

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP

NGUYỄN XUÂN NGUYỄN

NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN ROBOT
CHỮA CHÁY NHÀ XƯỞNG CÔNG NGHIỆP

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội, 2025

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP

NGUYỄN XUÂN NGUYỄN

NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN ROBOT
CHỮA CHÁY NHÀ XƯỞNG CÔNG NGHIỆP

Ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số: 9.52.01.03

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Người hướng dẫn khoa học:

- TS. Hoàng Sơn
- PGS.TS. Nguyễn Phạm Thục Anh

Hà Nội, 2025

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, được sự hướng dẫn khoa học của TS. Hoàng Sơn và PGS.TS. Nguyễn Phạm Thục Anh. Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong luận án là trung thực, khách quan và chưa từng được công bố ở bất kỳ công trình nào khác.

Tôi xin cam đoan rằng mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện luận án đã được cảm ơn, các thông tin trích dẫn trong luận án này đều được chỉ rõ nguồn gốc.

Hà Nội, ngày tháng năm 2025

Hướng dẫn khoa học

Tác giả luận án

TS. Hoàng Sơn PGS.TS. Nguyễn Phạm Thục Anh Nguyễn Xuân Nguyên

LỜI CẢM ƠN

Xin chân thành cảm ơn các nhà khoa học, các cơ quan đã nhiệt tình giúp đỡ tôi hoàn thành bản luận án khoa học này.

Trước hết xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới TS Hoàng Sơn và PGS.TS Nguyễn Phạm Thực Anh với vai trò hai thầy hướng dẫn khoa học đã có những ý kiến đóng góp quan trọng và chỉ dẫn khoa học quý giá trong quá trình thực hiện công trình nghiên cứu.

Xin cảm ơn TS. Phạm Văn Tinh cùng các nhà khoa học của khoa Cơ điện và Công trình, trường Đại học Lâm nghiệp đã giúp đỡ và đóng góp ý kiến để tôi hoàn thành luận án.

Trân trọng cảm ơn Khoa Cơ điện và Công trình, Bộ môn Công nghệ và máy chuyên dùng Trường Đại học Lâm nghiệp đã giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi cho tôi hoàn thành nhiệm vụ học tập và nghiên cứu.

Trân trọng cảm ơn Ban giám hiệu Trường Đại học Lâm nghiệp, Phòng Đào tạo sau đại học đã giúp đỡ và tạo điều kiện để tôi hoàn thành luận án.

Trân trọng cảm ơn Lãnh đạo Trường Cao đẳng Cơ điện Hà Nội đã tạo điều kiện thuận lợi để tôi hoàn thành luận án này.

Trân trọng cảm ơn các nhà khoa học của Trường Đại học Lâm nghiệp, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, Học viện Kỹ thuật quân sự đã đóng góp ý kiến quý báu để tôi hoàn thành luận án này.

Hà Nội, ngày.....tháng..... năm 2025

Tác giả luận án

Nguyễn Xuân Nguyên

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC TỪ KÝ HIỆU VÀ TỪ VIẾT TẮT.....	VI
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	VIII
DANH MỤC CÁC HÌNH VÀ ĐỒ THỊ.....	IX
MỞ ĐẦU.....	1
1. Đặt vấn đề	1
2. Mục đích nghiên cứu luận án.....	2
3. Những đóng góp mới của luận án	3
4. Ý nghĩa khoa học của những kết quả nghiên cứu của luận án	3
5. Ý nghĩa thực tiễn của luận án	4
CHƯƠNG 1. NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN.....	5
1.1. Tổng quan sử dụng và nghiên cứu robot chữa cháy ở trên thế giới.....	5
1.1.1. Sử dụng robot chữa cháy ở một số nước trên thế giới	5
1.1.2. Tổng quan về các công trình nghiên cứu robot chữa cháy trên thế giới..	9
1.2. Tổng quan về tình hình sử dụng và nghiên cứu robot chữa cháy tại Việt Nam ..	12
1.2.1. Sử dụng robot chữa cháy tại Việt Nam.....	12
1.2.2. Tổng quan về các công trình nghiên cứu robot tại Việt Nam.....	14
1.3. Mục tiêu nghiên cứu	18
1.4. Nội dung nghiên cứu của luận án.....	18
1.4.1. Nghiên cứu lý thuyết	18
1.4.2. Nghiên cứu thực nghiệm	19
1.5. Đối tượng nghiên cứu của luận án	19
1.5.1. Đặc điểm và thông số của đám cháy công trình công nghiệp.....	19
1.5.2. Cầu thang trong nhà xưởng công nghiệp	20
1.5.3. Robot chữa cháy công trình công nghiệp	21
1.6. Phương pháp nghiên cứu của luận án.....	23
1.6.1. Phương pháp nguyên cứu lý thuyết	23
1.6.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.....	24
Kết luận chương 1	24

CHƯƠNG 2. ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH ROBOT DI CHUYỂN LÊN, XUỐNG CẦU THANG.....	26
2.1. Xây dựng phương trình động lực học robot khi leo lên cầu thang	27
2.1.1. Động lực học tại bước 1 khi leo lên.....	27
2.1.2. Động lực học robot tại bước 2 quá trình leo lên	29
2.1.3. Động lực học robot tại bước 3 quá trình leo lên	31
2.1.4. Động lực học robot tại bước 4 quá trình leo lên	31
2.1.5. Động lực học robot tại bước 5 quá trình leo lên	32
2.2. Xây dựng phương trình động lực học robot khi leo xuống cầu thang.....	33
2.2.1. Động lực học robot tại bước 1 quá trình leo xuống	33
2.2.2. Động lực học robot tại bước 2 quá trình leo xuống	34
2.2.3. Động lực học robot tại bước 3 quá trình leo xuống	36
2.2.4. Động lực học robot tại bước 4 quá trình leo xuống	37
2.2.5. Động lực học robot tại bước 5 quá trình leo xuống	37
2.2.6. Động lực học robot tại bước 6 quá trình leo xuống	38
2.3. Xây dựng hệ thống điều khiển chuyển động cho robot.....	39
2.3.1. Tính toán động cơ truyền động cho robot	40
2.3.2. Tính toán bộ điều khiển động cơ truyền động cho robot.....	40
2.4. Mô phỏng và đánh giá kết quả quá trình leo cầu thang của Robot chữa cháy.....	46
2.4.1. Các tham số và giả định trong mô phỏng.....	46
2.4.2. Kết quả mô phỏng	47
Kết luận chương 2:	55
CHƯƠNG 3. ĐỘNG LỰC HỌC KHI XẢY RA HIỆN TƯỢNG LẬT VÀ GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỂ CHỐNG LẠI HIỆN TƯỢNG LẬT KHI ROBOT LEO CẦU THANG	56
3.1. Xây dựng phương trình động lực học xét tới quá trình động lực học dẫn tới hiện tượng lật của robot.....	57
3.1.1. Quá trình động lực học dẫn tới lật khi leo lên cầu thang.....	57
3.1.2. Quá trình động lực học dẫn tới lật khi leo xuống cầu thang.....	66
3.2. Xây dựng bộ điều khiển PID mờ điều khiển chuyển động hệ ác quy chống hiện	

tượng lật cho robot leo cầu thang	71
3.2.1. Xây dựng bài toán điều khiển lực F	74
3.2.2. Xây dựng bộ điều khiển PID mờ.....	75
3.3. Khảo sát động lực học của mô hình dẫn đến khả năng có hiện tượng lật của robot.	77
Kết luận chương 3	85
CHƯƠNG 4. THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH LÝ THUYẾT	87
4.1. Mục tiêu và nhiệm vụ thực nghiệm kiểm chứng mô hình lý thuyết.....	87
4.1.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm.....	87
4.1.2. Nhiệm vụ nghiên cứu thực nghiệm.....	87
4.1.3. Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm.....	87
4.2. Chọn tham số thay đổi điều khiển và thông số đánh giá	88
4.2.1. Chọn tham số thay đổi điều khiển	88
4.2.2. Chọn thông số đánh giá.....	88
4.3. Phương pháp xác định các đại lượng nghiên cứu và thiết bị đo	88
4.3.1. Phương pháp điều chỉnh độ dốc cầu thang và phương pháp xác định góc nghiên cầu thang.....	89
4.3.2. Phương pháp xác định vận tốc và gia tốc di chuyển	90
4.3.3. Phương pháp xác định góc nghiêng của robot.....	91
4.3.4. Thiết bị khuếch đại và chuyển đổi A/D.....	92
4.4. Tổ chức tiến hành thí nghiệm.....	91
4.4.1. Tổ chức thí nghiệm	91
4.4.2. Kết quả thực nghiệm.....	93
Kết luận chương 4	99
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	101
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	104
CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN ĐÃ CÔNG BỐ	103
PHỤ LỤC	

DANH MỤC CÁC TỪ KÝ HIỆU VÀ TỪ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị	Giá trị
A	Điểm cuối tại mặt xích của xe robot tiếp đất		
β	Độ dốc cầu thang (góc nghiêng mặt cầu thang)	rad	
γ	Góc leo robot (góc nghiêng phía trước mặt xích)	rad	
φ	Góc nghiêng của robot khi leo cầu thang	rad	
$a_Q = \ddot{x}_Q$	Gia tốc cụm AC QUY	m/s^2	
B	Điểm đầu tại mặt xích của xe robot tiếp đất		
d_{AQ}	Khoảng cách trọng tâm Q của cụm Ac quy với A (chiều dài đoạn AQ)	m	
d_{AM}	Khoảng cách từ trọng tâm M của robot tới A (chiều dài đoạn AM)	m	
d_b	Khoảng cách nghiêng giữa hai cạnh bậc cầu thang	m	
G	Điểm trọng tâm của cụm xe robot (cả xe robot và cụm Ac quy)		
g	Gia tốc trọng trường	m/s^2	
h_b	Chiều cao bậc thang	m	
h_M	Cao độ điểm M so với mặt xích dưới (mặt đất),	m	
h_Q	Cao độ Q so với mặt xích dưới,	m	
J_{MR}	Mô men quán tính của xe robot (không Ac quy) đối với M,	$kg.m^2$	
k	Hệ số phục hồi vận tốc khi xe va chạm vào bậc thang		
L	Độ dài toàn thân xe (chiều dài kích thước bao)	m	
L_0	Độ dài mặt xích tiếp đất	m	
L_{AM}	Khoảng cách từ M đến A (khoảng cách từ tâm tới điểm sau bánh xích)	m	

L_{CM}	Khoảng cách ngang từ M đến C (khoảng cách từ khối tâm đến điểm trước bánh xích)	m	
L_{aMQ}	Khoảng cách ngang từ M đến Q - theo chiều A-> M	m	
L_b	Độ rộng mặt bậc thang	m	
L_{OA}	Khoảng cách hai điểm O và A	m	
L_{OM}	Khoảng cách ngang từ O đến M	m	
L_{oMQ}	Khoảng cách ngang từ M đến Q - theo chiều O-> M	m	
L_{OQ}	Khoảng cách ngang từ O đến Q	m	
M	Điểm trọng tâm xe robot (không kể cụm Acquy)		
m_c	Tổng khối lượng tổng robot và Acquy	kg	
m_Q	Khối lượng Acquy di chuyển	kg	
m_R	Khối lượng robot	kg	
N	Số bậc cầu thang nằm trong mặt dưới xích		
O	Hình chiếu của điểm đầu xe xuống mặt phẳng đất.		
Q	Điểm trọng tâm cụm Acquy		
T_0	Thời gian va chạm	s	
V	Vận tốc xe robot	m/s	
x_0	Khoảng cách từ O đến tâm quay X_0 đầu tiên (tại <u>mép bậc thang trên cùng</u>) khi leo xuống	m	
η_{AM}	Góc nghiêng AM so với mặt xích dưới	rad	
η_{AQ}	Góc nghiêng AQ so với mặt xích dưới	rad	
η_{BM}	Góc nghiêng OM so với mặt xích dưới	rad	
η_{BQ}	Góc nghiêng OQ so với mặt xích dưới	rad	

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1: Kích thước cầu thang trong xây dựng	20
Bảng 2.1: Các thông số của robot và cầu thang dùng cho mô phỏng	46
Bảng 3.1: Bảng luật hợp thành.....	76
Bảng 3.2: Các thông số tính toán để phân tích sự lật đổ của robot.....	78
Bảng 3.3: Một số giới hạn vận tốc robot tương ứng khi xuống cầu thang với các trị gia tốc cụm acquy và độ dốc cầu thang	85
Bảng 4.1 : Kết quả thực nghiệm khi robot leo lên cầu thang.....	94
Bảng 4.2 : Kết quả thực nghiệm khi robot leo xuống cầu thang.....	95

DANH MỤC CÁC HÌNH VÀ ĐỒ THỊ

Hình 1.1: Robot chữa cháy công trình công nghiệp được sử dụng tại Nhật Bản.....	5
Hình 1.2: Robot chữa cháy công trình công nghiệp ở Trung Quốc.....	6
Hình 1.3: Robot Thermite chữa cháy công trình cao tầng ở Mỹ	6
Hình 1.4: Robot chữa cháy QinetiQ do Anh sản xuất	7
Hình 1.5: Robot chữa cháy do trung Quốc sản xuất	7
Hình 1.6: Robot chữa cháy do pháp sản xuất được trang bị cho đội cứu hỏa Paris...	8
Hình 1.7: Cánh tay robot được tính toán thiết kế.....	11
Hình 1.8: Mô tả hiện tượng lật của robot khi leo cầu thang	11
Hình 1.9: Xe chữa cháy có cánh tay làm việc dạng Robot ứng dụng tại Việt Nam	12
Hình 1.10. Robot chữa cháy tại thành phố Hồ Chí Minh	13
Hình 1.11: Xe thang chữa cháy loại cầu trục và xe thang vượn xuất xứ Hàn Quốc.	13
Hình 1.12: Robot chữa cháy sử dụng tại thành phố Hà Nội	14
Hình 1.13: Robot tìm kiếm mục tiêu dưới nước	15
Hình 1.14: Robot vận chuyển trong các khu vực cách ly	17
Hình 1.15: Robot khử khuẩn bằng công nghệ phun khử khuẩn và chiếu tia UV	17
Hình 1.16: Quy cách cầu thang nhà xưởng công nghiệp	20
Hình 1.17: Cấu tạo robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp.....	22
Hình 1.18: Cấu tạo bộ phận thay đổi trọng tâm robot để chống lật.....	23
Hình 2.1: Phân tích động lực học bước 1 quá trình leo lên cầu thang.....	28
Hình 2.2: Phân tích động lực học bước 2 quá trình leo lên cầu thang.....	30
Hình 2.3: Phân tích động lực học bước 3 quá trình leo lên cầu thang.....	31
Hình 2.4: Phân tích động lực học bước 4 quá trình leo lên cầu thang.....	32
Hình 2.5: Phân tích động lực học bước 5 quá trình leo lên cầu thang.....	33
Hình 2.6: Phân tích động lực học bước 1 quá trình leo xuống cầu thang.....	34
Hình 2.7: Phân tích động lực học bước 2 quá trình leo xuống cầu thang.....	35
Hình 2.8: Phân tích động lực học bước 3 quá trình leo xuống cầu thang.....	36
Hình 2.9: Phân tích động lực học bước 4 quá trình leo xuống cầu thang.....	37
Hình 2.10: Phân tích động lực học bước 5 quá trình leo xuống cầu thang.....	38
Hình 2.11: Phân tích động lực học bước 6 quá trình leo xuống cầu thang.....	39
Hình 2.12: Động cơ truyền động trang bị cho robot.....	40
Hình 2.13: Bộ điều khiển động cơ DC thông minh DRIVER PID SMART MOTOR DC	41

Hình 2.14: Sơ đồ tổng quát của hệ thống điều khiển	42
Hình 2.15: Vi điều khiển Arduino MEGA 2560.....	43
Hình 2.16: Mạch giao diện của hệ thống điều khiển	43
Hình 2.17: Sơ đồ thuật toán di chuyển robot chữa cháy.....	44
Hình 2.18: Sơ đồ thuật toán điều khiển động cơ 1.....	45
Hình 2.19: Sơ đồ thuật toán điều khiển động cơ 2.....	45
Hình 2.20: Kết quả mô phỏng quá trình leo cầu thang	47
Hình 2.21: Kết quả mô phỏng bước 1 quá trình leo lên.....	48
Hình 2.22: Kết quả mô phỏng bước 2 quá trình leo lên.....	49
Hình 2.23: Kết quả mô phỏng bước 3 quá trình leo lên.....	50
Hình 2.24: Kết quả mô phỏng bước 3 và bước 4 quá trình leo lên.....	50
Hình 2.25: Kết quả mô phỏng bước 5 quá trình leo lên.....	51
Hình 2.26: Kết quả mô phỏng bước 1 quá trình leo xuống.....	52
Hình 2.27: Kết quả mô phỏng bước 2 quá trình leo xuống.....	53
Hình 2.28: Kết quả mô phỏng bước 3 quá trình leo xuống.....	53
Hình 2.29: Kết quả mô phỏng bước 4 quá trình leo xuống.....	54
Hình 2.30: Kết quả mô phỏng bước 5 quá trình leo xuống.....	54
Hình 3.1: Cấu tạo bộ phận thay đổi trọng tâm robot.....	57
Hình 3.2: Phân tích quá trình lật khi leo lên	58
Hình 3.3: Mô tả sự va chạm của xe và bậc cầu thang tại các bậc thứ 1.....	60
Hình 3.4: Mô tả sự va chạm của xe và bậc cầu thang tại các bậc thứ 2 trở đi.....	64
Hình 3.5: Mô tả quá trình leo xuống cầu thang của cụm xe robot tại các thời điểm và các trường hợp khác nhau	67
Hình 3.6: Mô tả xe Robot ở giai đoạn 2 khi leo xuống cầu thang	69
Hình 3.7: Cấu trúc bộ điều khiển PID mờ	74
Hình 3.8: Tín hiệu ra bộ điều khiển PID mờ.....	75
Hình 3.9: Miền giá trị của ET.....	74
Hình 3.10: Kết quả khảo sát khi robot leo lên bậc thứ nhất với các tốc độ	80
khác nhau.....	80
Hình 3.11: Kết quả khảo sát khi robot leo lên từ bậc 2 chờ đi với các tốc độ khác nhau	80
Hình 3.12: Kết quả khảo sát khi robot leo lên từ bậc thứ 2 với các góc leo	81
khác nhau.....	81
Hình 3.13: Kết quả khảo sát khi robot đi xuống cầu thang ở các tốc độ	81

khác nhau.....	81
Hình 3.14: Kết quả khảo sát khi robot leo bậc thứ nhất với các gia tốc di chuyển khác nhau của áp quy	83
Hình 3.15: Kết quả khảo sát khi robot leo bậc thứ 2 chở đi với các gia tốc di chuyển khác nhau của áp quy	83
Hình 3.16: Kết quả khảo sát khi robot leo xuống cầu thang với các gia tốc di chuyển khác nhau của áp quy	84
Hình 4.1: Sơ đồ cấu trúc dạng khối của thiết bị thí nghiệm	88
Hình 4.2: Cầu thang thực nghiệm với các khớp được chế tạo để thay đổi góc nghiêng	89
Hình 4.3: Thước đo góc điện tử được sử dụng để đo độ dốc cầu thang	90
Hình 4.4: Encoder phát xung để đo vận tốc và gia tốc góc.....	90
Hình 4.5: Cấu tạo và phương pháp gắn cảm biến đo góc nghiêng trên robot.....	91
Hình 4.6: Thiết bị DMC Plus	92
Hình 4.7: Tổ chức thí nghiệm	92
Hình 4.8: Tổ chức thí nghiệm và đo kết quả với cầu thang chế tạo có khả năng thay đổi độ dốc	93
Hình 4.9: Tổ chức thí nghiệm và đo kết quả với cầu thang thực tế	Error! Bookmark not defined.
Hình 4.10: Vận tốc của robot và gia tốc của cụm acquy trong quá trình thực nghiệm robot leo lên cầu thang theo thời gian	97
Hình 4.11: Đồ thị biểu diễn góc φ khi robot leo lên cầu thang trong quá trình thực nghiệm (φ_{TN}) và tính toán theo mô hình ý thuyết (φ_{LT}).....	98
Hình 4.12: Vận tốc của robot và gia tốc của cụm acquy trong quá trình thực nghiệm robot leo xuống cầu thang theo thời gian.....	99
Hình 4.13: Đồ thị biểu diễn góc φ khi robot xuống cầu thang trong quá trình thực nghiệm (φ_{TN}) và tính toán theo mô hình ý thuyết (φ_{LT}).....	99

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

Việt Nam là nước đang phát triển, tốc độ đô thị hóa tăng nhanh, nhiều khu dân cư, tổ hợp nhà cao tầng được xây dựng, nhiều nhà máy, xí nghiệp, xưởng sản xuất được xây dựng, nhiều loại vật liệu dễ cháy được sử dụng để xây dựng các công trình này. Điều đó đồng nghĩa với nguy cơ cháy, nhất là cháy lớn, cháy gây thiệt hại nghiêm trọng cũng ngày càng gia tăng. Theo thống kê của Bộ Kế hoạch và Đầu tư, tính đến hết năm 2023, Việt Nam có 414 khu công nghiệp, trong đó có 4 khu chế xuất. Tổng diện tích đất là 89.126 ha chiếm 69% diện tích đất công nghiệp, tập trung chủ yếu ở thành phố Hà Nội, thành phố Hồ Chí Minh, tỉnh Bắc Ninh, Bình Dương, Đồng Nai, Long An.. Thực tế cho thấy, thời gian qua ở Việt Nam, cùng với sự phát triển đa dạng của nền kinh tế thị trường, tình hình cháy, nổ cũng diễn biến hết sức phức tạp. Chỉ tính trong 04 năm (2020 - 2023) trên toàn quốc đã xảy ra 12.782 vụ cháy, trong đó có 194 vụ cháy lớn, làm chết 415 người, bị thương 465 người, thiệt hại về tài sản do cháy gây ra ước tính trị giá hơn 10.665 tỉ đồng. Trong 12.782 vụ cháy xảy ra có 8.636 vụ cháy các khu công nghiệp và các thành phần kinh tế khác (chiếm gần 67,5% các vụ cháy).

