liên kết đàn hồi.

4. Nội dung và bố cục của luận án

Luận án bao gồm: phần mở đầu, bốn chương chính, mỗi chương giải quyết một nội dung khoa học cụ thể; kết luận chung; tài liệu tham khảo và phụ lục các chương trình. Ngoài phần mở đầu, nội dung chính của các chương như sau:

Chương 1: Bài toán điều khiển hệ truyền động điện nhiều động cơ có chứa phần tử liên kết đàn hồi

Trình bày tổng quan, đánh giá các nghiên cứu trong và ngoài nước và đề xuất mô hình nghiên cứu hệ truyền động nhiều động cơ liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi dạng vòng kín.

Chương 2: Ước lượng hàm truyền đạt mô tả các đối tượng có tham số phân bố

Chương này đề xuất thuật toán xấp xỉ hóa hàm truyền đạt bằng phương pháp nội suy thực, tiêu chuẩn đánh giá sai số ước lượng. Xây dựng chương trình tự động ước lượng hàm truyền đạt mô tả băng tải đàn hồi với các tham số khác nhau. Kết quả nghiên cứu của chương 2 được tác giả công bố ở công trình số 1.

Chương 3: Cơ sở tổng hợp hệ thống điều khiển ứng dụng phương pháp nội suy thực

Chương 3 phân tích cơ sở lý thuyết và đề xuất thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh đáp ứng các chỉ tiêu chất lượng yêu cầu của hệ thống bằng phương pháp nội suy thực. Khảo sát các giải pháp hiệu chỉnh tham số bộ điều chỉnh nhằm đạt được các yêu cầu của hệ thống sau tổng hợp. Kết quả nghiên cứu của chương này được công bố ở công trình số 2, 3.

Chương 4: Xây dựng hệ truyền động điện hai động cơ có chứa băng tải đàn hồi dạng vòng kín

Chương 4 thực hiện tính toán tham số các bộ điều chỉnh trong từng vòng điều khiển dòng điện, từ thông và tốc độ. Mô phỏng và xây dựng mô hình thực nghiệm của hệ truyền động hai động cơ có tính đến ảnh hưởng của băng tải đàn hồi.

5. Những đóng góp về khoa học và thực tiễn của đề tài

Về khoa học:

Luận án có hai đóng góp mới, cụ thể:

+ Thuật toán ước lượng hàm truyền đạt mô tả đối tượng có tham số phân bố bằng phương pháp nội suy thực. Xây dựng chương trình tự động ước lượng và đánh giá sai số đối với hàm truyền đạt mô tả băng tải đàn hồi.

+ Thiết lập cơ sở tổng hợp bộ điều chỉnh của các hệ thống điều khiển đối tượng có tham số phân bố bằng phương pháp nội suy thực. Thực hiện tổng hợp các vòng điều khiển, xây dựng chương trình mô phỏng và đánh giá hệ thống trên máy tính đối với hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ có chứa băng tải đàn hồi với các tham số cụ thể.

Về thực tiễn:

Kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng vào việc nâng cao chất lượng làm việc của các dây chuyền sản xuất tự động có chứa hệ truyền động điện nhiều động cơ liên thuộc nhau về tốc độ, cần độ chính xác cao như: dây chuyền cán thép, sản xuất giấy, thiết bị gia công màng mỏng, dây chuyền bọc cáp, máy kéo sợi, dây chuyền đóng hộp, các robot tự động trong các dây chuyền sản xuất lắp ráp ô tô, sản xuất linh kiện điện tử...

Chương 1

BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN NHIỀU ĐỘNG CƠ CÓ CHỨA PHẦN TỬ LIÊN KẾT ĐÀN HỒI

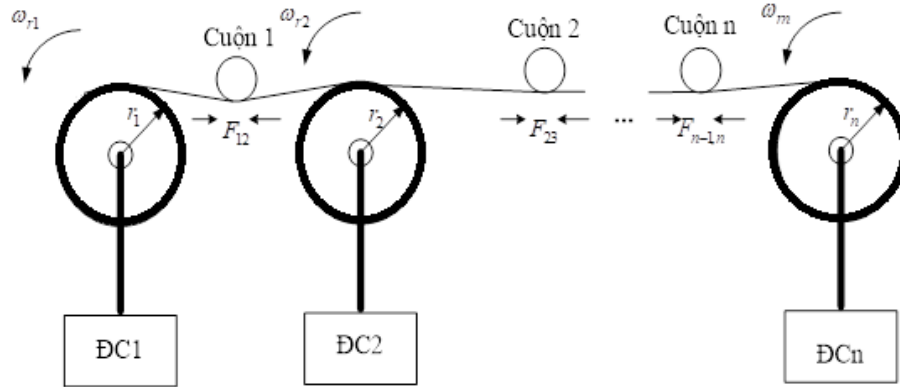
1.1. Tổng quan hệ truyền động điện có chứa phần tử liên kết đàn hồi

Trong thực tế, tồn tại một lớp rộng các đối tượng điều khiển có tham số phân bố điển hình (SDP) như: các thiết bị vệ tinh liên kết bằng dây với trạm không gian [11], các panel năng lượng mặt trời cung cấp nguồn cho các trạm không gian [12], các đối tượng năng lượng và nhiệt của động cơ đốt trong [13], các thiết bị luyện kim, nung, sấy [14], các thiết bị thám hiểm dưới nước được lai dặt bằng cáp [15], các hệ truyền động điện có chứa phần tử cơ học đàn hồi [16], v.v. Các đối tượng này đều có độ dài không gian xác định, các tham số vật lý của chúng không chỉ phụ thuộc thời gian, mà còn phụ thuộc kích thước không gian. Vì vậy, hàm trạng thái đầu ra của các hệ thống này không chỉ thay đổi theo thời gian t mà còn phụ thuộc vào tọa độ không gian x , được mô tả bởi các phương trình vi phân đạo hàm riêng, phương trình tích phân, vi- tích phân hoặc các phương trình khác nữa. Việc mô hình hóa lớp đối tượng có tham số phân bố được đề cập trong nhiều nghiên cứu [15-19].. Thông thường, hàm truyền đạt mô tả các đối tượng như vậy sẽ có dạng:

$$W_{dt}(x, \xi, s) = f\left(s, e^{\frac{A(s)}{B(s)}}, \sqrt{s}, \cos(s), \sin(s), sh(s), ch(s), \dots\right), \quad (1)$$

không chỉ chứa đối số s như các hệ tuyến tính bất biến theo thời gian (LTI) mà còn các thành phần quán tính và siêu việt (hàm của s ($\sqrt{s}, e^{\frac{A(s)}{B(s)}}, \cos(s), \sin(s), sh(s), ch(s), \dots$)). Điều này làm cho việc hiện thực hóa các hệ thống điều khiển cho những đối tượng này phức tạp hơn nhiều so với hệ có tham số tập trung như cần phải thực hiện giám sát trạng thái của đối tượng theo không gian với mục đích quan sát kết quả của quá trình điều khiển

và sử dụng các tín hiệu hồi tiếp, hay khi cần tổng hợp các bộ điều chỉnh của hệ thống điều khiển với các tác động điều khiển phân bố theo không gian.



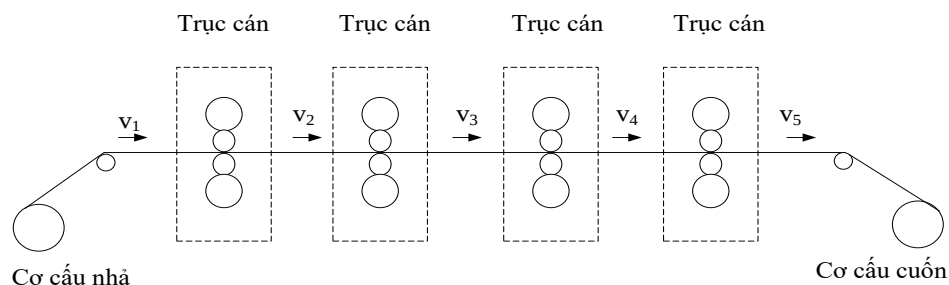
Hình 1.1. Cấu trúc hệ truyền động nhiều động cơ liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi

Hiện nay, các hệ thống truyền động điện tự động nhiều động cơ liên thuộc nhau bởi phần tử cơ học đàn hồi (hình 1.1) là thành phần cơ bản trong hầu hết các dây chuyền sản xuất, robot công nghiệp, thiết bị gia công cơ khí, điển hình như được sử dụng trong hệ thống máy cán thép liên tục, dây chuyền sản xuất giấy, thiết bị gia công màng mỏng quang học, dây chuyền bọc cáp, máy kéo sợi, dây chuyền đóng hộp, các robot tự động trong các dây chuyền sản xuất lắp ráp ô tô, sản xuất linh kiện điện tử,... Trong đó, phần tử cơ học đàn hồi (băng tải, dây đai,...) liên kết các động cơ có các tham số (khối lượng, độ đàn hồi, ...) phụ thuộc vào kích thước không gian của nó. Chất lượng điều khiển các hệ thống này sẽ quyết định chất lượng làm việc của toàn bộ dây chuyền.

Một số loại máy công nghiệp điển hình sử dụng hệ truyền động nhiều động cơ, bao gồm:

1. **Máy cán liên tục:** hệ thống này có các trục cán làm việc đồng thời, sơ đồ cấu trúc của nó được chỉ ra trên hình 1.2. Trong máy cán liên tục, vật liệu chuyển động theo hướng được ép trong mỗi buồng cán. Mỗi buồng cán đều có cơ cấu nhả, cuộn thông qua hệ truyền động điện. Khi vật liệu được cán liên

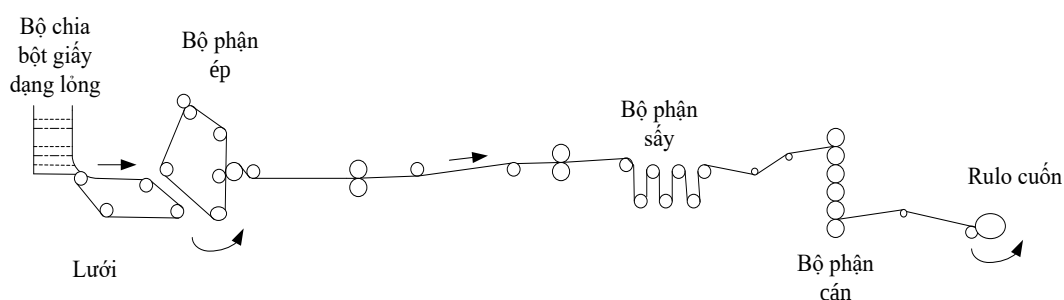
tục tại mỗi trục cán, lượng vật liệu ra khỏi trục cán trước phải bằng với lượng vật liệu đưa đến trục cán sau.



Hình 1.2. Sơ đồ chức năng hệ truyền động trong máy cán liên tục

Tốc độ làm việc của trục cán cần phải khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu công nghệ cán và tính chất của vật liệu được cán. Để máy cán liên tục làm việc ổn định, hệ truyền động phải đảm bảo ổn định tỷ số tốc độ giữa tất cả các trục cán.

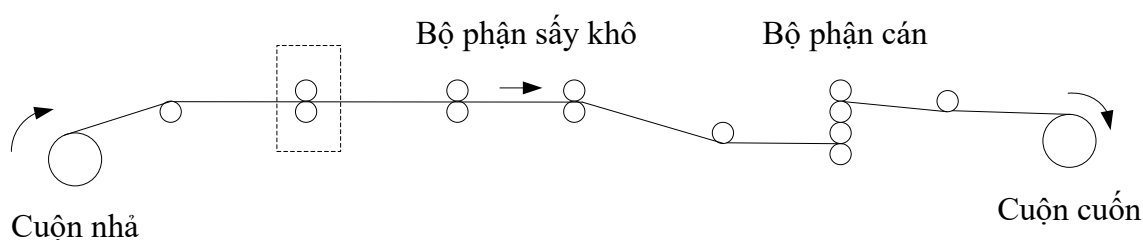
2. *Máy làm giấy*: là một thiết bị công nghiệp phức tạp, được mô tả trên hình 1.3. Trước tiên, giấy ở dạng bột lỏng được làm khô bằng cách lắc hoặc rung với tần số cao, hút và ép chân không. Sau đó giấy được sấy khô để làm tăng độ mịn. Cuối cùng, giấy được làm nhẵn bằng cách cán giấy trên các trục kim loại và đưa đến Rulô để quấn.



Hình 1.3. Sơ đồ chức năng máy làm giấy

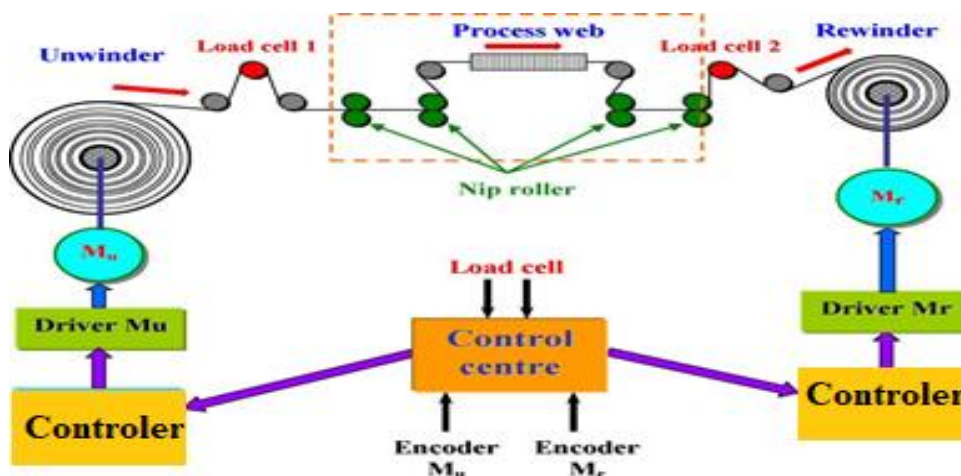
Đặc trưng của hệ truyền động điện trong máy làm giấy là truyền động cán liên tục. Nếu vận tốc dài ở máy cán tăng lên từ trục cán thứ nhất đến trục cán kế tiếp thì trong máy làm giấy vận tốc dài của băng giấy chỉ tăng ở công đoạn thứ nhất. Ở công đoạn sấy khô do giấy bị ngót nên tốc độ dài giảm, còn ở khâu cuối cùng vận tốc dài không đổi.

3. *Hệ thống gia công màng mỏng quang học*: có sơ đồ chức năng được thể hiện như trên hình 1.4 và nguyên tắc hoạt động tương tự máy làm giấy: vật liệu đi ra từ cuộn nhả được phủ một lớp mỏng Polyme bằng một trục đặc biệt quay trong buồng chứa chất lỏng, bề dày lớp phủ phụ thuộc vào tỷ số vận tốc của băng vật liệu và tốc độ quay của trục truyền động. Sau đó, băng mỏng đã phủ Polyme được đưa vào bộ phận sấy khô rồi đưa vào bộ phận cán ép và đưa đến cuộn cuốn.



Hình 1.4. Sơ đồ chức năng máy sản xuất màng mỏng quang học

Như vậy, hệ truyền động nhiều động cơ tháo - quấn băng vật liệu đàn hồi là thành phần chính trong các dây chuyền sản xuất kể trên, được mô tả trên hình 1.5. Hoạt động chung của hệ thống này có thể khái quát như sau: băng vật liệu như: cao su, giấy, nhựa, vải, nilon,... có độ đàn hồi nhất định được tháo ra bởi động cơ tháo quấn (Unwinder). Sau khi được xử lý như in, sơn, dập, chia nhỏ, duỗi thẳng..., sẽ được cuộn lại bằng động cơ quấn (Rewinder).



Hình 1.5. Mô hình chung hệ thống truyền động điện tháo-quấn băng vật liệu đàn hồi

(Unwinder- tang tháo quấn; Process web- khâu xử lý dải băng vật liệu; Rewinder- tang quấn; Nip roller – con lăn; Control Centre - hệ điều khiển, giám sát trung tâm; Controllers – Các bộ điều khiển; Encoder- cảm biến tốc độ; Load cell – cảm biến lực căng; Web- băng vật liệu đàn hồi)

Hệ thống điều khiển truyền động nhiều động cơ có chứa băng tải đàn hồi cần phải đáp ứng các yêu cầu: đồng bộ cao về tốc độ giữa các động cơ; tính tác động nhanh và độ chính xác điều chỉnh cao. Trong quá trình hệ thống làm việc đường kính tang tháo, quấn có thể thay đổi. Nếu tốc độ các động cơ không thay đổi thì lực căng của băng tải sẽ biến thiên. Vì vậy hệ thống điều khiển cần phải điều chỉnh tốc độ của các động cơ để ổn định vận tốc dài của băng tải. Như vậy, hệ thống điều khiển phải điều chỉnh được cả tốc độ và mômen nhằm ổn định lực căng của băng tải.

1.2. Đánh giá các nghiên cứu trong và ngoài nước

1.2.1. Các nghiên cứu trong nước

Nhìn chung chưa có nhiều nghiên cứu chuyên sâu về lớp đối tượng có tham số phân bố phức tạp, được mô tả bởi (1). Một số nghiên cứu mới chỉ xem xét giải quyết các bài toán liên quan đến hệ thống có khâu giữ chậm, điển hình như: Công trình [1] đề xuất phương pháp điều khiển tối ưu cho quá trình gia nhiệt, cho phép xác định công suất cung cấp cho lò sao cho sai lệch giữa phân bố nhiệt độ thực và nhiệt độ mong muốn trong một khoảng thời gian T cho trước là nhỏ nhất. Ở đây ứng dụng xấp xỉ Pade để chuyển khâu giữ chậm thành khâu tuyến tính. Cách này làm mất đi các tính chất đặc trưng của hệ có tham số phân bố và phương pháp Pade cũng cho sai số lớn. Công trình [2] trình bày các cơ sở lý thuyết chung nhất, cung cấp một cách giải quyết triển vọng trong việc phân tích và tổng hợp các hệ thống điều khiển đối lượng có tham số phân bố, cho phép bảo lưu các tính chất đặc trưng của đối tượng và thủ tục tính toán đơn giản.

Về điều khiển hệ truyền động điện nhiều động cơ, đã có nhiều nghiên cứu trong nước được thực hiện. Một số nghiên cứu tiêu biểu như: Các công trình [3-5] trình bày cơ sở lý thuyết chung về các hệ truyền động điện, mô hình

hóa và mô phỏng hệ truyền động nhiều động cơ xoay chiều có liên hệ ma sát, đàn hồi. Công trình [6] đề xuất giải pháp nâng cao chất lượng hệ truyền động bám góc sử dụng động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu công suất nhỏ trên cơ sở áp dụng phương pháp điều khiển thích nghi modal kết hợp với bù các đặc tính tĩnh. Phương pháp này không đảm bảo độ chính xác bám khi hệ thống chịu ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến. Nghiên cứu [7] trình bày quá trình thiết kế bộ điều khiển phi tuyến thích nghi bền vững cho hệ khớp mềm với đầu ra là góc quay của trục tải. Tính phi tuyến của khớp mềm được xét trực tiếp không qua tuyến tính hóa. Bộ điều khiển này không đòi hỏi các tham số của hệ khớp mềm nhưng độ phức tạp của quá trình thiết kế tăng lên đáng kể. Công bố [8] đề xuất bộ điều khiển thích nghi dựa trên phương pháp backstepping cho hệ truyền động có tính đến ảnh hưởng của khe hở đàn hồi và ma sát khô phi tuyến, còn [9,10] tổng hợp bộ điều khiển thích nghi cho hệ thống truyền động vận chuyển vật liệu mềm. Tuy nhiên, các hệ truyền động điện nhiều động cơ liên kết nhau bởi phần tử đàn hồi chưa được nghiên cứu nhiều.

1.2.2. Các nghiên cứu ngoài nước

Hiện nay, có rất nhiều phương pháp điều khiển được phát triển cho các hệ thống có tham số phân bố dựa trên cơ sở của lý thuyết điều khiển kinh điển, logic mờ, mạng nơron và điều khiển tối ưu bền vững [15-22]. Nhóm phương pháp kinh điển tổng hợp bộ điều chỉnh dựa trên việc phân tích các đặc tính thời gian hoặc tần số của đối tượng điều khiển, đòi hỏi phải xây dựng các mô hình và thuật toán phức tạp, khối lượng tính toán và sai số lớn, chẳng hạn khi sử dụng mô hình tần số phải thao tác với những hàm có đối số ảo $j\omega$. Vì vậy, chúng chỉ thích hợp cho việc nghiên cứu các hệ thống tuyến tính. Việc hiện thực hóa các phương pháp dựa trên lý thuyết mờ và mạng nơron có chi phí tính toán cao xét theo công cụ toán được dùng. Các phương pháp bền vững hiệu chuẩn bộ điều chỉnh dựa trên chẳng hạn, tiêu chuẩn H^∞ , có thể đưa đến lời giải không đảm bảo tính chất bền vững. Hạn chế này cũng tồn tại trong các phương pháp sử dụng tiêu chuẩn tiệm cận tích phân giữa hệ thống mong muốn và được tổng hợp.

Đối với hệ truyền động điện nhiều động cơ có liên kết đàn hồi, đã có rất nhiều nghiên cứu thực hiện mô hình hóa và tổng hợp bộ điều khiển cho hệ thống này dựa trên các mô hình phi tuyến [23-30]. Nhiều chiến lược, giải pháp đã được đề xuất nhằm nâng cao chất lượng điều khiển và đơn giản hóa cấu trúc hệ thống điều khiển. Một số phương pháp điều khiển tiêu biểu được phát triển như:

1. Điều khiển PID: Công trình [31,32] thiết kế bộ điều khiển PID cho hệ truyền động ba động cơ, để cải thiện hiệu suất đồng bộ tốc độ các động cơ. Các tham số của bộ điều khiển được điều chỉnh để đáp ứng điều khiển vòng mở của hệ thống đa biến để giảm hiệu ứng ghép nối lẫn nhau. Nó phù hợp với các hệ thống tuyến tính dừng khi các tham số của đối tượng điều khiển không hoặc ít thay đổi. Để phù hợp với các biến số thay đổi, người ta phát triển bộ điều khiển biến PID và các phiên bản khác của PID, chẳng hạn như PID phi tuyến, PID mờ,... sẽ cho kết quả tốt hơn. Tuy nhiên, việc này tốn thời gian và không phải dễ dàng khi tổng hợp bộ điều chỉnh cho các hệ thống có chứa thành phần phi tuyến phức tạp, do trạng thái đầu ra đối tượng không chỉ thay đổi theo thời gian mà cả tọa độ không gian.

2. Điều khiển Logic mờ: Các nghiên cứu [33-35] phát triển phương pháp tổng hợp bộ điều khiển logic mờ tự điều chỉnh (Fuzzy Logic Controller - FLC) cho các hệ thống giám sát lực căng phân tán có cấu trúc hoặc tham số hệ thống không xác định. Để thiết lập bộ điều khiển này, không cần phải mô tả toán học hệ thống/đối tượng. Nhưng cần phải có một kiến thức tốt về đặc tính hoạt động của quá trình sản xuất. Các luật của FLC được thực hiện với điều kiện "if...; then... ". Quá trình điều khiển thông thường được các chuyên gia mô hình hóa trong FLC. Một số vấn đề được giải quyết tốt hơn và trong thời gian ngắn hơn với FLC như điều khiển phi tuyến thông thường. Tuy nhiên, không có hàm tiêu chuẩn xác định để tìm một FLC tối ưu. Thông

thường ta phải tìm ra bộ FLC tối ưu với các phương pháp thực nghiệm. Nghiên cứu [35] đề xuất bộ điều khiển Smith mờ kết hợp điều khiển ước lượng trước Smith và điều khiển PID mờ. Đề xuất cấu trúc, phương pháp thiết kế bộ điều khiển tốc độ và mô hình hóa hệ thống điều khiển cho hệ thống điều khiển đồng bộ nhiều động cơ có độ trễ thời gian, nhiễu ngẫu nhiên và các yếu tố bất định. Các kết quả mô phỏng chứng minh rằng bộ điều khiển có thể giải quyết vấn đề trễ và loại nhiễu tốt hơn bộ điều khiển PID thông thường.

3. Lý thuyết mạng nơron: Công trình [36] ứng dụng mạng nơron (Neural Network-NN) nhằm kiểm soát lực căng không đổi dựa trên việc bù khử các thành phần biến đổi theo thời gian. Lý thuyết mạng nơron được áp dụng trên hệ thống điều khiển lực căng vòng kín với cảm biến lực căng phản hồi theo thời gian thực, đã khắc phục được những thiếu sót của phương pháp điều khiển PID truyền thống và làm giảm sự phụ thuộc giữa vận tốc và lực căng.

Nghiên cứu [37] ứng dụng điều khiển chế độ trượt mạng nơron nhân tạo (ANN-SMC) cho cấu trúc điều khiển đa đầu vào đa đầu ra (MIMO) của hệ thống đa động cơ. Sự kết hợp của mạng nơron với phương pháp điều khiển chế độ trượt (SMC) được sử dụng để loại bỏ hiện tượng nhiễu và cải thiện sai số.

Nghiên cứu [38] thiết lập mô hình toán học và sử dụng bộ điều khiển PID thích ứng mạng nơron RBF để thiết kế bộ điều khiển mạng nơron của hệ thống đồng bộ hai động cơ điện xoay chiều sẽ giúp cải thiện các đặc tính động, tĩnh và hiệu suất làm việc của hệ thống tốt hơn. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là cần số liệu đào tạo ban đầu lớn, tốn nhiều thời gian và không hiệu quả trong công nghiệp.

4. Điều khiển tối ưu: Nghiên cứu [39] đề xuất phương pháp điều khiển tối ưu toàn phương tuyến tính (Linear Quadratic Gaussian - LQG) cho hệ truyền động điện nhiều động cơ liên kết nhau bởi băng tải đàn hồi. Các tương tác giữa lực căng và vận tốc dài được xem xét và ước lượng bằng phương

pháp nhận dạng không gian. Để đạt độ chính xác tiệm cận thì bộ điều khiển LQ với đầu vào tham chiếu sẽ kết hợp với một bộ tích phân. Ngoài ra, bộ lọc Kalman được sử dụng để ước lượng vector trạng thái. Tuy nhiên khi thiết kế bộ điều khiển LQG cần có mô hình chính xác và đầy đủ về các tham số của hệ thống, điều này rất khó thỏa mãn trong một hệ thống có tham số phân bố với các liên kết phức tạp.

Công trình [40] sử dụng phương pháp tiếp cận dựa trên mô hình mờ để điều khiển tối ưu truyền động đa động cơ trong dây chuyền sản xuất liên tục. Mô hình mờ này được sử dụng để thiết kế các tham số tối ưu của bộ điều khiển PI theo tiêu chuẩn tối ưu bậc hai. Phương pháp xác nhận tính hiệu quả và các đặc tính động lực học tốt của bộ điều khiển tối ưu được đề xuất, cũng như khả năng ứng dụng của nó cho các hệ thống động lực học phi tuyến MIMO với ít thông tin tiên nghiệm nhất có thể.

5. Điều khiển thích nghi: Công trình [41,42] phát triển phương pháp điều khiển thích nghi cho hệ thống có các tham số thay đổi, chẳng hạn trong hệ truyền động nhiều động cơ tháo quán băng vật liệu, bán kính và mô men quán tính của trục lăn liên tục thay đổi. Vì vậy người ta đề xuất sử dụng bộ điều khiển thích nghi theo biến bán kính. Thông tin về sự thay đổi của trạng thái đối tượng theo bán kính được cập nhật bởi một bộ quan sát và các tham số của bộ điều chỉnh sẽ được thiết lập tương ứng. Phương pháp này cho phép đạt được độ chính xác điều khiển cần thiết, tuy nhiên nó chỉ thích hợp cho các hệ thống không có yêu cầu cao về tính tác động nhanh.

Bài báo [43] thực hiện theo dõi phản hồi đầu ra thích nghi cho các hệ thống phi tuyến không xác định với trạng thái không đo được và các hệ số điều khiển thay đổi theo thời gian không biết, sử dụng kết hợp các phương pháp điều khiển phổ quát và vùng chết với kỹ thuật backstepping. Cách thức này đảm bảo sai số theo dõi hội tụ đến một vùng lân cận nhỏ tùy ý sau một thời gian nhất định.

Công bố [44] nghiên cứu vấn đề điều khiển thích nghi bền vững cho hệ thống tốc độ và lực căng của máy cán dải nguội thuận nghịch dựa trên lý thuyết Hamilton.

6. Điều khiển bù nhiễu phi tuyến: Các nghiên cứu [45,46] đề xuất bộ điều khiển bù nhiễu phi tuyến (NADRC-Nonlinear Active Disturbance Rejection Control) để thích ứng với các yếu tố phi tuyến và nhiễu trong hệ thống. Các kết quả cho thấy hệ thống điều khiển sẽ ổn định bền vững với nhiễu tham số thay đổi trong dải rộng. Mặc dù bộ điều khiển NADRC cho chất lượng điều khiển tốt xong nó làm tăng tính phi tuyến, khó điều chỉnh và việc hiện thực hóa cũng rất khó khăn. Để giải quyết vấn đề này, người ta thường sử dụng bộ điều khiển ADRC có tham số tuyến tính.

7. Điều khiển dự báo: Nghiên cứu [47] đưa ra phương pháp thiết kế cho điều khiển dự báo mô hình (MPC) dựa trên chỉ số hiệu suất thống nhất trong suốt quá trình kiểm soát vòng lặp và lực căng pha khởi động bao gồm các chế độ không tiếp xúc và tiếp xúc để triệt tiêu sai lệch lực căng của dải.

8. Điều khiển phân tán: Nghiên cứu [48] đề xuất sơ đồ điều khiển lực căng phân tán phi tuyến dựa trên bộ quan sát vận tốc nâng cao cho các hệ thống cuộn đến cuộn bị chi phối bởi các yếu tố động lực học phi tuyến. Trong đó, tính không xác định của tham số hệ thống và động lực học phi tuyến đưa đến hệ thống vòng hở bậc hai, được sử dụng để thiết lập luật điều khiển tốc độ web và lực căng cho mỗi trạm.

Công bố [49] xây dựng bộ quan sát trạng thái có độ lợi cao đối với các hệ thống có dạng chính tắc quan sát được rõ ràng. Các bộ quan sát đến bậc 2 có thể được thiết kế với tham số khuếch đại cao. Cách này cho phép khắc phục được những hạn chế chính của các quy trình thiết kế tiêu chuẩn, trong đó tham số độ lợi cao có thể đạt đến bậc của hệ thống.

Nghiên cứu [50] tập trung vào việc thiết kế bộ điều khiển phân tán bền vững cho các hệ thống công nghiệp có cấu trúc phức tạp. Tính bền vững của bộ điều khiển được cải thiện bằng phương pháp phân tách chồng chéo. Bộ điều khiển thu được được áp dụng cho hệ thống cuộn web với cấu trúc dọc. Cách tiếp cận này dẫn đến nhiều kỹ thuật tính toán, do đó các bộ điều khiển dễ thực hiện hơn. Kết quả mô phỏng được thực hiện với các tín hiệu đầu vào khác nhau cho thấy tính bền vững của bộ điều khiển được cải thiện.

9. Sử dụng bộ quan sát ước lượng lỗi trên cơ sở bù nhiễu: Công trình [51-53] nghiên cứu các vấn đề về ước lượng lỗi và điều khiển khả năng chịu lỗi đối với hệ thống cuộn web ba động cơ khi có nhiễu và lỗi bộ truyền động. Bộ quan sát ước lượng lỗi trên cơ sở bù nhiễu được thiết kế để ước tính các lỗi của cơ cấu chấp hành. Sau đó, một chiến lược điều khiển khả năng chịu lỗi hiệu quả được đề xuất bằng các phương pháp ma trận khoảng và bù cục bộ nhiễu. Điều kiện đủ của sự ổn định tiệm cận của hệ sai số ước lượng và hệ thống vòng kín được suy ra dựa trên lý thuyết Lyapunov. Kết quả mô phỏng và phân tích cho thấy tính hiệu quả của phương pháp được đề xuất.

Ngoài ra còn có các cách tiếp cận, chiến lược, phương thức điều khiển khác đã được phát triển như: kiểm soát độ phẳng của dải cán nguội dựa trên tối ưu hóa hai lớp [54,55], điều khiển Backstepping sử dụng bộ quan sát nhiễu [56],...

Từ các phân tích trên đây cho thấy đã có nhiều giải pháp được đề xuất và áp dụng cho hệ thống truyền động nhiều động cơ có liên kết đàn hồi. Tuy nhiên, không có một cách thức nào đáp ứng mọi yêu cầu chất lượng của hệ thống và được coi là chuẩn kỹ thuật chung trong mọi trường hợp. Mỗi phương pháp điều khiển có những ưu nhược điểm riêng, chẳng hạn: Bộ điều khiển PID đơn giản nhưng chất lượng điều khiển không cao do quan hệ giữa lực căng và tốc độ gây ra. Bộ điều khiển bền vững đảm bảo hệ thống làm việc ổn định bền vững với nhiễu và các yếu tố bất định. Tuy nhiên, nó chỉ phù hợp

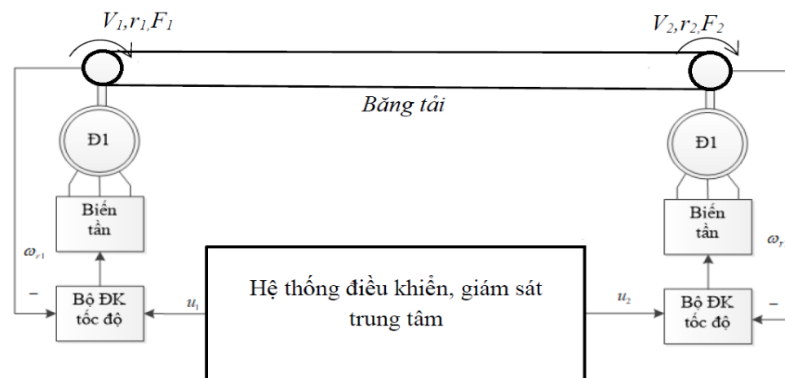
với sự thay đổi các tham số vật lý của hệ thống trong một phạm vi nhỏ. Phương pháp điều khiển tối ưu đa biến giúp giảm thiểu các tác động chéo, nhưng đòi hỏi một mô hình chính xác và phải đo lường được các thông số. Các phương pháp điều khiển thông minh như logic mờ, mạng nơ-ron, điều khiển thích nghi sử dụng bộ quan sát sẽ khó hiện thực hóa và tốn nhiều thời gian tính toán. Nó không thích hợp với điều khiển thời gian thực.

Với sự phức tạp của hệ truyền động nhiều động cơ có chứa phần tử liên kết đàn hồi, các nghiên cứu vẫn đang tiếp diễn nhằm tìm được các giải pháp đáp ứng tốt chất lượng điều khiển, thủ tục tính toán đủ đơn giản và dễ dàng hiện thực hóa. Vì vậy, dưới đây nghiên cứu sinh sẽ tiến hành xây dựng mô hình nghiên cứu và đề xuất thuật toán tổng hợp bộ điều khiển cho hệ thống này.

1.3. Xây dựng mô hình hệ truyền động điện nhiều động cơ có chứa phần tử liên kết đàn hồi

1.3.1. Mô tả bằng tải đàn hồi dạng vòng kín

Mô hình được đề xuất nghiên cứu là hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ liên kết với nhau bởi băng tải đàn hồi dạng vòng kín, có cấu trúc chung được chỉ ra trên hình 1.6, gồm các thành phần chính: Các động cơ (Motors), biến tần (Inverters), băng tải, tang tháo quấn, các loại cảm biến (Encoders, Loadcells) và hệ thống điều khiển (Control system).



Hình 1.6. Cấu trúc tổng quát hệ thống điều khiển truyền động hai động cơ liên kết bởi băng tải đàn hồi

Băng tải đàn hồi dạng vòng kín được khảo sát trên hình 1.7, có khối lượng và độ cứng phân bố đều, với m_1 - khối lượng phần dẫn động liên kết với động cơ, tập trung tại điểm $x = x_1 = 0$, còn m_2 - khối lượng của băng tải tập trung tại điểm $x = x_2$, bán kính các tang quán bằng nhau và không thay đổi trong quá trình hệ thống làm việc ($R_1 = R_2 = \text{Const}$), được mô tả bởi phương trình [16]:

$$L_t[u(x,t)] = \rho(x) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} - E \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = f(x,t); 0 \leq x \leq l, t \geq 0, \rho(x) > 0, E > 0, \quad (1.2)$$

với điều kiện ban đầu:

$$u(x,t)|_{t=0} = u_0(x); \frac{\partial u(x,t)}{\partial t}|_{t=0} = u_1(x), \quad (1.3)$$

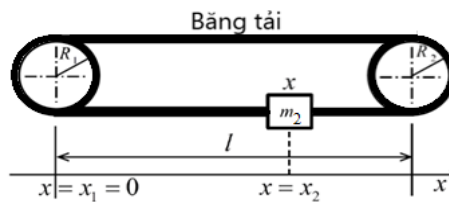
và điều kiện biên:

$$u(x,t)|_{x=0} = u(x,t)|_{x=l}; \frac{\partial u(x,t)}{\partial x}|_{x=0} = \frac{\partial u(x,t)}{\partial x}|_{x=l}, \quad (1.4)$$

trong đó: L_t - toán tử vi phân; $u(x,t)$ - độ dịch chuyển của điểm trên băng tải có ở tọa độ x và thời điểm t nào đó; $E = \text{const}$ - mô đun đàn hồi của phần tử được khảo sát; $u_0(x), u_1(x)$ - độ dịch chuyển và tốc độ dịch chuyển của mặt cắt phần tử đàn hồi tại tọa độ x và thời điểm $t = 0$; $f(x,t)$ - tác động đầu vào theo không gian, thời gian; $\rho(x)$ - mật độ vật chất của phần tử đàn hồi theo tọa độ x , có thể được tính thông qua các thành phần khối lượng m_i ứng với tọa độ x_i theo biểu thức:

$$\rho(x) = \rho_l + \sum_{i=1}^n m_i \delta(x - x_i), \quad (1.5)$$

với $\rho_l = \text{const}$ là mật độ của phần tử liên kết đàn hồi khi không mắc tải.



Hình 1.7. Mô hình khảo sát băng tải đàn hồi dạng vòng kín

Hàm truyền đạt chuẩn hóa W ứng với (1.2) là nghiệm của hệ phương trình [16]:

$$\begin{cases} L[W] = [1 + \sum_{i=1}^n \eta_i \delta(x - x_i)] \tilde{s}^2 W(x, \xi, \tilde{s}) - \frac{d^2 W(x, \xi, \tilde{s})}{dx^2} \delta(x - \xi) \\ W(0, \xi, \tilde{s}) = W(l, \xi, \tilde{s}) \\ \frac{dW(0, \xi, \tilde{s})}{dx} = \frac{dW(l, \xi, \tilde{s})}{dx}; 0 \leq \xi \leq l. \end{cases}, \quad (1.6)$$

với: L - toán tử vi phân; $\eta_i = m_i / \rho_l$; $\tilde{s} = s / a$; $W = aW$; $a^2 = E / \rho_l$. Sử dụng phép biến đổi Fourier rời rạc N_k đối với hàm truyền đạt $W(x)$ (chu kỳ $T = l$) dạng:

$$W_k = N_k [W(x)] = \frac{1}{l} \int_0^l W(x) e^{-j\omega_k x} dx; \omega_k = 2\pi k / l, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (1.7)$$

và các kết quả tính toán trong [16], chúng ta nhận được:

$$W(x) = \Phi(x - \xi) - s^2 \sum_{i=1}^n \eta_i W(x_i) \Phi(x - x_i); \Phi(z) = \frac{1}{l} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{e^{j\omega_k z}}{s^2 + \omega_k^2}. \quad (1.8)$$

Thực tế, gần như không thể xác định được sự biến thiên của hàm trạng thái đầu ra (lực căng, vận tốc dài) của băng tải trên toàn bộ không gian băng tải và theo thời gian. Vì vậy, để đơn giản bài toán đến mức có thể sử dụng các cơ sở lý thuyết của hệ tuyến tính dừng mà vẫn bảo lưu các tính chất đặc trưng của hệ có tham số phân bố, băng tải khảo sát được chuyển về hệ hai khối lượng ($n = 2$) như trên hình 1.7. Điểm đầu ra chính là vị trí băng tải có tọa độ x_2 và khối lượng m_2 . Sau khi thay thế các tọa độ (x_1, x_2) vào (1.8), chúng ta sẽ xác định được các hằng số $W(x_i)$ [16]:

$$\begin{cases} W(0)[1 + s^2 \eta_1 \Phi(0)] + W(x_2) s^2 \eta_2 \Phi(x_2) = \Phi(0) \\ W(0) s^2 \eta_1 \Phi(x_2) + W(x_2) [1 + s^2 \eta_2 \Phi(0)] = \Phi(x_2) \end{cases}. \quad (1.9)$$

Thay $W(0)$, $W(x_2)$ vào (1.8), chúng ta nhận được hàm truyền đạt biểu diễn mối liên hệ giữa lực tại điểm có tọa độ $x_1 = 0$ và khối lượng m_1 ($F_d(0, s)$) (với vận tốc tại điểm có tọa độ x_2 và khối lượng m_2 ($V_\lambda(x_2, s)$)) [16]:

$$W_{dt}(s) = W(x_2, 0, s) = \frac{V_\lambda(x_2, s)}{F_d(0, s)} = \frac{V_\lambda(s)}{F_d(s)} = \frac{q \cdot sh(s)ch(\lambda s)}{sh^2 s + \mu_1 \mu_2 s^2 (ch^2 s - ch^2 \lambda s) + (\mu_1 + \mu_2) s \cdot sh(2s)}, \quad (1.10)$$

trong đó, $\mu_1 = \eta_1 / l = m_1 / m_k$, $\mu_2 = \eta_2 / l = m_2 / m_k$, $m_k = \rho_l l$ - khối lượng băng tải; $q = 1 / 2a$ - hệ số truyền của phần tử đàn hồi, còn $\lambda = 1 - 2x_2 / l$ - tọa độ không gian đầu ra của hệ. Còn hàm truyền đạt liên hệ giữa lực trên tang quán chủ động ($F_d(0, s)$) và vận tốc của nó $V_d(0, s)$ ứng với các tọa độ vào - ra: $x_1 = \xi = 0; x_2 = 0$, có dạng [16]:

$$W_{dt}^*(s) = W(0, 0, s) = \frac{V_d(0, s)}{F_d(0, s)} = \frac{V_d(s)}{F_d(s)} = \frac{q[sh2s + s\mu_2(ch^2 s - ch^2 \lambda s)]}{sh^2 s + (\mu_1 + \mu_2) s \cdot sh2s + \mu_1 \mu_2 s^2 (ch^2 s - ch^2 \lambda s)}. \quad (1.11)$$

1.3.2. Sơ đồ cấu trúc động cơ không đồng bộ với roto ngắn mạch trong hệ tọa độ quay (d, q):

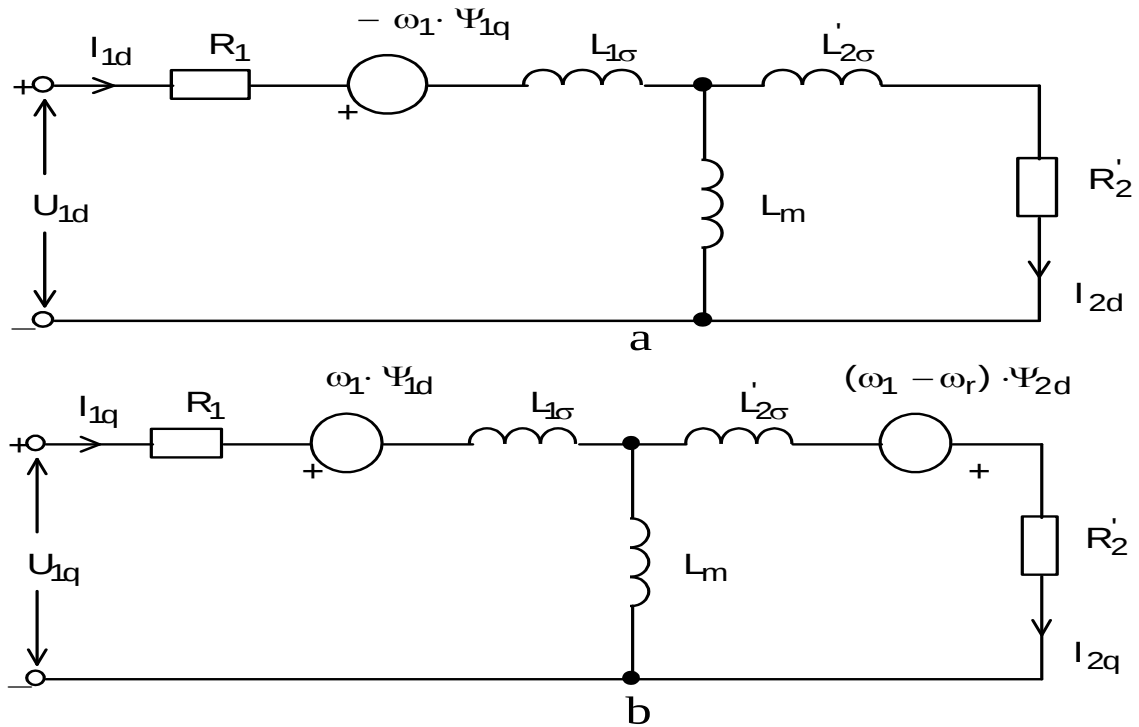
Hệ tọa độ quay (d, q) với tốc độ ω_1 được định vị theo véc tơ từ thông roto $\vec{\Psi}_2$. Khi $\omega_{kc} = \omega_1$ và trục x của hệ tọa độ quay (x, y) đồng nhất với véc tơ từ thông roto $\vec{\Psi}_2$ trên trục của hệ tọa độ trục giao (d, q) ($\Psi_{2d} = |\vec{\Psi}_2|$, $\Psi_{2q} = 0$), các phương trình điện áp của động cơ không đồng bộ với roto ngắn mạch sẽ có dạng [3-5, 21, 22]:

$$\begin{cases} U_{1d} = R_1 \cdot I_{1d} + s \cdot \Psi_{1d} - \omega_{kc} \cdot \Psi_{1q} \\ U_{1q} = R_1 \cdot I_{1q} + s \cdot \Psi_{1q} + \omega_{kc} \cdot \Psi_{1d} \\ 0 = R_2 \cdot I_{2d} + s \cdot \Psi_{2d} \\ 0 = R_2 \cdot I_{2q} + s \cdot \Psi_{2q} + (\omega_{kc} - \omega_r) \cdot \Psi_{2d} \end{cases}. \quad (1.12)$$

Hệ (1.12) được biểu diễn như trên hình 1.8 tương ứng với các biểu thức tính toán từ thông tổng trong hệ tọa độ bất kỳ:

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_1 = L_1 \cdot \vec{I}_1 + L_m \cdot \vec{I}_2 \\ \bar{\Psi}_2 = L_2 \cdot \vec{I}_2 + L_m \cdot \vec{I}_1 \end{cases} \quad (1.13)$$

trong đó: $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$ - điện cảm tương đương của cuộn dây stato; $L_2 = L'_{2\sigma} + L_m$ - điện cảm tương đương của cuộn dây roto; $L_{1\sigma}$ - điện cảm tản của cuộn dây stato; $L'_{2\sigma}$ - điện cảm tản quy đổi về stato của cuộn dây roto; L_m - điện cảm tổng được tạo nên bởi từ thông từ trong khe hở không khí của máy. Các thông số của động cơ không đồng bộ $R_1, R'_2, L_{1\sigma}, L'_{2\sigma}, L_m$ có thể được tìm thấy trong một số tài liệu hoặc được xác định bằng tính toán.