Các vụ cháy lớn xảy ra tại các khu công nghiệp gây nên thiệt hại lớn về người và tài sản, làm ô nhiễm môi trường có thể kể đến như: Cháy lớn tại Khu công nghiệp Quang Châu, Bắc Giang (2022): Một vụ cháy nghiêm trọng xảy ra tại một xưởng may ở khu công nghiệp này, gây thiệt hại lớn về tài sản và có nhiều công nhân bị ảnh hưởng. Vụ cháy tại Khu công nghiệp Bàu Xéo, Đồng Nai (2023): Một vụ cháy lớn đã xảy ra tại kho thành phẩm của Công ty TNHH Shingmark Vina vào tháng 3 năm 2023, gây ra thiệt hại lớn về tài sản cho doanh nghiệp.

Tại các nước phát triển như Nhật Bản, Châu Âu, Mỹ, Trung Quốc đã sử dụng Robot vào trong công tác chữa cháy, từ đó cho hiệu quả chữa cháy cao, an toàn cho cán bộ chiến sỹ làm nhiệm vụ chữa cháy. Đối với những đám cháy công trình công nghiệp, kho xăng dầu, kho hóa chất, thì việc sử dụng Robot chữa cháy là rất phù hợp, nên một số nước như Nhật Bản, Trung Quốc đã sản xuất ra Robot chuyên dùng để chữa cháy cho công trình công nghiệp.

Ở Việt Nam việc sử dụng Robot vào chữa cháy rất hạn chế, thành phố Hồ Chí Minh và Hà Nội đã nhập khẩu một số loại Robot về để phục vụ cho công tác chữa cháy kho xăng dầu, nơi cháy có phát sinh khí độc, mặt khác những Robot nhập khẩu về Việt Nam là loại Robot lớn chỉ di chuyển trên đường, không có khả năng di chuyển trên bậc cầu thang để phục vụ cho chữa cháy nhà xưởng và công trình công nghiệp cao tầng.

Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn, để công tác phòng cháy, chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ mang lại, hiệu quả cao, đáp ứng yêu cầu nhiệm vụ trong tình hình mới, nhằm mục tiêu hạn chế đến mức thấp nhất thiệt hại do cháy, nổ gây ra, đồng thời an toàn cho cán bộ chiến sỹ tham gia chữa cháy, năm 2021 Bộ Khoa học và công nghệ đã giao cho Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy thực hiện đề tài độc lập cấp quốc gia “ Nghiên cứu công nghệ, thiết kế và chế tạo thử nghiệm Robot chữa cháy cho công trình công nghiệp, mã số ĐTĐL.CN-98/21, kết quả nghiên cứu của đề tài đã thiết kế chế tạo Robot chữa cháy công trình công nghiệp, loại Robot này có kích thước nhỏ gọn, có thể di chuyển trên bậc cầu thang từ tầng 1 đến tầng 5, xong đề tài cấp nhà nước chỉ tập trung vào nội dung thiết kế và chế tạo thử nghiệm Robot chữa cháy, không có nghiên cứu động lực học và điều khiển quá trình Robot leo cầu thang, từ đó Robot được nghiên cứu còn một số hạn chế cần tiếp tục hoàn thiện.

Để có cơ sở khoa học cho việc thiết kế, chế tạo và hoàn thiện robot chữa cháy công trình công nghiệp, khi di chuyển trên bậc cầu thang nhanh nhất, ổn định không bị lật, thì cần thiết phải có nghiên cứu đầy đủ, toàn diện về động lực học và điều khiển khi của Robot chữa cháy khi chuyển động tiếp cận đám cháy trên bậc cầu thang nhà xưởng công nghiệp. Với lý do đã phân tích ở trên, luận án tiến sĩ chọn đề tài “Nghiên cứu động lực học và điều khiển robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp”.

2. Mục đích nghiên cứu luận án

Xây dựng mô hình, thiết lập phương trình động lực học của Robot chữa cháy khi hoạt động leo lên, leo xuống cầu thang, từ kết quả khảo sát phương trình động lực học đã lập được làm cơ sở đầu vào thiết lập thuật toán điều khiển Robot chữa cháy di chuyển trên bậc cầu thang với vận tốc nhanh nhất, ổn định không bị lật.

3. Những đóng góp mới của luận án

1) Đã xây dựng được mô hình, thiết lập được phương trình động lực học của robot tương tác với bậc cầu thang trong quá trình di chuyển lên, xuống cầu thang, đề xuất cơ cấu chống lật thông qua thuật toán điều khiển vị trí đối trọng, khảo sát hệ phương trình động lực học xác định được:

- Giá trị tối ưu của góc leo robot (góc nghiêng phía trước mặt xích) là $\gamma = 45^\circ$;
- Ảnh hưởng của các giá trị (góc dốc cầu thang β , góc leo robot γ , vận tốc lớn nhất robot V_{max} và gia tốc của đối trọng a_Q) tới khả năng bị lật của robot;
- Các cặp giá trị tương ứng, với mỗi các giá trị góc dốc của bậc cầu thang β và góc leo robot γ với vận tốc leo lớn nhất của robot V_{max} , thì cần giá trị gia tốc tương ứng của cụm ắc quy a_Q để robot không bị lật.

2) Đưa ra được phương pháp điều khiển PID mờ để điều khiển chuyển động đối trọng từ vị trí giữa (trung với khối tâm robot) di chuyển tới vị trí hai cực (trên, dưới) với gia tốc mong muốn a_Q để chống lật cho robot.

3) Đã xây dựng được mô hình và phương pháp thực nghiệm mô hình tính toán lý thuyết động lực học và điều khiển Robot di chuyển trên bậc cầu thang, kết quả thực nghiệm thu được với hệ số tương quan $r > 0,8$, với kết quả này cho thấy mô hình tính toán lý thuyết có độ tin cậy cần thiết, từ đó mô hình tính toán lý thuyết mà luận án đưa ra chấp nhận được.

4. Ý nghĩa khoa học của những kết quả nghiên cứu của luận án

Bằng phương pháp nghiên cứu lý thuyết, luận án đã xây dựng mô hình, thiết lập được phương trình động lực học cho robot bánh xích khi leo cầu thang (lên, xuống) chưa xét tới động lực học dẫn tới lật. Kết quả này là cơ sở khoa học cho việc tính toán hệ thống truyền động động cơ điện cho bánh xích đảm bảo robot có khả năng vượt chướng ngại vật (leo cầu thang) để tiếp cận đám cháy;

Thiết lập được hệ phương trình động lực học khi robot va chạm vào cầu thang, từ đó luận án đề xuất cơ cấu chống lật và phương pháp điều khiển chuyển động đối trọng để hạn chế chống lật. Kết quả khảo sát hệ phương trình động lực học dẫn tới hiện tượng lật của robot sẽ làm cơ sở khoa học cho việc tính toán các thông số của bộ điều khiển chuyển động cho đối trọng.

Kết quả nghiên cứu của luận án làm sở sở khoa học cho việc tính toán thiết kế và hoàn thiện hệ thống di chuyển và điều khiển của robot chữa cháy công trình công nghiệp.

5. Ý nghĩa thực tiễn của luận án

Kết quả của luận án đã được ứng dụng vào tính toán thiết kế và chế tạo thử nghiệm và hoàn thiện robot chữa cháy công trình công nghiệp thuộc đề tài mã số ĐTDL.CN-98/21, ngoài ra kết quả của luận án còn làm tài liệu tham khảo trong giảng dạy, trong nghiên cứu robot leo cầu thang, robot vượt chướng ngại vật.

CHƯƠNG 1

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan sử dụng và nghiên cứu robot chữa cháy ở trên thế giới

1.1.1. Sử dụng robot chữa cháy ở một số nước trên thế giới

Ở một số nước phát triển như Nhật Bản, Cộng hòa liên bang Đức, Pháp, Mỹ đã sử dụng nhiều loại robot chữa cháy vào trong thực tế, và đã đem lại hiệu quả chữa cháy cao, an toàn cho lực lượng chữa cháy. Robot chữa cháy đặc biệt có hiệu quả khi chữa cháy xăng dầu, hóa chất độc hại, chữa cháy nhà cao tầng.

Sau khi động đất và sóng thần xảy ra ở Nhật Bản năm 2011, Chính phủ Nhật Bản đã đầu tư nghiên cứu Robot để dọn dẹp và khắc phục hậu quả của một số nhà máy điện nguyên tử, nghiên cứu Robot chữa cháy nhằm nâng cao hiệu quả chữa cháy và an toàn cho người chữa cháy. Hiện nay rất nhiều Robot chữa cháy đã được sử dụng trong thực tế, hình 1.1 là robot chữa cháy công trình công nghiệp đang được sử dụng ở Nhật Bản.



Hình 1.1: Robot rồng bay chữa cháy công trình công nghiệp được sử dụng trong một buổi thử nghiệm tại Nhật Bản ^[43]

Đối với việc chữa cháy những khu vực độc hại, có khả năng cháy nổ xảy ra trong quá trình chữa cháy. Ở một số nước đã sử dụng robot để phun hóa chất dập lửa, Robot chữa cháy có thể tiếp cận gần đám cháy hơn người, từ đó hiệu quả chữa cháy

cao hơn. Hình 1.2 là robot chữa cháy chữa cháy công trình công nghiệp ở Trung Quốc.



Hình 1.2: Robot chữa cháy công trình công nghiệp ở Trung Quốc ^[44]

Công ty công nghệ Howe and Howe tại Mỹ đã thiết kế và chế tạo ra robot Thermite sử dụng cho chữa cháy các công trình cao tầng (hình 1.3)



Hình 1.3: Robot Thermite chữa cháy công trình cao tầng ở Mỹ ^[44]

Công ty công nghệ quốc phòng QinetiQ của Anh thiết kế 4 loại robot phục vụ cho mục đích dập tắt các vụ cháy liên quan đến khí acetylene công nghiệp. Những đám cháy này là mối đe dọa với lính cứu hỏa, vì nguy hiểm vẫn rình rập thậm chí sau khi họ dập tắt ngọn lửa. Không chỉ nguy hiểm, những đám cháy kiểu này còn khiến toàn bộ khu vực phải được phong tỏa trong vòng 24 giờ (hình 1.4).



Hình 1.4: Robot chữa cháy QinetiQ do Anh sản xuất ^[44]

Xe chữa cháy robot được triển khai tại tỉnh Hà Bắc, Trung Quốc, năm 2007, thực hiện nhiệm vụ trong các nhà máy hóa chất hay nhà kho chứa vốn nguy hại với con người. Nó được điều khiển từ xa, di chuyển với vận tốc 3,6km/h, leo dốc 30 độ và vượt hàng rào cao 25cm. Điểm mạnh của phương tiện này là khả năng vòi phun nước xa 65m, có thể tự "làm mát" khi nhiệt độ quá cao. Đầu dò phát hiện tín hiệu của nạn nhân, trong khi camera sẽ ghi lại hình ảnh và âm thanh tại khu vực có cháy (hình 1.5).



Hình 1.5: Robot chữa cháy do Trung Quốc sản xuất ^[44]

Robot có trọng lượng 500 kg do công ty công nghệ Shark Robotics của Pháp chế tạo, được trang bị vòi phun nước có thể được vận hành từ xa và một camera độ

phân giải cao với góc nhìn 360 độ, zoom 25x kèm khả năng chụp ảnh nhiệt. Tất cả những trang bị này giúp người vận hành có cái nhìn toàn cảnh vụ cháy và hỗ trợ việc di chuyển robot.

Tuy có tốc độ di chuyển chậm, chỉ 2,2 dặm/giờ (tương đương 3,5 km/h), nhưng khả năng xử lý mọi loại địa hình khiến Colossus trở nên vô cùng hữu dụng cho Đội Cứu hoả Paris và bất cứ đơn vị nào sử dụng nó (hình 1.6).



Hình 1.6: Robot chữa cháy do Pháp sản xuất được trang bị cho đội cứu hỏa Paris ^[45]

Đặc điểm của Robot chữa cháy

- Robot phải có khả năng vượt chướng ngại vật để tiếp cận đám cháy
- Robot phải tiếp cận gần đám cháy trong thời gian nhanh nhất để tiến hành chữa cháy hiệu quả;
- Môi trường hoạt động của robot ở nhiệt độ khắc nghiệt (robot hoạt động được trong môi trường nhiệt độ 100-200⁰C, có hệ thống tự động làm mát robot khi nhiệt độ quá cao);
- Robot không bị ảnh hưởng bởi khí độc, khói độc do đám cháy gây ra;
- Khi xảy ra nổ nhỏ robot không bị ảnh hưởng;
- Hệ thống điều khiển robot có thể cách xa đám cháy 100-200 m, từ đó không nguy hiểm đến cán bộ chiến sỹ tham gia chữa cháy.

Tính năng của robot chữa cháy

- Đưa lăng phun chất chữa cháy đến vị trí cần phun, điều chỉnh góc phun theo yêu cầu
- Tiếp cận đám cháy ở cự ly gần, tùy theo yêu cầu mà điều khiển robot đến vị trí thích hợp để phun chất chữa cháy sao cho hiệu quả nhất
- Truyền tín hiệu, hình ảnh đến chỉ huy chữa cháy
- Truyền tín hiệu về nồng độ chất độc hại đến chỉ huy chữa cháy.

Tóm lại: Robot chữa cháy đã được ứng dụng ở nhiều nước trên thế giới, với ưu điểm nổi bật của nó là tiếp cận đám cháy với khoảng cách gần, không bị ảnh hưởng ở khí độc, khói độc, chất phóng xạ, nhiễm xạ, truyền tín hiệu, hình ảnh trực tiếp của đám cháy đến chỉ huy chữa cháy, từ đó giúp cho quá trình chữa cháy an toàn và hiệu quả.

1.1.2. Tổng quan về các công trình nghiên cứu robot chữa cháy trên thế giới

Một số công trình trên thế giới đã nghiên cứu ổn định của robot khi di chuyển trên cầu thang. Các khảo sát cho thấy động lực học và ổn định trong quá trình hoạt động leo cầu thang của robot di động đóng vai trò quan trọng đạt được các chức năng yêu cầu. Việc phân tích chuyển động trên các dạng cầu thang khác nhau sẽ trợ giúp thiết kế cấu trúc cơ khí phù hợp thiết kế và đề xuất hệ thống điều khiển. Trong những năm gần đây, nhiều nhà nghiên cứu quan tâm và phát triển robot di động có các cấu trúc khác nhau. Robot “Talon” được phát triển bởi công ty Foster-Miller và robot “PackBot” được phát triển bởi robot được áp dụng trên chiến trường để thực hiện nhiều nhiệm vụ khác nhau, bao gồm chống khủng bố và chống chất nổ, trinh sát quân sự, v.v. [8-10].

Một trong các cấu trúc khác được đề xuất là robot có thể tự cấu hình lại, giúp tự chủ việc leo lên và xuống cầu thang [11]. Có thể thấy, cấu trúc của các robot di động leo cầu thang khá đa dạng, đã có một số kết quả nghiên cứu về vấn đề này [14-17], trong đó cấu hình robot di động truyền động dạng bánh xích dẫn hướng (track-driven) nhận được sự quan tâm nghiên cứu do khả năng di chuyển dễ dàng nhờ đường ray tạo ra khiến bộ điều khiển robot không đòi hỏi thông tin chính xác về hình dạng hoặc

kích thước của cầu thang. Do vậy kiến trúc này được ứng dụng rộng rãi trong các tình huống cứu hộ cứu nạn nguy hiểm, trong đó có chữa cháy.

Động lực học của robot di động trong quá trình di chuyển trên cầu thang có thể được thiết lập theo các phương pháp truyền thống như Euler-Lagrange hoặc Newton-Euler. Weijun Tao, Yi Ou và Hutian Feng đã công bố nghiên cứu về động lực học của robot leo cầu thang phục vụ hoạt động chữa cháy [12-14]. Sự phức tạp của việc leo cầu thang liên quan đến nhiều bước quá độ trong quá trình lên/xuống cầu thang, vì vậy cần thiết phải phân tích và nghiên cứu động lực học của hoạt động leo cầu thang qua các bước di chuyển của robot di động.

Liu [16] đã nghiên cứu khả năng leo cầu thang của cấu hình robot di động tự cấu hình lại bằng phân tích động học và động lực học của nó trong quá trình leo cầu thang.

Vu [17] đã phát triển một thuật toán leo cầu thang bằng cách phân tích trọng tâm của robot di động bốn bánh và đã áp dụng vào Robot MACbot tương đối hiệu quả.

Một số nghiên cứu đã thực hiện các mô phỏng và thực nghiệm để đánh giá hiệu quả của mô hình động lực học và độ ổn định của robot di động leo cầu thang, làm cơ sở cho việc thiết kế và phân tích hoạt động leo cầu thang của robot di động. Các điều kiện ổn định cho việc leo cầu thang được xác định và phương pháp đánh giá về độ ổn định khi leo cầu thang của nó được đề xuất, dựa trên phân tích cơ học về quá trình lật dọc của robot trong quá trình leo cầu thang.

Trong bài báo của Guo [13], mối liên hệ giữa sự ổn định khi leo cầu thang và trọng tâm của robot tìm kiếm cứu hộ được nghiên cứu bằng phương pháp phân tích hình học, tuy nhiên sự thay đổi của độ ổn định động lực học khi leo cầu thang vẫn chưa được đề cập.

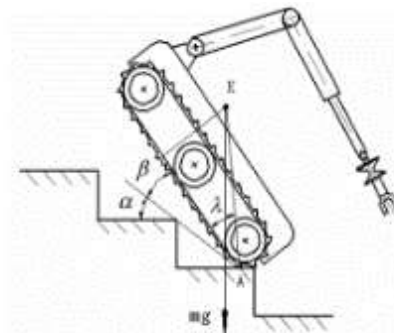
Tác giả Jon Hastie đã công bố tài liệu [22] về kết quả tính toán thiết kế cánh tay robot, trên hình 1.7, cánh tay robot có thể sử dụng để mở cửa cầu thang, mang súng phun nước, lắp camera quan sát. Kết quả nghiên cứu này là tài liệu tham khảo để thiết kế cánh tay mở cửa cầu thang trên robot chữa cháy công trình công nghiệp.



Hình 1.7: Cánh tay robot được tính toán thiết kế [22]

Các nghiên cứu về robot bánh xích cho hoạt động cứu hộ và chữa cháy như Arai [36]; Tanaka [37], Miyanaka [38], Takayama [39], Granosik [40] đã chứng minh được tính ưu việt khi sử dụng robot bánh xích khi leo cầu thang và đi trên đường bằng. Do vậy, việc sử dụng robot bánh xích ứng dụng cho robot chữa cháy đã được rất nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới nghiên cứu. Các nhà khoa học đã tập trung nghiên cứu các vấn đề của robot bánh xích như: nghiên cứu về sự ổn định và động lực học dẫn tới khả năng bị lật ngửa của robot bánh xích khi va đập với bậc cầu thang khi leo lên và leo xuống được công bố tại các công trình của Weijun Tao [41];

Haijun và cộng sự, 2005 [42] (hình 1.8) đã phân tích sự ảnh hưởng của vận tốc và góc nghiêng mặt trước robot là hai tham số gây lên xung lực va chạm giữa robot và cầu thang, cộng với tốc độ di chuyển của hai bánh xích ở hai bên khác nhau, điều này có thể khiến robot bị chệch hướng, dẫn đến nguy cơ cao lăn xuống khỏi cầu thang.



Hình 1.8: Mô tả hiện tượng lật của robot khi leo cầu thang [42]

Tóm lại: Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về robot chữa cháy bao gồm nghiên cứu thiết kế chế tạo, nghiên cứu động lực học tay máy mở cửa cầu thang, nghiên cứu ổn định của robot khi di chuyển trên độ dốc lớn, từ những kết quả

nghiên cứu của các tác giả trên thế giới, là cơ sở khoa học để nghiên cứu sinh theo khảo trong quá trình nghiên cứu của mình

1.2. Tổng quan về tình hình sử dụng và nghiên cứu robot chữa cháy tại Việt Nam

1.2.1. Sử dụng robot chữa cháy tại Việt Nam

Hiện nay, tại một số thành phố lớn lực lượng Cảnh sát phòng cháy và cứu nạn, cứu hộ đã được Đảng và Nhà nước trang bị một số xe chữa cháy hiện đại, các xe này chứa các bộ phận công tác đặc biệt giống như cánh tay robot để giúp người chữa cháy hạn chế tiếp xúc trực tiếp với ngọn lửa.

Mới đây thành phố Hồ Chí Minh đã đưa vào sử dụng 12 xe chữa cháy hiện đại được mua từ Pháp, trong đó có 3 xe chữa cháy có cánh tay làm việc dạng robot (Hình 1.9), các xe chữa cháy dạng cánh tay này sẽ đáp ứng yêu cầu chữa cháy và cứu hộ trong những điều kiện công trình nhà kho, nhà xưởng đường hầm sập đổ và những vị trí bị ảnh hưởng bởi hóa chất độc hại. Tuy nhiên, do đây là các xe được nhập khẩu từ nước ngoài, giá thành các xe chữa cháy này so với điều kiện kinh tế của đất nước còn khá đắt, do vậy Nhà nước chưa có điều kiện để trang bị cho tất cả các tỉnh thành, mà mới chỉ thực hiện dưới dạng thí điểm tại thành phố Hồ Chí Minh.



Hình 1.9: Xe chữa cháy có cánh tay làm việc dạng Robot ứng dụng tại Việt Nam ^[46]

Gần đây thành phố Hồ Chí Minh đã nhập khẩu robot chữa cháy để phục vụ cho công tác chữa cháy trên địa bàn thành phố, robot này không có chức năng leo cầu thang, trọng lượng lớn, điều khiển bằng tay hình 1.10.



Hình 1.10. Robot chữa cháy tại thành phố Hồ Chí Minh

Đầu năm 2019 Cục phòng cháy chữa cháy đã tiếp nhận 81 xe cháy hiện đại từ Hàn Quốc bao gồm: 18 xe chữa cháy cỡ lớn, 48 xe chữa cháy cỡ trung bình, 2 xe thang chữa cháy vươn thẳng có khả năng vươn tới được tòa nhà cao 11 tầng, 6 xe thang chữa cháy loại cần trục (Hình 1.11) có khả năng chữa cháy trên cao với tay chữa cháy được điều khiển từ xa cùng camera trang bị tại họng phun nước, 7 xe cứu hộ với đầy đủ 200 loại thiết bị phục vụ đi kèm xe có xuất xứ Châu Âu.



Hình 1.11: Xe thang chữa cháy loại cần trục và xe thang vươn thẳng xuất xứ Hàn Quốc ^[46]

Năm 2022 Công An chữa cháy thành phố Hà Nội đã nhập robot chữa cháy từ cộng hòa Pháp về để sử dụng cho công tác chữa cháy, robot này không có chức năng di chuyển

trên cầu thang, chủ yếu phục vụ cho chữa cháy kho xăng dầu hoặc những đám cháy cần phải phun chất chữa cháy với lưu lượng lớn



Hình 1.12: Robot chữa cháy sử dụng tại thành phố Hà Nội ^[47]

Tuy nhiên, ngoài những xe chữa cháy hiện đại kể trên, do điều kiện kinh tế còn khó khăn mà trang thiết bị phòng cháy, chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ tại đa số các tỉnh thành trên cả nước còn thiếu và chưa được trang bị robot chữa cháy. Việc đầu tư cho lực lượng Cảnh sát phòng cháy, chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ chưa đáp ứng yêu cầu bảo vệ an toàn về phòng cháy, chữa cháy.

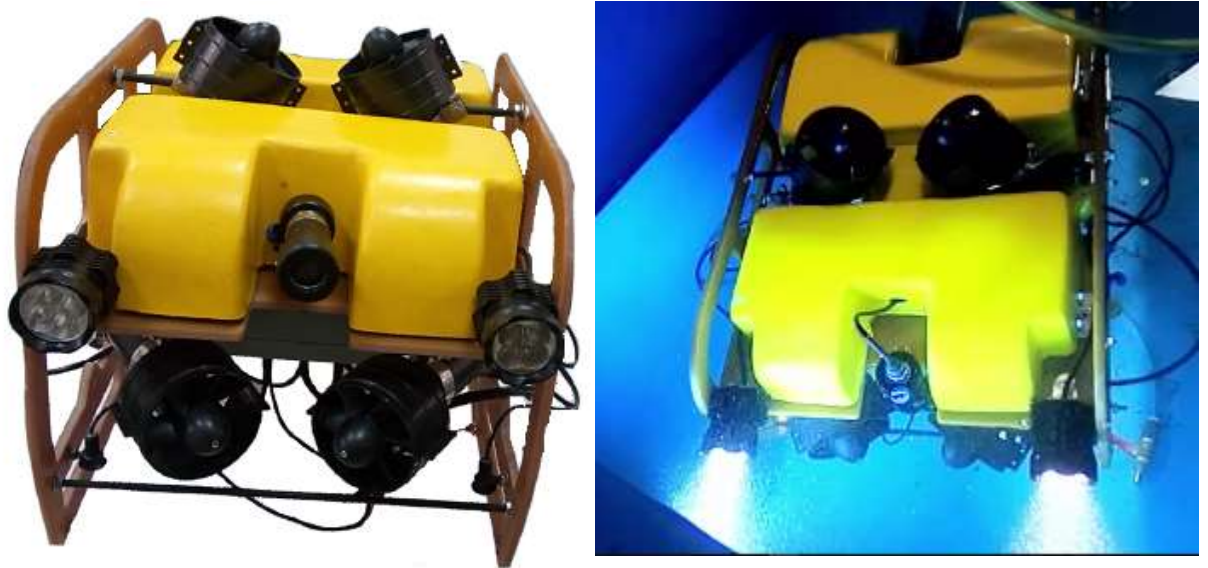
Tóm lại: Việc sử dụng Robot chữa cháy ở Việt Nam còn rất hạn chế, các thiết bị chữa cháy công nghệ cao còn ít chủ yếu tập trung ở thành phố lớn, đây là các thiết bị nhập ngoại giá thành rất cao, chi phí sử dụng vận hành lớn, chưa có robot chữa cháy cho công trình công nghiệp được sử dụng trong thực tế, trong khi đó hàng năm ở Việt Nam vẫn xảy ra các vụ cháy công trình công nghiệp, kho hàng, công trình dân dụng.

1.2.2. Tổng quan về các công trình nghiên cứu về robot tại Việt Nam

Việc nghiên cứu, thiết kế và chế tạo robot chữa cháy nói chung và chữa cháy công trình công nghiệp tại Việt Nam còn nhiều hạn chế, chủ yếu các nghiên cứu đã công bố mới tập chung vào một số robot trong cứu hộ, cứu nạn như.

Đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ của tác giả tiến sĩ Nguyễn Đức Ánh [5] và các đồng nghiệp ở trường Đại học Phòng cháy chữa cháy “Nghiên cứu chế tạo robot tìm kiếm mục tiêu dưới nước hỗ trợ công tác cứu nạn, cứu hộ”, kết quả nghiên cứu đã chế tạo thành công robot tìm kiếm mục tiêu dưới nước với độ sâu lên tới 30 m, trợ giúp cho công tác cứu nạn, cứu hộ dưới nước được thuận lợi. Robot có khả năng di chuyển linh hoạt trong nước: tiến, lùi, quay trái, quay phải, lặn lên xuống. Độ sâu vận hành tới 30m. Tốc độ vận hành có thể điều chỉnh được. Trên robot có camera giúp người vận hành quan sát được trong mặt nước, có hệ thống đèn chiếu sáng phục vụ quan sát trong điều kiện thiếu ánh sáng, có hệ thống các biến IMU, cảm biến áp suất để xác định phương, hướng, tư thế làm việc, độ sâu của thân robot, có tay máy để tiến hành công tác trục, vớt. Robot trao đổi thông tin với trạm trên bờ qua 2 luồng tín hiệu:

- Luồng thứ nhất là tín hiệu video analog truyền thẳng từ hệ thống camera trên thân robot lên trạm trên bờ.
- Luồng thứ hai là tín hiệu RS485. Đây là tín hiệu được truyền 2 chiều giữa trạm trên bờ và thân robot.



Hình 1.13: Robot tìm kiếm mục tiêu dưới nước ^[5]

Đặc biệt trong đại dịch Covid 19 vừa qua, ở Việt Nam đã có nhiều đề tài nghiên cứu về robot nhằm trợ giúp cho công tác phòng chống đại dịch này. Tác giả Tăng Quốc Nam [4] và các đồng nghiệp đã nghiên cứu đề tài "Chế tạo robot vận chuyển trong các khu vực cách ly có nguy cơ lây nhiễm cao (Vibot)". Đề tài đã nghiên cứu, chế tạo thành công hệ thống robot hỗ trợ y tế có các tính năng hiện đại theo mẫu robot

TUG của hãng Aethon (Mỹ). Robot Vibot phiên bản 1a được thiết kế đa chức năng, linh hoạt, đáp ứng nhu cầu chuyên biệt của từng khu vực cách ly, có thể vận chuyển nhiều loại hàng hóa khác nhau với tải trọng lên đến 100 kg. Robot có thể phát nhạc, phát bản tin giải trí. Sử dụng cảm biến thông minh, Vibot-1a (hình 1.14) có thể phát ra nhiều âm thanh như xin tránh đường, cảm ơn, tạm biệt... Vibot-1a được chế tạo để thực hiện thuần thục nhiệm vụ vận chuyển thức ăn, thuốc men, nhu yếu phẩm... từ ngoài vào các buồng bệnh; vận chuyển rác thải sinh hoạt, rác thải y tế, đồ giặt... từ buồng bệnh ra khu tập kết và hỗ trợ giao tiếp từ xa giữa nhân viên y tế và bệnh nhân. Các robot có thể hoạt động theo nhóm trong khu vực cách ly để thay thế, hỗ trợ nhân viên y tế các công việc phục vụ, chăm sóc các bệnh nhân và người nghi mắc COVID-19. Điểm đặc biệt của Vibot-1a là thông qua hệ thống đường truyền được thiết lập riêng, có camera gắn trực tiếp trên robot, các bác sĩ có thể tương tác với bệnh nhân, có chất lượng hình ảnh, âm thanh cao. Nhờ đó, robot hạn chế sự tiếp xúc trực tiếp giữa nhân viên y tế với người bệnh, hạn chế nguy cơ lây nhiễm chéo và mỗi robot có thể thay thế được 3-5 nhân viên y tế. Mọi hoạt động của hệ thống robot được giám sát, điều khiển bởi trung tâm điều hành. Vibot-1a sử dụng kỹ thuật dẫn đường bằng vạch từ và định vị bằng thẻ nhận dạng tuy đơn giản nhưng có độ tin cậy cao, cho phép robot tự di chuyển trong khu vực cách ly để thực hiện nhiệm vụ. Loại robot này còn có khả năng phát hiện và tránh va chạm vật cản nhờ các cảm biến trang bị ở phía trước và phía sau. Với khối nguồn pin công suất lớn và trạm sạc tự động, Vibot-1a có thể làm việc liên tục 12 giờ và tự động tìm về trạm để sạc khi cạn nguồn.



Hình 1.14: Robot vận chuyển trong các khu vực cách ly^[4]

Nhóm tác giả TS. Dương Thị Thuỳ Vân, TS. Hán Thành Trung, TS Vũ Trí Viễn [6] của trường Đại học Tôn Đức Thắng đã nghiên cứu chế tạo thành công robot khử khuẩn bằng công nghệ phun khử khuẩn và chiếu tia UV, giúp đội ngũ y tế tránh tiếp xúc trực tiếp với môi trường truyền nhiễm. Robot được điều khiển từ xa (khoảng cách tối đa 2.000m) để phun xịt thuốc khử khuẩn cho Khu vực cách ly người có khả năng nhiễm, phòng điều trị Virus Corona của bệnh viện (hình 1.15) .



Hình 1.15: Robot khử khuẩn bằng công nghệ phun khử khuẩn và chiếu tia UV ^[6]

Tác giả Lê Quang Bốn [1] và các cộng sự đã hoàn thành đề tài độc lập cấp nhà nước: “ Nghiên cứu công nghệ, thiết kế và chế tạo thử nghiệm robot chữa cháy cho

công trình công nghiệp”, mã số: ĐTĐL.CN-98/21, kết quả của đề tài đã thiết kế chế tạo thử nghiệm robot chữa cháy công trình công nghiệp, tuy nhiên đề tài chỉ tập trung nghiên cứu về thiết kế chế tạo thử nghiệm, không có nội dung nghiên cứu động lực học và điều khiển robot leo lên, leo xuống cầu thang, từ đó robot này còn có hạn chế là tốc độ di chuyển trên cầu thang thấp, thời gian tiếp cận đám cháy lớn, khi tốc độ di chuyển trên cầu thang lớn Robot có thể mất ổn định [1]

Công trình của nhóm tác giả Nguyễn Trọng Doanh, Nguyễn Ngọc Đạt [7] “Nghiên cứu động học và mô phỏng robot nhện bốn chân”, kết quả nghiên cứu đã mô phỏng được động lực học của robot, kết quả này làm cơ sở ứng dụng cho thiết kế robot chữa cháy.

Tóm lại, ở Việt Nam đã có một số công trình nghiên cứu về thiết kế chế tạo robot sử dụng trong công nghiệp, một số công trình nghiên cứu về điều khiển, động lực học robot, đã có công trình nghiên cứu robot trợ giúp công tác cứu nạn, cứu hộ dưới nước. Song các công trình nghiên cứu về robot chữa cháy còn hạn chế, đã có đề tài độc lập cấp nhà nước về nghiên cứu thiết kế chế tạo robot chữa cháy công trình công nghiệp, những đề tài chỉ tập trung nghiên cứu thiết kế chế tạo, chưa có nội dung nghiên cứu về động lực học và điều khiển robot lên xuống cầu thang.

1.3. Mục tiêu nghiên cứu

Xây dựng được mô hình, thiết lập được các phương trình động lực học của Robot chữa cháy khi hoạt động leo lên, leo xuống cầu thang, khảo sát các phương trình động lực học đã thiết lập được, từ kết quả khảo sát làm cơ sở đầu vào thiết lập thuật toán điều khiển Robot chữa cháy khi di chuyển lên, xuống bậc cầu thang nhằm mục đích robot tiếp cận đám cháy nhanh nhất, ổn định không bị lật.

1.4. Nội dung nghiên cứu của luận án

1.4.1. Nghiên cứu lý thuyết

- Xây dựng mô hình động lực học robot leo cầu thang khi chưa xét tới hiện tượng lật, từ đó thiết lập hệ điều khiển truyền động động cơ điện cho bánh xích robot;
- Xây dựng mô hình, thiết lập phương trình động lực học khi robot va chạm với cầu thang, đề xuất phương pháp chống lật;

- Khảo sát phương trình động lực học, từ đó tính toán các thông số để điều khiển chuyển động của đối trọng nhằm chống lại hiện tượng lật.

- Xây dựng thuật toán điều khiển Robot di chuyển lên, xuống bậc cầu thang

1.4.2. Nghiên cứu thực nghiệm

Kiểm chứng mô hình tính toán lý thuyết, từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm đem so sánh với kết quả tính toán lý thuyết từ đó đánh giá độ tin cậy của mô hình tính toán lý thuyết, từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm rút ra các kết luận.

1.5. Đối tượng nghiên cứu của luận án

1.5.1. Đặc điểm và thông số của đám cháy công trình công nghiệp

- Đám cháy thường dễ phát triển thành đám cháy lớn, gây thiệt hại nghiêm trọng đến hàng hóa, tài sản và tính mạng của công nhân làm việc trong công trình công nghiệp.

- Các hoạt động cứu người, cứu tài sản và phun chất chữa cháy để khống chế và dập tắt đám cháy gặp rất nhiều khó khăn do tác động ảnh hưởng của các thông số nguy hiểm của đám cháy gồm: Diện tích đám cháy lớn; Nhiệt lượng và nhiệt độ đám cháy cao, khói bụi nhiều.

- Ngoài ra do tác động của nhiệt độ cao và các hiện tượng bức xạ nhiệt, đối lưu không khí lớn trong quá trình cháy làm cho các cấu kiện xây dựng công trình công nghiệp sụp đổ gây nguy hiểm đến sức khỏe, tính mạng cho cán bộ chiến sĩ khi thực hiện các hoạt động chữa cháy trên hiện trường.