Hình 1.8: Các sơ đồ thay thế của động cơ điện không đồng bộ với roto ngắn mạch trong hệ tọa độ quay (d,q) với tốc độ ω_1 được định vị theo véc tơ từ thông roto $\bar{\Psi}_2$: a - theo trục d, b - theo trục q

Nếu hệ tọa độ (x,y) quay đồng bộ với tốc độ từ trường stato ($\omega_{kc} = \omega_1$) trục x trùng với véc tơ từ thông $\bar{\Psi}_2$ và có tính đến hệ thức: $|\bar{\Psi}_2| = \Psi_{2x} = \Psi_{2d}, \Psi_{2y} = \Psi_{2q} = 0$, thì hệ các phương trình mô tả sự làm việc của

động cơ điện không đồng bộ với roto ngắn mạch trong hệ tọa độ quay đồng bộ với tốc độ từ trường trường stato $\omega_{kc} = \omega_1$ có dạng:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1d} = R_3 \cdot (T_3 \cdot s + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_3 \cdot (T_3 \cdot s + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 \cdot s + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{kc} = z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J \cdot s} \cdot (M_e - M_c). \end{array} \right. , \quad (1.14)$$

trong đó: $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ - thành phần điện áp hiệu dụng của stato có giá trị không đổi trong hệ tọa độ (d,q) quay đồng bộ với trường stato, định vị theo từ thông roto $\bar{\Psi}_2$; I_{1d}, I_{1q} - các thành phần dòng stato trong hệ tọa độ (d,q) ; $\Psi_{2d} = |\bar{\Psi}_2|$ - thành phần từ thông roto theo trục d trong hệ tọa độ (d,q) .

Còn sơ đồ cấu trúc động cơ điện không đồng bộ với roto ngắn mạch được thực hiện trong hệ tọa độ quay (d,q) định hướng theo véc tơ từ thông tổng của roto tương ứng với hệ (1.14) được minh họa trên hình 1.9. Các liên kết phản hồi ở dạng phi tuyến chéo nhau, được lấy ra từ sơ đồ thay thế hình 1.8 và các phương trình điện áp stato của hệ (1.14):

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1d} = R_3 \cdot (T_3 \cdot s + 1) \cdot I_{1d} - e_d \\ U_{1q} = R_3 \cdot (T_3 \cdot s + 1) \cdot I_{1q} + e_q \end{array} \right. , \quad (1.15)$$

với các thành phần suất điện động bên trong của động cơ đi vào stato có dạng:

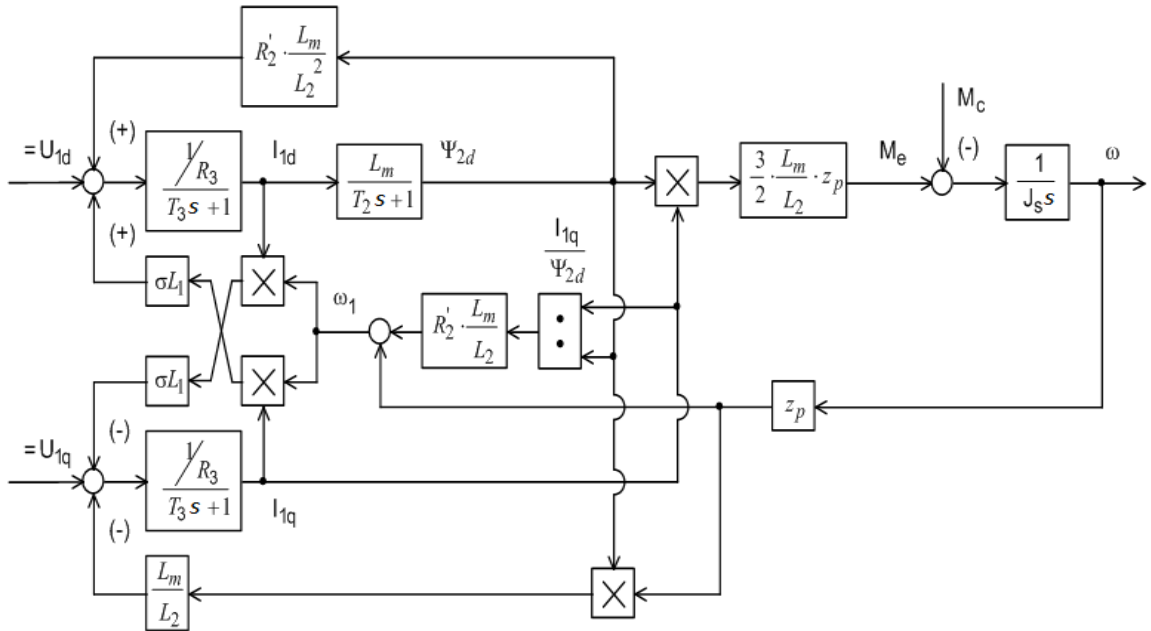
$$\begin{cases} e_d = \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} + \omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q} \\ e_q = \omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d} \end{cases}, \quad (1.16)$$

với sụt áp trong mạch roto:

$$\frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} = \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot (L_2 \cdot I_{2d} + L_m \cdot I_{1d}) = R_2' \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} \cdot I_{2d} + \frac{L_m^2}{L_2^2} \cdot I_{1d} \right) \quad (1.17)$$

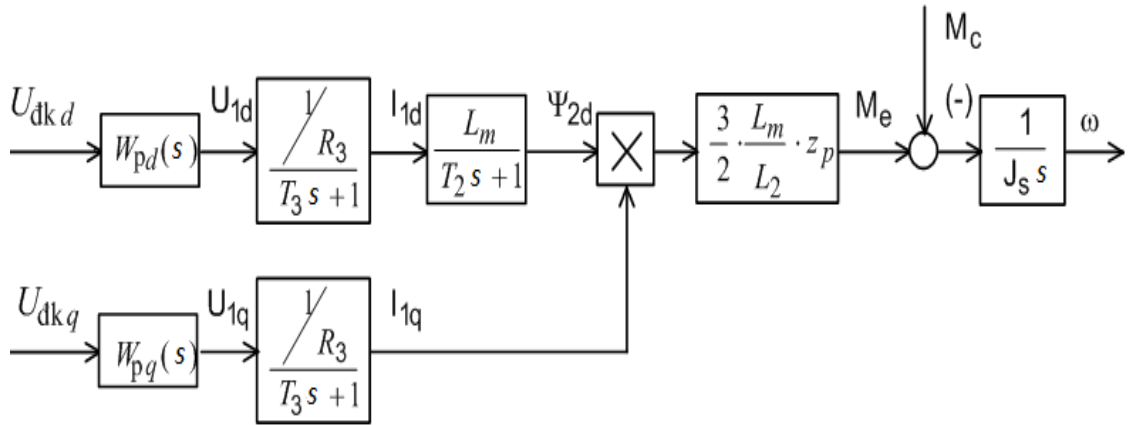
ở đây: $\omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}$ và $\omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d}$ - các thành phần suất điện động tự cảm;

còn $\frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}$ - suất điện động quay đi vào stato nhờ từ thông roto.



Hình 1.9: Sơ đồ cấu trúc động cơ điện không đồng bộ với roto ngắn mạch trong hệ tọa độ quay (d,q) với liên kết phản hồi phi tuyến chéo nhau

Nếu trong hệ biến tần - động cơ có hỗ trợ bù các thành phần suất điện động e_d và e_q , thì sơ đồ cấu trúc động cơ điện không đồng bộ trong hệ tọa độ quay (d,q) định hướng theo véc tơ từ thông tổng của roto có thể đưa về dạng như trên hình 1.10.

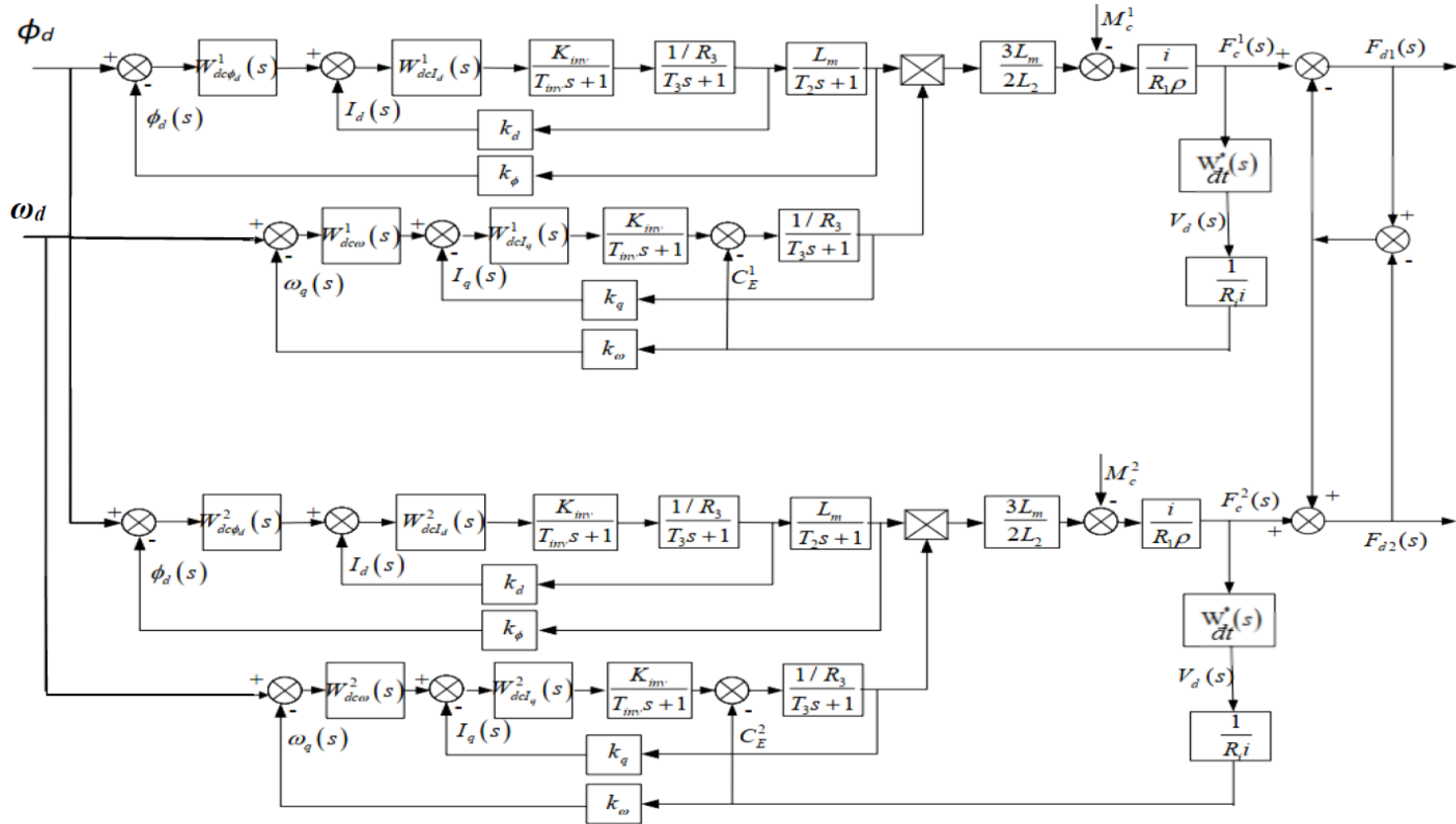


Hình 1.10. Sơ đồ cấu động cơ điện không đồng bộ trong hệ tọa độ quay
(d,q)

(U_{1d}, U_{1q} - Điện áp hiệu dụng của Stato trong hệ tọa độ (d,q) quay đồng bộ với trường Stato; I_{1d}, I_{1q} - Dòng điện Stato trong hệ tọa độ (d,q); Ψ_{2d} - Từ thông Roto theo trục d trong hệ tọa độ (d,q); $W_{pd}(s), W_{pq}(s)$ - Các bộ điều khiển điện áp).

1.3.3. Cấu trúc hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ có chứa băng tải đàn hồi dạng vòng kín

Từ hàm truyền đạt mô tả băng tải đàn hồi đã nhận được trong mục 1.3.1 và mô hình cấu trúc động cơ trong hệ tọa độ quay (d, q) (hình 1.10) được dẫn ra trong mục 1.3.2, sơ đồ cấu trúc tổng quát của hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi (1.11) được chỉ ra trên hình 1.11. Hệ thống điều khiển cho mỗi động cơ độc lập nhau gồm hai vòng điều khiển: từ thông và tốc độ. Vòng điều khiển từ thông gồm vòng lặp dòng và vòng lặp từ thông với $W_{dcId}, W_{dc\Phi d}$ - Bộ điều chỉnh dòng điện và từ thông tương ứng, còn vòng điều khiển tốc độ gồm vòng lặp dòng và vòng lặp tốc độ với $W_{dcId}, W_{dc\omega d}$ - Bộ điều chỉnh dòng điện và tốc độ tương ứng, trong đó vận tốc dài của băng tải được lấy ra tại đầu trục động cơ sẽ được đưa vào mạch hồi tiếp của vòng lặp tốc độ.



Hình 1.11. Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động điện hai động cơ không đồng bộ có tính đến ảnh hưởng của băng tải đàn hồi vào vòng tốc độ

1.4. Thiết lập vấn đề nghiên cứu

Như vậy, việc xây dựng hệ thống điều khiển cho hệ truyền động điện chứa băng tải liên kết đàn hồi sẽ khó khăn hơn nhiều do sự phức tạp của hàm truyền đạt mô tả băng tải đàn hồi (1.11) xuất hiện trong mạch hồi tiếp của vòng lặp tốc độ, có chứa các thành phần quán tính và siêu việt. Vấn đề này thường chỉ được giải quyết bằng cách kết hợp những nghiên cứu chuẩn tắc của lý thuyết điều khiển chung và các giải pháp không chính tắc.

Các phương pháp điều khiển đã phân tích trong mục 1.2 đều có những ưu nhược điểm riêng và chỉ phù hợp trong các trường hợp riêng khi tổng hợp các vòng điều khiển của hệ thống truyền động điện nhiều động cơ có chứa băng tải đàn hồi (hình 1.11). Vì vậy cần tìm kiếm các phương pháp điều khiển khác sao cho vừa tính đến sự phân bố của các tham số của đối tượng điều khiển, vừa tận dụng được các phương pháp kinh điển đã biết.

Phương pháp “rời rạc đầu cuối” thao tác trực tiếp trên mô hình gốc của đối tượng (1.1), (1.10), (1.11) và chỉ thực hiện việc xấp xỉ ở công đoạn cuối cùng nhằm đạt được kết quả rút gọn theo hướng điều khiển đã định [57-62]. Tuy nhiên việc thao tác với các phân thức hữu tỷ bậc cao và các hàm quán tính và siêu việt có thể gặp phải những khó khăn không thể khắc phục được. Cách khả thi nhất để giải quyết vấn đề này là chuyển đến các phương pháp số. Trong các điều kiện của phép nội suy, có thể chia phương pháp này thành bốn phương án chính sau đây [62]:

1. Các điểm nút nội suy phân bố trên toàn mặt phẳng phức [63]. Khi này, hàm $W_{dt}(x, \xi, s), s = \delta + j\omega$ có chứa cả biến thực và ảo. Vì vậy, cần phải tính giá trị của các biến $\delta_i, \omega_i, i = 1, 2, \dots$ và cả hàm $W_{dt}(x, \xi, s_i)$. Do đó, dung lượng tính toán sẽ rất lớn mà thực tế là không khả thi. Tình huống này có thể được khắc phục bằng việc làm trùng các điểm cực của hệ thống tham chiếu và hệ thống được tổng hợp. Rõ ràng, những khó khăn sẽ tăng lên nếu sử dụng

phép nội suy trên toàn mặt phẳng phức trong trường hợp hàm mô tả hệ thống có chứa các thành phần quán tính và siêu việt.

2. Tất cả các điểm nút nội suy phân bố trên trục ảo. Cách này thực chất là tổng hợp trong miền tần số. Nó gặp khó khăn khi thao tác với hàm $W_{dt}(x, \xi, j\omega)$ có chứa các thành phần quán tính và siêu việt [64] do xuất hiện các tần số cộng hưởng. Do vậy, phương án này không có triển vọng để tổng hợp các hệ thống có tham số phân bố.

3. Sử dụng điểm nút khả ước ở gốc tọa độ. Bản chất của cách này là dùng xấp xỉ Pade và chuỗi lũy thừa [65,66]. Tuy nhiên việc phân tích các thành phần quán tính và siêu việt thành các chuỗi hội tụ là vấn đề phức tạp và độ chính xác tổng hợp không cao.

4. Tất cả các điểm nút nội suy nằm trên trục thực [67]. Đây là phương án lồi cuốn và có triển vọng trong việc tổng hợp các hệ thống điều khiển cho lớp đối tượng, được mô tả bằng các hàm truyền đạt có chứa các thành phần quán tính và siêu việt (1.10), (1.11). Việc lựa chọn các điểm nút nội suy trên trục thực sẽ khắc phục hạn chế của các phương án kể trên [68-72].

Từ những phân tích kể trên, luận án sẽ đề xuất và thiết lập các cơ sở ứng dụng phương pháp nội suy thực tính toán và hiệu chỉnh tham số bộ điều chỉnh cho hệ truyền động điện có sơ đồ cấu trúc như chỉ ra trên hình 1.11, với các nội dung chính được xem xét bao gồm:

1. Phân tích, đánh giá ưu nhược điểm của các nghiên cứu trong và ngoài nước khi xây dựng hệ thống điều khiển cho đối tượng có tham số phân bố nói chung và hệ truyền động điện nhiều động cơ có liên kết đàn hồi nói riêng.

2. Xây dựng mô hình hệ truyền động điện nhiều động cơ có liên kết đàn hồi. Đề xuất và hiện thực hóa trên máy tính thuật toán ước lượng hàm truyền đạt mô tả bằng tải đàn hồi bằng phương pháp nội suy thực.

3. Tổng hợp các vòng điều khiển cho hệ truyền động điện tự động nhiều

động cơ có chứa băng tải đàn hồi trên cơ sở ứng dụng phương pháp nội suy thực. Mô phỏng, đánh giá hệ thống sau tổng hợp trên máy tính

4. Tính toán, xây dựng mô hình thực nghiệm hệ truyền động điện hai động cơ chủ động liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi dạng vòng kín.

1.5. Kết luận chương 1

Trong chương 1 của luận án, nghiên cứu sinh đã tiến hành phân tích tổng quan, đánh giá ưu nhược điểm của các phương pháp khác nhau điều khiển đối tượng có tham số phân bố nói chung và hệ truyền động nhiều động cơ nói riêng. Dựa trên mô tả toán của băng tải đàn hồi dạng vòng kín và sơ đồ cấu trúc của động cơ không đồng bộ, nghiên cứu sinh đã thiết lập mô hình cấu trúc hệ thống điều khiển cho hệ truyền động điện hai động cơ có tính đến ảnh hưởng của băng tải đàn hồi được đưa vào mạch hồi tiếp của vòng điều khiển tốc độ. Đề xuất phương pháp nội suy thực là phương pháp tổng hợp cơ bản được sử dụng và hình thành các nội dung chính của luận án sẽ được nghiên cứu trong các chương tiếp theo

Chương 2

ƯỚC LƯỢNG HÀM TRUYỀN ĐẠT MÔ TẢ CÁC ĐỐI TƯỢNG CÓ THAM SỐ PHÂN BỐ

Như đã phân tích trong mục 1.3, việc mô hình hóa bằng tải đàn hồi được thực hiện tại các tọa độ đầu ra cố định trong không gian. Điều này sẽ làm đơn giản việc mô hình hóa đối tượng điều khiển mà vẫn bảo lưu các tính chất đặc trưng của đối tượng có tham số phân bố. Tuy nhiên, ngay cả làm như vậy, hàm truyền đạt mô tả đối tượng tại các điểm riêng biệt trong không gian vẫn chứa các thành phần quán tính và siêu việt (1.11), tạo ra những khó khăn trong việc tổng hợp hệ thống điều khiển.

Thông thường, để tổng hợp các hệ thống điều khiển cho lớp đối tượng này, người ta thường thực hiện thay thế mô hình gốc (1.11) bằng các mô hình với tham số tập trung. Thực chất là xấp xỉ hàm truyền đạt (1.11) bằng các phân thức hữu tỷ. Nhược điểm của cách này là làm tăng sai số tính toán do có công đoạn xấp xỉ trung gian và làm mất đi các tính chất đặc trưng của hệ thống có tham số phân bố. Tuy nhiên, việc tổng hợp hệ thống theo cách này sẽ đơn giản hơn rất nhiều và có thể ứng dụng các cơ sở lý thuyết cho hệ tuyến tính đã được nghiên cứu toàn diện.

Các phương pháp ước lượng hàm truyền đạt (1.10), (1.11), được xem xét trong nhiều nghiên cứu trước đây đã cho những kết quả tích cực. Nghiên cứu [73,74] đề cập vấn đề xấp xỉ hóa sử dụng các đa thức Chebyshev, còn [15] sử dụng các đa thức Bessel. Phương pháp ước lượng phổ biến là ứng dụng các chuỗi hội tụ và xấp xỉ Pade [65, 66]. Tuy nhiên, việc phân tích hàm (1.10), (1.11) thành các chuỗi hội tụ gặp nhiều khó khăn do sự phức tạp của nó, đồng thời làm tăng sai số ước lượng. Phương pháp tần số có những hạn chế nhất định liên quan đến việc chuyển hàm ban đầu (1.11) theo biến phức về dạng có

đối số thực [57]. Phương pháp nội suy thực (RIM) cho phép chuyển đổi theo các quy tắc khá đơn giản và thao tác trên các hàm có đối số thực mà không kèm theo những khó khăn tính toán đáng kể nào [68-72]. Vì vậy, chương này của luận án sẽ phân tích và thiết lập thuật toán ước lượng hàm truyền đạt (1.10), (1.11) dựa trên cơ sở của phương pháp này.

2.1. Phương pháp nội suy thực (Real Interpolation Method - RIM)

Phương pháp nội suy thực có liên quan đến lớp các phương pháp thao tác trên các mô hình trong miền ảnh, nó thuận lợi hơn so với thực hiện trong miền thời gian. Bản chất và những đặc điểm của phương pháp được hình thành dựa trên cơ sở của phép biến đổi Laplace [68]:

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt, \quad s = \delta + j\omega, \quad (2.1)$$

với: $F(s)$ - hàm ảnh; $f(t)$ - hàm gốc; s - biến phức. Một trường hợp riêng của biến đổi (2.1) là biến phức s bị suy biến thành biến thuần thực $s = \delta$, khi phần ảo bằng không $\omega = 0$, lúc này biểu thức ban đầu (2.1) trở thành:

$$F(\delta) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-\delta t} dt. \quad (2.2)$$

Trường hợp này tuy không được xem xét rộng rãi nhưng có ưu điểm: hàm ảnh $F(\delta)$ có đối số thực. Điều kiện tồn tại và đơn trị của hàm $F(\delta)$ được xác định bởi sự hội tụ của tích phân (2.2). Đối với các hệ thống tuyến tính dừng, điều kiện này được thỏa mãn khi $\delta \geq 0$ [68,69]. Trong trường hợp hàm $f(t)$ là một đặc trưng động học theo thời gian của hệ thống chẳng hạn, đặc trưng quá độ xung $f(t) = k(t)$, thì tích phân (2.2) chính là hàm truyền đạt thực ($F(\delta) = W(\delta)$).

Việc số hóa phương pháp tính toán phải có các mô hình của hệ thống không chỉ ở dạng các hàm giải tích như (2.1), (2.2), mà còn ở dạng các chuỗi số có quan hệ đơn trị với các hàm liên tục của chúng.

2.1.1. Đặc trưng số của tín hiệu liên tục

Để nhận được các mô hình số tương ứng với hàm liên tục ban đầu, trong RIM sử dụng phương pháp nội suy. Theo cách này người ta cho các điểm nút nội suy $\delta_i (i=1,2,...,\eta)$ và tìm giá trị $F(\delta_i)$ của hàm thực $F(\delta)$ tương ứng. Cuối cùng, chúng ta nhận được tập giá trị $\{F(\delta_i)\}_\eta$ ($\{F(\delta_i)\}_\eta = \{F(\delta_1), F(\delta_2), ..., F(\delta_\eta)\}$), được gọi là đặc trưng số của hàm $F(\delta)$ còn số các phần tử η chính là độ dài của đặc trưng số $\{F(\delta_i)\}_\eta$ [68].

Việc chọn các điểm nút nội suy là bước đầu tiên khi chuyển từ hàm thực liên tục thành dạng rời rạc tương ứng. Ở công đoạn này cần giải quyết hai vấn đề: xác định quy luật phân bố các điểm nút và các cận của khoảng biến thiên các điểm nút, tức là khoảng xác định các điểm nút. Trong trường hợp chung, việc xác định quy luật phân bố các điểm nút là một bài toán phức tạp, chỉ ít quy luật phụ thuộc vào các điều kiện ban đầu, tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác của lời giải và các điều kiện chưa biết nào đó. Đơn giản hơn cả người ta sử dụng quy luật phân bố điểm nút đều [69]:

$$\delta_i = i\delta_1, i = \overline{2, \eta}. \quad (2.3)$$

Vấn đề thứ hai nằm ở việc lựa chọn khoảng phân bố các điểm nút. Có những thông tin ban đầu nhất định để chọn khoảng phân bố điểm nút. Thực chất, việc xác định khoảng phân bố điểm nút chính là lựa chọn các giá trị của điểm nút đầu δ_1 và cuối δ_η của khoảng. Điểm nút đầu thường được chọn bằng không, nó xác định giá trị của phần tử đầu tiên $F(0)$ của đặc trưng số $F(\delta_i)$, $i = \overline{1, \eta}$, $\eta = m + n + 1$. Điểm nút cuối δ_η xác định cận trên của khoảng thay đổi thực của hàm $F(\delta)$, được tìm bằng cách giải phương trình:

$$F(\delta_\eta) = (0.1 \div 0.2)F(0). \quad (2.4)$$

Trong trường hợp bậc của đa thức tử m và mẫu n bằng nhau ($m = n$), đại lượng δ_η chính là nghiệm của phương trình:

$$F(\delta_\eta) = (0.1 \div 0.2)[F(0) - F(\infty)] + F(\infty). \quad (2.5)$$

Các đặc trưng số phải có mối liên hệ đơn trị với hàm thực, tức phải tồn tại cách thức nhận được hàm thực theo các đặc trưng số của nó. Mối liên hệ này được thiết lập bởi hệ phương trình đại số tuyến tính.

$$F(\delta_i) = \frac{b_m \delta_i^m + b_{m-1} \delta_i^{m-1} + \dots + b_0}{a_n \delta_i^n + a_{n-1} \delta_i^{n-1} + \dots + a_1 \delta_i + 1}, \quad i = \overline{1, \eta}. \quad (2.6)$$

Hệ (2.6) cho phép tìm các hệ số của hàm $F(\delta)$ theo các đặc trưng số $\{F(\delta_i)\}_\eta$. Tham số η liên hệ với số các hệ số chưa biết trong hàm $F(\delta)$ bởi hệ thức

$$\eta = m + n + 1, \quad (2.7)$$

sẽ làm cho hệ (2.6) xác định và có nghiệm duy nhất [20].

Để lựa chọn các điểm nút $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ cần phải tính đến các tính chất động học của hệ thống được khảo sát. Sự không xác định này có thể được bù trừ bằng phép lặp theo các điểm nút nội suy khác nhau. Như vậy, kết quả của phép lặp thứ nhất được dùng ở các phép lặp tiếp theo để thay đổi các tham số ban đầu nhằm đảm bảo sai số nhỏ hơn.

2.1.2. Tính chất chéo nhau của phép biến đổi tích phân thực

Trong phép biến đổi (2.2), khi gán cho biến thực δ một giá trị bất kỳ

$\delta = \delta_j$, chúng ta nhận được: $F(\delta_j) = \int_0^\infty f(t) e^{-\delta_j t} dt$. Với giá trị δ_j đủ lớn tới

mức mà ngay tại các giá trị t nhỏ thì hàm $\exp(-\delta_j t)$ và cả biểu thức tìm được cũng rất nhỏ có thể bỏ qua. Như vậy, giá trị của tích phân $F(\delta_j)$ chỉ tính đến khoảng đầu của hàm. Điều này cho phép sử dụng các điểm nút nội suy để hiệu chỉnh lời giải: Việc tăng độ chính xác của lời giải trong miền thời

gian tại các giá trị nhỏ của t có thể đạt được bằng việc tăng giá trị của các điểm nút nội suy. Ngược lại để tăng độ chính xác trong miền thời gian tại các giá trị t lớn cần phải giảm giá trị của các điểm nút nội suy δ_i . Như vậy, tồn tại mối quan hệ giữa hàm gốc tại các giá trị nhỏ/lớn của t và hàm ảnh tại các giá trị lớn/nhỏ của δ . Mối quan hệ này phản ánh tính chất quan trọng của phương pháp nội suy thực, nó được gọi là tính chất chéo nhau và phù hợp với phép biến đổi thực. Điều này cho phép nhận được lời giải gần đúng khi tổng hợp các hệ thống điều khiển tự động, bằng cách thay đổi các điểm nút nội suy để hiệu chỉnh và phân bố lại sai số tổng hợp trong miền thời gian. Rõ ràng là không thể thay đổi riêng rẽ mỗi điểm nút sau đó đánh giá sự thay đổi của sai số. Vì vậy cần chọn các quy luật phân bố điểm nút nào đó đã biết và thay đổi đồng thời các điểm nút theo bước nhảy $\Delta\delta = \delta_j - \delta_{j-1}$, $j = 1, 2, \dots$. Nó được coi là một biến công cụ, cho phép hiệu chỉnh sai số để đạt được lời giải tốt nhất theo tiêu chuẩn đánh giá đã chọn.

2.2. Cơ sở ước lượng hàm truyền đạt mô tả các đối tượng có tham số phân bố bằng phương pháp nội suy thực

Vấn đề đặt ra là cần tìm một biểu thức dạng phân thức hữu tỷ:

$$W_e(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + 1}, \quad (2.8)$$

đại diện cho đối tượng điều khiển ổn định, tuyến tính bất biến theo thời gian, có các tham số cấu trúc m, n và các hệ số a_i, b_j ($i = \overline{1, n}; j = \overline{0, m}$), xấp xỉ với hàm truyền đạt gốc (1.10) hoặc (1.11):

$$W_e(s) \cong W_{dt}(s), \quad (2.9)$$

với sai số (Δ) nào đó, được xác định theo tiêu chuẩn cho trước. Biểu thức (2.9) là dạng mô tả chính xác đối với việc xấp xỉ hàm theo một phương pháp bất kỳ.

Để xác định $W_e(s)$ theo RIM, trước tiên (2.9) được chuyển về dạng thực:

$$W_e(\delta) \cong W_{dt}(\delta). \quad (2.10)$$

Việc chuyển đổi này là công đoạn quan trọng của bài toán xấp xỉ hóa. Với các đối tượng ổn định, việc chuyển này được thực hiện bằng cách thay thế hình thức biến phức s bằng biến thực δ , còn với các đối tượng không ổn định, việc này được thực hiện kèm theo điều kiện $\delta > 0$.

Tiếp theo, xác định đặc trưng số của các hàm thực $W_e(\delta), W_{dt}(\delta)$, thiết lập và giải hệ phương trình có chứa các hệ số cần tìm $a_i, b_j (i = \overline{1, n}; j = \overline{0, m})$ [70,71]:

$$\{W_e(\delta_i)\}_{\eta} = \{W_{dt}(\delta_i)\}_{\eta}, \delta_i, i = \overline{1, \eta}. \quad (2.11)$$

Để thiết lập hệ (2.11) cần giải quyết ba vấn đề:

- Thứ nhất, xác định số các điểm nút nội suy η của đặc trưng số. Giá trị η bằng số các hệ số cần tìm của hàm $W_e(\delta)$: $\eta = m + n + 1$. Ngoài ra, có thể dùng các thông tin tiên nghiệm đầy đủ hơn về hàm $W_{dt}(s)$ để nhận được các đặc trưng số nhiều hơn số hệ số cần tìm: $\eta > m + n + 1$. Điều này cho phép đạt được độ chính xác xấp xỉ lớn nhất có thể. Khả năng như vậy rất quan trọng vì sai số ước lượng các hàm truyền đạt phức tạp (1.10), (1.11) bằng phân thức hữu tỷ thường khá cao.

- Thứ hai, xác định khoảng nội suy $[\delta_1, \delta_{\eta}]$. Việc này được thực hiện dựa trên tính chất chéo nhau của phép biến đổi tích phân thực. Từ việc phân tích đồ thị phụ thuộc của hàm truyền đạt thực $W_{dt}(\delta)$ (Hình 2.1) cho thấy giá trị hàm chỉ biến đổi nhiều trong khoảng biến thực gần 0, điều này mới có nghĩa khi thực hiện phép nội suy xác định các tham số của hàm truyền xấp xỉ $W_e(s)$, còn ở dải biến thực lớn giá trị hàm thực $W_{dt}(\delta)$ hầu như không thay đổi và

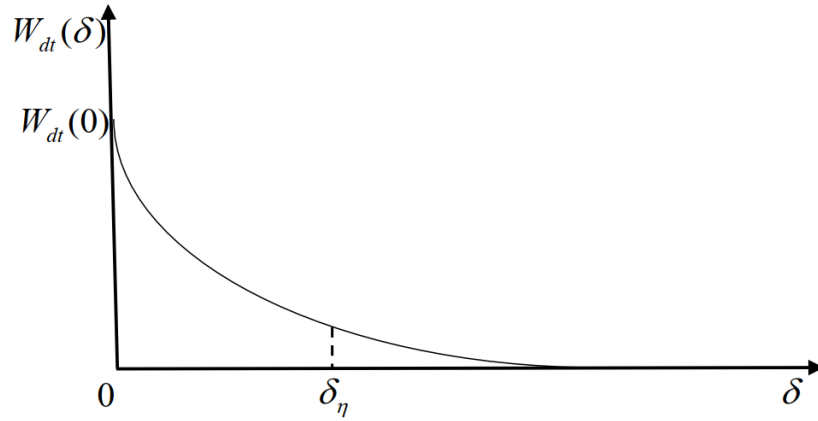
bằng 0. Như vậy khoảng nội suy $[\delta_1, \delta_\eta]$ được chọn mà ở đó có sự biến thiên mạnh nhất giá trị của hàm $W_{dt}(\delta)$. Thông thường, với các đối tượng ổn định, cận dưới δ_1 được chọn bằng không, còn trường hợp chung cận dưới của khoảng phân bố điểm nút được chọn lớn hơn không [69], còn cận trên δ_η được tìm từ điều kiện:

$$\begin{cases} W_{dt}(\delta_\eta) = (0.1 \div 0.2)W_{dt}(0) \\ W_{dt}(\delta_\eta) = (0.1 \div 0.2)[W_{dt}(0) - W_{dt}(\infty)] + W_{dt}(\infty) \end{cases} \quad (2.12)$$

Giá trị $W_{dt}(0)$ chứa các thông tin về tính chất tĩnh của đối tượng, khi này hệ số b_0 có thể tìm được từ phương trình tĩnh, hoặc dựa trên đặc trưng biên độ tần số $A(\omega) = |W_{dt}(j\omega)|$ [69]:

$$b_0 = W_{dt}(0); b_0 = 10^{\frac{20 \cdot \lg(A(\omega)) + 20 \cdot \lg \omega}{20}} \quad (2.13)$$

Việc giảm các hệ số cần tìm sẽ giảm đáng kể dung lượng tính toán.



Hình 2. 1. Sự biến thiên của hàm truyền đạt thực $W_{dt}(\delta)$

- Thứ ba, xác định quy luật phân bố các điểm nút nội suy $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$. Việc xác định bước nội suy $\Delta\delta$ xuất phát từ luật phân bố điểm nút nội suy được chọn. Với phân bố đều, bước nội suy $\Delta\delta$ và giá trị các điểm nút $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ được xác định theo công thức:

$$\Delta\delta = \frac{\delta_\eta}{\eta}; \delta_i = i \frac{\delta_\eta}{\eta}, i = \overline{1, \eta-1}, \quad (2.14)$$

Việc chọn quy luật phân bố các điểm nút nội suy không có lời giải duy nhất. Các luật phân bố không đều cho phép tăng độ chính xác ước lượng nhưng khó thiết lập chúng.

2.3. Đánh giá sai số ước lượng

Một vấn đề cần xem xét đối với mô hình xấp xỉ nhận được là thiết lập tiêu chuẩn xác định sai số ước lượng. Việc đánh giá này có thể được thực hiện theo những cách cơ bản dưới đây:

2.3.1. Đánh giá sai số trong miền thời gian

Nói chung việc thiết lập tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác theo các đặc trưng trong miền thời gian được ưu tiên hơn cả, do chúng có tính trực quan cao và cho phép ước lượng các chỉ tiêu chất lượng. Để xác định sai số, chúng ta thiết lập hàm biểu diễn sai lệch:

$$\Delta h(t) = h_{dt}(t) - h_e(t), t \in (0, \infty), \quad (2.15)$$

giữa các đặc trưng quá độ của mô hình gốc $h_{dt}(t) = L^{-1} \left[\frac{W_{dt}(s)}{s} \right]$ và mô hình

xấp xỉ $h_e(t) = L^{-1} \left[\frac{W_e(s)}{s} \right]$, nhận được tương ứng với một tham số cấu trúc

m, n và bộ điểm nút $\{\delta_i\}_\eta$ nhất định. Hàm $\Delta h(t)$ cho phép chuyển đến ước lượng sai lệch bằng số. Việc chuyển đổi này có thể được thực hiện theo các tiêu chuẩn khác nhau, chẳng hạn như tiêu chuẩn bình phương. Ở đây, sử dụng đại lượng sai lệch tuyệt đối cực đại.

$$\Delta h = \max_t |h_{dt}(t) - h_e(t)| \leq \Delta h_{CF}, \quad (2.16)$$

với Δh_{CF} - sai số cho phép. Tiêu chuẩn (2.16) có ưu điểm dễ thực hiện khi sử dụng công cụ máy tính, được dùng ngoài việc đánh giá sai số của mô hình xấp

xi ứng với một tham số cấu trúc (m, n) và bộ điểm nút $\{\delta_i\}_\eta$ nhất định, còn được phát triển để tìm mô hình ước lượng tối ưu, theo các bộ tham số (m, n) và $\{\delta_i\}_\eta$ khác nhau [69,72]:

$$\Delta h = \max_{t; (m, n); \{\delta_i\}_\eta} |h_{dt}(t) - h_e(t)| \rightarrow \min. \quad (2.17)$$

Khi thực hiện đánh giá sai số ước lượng theo (2.17) trên cơ sở phương pháp nội suy thực, việc giảm sai số Δh có thể được thực hiện theo hai cách: phương án thứ nhất thực hiện hiệu chỉnh bằng cách dịch chuyển các điểm nút nội suy $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ dựa trên tính chất chéo nhau của biến đổi tích phân thực, còn phương án thứ hai thực hiện ước lượng với các tham số cấu trúc (m, n) khác nhau của mô hình xấp xỉ $W_e(s)$.

Tuy nhiên, việc xác định sai số ước lượng theo tiêu chuẩn (2.16) hoặc (2.17) với các đối tượng có tham số phân bố có khó khăn không khắc phục được, do không tồn tại biến đổi Laplace ngược của hàm truyền đạt gốc $W_{dt}(s)$ có chứa các thành phần quán tính và siêu việt [16]. Một cách giải quyết vấn đề này là khai triển hàm gốc $W_{dt}(s)$ thành tổng của một số biểu thức mà không làm thay đổi bản chất của hàm gốc. Tuy nhiên, nó chỉ thực hiện được trong những trường hợp riêng và có thể không đáp ứng được sai số yêu cầu.

2.3.2. Đánh giá sai số trong miền ảnh

Phương pháp tần số được sử dụng rộng rãi để đánh giá sai số khi xấp xỉ hàm do tính trực quan của các kết quả. Theo phương pháp này, trước tiên hàm $W_{dt}(s)$ được chuyển thành $W_{dt}(j\omega)$, sau đó các phần thực $P(\omega) = \text{Re}[W_{dt}(j\omega)]$ và ảo $Q(\omega) = \text{Im}[W_{dt}(j\omega)]$ có đối số thực ω được tách riêng. Tuy nhiên, việc này không đơn giản với đối tượng có tham số phân bố và thường không thể nhận được lời giải chính xác. Ngoài ra, việc tính toán độ

tiệm cận của các đặc trưng tần số, chẳng hạn $L_{dt}(\omega)$ và $L_e(\omega)$ gặp khó khăn vì hàm $L_{dt}(\omega)$ tồn tại cực trị tại các tần số nhất định [72].

Cách khả thi giải quyết vấn đề trên là ứng dụng phương pháp nội suy thực. Phương pháp này liên quan đến các hàm ảnh thực $W_{dt}(\delta)$ và $W_e(\delta)$. Thuật toán xấp xỉ hàm truyền đạt $W_{dt}(s)$ bằng phân thức hữu tỷ $W_e(s)$ dựa trên RIM đòi hỏi phải chuyển các ảnh phức $W_{dt}(s), W_e(s)$ thành thực $W_{dt}(\delta), W_e(\delta)$. Từ đây có thể thiết lập tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác xấp xỉ giữa $W_{dt}(s)$ và $W_e(s)$ thông qua các mô hình $W_{dt}(\delta)$ và $W_e(\delta)$ trong miền thực δ :

$$\Delta W(\delta) = W_{dt}(\delta) - W_e(\delta), \delta \in [C, \infty), C \geq 0. \quad (2.18)$$

Việc xác định sai số xấp xỉ theo (2.18) có những ưu điểm như khả năng biểu diễn ở dạng đồ thị, trực quan và tính toán đơn giản. Ngoài ra, các hệ số của hàm xấp xỉ $W_e(\delta)$ tìm được theo phương pháp nội suy có đặc điểm: $W_{dt}(\delta) = W_e(\delta); \delta_i, i = \overline{1, \eta}$. Vì vậy giá trị của hàm $\Delta W(\delta)$ tại các điểm nút sẽ bằng không $\Delta W(\delta_i) = 0; \delta_i, i = \overline{1, \eta}$. Điều này đưa đến khả năng tìm kiếm mô hình ước lượng tối ưu bằng cách phân bố lại giá trị sai số trên từng khoảng nội suy $[\delta_i, \delta_{i+1}], i = \overline{1, \eta - 1}$, chẳng hạn sử dụng các đa thức Chebyshev [73].

Một ứng dụng khác của tiêu chuẩn (2.18) nằm ở khả năng thiết lập chỉ tiêu số đánh giá mức độ tiệm cận của hàm gốc $W_{dt}(s)$ và hàm xấp xỉ $W_e(s)$. Điều này cho phép thực hiện phép lặp theo các tham số cấu trúc của mô hình xấp xỉ m, n và các điểm nút nội suy $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ khi cần thiết để tăng độ chính xác xấp xỉ đến mô hình ước lượng tối ưu. Thuận tiện hơn cả, chúng ta thiết lập tiêu chuẩn đánh giá sai số ước lượng bằng biểu thức:

$$\Delta W = \max_{\delta; (m, n); \{\delta_i\}_\eta} |\Delta W(\delta)| = \max_{\delta; (m, n); \{\delta_i\}_\eta} |W_{dt}(\delta) - W_e(\delta)|, \delta \in [C, \infty), C \geq 0. \quad (2.19)$$

Công thức (2.19) thể hiện sự ưu việt khi thực hiện hiệu chỉnh sai số xấp xỉ với phân bố đều của các điểm nút nội suy bởi việc thay đổi giá trị của một điểm nút sẽ làm thay đổi các điểm nút còn lại. Khả năng này sẽ được xem xét chi tiết trong bài toán xấp xỉ hóa hàm truyền đạt mô tả bằng tải đàn hồi (1.10), (1.11). Chúng ta thiết lập hai phương án sử dụng ước lượng (2.19). Phương án thứ nhất dựa trên đại lượng sai số cho phép đã biết ΔW_{CF} . Khi đó, bài toán xấp xỉ được giải quyết nếu thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta W \leq \Delta W_{CF}. \quad (2.20)$$

Phương án thứ hai tìm kiếm hàm $W_e(\delta)$ tiệm cận nhất với $W_{dt}(\delta)$, tức có độ chính xác xấp xỉ tối ưu. Việc này có thể đạt được nếu điều kiện sau, hình thành trên cơ sở của ước lượng (2.19) được thực hiện:

$$\Delta W = \max_{\delta; (m,n); \{\delta_i\}_\eta} |\Delta W(\delta)| = \max_{\delta; (m,n); \{\delta_i\}_\eta} |W_{dt}(\delta) - W_e(\delta)| \rightarrow \min. \quad (2.21)$$

Một số kết luận rút ra từ việc so sánh các đánh giá (2.17) và (2.19) như sau:

- Giá trị cực đại của sai lệch trong miền thời gian (2.17) mang thông tin quan trọng và trực quan, nhưng nó đòi hỏi dung lượng tính toán lớn, và với đối tượng có tham số phân bố, việc tính toán này là không cho phép vì chẳng hạn đối với các hệ thống tự điều chỉnh, chúng làm việc trong thời gian thực;

- Đánh giá sai lệch trong miền ảnh thực (2.19) có những tính chất ưu việt do nó được tính toán đơn giản mà lại thể hiện được sự tiệm cận tương đối trong miền thời gian. Từ đây làm xuất hiện bài toán: với mục đích bảo lưu các ưu điểm trong tính toán của đánh giá (2.19), cần xây dựng cách đánh giá sai số trong miền thời gian $\Delta h(t)$ và Δh theo các sai lệch $\Delta W(\delta)$ và ΔW trong miền ảnh thực.

2.4. Nâng cao độ chính xác ước lượng bằng phương pháp lặp

Từ việc đánh giá sai số xấp xỉ trong miền ảnh thực theo (2.18) cho phép

nhận được mô hình xấp xỉ $W_e^*(s)$ có sai số nhỏ nhất bằng phương pháp lặp theo các tham số cấu trúc m, n và điểm nút nội suy $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ khác nhau [69]. Ước lượng (2.18) biểu diễn sai lệch $\Delta W(\delta)$ trên toàn miền biến thực $\delta \in [C \geq 0, \infty)$, cho phép xác định tất cả các cực trị có thể có và dấu của chúng. Để nhận được các dữ liệu này cần thực hiện một khối lượng tính toán nhất định mà điều này không cho phép các hệ thống làm việc trong thời gian thực. Ước lượng (2.19) xác định giá trị các sai lệch cực đại ΔW . Việc này cũng cần tính toán nhưng việc sử dụng nó sau đó không đòi hỏi phải bảo lưu toàn bộ các thông tin ban đầu trong đó có thông tin về giá trị của đối số mà tại đó hàm $\Delta W(\delta)$ đạt cực đại. Vì vậy ước lượng ΔW được chọn làm tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác xấp xỉ hóa.