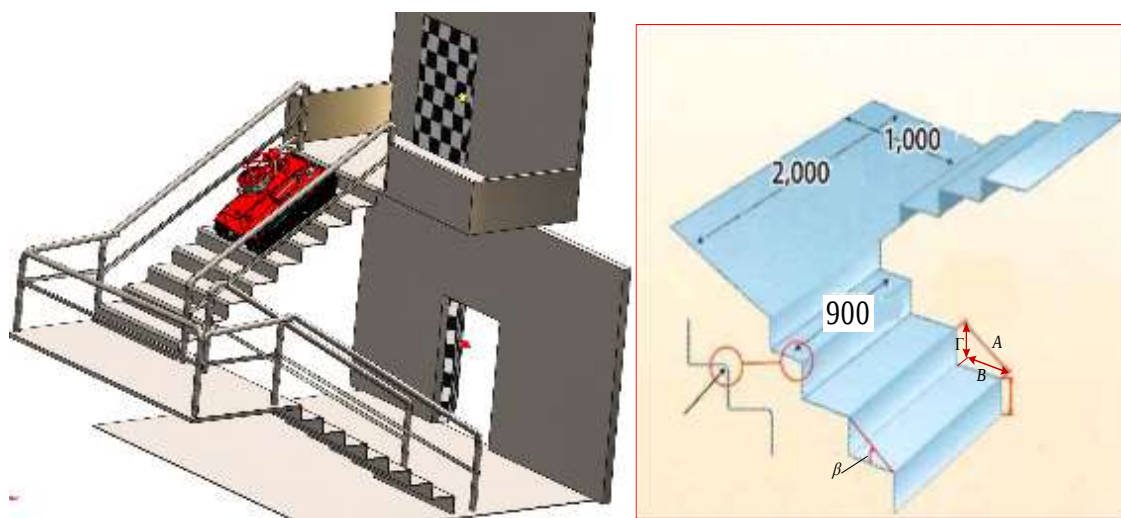
- Thông số về nhiệt độ đám cháy: Theo kết quả nghiên cứu nhiệt độ ngọn lửa cháy chất rắn là khoảng 800-1100 độ C, cháy chất lỏng là 1000-1200 độ C và chất khí là 1000- 1300 độ C tùy thuộc diện tích, qui mô đám cháy; Mật độ khói, khí độc thoát ra từ đám cháy dày đặc...làm cho lực lượng và phương tiện không thể tiếp cận gần gốc lửa phun chất chữa cháy để khống chế và dập tắt đám cháy. Đối với đám cháy chất rắn nhiệt độ không khí cách đám cháy 5m từ 100-300 độ C tùy thuộc vào qui mô đám cháy lớn hay nhỏ; đối với đám cháy chất lỏng và chất khí do bức xạ nhiệt lớn nên nhiệt độ không khí cách đám cháy 5m từ 150-350 độ C

- Thời gian chữa cháy kéo dài nhiều giờ thậm chí nhiều ngày đêm, đó là chưa tính thời gian xử lý khắc phục các hậu quả sau khi đám cháy được dập tắt.

Những yếu tố tác động ảnh hưởng nêu trên của đám cháy xảy ra ở công trình công nghiệp đã và đang đặt ra cho lực lượng Cảnh sát PCCC và CNCH nhiệm vụ phải đổi mới biện pháp công tác, đặc biệt là phải mạnh dạn ứng dụng những tiến bộ khoa học kỹ thuật và công nghệ, trong đó có sử dụng robot vào công nghệ chữa cháy những đám cháy lớn, phức tạp để giảm tối đa sức người khi thực hiện các hoạt động chiến đấu là một hướng đi đúng, phù hợp với xu thế phát triển hiện nay của thế giới.

1.5.2. Cầu thang trong nhà xưởng công nghiệp

Cầu thang nhà xưởng công nghiệp được xây dựng theo quy định tiêu chuẩn QCVN 06:2022/BXD về phòng chống cháy nổ cho công trình xây dựng thì hình dáng cầu thang được chế tạo vuông (không được xoắn ốc), các thông số kích thước như chiều nghỉ (được mô tả trên hình 1.16), độ dốc $\beta \leq 45^\circ$, chiều rộng mặt bậc cầu thang ≥ 250 (mm). Theo các thông số kích thước chuẩn của cầu thang trong các nhà xưởng, nhà máy xí nghiệp thì kích thước cụ thể của cầu thang thường nằm trong khoảng được mô tả trên bảng 1.1.



Hình 1.16: Quy cách cầu thang nhà xưởng công nghiệp

(Đơn vị kích thước là (mm))

Bảng 1.1: Kích thước cầu thang trong xây dựng

Độ dốc cầu thang β (độ)	Chiều rộng mặt bậc thang L_b (mm)	Chiều cao bậc h_b (mm)
≤ 45	≥ 250	50-220

Theo điều tra khảo sát trong quá trình làm luận án, quy cách các cầu thang phổ biến trong nhà xưởng công nghiệp là $\beta = 30$ độ, $L_b = 250 \div 380$ (mm), $h_b = 50 - 200$ (mm) và kích thước chiều nghỉ được mô tả trên hình 1.15.

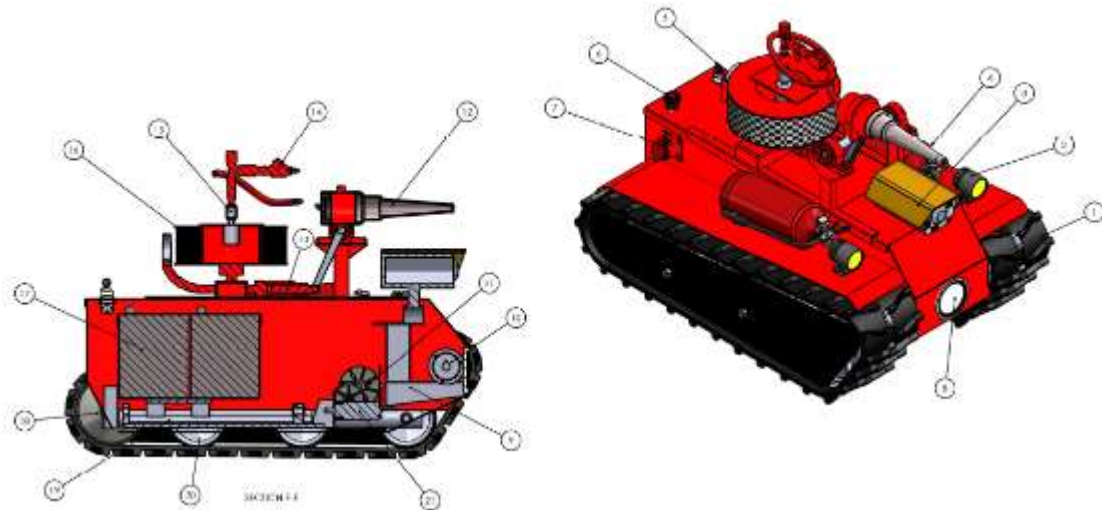
Trong quá trình chữa cháy, robot cần phải vượt qua nhiều chướng ngại vật như di chuyển trong nhà xưởng, di chuyển qua phần dốc của nền xưởng, phần nền xưởng có độ nghiêng (nếu có), và di chuyển lên xuống cầu thang để tiếp cận đám cháy ở tầng trên... Trong quá trình chữa cháy, robot phải vượt qua nhiều chướng ngại vật, bao gồm việc di chuyển trong nhà xưởng, qua các khu vực dốc, gờ cửa ra vào (nếu có), và lên xuống cầu thang để tiếp cận đám cháy ở các tầng trên. Trong số các chướng ngại vật này, việc di chuyển lên và xuống cầu thang được coi là một trong những yêu cầu phức tạp nhất. Do đó, luận án này chỉ tập trung nghiên cứu động lực học và điều khiển của robot khi thực hiện các thao tác lên và xuống cầu thang.

1.5.3. Robot chữa cháy công trình công nghiệp

Thiết bị nghiên cứu là robot chữa cháy công trình công nghiệp được chế tạo phiên bản đầu tiên (phiên bản phục vụ mục đích nghiên cứu, hoàn thiện trong quá trình thiết kế chế tạo phiên bản thực tế) cho đề tài cấp nhà nước mã số: mã số ĐTĐL.CN-98/21

a) Cấu tạo chung robot chữa cháy công trình công nghiệp

Robot chữa cháy công trình công nghiệp được đề tài nghiên cứu là robot có chức năng leo cầu thang trong công trình công nghiệp từ tầng 1 đến tầng 5, với chiều cao bậc cầu thang từ 18-25 (cm); độ dốc của mặt bậc cầu thang 30 độ, chiều rộng tối thiểu cầu thang 1,5 (m). Mặt khác với yêu cầu của robot là tốc độ di chuyển trên cầu thang lớn để robot tiếp cận đám cháy nhanh nhất, robot ổn định, không bị lật. Robot chữa cháy công trình công nghiệp là đối tượng nghiên cứu của luận án có hình dạng và cấu tạo như trên hình 1.17.



Hình 1.17: Cấu tạo robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp

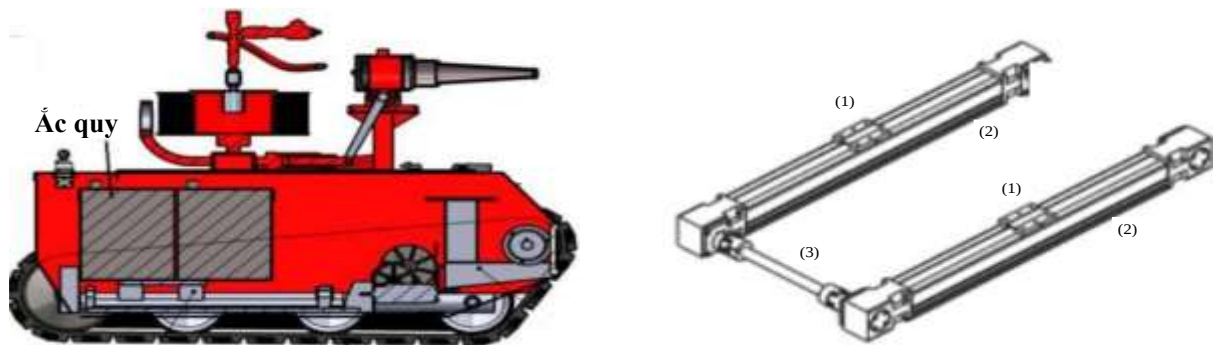
1-Bánh xích cao su; 2,8-Đèn chiếu sáng vàng (đèn phá sương, phá khói); 3-camera quan sát; 4- bình cứu hỏa hoặc bình oxy thở; bộ phận nút ấn gồm 5-khóa điện, 6-nút dừng khẩn cấp, 7- ổ cắm sạc pin cho ắc quy; 9-khung vỏ; 10-bánh sao (bánh truyền động cho xích); 11-động cơ điện truyền động cho xích; 12- lăng phun chất lỏng chữa cháy; 13-hệ thống điều khiển hướng (góc) của lăng phun; 14- van điều khiển lưu lượng phun; 16- khớp nối cuộn dây chữa cháy vào lăng phun; 18- bánh đai xích; 19-hệ thống pully-đai răng điều khiển đối trọng (di chuyển vị trí cụm ắc quy).

Robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp được có trọng lượng 150 (kg), hình dạng nguyên khối, chiều dài là 1050 (mm), chiều rộng là 650 (mm), chiều cao là 750 (mm), di chuyển bằng hệ thống bánh xích cao su giúp dễ dàng hoạt động trong điều kiện địa hình phức tạp. Khi leo lên hoặc xuống cầu thang hệ thống đối trọng (ắc quy) của robot nặng 30 (kg) được kích hoạt di chuyển giúp cho robot di chuyển ổn định, giảm ảnh hưởng của động lực học dẫn tới hiện tượng lật. Lăng phun nước được gắn trên thân robot với phạm vi phun tối đa 15-20 (m), có thể linh hoạt thay đổi góc phun từ khoảng 20° đến 70°. Để đảm bảo an toàn cho các thiết bị bên trong, trên Robot có hệ thống tự động làm mát bằng vòi phun 360° và khả năng chịu nhiệt của Robot 200°C.

b) Nguyên lý hoạt động của robot chữa cháy

Robot chữa cháy di chuyển thông qua hệ thống bánh xích, mỗi bên bánh xích được dẫn động bởi một động cơ độc lập. Với cấu tạo bánh này, robot có thể di chuyển trên đường bằng (mặt đường, mặt sàn...), di chuyển leo lên cầu thang để lên các tầng

tiếp cận đám cháy, di chuyển leo xuống cầu thang sau khi chữa cháy hoàn thành. Để giảm hiện tượng lật có thể xảy ra khi robot di chuyển với vận tốc lớn để tiếp cận được đám cháy nhanh nhất, robot được thiết kế hệ thống có thể di chuyển cụm ắc quy (đổi trọng) dọc theo thân xe (hình 1.18), thông qua việc thay đổi vị trí đổi trọng với gia tốc nhất định có thể hạn chế được khả năng bị lật do phản lực xảy ra khi robot va chạm với cầu thang trong quá trình leo (lên, xuống) mà vẫn đảm bảo vận tốc là lớn theo yêu cầu.



Hình 1.18: Cấu tạo bộ phận thay đổi trọng tâm robot để chống lật

(1) -Bàn trượt bi tạo mặt phẳng gắn ắc quy; (2)- dây đai răng; (3) trục truyền động

1.6. Phương pháp nghiên cứu của luận án

1.6.1. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Áp dụng phương pháp nghiên cứu cơ học lý thuyết đề nghiên cứu động lực học quá trình leo cầu thang của robot. Từ cấu tạo của robot, luận án xây dựng mô hình động lực học robot khi leo cầu thang khi chưa xét đến hiện tượng lật, từ kết quả này tiến hành đề xuất hệ thống truyền động động cơ điện cho bánh xích robot đảm bảo động cơ có khả năng cung cấp mô men đủ lớn để tạo lực kéo giúp robot vượt qua chướng ngại vật (cầu thang). Đồng thời luận án cũng áp dụng phương pháp cơ học lý thuyết để xây dựng mô hình động lực học khi robot va chạm với bậc cầu thang trong quá trình lên và xuống có thể dẫn đến hiện tượng lật; khảo sát phương trình động lực học khi xét tới tác động chống lật thông qua di chuyển vị trí đổi trọng (ắc quy), từ hệ phương trình động lực học luận án đề xuất phương pháp điều khiển chuyển động đổi trọng (*phương pháp điều khiển PID mờ*) nhằm đảm bảo robot leo lên cầu thang với giá trị vận tốc lớn, giúp robot nhanh chóng tiếp cận đám cháy mà vẫn đảm bảo ổn định robot không bị lật.

1.6.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

Áp dụng các phương pháp đo lường các đại lượng không điện bằng điện để xác định các thông số đầu vào và xác định các thông số đầu ra.

Sử dụng các thiết bị đo và các phần mềm xử lý số liệu hiện đại để xác định các thông số phục vụ cho khảo sát bài toán lý thuyết như vận tốc robot, góc nghiêng robot, gia tốc đổi trọng...

Quá trình tổ chức và tiến hành thí nghiệm xác định các đại lượng nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp thống kê toán học và phương pháp thí nghiệm chuyên ngành.

Tiến hành xử lý số liệu thực nghiệm để kiểm chứng công thức lý thuyết được dựa trên cơ sở lý thuyết thống kê.

Kết luận chương 1

Từ những kết quả phân tích trình bày ở trên, luận án có thể đi đến một số kết luận sau:

1. Công nghệ và thiết bị chữa cháy bằng robot ở Việt Nam còn nhiều hạn chế, hầu như chưa được áp dụng rộng rãi ngoài hai thành phố lớn là Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh. Việc sử dụng robot chữa cháy cho hiệu quả chữa cháy cao, an toàn tính mạng và sức khỏe của cán bộ chiến sỹ chữa cháy.

2. Trên thế giới có nhiều công trình nghiên cứu về robot chữa cháy, các công trình này đã được áp dụng vào thực tiễn để tạo ra các robot chữa cháy sử dụng trong thực tiễn, trong khi đó các công trình nghiên cứu về robot chữa cháy ở Việt Nam còn nhiều hạn chế.

3. Ở Việt Nam đã có đề tài độc lập cấp nhà nước nghiên cứu thiết kế chế tạo thử nghiệm robot chữa cháy công trình công nghiệp, kết quả của đề tài đã thiết kế chế tạo được robot chữa cháy cho công trình công nghiệp, song đề tài chỉ tập trung vào nội dung thiết kế chế tạo chưa có nghiên cứu sâu về động lực học và điều khiển robot chữa cháy.

4. Để có cơ sở lý thuyết cho quá trình tính toán thiết kế, hoàn thiện robot chữa cháy công trình công nghiệp, đặc biệt là hoàn thiện khả năng di chuyển lên xuống cầu thang của robot đáp ứng yêu cầu công nghệ chữa cháy là tiếp cận đám cháy nhanh

nhất, robot ổn định không bị lật thì cần thiết phải nghiên cứu động lực học và điều khiển quá trình leo lên, leo xuống cầu thang. Với nội dung: “Nghiên cứu động lực học và điều khiển robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp” mà luận án lựa chọn là cần thiết và có tính thời sự.

CHƯƠNG 2

ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH ROBOT DI CHUYỂN LÊN, XUỐNG CẦU THANG

Căn cứ vào yêu cầu và tính năng của robot chữa cháy công trình công nghiệp, robot phải di chuyển trên bậc cầu thang để tiếp cận đám cháy, đồng thời cũng phải di chuyển xuống bậc cầu thang khi hoàn thành nhiệm vụ chữa cháy, để có cơ sở khoa học cho quá trình tính toán thiết kế cơ cấu di động của robot luận án tập trung nghiên cứu các nội dung sau:

- Xây dựng mô hình động lực học của robot trong quá trình leo cầu thang (gồm leo lên, leo xuống) với một số giả thiết lý tưởng khi chưa xét tới hiện tượng lật.
- Xây dựng hệ thống điều khiển chuyển động của robot.
- Thông qua việc mô phỏng mà chương trình Matlab mô phỏng được viết trên hệ phương trình động lực học để kiểm tra tính đáp ứng của hệ thống điều khiển được xây dựng nhằm đảm bảo robot có thể leo được cầu thang. Đồng thời từ kết quả mô phỏng chứng minh tính chính xác của hệ phương trình động lực học được xây dựng.

Để đơn giản xây dựng phương trình động lực học, một số giả thiết sau được xét tới:

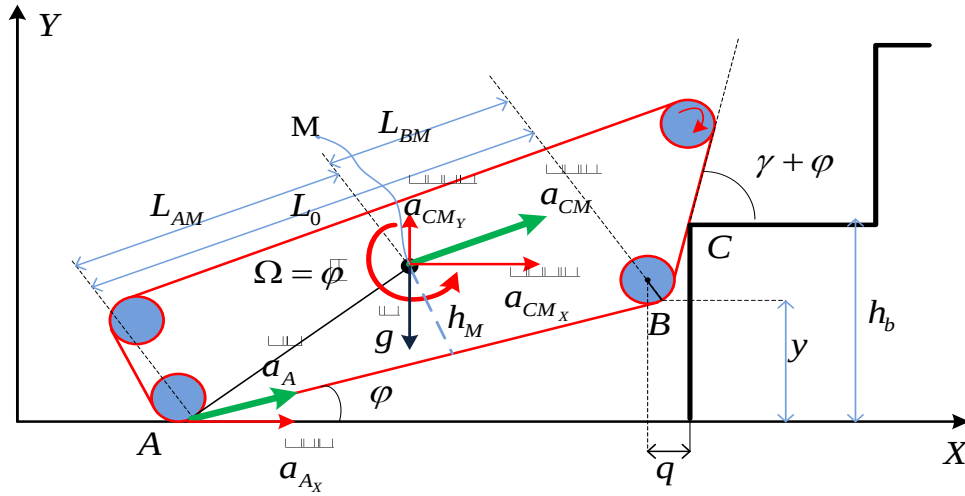
- Do robot sử dụng bánh xích có gai, hệ số ma sát lớn nên không có hiện tượng trượt xích trên cầu thang;
- Hệ thống điều khiển động cơ truyền động đảm bảo điều khiển cân bằng được 2 động cơ truyền động, do vậy tốc độ của hai bánh xích bằng nhau không sinh ra chuyển động quay, đồng thời mô men xoắn hai động cơ sinh ra đều nhau, đảm bảo sinh ra lực kéo F_M được quy về mô men đầu trục động cơ T theo công thức (2.2);
- Trong quá trình leo cầu thang, robot vừa leo vừa dải vôi chữa cháy có sẵn được mang trên thân robot (hình 1.7) nhờ cơ cấu độc lập, cơ cấu được trang bị này sinh ra lực hỗ trợ để dải vôi (robot không kéo vôi). Do vậy, lực dải vôi tác động lên robot là rất nhỏ và có thể bỏ qua trong quá trình tính toán động lực học.
- Trong quá trình leo lên, và đặc biệt là leo xuống sẽ xảy ra hiện tượng va đập với mặt bậc và mũi bậc cầu thang do tốc độ lao vào của robot, từ đó sinh ra một xung lực. Xung lực này phục thuộc vào tốc độ của robot, hình dạng (độ dốc bậc cầu thang)

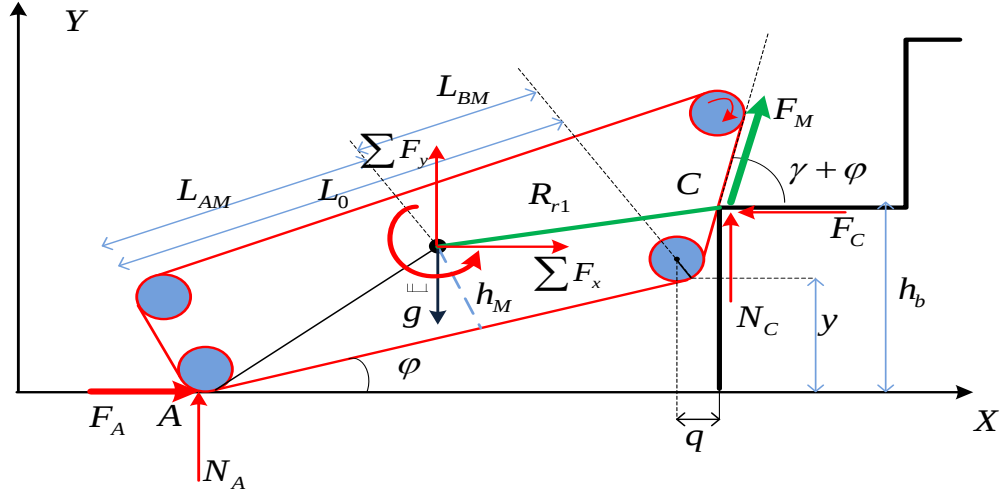
có thể dẫn tới robot bị lật. Tuy nhiên, tại chương 2 hiện tượng này không được xét tới và được bỏ qua, do mục đích chính của chương 2 là xây dựng mô hình động lực học quá trình leo, từ đó kiểm chứng khả năng đáp ứng của động cơ BLDC truyền động, cũng như hệ thống điều khiển động cơ nhằm đảm bảo khả năng động cơ sinh ra vận tốc và mô men T (đại diện cho F_M được quy đổi về đầu trục động cơ) mong muốn để robot có thể leo được cầu thang. Việc xét tới xung lực, khả năng lật cũng như phương pháp điều khiển chống hiện tượng lật được luận án tách riêng để nghiên cứu tại chương 3.

2.1. Xây dựng phương trình động lực học robot khi leo lên cầu thang

2.1.1. Động lực học tại bước 1 khi leo lên

Tại bước 1, robot bắt đầu leo cầu thang. Ban đầu, góc nghiêng của robot $\varphi = 0$ và góc nghiêng được tăng dần. Trong quá trình leo cầu thang tại bước này thì φ tăng và q giảm dần. Khi phần đáy phía trước mặt xích chạm vào mũi bậc cầu thang thì $q = 0$, khi đó bước 1 sẽ kết thúc (hình 2.1)





Hình 2.1: Phân tích động lực học bước 1 quá trình leo lên cầu thang

a_{CM} - gia tốc tại khối tâm robot; a_{CMx} - gia tốc khối tâm theo trục X , a_{CMy} - gia tốc khối tâm theo trục Y ; $\Omega = \ddot{\varphi}$ - gia tốc góc robot tại khối tâm trong giai đoạn này; L_0 khoảng cách từ bánh trước tới bánh sau (chiều dài mặt xích dưới); L_{BM} khoảng cách từ khối tâm tới bánh trước; L_{AM} khoảng cách từ khối tâm tới bánh sau a_{Ax} gia tốc tại điểm A theo phương X .

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 1 gồm:

$$\sum F_x = m \frac{d^2x}{dt^2} = ma_{CMx} = F_M \cos(\gamma + \varphi) + F_A - F_C \quad (2.1)$$

$$\sum F_y = m \frac{d^2y}{dt^2} = ma_{CMy} = F_M \sin(\gamma + \varphi) + N_A + N_C - m_c g$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = a_{CMx} = a_{Ax} - \ddot{\varphi}(L_{AM} \sin \varphi + h_b \cos \varphi)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = a_{CMy} = \ddot{\varphi}(L_{AM} \cos \varphi + h_b \sin \varphi)$$

$$\sum M_C = (I + m_c R_{r1}^2) \ddot{\varphi} = N_A(\mu h_b - L_0 \cos \varphi - q) + (L_{BM} \cos \varphi + q)m_c g$$

Trong đó: $\sum F_x$ là tổng lực theo phương X ; $\sum F_y$ tổng lực theo phương Y ; M_C là mô men quay tại điểm C vì cần phải xét khả năng robot bị quay tại C ; m là khối lượng robot.

Từ động cơ truyền động, qua hộp số sẽ tạo ra mô-men xoắn đầu ra T , từ đó tạo ra lực kéo F_M để kéo robot tiến về phía trước. Chúng có mối quan hệ với nhau như sau:

$$F_M = \frac{G \cdot E}{r} \cdot T \quad (2.2)$$

Trong đó, G là tỉ số truyền của hộp số, E là hiệu suất của hộp số, và r là bán kính của bánh sao dẫn động.

Lực F_A, F_C là các lực ma sát tạo ra tại điểm A và C. Chúng được tính như sau:

$$\begin{aligned} F_A &= \mu N_A \\ F_C &= \mu N_C \end{aligned} \quad (2.3)$$

Với N_A và N_C là phản lực tại hai điểm A và C được tính như sau:

$$\begin{aligned} N_A &= \frac{m_c g (L_{BM} \cos \beta + q)}{(L_0 \cos \beta + q - \mu h_b)} \\ N_C &= \frac{m_c g (L_0 \cos \beta - L_{BM} \cos \beta - \mu h_b)}{(-\sigma \sin(\beta + \theta) + \cos(\beta + \theta))(L_0 \cos \beta + q - \mu h_b)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

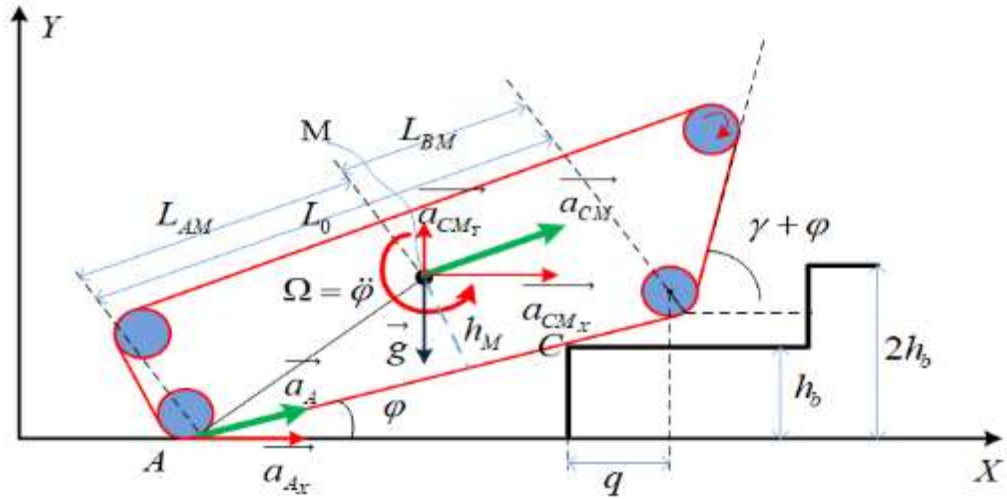
và q được tính

$$q = \frac{h_b - L_0 \sin \varphi}{\tan(\varphi + \gamma)} \quad (2.5)$$

và R_{r1} được tính

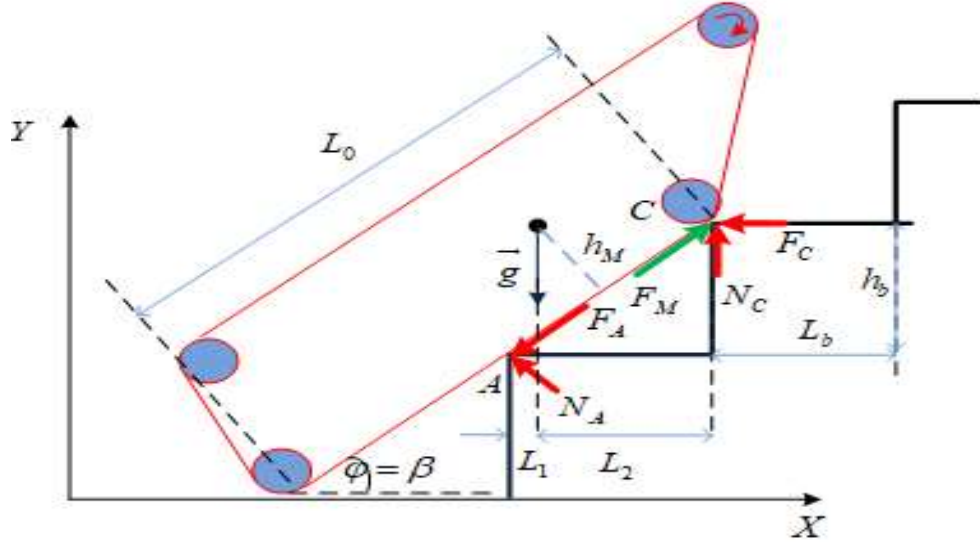
$$R_{r1} = \sqrt{(L_{BM} + q)^2 + (h_b - L_{BM} \sin \varphi - h_M \cos \varphi)^2} \quad (2.6)$$

2.1.2. Động lực học robot tại bước 2 quá trình leo lên



2.1.3. Động lực học robot tại bước 3 quá trình leo lên

Bước 3 bắt đầu khi phần đáy xích tiếp xúc với 2 mũi bậc cầu thang, lúc này robot đã được nhấc lên khỏi mặt đất, robot di chuyển lên trên với độ dốc cầu thang không đổi, tức $\varphi = \beta$



Hình 2.3: Phân tích động lực học bước 3 quá trình leo lên cầu thang

Phương trình động lực học robot tại bước 3 là

$$\sum F_x = m \frac{d^2x}{dt^2} = ma_{CMx} = F_M \cos \beta + F_A \cos \beta - N_A \sin \beta - F_C \quad (2.10)$$

$$\sum F_y = m \frac{d^2y}{dt^2} = ma_{CMy} = F_M \sin \beta + F_A \sin \beta + N_A \cos \beta - m_c g + N_C$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = a_{CMx} = a_{Ax} - \ddot{\varphi}(L_{AM} \sin \beta + h_b \cos \beta)$$

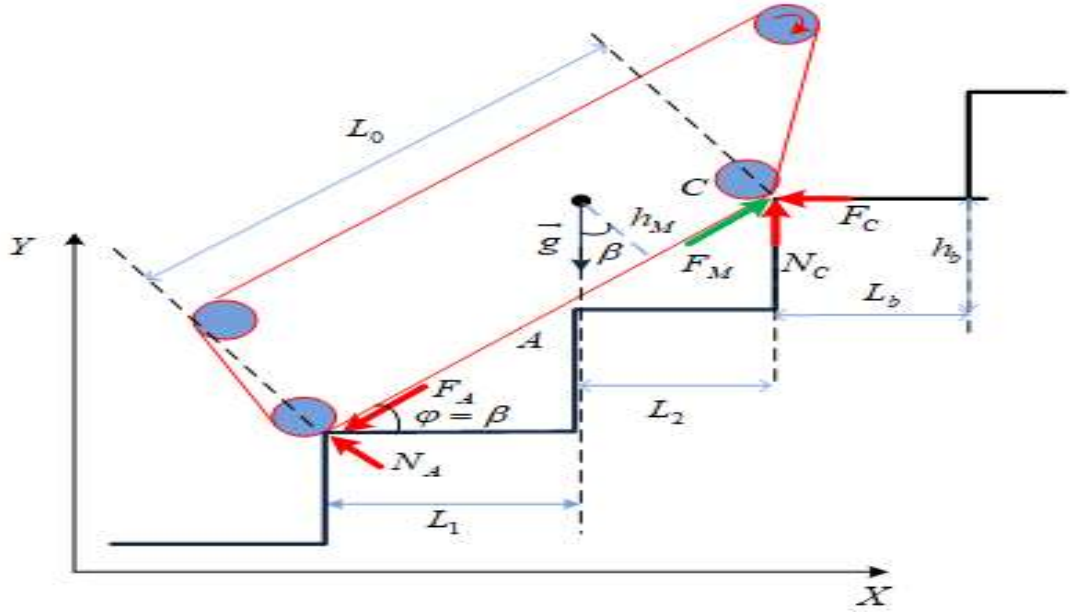
$$\frac{d^2y}{dt^2} = a_{CMy} = \ddot{\varphi}(L_{AM} \cos \beta + h_b \sin \beta)$$

$$\sum M_A = F_M(-h_b \cos \beta + L_b \sin \beta) + N_C(h_b \mu + L_b) - m_c g L_1$$

với $L_1 + L_2 = L_b$

2.1.4. Động lực học robot tại bước 4 quá trình leo lên

Trong bước này, mặt đáy xích robot tiếp xúc với 3 mũi bậc cầu thang. Hệ phương trình động lực học của robot tại bước 4 là:



Hình 2.4: Phân tích động lực học bước 4 quá trình leo lên cầu thang

$$\sum F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} = m a_{CMx} = F_M \cos \beta + F_A \cos \beta - N_A \sin \beta - F_C \quad (2.11)$$

$$\sum F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2} = m a_{CMy} = F_M \sin \beta + F_A \sin \beta + N_A \cos \beta - m_c g + N_C$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = a_{CMx} = a_{Ax} - \ddot{\varphi} (L_{AM} \sin \beta + h_b \cos \beta)$$

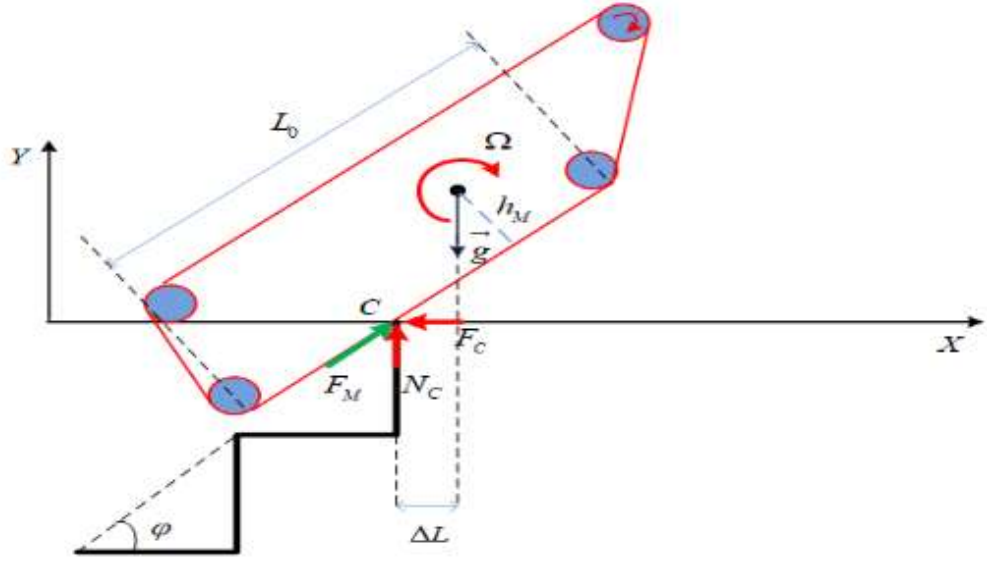
$$\frac{d^2 y}{dt^2} = a_{CMy} = \ddot{\varphi} (L_{AM} \cos \beta + h_b \sin \beta)$$

$$\sum M_A = N_C (2h_b \mu + 2L_b \cos \beta) - F_M (2h_b \cos \beta - 2L_b \sin \beta) - m_c g L_1$$

với $L_1 + L_2 = 2L_b$

2.1.5. Động lực học robot tại bước 5 quá trình leo lên

Bắt đầu từ bước 3 và bước 4, hai bước này được thực hiện hoán đổi cho nhau cho tới khi robot đi tới mũi bậc cầu thang cuối cùng tại chiều ngời. Khi khối tâm của robot đi qua mũi trên cùng của bậc cầu thang (theo hướng vuông góc) thì bước 5 bắt đầu xảy ra, lúc này robot có hiện tượng quay tại mũi bậc cầu thang C và kết thúc khi mặt đáy xích tiếp xúc với chiều ngời (mặt phẳng ngang, đất), tương ứng với đó góc φ giảm từ $\varphi = \beta$ cho đến giá trị $\varphi = 0$. Trong bước này, robot thực hiện 3 chuyển động gồm 2 chuyển động tịnh tiến theo trục X, Y và 1 chuyển động xoay



Hình 2.5: Phân tích động lực học bước 5 quá trình leo lên cầu thang

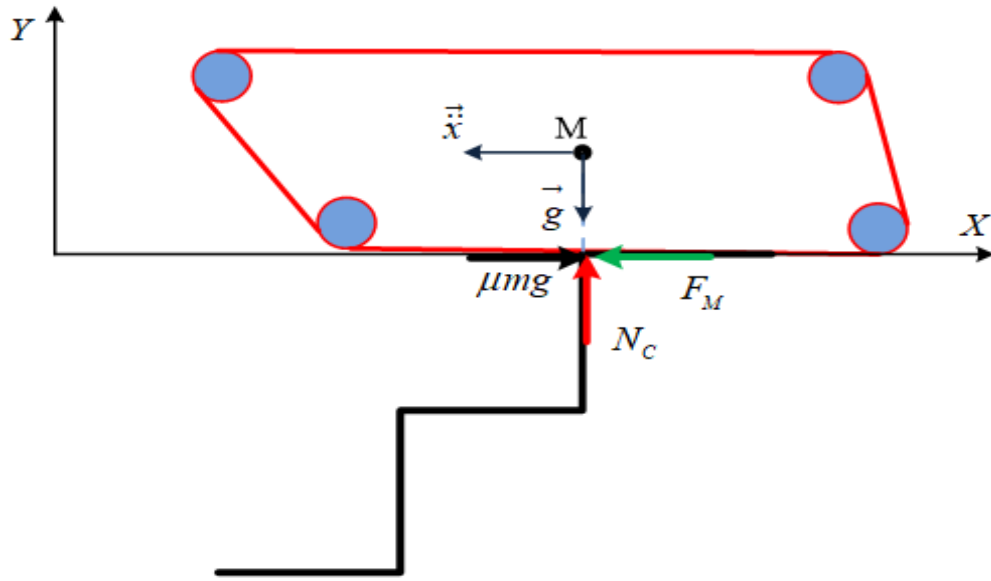
Hệ phương trình động lực học robot tại bước 5 gồm:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m \frac{d^2 x}{dt^2} = m a_{CMx} = F_M \cos \varphi - F_C \\ \sum F_y &= m \frac{d^2 y}{dt^2} = m a_{CMy} = F_M \sin \varphi + N_C - m_c g \\ \frac{d^2 x}{dt^2} &= a_{CMx} = a_{Ax} - \ddot{\varphi} \left(\frac{h_M}{\cos \varphi} + \Delta L \tan \varphi \right) \\ \frac{d^2 y}{dt^2} &= a_{CMy} = -\ddot{\varphi} \Delta L \\ \sum M_C &= \Delta L m_c g \end{aligned} \quad (2.12)$$

2.2. Xây dựng phương trình động lực học robot khi leo xuống cầu thang

2.2.1. Động lực học robot tại bước 1 quá trình leo xuống

Bước 1 của quá trình leo xuống cầu thang là khi robot di chuyển trên mặt phẳng nằm ngang của tầng trên hoặc chiếu nghỉ, cho tới khi khối tâm robot tiến đến mũi bậc cầu thang theo chiều thẳng đứng. Khi đó bước 1 sẽ kết thúc để trạng thái robot chuyển sang bước 2 của quá trình leo xuống. Trong bước 1, do di chuyển trên mặt phẳng nằm ngang nên robot không có hiện tượng xoay.