Việc giảm sai số xấp xỉ ΔW bằng phương pháp lặp được thực hiện lần lượt theo các điểm nút nội suy và tham số cấu trúc khác nhau. Trước hết, chúng ta cố định giá trị của tham số cấu trúc và coi hàm ước lượng nhận được với bộ điểm nút nào đó là lần lặp thứ nhất được ký hiệu bởi chỉ số «1»:

$$(m, n)^{(1)}, \{\delta_i\}_{\eta}^{(1)}, W_e^{(1)}(\delta), \Delta W^{(1)}(\delta), \Delta W^{(1)}$$

$$\Delta W^{(1)} = \max_{\delta; (m, n)^{(1)}; \{\delta_i\}_{\eta}^{(1)}} |\Delta W^{(1)}(\delta)| = \max_{\delta; (m, n)^{(1)}; \{\delta_i\}_{\eta}^{(1)}} |W_{dt}(\delta) - W_e^{(1)}(\delta)|, \delta \in [C, \infty), C \geq 0. \quad (2.22)$$

Ở bước lặp thứ hai, chúng ta thực hiện tính toán các đại lượng tương ứng: $W_e^{(2)}(\delta), \Delta W^{(2)}(\delta), \Delta W^{(2)}$, như ở lần lặp thứ nhất với các điểm nút nội suy mới $\delta_i^{(2)}, i = \overline{1, \eta}$ nhằm giảm sai số ΔW dựa trên tính chất chéo nhau của phép biến đổi tích phân thực [68, 69]. Việc chọn các điểm nút nội suy mới $\delta_i^{(2)}, i = \overline{1, \eta}$ tồn tại sự bất định ngay cả với phân bố đều. Điểm nút đầu tiên được xác định theo công thức $\delta_1^{(2)} = \delta_{\eta}^{(2)} / \eta$ trong khi chưa biết giá trị của cận trên $\delta_{\eta}^{(2)}$. Để giải quyết vấn đề này, chúng ta sẽ thử nghiệm theo chiều tăng

hoặc giảm $\delta_\eta^{(1)}$ để tìm $\delta_\eta^{(2)}$:

$$\delta_\eta^{(2)} = \delta_\eta^{(1)} + \Delta\delta; \delta_\eta^{(2)} = \delta_\eta^{(1)} - \Delta\delta. \quad (2.23)$$

Ở đây, bước lặp $\Delta\delta$ có thể được lựa chọn ngẫu nhiên hay theo một quy tắc nào đó. Chẳng hạn, nếu thiết lập nó bằng 10% đại lượng $\delta_\eta^{(1)}$ ($\Delta\delta = 0.1\delta_\eta^{(1)}$) thì biểu thức tính toán có dạng:

$$\delta_\eta^{(2)} = \delta_\eta^{(1)} + 0.1\delta_\eta^{(1)}; \delta_\eta^{(2)} = \delta_\eta^{(1)} - 0.1\delta_\eta^{(1)}. \quad (2.24)$$

Việc thiết lập bước lặp $\Delta\delta$ chỉ là bước thử nghiệm trung gian. Điều quan tâm là sai số ΔW tăng hay giảm bao nhiêu. Dựa trên điểm nút $\delta_\eta^{(2)}$ tìm được theo (2.24), chúng ta xác định các điểm nút còn lại:

$$\delta_i^{(2)} = i \frac{\delta_\eta^{(2)}}{\eta}, i = 1, \eta - 1. \quad (2.25)$$

Từ các điểm nút tìm được theo (2.25), chúng ta tính được các hệ số a_i, b_j của hàm truyền xấp xỉ $W_e^{(2)}(\delta)$ ở lần lặp thứ hai và sai số ước lượng:

$$\Delta W^{(2)} = \max_{\delta; (m,n)^{(1)}, \{\delta_i\}_\eta^{(2)}} |\Delta W^{(2)}(\delta)| = \max_{\delta; (m,n)^{(1)}, \{\delta_i\}_\eta^{(2)}} |W_{dt}(\delta) - W_e^{(2)}(\delta)|, \delta \in [C, \infty), C \geq 0. \quad (2.26)$$

Dựa trên các sai số $\Delta W^{(1)}$ và $\Delta W^{(2)}$ nhận được trong hai lần lặp trên, chúng ta xác định chỉ tiêu đánh giá dạng $\Delta W_1 = \Delta W^{(1)} - \Delta W^{(2)}$. Các bước tiếp theo được thực hiện theo thuật toán được biểu diễn ở dạng [74]:

$$\delta_\eta^{(n)} = \delta_\eta^{(n-1)} - F[\rho(n), \delta_\eta^{(n-1)}], n = 2, 3, \dots, \quad (2.27)$$

có chứa số lần lặp n và hàm trọng lượng $\rho(n)$, được hình thành theo cách này phải đảm bảo giảm sai lệch $\Delta W^{(n)}$ theo sự tăng của số lần lặp n . Đơn giản, chọn $\rho(n) = 1/n$. Khi này, công thức (2.27) được biểu diễn ở dạng tường minh:

$$\delta_\eta^{(n)} = \delta_\eta^{(n-1)} \pm \frac{1}{n} \delta_\eta^{(n-1)}; n = 2, 3, \dots \quad (2.28)$$

trong đó đại lượng ΔW_{n-1} được tính theo công thức: $\Delta W_{n-1} = \Delta W^{(n-1)} - \Delta W^{(n)}$; $n = 2, 3, \dots$ còn bước lặp $\Delta \delta^{(n)}$ ở lần lặp thứ n được xác định ở dạng tổng quát sau:

$$\Delta \delta^{(n)} = \frac{1}{n} \delta_{\eta}^{(n-1)}; n = 2, 3, \dots$$

Để đơn giản, số gia $\Delta \delta$ được lấy không đổi $\Delta \delta^{(i)} = \text{const}$; $i = 2, 3, \dots$. Bản chất của phương pháp lặp đến lời giải cần tìm dựa trên thuật toán (2.28) là xác định các cực trị có thể có của ước lượng ΔW trong miền thực và lời giải tối ưu được xác định tương ứng với giá trị cực tiểu của đại lượng này.

Để xác định các cực trị của ước lượng ΔW theo đối số δ_{η} , giả sử rằng các giá trị $\Delta W_{i-1}, \Delta W_i$ nhận được ở các lần lặp thứ $i-1, i, i+1$ tương ứng có dấu xen kẽ chẳng hạn, ΔW_{i-1} mang dấu âm, còn ΔW_i là dương ... thì cực trị của ước lượng ΔW đạt được tại $\delta_{\eta}^{(i)}$. Việc thực hiện thuật toán (2.28) đối với tất cả các điểm nút nội suy $\delta_{\eta} \in (0, \infty)$ cần lượng tính toán lớn. Thực tế thuật toán lặp (2.28) sẽ kết thúc khi sai lệch $|\Delta W_{n-1}|$; $n = k, k+1, \dots$, nhỏ hơn một giá trị vô cùng bé ε và dấu của chúng không thay đổi, thỏa mãn điều kiện:

$$\begin{cases} |\Delta W_{n-1}| = |\Delta W^{(n-1)} - \Delta W^{(n)}| \leq \varepsilon; n = k, k+1, \dots \\ \Delta W_{n-1} \geq 0 (\Delta W_{n-1} \leq 0), \forall n = k, k+1, \dots \end{cases}$$

Việc thực hiện thuật toán lặp (2.24) sẽ được thực hiện với các bộ tham số cấu trúc khác nhau của hàm xấp xỉ: $(m, n)^{(2)}, (m, n)^{(3)}, \dots$. Thông thường m, n sẽ có giá trị nhỏ do sự phức tạp của bài toán tổng hợp tiếp theo: $m \leq 3, n \leq 3$.

2.5. Nâng cao độ chính xác xấp xỉ dựa trên sự phân bố không đều các điểm nút nội suy

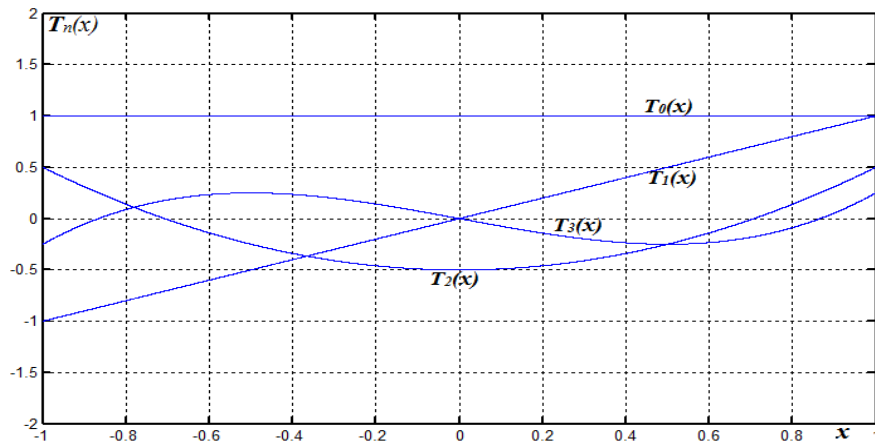
Phương pháp nội suy thực xấp xỉ hàm truyền đạt dựa trên sự phân bố đều các điểm nút nội suy đã khảo sát ở trên cho phép nhận được mô hình ước lượng thỏa mãn yêu cầu. Tuy nhiên, hàm sai lệch (2.18) tồn tại các cực trị

khác nhau. Điều này đưa đến khả năng sử dụng phân bố không đều các điểm nút sẽ thay đổi sai số trên từng khoảng nội suy $[\delta_i, \delta_{i+1}]$, từ đó tăng độ chính xác ước lượng. Khi cấu trúc của hàm xấp xỉ không đổi ($m, n = \text{const}$), phương pháp tham số là cách duy nhất để giảm sai lệch. Dưới đây, chúng ta sẽ xem xét các phương án khả thi thay đổi giá trị các điểm nút nội suy và luật phân bố của chúng nhằm giảm sai số ước lượng:

2.5.1. Sử dụng điểm nút nội suy trùng với các điểm không của đa thức Chebyshev loại 1

Như đã biết, việc chuyển từ dạng ban đầu $W_{dt}(s)$ thành dạng rời rạc $W_{dt}(\delta_i), i=1,2,\dots$ và phân thức hữu tỷ $W_e(\delta)$ chỉ là gần đúng. Sai lệch của các đặc trưng số $W_{dt}(\delta_i), i=1,2,\dots$ và các mô tả dạng phân thức hữu tỷ $W_e(\delta_i), W_{dt}(\delta_i)$ phụ thuộc nhiều vào việc chọn quy luật phân bố và số điểm nút η . Vì vậy, việc thiết lập giá trị các điểm nút tại điểm không của đa thức Chebyshev loại một $T_n(x)$, có tính chất lệch không nhỏ nhất là cách triển vọng cho phép tăng độ chính xác xấp xỉ (hình 2.2). Chúng được xác định bởi hệ thức [73]:

$$T_0(x)=1, T_1(x)=x, T_2(x)=x^2-\frac{1}{2}, \dots, T_{n+1}(x)=xT_n(x)-\frac{1}{4}T_{n-1}(x), x \in [-1,1], \quad (2.29)$$



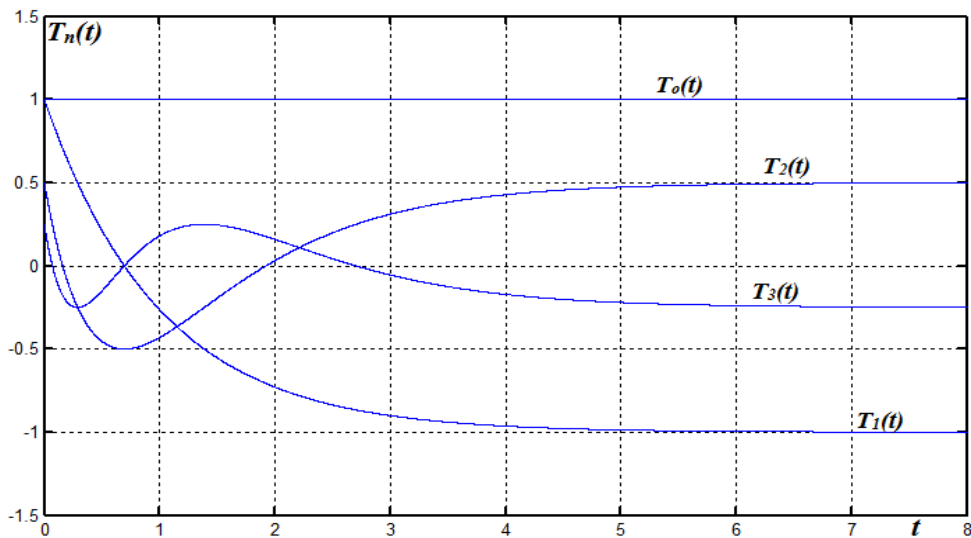
Hình 2. 2. Dạng đồ thị của các đa thức Chebyshev đầu tiên $T_n(x)$

có khoảng xác định: $x \in [-1, 1]$, còn các hàm thực $W_{dt}(\delta), W_e(\delta), \dots$ xác định trong khoảng: $\delta \in [0, \infty)$. Vì vậy, trước tiên cần dung hòa khoảng xác định của các hàm được xem xét. Một phương án đơn giản được dùng mà không làm thay đổi các hàm thực là thực hiện thay thế:

$$x = 2e^{-at} - 1 \quad (2.30)$$

trong đó, a – tham số thực. Khi này, các đa thức $T_n(x)$ trở thành:

$$T_0(t) = 1, T_1(t) = -1 + 2e^{-at}, T_2(t) = \frac{1}{2} - 4e^{-at} + 4e^{-2at}, \dots$$



Hình 2.3. Đồ thị của một số đa thức Chebyshev $T_n(t)$ đầu tiên khi $a = 1$

Tiếp theo, thực hiện phối hợp các đa thức $T_n(t)$ và hàm truyền đạt thực $W_{dt}(\delta)$. Các đa thức $T_n(t)$ được cho trong miền thời gian (hình 2.3), còn các hàm truyền lại cho trong miền ảnh δ . Trong khi đó, chúng ta chỉ quan tâm đến các điểm nút nội suy $\delta_i, i = 1, 2, \dots, \eta$, vì vậy đa thức $T_\eta(t)$ sẽ được chọn theo số điểm nút η và tìm các điểm không của nó. Các điểm nút nội suy theo điểm không của đa thức $T_\eta(t)$ có thể được xác định trong miền thời gian hay miền ảnh. Ở đây sử dụng phương án tìm ảnh thực của hệ thức (2.30) :

$$\frac{x}{\delta} = \frac{2}{\delta + a} - \frac{1}{\delta}. \quad (2.31)$$

Khi này, các điểm nút được xác định bởi biểu thức:

$$\delta_i = \frac{1+x_i}{1-x_i} a, i = \overline{1, \eta}, \quad (2.32)$$

với a - tham số thực nào đó được dùng để hiệu chỉnh sai số ước lượng, còn $\{x_i\}_\eta$ là các điểm không của đa thức Chebyshev loại một bậc η ($T_\eta(x) = 0$), còn các hàm thực $T_n(\delta)$ sẽ có dạng.

$$T_0(\delta) = \frac{1}{\delta}, T_1(\delta) = \frac{-1}{\delta} + \frac{2}{\delta + a}, T_2(\delta) = \frac{1}{2\delta} - \frac{4}{\delta + a} + \frac{4}{\delta + 2a}, \dots \quad (2.33)$$

Việc tìm điểm nút theo (2.32) đảm bảo dung lượng tính toán cần thiết nhỏ nhất để xác định mô hình xấp xỉ. Ngoài ra, tham số a thiết lập sự không xác định trong việc ứng dụng các công thức (2.30) và (2.32), nó được xem như nhân tử tỷ lệ đối với các điểm nút $\delta_i, i = 1, 2, \dots, \eta$. Một cách tổng quát, tham số này còn được coi là nhân tử đối với các hàm theo thời gian. Sự phụ thuộc này cho phép xác định giá trị của đại lượng a , sau khi đối chiếu thời gian thiết lập của đối tượng và tham số theo thời gian tương ứng của đa thức $T_\eta(t)$.

Khi các đặc trưng theo thời gian của đối tượng là chưa biết hoặc khó xác định thì tham số a có thể chọn từ điều kiện: các điểm nút bao trùm toàn bộ khoảng giá trị của hàm $W_{dt}(\delta)$. Tuy nhiên đây chỉ là một cách khá tương đối và không đưa ra đáp án duy nhất theo nghĩa xấp xỉ đến lời giải với độ chính xác cao nhất. Khi này, tham số a cho phép giảm sai số ước lượng ΔW thông qua phép lặp đã xem xét trong mục 2.3.

2.5.2. Phương pháp Remez xác định xấp xỉ đều tối ưu

Phương án thiết lập các điểm nút nội suy tại các điểm không của đa thức Chebyshev loại một được xem xét trên đây đã thoát khỏi luật phân bố đều, tạo

ra các điều kiện để tăng độ chính xác giải bài toán xấp xỉ. Ở đây, khoảng cách giữa các điểm nút đã khác nhau nhưng quy luật thay đổi các khoảng cách này không thay đổi được. Vì vậy xuất hiện bài toán sử dụng các điểm nút mà chúng không tuân theo một quy luật nào, trong khi giả thiết rằng độ chính xác giải bài toán tổng hợp có thể tăng lên. Việc tìm công cụ như vậy có thể thực hiện được dựa trên phương pháp tạo bởi Remez.

Ý tưởng này nằm ở việc hiệu chỉnh đồng thời tất cả các điểm nút nội suy $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ nhằm giảm các sai lệch cực đại $\max_{\delta \in [\delta_{i-1}, \delta_i]} |\Delta W(\delta)|$ và $\max_{\delta \in [\delta_j, \delta_{j+1}]} |\Delta W(\delta)|$ có tính đến sự tăng giá trị sai lệch giữa các điểm nút khác, sao cho sai lệch $\Delta W_i = \max_{\delta \in [\delta_{i-1}, \delta_i]} |W_{dt}(\delta) - W_e(\delta)|$ trên các khoảng $\delta \in [\delta_{i-1}, \delta_i], i = \overline{1, \eta+1}$ sẽ bằng nhau. Khi này lời giải nhận được sẽ là tốt nhất. Việc xấp xỉ các hàm truyền đạt thường được thực hiện trong hai bước:

- Bước 1: xác định mô hình xấp xỉ $W_e^1(s)$ chẳng hạn dựa trên sự phân bố đều các điểm nút. Để minh họa cho cách thức này, trên hình 2.4 chỉ ra đồ thị của hàm $\Delta W^1(\delta) = W_{dt}(\delta) - W_e^1(\delta)$, đặc trưng cho kết quả của phép lặp thứ nhất.

- Bước 2: thay đổi định hướng mỗi điểm nút $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ đến giá trị $\{\delta_i^{on}\}_\eta$ mà khi đó sẽ nhận được sự phân bố sai lệch tối ưu $\Delta W^{on}(\delta) = W_{dt}(\delta) - W^{on}(\delta)$ thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta W_1 = \Delta W_2 = \dots = \Delta W_{\eta+1} = \Delta W^{on}. \quad (2.33)$$

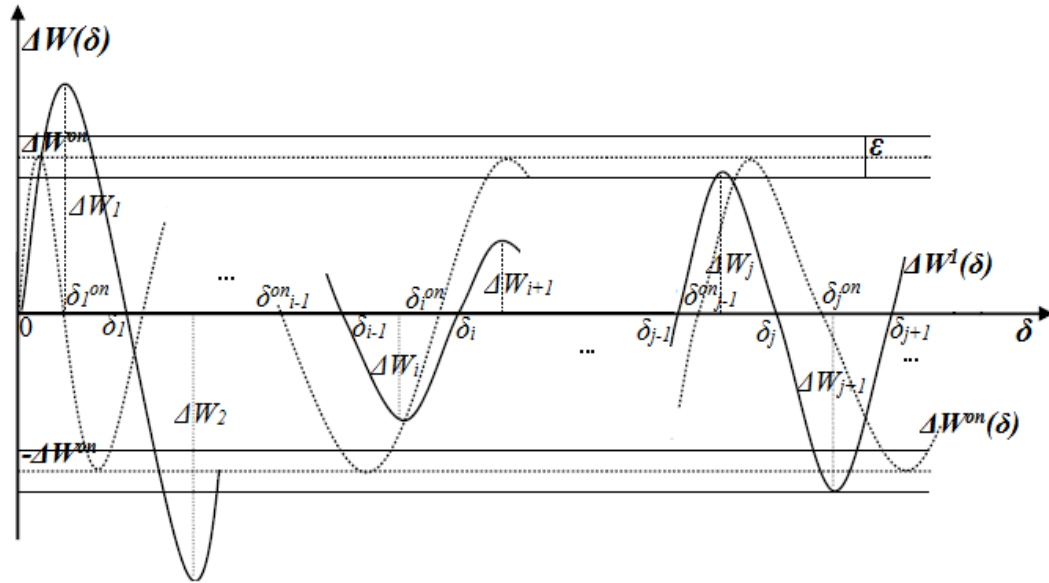
Thực tế đẳng thức (2.33) có thể chỉ là gần đúng, việc thay đổi các điểm nút $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ sẽ được thực hiện cho đến khi nào sai lệch trên các khoảng riêng phần thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta_{ij} \leq \varepsilon, \forall i, j = \overline{1, \eta+1}; i \neq j. \quad (2.34)$$

trong đó:

$$\Delta_{ij} = |\Delta W_i - \Delta W_j| = \left| \max_{\delta \in [\delta_{i-1}, \delta_i]} |W_{dt}(\delta) - W^{on}(\delta)| - \max_{\delta \in [\delta_{j-1}, \delta_j]} |W_{dt}(\delta) - W^{on}(\delta)| \right| - \text{hiệu các}$$

sai lệch; ε - giá trị vô cùng bé cho trước.



Hình 2. 4. Biểu diễn thuật toán Remez xác định xấp xỉ đều tối ưu

Trong các bài toán khảo sát, việc dịch chuyển có định hướng các điểm nút dựa trên sự phân tích đồ thị của sự phụ thuộc $\Delta W_i^j(\delta) = W_{dt,i}^j(\delta) - W_{e,i}^j(\delta)$, ở đây j - số phép lặp, i - số khoảng nội suy. Nguyên lý dịch chuyển khá đơn giản: tại các giá trị sai lệch lớn $\Delta W_i^j; i=1,2,\dots, j=1,2,\dots$, cần phải rút ngắn khoảng cách giữa các điểm nút $[\delta_{i-1}, \delta_i]$. Khi sử dụng các công cụ toán xấp xỉ đến lời giải tối ưu cần thiết lập thuật toán xấp xỉ theo phương pháp Remez và chương trình tương ứng.

2.6. Xây dựng chương trình tự động ước lượng

Như vậy, thủ tục ước lượng hàm truyền đạt (1.10), (1.11) bằng phương pháp nội suy thực sẽ bao gồm các bước sau:

1) Hàm truyền đạt ban đầu của đối tượng $W_{dt}(s)$ được chuyển thành dạng thực $W_{dt}(\delta), \delta \in [C, \infty), C \geq 0$. Với đối tượng ổn định, tham số C có thể

nhận giá trị bằng không ($C=0$). Khi đối tượng không ổn định, giá trị của tham số C được xác định từ điều kiện $C \geq \max \operatorname{Re}(p_k)$, trong đó p_k - các nghiệm của phương trình đặc trưng.

2) Lựa chọn tham số cấu trúc m, n của hàm truyền đạt xấp xỉ $W_e(s)$ và xác định số các hệ số cần tìm $\eta = m + n + 1$. Hệ số b_0 của hàm xấp xỉ $W_e(s)$ có thể được tính trước theo (2.12), cho phép giá trị η giảm đi một đơn vị.

3) Thiết lập các điểm nút nội suy $\delta_i = i\delta_1, i = \overline{2, \eta}$ theo (2.7). Trước hết tính δ_η của khoảng phân bố $[\delta_1, \delta_\eta]$ theo (2.13), sau đó tính $\delta_1 = \delta_\eta / \eta$.

4) Xác định các đặc trưng số $\{W_e(\delta_i)\}_\eta, \{W_{dt}(\delta_i)\}_\eta$ theo các điểm nút $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ và hàm truyền thực $W_e(\delta), W_{dt}(\delta)$ đã biết. Thiết lập và giải hệ phương trình:

$$W_{dt}(\delta_i) = \frac{b_m \delta_i^m + b_{m-1} \delta_i^{m-1} + \dots + b_0}{a_n \delta_i^n + a_{n-1} \delta_i^{n-1} + \dots + a_1 \delta_i + a_0}, i = \overline{1, \eta}. \quad (2.35)$$

tương ứng với các hệ số $a_i, b_j (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m})$ chưa biết của hàm truyền xấp xỉ $W_e(\delta)$.

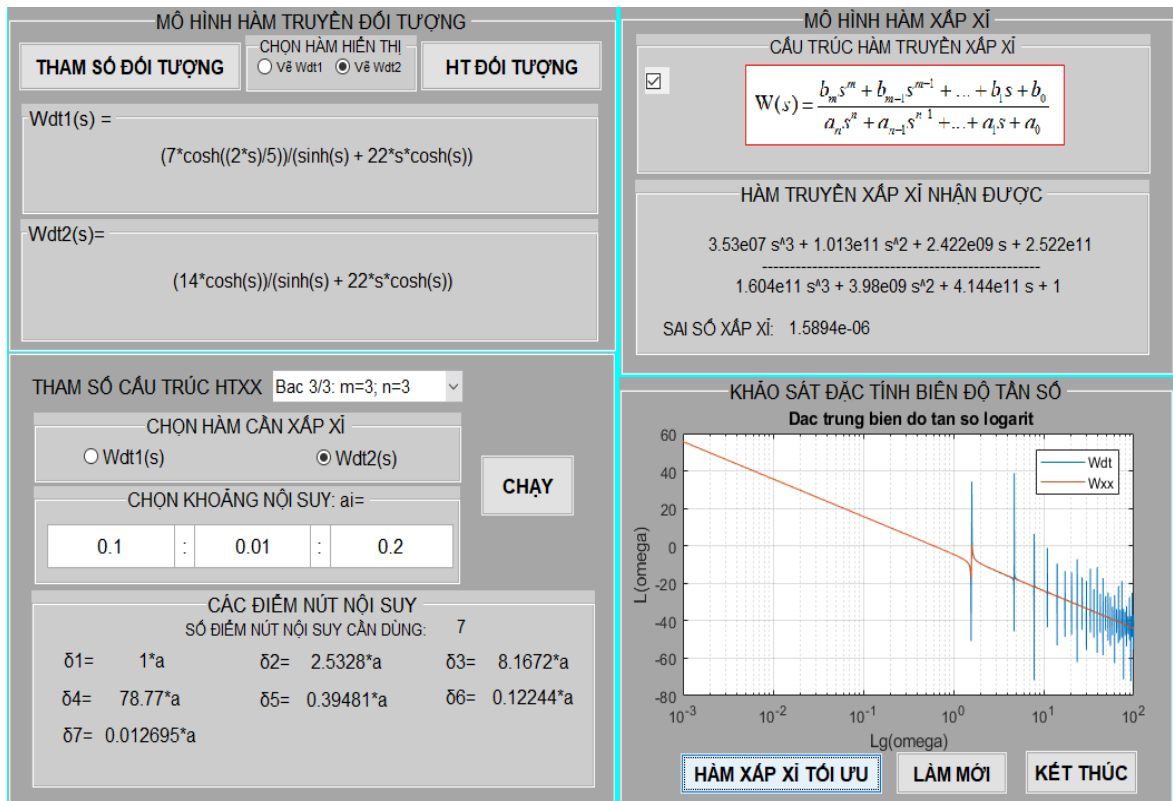
5) Đánh giá độ chính xác xấp xỉ giữa các hàm $W_{dt}(s)$ và $W_e(s)$ hay $W_{dt}(\delta)$ và $W_e(\delta)$ theo tiêu chuẩn (2.19) đã thiết lập.

6) Thực hiện thuật toán lặp (2.28) với các tham số cấu trúc m, n và điểm nút nội suy $\delta_i, i = \overline{1, \eta}$ khác nhau để xác định mô hình xấp xỉ tối ưu.

7) Nâng cao độ chính xác ước lượng sử dụng các điểm nút nội suy trùng với điểm không của đa thức Chebyshev loại 1 theo (2.32) và phương pháp Remez (2.23).

Để kiểm chứng thuật toán, dưới đây chúng ta sẽ xây dựng chương

trình tự động xác định mô hình xấp xỉ dạng (2.12) với các tham số cấu trúc m, n khác nhau của hàm truyền đạt (1.10), (1.11), khảo sát sự phụ thuộc của sai số ước lượng vào m, n và các điểm nút nội suy $\delta_i, i=1, \overline{\eta}$. Toàn bộ chương trình được viết trên Matlab 2017b, có giao diện chính như hình 2.5 bao gồm các chương trình con: “Mô hình hàm truyền đối tượng”; “Tham số cấu trúc hàm truyền xấp xỉ”; “Mô hình hàm xấp xỉ”; “Khảo sát đặc tính biên độ tần số”; “Nhập tham số đối tượng”; “Chọn mô hình ước lượng xấp xỉ tối ưu”.



Hình 2.5. Giao diện chương trình tự động ước lượng hàm truyền đạt bằng phương pháp nội suy thực

Với các tham số cụ thể của bảng tải đàn hồi: $q=7, \lambda=0.4$,

$\mu_1 = \frac{m_1}{m_k} = 11, \mu_2 = \frac{m_2}{m_k} = 0$, các hàm truyền đạt (1.10), (1.11) sẽ có dạng:

$$W_{dt}(s) = \frac{7ch(2s/5)}{sh(s) + 22.s.ch(s)}; W_{dt}^*(s) = \frac{14ch(s)}{sh(s) + 22.s.ch(s)} \quad (2.36)$$

Thực hiện chạy chương trình ước lượng theo các tham số cấu trúc m, n khác nhau của hàm xấp xỉ. Code chương trình ước lượng được liệt kê trong phụ lục I, còn kết quả tính toán được liệt kê trong bảng 2.1, 2.2.

Bảng 2. 1. Các kết quả tính toán hàm truyền đạt xấp xỉ của mô hình (1.10)

Tham số (m, n)	Khoảng nội suy	Mô hình xấp xỉ tối ưu $W_e^{on}(s)$	Sai số ước lượng ΔW
(0,2)	$[10^{-3}, 10^{-2}]$	$\frac{7.503}{1.5s^2 + 24.64s + 10^{-5}}$	0.0712
(1,1)	$[0.01, 0.02]$	$\frac{-0.1786s + 1.874}{6.147s + 10^{-5}}$	$5.99 \cdot 10^{-2}$
(1,2)	$[0.19, 0.2]$	$\frac{-577.7s + 2972}{0.7743s^2 + 9619s + 1}$	24.536
(2,2)	$[0.74, 0.75]$	$\frac{3.45361s^2 - 114.7s + 372.7}{0.6219s^2 + 1164s + 1}$	132.185
(2,3)	$[2 \cdot 10^{-4}, 3 \cdot 10^{-4}]$	$\frac{-0.1156s^2 + 3.651 \cdot 10^{-5}s + 6.847}{8.742s^3 + 1.2 \cdot 10^{-5}s^2 + 22.5s + 10^{-21}}$	$1.37 \cdot 10^{-5}$
(3,3)	$[0.042, 0.043]$	$\frac{-1.76 \cdot 10^{-3}s^3 - 3.39 \cdot 10^{-2}s^2 + 4.27 \cdot 10^{-3}s + 2.08}{2.669s^3 + 1.405 \cdot 10^{-2}s^2 + 6.856s + 10^{-13}}$	$8.89 \cdot 10^{-7}$

Bảng 2. 2. Các kết quả tính toán hàm truyền đạt xấp xỉ của mô hình (1.11)

Tham số (m,n)	Khoảng nội suy	Mô hình xấp xỉ tối ưu $W_e^{on}(s)$	Sai số ước lượng ΔW
(0,1)	$[10^{-3}, 10^{-2}]$	$\frac{2.042}{3.355s + 10^{-7}}$	$6.33 \cdot 10^{-3}$
(1,1)	$[0.44, 0.45]$	$\frac{6.514 \cdot 10^{-3}s + 1.039}{1.707s + 10^{-8}}$	0.10977
(2,2)	$[0.02, 0.03]$	$\frac{3.077 \cdot 10^{-2}s^2 + 0.8065s + 2.04}{1.325s^2 + 3.352s + 10^{-10}}$	$2.05 \cdot 10^{-4}$
(2,3)	$[0.01, 0.02]$	$\frac{5.146s^2 + 3.083 \cdot 10^{-3}s + 12.92}{8.14s^3 + 5.06 \cdot 10^{-3}s^2 + 21.2s + 10^{-14}}$	$1.23 \cdot 10^{-6}$
(3,3)	$[0.1, 0.2]$	$\frac{3.53 \cdot 10^{-4}s^3 + 1.01s^2 + 2.42 \cdot 10^{-2}s + 2.52}{1.604s^3 + 3.98 \cdot 10^{-2}s^2 + 4.144s + 10^{-11}}$	$1.59 \cdot 10^{-6}$

Như vậy, mô hình ước lượng tốt nhất khi xấp xỉ hàm (1.10) nhận được với các tham số cấu trúc m=3, n=3 có sai số $8.89 \cdot 10^{-7}$:

$$W_e^1(s) = \frac{-1.76 \cdot 10^{-3}s^3 - 3.39 \cdot 10^{-2}s^2 + 4.27 \cdot 10^{-3}s + 2.08}{2.669s^3 + 1.405 \cdot 10^{-2}s^2 + 6.856s + 10^{-13}}$$

Còn đối với hàm (1.11), mô hình ước lượng tốt nhất nhận được với các tham số cấu trúc m=2, n=3 sẽ có sai số xấp xỉ $1.23 \cdot 10^{-6}$:

$$W_e^2(s) = \frac{5.146s^2 + 3.083 \cdot 10^{-3}s + 12.92}{8.14s^3 + 5.06 \cdot 10^{-3}s^2 + 21.2s + 10^{-14}}$$

2.7. Kết luận chương 2

Trong chương 2, nghiên cứu sinh đã đề xuất và khảo sát các công đoạn ước lượng hàm truyền đạt phức tạp có chứa các thành phần quán tính và siêu

viết dựa trên cơ sở của phương pháp nội suy thực. Thuật toán và chương trình theo RIM đã được xây dựng để xấp xỉ hàm truyền đạt mô tả băng tải đàn hồi (1.10), (1.11) trong các hệ truyền động điện tự động nhiều động cơ bằng hàm truyền đạt dạng phân thức hữu tỉ. Bên cạnh việc đưa ra dạng hàm cụ thể, chương trình còn tính sai số ước lượng với các hàm truyền đạt xấp xỉ khác nhau, từ đó cho phép xác định cấu trúc và tham số của mô hình ước lượng có sai số nhỏ nhất.

Chương 3

CƠ SỞ TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY THỰC

Sự phức tạp của hàm truyền đạt mô tả các đối tượng có tham số phân bố nói chung (1.1) hay băng tải đàn hồi nói riêng (1.10), (1.11) làm cho việc tổng hợp hệ thống điều khiển chúng trở lên khó khăn hơn nhiều. Trong chương 2, luận án đã khảo sát cách thức tổng hợp hai công đoạn và xây dựng thuật toán ước lượng hàm truyền đạt có chứa các thành phần quán tính và siêu việt bằng phương pháp nội suy thực. Cách tổng hợp khác dựa trên việc thao tác trực tiếp với các mô hình gốc mô tả đối tượng được điều khiển (1.11). Tuy cách này có những khó khăn mà không phải lúc nào cũng khắc phục được do có mặt các thành phần quán tính và siêu việt, nhưng ưu điểm của nó là sai số tính toán nhỏ do không có công đoạn xấp xỉ và quan trọng là bảo lưu các tính chất đặc trưng của đối tượng điều khiển. Vì vậy, chương này nghiên cứu sinh sẽ phân tích và thiết lập thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh đảm bảo các chỉ tiêu chất lượng yêu cầu cũng như nâng cao độ chính xác tổng hợp ứng dụng phương pháp nội suy thực, cho phép thao tác trực tiếp với hàm truyền đạt của đối tượng mà không phải thực hiện công đoạn xấp xỉ hóa.

3.1. Thiết lập bài toán

Xét sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển một vòng có phản hồi âm như trên hình 3.1. Hệ thống này bao gồm đối tượng điều khiển có tham số phân bố ($W_{dt}(s)$) đã biết, được biểu diễn bởi hàm truyền đạt (1.11). Bộ điều chỉnh ($W_{dc}(s)$) và khâu hồi tiếp (K_{ht}) là các thành phần chưa biết. Bài toán đặt ra là xác định hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh:

$$W_{dc}(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (m \leq n), \quad (3.1)$$

và hệ số hồi tiếp K_{ht} sao cho hệ thống có các chỉ tiêu chất lượng: sai số tĩnh,

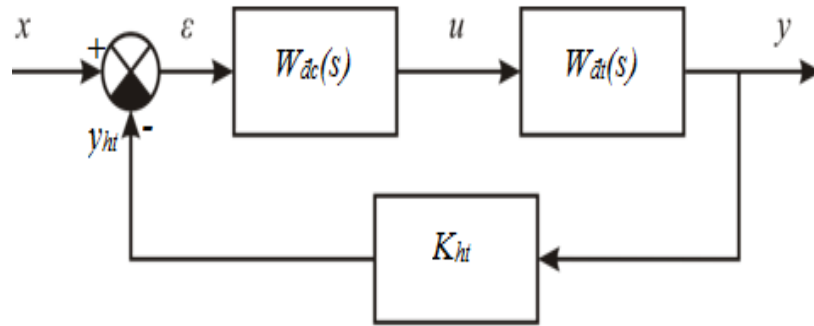
độ quá chỉnh, thời gian quá độ, ... thỏa mãn điều kiện:

$$\begin{cases} \sigma_{yc} - \Delta\sigma \leq \sigma_{th} \leq \sigma_{yc} + \Delta\sigma \\ t_{qd}^{th} \leq t_{qd}^{yc} \end{cases}, \quad (3.2)$$

hoặc

$$\begin{cases} \sigma_{yc} - \Delta\sigma \leq \sigma_{th} \leq \sigma_{yc} + \Delta\sigma \\ t_{qd}^{th} \rightarrow t_{qd}^{\min} \end{cases}, \quad (3.3)$$

với, σ_{yc} - độ quá chỉnh yêu cầu của hệ; σ_{th} - độ quá chỉnh của hệ được tổng hợp; $\Delta\sigma$ - sai lệch độ quá chỉnh cho phép giữa hệ thống mong muốn và tổng hợp; t_{qd}^{yc} - thời gian quá độ yêu cầu của hệ mong muốn; t_{qd}^{th} - thời gian quá độ của hệ được tổng hợp; $t_{qd}^{\min}$ - thời gian quá độ nhỏ nhất có thể đạt được của hệ được tổng hợp. Trong thực tế, khi không tồn tại bộ điều chỉnh (3.1) để hệ thống thỏa mãn điều kiện chặt (3.2), chúng ta có thể chuyển đến điều kiện (3.3), trong đó độ quá chỉnh tuân theo giới hạn chặt còn thời gian quá độ là nhỏ nhất (giá trị này vẫn lớn hơn giá trị yêu cầu $t_{qd}^{\min} > t_{qd}^{yc}$). Việc chuyển từ điều kiện (3.2) sang (3.3) nhằm đảm bảo bài toán tổng hợp luôn có lời giải mà vẫn không mất đi tính tổng quát.



Hình 3. 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển tự động điển hình

Để xác định các tham số của bộ điều chỉnh, chúng ta thiết lập và giải phương trình biểu diễn mối liên hệ giữa hàm truyền đạt của hệ kín mong muốn ($W_{mm}^k(s)$) và được tổng hợp ($W_{th}^k(s)$):

$$W_{mm}^k(s) \cong W_{th}^k(s), \quad (3.4)$$

trong đó, với sơ đồ cấu trúc trên hình 3.1, $W_{th}^k(s)$ được xác định theo biểu thức:

$$W_{th}^k(s) = \frac{W_{đc}(s)W_{đt}(s)}{1 + W_{đc}(s)W_{đt}(s)K_{ht}}, \quad (3.5)$$

hoặc xem xét phương trình tổng hợp ở trạng thái hở:

$$W_{mm}^h(s) \cong W_{th}^h(s) = W_{đc}(s)W_{đt}(s), \quad (3.6)$$

với hàm truyền mong muốn của hệ hở ($W_{mm}^h(s)$) được xác định từ hàm truyền mô tả hệ kín ($W_{mm}^k(s)$) và hệ số hồi tiếp (K_{ht}), theo sơ đồ cấu trúc trên hình 3.1, sẽ có dạng:

$$W_{mm}^h(s) = \frac{W_{mm}^k(s)}{1 - W_{mm}^k(s)K_{ht}}. \quad (3.7)$$

Như vậy, nhiệm vụ chính của bài toán tổng hợp là thiết lập và giải phương trình (3.4) hoặc (3.6), sao cho nghiệm của nó ($K_{ht}, W_{đc}(s)$) đảm bảo đẳng thức gần đúng giữa các hàm truyền được tổng hợp và mong muốn của hệ kín hay hệ hở. Trong thực tế, không thể nhận được đẳng thức chính xác của phương trình tổng hợp (3.4), vì vậy chúng ta phải tìm kiếm lời giải gần đúng. Việc này không liên quan về mặt toán học mà chỉ liên quan đến các đặc tính vật lý và kỹ thuật [75-77]. Việc giải phương trình tổng hợp (3.6) thay vì (3.4) sẽ làm giảm đáng kể dung lượng và sai số tính toán. Dạng (3.6) phù hợp với lý thuyết các bài toán động học ngược và về bản chất giống với việc tổng hợp bộ điều chỉnh bằng phương pháp dựa trên đặc tính tần số logarit. Cơ sở chung giải phương trình tổng hợp (3.6) ứng dụng phương pháp nội suy thực sẽ được dẫn ra dưới đây.

3.2. Thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh

Để hình thành thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh bằng phương pháp nội suy thực, phương trình tổng hợp (3.4) có tính đến (3.5) được biến đổi về dạng tương đương:

$$W_{dc}(s) \cong \frac{W_{mm}^k(s)}{W_{dt}(s) - W_{dt}(s)W_{mm}^k(s)K_{ht}}. \quad (3.8)$$

Trong (3.8), để xác định $W_{dc}(s)$, chúng ta cần xác định hệ số hồi tiếp K_{ht} và hàm truyền mong muốn $W_{mm}^k(s)$ và các đặc trưng số của các thành phần $W_{mm}^k(s), W_{dt}(s), \dots$. Như vậy, việc giải phương trình tổng hợp (3.8) sẽ bao gồm các công đoạn chính: Xác định hệ số hồi tiếp K_{ht} ; Tìm hàm truyền đạt mô tả hệ thống theo các chỉ tiêu yêu cầu σ_{yc}, t_{qd}^{yc} ; Giải phương trình tổng hợp (3.8); Hiệu chỉnh hệ thống sau tổng hợp, sẽ được xem xét dưới đây.

3.2.1. Xác định hệ số hồi tiếp K_{ht}

Thực tế, đại lượng K_{ht} có thể tìm được từ phương trình mô tả chế độ tĩnh của hệ thống:

$$K_p = \frac{y_t - \Delta y}{x_v - K_{ht}(y_t - \Delta y)}, \quad (3.9)$$

trong đó, x_v - tín hiệu đầu vào cho trước, y_t - tín hiệu đầu ra yêu cầu, Δy - sai số tĩnh của hệ thống (sai lệch của tín hiệu đầu ra thực y so với tín hiệu đầu ra yêu cầu y_t), K_p - hệ số truyền của mạch hở. Như vậy, giá trị K_{ht} có thể tìm được từ điều kiện đại lượng K_p phải là số dương:

$$x_v - K_{ht}(y_t - \Delta y) > 0. \quad (3.10)$$

3.2.2. Xác định hàm truyền mong muốn của hệ thống

Việc xác định các hàm truyền mong muốn $W_{mm}^k(s)$ và $W_{mm}^h(s)$ của hệ tham chiếu ứng với trạng thái kín và hở là công đoạn quan trọng trong quá trình thiết lập và giải phương trình tổng hợp (3.8). Các hàm truyền này có thể tìm được theo hai cách:

1. *Các phương pháp gián tiếp* cho phép nhận được hàm truyền mong muốn dựa trên các mô hình trung gian, các đặc trưng và các chỉ tiêu chất lượng

nào đó. Phương pháp tần số có tính trực quan, các hàm truyền tham chiếu sẽ có đặc trưng tần số tương ứng với chúng ... Theo cách này, trước hết xác định đặc trưng tần số logarit theo các chỉ tiêu chất lượng đã cho, sau đó chuyển đến hàm truyền đạt mong muốn tương ứng. Đối với lớp các hệ chấp hành điện cơ [55], phương pháp tần số được sử dụng rộng rãi để hình thành các tính chất mong muốn theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng hoặc mô đun [77-79]. Tuy nhiên phương pháp không cho phép tổng hợp các hệ thống với độ quá chỉnh σ_{yc} cho trước, tối ưu hóa về tính tác động nhanh và tăng cường độ bền vững của hệ thống khi cần thiết. Vì vậy phương pháp này có thể được dùng để nhận được lời giải xấp xỉ đầu tiên, các tham số của nó sau đó sẽ được hiệu chỉnh.

Phương pháp quỹ đạo nghiệm [76] cho phép thiết lập vùng phân bố nghiệm của đa thức đặc trưng của hàm truyền đạt $W_{mm}^h(s)$ dựa trên các chỉ tiêu chất lượng gián tiếp như mức ổn định, độ dao động v.v. Tại đó đặc trưng quá độ sẽ thỏa mãn các chỉ tiêu về độ quá chỉnh và thời gian quá độ đã cho. Lời giải nhận được theo cách này chỉ là tương đối theo các chỉ tiêu chất lượng đã cho do sự vắng mặt của đa thức tử của hàm truyền.

2. Các phương pháp trực tiếp cho phép nhận được hàm truyền (3.7) dựa trên các đặc trưng động học theo thời gian (đặc trưng quá độ hay quá độ xung) hoặc là các chỉ tiêu chất lượng cho trước, theo các dữ liệu ban đầu (cấu trúc m, n của hàm truyền và bậc phẩm tính) được xác định trước. Các phương pháp trực tiếp khác nhau bao gồm:

- Xác định hàm truyền mong muốn dựa trên các đặc trưng quá độ chuẩn tắc [76], cho phép lựa chọn từ họ các đặc trưng quá độ một đặc trưng phù hợp hơn cả với các điều kiện xác định, từ đó xác định duy nhất hàm truyền đạt của hệ hỏ mong muốn. Những hạn chế của phương pháp này chính là việc lựa chọn bị giới hạn trong một lớp các đặc trưng quá độ có thể, đặc biệt là khi phải tuân theo các tham số quan trọng như độ quá chỉnh. Ngoài ra trong hàm truyền

không có đa thức tử, điều này dẫn đến sai số khi tổng hợp bộ điều chỉnh và khó khăn trong việc tự động hóa thiết kế khi ứng dụng phương pháp này.

- Xác định hàm truyền mong muốn dựa trên hai chỉ tiêu chất lượng quan trọng nhất là độ quá chỉnh mong muốn σ_{yc} và thời gian quá độ t_{qd}^{yc} [69]. Nó cho phép nhận được mô hình mong muốn ở dạng hàm truyền mô tả khâu dao động. Phương pháp này cũng có những hạn chế: hàm truyền nhận được có bậc thấp và không có đa thức tử làm cho khả năng của nó trong việc thiết lập các tính chất động học của mô hình bị hạn chế. Vì vậy phương pháp này chỉ nên dùng để giải các bài toán khi không cần thiết lập và tái tạo lại chính xác các chỉ tiêu chất lượng của hệ thống.

Trong [69], hàm truyền mong muốn $W_{mm}^k(s)$ với tham số cấu trúc ($m=1, n=2$), được xác định dựa trên các chỉ tiêu chất lượng yêu cầu σ_{yc} và t_{qd}^{yc} sẽ có dạng:

$$W_{mm}^k(s) = \frac{\frac{\alpha_1}{2}s + 1}{\alpha_0 s^2 + \alpha_1 s + 1} H_\infty; \alpha_0 = \frac{[\ln(\frac{H_{\max}}{H_\infty} - 1)]^2}{\frac{9}{t_{qd}^{yc^2}} \{[\ln(\frac{H_{\max}}{H_\infty} - 1)] + \pi^2\}}; \alpha_1 = \frac{6\alpha_0}{t_{qd}^{yc}}, \quad (3.11)$$

với: H_∞ - tín hiệu đầu ra ở trạng thái xác lập; $H_{\max}$ - giá trị cực đại của đặc trưng quá độ. Độ quá chỉnh được xác định bởi: $\sigma_{yc} = \frac{H_{\max} - H_\infty}{H_\infty} 100\%$. Hạn chế của nó là bậc của hàm truyền không thay đổi được, điều này không cho phép tính đến các yêu cầu khác ngoài σ_{yc} và t_{qd}^{yc} .

Phương pháp nội suy thực cho phép nhận được hàm truyền mong muốn. Nó cho phép nhận được hàm truyền mong muốn theo các chỉ tiêu chất lượng cho trước, tham số cấu trúc m và n bất kỳ và ứng dụng các tính toán số [68]. Các tính chất mong muốn của mô hình có thể được biểu diễn ở nhiều

dạng khác nhau: đặc trưng động học theo thời gian, đáp ứng của hệ với tác động nào đó hay các chỉ tiêu chất lượng [69]. Dưới đây chúng ta sẽ xem xét một số cách xác định hàm truyền mong muốn ứng dụng phương pháp này.

1. Xác định hàm truyền mong muốn theo đặc trưng quá độ xung

Cho đáp ứng xung mong muốn của hệ $k_{mm}^k(t)$, được biểu diễn bằng biểu thức giải tích, đồ thị hoặc ở dạng bảng. Yêu cầu xác định các hệ số của hàm truyền đạt:

$$W_{mm}^k(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + 1}, \quad (3.12)$$

với các tham số m, n đã biết. Sử dụng phép biến đổi tích phân thực, hàm truyền thực $W_{mm}^k(\delta)$, xác định theo đặc trưng quá độ xung $k_{mm}^k(t)$ có dạng:

$$W_{mm}^k(\delta) = \int_0^{\infty} k_{mm}^k(t) e^{-\delta t} dt, \delta \geq 0. \quad (3.13)$$

Do đặc trưng $k_{mm}^k(t)$ là mô hình của vòng điều khiển ổn định, vì vậy tích phân trong (3.13) hội tụ với mọi giá trị $\delta \geq 0$. Đặc trưng số $\{W_{mm}^k(\delta_i)\}_{\eta}$ có kích thước η được xác định theo công thức:

$$W_{mm}^k(\delta_i) = \int_0^{\infty} k_{mm}^k(t) e^{-\delta_i t} dt, i = \overline{1, \eta}. \quad (3.14)$$

Các điểm nút nội suy δ_i được tính theo phương pháp chuẩn tắc bắt đầu từ $\delta_1 = 0$, điểm nút nội suy δ_η được tính theo công thức (2.12). Trong nhiều trường hợp, đặc trưng $k_{mm}^k(t)$ có thể được cho dưới dạng bảng hoặc đồ thị. Khi ấy việc tính tích phân (3.14) được thực hiện bằng phương pháp số:

$$W_{mm}^k(\delta_i) = \sum_{j=1}^N k_{mm}^k(t_j) e^{-\delta_i t_j} \Delta t_j, j = \overline{1, N}. \quad (3.15)$$

Công thức (3.15) cho phép tìm giá trị gần đúng của các phần tử đặc

trung số, thường được biểu diễn ở dạng ma trận:

$$\begin{aligned}
 W &= IxTxK \\
 W &= [W_{mm}^k(\delta_1), W_{mm}^k(\delta_2), \dots, W_{mm}^k(\delta_\eta)] \\
 T &= \text{diag}[\Delta t_j], j = 1, N \\
 K &= [k_{mm}^k(t_1), k_{mm}^k(t_2), \dots, k_{mm}^k(t_\eta)] \\
 I &= \begin{bmatrix} e^{-\delta_1 t_1} & e^{-\delta_1 t_2} & \dots & e^{-\delta_1 t_N} \\ e^{-\delta_2 t_1} & e^{-\delta_2 t_2} & \dots & e^{-\delta_2 t_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e^{-\delta_\eta t_1} & e^{-\delta_\eta t_2} & \dots & e^{-\delta_\eta t_N} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (3.16)$$

Như vậy, các hệ số a_i, b_j của hàm truyền (3.12) là nghiệm của hệ phương trình:

$$\begin{cases} W_{mm}^k(\delta_1) = \frac{b_m \delta_1^m + b_{m-1} \delta_1^{m-1} + \dots + b_1 \delta_1 + b_0}{a_n \delta_1^n + a_{n-1} \delta_1^{n-1} + \dots + a_1 \delta_1 + 1} \\ W_{mm}^k(\delta_2) = \frac{b_m \delta_2^m + b_{m-1} \delta_2^{m-1} + \dots + b_1 \delta_2 + b_0}{a_n \delta_2^n + a_{n-1} \delta_2^{n-1} + \dots + a_1 \delta_2 + 1} \\ \dots \\ W_{mm}^k(\delta_\eta) = \frac{b_m \delta_\eta^m + b_{m-1} \delta_\eta^{m-1} + \dots + b_1 \delta_\eta + b_0}{a_n \delta_\eta^n + a_{n-1} \delta_\eta^{n-1} + \dots + a_1 \delta_\eta + 1} \end{cases} \quad (3.17)$$

Đến đây, việc xác định hàm truyền mong muốn của hệ thống điều khiển theo đáp ứng quá độ xung coi như đã được giải quyết. Tuy nhiên chúng ta cần thực hiện việc đánh giá kết quả thu được với số liệu ban đầu. Bước này là rất cần thiết không những vì lý do sai số khi tính tích phân mà còn cần để kiểm tra tính xác thực của các số liệu ban đầu, cũng như độ chính xác tính toán. Để minh họa, ta xem xét ví dụ: cho đáp ứng xung của vòng điều khiển chuẩn

$$k_{mm}^k(t) = 6e^{-2t} - e^{-t}, \text{ cần tìm nghiệm ở dạng } W_{mm}^k(s) = \frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}.$$

Các hệ số a_2, a_1, b_1, b_0 được xác định theo hai bước. Bước 1 tính 4 phần tử của đặc trưng số, bước 2 tìm các hệ số của hàm truyền thực

$W_{mm}^k(\delta) = \frac{b_1\delta + b_0}{a_2\delta^2 + a_1\delta + 1}; \delta \in [0, \infty)$. Ở bước 1, với $\delta_1 = 0$, phần tử đầu tiên của

đặc trưng số $W_{mm}^k(\delta_1)$ xác định theo công thức:

$$W_{mm}^k(\delta_1) = \int_0^\infty (6e^{-2t} - e^{-t})e^{-\delta_1 t} dt = 2. \quad (3.18)$$

Điểm nút $\delta_\eta = \delta_4$ được xác định theo (2.12). Với $\delta_4 = 15$, điều kiện này sẽ được thỏa mãn. Các điểm nút còn lại được xác định theo luật phân bố đều $\delta_2 = 5; \delta_3 = 10$. Từ đây, các phần tử của đặc trưng số được xác định theo (3.18): $\{W(\delta_i)\}_4 = \{2; 0.69; 0.4; 0.29\}$. Thiết lập và giải hệ phương trình:

$$\begin{cases} 2 = b_0 \\ 0.69 = (b_1 \cdot 5 + b_0) / (a_2 \cdot 5^2 + a_1 \cdot 5 + 1) \\ 0.4 = (b_1 \cdot 10 + b_0) / (a_2 \cdot 10^2 + a_1 \cdot 10 + 1) \\ 0.29 = (b_1 \cdot 15 + b_0) / (a_2 \cdot 15^2 + a_1 \cdot 15 + 1) \end{cases}, \quad (3.19)$$

chúng ta tìm được các hệ số của hàm truyền mong muốn: $a_2 = 0.5, a_1 = 1.5, b_1 = 2.5, b_0 = 2$. Để kiểm tra, chúng ta tìm hàm truyền chính xác theo hàm $k_{mm}^k(t)$ và đối chiếu với hàm truyền tìm được theo cách trên.

2. Xác định hàm truyền mong muốn theo đặc trưng quá độ

Cho trước đặc trưng quá độ mong muốn $h_{mm}^k(t)$ và tham số cấu trúc m, n của hàm truyền (3.12), cần xác định các hệ số của hàm truyền này. Giá trị b_0 có thể tính được trực tiếp theo đặc trưng $h_{mm}^k(t)$ dựa trên lý thuyết về giá trị tới hạn của hàm ảnh Laplace:

$$b_0 = \lim_{s \rightarrow 0} s W_{mm}^k(s) \frac{1}{s} = \lim_{t \rightarrow \infty} h_{mm}^k(t), \quad (3.20)$$

và số các hệ số chưa biết sẽ giảm đi 1. Mối liên hệ giữa đặc trưng quá độ $h_{mm}^k(t)$ và hàm truyền $W_{mm}^k(s)$ được xác định bằng biểu thức $H_{mm}^k(s) = W_{mm}^k(s) / s$ ($H_{mm}^k(s) = \mathcal{L}^{-1}\{h_{mm}^k(t)\}$). Chuyển sang miền thực, ta có:

$$W_{mm}^k(\delta) = \delta \cdot H_{mm}^k(\delta), \quad (3.21)$$

trong đó, hàm $H_{mm}^k(\delta)$ được xác định trực tiếp bằng công thức biến đổi thuận theo biến thực δ :

$$H_{mm}^k(\delta) = \int_0^{\infty} h_{mm}^k(t) e^{-\delta t} dt; \delta \geq 0, \quad (3.22)$$

còn hàm truyền đạt thực có dạng:

$$W_{mm}^k(\delta) = \delta \cdot \int_0^{\infty} h_{mm}^k(t) e^{-\delta t} dt; \delta \geq 0, \quad (3.23)$$

và các phần tử của đặc trưng số $\{W_{mm}^k(\delta_i)\}_{\eta}$, được tính theo biểu thức:

$$W_{mm}^k(\delta_i) = \delta_i \cdot \int_0^{\infty} h_{mm}^k(t) e^{-\delta_i t} dt; \delta_i \in [0, \infty). \quad (3.24)$$

Khi hàm $h_{mm}^k(t)$ được cho dưới dạng đồ thị hay bảng, hàm truyền theo đặc trưng quá độ $h_{mm}^k(t)$ cần chuyển sang dạng tích phân số. Trong trường hợp có mặt khâu tích phân, điểm nút đầu tiên $\delta_1 = 0$ sẽ không còn phù hợp do $\lim_{\delta \rightarrow 0} W_{mm}^k(\delta) = \infty$ và việc tính điểm nút nội suy cuối theo (2.12) thông qua $W_{mm}^k(0)$ sẽ không thực hiện được. Khi này, các giới hạn của khoảng phân bố điểm nút được tìm bắt đầu từ giới hạn dưới, tức là $\delta_1 > 0$. Biểu thức tính δ_1 có thể nhận được từ yêu cầu: tích phân trong (3.24) khi kết thúc thời gian điều chỉnh t_{qd}^{yc} cần phải giảm tới giá trị nhỏ có thể bỏ qua ($\Delta = 0.01 \div 0.05$), tức là phải thỏa mãn điều kiện: $h_{mm}^k(t_{qd}^{yc}) e^{-\delta_1 t_{qd}^{yc}} \leq \Delta$. Từ đây, ta có biểu thức tính δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{-\ln[\Delta / h_{mm}^k(t_{qd}^{yc})]}{t_{qd}^{yc}}. \quad (3.25)$$

Các điểm nút còn lại được xác định theo quy tắc thông thường của luật phân bố đều: $\delta_i = i\delta_1; i = 1, 2, \dots, \eta$. Công đoạn cuối cùng là kiểm tra độ chính

xác của nghiệm nhận được. Trường hợp chung nhất là sử dụng hàm sai lệch tuyệt đối:

$$\Delta h = \max_t |h(t) - h_{mm}^k(t)|, \quad (3.26)$$

với $h(t)$ - đặc trưng quá độ tìm được với bộ điểm nút nội suy xác định. Nếu Δh nhỏ hơn một đại lượng cho trước nào đó Δh_{CF} thì bài toán coi như đã được giải quyết. Ngược lại, cần sử dụng phương pháp tham số hoặc cấu trúc để giảm sai số. Phương pháp tham số cho phép thay đổi giá trị Δh bằng cách dịch chuyển các điểm nút nội suy dựa trên tính chất chéo nhau của phép biến đổi tích phân thực đã được xem xét ở trên. Phương án cấu trúc chính là thay đổi bậc m, n của hàm truyền đạt $W_{mm}^k(s)$. Thủ tục giải bài toán được dẫn ra dưới đây:

1. Xác định hệ số b_0 theo giá trị xác lập của đặc trưng $h_{mm}^k(t)$.
2. Tìm số các hệ số chưa biết: $\eta = m + n$.
3. Xác định điểm nút đầu tiên δ_1 theo (3.25), sau đó tìm các điểm nút còn lại.
4. Tính các phần tử của đặc trưng số $\{W_{mm}^k(\delta_i)\}_{\eta}$ theo công thức (3.24).
5. Tìm các hệ số của hàm truyền (3.12) bằng cách giải hệ phương trình (3.17).
6. Kiểm tra và hiệu chỉnh kết quả. Xác định sai số theo (3.26), thay đổi các điểm nút nội suy nếu cần, tăng giá trị tham số m hoặc n của hàm truyền tìm được.

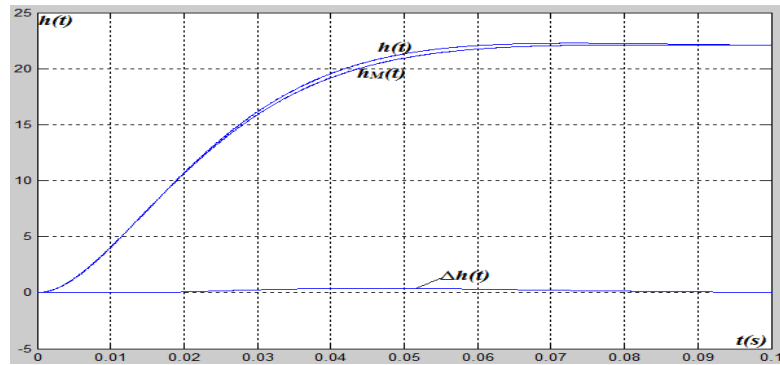
Để minh họa, chúng ta tìm hàm truyền dạng $W_{mm}^k(s) = b_0 / a_2 s^2 + a_1 s + 1$ khi đặc trưng quá độ mong muốn $h_{mm}^k(t) = 22 - 37.87e^{-60.241t} \sin(42.982t + 62)$. Thực hiện theo các bước trên chúng ta nhận được: $b_0 = 22$; $\eta = m + n = 1 + 1 = 2$. Lựa chọn $t_{qd}^{yc} = 0.1(s)$, $\Delta = 0.001$, ta tìm được:

$$\delta_1 = \frac{-\ln[10^{-3} / 110]}{0.1} = 116. \text{ Với } N = 100, \Delta t_{qd}^{yc} = 0.001(s), \text{ chúng ta tìm được}$$

các phần tử của đặc trưng số: $\{W_{mm}^k(\delta_i)\}_2 = \{7.5388; 3.6532\}$. Từ đây, chúng ta nhận được hệ phương trình:

$$\begin{cases} -437.2504a_1 - 25360.5232a_2 = -14.4612 \\ -423.7712a_1 - 49157.4592a_2 = -18.3468 \end{cases}$$

Cuối cùng chúng ta nhận được: $a_1 = 0.0228; a_2 = 1.7597 \cdot 10^{-4}$ và hàm truyền có dạng $W_{mm}^k(s) = 22 / 1.7597 \cdot 10^{-4} s^2 + 0.0228s + 1$. Để kiểm tra kết quả nhận được, trước hết chúng ta tìm đặc trưng quá độ của mô hình đã nhận được $h(t)$ và so sánh với đặc trưng đã cho $h_{mm}^k(t)$. Đồ thị của chúng được dẫn ra trên hình 3.2. Giá trị sai số $\Delta h = \max_t |h(t) - h_{mm}^k(t)| = 0.4$ là chấp nhận được.



Hình 3. 2. Đồ thị của đặc trưng quá độ mong muốn $h_{mm}^k(t)$ và mô hình tìm được $h(t)$

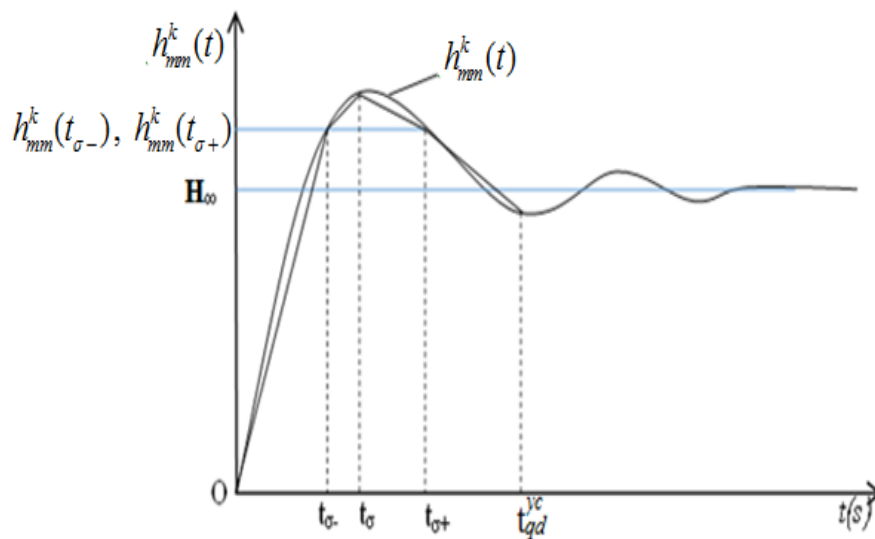
3. Xác định hàm truyền mong muốn theo các chỉ tiêu chất lượng trực tiếp

Việc tìm hàm truyền mong muốn theo các chỉ tiêu chất lượng trực tiếp, khả thi hơn so với hai trường hợp trên, do đặc trưng quá độ tham chiếu $h_{mm}^k(t)$ rất hiếm khi được cho dưới dạng tường minh với tất cả $t \in [0, t_{qd}^{yc}]$ mà chỉ cần thỏa mãn một số yêu cầu nhất định, chẳng hạn độ quá chỉnh, thời gian quá độ... Vì vậy, dưới đây ta sẽ tìm hàm truyền dạng (3.12) có độ quá chỉnh σ_{yc} thỏa mãn điều kiện: $\sigma_{yc} - \Delta\sigma_{CF} \leq \sigma \leq \sigma_{yc} + \Delta\sigma_{CF}$ với, σ_{yc} - độ quá chỉnh cho trước, còn $\Delta\sigma_{CF}$ - lượng sai lệch cho phép, còn thời gian quá độ t_{qd}^{yc} và giá trị xác lập H_∞ đã biết.

Trước hết, xác định giá trị của hệ số $b_0 = H_\infty$ và $\eta = m + n$. Đặc trưng quá độ trên hình 3.3 thỏa mãn các yêu cầu ban đầu, còn lại nó là một hàm bất kỳ theo thời gian. Biểu diễn các điểm đặc trưng trên đồ thị của $h_{mm}^k(t)$: hai điểm $h_{mm}^k(t_0)$ và $h_{mm}^k(t_{qd}^{yc})$ được xác định dựa trên số liệu ban đầu. Bổ sung thêm hai điểm $h_{mm}^k(t_{\sigma-})$, $h_{mm}^k(t_{\sigma+})$ là các điểm cực trị của hàm, chính nó xác định độ quá chỉnh. Nối các điểm trên lại với nhau bằng các đoạn thẳng, ta có: $h^r(t) = k_r t + b_r$ ($r = 1, 2, 3, 4$). Sau đó xác định các giá trị của đặc trưng số theo công thức:

$$W_{mm}^k(\delta_i) = \delta_i \int_0^{t_{qd}^{yc}} h^r(t) e^{-\delta_i t} dt; i = \overline{1, \eta}. \quad (3.27)$$

Các điểm nút nội suy được chọn: $\delta_i = i\delta_1$. Ở đây chấp nhận sử dụng công thức xấp xỉ đặc tuyến ban đầu bằng các đoạn thẳng, nó cho phép thực hiện việc tính tích phân khá đơn giản. Cuối cùng, từ đặc trưng số $\{W_{mm}^k(\delta_i)\}_\eta$ và hàm truyền đạt cần tìm (3.12), ta thiết lập hệ phương trình (3.17). Các hệ số của hàm truyền (3.12) sẽ được xác định thông qua giải hệ (3.17).



Hình 3.3. Đồ thị của đáp ứng quá độ $h_{mm}^k(t)$ với các điểm đặc trưng

Cuối cùng, việc hiệu chỉnh kết quả theo giá trị yêu cầu của các chỉ tiêu được thực hiện dựa trên sự phân bố sai số trong khoảng thời gian $t \in [0, t_{qd}^{yc}]$ và cận trên của điểm nút nội suy δ_η : nếu độ quá chỉnh nhận được ở bước 1 (σ^1) ứng với điểm nút δ_η^1 là lớn hơn giá trị cho phép σ^1 ($\sigma^1 > \sigma_{yc} + \Delta\sigma_{CF}$), thì ở bước 2 cần giảm giá trị điểm nút δ_η^2 ($\delta_\eta^2 < \delta_\eta^1$). Ngược lại, cần tăng giá trị điểm nút ở các bước tính toán sau ($\delta_\eta^2 > \delta_\eta^1$). Sau một số lần lặp (thường là 3-4 lần lặp), chúng ta sẽ nhận được kết quả mong muốn. Để minh họa, chúng ta xem xét bài toán xác định mô hình có dạng: $W_{mm}^k(s) = \frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}$, đáp ứng các chỉ tiêu: độ quá chỉnh $0.2 - 0.03 \leq \sigma \leq 0.2 + 0.03$; thời gian quá độ $t_{qd}^{yc} \leq 10(s)$; giá trị xác lập $H_\infty \geq 1(rad)$. Toàn bộ quá trình tính toán và hiệu chỉnh được dẫn ra trong bảng 3.1.

Bảng 3. 1. Kết quả tính toán hàm truyền mong muốn đáp ứng yêu cầu đặt ra

Số phép lặp	Giá trị của δ_η^j	Giá trị các hệ số			Các chỉ tiêu chất lượng	
		b_1	a_2	a_1	$\sigma\%$	$t_{qd}(s)$
1	4	11.027	37.159	2.743	1.3	100
2	2	1.871	6.587	2.271	0.29	11.5
3	1	-0.419	-0.385	-1.372	-	-
4	1.5	0.954	3.666	2.028	0.17	9.2

3.2.3. Giải phương trình tổng hợp

Để xác định bộ điều chỉnh dựa trên cơ sở của RIM, trước hết các thành phần trong phương trình tổng hợp (3.8) được biểu diễn theo biến thực δ :

$$W_{dc}(\delta) \cong \frac{W_{mm}^k(\delta)}{W_{dt}(\delta) - W_{dt}(\delta)W_{mm}^k(\delta)K_{ht}}. \quad (3.28)$$

Việc giải phương trình (3.28) được thực hiện trong 3 công đoạn [69,70]:

- Công đoạn thứ nhất xác định các đặc trưng số của các thành phần trong phương trình (3.28) với các điểm nút nội suy $\delta_i (i = \overline{1, \eta}; \eta = m + n + 1)$ theo luật phân bố đều:

$$\delta_i = \frac{i\delta_\eta}{\eta} (i = \overline{1, \eta}). \quad (3.29)$$

- Công đoạn thứ hai xác định các hệ số cần tìm (a_i, b_j) của bộ điều chỉnh (3.1) bằng cách giải hệ phương trình:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{dc}(\delta_1) = \frac{b_m \delta_1^m + b_{m-1} \delta_1^{m-1} + \dots + b_1 \delta_1 + b_0}{a_n \delta_1^n + a_{n-1} \delta_1^{n-1} + \dots + a_1 \delta_1 + 1} = \frac{W_{mm}^k(\delta_1)}{W_{dt}(\delta_1) - W_{dt}(\delta_1) W_{mm}^k(\delta_1) K_{ht}} \\ W_{dc}(\delta_2) = \frac{b_m \delta_2^m + b_{m-1} \delta_2^{m-1} + \dots + b_1 \delta_2 + b_0}{a_n \delta_2^n + a_{n-1} \delta_2^{n-1} + \dots + a_1 \delta_2 + 1} = \frac{W_{mm}^k(\delta_2)}{W_{dt}(\delta_2) - W_{dt}(\delta_2) W_{mm}^k(\delta_2) K_{ht}} \\ \dots \\ W_{dc}(\delta_\eta) = \frac{b_m \delta_\eta^m + b_{m-1} \delta_\eta^{m-1} + \dots + b_1 \delta_\eta + b_0}{a_n \delta_\eta^n + a_{n-1} \delta_\eta^{n-1} + \dots + a_1 \delta_\eta + 1} = \frac{W_{mm}^k(\delta_\eta)}{W_{dt}(\delta_\eta) - W_{dt}(\delta_\eta) W_{mm}^k(\delta_\eta) K_{ht}} \end{array} \right. \quad (3.30)$$

- Công đoạn thứ ba thực hiện ước lượng các chỉ tiêu chất lượng $(\sigma_{th}, t_{qd}^{th})$ của hệ thống điều khiển ứng với bộ điều chỉnh vừa nhận được và đối chiếu với các chỉ tiêu yêu cầu $(\sigma_{yc}, t_{qd}^{yc})$. Trong trường hợp các chỉ tiêu này không thỏa mãn điều kiện (3.2) hoặc (3.3), chúng ta cần giải hệ (3.30) ứng với bộ điểm nút nội suy mới $(\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta, i = 1 \div \eta; \delta_i^{(k)}$ - bộ điểm nút ở lần lặp thứ k ; $\delta_i^{(k+1)}$ - bộ điểm nút ở lần lặp thứ $k+1$; $\Delta\delta$ - số gia của đối số thực δ) và lặp lại các bước tính toán trên cho đến khi hệ thống sau tổng hợp có chỉ tiêu chất lượng thỏa mãn các yêu cầu đặt ra. Rõ ràng, việc tổng hợp bộ điều chỉnh theo thuật toán trên không gặp khó khăn nào trong trường hợp đối tượng điều khiển phức tạp (đối tượng phi tuyến hoặc có tham số phân bố, ...) vì các biểu thức của (3.30) hoàn toàn có giá trị số.

3.3. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh của hệ thống sau tổng hợp

Như trên, cách cơ bản để hệ thống sau tổng hợp đạt được độ quá chỉnh theo điều kiện (2.2) là thay đổi giá trị các điểm nút nội suy. Trong trường hợp nếu việc lặp theo điểm nút nội suy mà hệ thống vẫn chưa thỏa mãn điều kiện (2.2) hoặc (2.3)) thì cần tiến hành hiệu chỉnh theo các biến công cụ khác như: độ quá chỉnh và thời gian quá độ yêu cầu, hoặc sử dụng các hàm trọng lượng đặc biệt [69]. Vấn đề này sẽ được xem xét dưới đây.

3.3.1. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh theo thời gian quá độ yêu cầu (t_{qd}^{yc})

Như đã biết, để đánh giá chất lượng hệ thống điều khiển có hai chỉ tiêu quan trọng hơn cả đó là độ quá chỉnh và thời gian quá độ. Các chỉ tiêu này có mối quan hệ tương hỗ với nhau, tức là việc tăng/giảm chỉ tiêu này sẽ làm thay đổi chỉ tiêu còn lại. Như vậy, người ta có thể sử dụng chỉ tiêu này làm biến công cụ để hiệu chỉnh chỉ tiêu kia. Theo cách này cần xác định sự phụ thuộc giữa σ_{th} và t_{qd}^{yc} ($\sigma_{th} = f(t_{qd}^{yc})$). Thực tế cho thấy, để đạt được chỉ tiêu σ_{th} đủ nhỏ cần tăng thời gian quá độ yêu cầu t_{qd}^{yc} .

3.3.2. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh sử dụng các hàm trọng lượng đặc biệt

Một cách khác để hiệu chuẩn độ quá chỉnh của hệ được tổng hợp là đưa vào phép biến đổi tích phân thực (2.2) các hàm trọng lượng có dạng đặc biệt $w(t)$. Để hình thành các hàm trọng lượng này, chúng ta biểu diễn phương trình tổng hợp (3.4) ở dạng thực $W_{mm}^k(\delta) \cong W_{th}^k(\delta)$ và đồng thời ở các dạng liên tục:

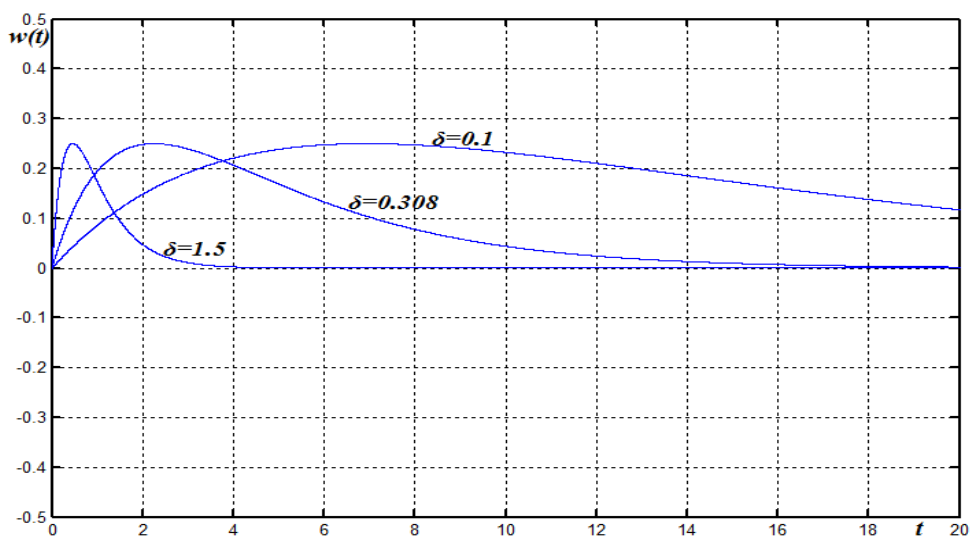
$$\int_0^{\infty} k_{mm}^k(t) e^{-\delta t} dt \cong \int_0^{\infty} k_{th}^k(t) e^{-\delta t} dt, \quad (3.31)$$

và rời rạc tương minh:

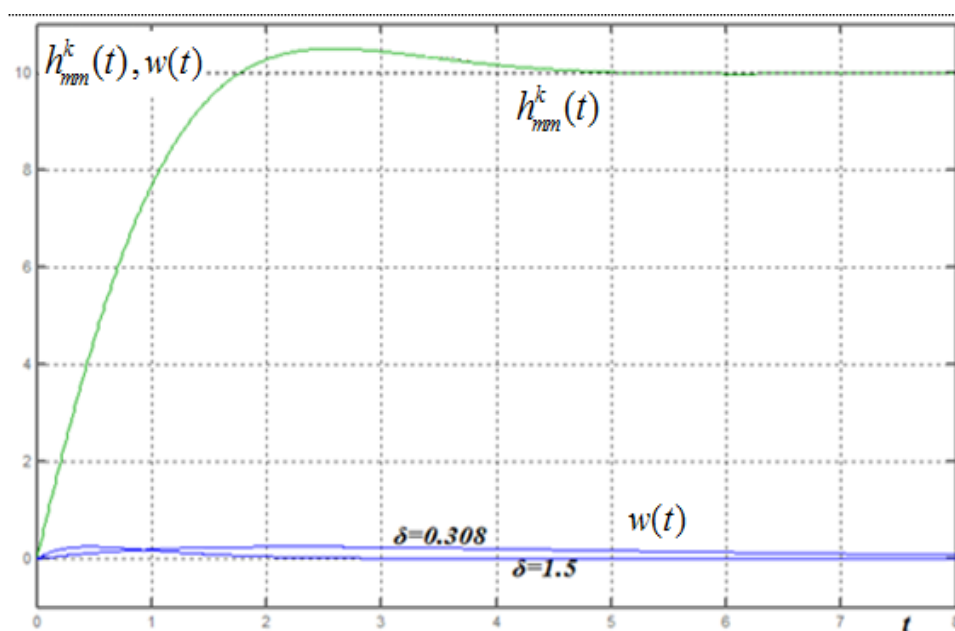
$$\int_0^{\infty} k_{mm}^k(t) e^{-\delta_i t} dt \cong \int_0^{\infty} k_{th}^k(t) e^{-\delta_i t} dt, i = 1, 2, \dots, \eta. \quad (3.32)$$

Ở đây, các hàm theo thời gian $k_{mm}^k(t), k_{th}^k(t)$ tương ứng là đáp ứng quá độ

xung của hệ mong muốn và được tổng hợp, còn biểu thức $e^{-\delta t}$ chính là hàm trọng lượng ảnh hưởng đến tốc độ hội tụ của tích phân và sai số $\Delta k(t) = k_{mm}^k(t) - k_{th}^k(t)$. Nó cho phép thay đổi các tính chất động học của hệ được tổng hợp khi dịch chuyển các điểm nút nội suy ($\delta, i=1,2,\dots$). Vì vậy trong những trường hợp cụ thể, người ta đưa vào (3.31) các hàm trọng lượng có dạng đặc biệt, chẳng hạn: $w(t) = e^{-\delta t}(1 - e^{-\delta t})$, như chỉ ra trên hình 3.4. Phương pháp này cho phép đạt được độ quá chỉnh yêu cầu mà không phụ thuộc vào việc phải thay đổi các thông tin ban đầu σ_{yc}, t_{qd}^{yc} . Tuy nhiên, việc dùng hàm trọng lượng như vậy sẽ làm mất đi sự tương quan và không cho phép chuyển đổi qua lại giữa phép biến đổi tích phân thực (2.2) và phép biến đổi Laplace (2.1). Ngoài ra, không có một quy tắc chung để thiết lập các hàm trọng lượng này. Nó được xác định theo từng bài toán cụ thể và chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của người thiết kế. Ở đây, hàm $w(t) = e^{-\delta t}(1 - e^{-\delta t})$ được thiết lập sao cho đồ thị hàm quá độ của hệ mong muốn $h_{mm}^k(t)$ và $w(t)$ đồng dạng với nhau, còn điểm nút nội suy δ_i được xác định từ điều kiện: thời điểm đạt giá trị cực đại của các hàm $h_{mm}^k(t)$ và $w(t)$ trùng nhau như minh họa trên hình 3.5. Vì vậy, cách thức này chỉ được sử dụng trong những trường hợp riêng.



Hình 3.4. Biểu diễn hàm $w(t)$ với các giá trị δ khác nhau



Hình 3. 5. Đồ thị của các hàm $h_{mm}^k(t)$ và $w(t)$ với các giá trị δ khác nhau

3.3.3. Hiệu chuẩn độ quá chỉnh dựa trên các hàm truyền mong muốn suy rộng (σ_{yc})

Thực nghiệm tính toán các bộ điều chỉnh chỉ ra rằng, ở các điều kiện kết hợp nào đó giữa các dữ liệu ban đầu (các tính chất mong muốn của hệ và các tham số của đối tượng điều khiển) có thể xuất hiện những khó khăn trong việc đạt được độ quá chỉnh với độ chính xác cần thiết và như vậy bài toán chỉ được giải một cách gần đúng. Ở kết quả nhận được, độ quá chỉnh σ_{th} của hệ đã tổng hợp còn nhỏ hoặc lớn hơn giá trị yêu cầu σ_{yc} . Hơn nữa, việc thay đổi các điểm nút nội suy (với luật phân bố đều) có thể không đưa đến lời giải cần tìm với điều kiện phải tuân thủ các yêu cầu về độ bền vững và tính tác động nhanh. Vì vậy xuất hiện bài toán tìm kiếm lời giải không liên quan đến việc sử dụng đại lượng thời gian quá độ yêu cầu t_{qd}^{yc} . Một trong những phương án giải quyết tình huống này là thay đổi trước giá trị của độ quá chỉnh mong muốn trong lân cận của độ quá chỉnh đã cho. Khi $\sigma_{th} > \sigma_{yc} + \Delta\sigma_{yc}$, điều này đưa đến cần giảm giá trị của độ quá chỉnh mong muốn σ_{yc} đến đại lượng

σ_{yc_min} , tại đó hệ được tổng hợp sẽ thỏa mãn điều kiện (3.2). Ở trường hợp ngược lại, khi $\sigma_{th} < \sigma_{yc} - \Delta\sigma_{yc}$, điều này có nghĩa là cần tăng giá trị mong muốn σ_{yc} đến đại lượng σ_{yc_max} .

3.4. Tổng hợp các hệ thống điều khiển tự động nhiều vòng

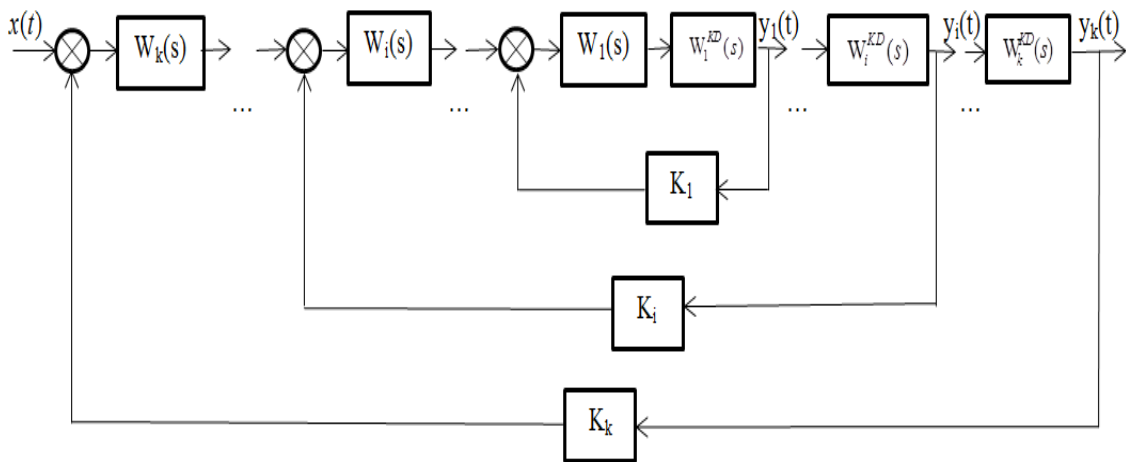
Trên đây chúng ta đã xem xét vấn đề tổng hợp bộ điều chỉnh đối với hệ thống có một vòng lặp. Tuy nhiên, trong thực tế các hệ thống thường có nhiều vòng lặp có cấu trúc phức tạp. Vì vậy vấn đề tổng hợp sẽ phức tạp hơn nhiều. Có hai cách cơ bản để tổng hợp các hệ thống như vậy:

1. *Cách thứ nhất*, coi hệ thống là tập hợp các vòng điều khiển riêng biệt, không ảnh hưởng đến nhau. Trong trường hợp này, mỗi vòng được tổng hợp riêng rẽ lần lượt từ vòng trong đến vòng ngoài [78-80]. Hạn chế của cách này là sai số tổng hợp tăng lên theo từng vòng lặp vì chúng ta chỉ biết trước các thuộc tính mong muốn của toàn hệ thống trong khi cần có thông tin về các tính chất mong muốn của từng vòng bên trong để tính toán bộ điều chỉnh của nó. Do đó, cần phải xác định các tính chất mong muốn cho từng vòng. Việc này không có lời giải chính xác (hoặc không thể thực hiện được), dẫn đến sai số tăng lên trong suốt quá trình tổng hợp.

2. *Cách thứ hai*, thiết lập phương trình tổng hợp chung, có chứa các hệ số cần tìm của tất cả các bộ điều chỉnh. Cách này dẫn đến các phương trình phi tuyến đối với các tham số của bộ điều chỉnh. Phương pháp tổng hợp như vậy đòi hỏi phải khai triển phương trình ban đầu thành hệ phương trình phi tuyến. Việc giải các hệ này sẽ khó thực hiện được trong miền thời gian và miền ảnh Fourier hoặc Laplace [76].

Các hệ thống cơ điện tử (chẳng hạn hệ truyền động điện tự động) thường gồm một số vòng điều khiển lồng nhau có sơ đồ cấu trúc tổng quát được chỉ ra trên hình 3.6. Chất lượng làm việc của các hệ thống này phân

lớn được quyết định bởi các đặc tính của hệ chấp hành gồm động cơ chấp hành, cách thức chế tạo và hệ thống điều khiển. Việc hiệu chỉnh các tính chất của hai khối đầu tiên (các đối tượng điều khiển) thường rất khó thực hiện vì cần phải thay đổi thiết kế của chúng. Hệ thống điều khiển cho phép hiệu chuẩn các tính chất của hệ chấp hành (ví dụ, dải thông, thời gian đáp ứng với một tín hiệu đầu vào,...) bằng cách hình thành các tác động điều khiển tương ứng. Việc tổng hợp các luật điều khiển là vấn đề trọng tâm khi xây dựng các hệ thống điều khiển tự động cho các hệ cơ điện tử. Khi tính đến các nhiễu tín hiệu và tham số trong đối tượng khảo sát, chúng ta cần phải xây dựng các hệ thống tự động điều chỉnh để ổn định các tính chất cho trước của thiết bị chấp hành.



Hình 3. 6. Sơ đồ cấu trúc tổng quát của hệ thống điều khiển nhiều vòng ($W_i^{KD}(s)$ – hàm truyền của phần không đổi ở vòng lặp thứ i ($i = \overline{1, k}$, k – số vòng lặp của hệ thống); $W_i(s), K_i$ – tương ứng là hàm truyền của bộ điều chỉnh và hệ số phản hồi trong vòng lặp thứ i ; $x(t)$ – tín hiệu vào của vòng lặp ngoài cùng; $y_i(t)$ – tín hiệu đáp ứng của vòng lặp thứ i)

Nhiệm vụ đặt ra là tổng hợp bộ điều chỉnh dạng:

$$W_i(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (m \leq n, i = \overline{1, k}), \quad (3.33)$$

cho mỗi vòng lặp và các hệ số hồi tiếp $K_i (i = \overline{1, k})$ sao cho hệ thống có các chỉ tiêu chất lượng thỏa mãn điều kiện (3.2) hoặc (3.3):

Để giải bài toán dựa trên RIM, chúng ta cần thiết lập phương trình tổng hợp biểu diễn mối liên hệ giữa hàm truyền mong muốn của hệ kín $W_{mm}^k(s)$ với các bộ điều chỉnh $W_i(s)$ trong mỗi vòng lặp, hệ số hồi tiếp K_i và hàm truyền của các phần không đổi $W_i^{KD}(s)$ có chứa đối tượng điều khiển $W_{dt}(s)$:

$$W_{mm}^k(s) \cong F[W_1(s), \dots, W_k(s), K_1, \dots, K_k, W_1^{KD}(s), \dots, W_k^{KD}(s)] \quad (3.34)$$

Thực tế không có phương pháp chung giải phương trình (3.34) vì: Thứ nhất, nó chứa k hàm truyền chưa biết $W_i(s), i = \overline{1, k}$ nên số các hệ số cần tìm là rất lớn. Thứ hai, một số các hệ số phi tuyến được đưa vào (3.34) ở dạng tích của chúng. Thứ ba, hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh thường là bậc một hoặc bậc hai khi tính đến các yêu cầu về mặt vật lý. Do đó, chúng ta phải tìm lời giải gần đúng theo các tiêu chuẩn xác định về cấu trúc và đánh giá sự gần đúng giữa hai vế của phương trình (3.34), nghĩa là cần đơn giản hóa (3.34) đến mức có thể giải bằng các phương pháp đã biết. Bản chất của cách thức tổng hợp ứng dụng phương pháp nội suy thực như chỉ ra ở trên là chuyển phương trình tổng hợp (3.34) về dạng có đối số thực:

$$W_{mm}^k(\delta) \cong F[W_1(\delta), \dots, W_k(\delta), K_1, \dots, K_k, W_1^{KD}(\delta), \dots, W_k^{KD}(\delta)], \quad (3.35)$$

hình thành quy luật phân bố các điểm nút nội suy δ_i , chẳng hạn theo luật phân bố đều (2.14), thiết lập và giải hệ phương trình đại số:

$$W_{mm}^k(\delta_i) = F[W_1(\delta_i), \dots, W_k(\delta_i), K_1, \dots, K_k, W_1^{KD}(\delta_i), \dots, W_k^{KD}(\delta_i)], i = \overline{1, \eta} \quad (3.36)$$

để xác định các hệ số hồi tiếp K_i và những hệ số chưa biết của các bộ điều chỉnh. Dưới đây, chúng ta sẽ xem xét khả năng ứng dụng phương pháp này đối với hệ thống điều khiển nhiều vòng theo hai cách nói trên.

3.4.1. Tổng hợp lần lượt từng vòng điều khiển

Trong trường hợp này, việc tổng hợp hệ thống điều khiển tự động nhiều vòng thực chất là tiến hành giải phương trình tổng hợp (3.34) đối với từng vòng lặp riêng biệt. Thủ tục chung giải bài toán này gồm ba công đoạn chính: *Thứ nhất*, xác định mô hình toán của phần không đổi $W_i^{KD}(s), i = \overline{1, k}$; *Thứ hai*, thiết lập các hàm truyền tham chiếu $W_i^M(s)$ mô tả chất lượng của quá trình quá độ trong vòng lặp thứ i ; *Thứ ba*, tính toán và hiệu chỉnh các hệ số của bộ điều chỉnh $W_i(s)$ theo thuật toán đã thiết lập trong mục 3.2.

Các hàm truyền của phần không đổi ($W_i^{KD}(s), i = \overline{1, k}$) có liên hệ với đối tượng điều khiển $W_{dt}(s)$. Để xác định chúng, trước hết các liên kết phản hồi được mở ra, các hệ số phản hồi $K_i (i = \overline{1, k})$ không được tính đến còn trạng thái ban đầu của mọi bộ điều chỉnh bằng 1 ($W_i(s) = 1, i = \overline{1, k}$). Sau đó, đặt lên hệ thống tín hiệu hình thang $x(t)$ và xác định tín hiệu phản ứng tương ứng ($y_i(t), i = \overline{1, k}$). Khi này, hàm truyền thực được xác định theo các dữ liệu nhận được:

$$W_{y_i x}(\delta) = \frac{\int_0^T y_i(t) \cdot \exp(-\delta t) dt}{\int_0^T x(t) \cdot \exp(-\delta t) dt} (i = \overline{1, k}), \quad (3.36)$$

với T là thời gian quan sát tín hiệu $y_i(t)$. Thời gian T phải không ít hơn thời gian quá độ trong mạch được xem xét. Thực tế, các hàm $y_i(t)$ và $x(t)$ được cho ở dạng bảng. Việc tính các tích phân trong (3.36) có thể được thực hiện bằng phương pháp số. Ở đây, hàm truyền thực của đối tượng điều khiển:

$$W_{dt}(\delta) = W_{y_k x}(\delta), \quad (3.37)$$

được biểu diễn bằng tích các hàm truyền của phần không đổi:

$$W_{dt}(\delta) = \prod_{i=1}^k W_i^{KD}(\delta). \quad (3.38)$$

Từ (3.37) và (3.38), chúng ta nhận được hệ thức liên hệ giữa các hàm truyền thực $W_i^{KD}(\delta)$ và $W_{y_i x}(\delta)$:

$$W_1^{KD}(\delta) = W_{y_1 x}(\delta); W_i^{KD}(\delta) = \frac{W_{y_i x}(\delta)}{W_{y_{i-1} x}(\delta)}, i = \overline{2, k}. \quad (3.39)$$

Dựa trên công thức (3.39), hàm truyền thực của phần không đổi trong mỗi vòng lặp $W_i^{KD}(\delta)$ sẽ được xác định dưới dạng:

$$W_i^{KD}(\delta) = \frac{b_p \delta^p + b_{p-1} \delta^{p-1} + \dots + b_1 \delta + b_0}{a_q \delta^q + a_{q-1} \delta^{q-1} + \dots + a_1 \delta + 1}, q \geq p, i = \overline{1, k}. \quad (3.40)$$

Bước tiếp theo là xác định hàm truyền mong muốn của hệ thống $W_{mm}^k(s)$ và của từng vòng lặp $W_i^M(s)$. Do chất lượng quá trình quá độ của hệ thống thể hiện không chỉ ở vòng lặp ngoài cùng $W_{mm}^k(s)$ mà còn ở các vòng lặp bên trong, nên khó khăn trong việc xác định hàm truyền mong muốn của mỗi vòng lặp $W_i^M(s)$. Vấn đề này có thể được giải quyết nhờ sử dụng đại lượng hằng số thời gian đã biết của phần không đổi tương ứng $W_i^{KD}(s)$. Hằng số thời gian T_i được lấy xấp xỉ bằng hệ số a_1 của hàm $W_i^{KD}(s)$ sau khi bỏ đi các thành phần có bậc lớn hơn hai. Sự phụ thuộc của thời gian quá độ trong vòng lặp thứ i (t_{qd}^i) vào hằng số thời gian cực đại T_i được biểu diễn bằng biểu thức [79,80]:

$$t_{qd}^i = 3 \cdot d \cdot T_i, \quad (3.41)$$

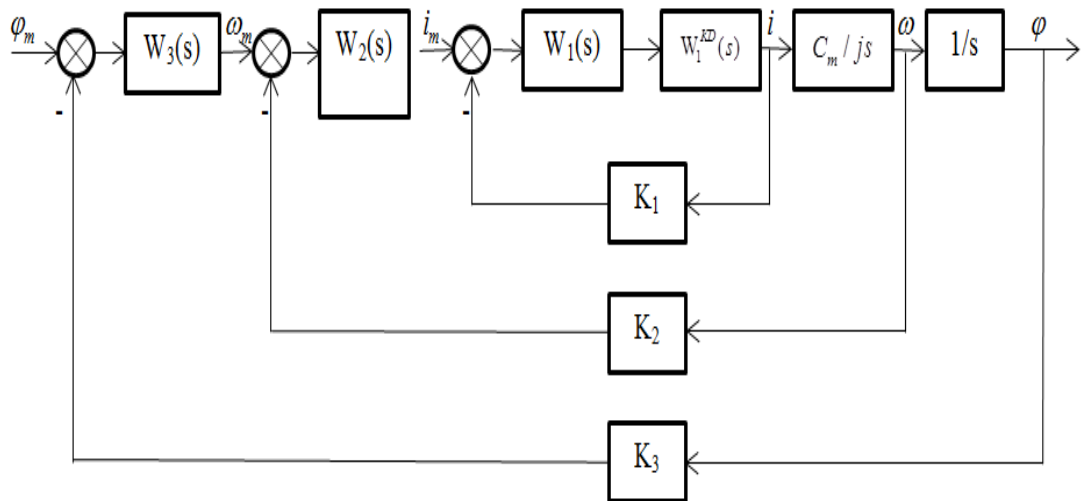
với: $d = 0,5 \div 10$ - tham số điều chỉnh được sử dụng để thay đổi thời gian quá độ t_{qd}^i khi thực hiện thủ tục lặp hiệu chỉnh tham số bộ điều chỉnh nhằm tối ưu hóa tính tác động nhanh của mạch [79,80]. Như vậy, biểu thức (3.41) cho phép đánh giá tính tác động nhanh của mạch được tổng hợp, còn độ quá chỉnh σ_i có thể được dùng như một tham số hiệu chỉnh. Cuối cùng, hàm truyền

mong muốn của mỗi vòng lặp được xác định theo (3.11) dựa trên thời gian quá độ t_{qd}^i , độ quá chỉnh σ_i tìm được.