Hình 2.6: Phân tích động lực học bước 1 quá trình leo xuống cầu thang

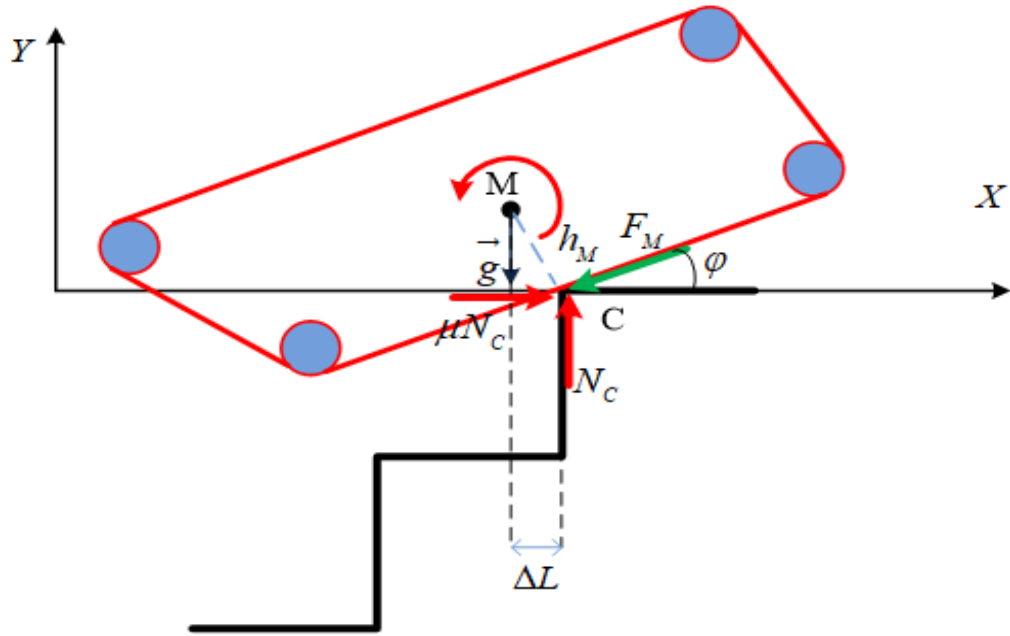
Phương trình động lực học robot tại bước 1 quá trình leo xuống cầu thang là:

$$\sum F_x = m \frac{d^2x}{dt^2} = F_M - \mu m_c g \quad (2.13)$$

với μ là hệ số ma sát; m_c là khối lượng robot; F_M là lực sinh ra bởi xích.

2.2.2. Động lực học robot tại bước 2 quá trình leo xuống

Bước này xảy ra khi khối tâm robot bắt đầu đi qua mũi bậc cầu thang, lúc này khối tâm robot sẽ tạo ra mô men quay tại điểm C



Hình 2.7: Phân tích động lực học bước 2 quá trình leo xuống cầu thang

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 2 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

$$\sum F_x = m_c a_{CMx} = -F_M \cos \varphi + F_C = -F_M \cos \varphi + \mu m_c g \quad (2.14)$$

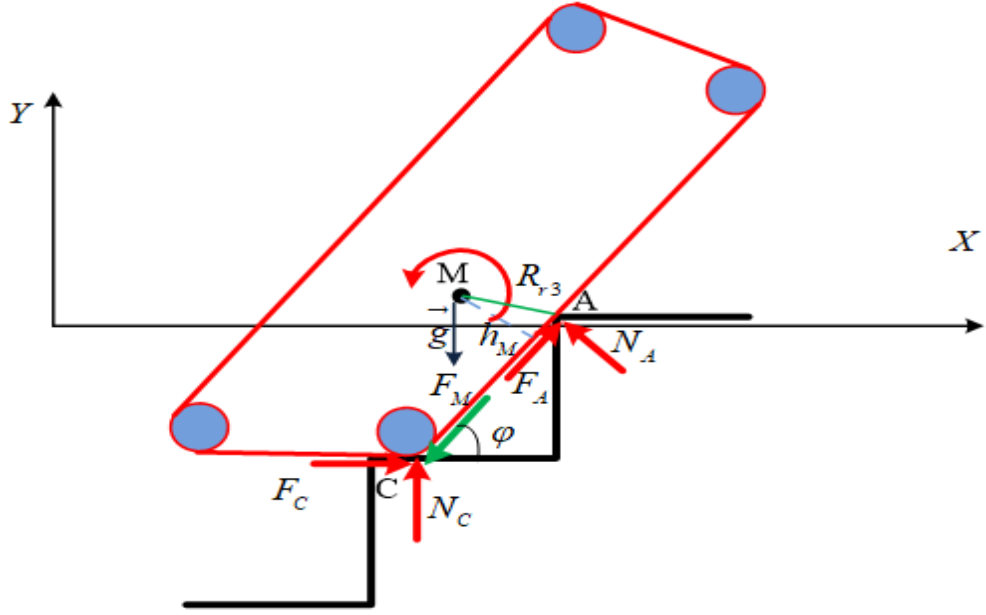
$$\sum_{C_c} F_y = m_c a_{CMy} = -F_M \sin$$

$$\sum M_C = I \ddot{\varphi} = m_c g \Delta L$$

$$a_{CMx} = a_{cx} - \ddot{\varphi} \left(\frac{h_M}{\cos \varphi} + \Delta L \tan \varphi \right)$$

$$a_{CMy} = \ddot{\varphi} \Delta L$$

2.2.3. Động lực học robot tại bước 3 quá trình leo xuống cầu thang



Hình 2.8: Phân tích động lực học bước 3 quá trình leo xuống cầu thang

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 3 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

$$\sum F_x = m_c a_{CMx} = F_C + F_A \cos \varphi - N_A \sin \varphi - F_M \cos \varphi \quad (2.15)$$

$$\sum_{\Sigma_M \sin \varphi} F_y = m_c a_{CMY} = N_C + N_A \cos \varphi - F_A \sin \varphi$$

$$\begin{aligned} \sum M_C &= (I + mR_3^2) \ddot{\varphi} \\ &= N_A h_b \left[\frac{1}{\tan \varphi (\mu \sin \varphi - \cos \varphi) - (\sin \varphi + \mu \cos \varphi)} \right] \end{aligned}$$

$$+ m_c g \left[\frac{h_b}{\tan \varphi} - \cos \varphi (h_b \sin \varphi - L_{BM}) - h_M \sin \varphi \right]$$

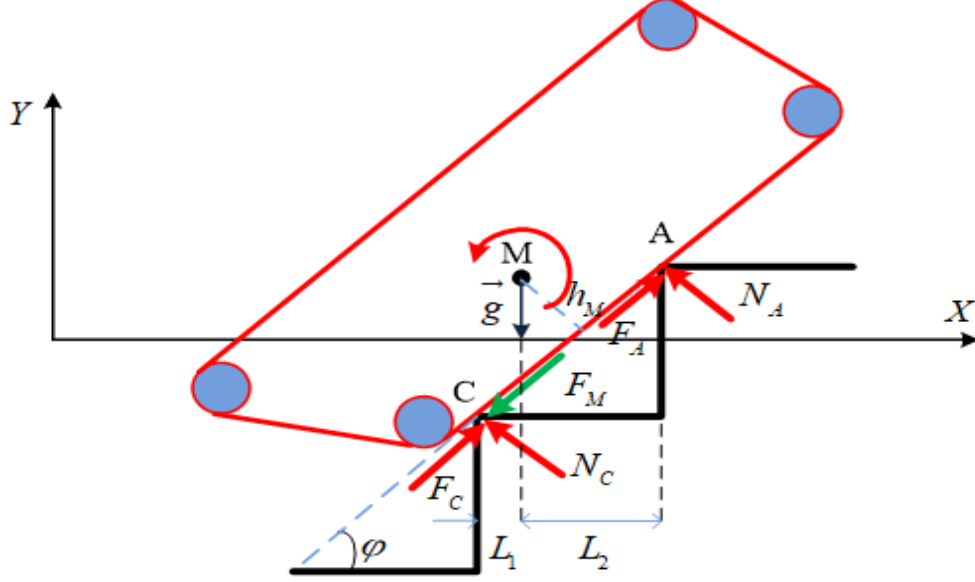
$$a_{CMx} = a_{Ax} - \ddot{\varphi} (L_{BM} \sin \varphi + h_M \cos \varphi)$$

$$a_{CMY} = \ddot{\varphi} (L_{BM} \cos \varphi - h_M \sin \varphi)$$

$$R_{r3} = \sqrt{h_M^2 + \left(\frac{h_b}{\cos \varphi} - L_{BM} \right)^2}$$

2.2.4. Động lực học robot tại bước 4 quá trình leo xuống

Bước 4 của quá trình leo xuống bắt đầu khi mặt đáy bánh xích tiếp xúc với hai mũi bậc cầu thang, góc nghiêng robot bằng độ dốc cầu thang là không đổi $\varphi = \beta$. Do vậy, hệ phương trình động lực học trong bước 4 sẽ theo biến $\varphi = \beta$ là:



Hình 2.9: Phân tích động lực học bước 4 quá trình leo xuống cầu thang

$$\sum F_x = m_c a_{CMx} = (-F_M - F_A + F_C) \cos \beta - (N_A + N_C) \sin \beta \quad (2.16)$$

$$\sum (-F_M + N_A + N_C) \cos \beta (N_A + N_C) c$$

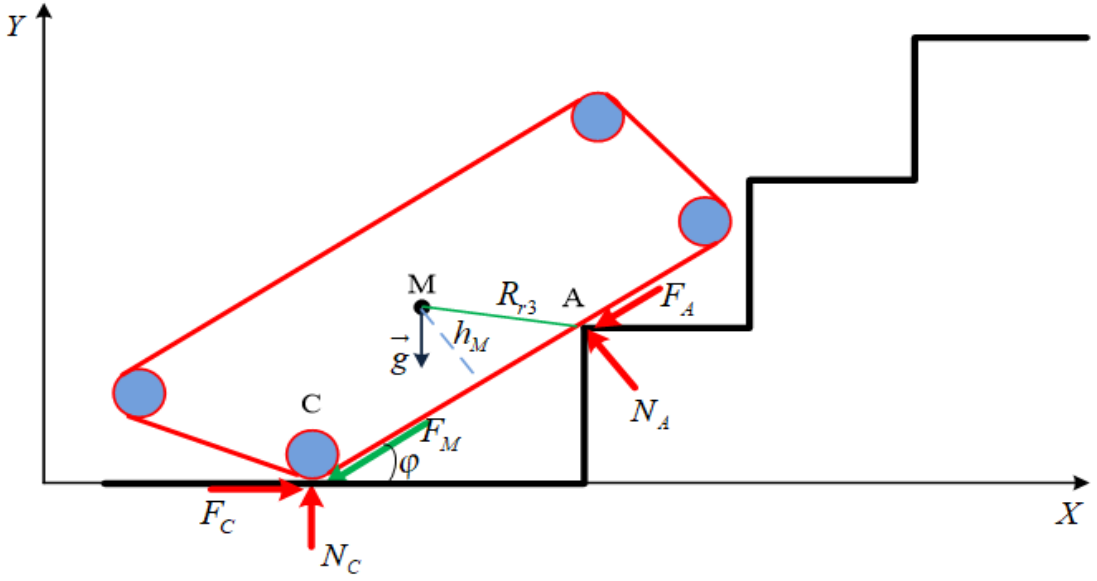
$$\sum F_y = m_c a_{CMY} = \sin$$

$$\sum M_A = F_M [2h_b \cos \beta - L_b \sin \beta] - m_c g L_2$$

$$+ N_C [2h_b (\sin \beta - \mu \cos \beta) + L_b (\cos \beta + \mu \sin \beta)]$$

2.2.5. Động lực học robot tại bước 5 quá trình leo xuống

Sau khi bước 4 diễn ra, thì quá trình leo xuống cầu thang của robot được lặp đi lặp lại thông qua việc chuyển tiếp giữa bước 3 và bước 4 khi robot leo xuống cầu thang cho tới khi bước 5 diễn ra (robot xuống tới bậc cuối cùng của cầu thang trước khi chạm mặt đất). Bước 5 diễn ra phần đầu mặt xích phía trước tiếp xúc với mặt đất (hoặc chiều nghiêng), khi đó robot tiếp tục tiến về phía trước và góc nghiêng robot sẽ thay đổi giảm từ giá trị lớn nhất (khi phần đầu mặt xích phía trước tiếp xúc với đất) về giá trị nhỏ nhất (khi phần cuối mặt xích phía sau tiếp xúc với mũi bậc cầu thang)



Hình 2.10: Phân tích động lực học bước 5 quá trình leo xuống cầu thang

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 5 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

$$\sum F_x = m_c a_{CMx} = F_C - F_A \cos \varphi - N_C \sin \varphi - F_M \cos \varphi \quad (2.17)$$

$$\sum F_y = m_c a_{CMy} = N_C + N_A \cos \varphi - F_A \sin \varphi - F_M \sin \varphi$$

$$\begin{aligned} \sum M_C &= (I + m_c R_3^2) \ddot{\varphi} \\ &= N_A h_b \left[\frac{1}{\tan \varphi (\mu \sin \varphi - \cos \varphi) - (\sin \varphi + \mu \cos \varphi)} \right] \end{aligned}$$

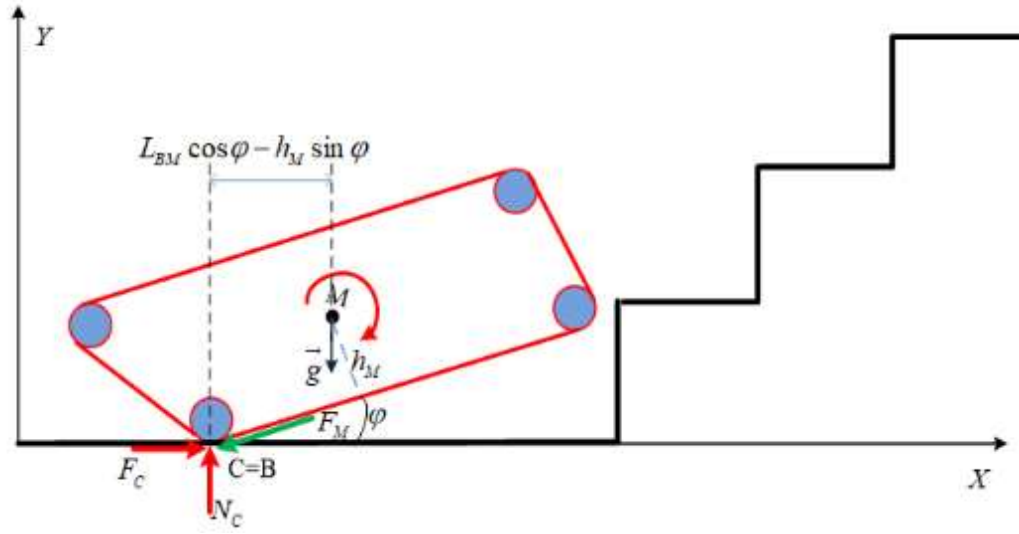
$$+ m_c g \left[\frac{h_b}{\tan \varphi - \cos \varphi (h_b \sin \varphi - L_{BM}) - h_M \sin \varphi} \right]$$

$$a_{CMx} = a_{Ax} - \ddot{\varphi} (L_{BM} \sin \varphi + h_M \cos \varphi)$$

$$a_{CMy} = \ddot{\varphi} (L_{BM} \cos \varphi - h_M \sin \varphi)$$

2.2.6. Động lực học robot tại bước 6 quá trình leo xuống

Bước cuối này bắt đầu khi phần cuối mặt xích phía sau rời khỏi mũi cuối bậc cầu thang, lúc này robot sẽ có chuyển động quay (rơi xuống đất). Bước 6 kết thúc khi toàn bộ mặt xích tiếp xúc với mặt phẳng đất.



Hình 2.11: Phân tích động lực học bước 6 quá trình leo xuống cầu thang

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 6 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

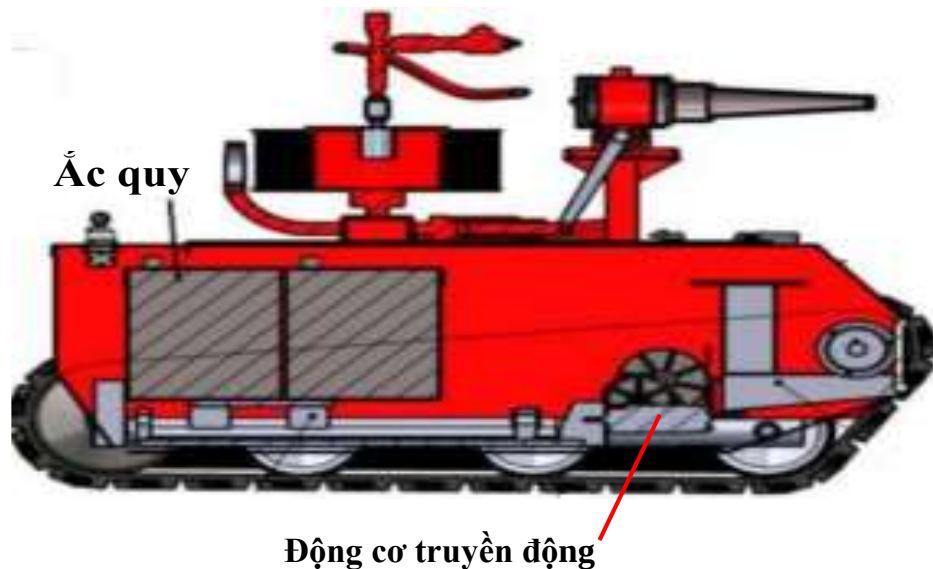
$$\begin{aligned}
 \sum F_x &= m_c a_{CMx} = F_M \cos \varphi - F_C \\
 \sum F_y &= m_c a_{CMy} = F_M \sin \varphi + N_C - m_c g \\
 \sum M_C &= I \ddot{\varphi} = F_M [\cos \varphi (L_{BM} \cos \varphi - h_M \sin \varphi) - \sin \varphi (L_{BM} \sin \varphi + h_M \cos \varphi)] \\
 &\quad + N_C [(L_{BM} \cos \varphi - h_M \sin \varphi) - \mu (L_{BM} \sin \varphi + h_M \cos \varphi)] \\
 a_{CMx} &= a_{Cx} - \ddot{\varphi} (L_{BM} \sin \varphi + h_M \cos \varphi) \\
 a_{CMy} &= \ddot{\varphi} (L_{BM} \cos \varphi - h_M \sin \varphi)
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

2.3. Xây dựng hệ thống điều khiển chuyển động cho robot

Tại mục 2.1 và 2.2 luận án đã tiến hành xây dựng các hệ phương trình động lực học của quá trình robot leo cầu thang (leo lên, leo xuống), trong hệ phương trình tại hai mục trên F_M là lực kéo do động cơ sinh ra, được quy đổi về trục động cơ theo phương trình (2.2). Do vậy, mục tiêu của mục này là nghiên cứu bộ điều khiển để điều khiển động cơ truyền động sinh ra F_M (quy đổi về mô men trục động cơ T qua (2.2)) thỏa mãn hệ phương trình động lực học để đảm bảo robot leo cầu thang (leo lên, leo xuống) với vận tốc V nhất định.