Cuối cùng thực hiện tổng hợp các bộ điều chỉnh một cách tuần tự cho từng vòng lặp trên cơ sở giải phương trình (3.34) theo thuật toán đã dẫn ra trong mục 3.2. Lưu ý rằng, các hệ số hồi tiếp của mỗi vòng lặp K_i có thể nhận giá trị $K_i = 1/H_i$, còn các điểm nút δ phân bố đều, điểm nút đầu tiên có thể được xác định bằng biểu thức: $\delta_1 = 3,5/t_{qd}^i$ [79,80].

3.4.2. Tổng hợp đồng thời các vòng điều khiển

Để cụ thể, dưới đây xem xét khả năng ứng dụng phương pháp nội suy thực tổng hợp đồng thời các bộ điều chỉnh của hệ thống ba vòng điều khiển (hình 3.7), trong đó: $W_i^{KD}(s), i=1-3$ - Hàm truyền phần không đổi trong mỗi vòng lặp; $W_1(s), W_2(s), W_3(s), K_1, K_2, K_3$ - hàm truyền của các bộ điều chỉnh và hệ số hồi tiếp của mỗi vòng lặp.



Hình 3. 7. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống ba vòng điều khiển

Với sơ đồ hình 3.7, phương trình tổng hợp (3.34) được viết lại ở dạng tường minh đối với hệ kín:

$$W_{mm}^k(s) \cong \frac{W_3(s)W_{VTD}(s)W_3^{KD}(s)}{1 + K_{VT}W_3(s)W_{VTD}(s)W_3^{KD}(s)}, \quad (3.42)$$

với: $W_3^{KD}(s) = \frac{1}{s}$; còn $W_{VTD}(s)$ được xác định theo biểu thức:

$$W_{VTD}(s) = \frac{W_2(s)W_{VD}(s)W_2^{KD}(s)}{1 + K_2W_2(s)W_{VD}(s)W_2^{KD}(s)} \quad (W_{VD}(s) = \frac{W_1(s)W_1^{KD}(s)}{1 + K_1W_1(s)W_1^{KD}(s)}; W_2^{KD}(s) = \frac{C_m}{js}), \quad (3.43)$$

hoặc đối với hệ hở:

$$W_{mm}^h(s) \cong W_3(s)W_{VTD}(s)W_3^{KD}(s), \quad (3.44)$$

với: $W_{mm}^h(s)$ - hàm truyền mong muốn của hệ hở được xác định theo biểu thức:

$$W_{mm}^h(s) = \frac{W_{mm}^k(s)}{1 - K_{VT}W_{mm}^k(s)}, \quad (3.45)$$

Rõ ràng, việc giải phương trình tổng hợp (3.44) thay vì (3.42) sẽ làm giảm độ phức tạp của thuật toán và khối lượng tính toán. Thay thế biểu thức (3.43) vào (3.44), chúng ta nhận được phương trình tổng quát tổng hợp các bộ điều chỉnh của hệ thống:

$$W_{mm}^h(s) \cong \frac{W_3(s)W_2(s)W_1(s)W_1^{KD}(s)W_3^{KD}(s)W_2^{KD}(s)}{1 + K_1W_1(s)W_3^{KD}(s) + K_2W_2(s)W_1(s)W_1^{KD}(s)W_2^{KD}(s)}, \quad (3.46)$$

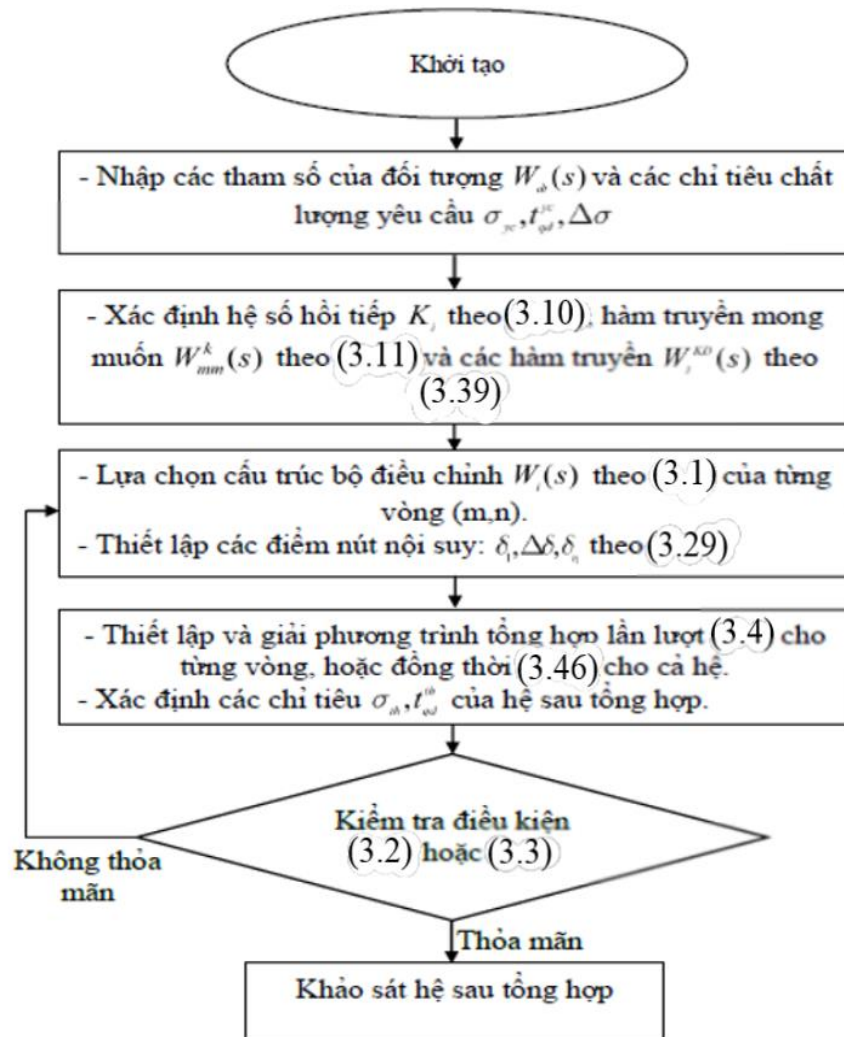
Các công đoạn cơ bản giải phương trình (3.46) bằng phương pháp nội suy thực không khác so với khi tổng hợp cho từng vòng lặp. Điểm khác là phương trình (3.46) có chứa nhiều hệ số cần tìm và các hệ số phi tuyến. Điều này làm cho việc giải nó có những khó khăn nhất định. Do đó trước tiên cần phải đơn giản hóa (3.46) đến mức có thể giải được bằng các phương pháp đã biết. Thủ tục đơn giản hoá (3.46) thường bắt đầu bằng việc loại bỏ các hệ số phản hồi nhờ các thông tin tiên nghiệm. Sau đó thiết lập các điều kiện sao cho một hay một số vòng lặp có thể được tổng hợp riêng. Tuy nhiên không có cách chung để đơn giản hóa phương trình (3.46) mà tùy thuộc vào từng bài toán cụ thể. Ngoài ra, cần phải thiết lập các điều

kiện bổ sung cho các hệ số cần tìm khi giải các phương trình phi tuyến. Các điều kiện này thường được xác định bởi kinh nghiệm của người thiết kế. Vì vậy phương án tổng hợp đồng thời chỉ được áp dụng trong một số trường hợp riêng.

3.5. Hiện thực hóa chương trình tổng hợp trên máy tính

3.5.1. Lưu đồ thuật toán chương trình

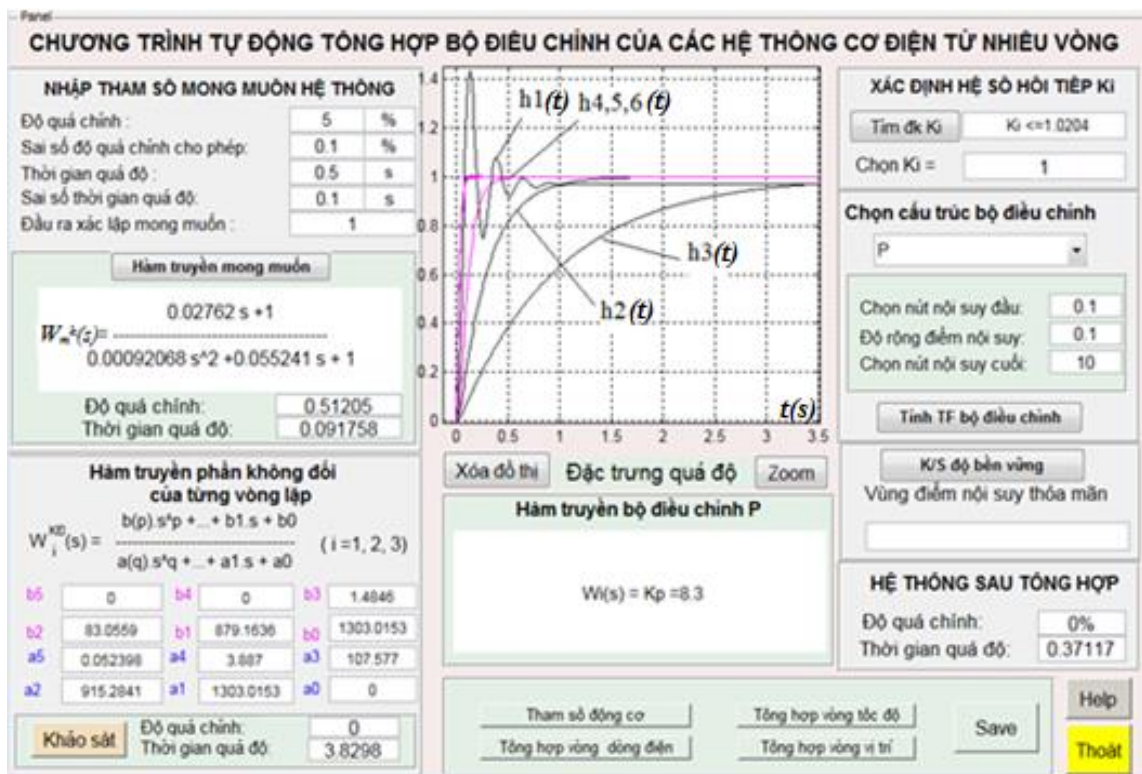
Từ những phân tích trên đây, lưu đồ thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh của các hệ thống điều khiển nhiều vòng bằng phương pháp nội suy thực được dẫn ra trên hình 3.8.



Hình 3.8. Lưu đồ thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh của hệ thống tự động nhiều vòng

3.5.2. Xây dựng chương trình tổng hợp

Để kiểm tra tính đúng đắn của thuật toán trên, dưới đây nghiên cứu sinh sẽ xây dựng chương trình tổng hợp cho hệ truyền động điện tự động gồm ba vòng điều khiển: dòng, tốc độ và vị trí sử dụng động cơ một chiều kích từ độc lập có các tham số: Công suất định mức động cơ điện $P = 200(W)$; điện áp phản ứng định mức $U_a = 110(V)$; điện áp kích từ định mức $U_f = 110(V)$; tốc độ định mức $n = 3000(v/p)$; dòng điện phản ứng định mức $I_a = 2.46(A)$; điện trở cuộn dây phản ứng $R_a = 0.726(\Omega)$; điện trở cuộn dây kích từ $R_f = 560(\Omega)$; mô men quán tính động cơ $J = 0.08(kg.m^2)$; hằng số thực nghiệm $C_x = 0.4$. Các tham số bộ biến đổi: điện áp ra $U_{dm} = 230(V)$, điện áp ra $U_{dk} = 10(V)$, tần số chuyển mạch $f = 500(Hz)$, điện trở tương đương mạch lực $R_{bd} = 0.06(\Omega)$. Giao diện chính của chương trình được chỉ ra trên hình 3.9.

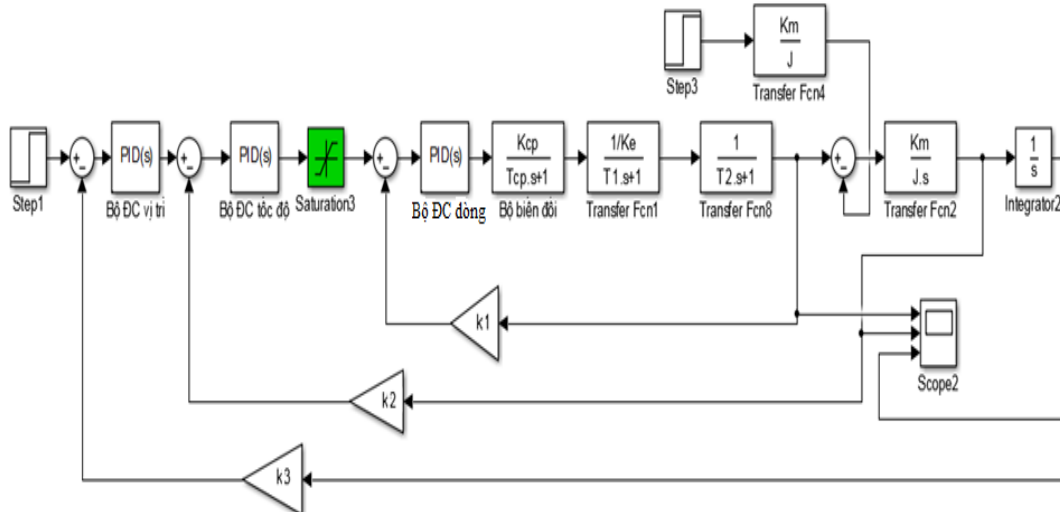


Hình 3.9. Giao diện chương trình tự động tổng hợp bộ điều chỉnh của hệ thống cơ điện tử nhiều vòng

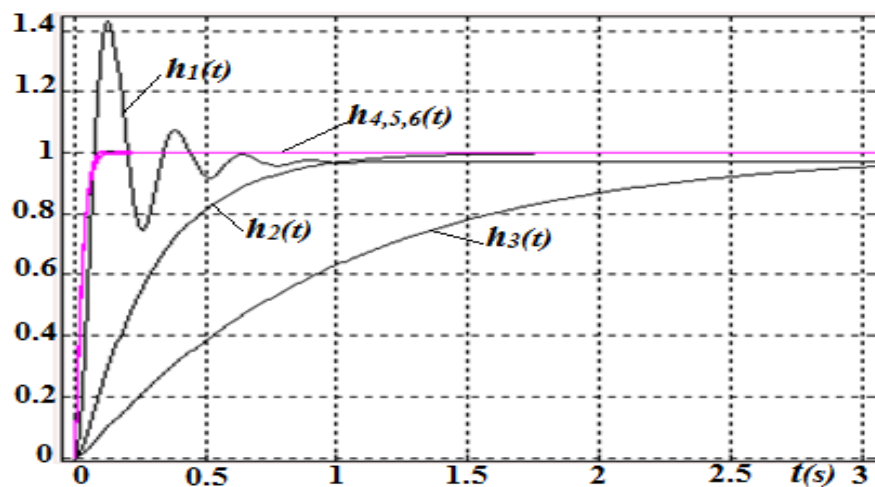
Kết quả tính toán các tham số của bộ điều chỉnh trong từng vòng dòng, tốc độ và vị trí được chỉ ra trong bảng 3.2, còn sơ đồ cấu trúc hệ thống sau tổng hợp và kết quả mô phỏng được chỉ ra tương ứng trên hình 3.10, 3.11.

Bảng 3. 2. Tham số của các bộ điều chỉnh sau tổng hợp

Vòng dòng điện	Vòng tốc độ	Vòng vị trí
$K_p = 0.74245$	$K_p = 11.1517$	$K_p = 8.3$
$K_i = 1.1402$	$K_i = 0$	$K_i = 0$
$K_d = 0.055204$	$K_d = 0.26241$	$K_d = 0$
$K_1 = 1$	$K_2 = 1$	$K_3 = 1$



Hình 3. 10. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống sau tổng hợp



Hình 3. 11. Các quá trình quá độ của hệ thống trước và sau tổng hợp

$(h_{1,2,3}(t)$ - đặc trưng quá độ vòng dòng (A), tốc độ(rad/s) và vị trí (rad) tương ứng của hệ thống trước khi tổng hợp; $h_{4,5,6}(t)$ - đặc trưng quá độ vòng dòng (A), tốc độ(rad/s) và góc quay (rad) tương ứng của hệ thống sau tổng hợp)

Từ việc phân tích các quá trình quá độ, chúng ta xác định được thời gian quá độ và độ quá chỉnh trong từng vòng lặp: vòng dòng: $t_{qd}^{th} = 0,01(s), \sigma_{th} = 12,9\%$; vòng tốc độ: $t_{qd}^{th} = 0,041(s), \sigma_{th} = 10,2\%$; vòng vị trí: $t_{qd}^{th} = 0,1(s), \sigma_{yc} = 0\%$. Như vậy, các bộ điều chỉnh nhận được đáp ứng các chỉ tiêu chất lượng yêu cầu của hệ thống (hình 3.11). Kết quả tính toán và mô phỏng cho thấy hiệu quả của thuật toán tổng hợp dựa trên phương pháp nội suy thực.

3.6. Kết luận chương 3

Trong chương 3, nghiên cứu sinh đã thực hiện các nội dung: Thiết lập phương trình và thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh của các hệ thống điều khiển tự động nhiều vòng theo phương pháp nội suy thực; Khảo sát các cách hiệu chỉnh tham số bộ điều chỉnh sao cho hệ thống được tổng hợp đáp ứng các chỉ tiêu chất lượng cho trước; Xây dựng chương trình tự động tổng hợp, kiểm chứng tính xác thực thuật toán đã đề xuất cho một hệ thống cụ thể.

Chương 4

XÂY DỰNG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN HAI ĐỘNG CƠ CÓ CHỨA BĂNG TẢI ĐÀN HỒI DẠNG VÒNG KÍN

4.1. Tổng hợp hệ thống điều khiển

Trong phần này, nghiên cứu sinh sẽ thực hiện tính toán các bộ điều chỉnh cho hệ truyền động điện tự động hai động cơ có chứa băng tải đàn hồi dạng vòng kín có sơ đồ cấu trúc như trên hình 1.11 dựa trên thuật toán tổng hợp đã chỉ ra trong chương 3. Hệ thống điều khiển cho mỗi động cơ sẽ gồm hai vòng điều khiển: từ thông và tốc độ. Vòng điều khiển từ thông gồm vòng lặp dòng và vòng lặp từ thông, còn vòng điều khiển tốc độ gồm vòng lặp dòng và vòng lặp tốc độ, trong đó vận tốc dài của băng tải được lấy ra tại đầu trục động cơ được đưa vào mạch hồi tiếp.

4.1.1. Tổng hợp vòng điều khiển từ thông

1. Vòng lặp dòng điện

Dựa trên sơ đồ hình 1.11, phương trình tổng hợp của vòng lặp dòng sẽ có dạng:

$$W_{mI_d}^k(s) \cong \frac{W_{dcI_d}^1(s) \cdot \frac{K_{inv}}{T_{inv}s+1} \cdot \frac{1/R_3}{T_3s+1}}{1 + k_d \cdot W_{dcI_d}^1(s) \cdot \frac{K_{inv}}{T_{inv}s+1} \cdot \frac{1/R_3}{T_3s+1}}, \quad (4.1)$$

với: K_{inv}, T_{inv} - các tham số của biến tần; k_d - Hệ số hồi tiếp của vòng lặp dòng;

$R_3 = R_1 + R_2' \frac{L_m^2}{L_2^2}$, trong đó: R_1 - Điện trở của mạch Stato; L_m - Điện cảm tổng

được tạo nên bởi từ thông trong khe hở của động cơ; L_2 - Điện cảm tương đương của cuộn dây Roto; R_2' - Điện trở quy đổi về Stato của mạch Roto;

$T_3 = \frac{\sigma L_1}{R_3}$, trong đó: σ - Hệ số tản toàn phần; L_1 - Điện cảm tương đương của cuộn dây Stator; $W_{dcl_d}^1(s)$ - Bộ điều chỉnh dòng điện (Chỉ số “1” biểu diễn kênh điều khiển cho động cơ thứ nhất); $W_{mI_d}^k(s)$ - hàm truyền đạt mong muốn của vòng dòng điện.

Để cụ thể, dưới đây chúng ta sẽ thực hiện giải phương trình tổng hợp (4.1) khi dùng động cơ không đồng bộ rô to lồng sóc có các tham số: $L_1 = 0.3135(H)$; $L_2 = 0.3178(H)$; $\sigma = 0.0903$; $L_m = 0.301(H)$; $R_3 = 6.602(\Omega)$; $T_3 = 0.00429(s)$; $T_2 = 0.09287(s)$; $z_p = 2$; $J_s = 0.033$ và biến tần có tham số: điện áp ra $U_{dm} = 230(V)$, điện áp điều khiển $U_{dk} = 10(V)$, tần số chuyển mạch $f = 500(Hz)$, $K_{inv} = 31.1$; $T_{inv} = 0.625 \cdot 10^{-4}(s)$.

Để tính các tham số của bộ điều chỉnh dòng điện $W_{dcl_d}^1(s)$, trước tiên dựa trên các chỉ tiêu chất lượng mong muốn cho trước của vòng dòng điện: $\sigma_{yc} = 4\%$; $t_{qd}^{yc} = 0.08(s)$; $H_\infty = 1$, hàm truyền đạt mong muốn $W_{mI_d}^k(s)$ được tính bằng một trong các cách đã nêu trong mục 3.2.2, chẳng hạn theo công thức (3.11) sẽ có dạng:

$$W_{mI_d}^k(s) = \frac{0.012s + 1}{2.4 \cdot 10^{-4}s^2 + 2.4 \cdot 10^{-2}s + 1}. \quad (4.2)$$

Hệ số hồi tiếp mạch dòng k_d được chọn từ điều kiện (3.10): $k_d = 1$. Khi này, với bộ điều chỉnh dòng có dạng PI:

$$W_{dcl_d}^1(s) = K_p^d + \frac{K_I^d}{s}, \quad (4.3)$$

hệ thức (4.1) có dạng tường minh:

$$\frac{0.012s + 1}{2.4 \cdot 10^{-4}s^2 + 2.4 \cdot 10^{-2}s + 1} \cong \frac{\frac{K_p^d \cdot s + K_I^d}{s} \cdot \frac{31.1}{0.625 \cdot 10^{-4}s + 1} \cdot \frac{0.15}{4.29 \cdot 10^{-3}s + 1}}{1 + \frac{K_p^d \cdot s + K_I^d}{s} \cdot \frac{31.1}{0.625 \cdot 10^{-4}s + 1} \cdot \frac{0.15}{4.29 \cdot 10^{-3}s + 1}} \quad (4.4)$$

Trong (4.4) có hai hệ số cần tìm: K_p^d, K_I^d , vì vậy cần chọn hai điểm nút nội suy (δ_1, δ_2) để đảm bảo phương trình có nghiệm duy nhất. Để thực hiện phép lặp, khoảng nội suy được chọn: $\delta \in [0.1 - 2]$, còn bước nội suy: $\Delta\delta = 0.1$. Kết quả tính toán nhận được bộ điều chỉnh:

$$W_{dcI_d}^1(s) = \frac{-0.044s + 11.87}{s} \quad (4.5)$$

và các chỉ tiêu chất lượng được dẫn ra trong bảng 4.1, còn các quá trình quá độ được chỉ ra trên hình 4.4.

Bảng 4. 1. Kết quả tổng hợp vòng lặp dòng điện

Vòng lặp	Khoảng nội suy	Bộ điều chỉnh	Đánh giá chất lượng					
			Tham số mong muốn			Tham số tổng hợp		
			$\sigma_{yc} \%$	$t_{qd}^{yc}(s)$	H_∞	$\sigma_{th} \%$	$t_{qd}^{th}(s)$	H_∞
Dòng điện	$[0.1 - 2]$	$\frac{-0.044s + 11.87}{s}$	4	0.08	1	1.48	0.036	1

2. Vòng lặp từ thông

Phương trình tổng hợp của vòng này có chứa vòng lặp dòng, được biểu diễn bằng hệ thức:

$$W_{m\phi_d}^k(s) \cong \frac{W_{dc\phi_d}^1(s)W_{vd}(s) \cdot \frac{L_m}{T_2s + 1}}{1 + k_\phi \cdot W_{dc\phi_d}^1(s)W_{vd}(s) \cdot \frac{L_m}{T_2s + 1}} \quad (4.6)$$

với: $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$; $W_{dc\phi_d}^1(s)$ - bộ điều chỉnh từ thông, còn hàm truyền đạt của vòng

lặp dòng với bộ điều chỉnh (4.5) được xác định theo biểu thức:

$$W_{vd}(s) = \frac{\frac{-0.044s + 11.87}{s} \cdot \frac{31.1}{0.625 \cdot 10^{-4}s + 1} \cdot \frac{0.15}{4.29 \cdot 10^{-3}s + 1}}{1 + \frac{-0.044s + 11.87}{s} \cdot \frac{31.1}{0.625 \cdot 10^{-4}s + 1} \cdot \frac{0.15}{4.29 \cdot 10^{-3}s + 1}} \quad (4.7)$$

Hàm truyền đạt mong muốn $W_{m\phi_d}^k(s)$ với các tham số yêu cầu cho trước:

$\sigma_{yc} = 4\%$; $t_{qd}^{yc} = 0.15(s)$; $H_\infty = 1$ sẽ có dạng:

$$W_{m\phi_d}^k(s) = \frac{0.022s + 1}{8 \cdot 10^{-4}s^2 + 0.044s + 1}. \quad (4.8)$$

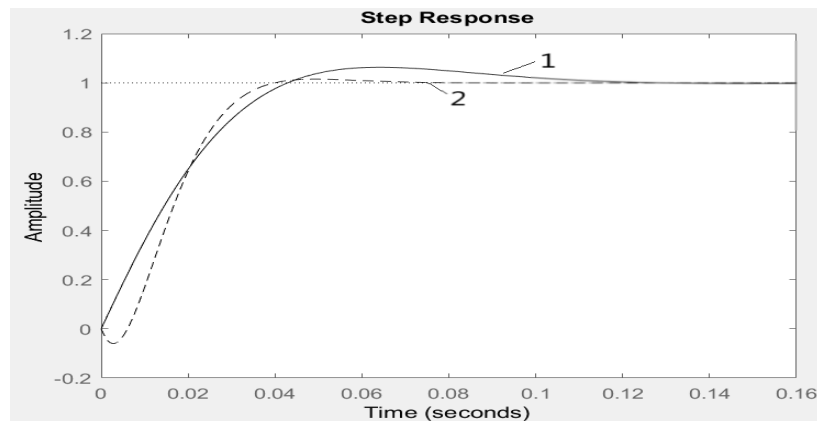
Thực hiện giải phương trình tổng hợp (4.6) theo cách như tổng hợp vòng dòng điện với: khoảng nội suy: $\delta \in [0.1 - 2]$; bước nội suy: $\Delta\delta = 0.1$; hệ số hồi tiếp: $k_\phi = 1$, chúng ta nhận được bộ điều chỉnh từ thông dạng PI:

$$W_{dc\phi_d}^1(s) = \frac{7.29s + 85.73}{s}, \quad (4.9)$$

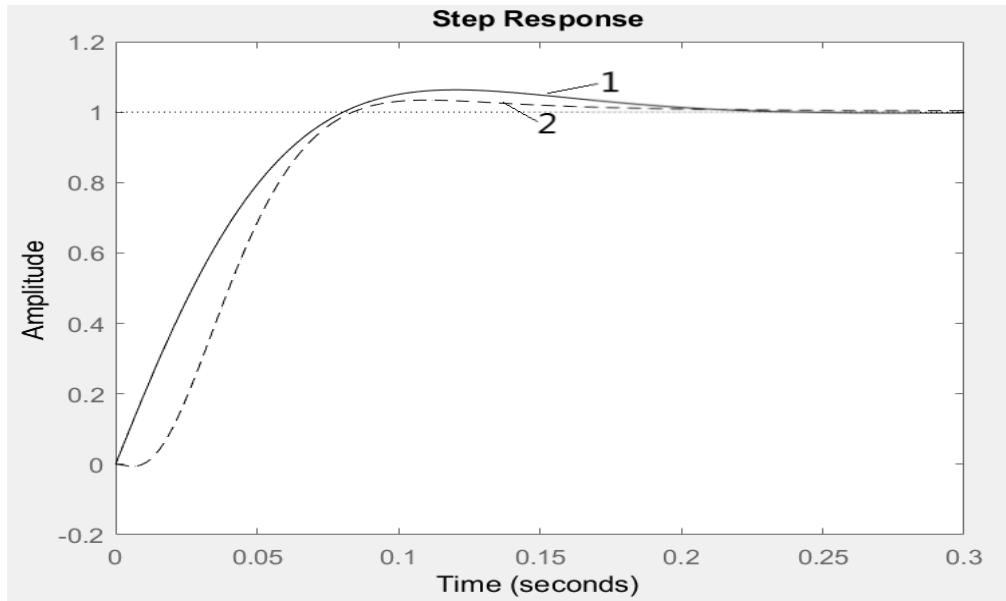
và các chỉ tiêu chất lượng của hệ sau tổng hợp được liệt kê trong bảng 4.2, còn quá trình quá độ được biểu diễn trên hình 4.5.

Bảng 4. 2. Kết quả tổng hợp vòng điều khiển từ thông

Vòng lặp	Khoảng nội suy	Bộ điều chỉnh	Đánh giá chất lượng hệ thống					
			Tham số mong muốn			Tham số tổng hợp		
			$\sigma_{yc} \%$	$t_{qd}^{yc}(s)$	H_∞	$\sigma_{th} \%$	$t_{qd}^{th}(s)$	H_∞
Từ thông	$[0.1 - 2]$	$\frac{7.29s + 85.73}{s}$	4	0.15	1	3.4	0.15	1



Hình 4. 1. Các quá trình quá độ của mạch dòng: 1- mong muốn; 2- tổng hợp



Hình 4. 2. Quá trình quá độ của vòng từ thông: 1- mong muốn; 2- tổng hợp

4.1.2. Tổng hợp vòng điều khiển tốc độ

Với sơ đồ cấu trúc trên hình 1.11, vòng điều khiển tốc độ có ba vòng lặp riêng biệt lồng nhau: dòng điện, tốc độ. Vòng lặp dòng được tổng hợp như trong kênh điều khiển từ thông. ở đây chúng ta sẽ xem xét việc tổng hợp vòng điều khiển tốc độ.

Trong vòng điều khiển tốc độ có mặt băng tải đàn hồi ($W_{dt}^*(s)$). Khi:

$$q = \frac{1}{2a} = 7, \quad \lambda = 1 - 2x_2 / l = 0,4, \quad \mu_1 = \frac{m_1}{m_k} = 11, \quad \mu_2 = \frac{m_2}{m_k} = 0, \quad \rho = 1; R = 1; i = 4,$$

hàm truyền đạt mô tả băng tải (1.11) sẽ có dạng:

$$W_{dt}^*(s) = \frac{14ch(s)}{sh(s) + 22s.ch(s)}. \quad (4.10)$$

Dựa trên sơ đồ cấu trúc hình 1.11, chúng ta thiết lập được phương trình tổng hợp vòng điều khiển tốc độ có chứa băng tải đàn hồi:

$$W_{m\omega}^k(s) \cong \frac{W_{dc\omega}^1(s).W_{vd}(s).\frac{3L_m}{2L_2}.\frac{i}{R_1\rho}W_{dt}^*(s).\frac{1}{iR_1}}{1 + k_\omega.W_{dc\omega}^1(s)W_{vd}(s).\frac{3L_m}{2L_2}.\frac{i}{R_1\rho}W_{dt}^*(s).\frac{1}{iR_1}}, \quad (4.11)$$

với: $W_{m\omega}^k(s)$ - hàm truyền đạt mong muốn của vòng tốc độ; $W_{dc\omega}^1(s)$ - hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh tốc độ; $W_{vd}(s)$ - hàm truyền đạt của vòng dòng có dạng (4.7); $W_{m\omega}^k(s)$ - hàm truyền đạt mong muốn của vòng tốc độ, với các tham số yêu cầu cho trước: $\sigma_{yc} = 4\%$; $t_{qd}^{yc} = 0.5(s)$; $H_{\infty} = 3$, sẽ có dạng:

$$W_{m\omega}^k(s) = \frac{0.2265s + 3}{9.56 \cdot 10^{-3}s^2 + 0.15s + 1}. \quad (4.12)$$

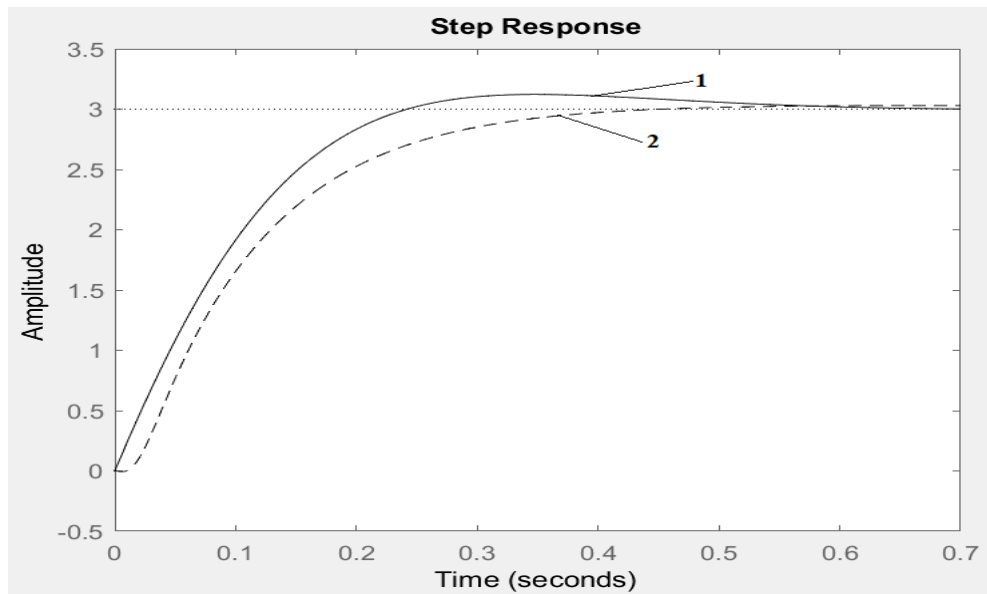
Thực hiện giải phương trình tổng hợp (4.11) theo cách như tổng hợp vòng dòng điện với: khoảng nội suy: $\delta \in [0.1 - 2]$; bước nội suy: $\Delta\delta = 0.01$; hệ số hồi tiếp: $k_{\omega} = 1$, chúng ta nhận được bộ điều chỉnh tốc độ dạng PI:

$$W_{dc\omega}^1(s) = \frac{55.79s + 8.68}{s}, \quad (4.13)$$

và các chỉ tiêu chất lượng của hệ sau tổng hợp được liệt kê trong bảng 4.3, còn quá trình quá độ được biểu diễn trên hình 4.6.

Bảng 4.3. Kết quả tổng hợp vòng điều khiển tốc độ

Vòng lặp	Khoảng nội suy	Bộ điều chỉnh	Đánh giá chất lượng hệ thống					
			Tham số mong muốn			Tham số tổng hợp		
			$\sigma_{yc} \%$	$t_{qd}^{yc}(s)$	H_{∞}	$\sigma_{th} \%$	$t_{qd}^{th}(s)$	H_{∞}
Tốc độ	$[0.1 - 2]$	$\frac{55.79s + 8.68}{s}$	4	0.5	3	1	0.36	3



Hình 4. 3. *Quá trình quá độ của vòng điều khiển tốc độ: 1- mong muốn; 2- tổng hợp*

4.2. Mô phỏng, đánh giá hệ thống điều khiển sau tổng hợp

Dưới đây, nghiên cứu sinh tiến hành xây dựng chương trình trên Matlab tự động tổng hợp các bộ điều chỉnh cho hệ truyền động điện hai động cơ chủ động có chứa băng tải đàn hồi (hình 1.11). Toàn bộ code chương trình được dẫn ra trong Phụ lục II. Giao diện chương trình chính được chỉ ra trên hình 4.4, gồm các khối chức năng sau:

1. Module “Hàm truyền đối tượng”, cho phép nhập các tham số, tính toán và hiển thị hàm truyền đạt tương ứng của động cơ, biến tần và băng tải đàn hồi.

2. Module “Chỉ tiêu chất lượng của hệ thống”, cho phép nhập các chỉ tiêu chất lượng yêu cầu của từng vòng điều khiển gồm thời gian quá độ, độ quá chỉnh, sai số quá chỉnh, sai số xác lập. Khi ấn nút “xác nhận”, chương trình sẽ tự động tính toán và hiển thị ra các hàm truyền kín mong muốn của từng vòng điều chỉnh dòng điện, tốc độ và vị trí theo công thức (3.11).

3. Module “Tổng hợp các vòng điều khiển”, thực hiện chọn cấu trúc bộ điều chỉnh, khoảng nội suy và tính toán tham số của các bộ điều khiển, đồng

thời đánh giá và hiển thị chỉ tiêu chất lượng của từng vòng: dòng điện, từ thông, tốc độ và vị trí của hệ thống.

4. Module “*Chất lượng hệ thống tổng hợp*”, để hiển thị chỉ tiêu chất lượng và đặc trưng quá độ của từng vòng điều khiển tương ứng.

Để đánh giá các chỉ tiêu chất lượng của hệ thống sau tổng hợp, chúng ta sử dụng một trong những mô hình xấp xỉ của hàm (1.11) nhận được theo thuật toán đã dẫn ra trong chương 2, được biểu diễn bằng biểu thức:

$$W_e(s) \cong \frac{0.03529s^4 - 2.55 \cdot 10^{-6}s^3 + 0.2704s^2 - 3.299 \cdot 10^{-8}s + 0.298}{0.1122s^5 + 0.8735s^3 + s} \quad (4.14)$$

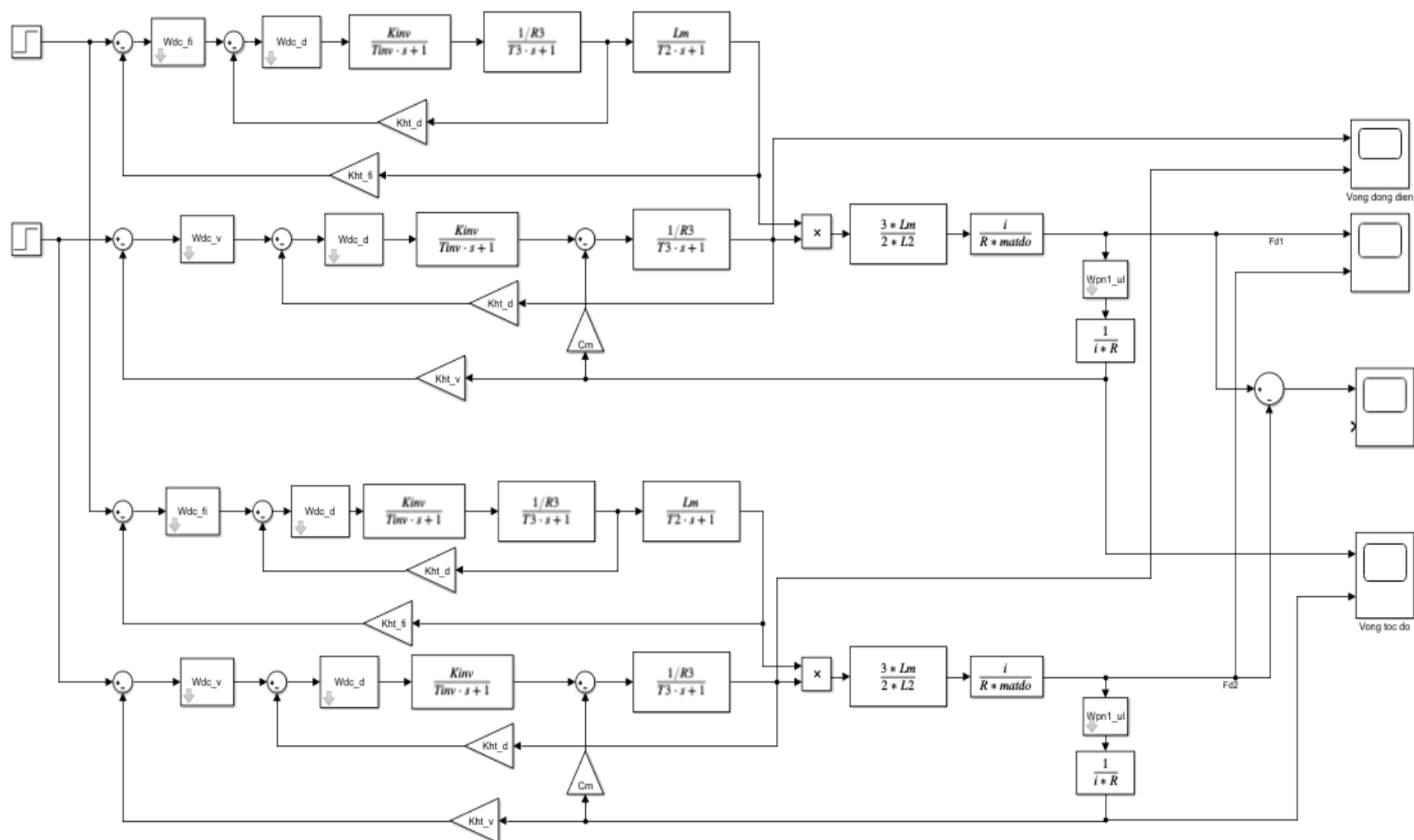
Sơ đồ cấu trúc mô phỏng hệ thống sau tổng hợp trên Simulink được chỉ ra trên hình 4.5, các quá trình quá độ trong các vòng điều khiển dòng điện, từ thông, tốc độ được chỉ ra trên hình 4.6, 4.7 tương ứng, còn dạng đồ thị biểu diễn sự biến thiên lực căng và độ sai lệch lực căng trên hai trục động cơ, được chỉ ra trên hình 4.8, 4.9.

Các kết quả tính toán nhận được như sau: Thời gian quá độ và độ quá chỉnh trong từng vòng lặp: dòng: $t_{qd}^{vd} = 0.036(s), \sigma_{vd} = 1.48\%$; từ thông: $t_{qd}^{\Phi} = 0.15(s), \sigma_{\Phi} = 3.4\%$; tốc độ: $t_{qd}^{td} = 0.36(s), \sigma_{td} = 1\%$. Điều này cho thấy, bộ điều chỉnh nhận được đáp ứng các chỉ tiêu chất lượng cho trước của từng vòng lặp trong hệ thống.

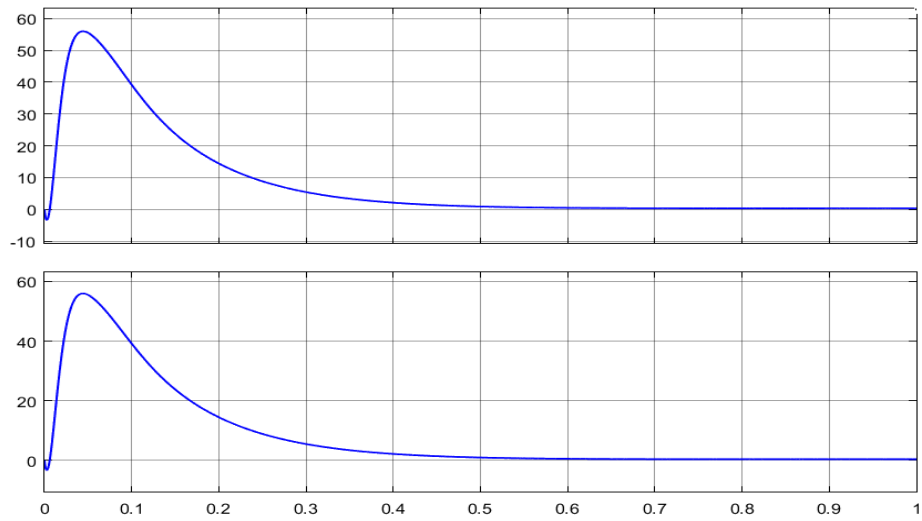
Đồ thị trên hình 4.8, 4.9 cho thấy: sự biến thiên lực căng của băng tải tại hai trục động cơ đồng bộ nhau và sai lệch lực căng trên hai trục động cơ do sai lệch tốc độ của các động cơ gây ra hầu như không có. Kết quả tính toán và mô phỏng cho thấy tính xác thực của phương pháp tổng hợp đề xuất, nó cho phép thao tác trực tiếp với mô hình gốc mô tả băng tải (1.11) mà không gặp khó khăn đáng kể nào.



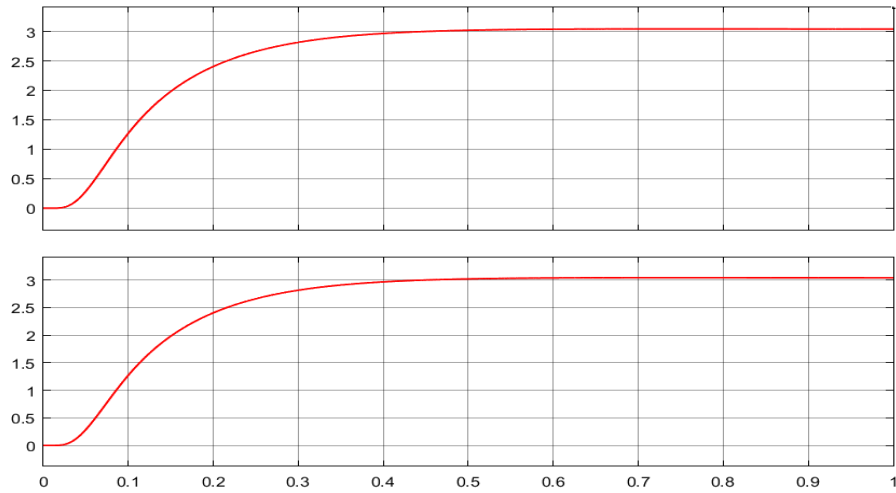
Hình 4. 4. Giao diện chương trình tự động tổng hợp hệ truyền động điện có chứa băng tải đàn hồi



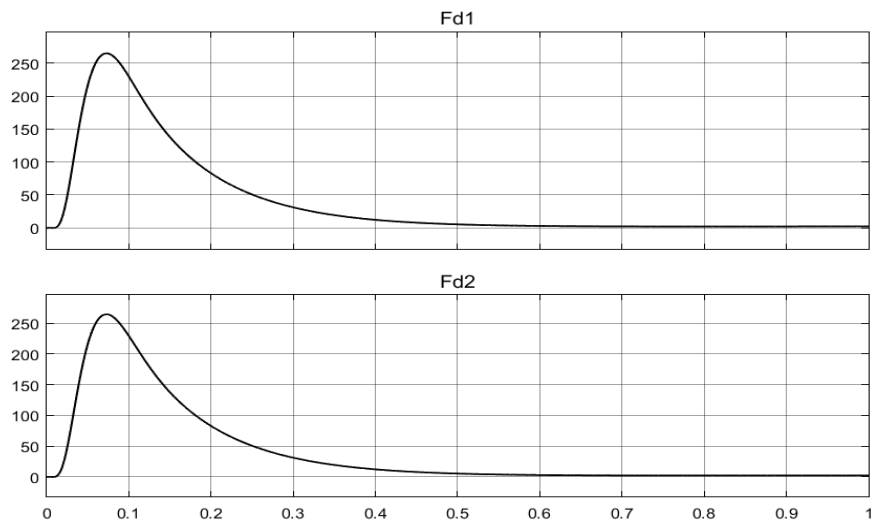
Hình 4. 5. Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động điện hai động cơ chủ động liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi



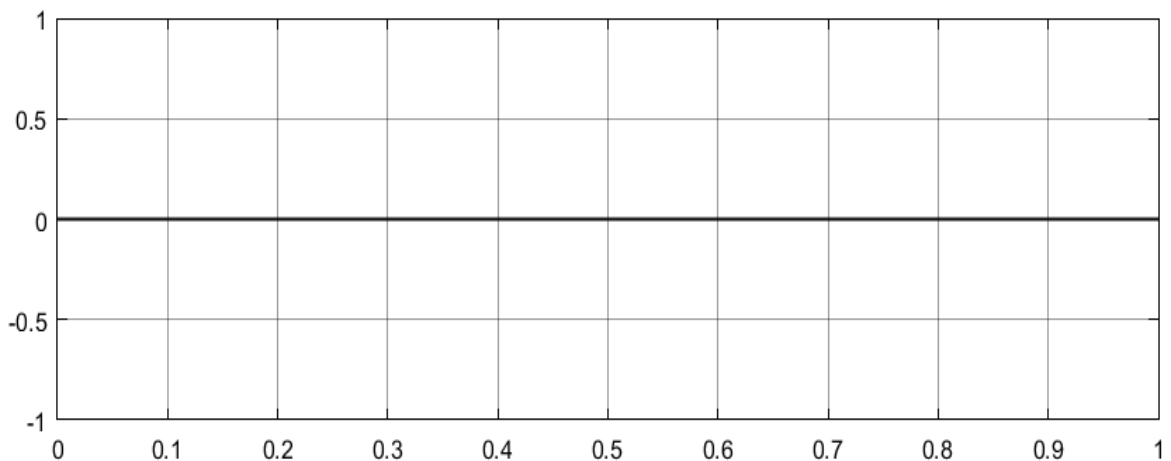
Hình 4. 6. Quá trình quá độ vòng dòng điện



Hình 4.7. Quá trình quá độ vòng tốc độ



Hình 4. 8. Biểu diễn lực căng của băng tải tại đầu trục hai trục động cơ



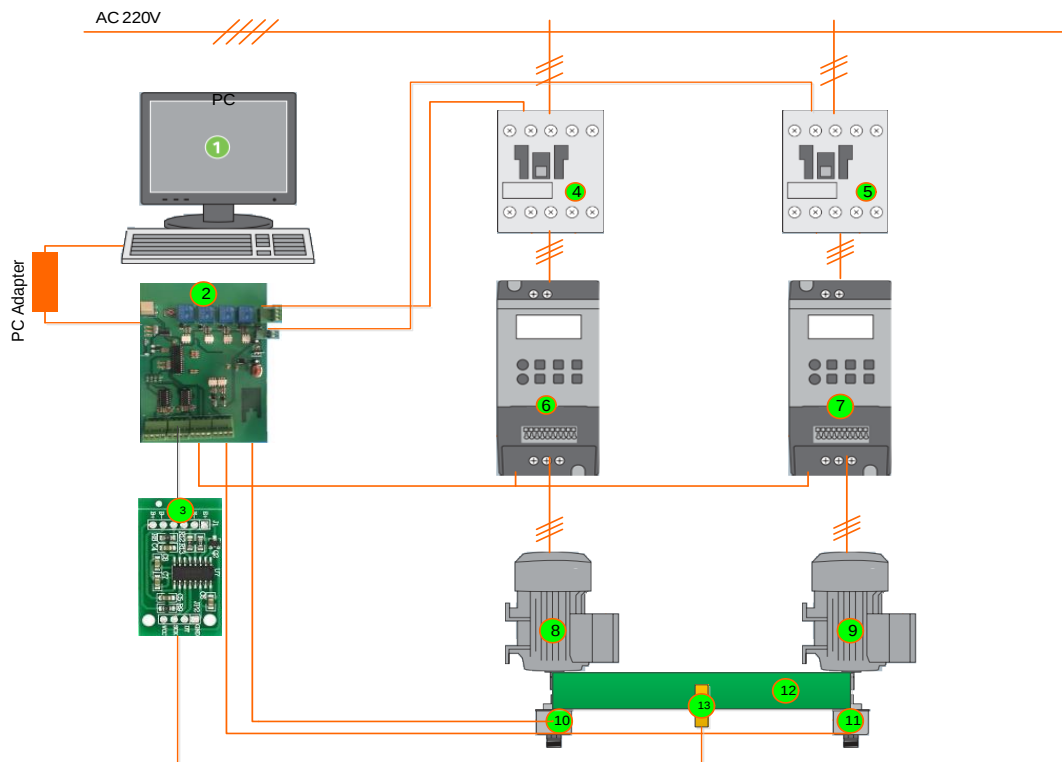
Hình 4.9. Sai lệch lực căng của băng tải giữa hai trục động cơ

4.3. Xây dựng mô hình thực nghiệm hệ truyền động điện hai động cơ có chứa băng tải đàn hồi

Việc xây dựng mô hình thực nghiệm được thực hiện trong khuôn khổ của đề tài: “Xây dựng hệ thống truyền động điện tự động nhiều động cơ chủ động được liên kết với nhau bởi các phần tử đàn hồi” với Mã số: DTT2018-03-B, theo hợp đồng Số: 70/HĐ-SKHCN ngày 23/8/2019 với Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Đồng Nai, đã được nghiệm thu 5/2021.

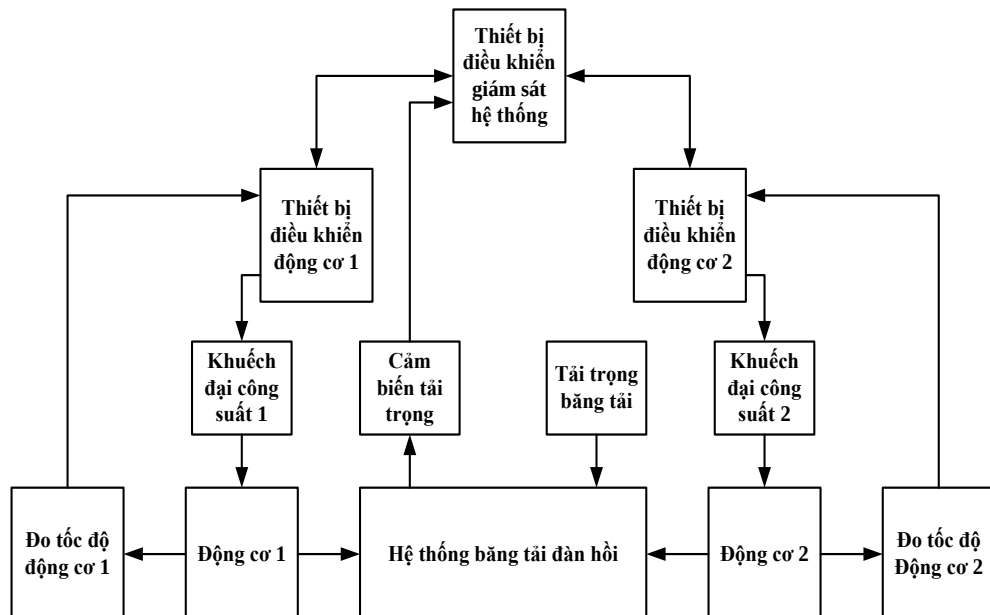
4.3.1. Sơ đồ chức năng của hệ thống

Mô hình cấu trúc tổng quát của hệ truyền động hai động cơ không đồng bộ liên thuộc nhau bởi băng tải đàn hồi, được chỉ ra trên hình 4.10, bao gồm các thành phần chính: Máy tính (1); Bo mạch chính (2); Công tắc tơ (4,5); Mạch xử lý và khuếch đại tín hiệu loadcell (3); Biến tần (6,7); Động cơ (8, 9) kèm hộp giảm tốc; Encoder (10, 11); Băng tải (12); Cảm biến lực căng loadcell (13).



Hình 4.10. Mô hình tổng quát hệ truyền động hai động cơ có băng tải đàn hồi

Sơ đồ chức năng hệ thống điều khiển tương ứng với cấu trúc trên hình 4.10 được chỉ ra trên hình 4.11, bao gồm:



Hình 4.11. Sơ đồ chức năng hệ thống điều khiển giám sát hệ truyền động băng tải với hai động cơ liên kết đàn hồi

- *Hệ thống băng tải đàn hồi*: có dạng tang quán sử dụng vật liệu đàn hồi và được truyền động bằng hai động cơ chủ động. Vật liệu sử dụng làm băng tải có kết cấu đàn hồi với hệ số đàn hồi phụ thuộc từng loại vật liệu. Thông thường sử dụng các loại vật liệu dạng sợi vải kết hợp cao su.

- *Tải trọng băng tải*: Khối này dùng để thay đổi tải trọng của băng tải trong quá trình hoạt động. Để thực hiện thay đổi tải có thể đặt thêm các vật nặng lên bề mặt của băng tải, hoặc tạo các lực nén cưỡng bức xuống bề mặt băng tải. Do băng tải liên tục chuyển động cho nên thay đổi tải trọng sử dụng thiết bị tạo lực nén xuống bề mặt băng tải sẽ thuận tiện hơn.

- *Cảm biến tải trọng*: Khối này dùng để đo lường tải trọng đặt lên bề mặt băng tải và đưa về thiết bị điều khiển và giám sát để hiển thị độ lớn của tải trọng phục vụ cho bảo toán ổn định và đồng bộ tốc độ 2 động cơ trong hệ thống băng tải đàn hồi.

- *Động cơ 1, 2*: Đây là các động cơ xoay chiều không đồng bộ 3 pha rôto lồng sóc có trục đầu ra được ghép nối với các tang quán của hệ thống băng tải. Động cơ ghép nối thông qua hộp giảm tốc, thông thường chọn loại động cơ đã có hộp giảm tốc.

- *Đo tốc độ động cơ 1, 2*: Các khối này có nhiệm vụ đo lường tốc độ tức thời của trục động cơ trước hộp giảm tốc đưa về các Bộ điều khiển động cơ 1 và Bộ điều khiển động cơ 2 tương ứng để làm tín hiệu phản hồi phục vụ cho bài toán điều khiển và đồng bộ tốc độ hai động cơ truyền động băng tải.

- *Khuếch đại công suất 1, 2*: Các khối này có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu điều khiển để điều khiển tốc độ các động cơ 1 và 2 tương ứng. Các khối khuếch đại công suất đối với động cơ xoay chiều thường sử dụng biến tần.

- *Thiết bị điều khiển động cơ 1, 2*: Hai khối này dùng để điều khiển và ổn định tốc độ của từng động cơ tương ứng theo lệnh điều khiển chúng từ khối điều khiển và giám sát hệ thống. Các thiết bị điều khiển động cơ có thể thực

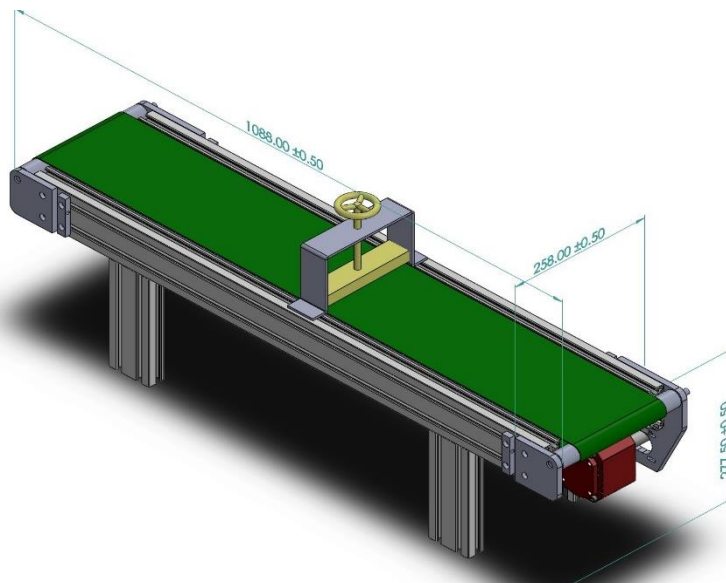
hiện trên cơ sở các vi điều khiển chuyên dụng, các vi xử lý hoặc các thiết bị logic khả lập trình. Đối với các hệ thống trong công nghiệp nói chung và hệ truyền động băng tải đàn hồi nói riêng, thường sử dụng các thiết bị logic khả lập trình để điều khiển, cụ thể là các thiết bị PLC. Các thiết bị này được chế tạo đảm bảo cho môi trường làm việc trong công nghiệp.

- *Thiết bị điều khiển giám sát hệ thống*: Đây là khối điều khiển trung tâm có nhiệm vụ điều khiển ổn định và đồng bộ tốc độ các động cơ trong hệ truyền động băng tải đàn hồi. Tín hiệu tốc độ đặt sẽ được thực hiện theo phương pháp điều khiển nối tiếp hoặc điều khiển song song cho hai động cơ, khi đó mỗi bộ điều khiển của từng động cơ sẽ nhận được một tốc độ theo tỷ lệ nào đó tương ứng với tỷ lệ đồng bộ tốc độ của toàn bộ hệ thống.

4.3.2. Thiết kế phần cứng hệ thống

Các linh kiện phần cứng được dùng để thiết kế mô hình thực nghiệm bao gồm:

1. *Mô hình phần cơ hệ truyền động điện băng tải*: được chọn với kích thước: Dài: 1088.00 ± 0.50 mm; Rộng: 258.00 ± 0.50 mm; Cao: 277.50 ± 0.50 mm, như chỉ ra trên hình 4.12.



Hình 4.12. Mô hình phần cơ hệ truyền động băng tải

2. *Động cơ chấp hành*: ở đây sử dụng động cơ không đồng bộ ba pha roto lồng sóc, với tham số cho trong bảng 4.4. So với các loại động cơ khác, động cơ roto lồng sóc có cấu tạo đơn giản, hoạt động tin cậy. Hệ thống truyền sử dụng hệ thống biến tần – động cơ xoay chiều đã đạt được đặc tính gần giống như động cơ một chiều, ngoài ra hệ thống biến tần – động cơ xoay chiều còn đạt được nhiều tính năng như tự ổn định tốc độ và momen khi tải thay đổi và có khả năng bảo vệ sự cố cho động cơ.

Bảng 4.4. Thông số động cơ không đồng bộ

Kiểu	Công suất	Điện áp	Số cực	Dòng điện	Tiêu chuẩn	Khối lượng
GH-28	0,55Kw	220/380V 50Hz	4	2,01-1,16A	IP 55	13Kg

3. *Biến tần*. Đề tài lựa chọn biến tần G120 của Siemen, gồm ba khối chính: Khối nguồn PM 240-2 có công suất 0,75kW, Module điều khiển CU240E – 2 và Màn hình BOP-2 là thiết bị đầu vào và hiển thị cơ bản, được sử dụng để vận hành và cài đặt tham số cho biến tần khi được kết nối với module điều khiển (ở đây là CU240E-2).

4. *Phản hồi tốc độ Encoder*: Trên cơ sở phân tích ưu nhược điểm của các loại Encoder, đề tài lựa chọn Encoder E6B2 – CWZ6C là loại tương đối có thông số như trong bảng 4.5:

Bảng 4.5. Các thông số của Encoder E6B2 – CWZ6C

STT	Tham số	Giá trị
1	Điện áp sử dụng	5~24VDC.
2	Dòng tiêu thụ	max 80mA
3	Số xung	600 xung /1 vòng (600 p/r)
4	Số kênh xung	3 kênh xung riêng biệt A, B, Z.

5	Tần số đáp ứng tối đa	100Khz
6	Dạng ngõ ra xung	NPN cực thu hở
7	Đường kính trục	6mm
8	Đường kính thân	40mm

5. Thiết bị điều khiển S7-300 và giám sát HMI

a, Thiết bị điều khiển S7 – 300: Programmable Logic Controllers (PLC)

S7 - 300 là 1 dòng PLC mạnh của Siemens, S7-300 phù hợp cho các ứng dụng lớn và vừa với các yêu cầu cao về các chức năng đặc biệt như truyền thông mạng công nghiệp, chức năng công nghệ, và các chức năng an toàn yêu cầu độ tin cậy cao. Nó có ưu điểm: Tốc độ xử lý nhanh; Cấu hình các tín hiệu I/O đơn giản; Có nhiều loại module mở rộng cho CPU và cả cho các trạm remote I/O; Cổng truyền thông Ethernet, Profibus được tích hợp trên CPU, hỗ trợ cấu hình mạng và truyền dữ liệu đơn giản; Kích thước CPU và Module nhỏ giúp cho việc thiết kế tủ điện nhỏ hơn. Các module S7 – 300 bao gồm:

* *Module nguồn simatic PS 307 2A: 307-1BA01-0AA0*: Module này có tác dụng chuyển đổi điện áp từ 120VAC đến 230VAC thành điện áp 24VDC phù hợp với điện áp làm việc của S7 300. Nguồn cung cấp là loại 2A và là mạch cách ly có bảo vệ ngắn mạch, điện áp ổn định. Mô đun này có: Input: 120/230 VAC, Output: DC 24V, DC 2A.

* *Module CPU*: Cần chọn có khả năng đáp ứng được các yêu cầu của hệ thống truyền động như thiết lập truyền thông, xây dựng thuật toán điều khiển bám và điều khiển vòng kín,... Ở đây chọn CPU 315 - 2DP(315-2AG10-0AB0) với: nguồn cấp 24VDC, Bộ nhớ 256KB, Số module mở rộng có thể kết nối với CPU tối đa là 32. Trên CPU có hai cổng truyền thông là MPI và PROFIBUS-DP do đó rất thuận lợi khi thiết lập mạng, có thể truyền thông với các thiết bị có thể lập trình OP, các thiết bị PLCs dòng S5 và theo

chuẩn truyền thông MPI, Profibus. Module CPU chứa bộ vi xử lý, hệ điều hành, bộ nhớ, các bộ thời gian, bộ đếm, cổng truyền thông.

* *Module vào/ra số DI/DO (Digital Input/Output)*: Là module mở rộng các cổng vào ra số. Số các cổng vào ra có thể mở rộng là 8 hay 16 tùy thuộc vào từng loại module. Module được chọn là SM 323 DI8/DO8xDC24V (323-1BH01-0AA0) có: 8 đầu vào DI, 8 đầu ra DO, Điện áp định mức 24VDC 0,5A.

* *Module đầu vào tương tự (AI)*: Là module mở rộng các cổng vào tương tự. AI chính là những bộ chuyển đổi tương tự số 12 bit, tức là mỗi tín hiệu tương tự được chuyển thành tín hiệu số nguyên có độ dài 12 bit. Số các cổng vào ra tương tự có thể là 2, 4 hoặc 8. Module được chọn ở đây là SM 3318AI (Analog input) 8x12 bit (311-7KF02-0AB0) với 8 đầu vào AI.

* *Module đầu ra tương tự (AO)*: Là module mở rộng các cổng ra tương tự. AO chính là những bộ chuyển đổi số tương tự 12 bit. Số các cổng vào ra tương tự có thể là 2 hoặc 4. Module được lựa chọn ở đây là SM 332 AO 4x12bit 332-5HD01-0AB0 với 4 AO dạng điện áp và 4 AO dạng dòng điện.

* *Module đếm xung tốc độ cao*: Có chức năng đặc biệt như đếm, định vị, điều khiển hồi tiếp, điều khiển động cơ bước, động cơ servo, module PID... Module được lựa chọn ở đây là **FM 350-1** với: 6 chân đếm xung encoder chia làm hai nhóm: tín hiệu 5 VDC và 24 VDC, 3 đầu vào DI, 2 đầu ra DO, Điện áp định mức 24 VDC.

b, Thiết bị giám sát HMI: HMI là giao diện vận hành giữa người và máy thông qua PLC, chúng được kết nối với nhau bằng cáp tín hiệu. Khi người vận hành tác động nhấn nút trên màn hình hoặc cài đặt thông số, yêu cầu sẽ được gửi đến PLC, PLC điều khiển máy móc dây chuyền hoạt động. Ngược lại, hệ thống máy móc dây chuyền có thể gửi trạng thái hoạt động hoặc thông số hiện tại lên màn hình HMI thông qua PLC giúp cho con người thực hiện quá trình giám sát và điều khiển. Đề tài lựa chọn màn hình HMI SIMATIC KTP700DP Basic 7” Display, với mã 6VA2 123-2GA03-0AX0.

6. Các loại cảm biến khác và thiết bị phụ trợ

a) *Cảm biến lực Loadcell*: Loadcell là thiết bị cảm biến dùng để chuyển đổi lực hoặc trọng lượng thành tín hiệu điện. Đề tài lựa chọn loadcell keli dạng thanh để xác định lực căng của băng tải, có các thông số: Tải trọng (kg): 100; Cấp chính xác: OIML R60 C3; Cảm biến loại Single Point; Điện áp biến đổi $(2 \pm 0.002)\text{mV/V}$; Điện trở đầu vào: $(381 \pm 4) \Omega$; Điện trở đầu ra: $(350 \pm 1) \Omega$; Điện trở cách điện: ≥ 5000 (ở 50VDC) $\text{M}\Omega$; Đạt chuẩn bảo vệ IP67; Chất liệu: anodized aluminum; Quá tải an toàn: 150 %; Kích thước sản cân tối đa: $(600 \times 800)\text{mm}$; Chiều dài dây tín hiệu: 2m.

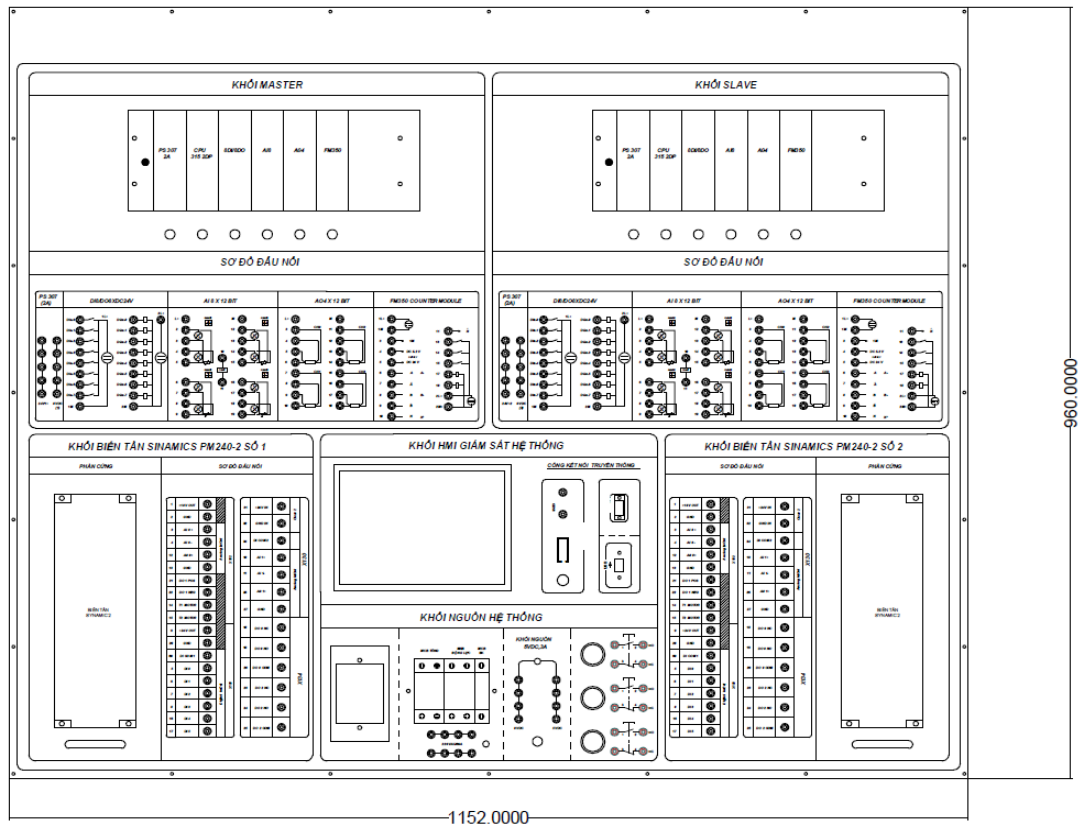
b) *Cân điện tử*: Được sử dụng để đo lường tải trọng đặt lên băng tải. Đề tài lựa chọn cân điện tử Keli XK 3101, với các thông số kỹ thuật: Hai bộ đầu ra relay; Đầu ra tương tự: $0 \sim 20\text{mA}$ / $4 \sim 20\text{mA}$ $0 \sim 5\text{V}$ / $0 \sim 10\text{V}$; RS232/RS485; 24-bit A/D chuyển đổi, 16-bit D /A chuyển đổi; Màn hình 6 số LED.

c) *Cáp truyền thông Profibus*: dùng cho mạng Profibus, kháng nhiễu tốt nhờ lớp bọc kép, được thiết kế đặc biệt để lắp ráp, có hai lõi, vỏ bọc kim.

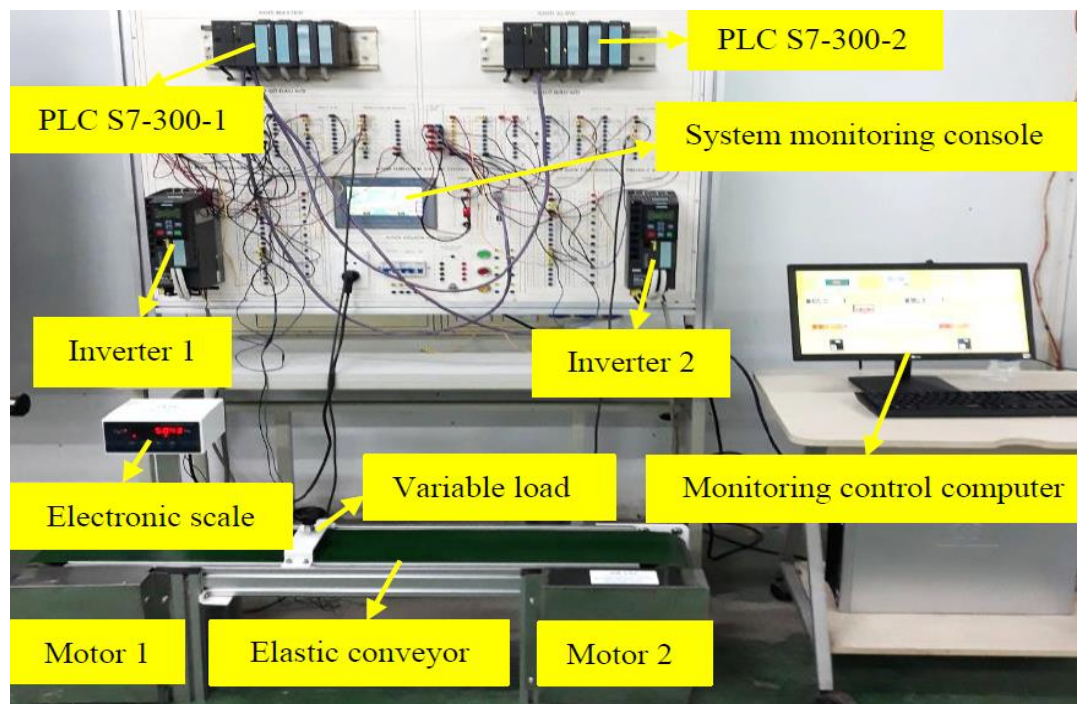
d) *Đầu nối mạng Profibus RJ45 (6ES7972-0BA12-0XA0)*: Được dùng để nối các trạm Profibus với cáp mạng Profibus, có tích hợp sẵn các điện trở phù hợp, bộ nối RS 485 với góc ra cáp 90° , đầu cuối kiểu ốc vít và tốc độ truyền tối đa 12 Mbit/s.

e) *Card Profibus CP 5611 A2*: Dùng để kết nối PC qua cáp Profibus với các trạm PLC, có tốc độ truyền đạt từ 9.6Kbps tới 12Mbps. Cổng RS 485 có khả năng chống sét.

Sơ đồ lắp ráp hệ thống được thể hiện trên hình 4.13, còn mô hình thực nghiệm hệ truyền động được chỉ ra trên hình 4.14.



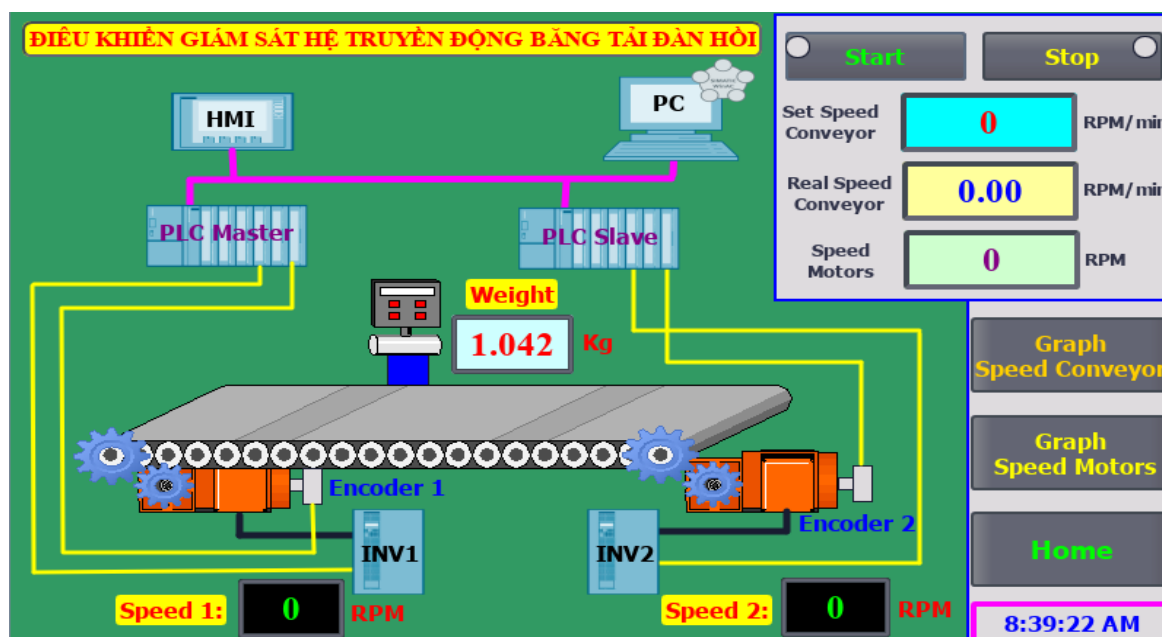
Hình 4.13. Panel điều khiển hệ thống



Hình 4.14. Mô hình thực nghiệm hệ truyền động hai động cơ có chứa băng tải đàn hồi dạng vòng kín

4.3.3. Xây dựng các chương trình điều khiển, giám sát hệ thống

Các chương trình điều khiển trên Step7 và giám sát hệ thống trên WinCC được liệt kê trong Phụ lục III. Giao diện điều khiển, giám sát hệ thống trên máy tính và HMI được chỉ ra trên hình 4.15 với các nút chức năng được liệt kê trong bảng 4.6.



Hình 4. 15. *Giao diện điều khiển, giám sát hệ thống*

Bảng 4.6. *Chức năng các nút bấm và các cửa sổ hiển thị trên giao diện chính*

STT	Tên	Chức năng
1	Start	Dùng để khởi động hệ thống truyền động
2	Stop	Dừng hệ thống
3	Graph Speed Conveyor	Hiển thị đồ thị tốc độ băng tải;
4	Graph Speed Motors	Hiển thị đồ thị tốc độ đồng bộ của các động cơ
5	Home	Quay về màn hình chính
6	Set Speed Conveyor	Đặt tốc độ cho băng tải theo m/phút
7	Real Speed Conveyor	Tốc độ thực tế của băng tải theo m/phút
8	Speed Motors	Tốc độ đặt cho các động cơ được tính từ tốc độ đặt băng tải, tính theo vòng/phút
9	Speed 1, Speed 2	Tốc độ thực tế của các động cơ, tính theo vòng/phút

4.3.4. Đánh giá mô hình thực nghiệm

1. Kiểm tra hoạt động và hiệu chỉnh hệ thống

Việc kiểm tra hoạt động và hiệu chỉnh hệ thống được thực hiện theo các nội dung sau:

1. Kiểm tra kết nối theo sơ đồ nguyên lý của mạch động lực cấp nguồn cho các khối trong mô hình.
2. Cắm điện để kiểm tra cấp nguồn cho các trạm PLC và biến tần, với điều kiện chưa kết nối đầu ra của các biến tần với các động cơ và thẻ nhớ của các CPU phải được lắp sẵn sàng.
3. Khai báo cấu hình của các trạm tương ứng, sau đó sử dụng cáp MPI lần lượt nạp cho các trạm.
4. Cài đặt hoạt động cho biến tần. Để điều khiển từ xa các động cơ qua biến tần, cũng như đảm bảo sự hoạt động theo tối ưu theo chế độ điều khiển động cơ cấp nguồn từ biến tần, cần phải cài đặt biến tần để nhận dạng động cơ.
5. Sau khi cài đặt xong biến tần cần kiểm tra hoạt động của từng biến tần với động cơ tương ứng ở chế độ bằng tay.
6. Kiểm tra hoạt động của biến tần và động cơ khi điều khiển từ xa. Tiến hành cho từng trạm PLC tương ứng.
7. Kiểm tra hoạt động của các encoder đo tốc độ động cơ tương ứng.
8. Kiểm tra và hiệu chỉnh hoạt động vòng kín điều khiển tốc độ động cơ qua biến tần. Quá trình này được thực hiện thông qua chương trình step7 và giao diện điều khiển giám sát WinCC với bộ điều khiển PID. Việc hiệu chỉnh đảm bảo với các thông số của bộ PID đạt được chỉ tiêu chất lượng của hệ truyền động yêu cầu.
9. Quá trình kiểm tra và hiệu chỉnh đối với biến tần và động cơ và encoder đối với trạm PLC còn lại được thực hiện tương tự. Chỉ khi các trạm riêng lẻ đảm bảo hoạt động yêu cầu cả vòng hở và vòng kín khi đó mới thực hiện ghép nối đưa vào hoạt động đồng bộ.

10. Kiểm tra và hiệu chỉnh kết nối mạng truyền thông Profibus.

11. Kiểm tra và hiệu chỉnh khi đưa hệ thống vào làm việc đồng bộ. Thực hiện nạp chương trình điều khiển trên step7 cho 2 trạm và chương trình điều khiển giám sát trên WinCC ở máy tính. Tiến hành thử nghiệm thay đổi, hiệu chỉnh các tham số cho đến khi đạt các chỉ tiêu yêu cầu chất lượng đề ra.

12. Kiểm tra và hiệu chỉnh khi điều khiển qua HMI.

2. Đánh giá quá trình làm việc của hệ thống

Trong mục 4.1, đã xác định được bộ điều chỉnh dòng, từ thông và tốc độ theo (4.1), (4.2) và (4.3) tương ứng với tham số động cơ và biến tần đã biết. Đối với mô hình thực tế khi sử dụng biến tần điều khiển động cơ, các thông số của bộ điều chỉnh dòng và từ thông được thiết lập thông qua cài đặt biến tần bằng chương trình STARTER. Còn các thông số của bộ điều chỉnh tốc độ được thiết lập trong các bộ PID của các trạm PLC.

Quá trình thử nghiệm hệ thống được thực hiện với các tốc độ đặt và tải khác nhau, được thể hiện trên các hình 4.16-4.17. Một số kết luận rút ra từ các kết quả thử nghiệm thiết bị:

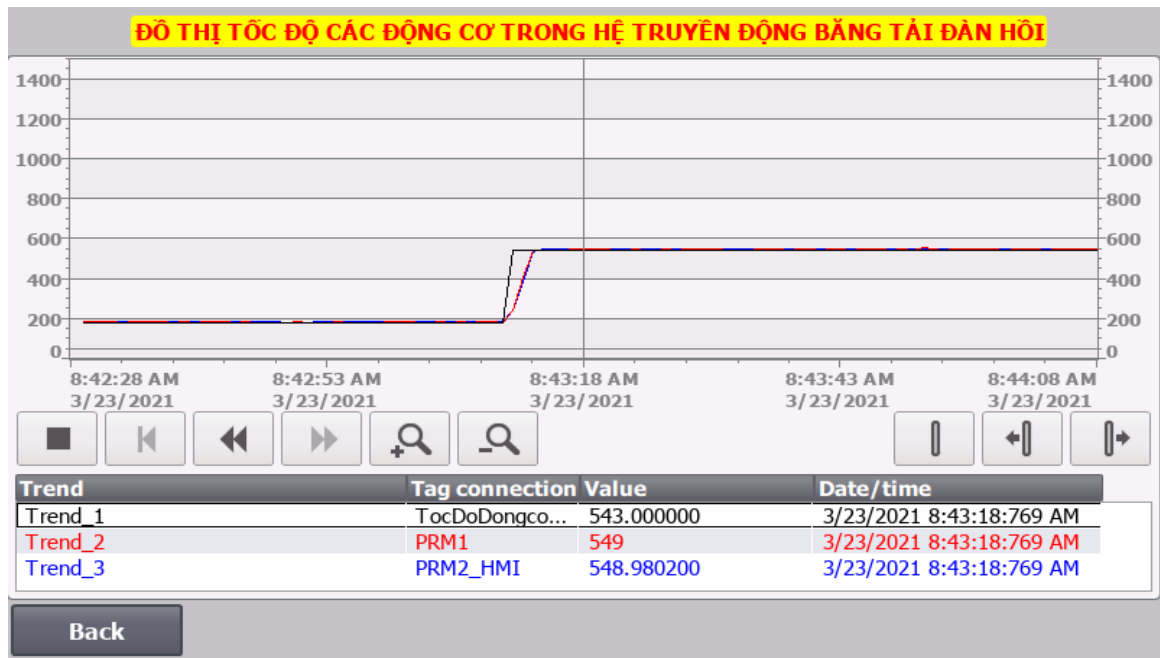
- Tốc độ của hai động cơ đều đồng bộ với nhau và ổn định theo giá trị tốc độ đặt. Khi khởi động, tốc độ động cơ tăng vượt giá trị đặt một lượng nhỏ nhưng sau đó nhanh chóng trở về giá trị đặt.

- Tại thời điểm đóng tải, tốc độ của mỗi động cơ đều có sự giảm xuống so với tốc độ đặt nhưng giá trị giảm là rất nhỏ và sớm trở về ổn định với giá trị tốc độ đặt.

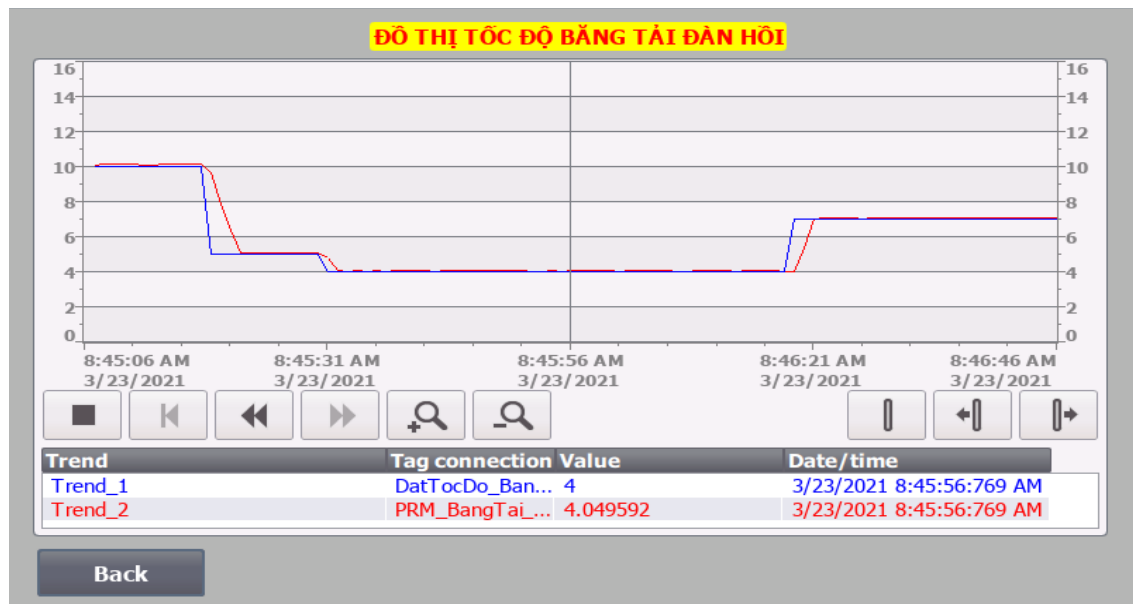
- Hệ thống đáp ứng nhanh với tín hiệu điều khiển và sự thay đổi của tải, quá trình trễ của đặc tính tốc độ giữa các động cơ là không đáng kể.

Như vậy, hệ thống điều khiển đảm bảo được yêu cầu ổn định và đồng bộ bám tốc độ của các động cơ trong cả chế độ quá độ và chế độ xác lập. Sai lệch lực căng của băng tải tại các trục động cơ, phát sinh do sai lệch tốc độ giữa

các động cơ không đáng kể. Hệ thống thực nghiệm có độ quá chỉnh, thời gian quá độ sát với kết quả mô phỏng. Tuy nhiên kết quả kiểm tra thực tế cho thấy, hệ thống sẽ mất ổn định khi tải thay đổi lớn.



Hình 4.16. Biểu đồ thay đổi tốc độ các động cơ khi tốc độ đặt là 181vòng/phút và 543 vòng/phút, tải thay đổi từ 0-10kg



Hình 4.17: Biểu đồ tốc độ bằng tải thay đổi từ 10m/phút -> 5m/phút -> 4m/phút -> 7m/phút khi tải thay đổi từ 0-10kg

4.4. Kết luận chương 4

Trong chương 4, nghiên cứu sinh đã thực hiện tính toán các vòng điều khiển từ thông và tốc độ của hệ truyền động hai động cơ không đồng bộ liên kết với nhau bởi băng tải đàn hồi với các tham số cụ thể của động cơ, biến tần, băng tải,.... Mô phỏng và đánh giá chất lượng của hệ thống được tổng hợp trên máy tính. Thiết kế và đánh giá hệ thống thực nghiệm điều khiển, giám sát hai động cơ. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy hiệu quả của phương pháp và thuật toán đã đề xuất, cho phép nâng cao chất lượng điều khiển hệ truyền động nhiều động cơ có chứa liên kết đàn hồi.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Luận án đã phát triển thuật toán ước lượng và tổng hợp hệ thống điều khiển cho lớp đối tượng có tham số phân bố dựa trên phương pháp nội suy thực, cụ thể được ứng dụng cho việc tổng hợp hệ thống điều khiển truyền động hai động cơ không đồng bộ có chứa băng tải đàn hồi dạng vòng kín. Các kết quả cơ bản mà luận án đã đạt được bao gồm:

1. Xây dựng mô hình hàm truyền đạt biểu diễn mối liên hệ giữa lực căng và vận tốc của băng tải tại các tọa độ không gian khác nhau. Phân tích và đánh giá các phương pháp điều khiển hệ truyền động nhiều động cơ có chứa băng tải đàn hồi.

2. Xây dựng thuật toán ước lượng hàm truyền đạt mô tả băng tải đàn hồi có chứa các thành phần quán tính và siêu việt trong các hệ truyền động điện nhiều động cơ ứng dụng phương pháp nội suy thực. Xây dựng chương trình tự động ước lượng theo thuật toán đã đề xuất và xác định mô hình ước lượng cho băng tải với các tham số cụ thể.

3. Thiết lập thuật toán tổng hợp bộ điều chỉnh của các hệ thống điều khiển tự động nhiều vòng bằng phương pháp nội suy thực và khảo sát các cách thức hiệu chỉnh tham số bộ điều chỉnh sao cho hệ thống được tổng hợp đáp ứng các chỉ tiêu chất lượng cho trước. Xây dựng chương trình mô phỏng kiểm chứng thuật toán tổng hợp đã đề xuất.

4. Xây dựng sơ đồ cấu trúc và tổng hợp tham số các bộ điều chỉnh cho hệ truyền động 2 động cơ không đồng bộ có tính đến ảnh hưởng của băng tải đàn hồi. Mô phỏng và xây dựng mô hình thực nghiệm kiểm chứng, đánh giá chất lượng của hệ thống với các bộ điều chỉnh được tổng hợp.

2. Hướng nghiên cứu tiếp theo

1. Phổ quát phương pháp và thuật toán tổng hợp được xây dựng dựa trên phương pháp nội suy thực cho các hệ thống có tham số phân bố cụ thể khác (các quá trình gia nhiệt, các thiết bị ngâm được lai dất bằng cáp,...), để có thể đánh giá được đầy đủ hơn hiệu quả của phương pháp đề xuất.

2. Nghiên cứu đánh giá chất lượng làm việc của hệ thống điều khiển truyền động nhiều động cơ có liên kết đàn hồi trong trường hợp tải thay đổi lớn (các tham số của băng tải sẽ thay đổi theo).