2.3.1. Tính toán động cơ truyền động cho robot

Robot được trang bị 02 động cơ truyền động độc lập cho 2 bánh xích, được lắp thông qua hộp số và bánh sao (bánh trung gian kết nối với mắt xích truyền lực), được mô tả trên hình 2.12. Động cơ lắp trên robot là loại động cơ một chiều



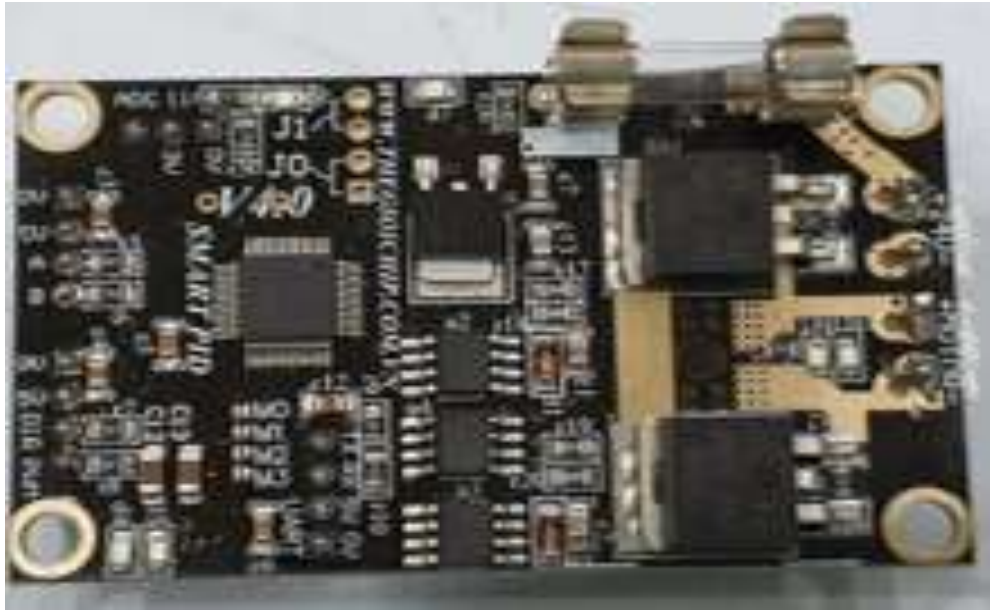
Hình 2.12: Động cơ truyền động trang bị cho robot

Thông số kỹ thuật:

- Điện áp: 24 (V)
- Dòng điện: 18.7 (A) – Momen xoắn: 1,11 (Nm)
- Công suất: 350 (W)
- Tải trọng an toàn: 180 (kg)
- Số vòng quay: 3200 (rpm)
- Tỷ lệ giảm: 9,78: 1 – 310 (prm)

2.3.2. Tính toán bộ điều khiển động cơ truyền động cho robot

2.3.2.1. Driver điều khiển động cơ



Hình 2.13: Bộ điều khiển động cơ DC thông minh DRIVER PID SMART MOTOR DC

Mô tả chi tiết:

Bộ điều khiển động cơ DC thông minh DRIVER PID SMART MOTOR DC

Driver được trang bị bộ vi xử lý ARM hiện đại nhất nên cung cấp nhiều chức năng cao cấp như sau:

- Chạy động cơ công suất lớn tới 700W, điện áp điều khiển 24vDC.
- Giao tiếp máy tính qua cổng com uart.
- Đèn led báo trạng thái hoạt động.
- Chạy PID vị trí theo chuẩn 1 xung và 1 hướng hỗ trợ tần số lên tới 10Mhz, với các thông số Kp Kd Ki điều chỉnh được bằng giao diện máy tính.
- Chạy PID vị trí theo chuẩn xung encoder AB hỗ trợ tần số lên tới 10Mhz, ứng dụng làm cánh tay máy , với các thông số Kp Kd Ki điều chỉnh được bằng giao diện máy tính.
- Chạy PID vận tốc hỗ trợ các chuẩn giao tiếp:
 - 1 PWM (tích cực mức 0 với độ phân giải 8 bit) và 1 hướng, hỗ trợ tần số điều xung(50 hz-5 khz).
 - UART với khung truyền 3 byte (byte đầu là thuộc tính gồm chiều quay bit thứ 7 và các bit còn lại là địa chỉ, byte giữa là tốc độ, byte cuối luôn luôn là 0xFF). Hỗ

trợ giao tiếp mọi tốc độ baudrate và tối đa lên đến 128 thiết bị mà chỉ tốn 1 dây điều khiển từ mater, có giao diện tùy chọn cho người sử dụng.

- Có chức năng thông minh là chỉ cần nhập thông số tốc độ max của động cơ tính theo vòng/phút và xung encoder quay được 1 vòng thì bộ điều khiển sẽ tự tính toán ra hết các hệ số Kp, Kd, Ki.

- Hỗ trợ chạy động cơ lên tới 20000 (prm) và encoder 20000 (xung/vòng).

- Chạy theo chuẩn cầu H đơn thuần không cần encoder, có 3 chuẩn giao tiếp PWM, UART.

2.3.2.2. Xây dựng mạch điều khiển động cơ

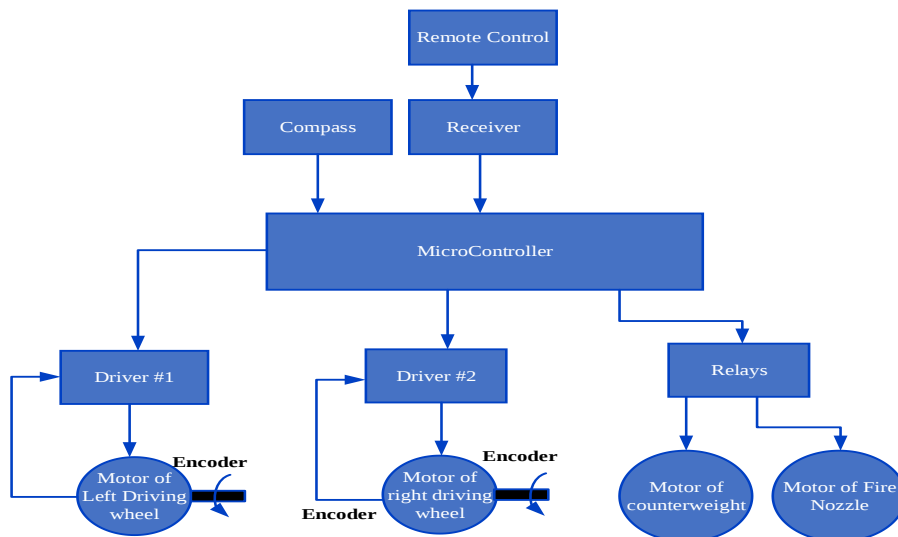
a) Module xử lý trung tâm

Để robot có thể điều khiển động cơ truyền động cho bánh xích robot, luận án sử dụng một module xử lý trung tâm gồm

- Vi điều khiển Arduino MEGA 2560

- Bộ điều khiển động cơ

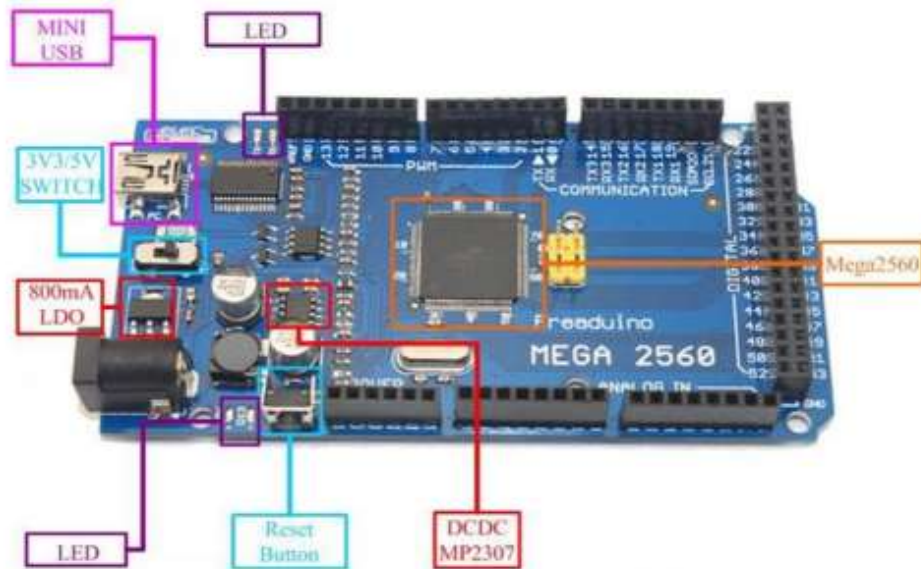
- Đơn vị Rơ le



Hình 2.14: Sơ đồ tổng quát của hệ thống điều khiển

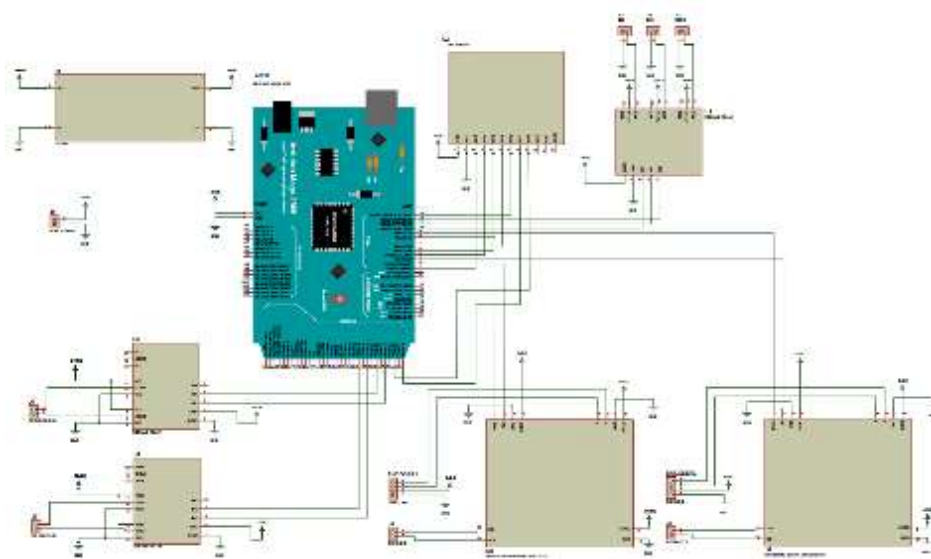
Điều khiển từ xa FlySky I6S đóng vai trò là máy phát, nó được kết nối với một bộ nút nhấn. Khi một nút cụ thể được nhấn, chương trình thực hiện truyền dữ liệu tương ứng không dây đến bộ thu Fs-i6ab. Bộ thu là bộ giải mã RF với mười kênh. Việc định nghĩa thanh ghi, tạo biến và chỉ định chân I/O được vận hành trên bộ vi

điều khiển Arduino MEGA 2560. Bộ vi điều khiển nhận dữ liệu nối tiếp từ bộ thu Fs-i6ab để giao tiếp với trình điều khiển động cơ để điều khiển hoạt động chung của robot: di chuyển robot về phía trước/phía sau, rẽ phải/trái và giao tiếp với role để điều khiển động cơ của đối trọng và điều khiển lăng phun hoặc bật/tắt đèn và còi



Hình 2.15: Vi điều khiển Arduino MEGA 2560

Mạch giao diện của hệ thống điều khiển được phát triển như minh họa trong Hình 2.16. Tốc độ và hướng của hai động cơ của bánh lái có thể được điều chỉnh thông qua Bộ điều chế độ rộng xung như mô tả trong sơ đồ sau:

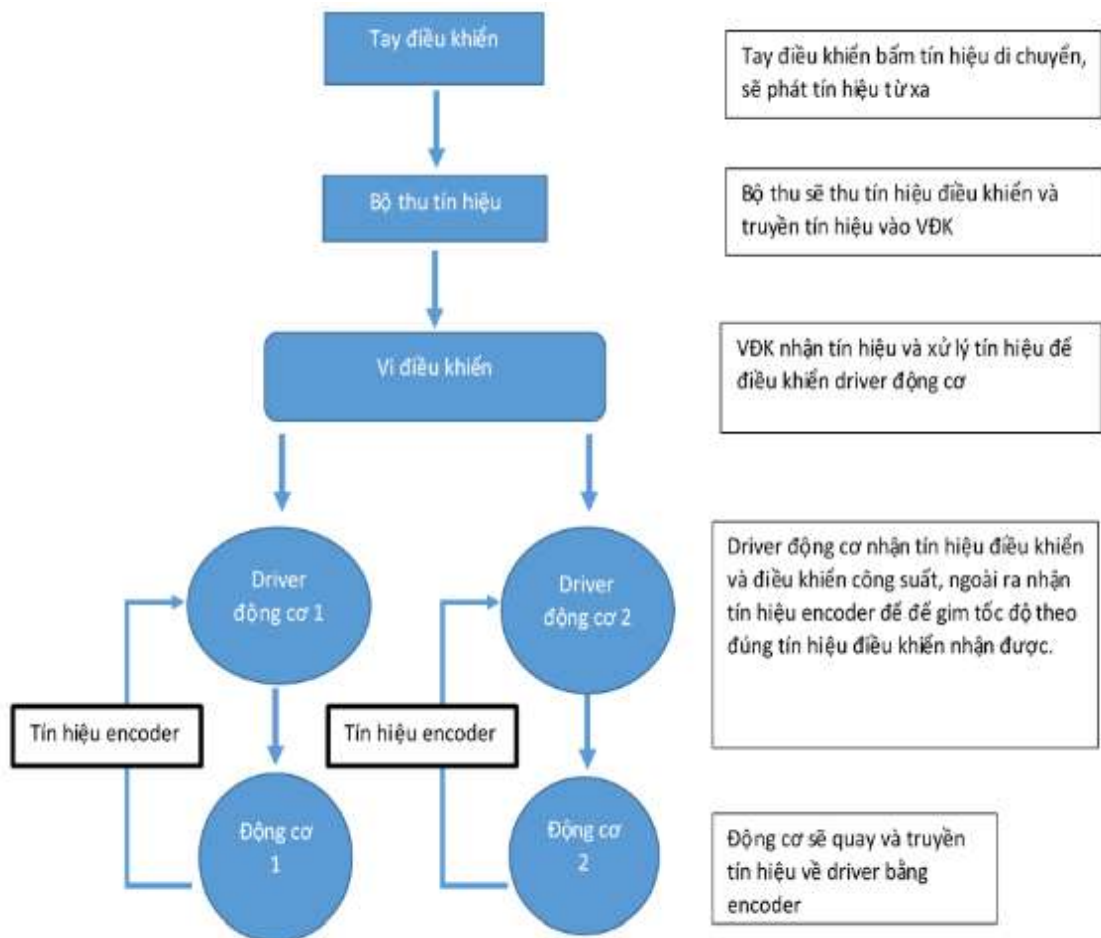


Hình 2.16: Mạch giao diện của hệ thống điều khiển

2.3.2.3. Thuật toán điều khiển động cơ

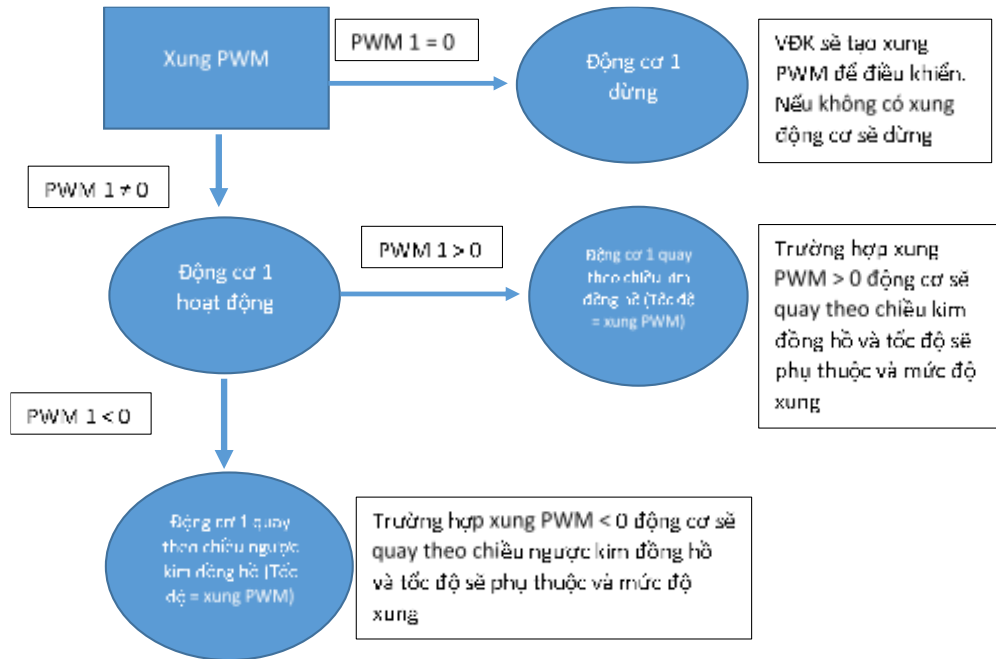
Để đảm bảo động cơ truyền động được hoạt động theo yêu cầu, giúp robot chuyển động theo mong muốn, bộ vi điều khiển trong module xử lý trung tâm cần phải được lập trình, để tiến hành quá trình viết chương trình điều khiển, luận án tiến hành xây dựng thuật toán điều khiển động cơ. Thuật toán được trình bày trên hình 2.17.

- Di chuyển



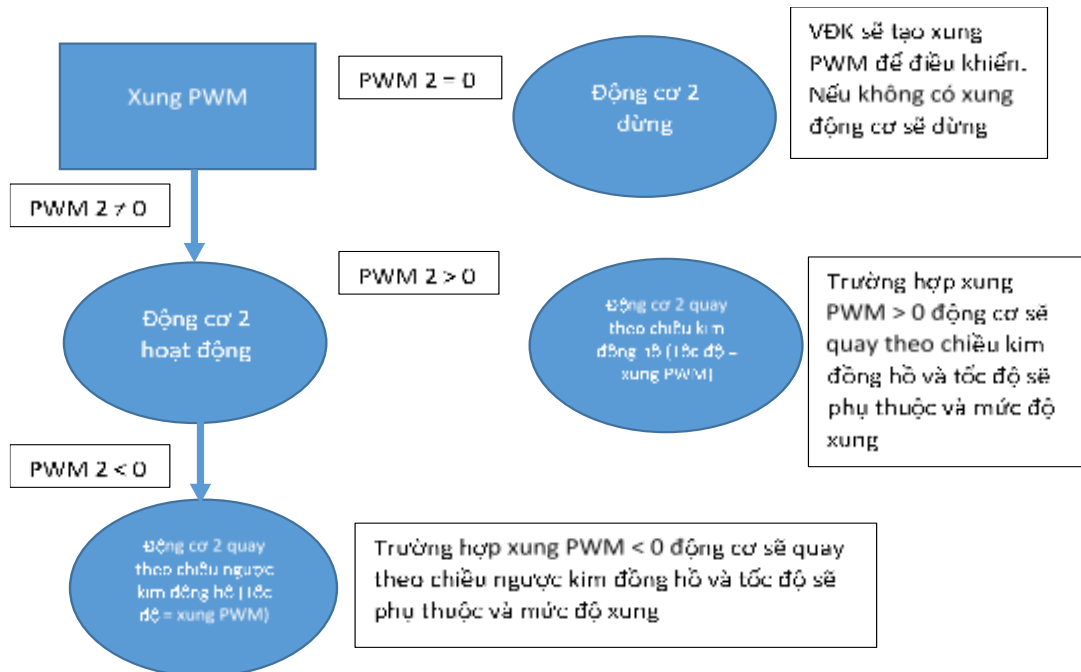
Hình 2.17: Sơ đồ thuật toán di chuyển robot chữa cháy

- Điều khiển động cơ 1.



Hình 2.18: Sơ đồ thuật toán điều khiển động cơ 1

- Điều khiển động cơ 2.



Hình 2.19: Sơ đồ thuật toán điều khiển động cơ 2

2.4. Mô phỏng và đánh giá kết quả qua trình leo cầu thang của Robot chữa cháy

Mục đích của việc mô phỏng là để đánh giá tính chính xác hệ phương trình động lực học (mô hình động lực học) của robot được xây dựng tại mục 2.1 và 2.2, đồng thời đánh giá khả năng đáp ứng của hệ thống điều khiển truyền động với động cơ được trang bị cho bánh xích robot.