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. **Đào Sỹ Luật**, Mai Xuân Dũng, Nguyễn Phú Đăng, “Mô hình hóa và ước lượng phần tử liên kết đàn hồi trong các hệ truyền động điện tự động nhiều động cơ bằng phương pháp số”. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật (Học viện KTQS), ISSN 1859 – 0209, Số 206, 5/2020, Tr. 89-98.
2. Nguyễn Phú Đăng, **Đào Sỹ Luật**, Nguyễn Đình Khánh, “Xây dựng chương trình tự động hóa tổng hợp bộ điều chỉnh của các hệ thống điều khiển tự động theo phương pháp nội suy thực”. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật (Học viện KTQS), ISSN 1859 – 0209, No 185, 08/2017, Tr. 93 – 103.
3. **Đào Sỹ Luật**, Bùi Hải Đăng, Nguyễn Phú Đăng, “Tổng hợp nội suy bộ điều chỉnh của các hệ thống cơ điện tử nhiều vòng”. Tạp chí Nghiên cứu khoa học và Công nghệ quân sự, ISSN 1859 – 1043, No 59, 02/2019, Tr. 38 – 47.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Nguyễn Hữu Công, Nguyễn Mạnh Tường. *Điều khiển tối ưu quá trình gia nhiệt một đối tượng có tham số phân bố*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường ĐH Kỹ thuật, Số 36+37, 2002.
- [2] Nguyễn Phú Đăng. *Phân tích và tổng hợp các hệ thống điều khiển tự động các đối tượng với tham số phân bố*. NXB Quân đội Nhân dân, 2018.
- [3] Đào Hoa Việt, “*Phân tích và tổng hợp hệ thống truyền động điện*”, Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2010.
- [4] Phạm Tuấn Thành. “*Mô phỏng các hệ điện cơ*”, NXB quân đội nhân dân, Hà Nội - 2011.
- [5] Phạm Tuấn Thành. “*Mô hình hóa và mô phỏng hệ truyền động nhiều động cơ xoay chiều có liên hệ ma sát, đàn hồi*”. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số 46, 2016.
- [6] Vũ Hữu Thích, “*Nâng cao chất lượng hệ truyền động bám công suất nhỏ trên cơ sở điều khiển bù đặc tính tĩnh và thích nghi Modal*”, Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số 39, 10 -2015
- [7] Bùi Chính Minh. “*Điều khiển phi tuyến thích nghi và bền vững hệ truyền động khớp nối mềm với đầu ra là góc quay của trục tải*”. Tạp chí KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ, 57(9): 63–68.
- [8] 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.
- [9] Lê Thị Thu Hà, “*Một số giải pháp nâng cao chất lượng hệ truyền động có khe hở trên cơ sở điều khiển thích nghi bền vững*”, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, 2013.
- [10] Nguyễn Quốc Chí, Nguyễn Hùng, “*Điều khiển thích nghi cho cụm quán liệu trong hệ thống vận chuyển vật liệu mềm*”, science and technology development, Vol.18. No.K6, 2015.

Tiếng Anh, Nga

- [11] Велецкий В.В. *“Динамика космических птросовых систем”*.— М.: Наука, 1990. — 336 с.
- [12] Иванов И.Б. *“Динамика полёта системы гибко связанных космических объектов”*. — М.: Машиностр-е, 1986. — 248 с.
- [13] Соколов Е. Я. *“Теплофикация и тепловые сети”*. — М.: Изд-во МЭИ, 2006. — 472 с.
- [14] *“Двигатели внутреннего сгорания”*. под ред. В.Н. Луканина, М.Г. Шатрова.— М.: Высшая школа, 2007. Кн. 1. — 479 с. Кн. 2. — 400 с. Кн. 3. — 414 с.
- [15] Кувшинов Г.Е. *“Влияние морского ветрового волнения на глубоководный привязной объект”*. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — 215 с.
- [16] Рассудов Л.Н. *“Электроприводы с распределенными параметрами механических элементов”*. — Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отд-ние, 1987. — 144 с.
- [17] Рапопорт Э.Я. *“Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами”*. — М.: Высш. шк., 2005. — 292 с.
- [18] Рапопорт Э.Я. *“Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами”*. — М.: Высшая школа, 2003. — 299 с.
- [19] Рапопорт Э.Я. *“Оптимальное управление системами с распределенными параметрами”*. — М.: Высшая школа, 2009. — 677 с.
- [20] Kovalchuk M. S., Baburin S. V. *“Modelling and control system of multi motor conveyor”*, in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, MEACS 2017, pp. 1 – 7.

- [21] W. Leonhard. *“Control of Electrical Drives”*. 3rd Edition, Springer, 2001
- [22] N. P. Quang, J. A. Dittrich. *“Vector Control of Three – Phase AC Machinnes: System Development in the Practice”*. 2nd Edition, Springer, 2015.
- [23] ingna Shi, Hao Liu, Qiang Geng, Changliang Xia, *“Improved relative coupling control structure for multi-motor speed synchronous driving system”*, IET Electr. Power Appl., Vol. 10, Iss. 6, pp. 451–457, The Institution of Engineering and Technology 2016.
- [24] N.R. Abjadi, J. Soltani, J. Askari, G.R. Arab Markadeh, *“Nonlinear sliding-mode control of a multi-motor web-winding system without tension sensor”*, IET Control Theory Appl., Vol. 3, Iss. 4, pp. 419–427, 2009.
- [25] Guohai Liu, Pingyuan Liu, Yue Shen, Fuliang Wang and Mei Kang, *“Experimental Research on Decoupling Control of Multi-motor Variable Frequency System Based on Neural Network Generalized Inverse”*, supported in part by China ministry fund of education (20050299009) and China Jiangsu Province Nature Science Foud (BK2007094), 2007.
- [26] Opeyko O.F., *"Synthesis of Robust Control System Using Double-Mass Electro-Mechanical"*, ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations, 2009.
- [27] H. Koc, D. Knittel, M. D. Mathelin, and G. Abba, *"Modeling and robust control of winding systems for elastic webs,"* IEEE Trans. on Control Systems Technology, Vol. 10, No. 2, March 2002.
- [28] Hachemi Glaoui, Abdeldjebar Hazzab, Bousmaha Bouchiba, Ismaïl Khalil Bousserhane, *“Modeling and Simulation Multi Motors Web Winding System”*, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 4, No. 2, 2013.
- [29] Xiaoyan Chu, Xiaohong Nian, Miaoping Sun, Haibo Wang, Hongyun Xiong. *"Modeling and robust decentralized control for speed-up phase of web processing systems for composite elastic web"*, Journal of the Franklin Institute Volume 357, 2020.

- [30] Malik Braik, "A Hybrid Multi-gene Genetic Programming with Capuchin Search Algorithm for Modeling a Nonlinear Challenge Problem: Modeling Industrial Winding Process", Case Study. Neural Processing Letters volume 53, 2021.
- [31] Fawzan Salem, E.H.E. Bayoumi, "*Robust fuzzy-PID control of three-motor drive system using simulated annealing optimization*", Journal of Electrical Engineering, 2011.
- [32] B. Allaoua , A. Laoufi and B. Gasbaoui, "*Multi-Drive Paper System Control Based on Multi-Input Multi-Output PID Controller*", Leonardo Journal of Sciences, 2010.
- [33] S. Jee, S. Kim and K. H. Shin, "*Adaptive fuzzy control of tension variations due to the eccentric unwinding roll in multi-span web transport systems*", Proceedings of ASME Dynamic System and Control Division, Vol. 67, 1999, pp.877-882.
- [34] K. Okada, and T. Sakamoto, "*An adaptive fuzzy control for web tension controlsystem*," Proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1998, pp. 1762-1767.
- [35] Su Yixin, Xu Gang, "*Research of Multi - Motor Synchronous Driving System Based on Fuzzy Smith Control*", IEEE, 2010.
- [36] C. Wang, and Y. Z. Wang, "*Research on precision tension control system based on neural network*", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 51, No. 2, 2004, pp. 381-386.
- [37] B. Bouchiba, I. K. Bousserhane, M. K. Fellaha, A. Hazzab, "*Artificial neural network sliding mode control for multi-machine web winding system*". Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg., Bucarest, 2017.
- [38] Chen Cong, Liu Xingqiao, Liu Guohai, Zhao Liang, Chen Li, Zhao Buhui, "*Multi-motor Synchronous System Based on Neural Network Control*", Jiangsu University, ZhenJiang , China, 2013.
- [39] A. Angermann, M. Aicher, and D. Schroder. "*Time-optimal tension control for processing plants with continuous moving webs*". Proc. 35th Annual Meeting- IEEE Industry Applications Society, Rome, Oct. 1999.

- [40] Perdukova Daniela, Fedor Pavola,...“Multi-motor drive optimal control using a fuzzy model based approach”. Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, vol. 9, no. 3, pp. 329-344, 2017
- [41] H. Koc, D. Knittel, M. D. Mathelin, and G. Abba, “*Robust gain-scheduled control of winding systems*”, IEEE Conf. Decision and Control, Sidney, Australia, Dec. 2000.
- [42] Li Jinmei Liu Xingqiao Chenchong Liu Guohai, “*Application of an Adaptive Controller with a Single Neuron in Control of Multi-motor Synchronous System*”, IEEE, 2008.
- [43] Xuehua Yan, Wei Xing Zheng, Yungang Liu, "Adaptive output-feedback tracking for nonlinear systems with rather general control coefficients" Int. J. Robust and Nonlinear Control, 2019.
- [44] Le Liu,Nuan Shao, Minghao Lin, Yiming Fang, "Hamilton-based adaptive robust control for the speed and tension system of reversible cold strip rolling mill", International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, Volume 33, 2019.
- [45] Y. Hou, Z. Gao, F. Jiang, and B. T. Boulter, “*Active disturbance rejection control for web tension regulation*”, Proc. IEEE Conference on Decision and Control, Vol. 5, Dec. 2001, pp. 4974 - 4979.
- [46] Z. Gao, “*Active disturbance rejection control: a paradigm shift in feedback control system design*”, Proc. of the 2006 American Control Conference, 2006, pp. 2399-2405.
- [47] . S. Choi, J. A. Rossiter, P. J. Fleming, “*A MPC design for the looper and tension control in a hot strip mill*”, UK Control, Sept. 2004, University of Bath, pp. 99-105.
- [48] P. R. Pagilla, E. O. King, L.H. Dreinhoefer, and S.S. Garimella, “*Robust observer-based control of an aluminum strip processing line*”, IEEE Transactions on Industry Applications, 2000, Vol. 36, pp. 865-870.
- [49] Seok-Kyoon Kim, Choon Ki Ahn. "Observer-based decentralized pole–

- zero cancellation tension control with gain booster and surface stabilizer for roll-to-roll systems*", Nonlinear Dynamics volume 105, 2021.
- [50] Lei Wang, Daniele Astolfi, Lorenzo Marconi, Hongye Su, "*High-gain observers with limited gain power for systems with observability canonical form*", Automatica, Vol. 75, 2017.
 - [51] Doghmane Mohamed Zinelabidine, Kidouche Madjid, "*Decentralized Controller Robustness Improvement Using Longitudinal Overlapping Decomposition - Application to Web Winding System*", Elektronika IR Elektrotehnika, ISSN 1392-1215, VOL. 24, NO. 5, 2018.
 - [52] Xiaoyan Chu, Xiaohong Nian, Haibo Wang, Hongyun Xiong, "*Distributed fault tolerant tracking control for large-scale multi-motor web-winding systems*", IET Control Theory & Applications, Vol. 13, 2019.
 - [53] Xiaoyan Chu, X. Nian, "*Robust fault estimation and fault tolerant control for three-motor web-winding systems*", International Journal of Control, Computer Science, 2021.
 - [54] Wang Pengfei, Wang Haifeng, Li Xu,... "*Flatness Control of Cold Rolled Strip Based on Double-Layer Optimization*", Applied Mathematical Modelling, 2020.
 - [55] Pengfei Wang, Haifeng Wang, "*A double-layer optimization model for flatness control of cold rolled strip*", Computer Science: Applied Mathematical Modelling, 2021.
 - [56] Le Liu, Nuan Shao, Suyan Ding, Yiming Fang, "*Command Filter-based Backstepping Control for the Speed and Tension System of the Reversible Cold Strip Rolling Mill Using Disturbance Observers*", International Journal of Control, Automation and Systems, 2019.
 - [57] Першин И.М. "*Синтез систем с распределенными параметрами*". — Пятигорск, 2002. — 212 с.
 - [58] Шевяков А.А. "*Управление тепловыми объектами с распределенными параметрами*". — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 208 с.
 - [59] Sergei A. Avdonin. "*The Method of Moments in Controllability Problems for Distributed Parameter Systems*". — Cambridge University Press, 1995. — 324 с.
 - [60] Banks H.T. "*Control and estimation in distributed parameter systems*". — 1992. — 229 p.

- [61] Dariusz Ucinski. “*Optimal Measurement Methods for Distributed Parameter System Identification*”. - CRC Press, 2004. - 392 p.
- [62] Скворцов Л.М. “*Интерполяционные методы синтеза систем управления*”, Проблемы управления и информатики. - 1998. - №8. – С. 25 – 30.
- [63] Ибрагимов, И.М. *Информационные технологии и средства дистанционного обучения*”. Под ред. А.Н. Ковшова. — М.: Академия, 2005. — 331 с.
- [64] Федоров Ф.М. “*Граничный метод решения прикладных задач математической физики*”. — Новосибирск : Наука : Сибирская издательская фирма РАН, 2000. — 220 с.
- [65] Press, WH; Teukolsky, SA; Vetterling, WT; Flannery, BP. “*Section 5.12 Padé Approximants. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (3rd ed.)*”. New York: Cambridge University Press, 2007, ISBN 978-0-521-88068-8.
- [66] Mai Trung Thai. “*Applying Pade Approximation Model in Optimal Control Problem for a Distributed Parameter System with Time Delay// International Journal of Computing and Optimization*”, 2017 - Vol. 4, no. 1, 19 – 30.
- [67] Полякова Т.Г., Осипов Л.А. “*Синтез нелинейных систем управления в области характеристик мнимых частот*”. С.-Петербург. гос. тех. ун-т аэрокосмич. приборостр. – СПб, 1998. – 10 с.
- [68] Valery Goncharov, Igor Aleksandrov, Vladislav Rudnicki. “*Real Interpolation Method for Automatic Control Problems Solution*”. LAP Lambert Academic Publishing, 2014.
- [69] Гончаров В. И. “*Синтез электромеханических исполнительных систем промышленных роботов*”. — Томск: Изд-во ТПУ, 2002. —

100 с.

- [70] V. I. Goncharov, V. Rudnicki, A. Liepinsh, "*Numerical form of the automatic-control system mathematical models based on the interpolation method approach*", International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017.
- [71] А.Р. Пантюхин, В.И. Гончаров, "*Исследование возможностей численного метода синтеза систем автоматического управления объектами с большим запаздыванием*", Доклады ТУСУР, № 1 (39), 2021.
- [72] Quang Dung Nguyen. "*An effective approach of approximation of fractional order system using real interpolation method*", Journal of Advanced Engineering and Computation (JAEC). Vol. 1, Issue: 1, 6.2017, 39-47.
- [73] Mohammed A. Abutheraa, David Lester. "*Computable function representations using effective Chebyshev polynomial*", World academy of science, Engineering and Technology, 2007. - Pp. 103-109.
- [74] Демидович, Б.П. "*Численные методы анализа*". 4-е изд., стер. СПб.: Лань, 2008. 400 с.
- [75] Назаров В.И. "*Параметрическая оптимизация линейных систем регулирования с эталонной моделью*". Электромеханика. – 1998. - №1. - С. 96 – 103.
- [76] Бесекерский В.А. "*Теория систем автоматического регулирования*". — СПб.: Профессия, 2004. — 747 с.
- [77] "*Автоматизированный электропривод промышленных установок*". Под ред. Г.Б. Онищенко. — М.: Б.и, 2001. — 520с.
- [78] Sanath Alahakoon. "*Digital Motion Control Techniques for Electrical Drives*". – Stockholm, 2000.- 310p.

- [79] В.М. Терехов, О.И. Осимов. “Системы управления электроприводов”. – Москва: Издательский центр “Академия”, 2006. – 304с.
- [80] Ковчин С. А., Сабинин Ю. А. “Теория электропривода”. - СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2000. - 496 с.

PHỤ LỤC CÁC CHƯƠNG TRÌNH

I. Phụ lục I: Chương trình ước lượng

1. Module chương trình khối “MÔ HÌNH HÀM TRUYỀN ĐỐI TƯỢNG”

```
function nhapsolieu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% KHAI BAO CAC THAM SO DOI TUONG LA BIEN TOAN CUC
global lamda; global muy1; global muy2; global q;

q = str2double(get(handles.q, 'string'));
muy1 = str2double(get(handles.muy1, 'string'));
muy2 = str2double(get(handles.muy2, 'string'));
lamda = str2double(get(handles.lamda, 'string'));

close(gcf);

function HAM_TRUYNE_DOI_TUONG_Callback(hObject, eventdata, handles)
% HAM TRUYEN GOC CUA DOI TUONG THU NHAT Wdt1
syms s;
num1=q*sinh(s).*cosh(lamda*s);      %tu so ham truyen
sieu viet
den1=(sinh(s)).^2+
((muy1*muy2)*(s).^2).*((cosh(s)).^2-
(cosh(lamda*s)).^2)+(muy1+muy2)*s.*sinh(2*s); %mau so
ham truyen sieu viet
Wdt1(s) = simplify(num1./den1);
% HIEN THI HAM TRUYEN GOC CUA DOI TUONG LEN textbox
T1 = evalc('Wdt1(s)'); T1_1 = T1(11:length(T1)-0);
set(handles.textHIEN_THI_HTDT_1, 'String', T1_1);
% HAM TRUYEN DOI TUONG THU HAI Wdt2
num2= q*(sinh(2*s) + s*muy2.*((cosh(s)).^2-
(cosh(lamda*s)).^2));
den2
=(sinh(s)).^2+s*(muy1+muy2).*sinh(2*s)+s.^2*muy1*muy2.*(
(cosh(s)).^2-(cosh(lamda*s)).^2);
Wdt2(s) = simplify(num2./den2);
% HIEN THI HAM TRUYEN GOC CUA DOI TUONG LEN textbox
T2 = evalc('Wdt2(s)'); T2_1 = T2(11:length(T2)-0);
set(handles.textHIEN_THI_HTDT_2, 'String', T2_1);
% VE DO THI Logarit HAM TRUYEN GOC CUA DOI TUONG
```

```

        if get(handles.radiobutton_HIEN_THI_Wdt1, 'Value')
== 1
            x1 = 0:0.001:100;
            iomega = 1i*x1;
            num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
            den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
            ((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
            (cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
            ga);
            Wdt1_iomega = num1_iomega./den1_iomega;
            axes(handles.axesHIEN_THI_DO_THI);
            hold off;
            semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt1_iomega)));

            elseif get(handles.radiobutton_HIEN_THI_Wdt2,
'Value') == 1

                x1 = 0:0.01:100;
                iomega = 1i*x1;
                num2_iomega=q*(sinh(2*iomega) +
                iomega*muy2.*(cosh(iomega)).^2-
                (cosh(lamda*iomega)).^2));
                den2_iomega
                =(sinh(iomega)).^2+iomega*(muy1+muy2).*sinh(2*iomega)+io
                mega.^2*muy1*muy2.*(cosh(iomega)).^2-
                (cosh(lamda*iomega)).^2);

                Wdt2_iomega = num2_iomega./den2_iomega;
                axes(handles.axesHIEN_THI_DO_THI);
                hold off;
                semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt2_iomega)));
            end
            hold on;
            grid on;
            legend Wdt Wxx;
            title('Dac trung bien do tan so logarit')
            xlabel('Lg(omega)')
            ylabel('L(omega)')

```

2. Module chương trình khối “THAM SỐ CẤU TRÚC HỆ THỐNG XẤP XỈ”.

```

function pmCHON_HAM_Callback(hObject, eventdata,
handles)
contents=cellstr(get(hObject, 'string'));
pmCHON_HAM=contents(get(hObject, 'Value'));

```

```

if(strcmp(pmCHON_HAM, 'Chon ham de xem'))
    popVal=1;
elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 0/1: m=0; n=1'))
    popVal=2;
elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 0/2: m=0; n=2'))
    popVal=3;
elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 0/3: m=0; n=3'))
    popVal=4;
elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 1/1: m=1; n=1'))
    popVal=5;
elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 1/2: m=1; n=2'))
    popVal=6;
elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 1/3: m=1; n=3'))
    popVal=7;
    elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 2/2: m=2; n=2'))
        popVal=8;
    elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 2/3: m=2; n=3'))
        popVal=9;
    elseif(strcmp(pmCHON_HAM, 'Bac 3/3: m=3; n=3'))
        popVal=10;
end
assignin('base','popVal',popVal);
function btRUN_Callback(hObject, eventdata, handles)
    axes(handles.axesHIEN_THI_DO_THI);
    hold off;

    ai0 =
str2double(get(handles.editDiemDau_KhoangNoiSuy_ai0,
'string'));
    buoc_ai = str2double(get(handles.editBuoc_Noisuy,
'string'));
    ain =
str2double(get(handles.editDiemCuoi_KhoangNoiSuy_ain,
'string'));
    Delta_min = 0;
    Delta_min2 = 0;

%% THUC HIEN LUA CHON VA TINNH HAM XAP XI DUOC LUA CHON
giatricon = get(handles.pmCHON_HAM, 'value');
switch giatricon
case 10
    if get(handles.radiobtWdt1, 'Value') ==1
        % //// GOI HAM TINH XAP XI CHO HAM THU NHAT Wdt1

```

```

[Delta_min9, Wxxtu9, a3339, a2229, a1119, b3339,
b2229, b1119, b0009, delta91, delta92, delta93, delta94,
delta95, delta96, delta97]=f1_m3_n3;
D9=Delta_min9;
Delta_min = D9;
W9=Wxxtu9;
Wxxtu=W9;
% Ve do thi Logarit
x1 = 0:0.001:100;
iomega = 1i*x1;
num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
ga);

Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
Wxx = (b3339.*iomega.^3 + b2229.*iomega.^2 +
b1119.*iomega + b0009)./(a3339.*iomega.^3 +
a2229.*iomega.^2 + a1119.*iomega + 1);
axes(handles.axesHIEN_THI_DO_THI);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
% CODE HIEN THI CAC DIEM NUT NOI SUY
set(handles.textSO_DIEM_NUT_NOI_SUY,'String','7');
set(handles.textDetal1,'String',
strcat(num2str(delta91),'*a'));
set(handles.textDetal2,'String',
strcat(num2str(delta92),'*a'));
set(handles.textDetal3,'String',
strcat(num2str(delta93),'*a'));
set(handles.textDetal4,'String',
strcat(num2str(delta94),'*a'));
set(handles.textDetal5,'String',
strcat(num2str(delta95),'*a'));
set(handles.textDetal6,'String',
strcat(num2str(delta96),'*a'));
set(handles.textDetal7,'String',
strcat(num2str(delta97),'*a'));
elseif get(handles.radiobtWdt2, 'Value') ==1
% GOI HAM TINH XAP XI CHO HAM THU HAI Wdt2
[Delta_min2_9, Wxxtu2_9, a2_3339, a2_2229,
a2_1119, b2_3339, b2_2229, b2_1119, b2_0009, delta2_91,

```

```

delta2_92, delta2_93, delta2_94, delta2_95, delta2_96,
delta2_97]=f2_m3_n3;
    D2_9=Delta_min2_9;
    Delta_min2 = D2_9;
    W2_9=Wxxtu2_9;
    Wxxtu2=W2_9;
    % Ve do thi Logarit
    x1 = 0:0.001:100;
    iomega = 1i*x1;
    num2_iomega=q*(sinh(2*iomega) +
iomega*muy2.*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2));
    den2_iomega
=(sinh(iomega)).^2+iomega*(muy1+muy2).*sinh(2*iomega)+io
mega.^2*muy1*muy2.*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2);
    Wdt2 = num2_iomega./den2_iomega;
    Wxx2 = (b2_3339.*iomega.^3 + b2_2229.*iomega.^2
+ b2_1119.*iomega + b2_0009)./(a2_3339.*iomega.^3 +
a2_2229.*iomega.^2 + a2_1119.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt2)),x1,20*log10(abs(Wxx2)));
    % CODE HIEN THI CAC DIEM NUT NOI SUY
    set(handles.textSO_DIEM_NUT_NOI_SUY,'String','7');
    set(handles.textDetal1,'String',
strcat(num2str(delta2_91),'*a'));
    set(handles.textDetal2,'String',
strcat(num2str(delta2_92),'*a'));
    set(handles.textDetal3,'String',
strcat(num2str(delta2_93),'*a'));
    set(handles.textDetal4,'String',
strcat(num2str(delta2_94),'*a'));
    set(handles.textDetal5,'String',
strcat(num2str(delta2_95),'*a'));
    set(handles.textDetal6,'String',
strcat(num2str(delta2_96),'*a'));
    set(handles.textDetal7,'String',
strcat(num2str(delta2_97),'*a'));
    end
    % BAT/TAT CAC Textbox DE HIEN THI CAC DIEM NUT NOI
SUY
    set(handles.textBeta_1,'Visible','On');
    set(handles.textBeta_2,'Visible','On');
    set(handles.textBeta_3,'Visible','On');

```

```

set(handles.textBeta_4,'Visible','On');
set(handles.textBeta_5,'Visible','On');
set(handles.textBeta_6,'Visible','On');
set(handles.textBeta_7,'Visible','On');

set(handles.textDetail1,'Visible','On');
set(handles.textDetail2,'Visible','On');
set(handles.textDetail3,'Visible','On');
set(handles.textDetail4,'Visible','On');
set(handles.textDetail5,'Visible','On');
set(handles.textDetail6,'Visible','On');
set(handles.textDetail7,'Visible','On');

%% KET THUC DOAN CODE TINH XAP XI HAM TRUYEN
if get(handles.radiobtWdt1,'Value')==1
% HIEN THI SAI SO XAP XI LEN textbox
    set(handles.textSAISO_XAPXI,'Visible','On');

set(handles.textSAISO_XAPXI,'String',num2str(Delta_min))
;
% HIEN THI HAM XAP XI LEN textbox
    TTT = evalc('Wxxtu'); TTT1 = TTT(11:length(TTT)-
10);

set(handles.txtHIEN_THI_HTXXtu,'String',num2str((TTT1)))
elseif get(handles.radiobtWdt2,'Value')==1
    set(handles.textSAISO_XAPXI,'Visible','On');

set(handles.textSAISO_XAPXI,'String',num2str((Delta_min2
)));
% HIEN THI HAM XAP XI textbox
    TTT = evalc('Wxxtu2'); TTT1 =
TTT(11:length(TTT)-10);

set(handles.txtHIEN_THI_HTXXtu,'String',num2str((TTT1)))
end
% HIEN THI TIEU DE CAC TRUC TOA DO
hold on;
grid on;
legend Wdt Wxx;
title('Dac trung bien do tan so logarit')
xlabel('Lg(omega)')
ylabel('L(omega)')

```

```

function [Delta_min9, Wxxtu9, a3339, a2229, a1119,
b3339, b2229, b1119, b0009, delta91, delta92, delta93,
delta94, delta95, delta96, delta97]=f1_m3_n3;
%% Xac dinh cac gia tri x theo phan bo Chebyshev
syms x9 T9;
n9 = 7;
T9(1) = 1;
T9(2) = x9;
T9(3) = x9^2-1/2;
for i = 3:1:n9
T9(i+1) = x9*T9(i)-(1/4)*T9(i-1);
simplify( T9(i+1) );
end
simplify( T9(n9+1) );
xi9 = double( solve(T9(n9+1),x9) );
syms delta9 a9;
% KHAI BAO CAC BIEN DE HIEN THI DIEM NUT NOI SUY
syms delta91 delta92 delta93 delta94 delta95 delta96
delta97;
%% Tim gia tri delta: delta = (1+xi)/(1-xi)*a;
for i = 1:1:n9
delta9(i) = (1+xi9(i))/(1-xi9(i))*a9;
end
%% XAC DINH CAC DIEM NUT NOI SUY
delta91 = double(delta9(1)/a9);
delta92 = double(delta9(2)/a9);
delta93 = double(delta9(3)/a9);
delta94 = double(delta9(4)/a9);
delta95 = double(delta9(5)/a9);
delta96 = double(delta9(6)/a9);
delta97 = double(delta9(7)/a9);
%% KHAI BAO CAC BIEN TOAN CUC
global ai0; global buoc_ai; global ain;
global lamda; global muy1; global muy2; global q; global
l;

syms s;
%% Ham doi tuong ban dau:
num1=q*sinh(s).*cosh(lamda*s);
den1=(sinh(s)).^2+
((muy1*muy2)*(s).^2).*((cosh(s)).^2-
(cosh(lamda*s)).^2)+(muy1+muy2)*s.*sinh(2*s);

Wdt19 = num1./den1;

```

```

Wdt9=Wdt19;
%% Dieu kien ban dau:
syms delta_W9;
syms a1119 a2229 a3339;
syms b0009 b1119 b2229 b3339 aaa9;
k = 0;
Delta_min9=0;
%% Ve do thi (ai,delta_W)
for ai9 = ai0:buoc_ai:ain
    k = k+1
    delta_i9 = double( subs(delta9, a9, ai9) );
    syms a19 a29 a39 b09 b19 b29 b39;
    Ws9 = (b39*s^3 + b29*s^2+ b19*s + b09)/(a39*s^3 +
    a29*s^2 + a19*s + 1);
    eqn19 = subs(Ws9, s, delta_i9(1))== double( subs(Wdt9,
    s, delta_i9(1)) );
    eqn29 = subs(Ws9, s, delta_i9(2))== double( subs(Wdt9,
    s, delta_i9(2)) );
    eqn39 = subs(Ws9, s, delta_i9(3))== double( subs(Wdt9,
    s, delta_i9(3)) );
    eqn49 = subs(Ws9, s, delta_i9(4))== double( subs(Wdt9,
    s, delta_i9(4)) );
    eqn59 = subs(Ws9, s, delta_i9(5))== double( subs(Wdt9,
    s, delta_i9(5)) );
    eqn69 = subs(Ws9, s, delta_i9(6))== double( subs(Wdt9,
    s, delta_i9(6)) );
    eqn79 = subs(Ws9, s, delta_i9(7))== double( subs(Wdt9,
    s, delta_i9(7)) );

    eqns9 = [eqn19 eqn29 eqn39 eqn49 eqn59 eqn69 eqn79];
    vars9 = [a19 a29 a39 b09 b19 b29 b39 ];
    KQ9 = solve(eqns9, vars9);
    a19 = double( KQ9.a19 );
    a29 = double( KQ9.a29 );
    a39 = double( KQ9.a39 );

    b09 = double( KQ9.b09 );
    b19 = double( KQ9.b19 );
    b29 = double( KQ9.b29 );
    b39 = double( KQ9.b39 );

    if a39>0 & a29>0 & a19>0
        Wxx9 = simplify( (b39*s^3 + b29*s^2+ b19*s +
        b09)/(a39*s^3 + a29*s^2 + a19*s + 1) );

```

```

    delta_new9 = 0.001:0.01:1;
    delta_W9 = double(subs(abs(Wdt9 - Wxx9), s,
delta_new9));
    Delta_max9 = max(delta_W9);
    if Delta_min9 == 0
        Delta_min9 = Delta_max9;
        a1119 = a19; a2229 = a29; a3339 = a39; b0009 =
b09; b1119 = b19; b2229 = b29; b3339 = b39; aaa9 = ai9;

    else
        if Delta_min9 > Delta_max9
            Delta_min9 = Delta_max9;
            a1119 = a19; a2229 = a29; a3339 = a39;
b0009 = b09; b1119 = b19; b2229 = b29; b3339 = b39; aaa9
= ai9;
        end
    end
end
end
    Wxxtu9 = tf([b3339 b2229 b1119 b0009], [a3339 a2229
a1119 1])

```

3. Module chương trình khối “HÀM XẤP XỈ TỐI ƯU”.

```

%% XAC DINH Delta_min NHO NHAT DE TIM HAM TRUYEN XAP XI
TOI UU
if get(handles.CB1_m3_n3, 'Value') == 1
    D99=D9;
else
    D99=0;
end
if get(handles.CB1_m2_n3, 'Value') ==1
    D88=D8;
else
    D88=0;
end
if get(handles.CB1_m2_n2, 'Value') ==1
    D77=D7;
else
    D77=0;
end
if get(handles.CB1_m1_n3, 'Value') ==1
    D66=D6;
else
    D66=0;
end

```

```

end
if get(handles.CB1_m1_n2, 'Value') ==1
    D55=D5;
else
    D55=0;
end
if get(handles.CB1_m1_n1, 'Value') ==1
    D44=D4;
else
    D44=4;
end
if get(handles.CB1_m0_n3, 'Value') ==1
    D33=D3;
else
    D33=0;
end
if get(handles.CB1_m0_n2, 'Value') ==1
    D22=D2;
else
    D22=0;
end
if get(handles.CB1_m0_n1, 'Value') ==1
    D11=D1;
else
    D11=0;
end
ArrDelta_min = [D11 D22 D33 D44 D55 D66 D77 D88 D99];
for ij=1: 1: 9
    if ArrDelta_min(ij)~=0
        Delta_min=ArrDelta_min(ij);
        for ii = ij: 1: 9
            if (Delta_min >
ArrDelta_min(ii)) & (ArrDelta_min(ii)~=0)
                Delta_min = ArrDelta_min(ii);
            end
        end
        break;
    end
end
end

axes(handles.axesHIEN_THI_DO_THI_TOI_UU_1);
hold off;

if Delta_min == D9

```

```

Wxxtu=W9;
% Ve do thi Logarit
x1 = 0:0.001:100;
iomega = 1i*x1;
num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
ga);

Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
Wxx = (b3339.*iomega.^3 + b2229.*iomega.^2 +
b1119.*iomega + b0009)./(a3339.*iomega.^3 +
a2229.*iomega.^2 + a1119.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx))
);
elseif Delta_min == D8
Wxxtu=W8;
%% Ve do thi Logarit
x1 = 0:0.001:100;
iomega = 1i*x1;
num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
ga);

Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
Wxx = (b2228.*iomega.^2 + b1118.*iomega +
b0008)./(a3338.*iomega.^3 + a2228.*iomega.^2 +
a1118.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));

elseif Delta_min == D7
Wxxtu=W7;
x1 = 0:0.001:100;
iomega = 1i*x1;
num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
ga);

```

```

        Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
        Wxx = (b2227.*iomega.^2 + b1117.*iomega +
b0007)./(a2227.*iomega.^2 + a1117.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
elseif Delta_min == D6
    Wxxtu=W6;
    x1 = 0:0.001:100;
    iomega = 1i*x1;
    num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
    den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
ga);

    Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
    Wxx = (b1116.*iomega + b0006)./(a3336.*iomega.^3 +
a2226.*iomega.^2 + a1116.*iomega + 1);
    semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
elseif Delta_min == D5
    Wxxtu=W5;
    x1 = 0:0.001:100;
    iomega = 1i*x1;
    num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
    den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
ga);

    Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
    Wxx = (b1115.*iomega + b0005)./(a2225.*iomega.^2 +
a1115.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
elseif Delta_min == D4
    Wxxtu=W4;
    x1 = 0:0.001:100;
    iomega = 1i*x1;
    num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
    den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
(cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
ga);

```

```

Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
Wxx = (b1114.*iomega + b0004)./(a1114.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
elseif Delta_min == D3
    Wxxtu=W3;
    x1 = 0:0.001:100;
    iomega = 1i*x1;
    num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
    den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
    ((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
    (cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
    ga);

    Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
    Wxx = (b0003)./(a3333.*iomega.^3 + a2223.*iomega.^2
    + a1113.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
elseif Delta_min == D2
    Wxxtu=W2;
    x1 = 0:0.001:100;
    iomega = 1i*x1;
    num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
    den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
    ((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
    (cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
    ga);

    Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
    Wxx = (b0002)./(a2222.*iomega.^2 + a1112.*iomega +
    1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
elseif Delta_min == D1
    Wxxtu=W1;
    x1 = 0:0.001:100;
    iomega = 1i*x1;
    num1_iomega=q*sinh(iomega).*cosh(lamda*iomega);
    den1_iomega=(sinh(iomega)).^2+
    ((muy1*muy2)*(iomega).^2).*((cosh(iomega)).^2-
    (cosh(lamda*iomega)).^2)+(muy1+muy2)*iomega.*sinh(2*iome
    ga);

```

```

Wdt = num1_iomega./den1_iomega;
Wxx = (b0001)./(a1111.*iomega + 1);

semilogx(x1,20*log10(abs(Wdt)),x1,20*log10(abs(Wxx)));
end
set(handles.textSAISO_XAPXItu, 'Visible', 'On');

set(handles.textSAISO_XAPXItu, 'String', num2str((Delta_min)));
Ttu = evalc('Wxxtu'); Ttu = Ttu(11:length(Ttu)-10);

set(handles.txtHIEN_THI_HTXXtu, 'String', num2str((Ttu)))
hold on;
grid on;
legend Wdt Wxx;
title('Dac trung bien do tan so logarit')
xlabel('Lg(omega)')
ylabel('L(omega)')

```

II. Phụ lục II: Chương trình tổng hợp

1. Module chương trình “Hàm truyền đối tượng”

```

global Ru;global Lu;global Ktp;global Ttp;
global a;global muy1;global muy2;global lamda;
global R;global i;global l;global matdo;
global Pm;global Um;global Velm;global Im;global p2;
global Wdc; global Wtp1; global Wdc_s; global Wtp_s;
global Thamsoht;
global Wpn1_ul;global Wpn2;
Tu=Lu/Ru;
syms p;
Wdc_s = tf([1/Ru],[Tu 1]);
Wdc = (1/Ru)/(Tu*p +1);
% Wdc_co = Cm/(J*p)
% Wdc_co_s = tf([Cm],[J 0]);
Wtp_s = tf([Ktp],[Ttp 1]);
Wtp1 = Ktp/(Ttp*p +1);

Wd= tf([1/Ru],[Tu 1]);
Wtp = tf([Ktp],[Ttp 1]);

T=evalc('Wd');T1=T(12:length(T)-20);
set(handles.tfIdc_num, 'String', T1);

T=evalc('Wtp');T1=T(12:length(T)-20);
set(handles.tfbd_num, 'String', T1);

Wpn1_ul=uocluong_pn1(muy1,muy2,lamda,a);

```

```

Wpn2 = (0.03529*p^4 - 2.55e-06*p^3 + 0.2704*p^2 - 3.299e-08*p +
0.298)/(0.1122*p^5 + 0.8735*p^3 + p);
set(handles.text_Wpn_num,'string',strcat(
',num2str(1/(2*a)), '[sh2p          +          ',num2str(muy2), 'p((chp)^2-
(ch',num2str(lamda), 'p)^2)]'));
set(handles.text_Wpn_gach,'string','-----
-----');
set(handles.text_Wpn_den,'string',strcat('(shp)^2          +
',num2str(muy1+muy2), 'p*sh2p          +          ',num2str(muy1*muy2), 'p^2(chp^2-
ch',num2str(lamda), 'p^2)'));

assignin('base', 'Wpn1_ul', Wpn1_ul);
% assignin('base', 'Wtp', Wtp);
assignin('base', 'Ktp', Ktp); assignin('base', 'Ttp', Ttp);
assignin('base', 'Ru', Ru); assignin('base', 'Tu', Tu);
assignin('base', 'i', i); assignin('base', 'R', R);
assignin('base', 'p', matdo);

```

2. Module chương trình “Chỉ tiêu chất lượng của hệ thống”

```

global Hm_d Tm_d G01 dHd osmin_d;
global Hm_v Tm_v G02 dHv osmin_v;
global Hm_p Tm_p G03 dHp osmin_p;

global kd_ht;global ktd_ht;global kvt_ht;
global tfd_mm; global tfv_mm; global tfp_mm;
global Wkd_mm_s; global Wkd_mm; global Whd_mm_s; global
Whd_mm;
global Wktd_mm_s; global Wktd_mm;global Whtd_mm_s; global
Whtd_mm;
global Wkvt_mm_s; global Wkvt_mm;global Whvt_mm_s; global
Whvt_mm;

syms p;
%% Chi tiêu yêu cầu và hàm truyền mong muốn vòng dòng điện
Hm_d = str2double(get(handles.Hm_d, 'string')); %% do qua chỉnh
yêu cầu %
Tm_d = str2double(get(handles.Tm_d, 'string')); %% thời gian
qua do yêu cầu s
G01 = str2double(get(handles.h1, 'string')); %% giá trị xác
lập mong muốn
dHd = str2double(get(handles.dH1, 'string')); %% giá trị xác
lập mong muốn
kd_ht=1/G01;

alpha0_d = ( (log(Hm_d/100))^2 )/(9/(Tm_d)^2 * ( (log(Hm_d/100))^2
+ pi^2 ));
alpha1_d = 6*alpha0_d/Tm_d;
tfd_mm=hamtruyen_mongmuon(G01,Hm_d,Tm_d,dHd,0);
Wkd_mm_s = tfd_mm;
% Wkd_mm_s = (tf([alpha1_d/2 1],[alpha0_d alpha1_d 1]))*G01;
Wkd_mm = (((alpha1_d/2)*p + 1)/(alpha0_d*p^2 + alpha1_d*p +
1))*G01;
Whd_mm = Wkd_mm/(1 - Wkd_mm*kd_ht);
Whd_mm_s = Wkd_mm_s/(1 - Wkd_mm_s*kd_ht);
assignin('base', 'Hm_d', Hm_d);
assignin('base', 'Tm_d', Tm_d);
%% Chi tiêu yêu cầu và hàm truyền mong muốn vòng tốc độ

```

```

    Hm_v = str2double(get(handles.Hm_v, 'string')); % do qua chinh yeu
cau %
    Tm_v = str2double(get(handles.Tm_v, 'string')); % thoi gian qua do
yeu cau s
    G02 = str2double(get(handles.h2, 'string')); % gia tri xac lap
mong muon
    dHv = str2double(get(handles.dH2, 'string')); % gia tri xac lap
mong muon
    osmin_v= str2double(get(handles.osmin_v, 'string')); % gia tri xac
lap mong muon
    ktd_ht=1/ G02;
    alpha0_td = ( (log( Hm_v/100))^2 )/(9/(Tm_v)^2 * ( (log(
Hm_v/100))^2 + pi^2 ));
    alpha1_td = 6*alpha0_td/Tm_v;
    tfv_mm=hamtruyen_mongmuon(G02,Hm_v,Tm_v,dHv,0);
    Wktd_mm_s = tfv_mm;
    % Wktd_mm_s = (tf([alpha1_td/2 1],[alpha0_td alpha1_td 1]))* G02;
    Wktd_mm = (((alpha1_td/2)*p + 1)/(alpha0_td*p^2 + alpha1_td*p +
1))* G02;
    Whtd_mm = Wktd_mm/(1 - Wktd_mm*ktd_ht);
    Whtd_mm_s = Wktd_mm_s/(1 - Wktd_mm_s*ktd_ht);

    assignin('base', 'Hm_v', Hm_v);
    assignin('base', 'Tm_v', Tm_v);
    %% Chi tieu yeu cau và ham truyen mong muon vong vi tri
    Hm_p = str2double(get(handles.Hm_p, 'string')); %% do qua chinh yeu
cau %
    Tm_p = str2double(get(handles.Tm_p, 'string')); %% thoi gian qua do
yeu cau s
    G03 = str2double(get(handles.h3, 'string')); %% gia tri xac lap
mong muon
    dHp = str2double(get(handles.dH3, 'string')); %% gia tri xac lap
mong muon
    osmin_p= str2double(get(handles.osmin_p, 'string'));
    kvt_ht=1/G03;
    alpha0_vt = ( (log(Hm_p/100))^2 )/(9/(Tm_p)^2 * ( (Hm_p/100))^2 +
pi^2 );
    alpha1_vt = 6*alpha0_vt/Tm_p;
    tfp_mm=hamtruyen_mongmuon(G03,Hm_p,Tm_p,dHp,0);
    Wkvt_mm_s = tfp_mm;
    % Wkvt_mm_s = (tf([alpha1_vt/2 1],[alpha0_vt alpha1_vt 1]))*G03;
    Wkvt_mm = (((alpha1_vt/2)*p + 1)/(alpha0_vt*p^2 + alpha1_vt*p +
1))*G03;
    Whvt_mm = Wkvt_mm/(1 - Wkvt_mm*kvt_ht);
    Whvt_mm_s = Wkvt_mm_s/(1 - Wkvt_mm_s*kvt_ht);
    assignin('base', 'Whvt_mm', Whvt_mm);
    assignin('base', 'Hm_p', Hm_p);
    assignin('base', 'Tm_p', Tm_p);
    osmin_v= str2double(get(handles.osmin_v, 'string')); %% gia tri
xac lap mong muon
    osmin_p= str2double(get(handles.osmin_p, 'string'));
    T=evalc('tfp_mm');T1=T(12:length(T)-21);
    set(handles.text_Wpmm,'String',T1);
    T=evalc('tfv_mm');T1=T(13:length(T)-21);
    set(handles.text_WmmV,'String',T1);
    T=evalc('tfd_mm');T1=T(13:length(T)-21);

```

```
set(handles.text_WmmI, 'String', T1);
```

3. Module chương trình “Tổng hợp các vòng điều khiển”

```
global SI0_d; global SI1_d; global denta_SI_d;
global SI0; global SI1; global denta_SI;
global Wk_thd; global Wk_thd_s; global Wkd_mm_s; global Wdc_thd_s;
global plotidx;
plotidx = 1;
global KiemtraD;
KiemtraD = 0;
%%
cla(handles.plot, 'reset'); hold on;
axes(handles.plot);
%%
SI0_d = str2double(get(handles.SI0_1, 'string')); %% do qua chinh
yeu cau %
SI1_d = str2double(get(handles.SI1_1, 'string')); %% do qua chinh
yeu cau %
denta_SI_d = str2double(get(handles.delta_SI_1, 'string')); %% do
qua chinh yeu cau %

set(handles.text_Wrt, 'String', '');
giatricon_d = get(handles.popupmenu2, 'value');
switch giatricon_d
case 1
    [Wdc_d_P_s] = F_Wdc_d_P;
    KiemtraD = 1;
case 2
    [Wdc_d_PI_s] = F_Wdc_d_PI;
    KiemtraD = 0;
case 3
    [Wdc_d_PD_s] = F_Wdc_d_PD;
    KiemtraD = 1;
case 4
    [Wdc_d_PID_s] = F_Wdc_d_PID;
    KiemtraD = 0;
end
if KiemtraD == 1
    T_DC = evalc('Wdc_thd_s'); T_DC1 = T_DC(17:length(T_DC)-
10);

    set(handles.text_WrtD, 'String', num2str((T_DC1)));
    set(handles.text_WrtD, 'Visible', 'On');
else
    T_DC = evalc('Wdc_thd_s'); T_DC1 =
T_DC(15:length(T_DC)-20);
    set(handles.text_Wrt, 'String', num2str((T_DC1)));
    set(handles.text_WrtD, 'Visible', 'Off');
end
assignin('base', 'Wk_thd_s', Wk_thd_s);
assignin('base', 'Wk_thd', Wk_thd);
assignin('base', 'Wkd_mm_s', Wkd_mm_s);
assignin('base', 'Wdc_d', Wdc_thd_s);
hold on;
step(Wkd_mm_s, 'k'); % ve do thi ham truyen kin mong muon
step(Wk_thd_s, 'k--'); % ve do thi ham truyen kin tong hop duoc
title("Qua do vong dong dien");
legend('1:HT mong muon', '2:HT tong hop');
grid on;
```

```

figure(1);
hold on;
step(Wkd_mm_s,'k'); % ve do thi ham truyen kin mong muon
step(Wk_thd_s,'k--'); % ve do thi ham truyen kin tong hop duoc
function thop_vt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to thop_vt (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% global a;global muy1;global muy2;
% global lamda;global R;global l;global i;global matdo;
% global Cm;
% global Hm_v; global Tm_v; global G02;
global SI0_td; global SI1_td; global denta_SI_td;
global Wk_mmttd_s;
global Wk_thtd;    global Wk_thtd_s;    global Wktd_mm_s;global
Wdc_td_PI_s; global Wdc_thtd_s;
global plotidx;
plotidx = 2;
global KiemtraV;
KiemtraV = 0;
%%
SI0_td = str2double(get(handles.SI0_2, 'string')); %% do qua chinh
yeu cau %
SI1_td = str2double(get(handles.SI1_2, 'string')); %% do qua chinh
yeu cau %
denta_SI_td = str2double(get(handles.delta_SI_2, 'string')); %% do
qua chinh yeu cau %
cla(handles.plot, 'reset');hold on;
axes(handles.plot);
set(handles.text_Wrc, 'String', '');
t=0:0.1:20;
giatricon_td = get(handles.popupmenu3, 'value');
switch giatricon_td
case 1
[Wdc_td_P_s]= F_Wdc_td_P;
KiemtraV = 1;
case 2
[Wdc_td_PI_s]= F_Wdc_td_PI;
KiemtraV = 0;
case 3
[Wdc_td_PD_s]= F_Wdc_td_PD;
KiemtraV = 1;
case 4
[Wdc_td_PID_s]= F_Wdc_td_PID;
KiemtraV = 0;
end
if KiemtraV == 1
T_DC = evalc('Wdc_thtd_s'); T_DC1 = T_DC(17:length(T_DC)-
10);
set(handles.text_WrcV, 'String', num2str((T_DC1)));
set(handles.text_WrcV, 'Visible', 'On');
else
T_DC = evalc('Wdc_thtd_s'); T_DC1 =
T_DC(15:length(T_DC));
set(handles.text_Wrc, 'String', num2str((T_DC1)));
set(handles.text_WrcV, 'Visible', 'Off');
end
assignin('base', 'Wk_thtd_s', Wk_thtd_s);