Do không có hiện tượng trượt, quay ngang nên chuyển động của robot có ba thành phần ở mỗi giai đoạn gồm: chuyển động tịnh tiến theo trục X, chuyển động theo trục Y và một chuyển động quay theo trục Z. Ba thành phần này liên quan mật thiết với nhau và với trọng tâm của robot

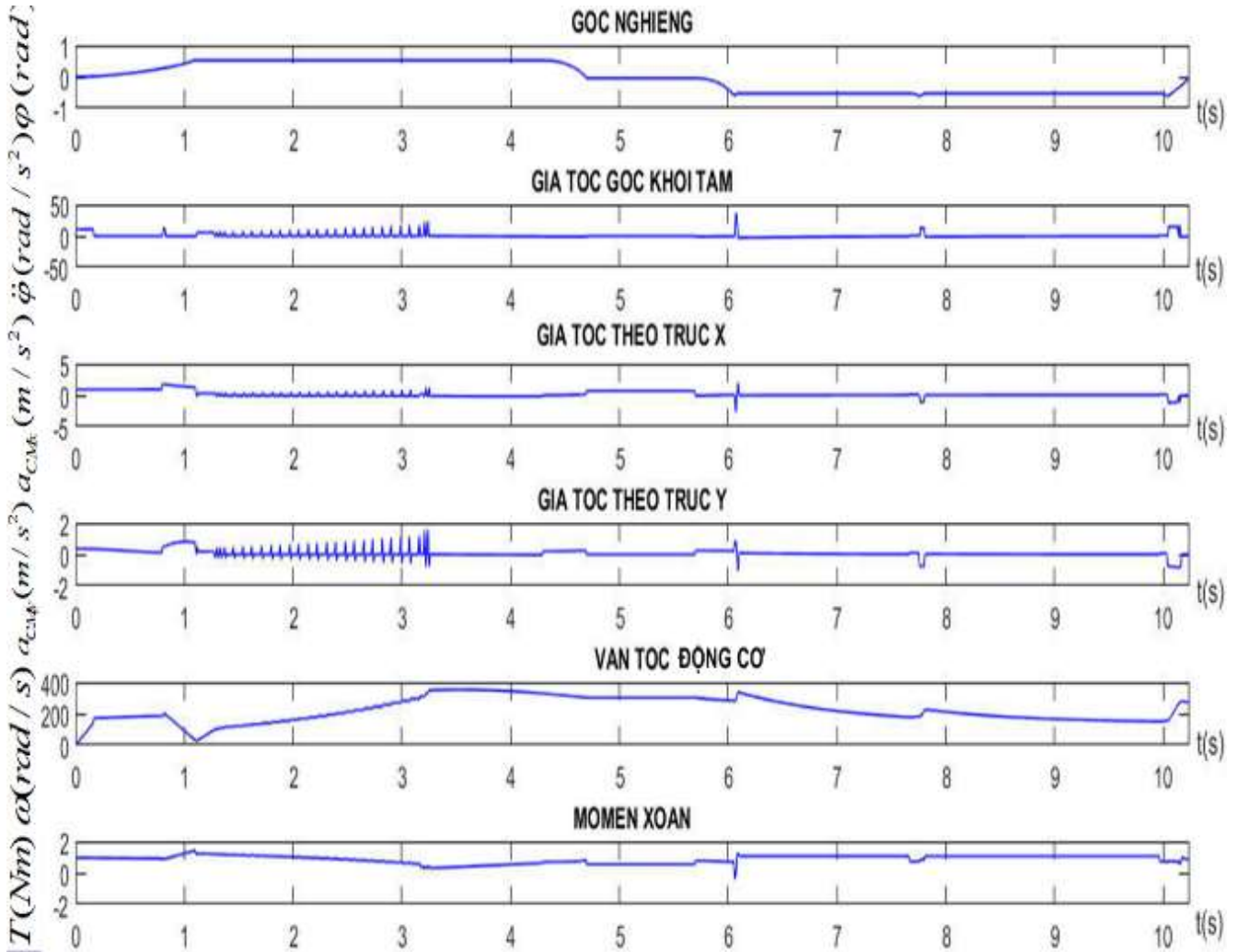
2.4.1. Các tham số và giả định trong mô phỏng

Để tiến hành quá trình mô phỏng và đánh giá kết quả đáp ứng của động cơ BLDC được trang bị, luận án sử dụng các thông số được mô tả trên bảng 2.1:

Bảng 2.1: Các thông số của robot và cầu thang dùng cho mô phỏng

STT	Tên tham số	Ký hiệu trong ĐLH	Đơn vị	Giá trị
1	Tổng khối lượng robot và áp quy đặt tại khối tâm	m_c	kg	150
2	Gia tốc trọng trường	g	m/s^2	10
3	Hệ số ma sát	μ		0.6
4	Chiều cao bậc	h_b	m	0.15
5	Độ dốc cầu thang (30 độ)	β	rad	0.523
6	Góc leo phía trước robot (45 độ)	γ	rad	0.78
7	Độ dài mặt xích tiếp đất (<i>mặt xích dưới</i>)	L_0	m	0.8
8	Chiều cao của điểm trọng tâm tới mặt dưới xích	h_M	m	0.1
9	Mô men quán tính quay	I	$Kg.m^2$	50
10	Tỷ số chuyển hộp số	G		30
11	Hiệu suất hộp số	E		0.8
12	Bán kính bánh sao chủ động (bánh truyền động từ động cơ ra bánh xích)	r	m	0.1

2.4.2. Kết quả mô phỏng



Hình 2.20: Kết quả mô phỏng quá trình leo cầu thang

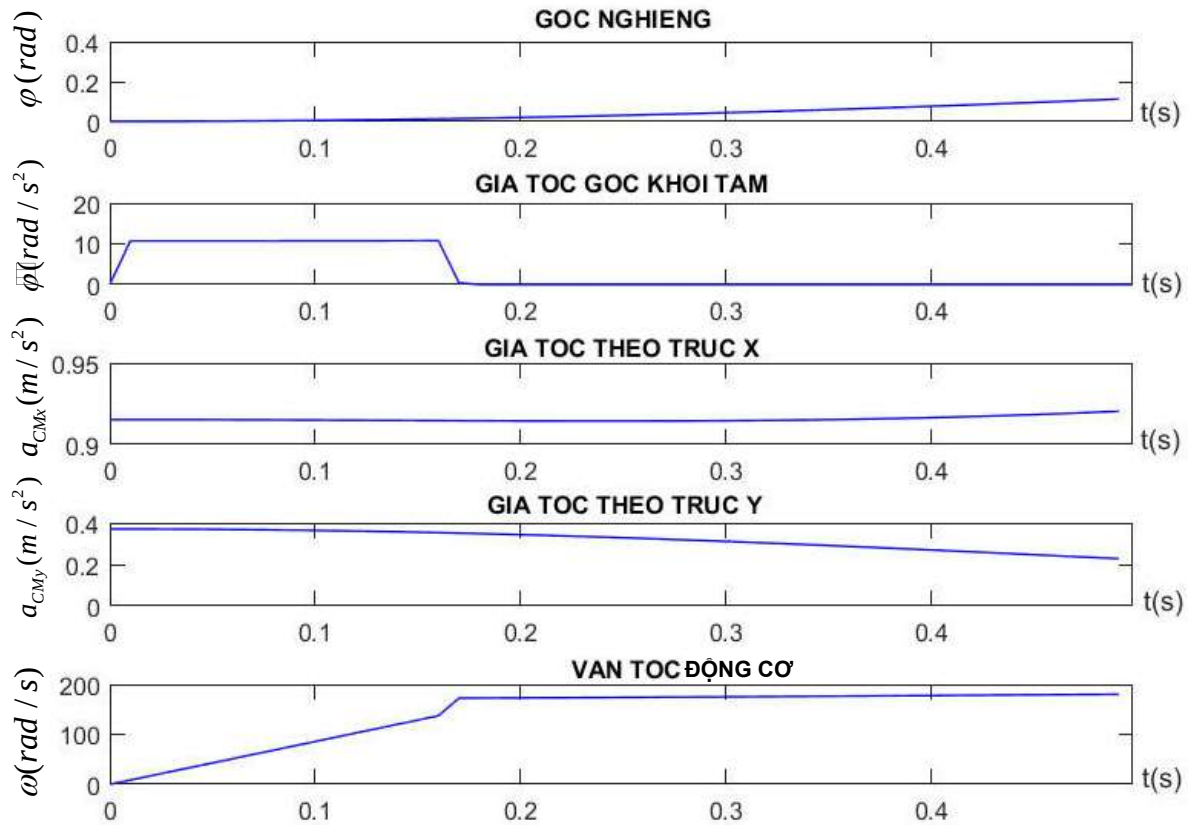
(Leo lên-đi trên mặt phẳng- leo xuống)

Từ kết quả mô phỏng, luận án có thể rút ra các kết luận sau:

- Động cơ cần phải sinh ra một mô men xoắn T được biến đổi theo thời gian đáp ứng đồ thị hình 2.20-f, với giá trị lớn nhất T_{max} (Nm) (quy đổi F_{Mmax} theo (2.2) cho tổng hai bánh), vận tốc góc động cơ cần sinh ra theo thời gian đáp ứng đồ thị hình 2.20-e với giá trị lớn nhất ω_{max} .
- So sánh với động cơ BLDC được trang bị có thông số tại bảng 2.1 có $T_{dc} = 2(Nm)$ và $\omega_{dc} = 627,6(rad/s)$ thì hệ thống điều khiển chuyển động tại mục 2.3 hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu. Hệ thống này sẽ đảm bảo robot hoàn thành việc leo lên và leo xuống bậc cầu thang.

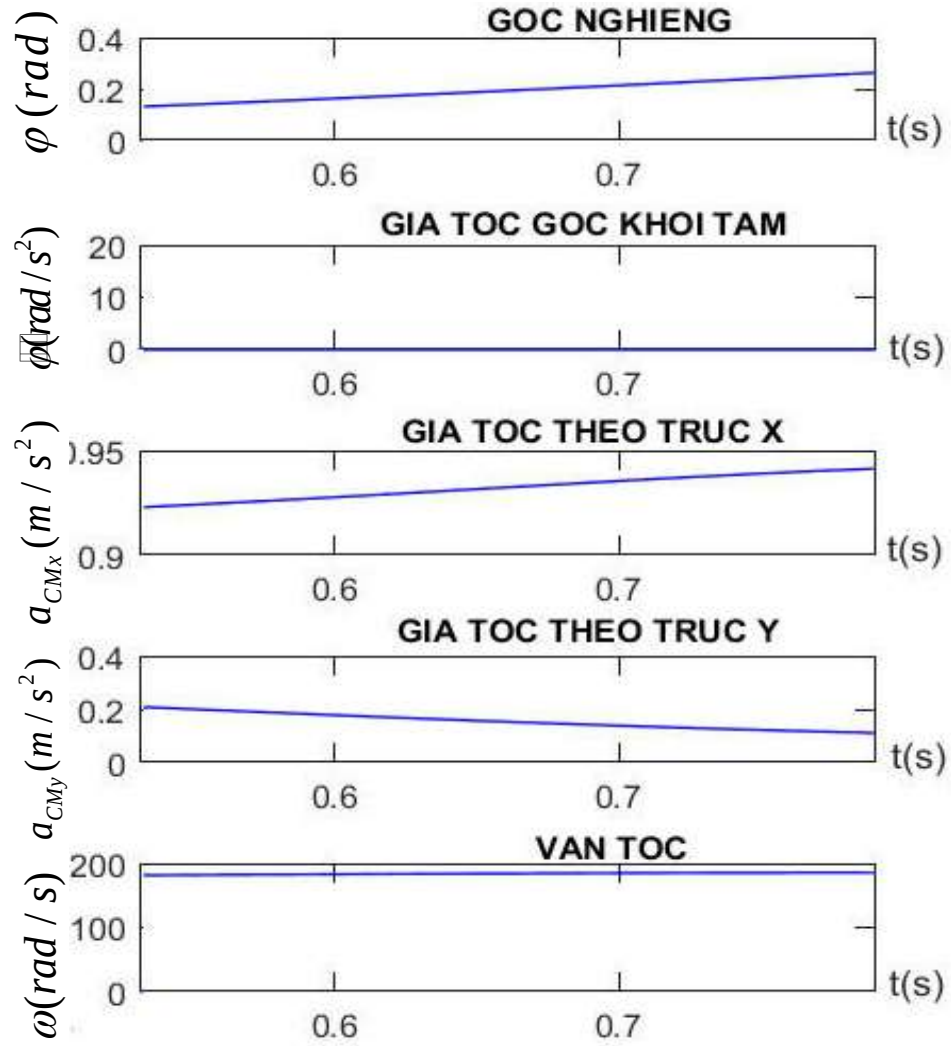
Quá trình biến đổi của 3 đại lượng robot là gia tốc khối tâm theo trục X, trục Y và gia tốc góc cũng được diễn tả trên hình 2.20. Để phân tích chi tiết, luận án trích dẫn kết quả của mô phỏng của các bước lần lượt như sau:

a) Quá trình leo lên



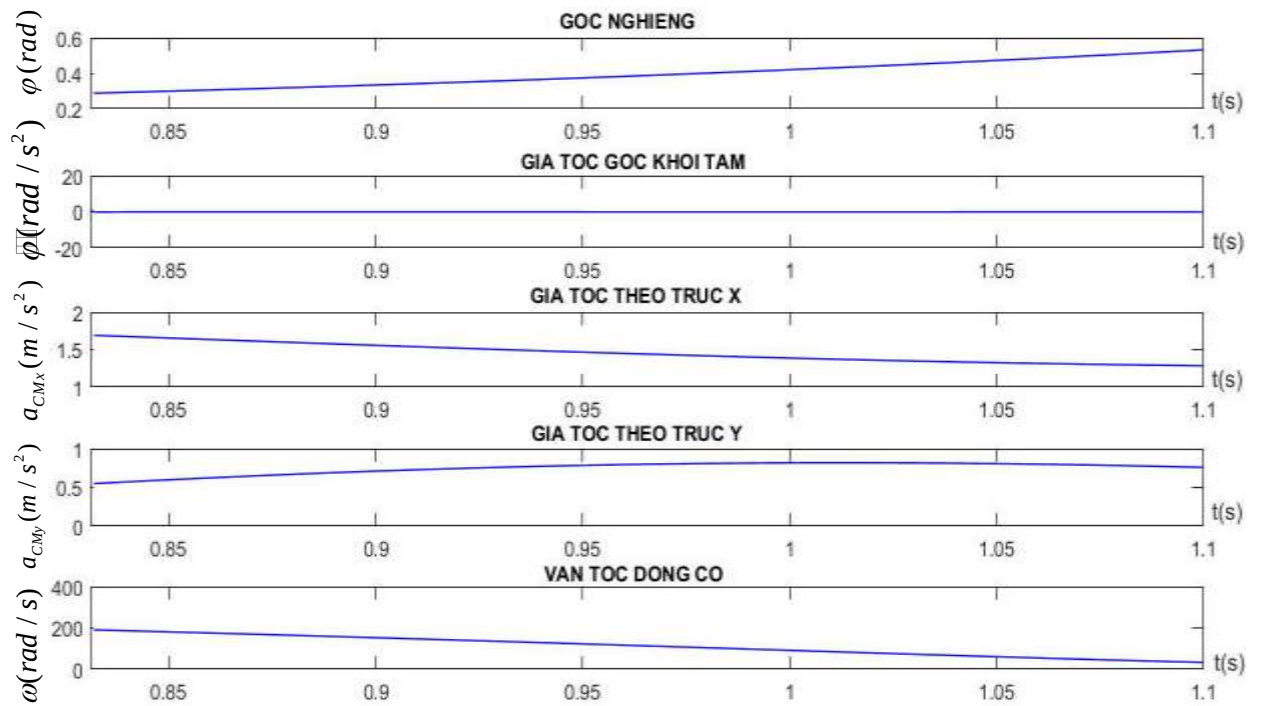
Hình 2.21: Kết quả mô phỏng bước 1 quá trình leo lên

- Bước 1 leo lên. Lúc này robot bắt đầu tiếp xúc với mũi cầu thang để leo lên, khi đó góc nghiêng φ thay đổi từ 0 và tăng dần, tuy nhiên $\varphi < \beta = 0.523(rad)$, gia đoạn 1 diễn ra đến thời điểm $t = 0.56(s)$, khi đó phần đầu mặt đáy bánh xích tiếp xúc với mũi đầu tiên của bậc cầu thang.

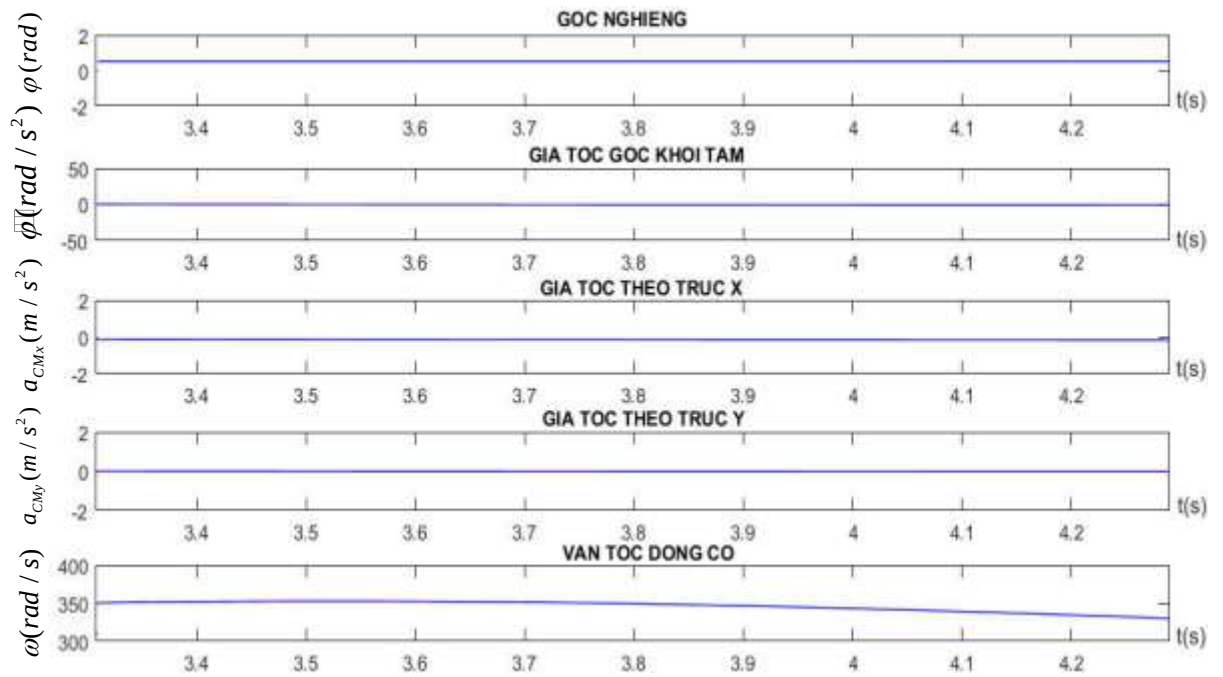


Hình 2.22: Kết quả mô phỏng bước 2 quá trình leo lên

- Bước 2 leo lên. Lúc này, mặt đáy xích tiếp xúc với một mũi bậc cầu thang, tiếp tục quá trình tiến lên, khi đó góc nghiêng robot φ tiếp tục tăng thay đổi từ 0 và tăng dần hướng về góc $\beta = 0.523(rad)$, bước hai kết thúc khi $\varphi = \beta = 0.523(rad)$, khi đó điểm đầu mặt đáy xích tiếp xúc với mũi thứ 2 của bậc cầu thang. Giai đoạn 2 diễn ra đến thời điểm $t = 0.96(s)$, hình 2.24 mô tả.