```

```

assignin('base', 'Wk_thtd', Wk_thtd);
assignin('base', 'Wktd_mm_s', Wktd_mm_s);
assignin('base', 'Wdc_v', Wdc_thtd_s);

hold on;
step(Wktd_mm_s, 'k'); % ve do thi ham truyen kin mong muon
step(Wk_thtd_s, 'k--'); % ve do thi ham truyen kin tong hop duoc
title('Qua do vong van toc');
legend('1:HT mong muon', '2:HT tong hop');
grid on;
figure(2);
hold on;
step(Wktd_mm_s, 'k'); % ve do thi ham truyen kin mong muon
step(Wk_thtd_s, 'k--'); % ve do thi ham truyen kin tong hop duoc
function thvtri_PI_Callback(hObject, eventdata, handles)
global SI0_vt; global SI1_vt; global denta_SI_vt;
global Wk_thvt; global Wk_thvt_s; global Wkvt_mm_s; global
Wdc_vt_PI_s; global Wdc_vt_PD_s; global Wdc_thvt_s; global Wdc_vt_P_s;
global Beta_vt; global Tqd_vt;
global plotidx;
plotidx = 3;
global KiemtraP;
KiemtraP = 0;
SI0_vt = str2double(get(handles.SI0_3, 'string')); %% do qua chinh
yeu cau %
SI1_vt = str2double(get(handles.SI1_3, 'string')); %% do qua chinh
yeu cau %
denta_SI_vt = str2double(get(handles.delta_SI_3, 'string')); %%
do qua chinh yeu cau %
cla(handles.plot, 'reset'); hold on;
axes(handles.plot);
set(handles.text_Wrp, 'String', '');
t=0:0.1:20;
giatricon_vt = get(handles.popupmenu4, 'value');
switch giatricon_vt
case 1
[Wdc_vt_P_s] = F_Wdc_vt_P;
KiemtraP = 1;
case 2
[Wdc_vt_PI_s] = F_Wdc_vt_PI;
KiemtraP = 0;
case 3
[Wdc_vt_PD_s] = F_Wdc_vt_PD;
KiemtraP = 1;
case 4
[Wdc_vt_PID_s] = F_Wdc_vt_PID;
KiemtraP = 0;
end
% T_DC = evalc('Wdc_thtd_s'); T_DC1 = T_DC(17:length(T_DC)-
10);
% set(handles.text_Wrc, 'String', num2str((T_DC1)));
% T=evalc('Wdc_p'); T1=T(9:length(T));
if KiemtraP == 1
T_DC = evalc('Wdc_thvt_s'); T_DC1 =
T_DC(15:length(T_DC));
set(handles.text_WrpP, 'String', num2str((T_DC1)));
set(handles.text_WrpP, 'Visible', 'On');

```

```

else
    T_DC = evalc('Wdc_thvt_s'); T_DC1 =
T_DC(15:length(T_DC)-20);
    set(handles.text_Wrp,'String',num2str((T_DC1)));
    set(handles.text_WrpP,'Visible','Off');
end
    set(handles.Ts_vitri,'string',strcat('Ts
',num2str(Tqd_vt)));
    set(handles.Os_vitri,'string',strcat('Os
',num2str(Beta_vt)));
%%
assignin('base','Wk_thvt_s',Wk_thvt_s);
assignin('base','Wkvt_mm_s',Wkvt_mm_s);
assignin('base','Wdc_p',Wdc_thvt_s);
title('Qua do vong vi tri');
hold on;
    step(Wkvt_mm_s,'k'); % ve do thi ham truyen kin mong muon
    step(Wk_thvt_s,'k--'); % ve do thi ham truyen kin tong hop duoc
    title('Qua do vong vi tri');
    legend('1:HT mong muon','2:HT tong hop');
    grid on;
figure(3);
hold on;
    step(Wkvt_mm_s,'k'); % ve do thi ham truyen kin mong muon
    step(Wk_thvt_s,'k--'); % ve do thi ham truyen kin tong hop duoc

```

4. Module chương trình “Quá trình quá độ của hệ thống”

```

global tfd_k;global tfv_k;global tfp_k;
global tfd_mm;global tfv_mm;global tfp_mm;
global plotidx;
plotidx = plotidx+1;
%t =0:0.1:3;
assignin('base','plotidx',plotidx);
if(plotidx==1)
    cla(handles.plot,'reset');hold on;
    step(tfd_k)
    step(tfd_mm)
    title('Qua do vong dieu khien dong dien');
elseif(plotidx==2)
    cla(handles.plot,'reset');hold on;
    step(tfv_k)
    step(tfv_mm)
    title('Qua do vong dieu khien van toc');
elseif(plotidx==3)
    cla(handles.plot,'reset');hold on;
    step(tfp_k)
    step(tfp_mm)
    title('Qua do vong dieu khien vi tri');
else
    cla(handles.plot,'reset'); hold on;
    step(tfd_k)
    step(tfv_k)
    step(tfp_k)
    title('Qua do vong dieu khien he thong');
    plotidx=0;
end

```

III. Phụ lục III: Chương trình điều khiển trên Step7

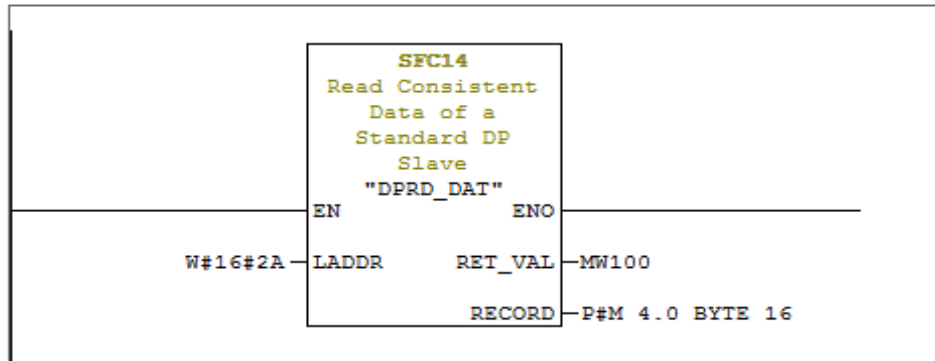
1. Chương trình điều khiển S7-300 cho động cơ 1

OB1 : Chương trình điều khiển PLC Master

Comment:

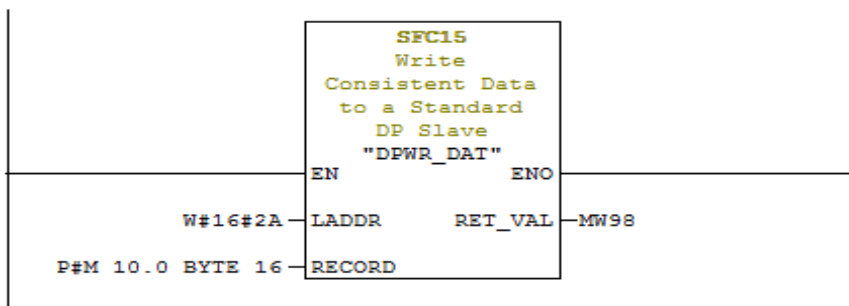
Network 1: NHAN DU LIEU TU SLAVER

Comment:



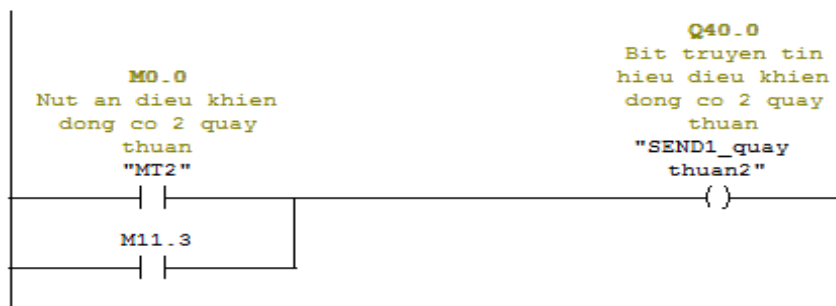
Network 2: GUI DU LIEU TOI SLAVER

Comment:



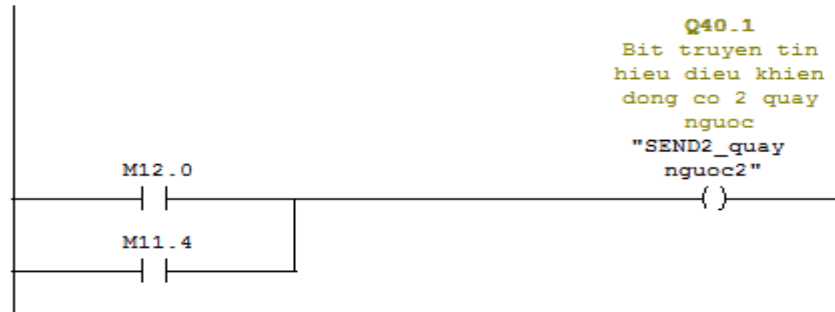
Network 3: Bit truyền tín hiệu điều khiển động cơ quay thuận

Comment:

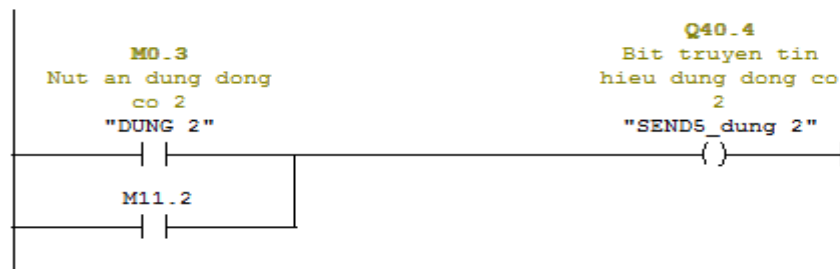


Network 4 : Bit truyền tín hiệu điều khiển động cơ quay ngược

Comment:


Network 5 : Bit truyền tín hiệu dừng tốc độ động cơ

Comment:


Network 6 : Đèn báo động cơ quay thuận

Comment:

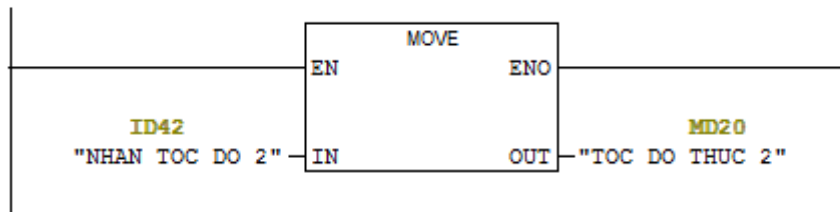

Network 7 : Đèn báo động cơ quay ngược

Comment:



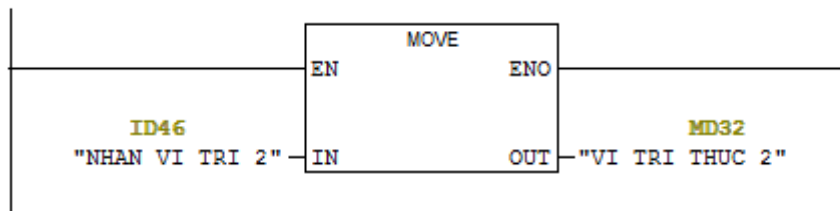
Network 8 : Nhan toc do dong co tu slaver

Comment:



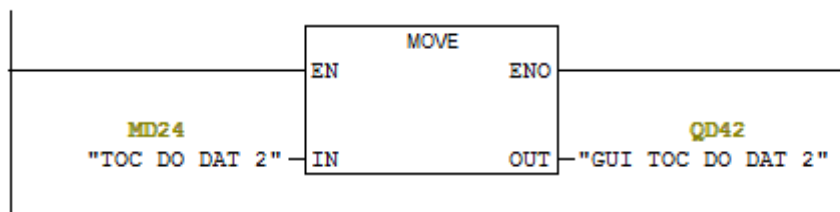
Network 9 : Nhan vi tri ban vitme tu slave

Comment:



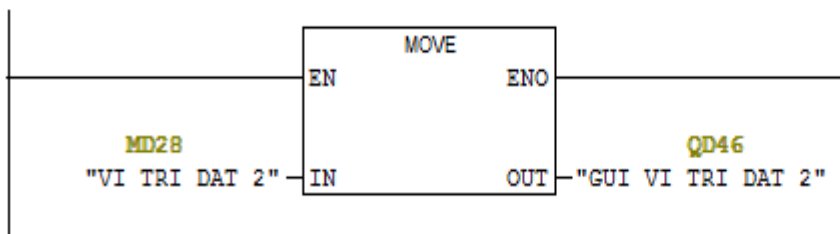
Network 10 : Title:

Comment:



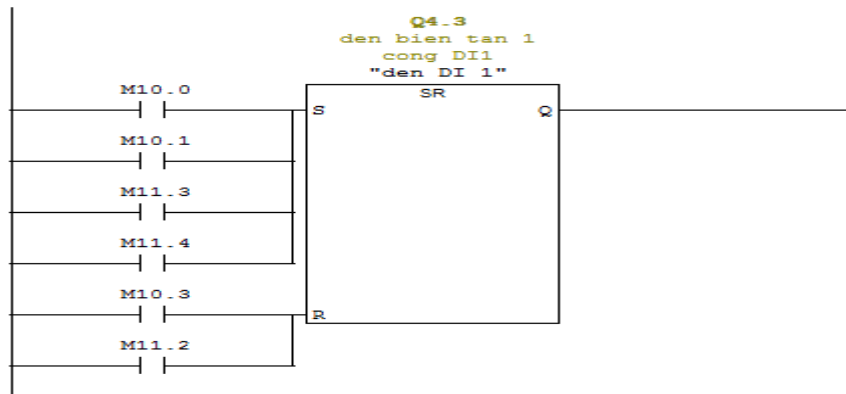
Network 11 : Title:

Comment:



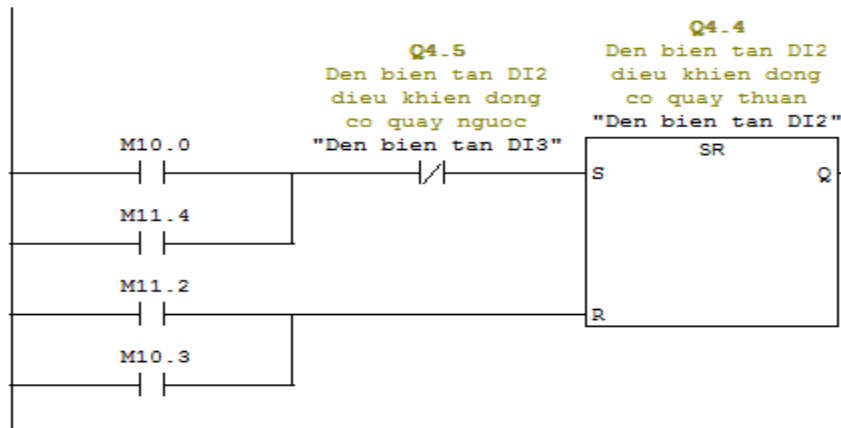
Network 12 : Dau ra ket noi bien tan DI1

Comment:



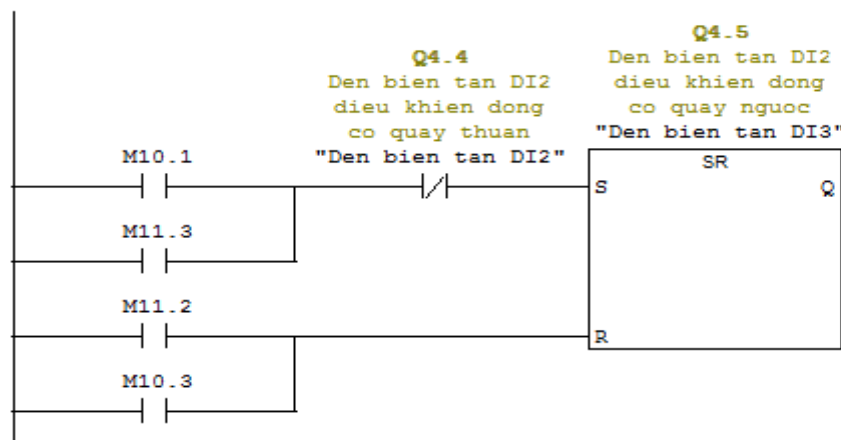
Network 13 : Dau ra ket noi bien tan DI2

Comment:



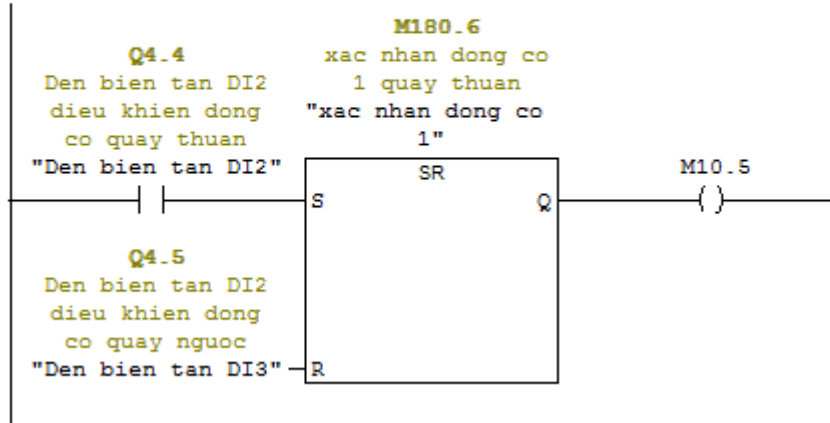
Network 14 : Dau ra ket noi bien tan DI3

Comment:



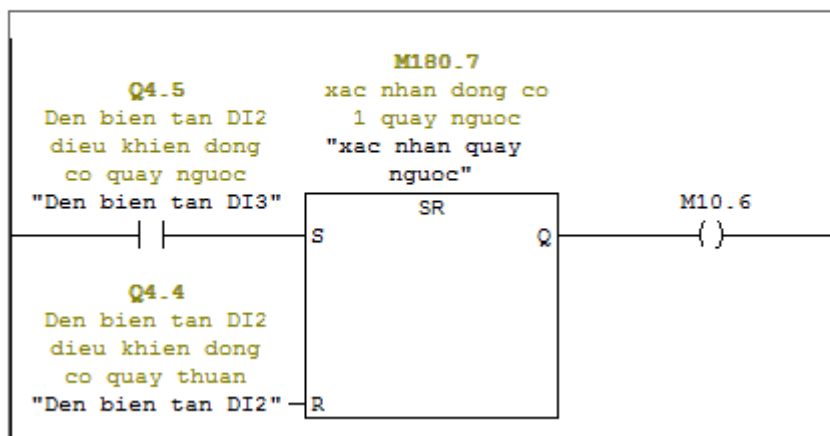
Network 15 : xac nhan quay thuan

Comment:



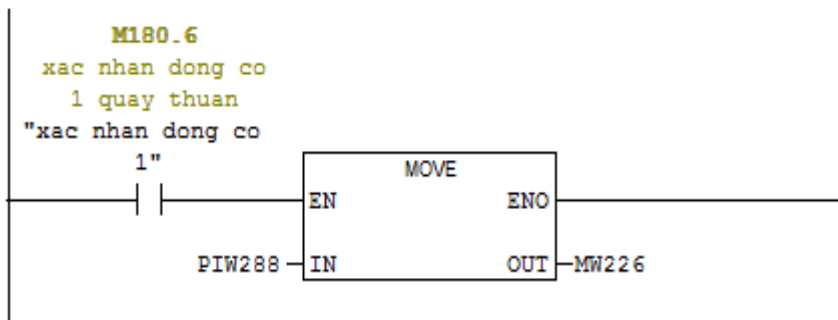
Network 16 : Xac nhan quay nguoc

Comment:



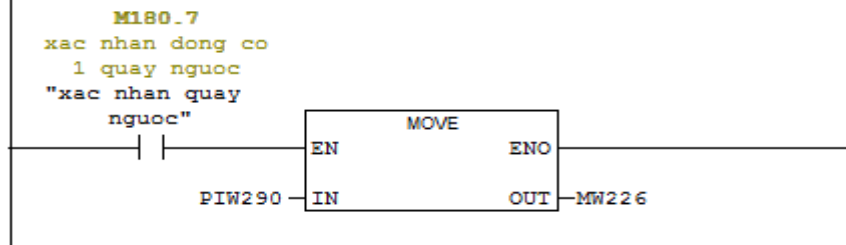
Network 17 : Doc tin hieu tuong tu tu bien tan 01

Comment:



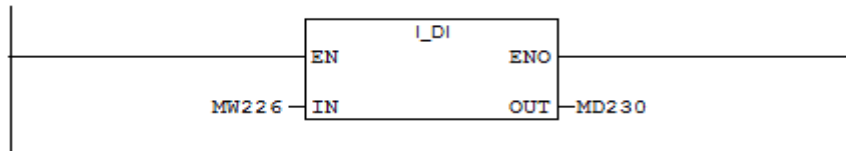
Network 18 : Doc tin hieu tuong tu tu bien tan 01

Comment:



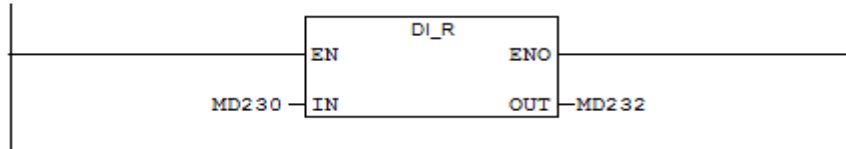
Network 19 : chuyen doi sang so nguyen 32 bit cua master

Comment:

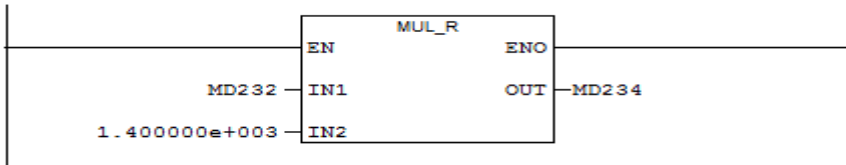


Network 20 : chuyen doi so nguyen 32 bit sang so thuc master

Comment:

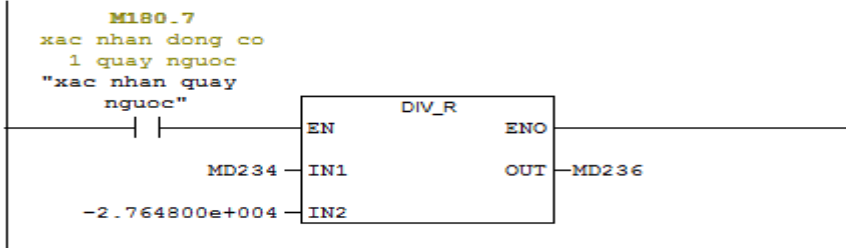


Network 21 : nhan voi toc do dong co 1400



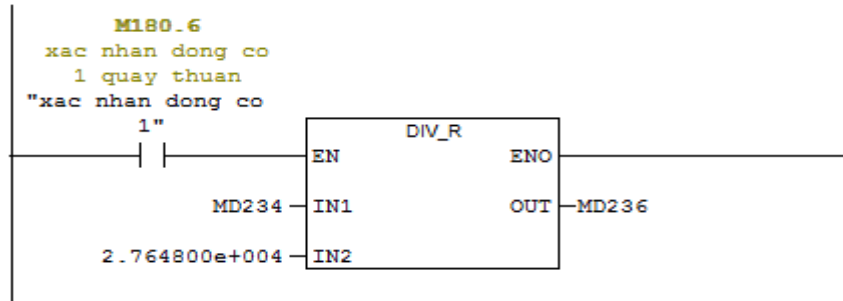
Network 22 : chia dcho dai tin hieu analog 27648

Comment:



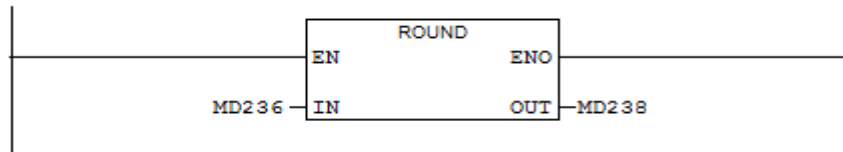
Network 23 : Title:

Comment:



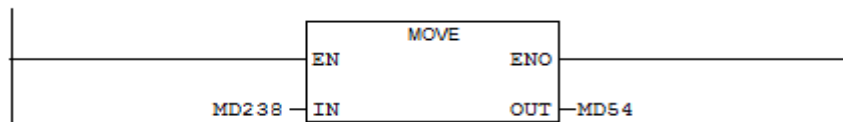
Network 24 : làm tròn theo độ nguyên

Comment:



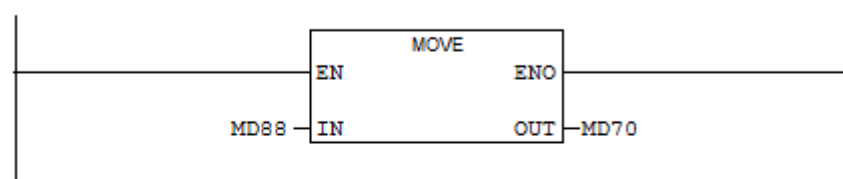
Network 25 : Title:

Comment:



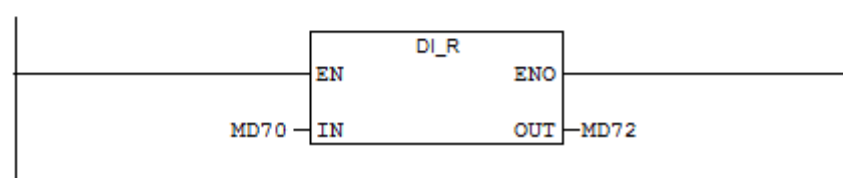
Network 26 : Tốc độ đặt của động cơ

Comment:



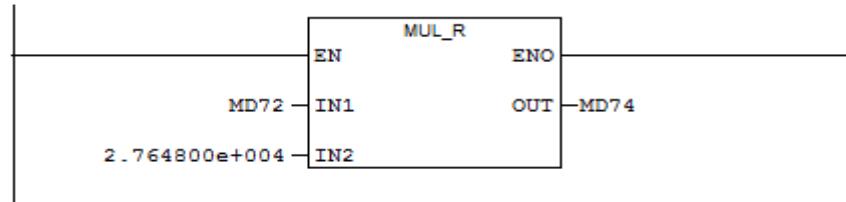
Network 27 : Title:

Comment:



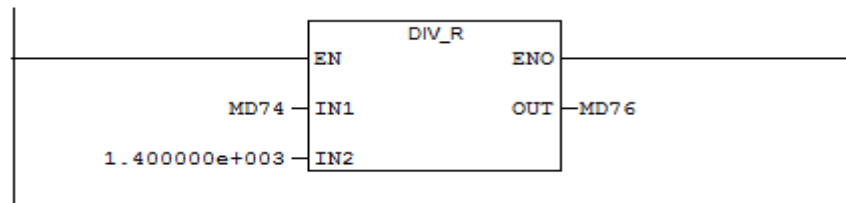
Network 28 : Title:

Comment:



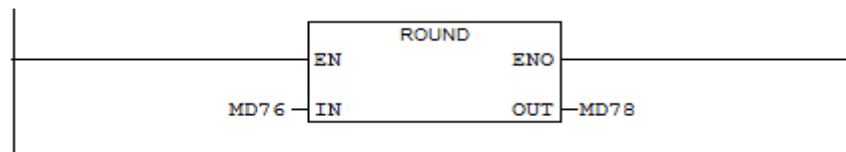
Network 29 : Title:

Comment:



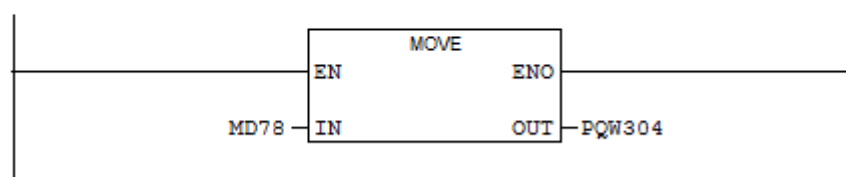
Network 30 : Title:

Comment:



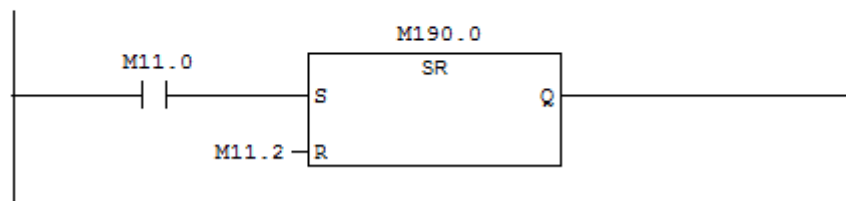
Network 31 : Title:

Comment:



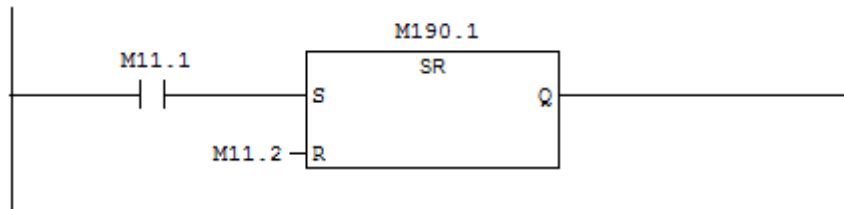
Network 32 : Chương trình động cơ động cơ

M11.0 nút Auto
M11.2 nút Estop



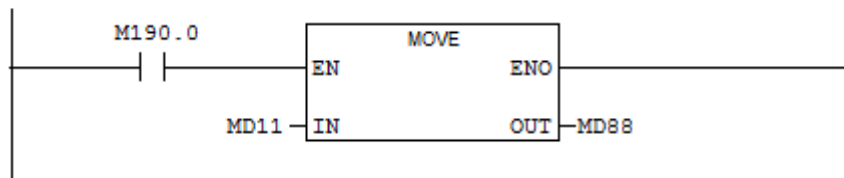
Network 33 : Title:

m11.1 Manual



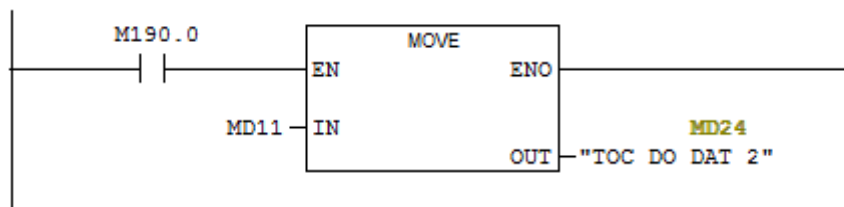
Network 34 : Title:

Comment:



Network 35 : Title:

Comment:



2. Chương trình điều khiển PLC S7-300 cho động cơ 2:

OB1 : Chương trình điều khiển động cơ 02

Comment:

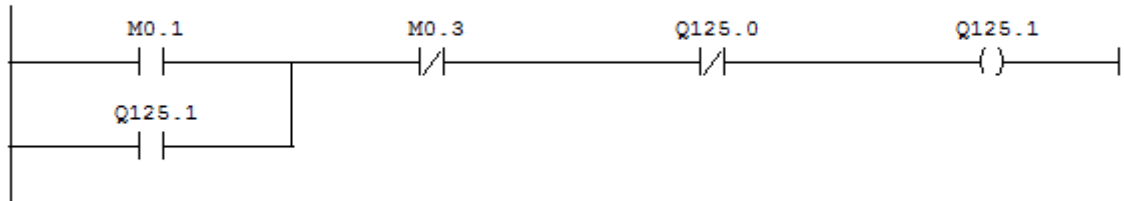
Network 1: Bit truyền tín hiệu điều khiển động cơ quay thuận

Comment:



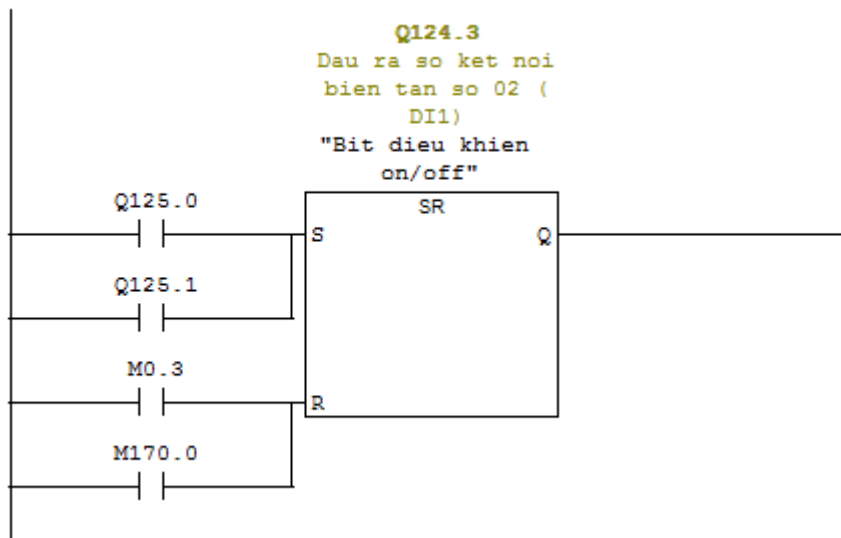
Network 2 : Bit truyền tín hiệu điều khiển động cơ quay ngược

Comment:



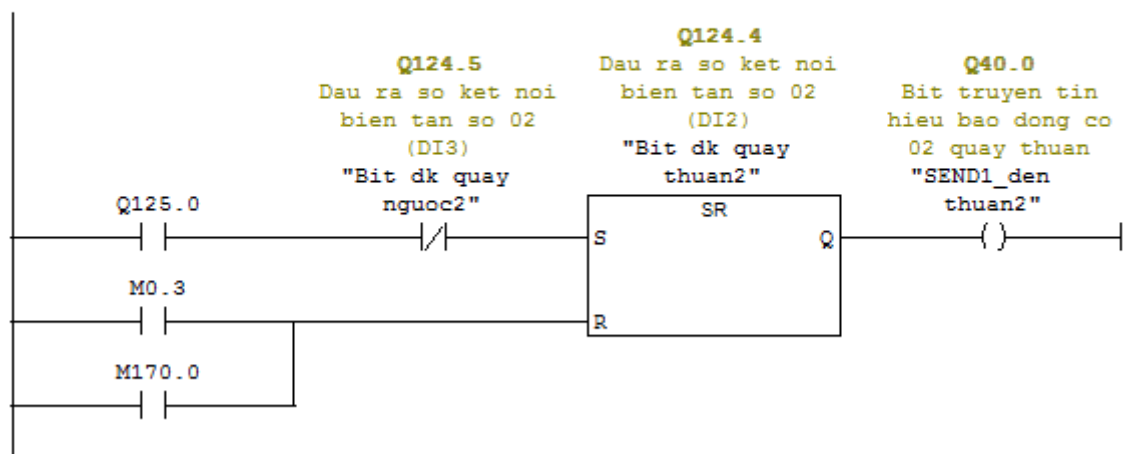
Network 3 : Đầu ra số kết nối biến tần số 02

Comment:



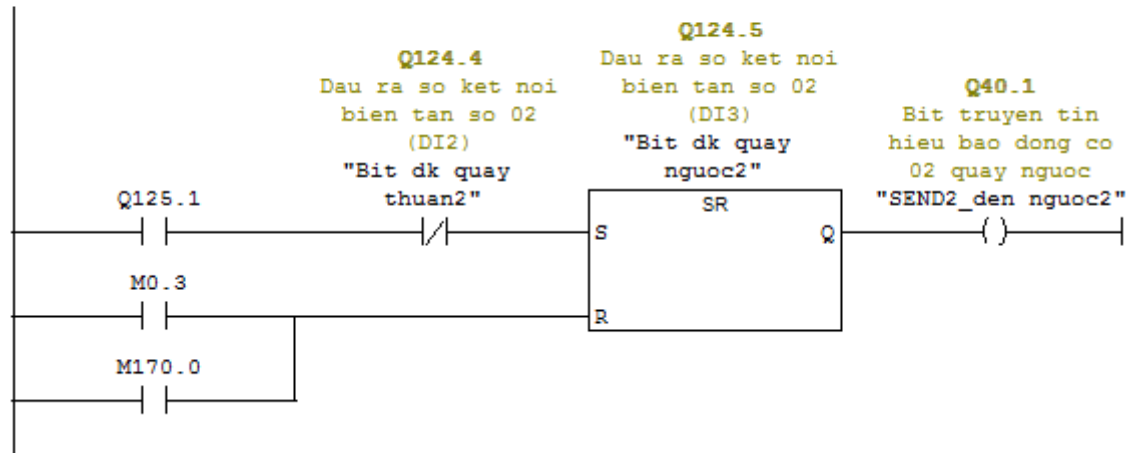
Network 4 : Đầu ra số kết nối biến tần số 02 (DI2)

Comment:



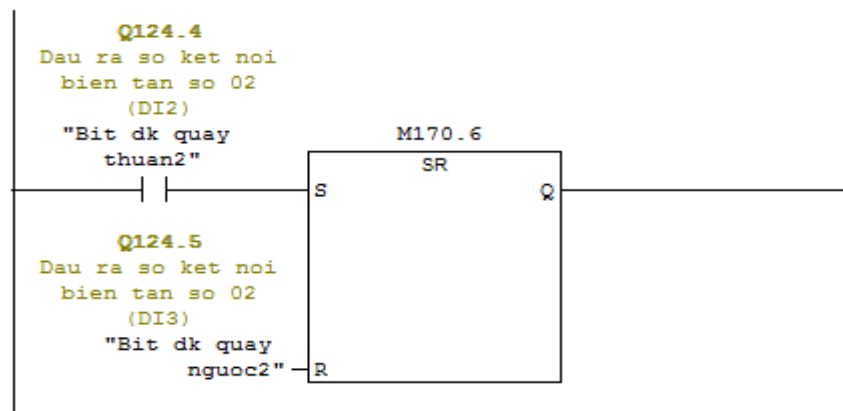
Network 5 : Dau ra so ket noi bien tan so 02 (DI3)

Comment:



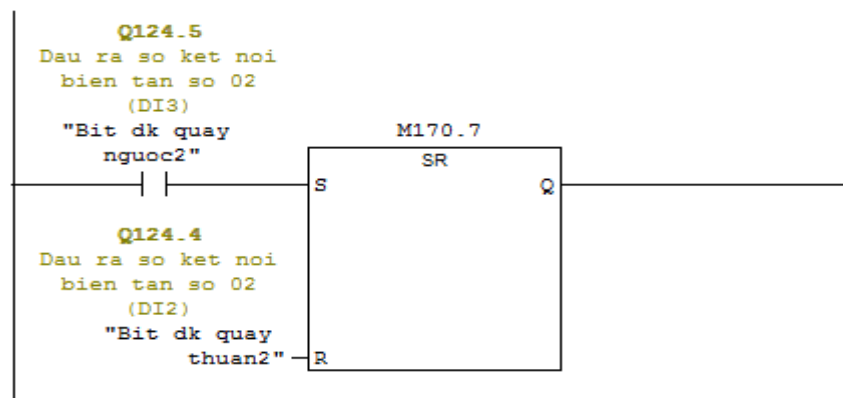
Network 6 : setbit bien trung gian M170.6 (xac dinh dong co 2 chay thuan)

Comment:



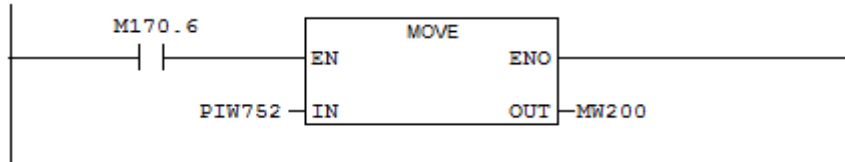
Network 7 : setbit bien trung gian M170.7 (xac dinh dong co 2 chay nguoc)

Comment:



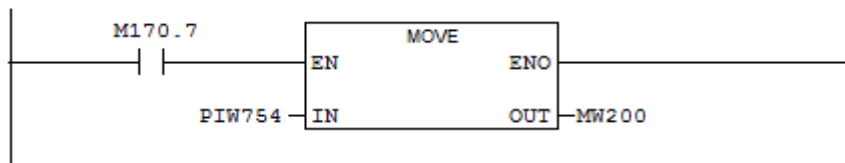
Network 8 : Doc tin hieu tuong tu tu Bien tan 02

PIW752 doc tin hieu tuong tu bien tan 02 (input analog)



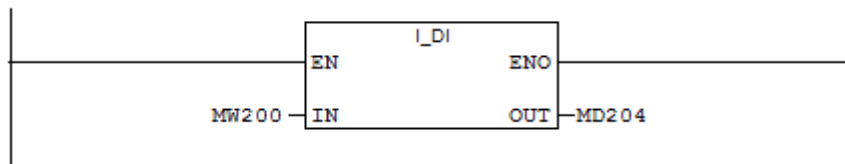
Network 9 : Doc tin hieu tuong tu tu Bien tan 02

PIW752 doc tin hieu tuong tu bien tan 02 (output analog)



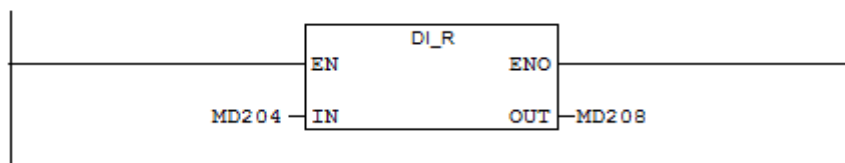
Network 10 : Chuyen doi sang so nguyen 32 Bit

Comment:



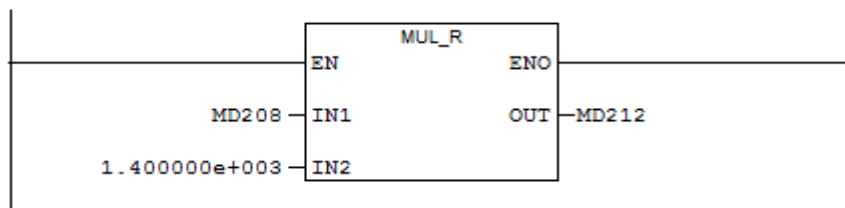
Network 11 : Chuyen doi so nguyen 32 bit sang so thuc

Comment:



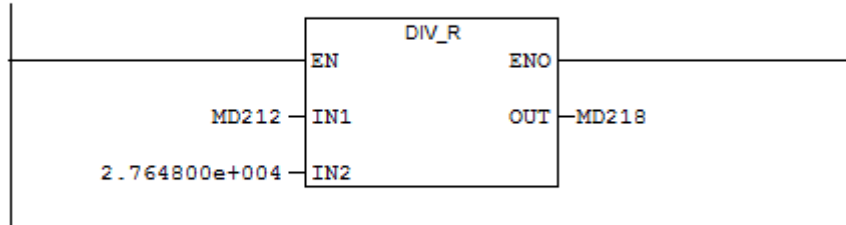
Network 12 : Nhan voi so thuc 1400

Comment:



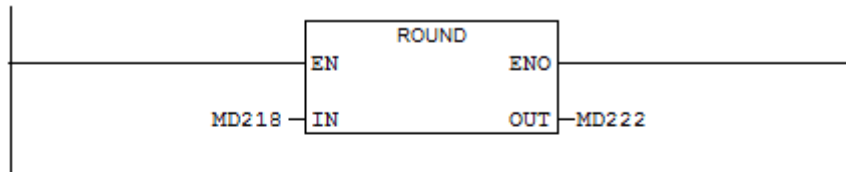
Network 13 : Chia cho so thuc 27648

Comment:



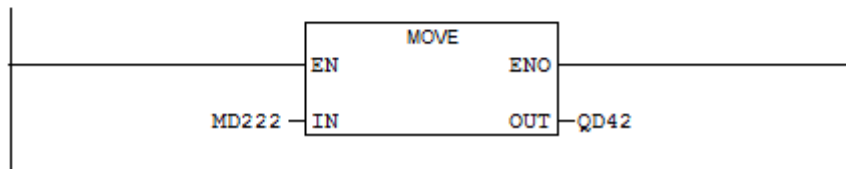
Network 14 : Luu toc do dong co vao vung nho MD222

Comment:



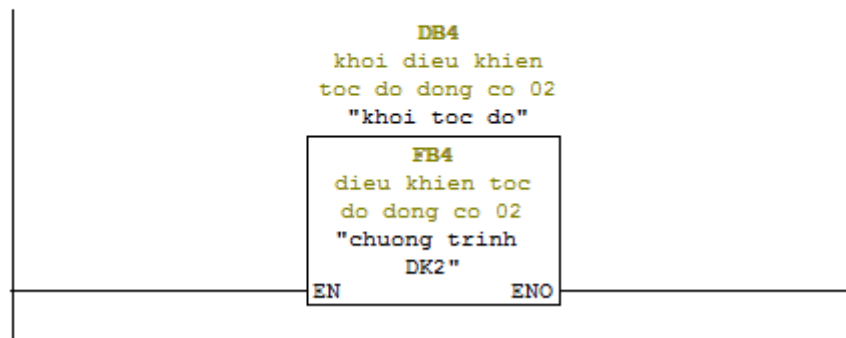
Network 15 : Gui toc do Dong Co toi Master

Comment:



Network 16 : Goi chuong trinh dieu khien toc do dong co dong co 02

Comment:

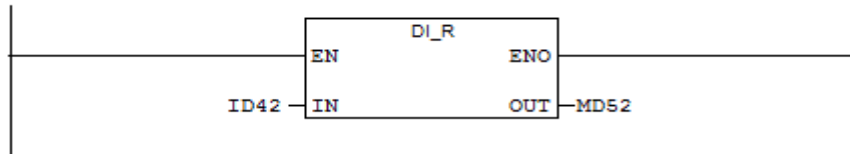


FB4 : khai chương trình xác định tốc độ của động cơ

Comment:

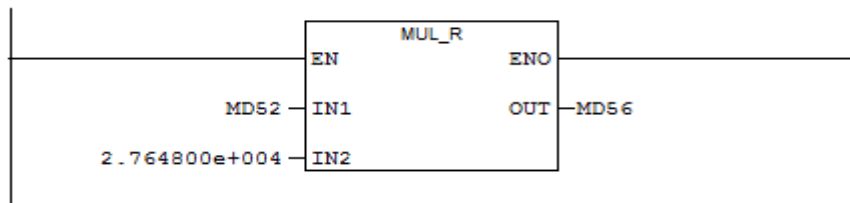
Network 1: Title:

chuyển tốc độ sang số thực (ID42 sang MD52)



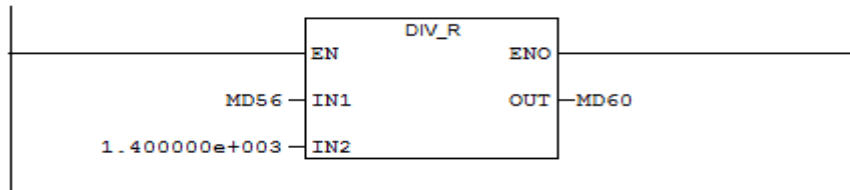
Network 2: Title:

Comment:



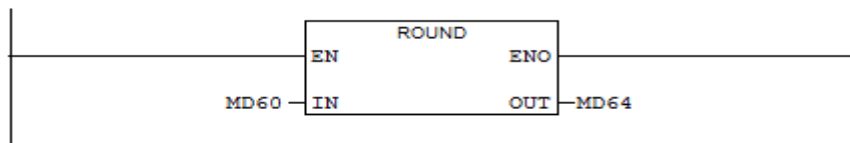
Network 3: Title:

Comment:



Network 4: Title:

Comment:



Network 5: Title:

Comment:

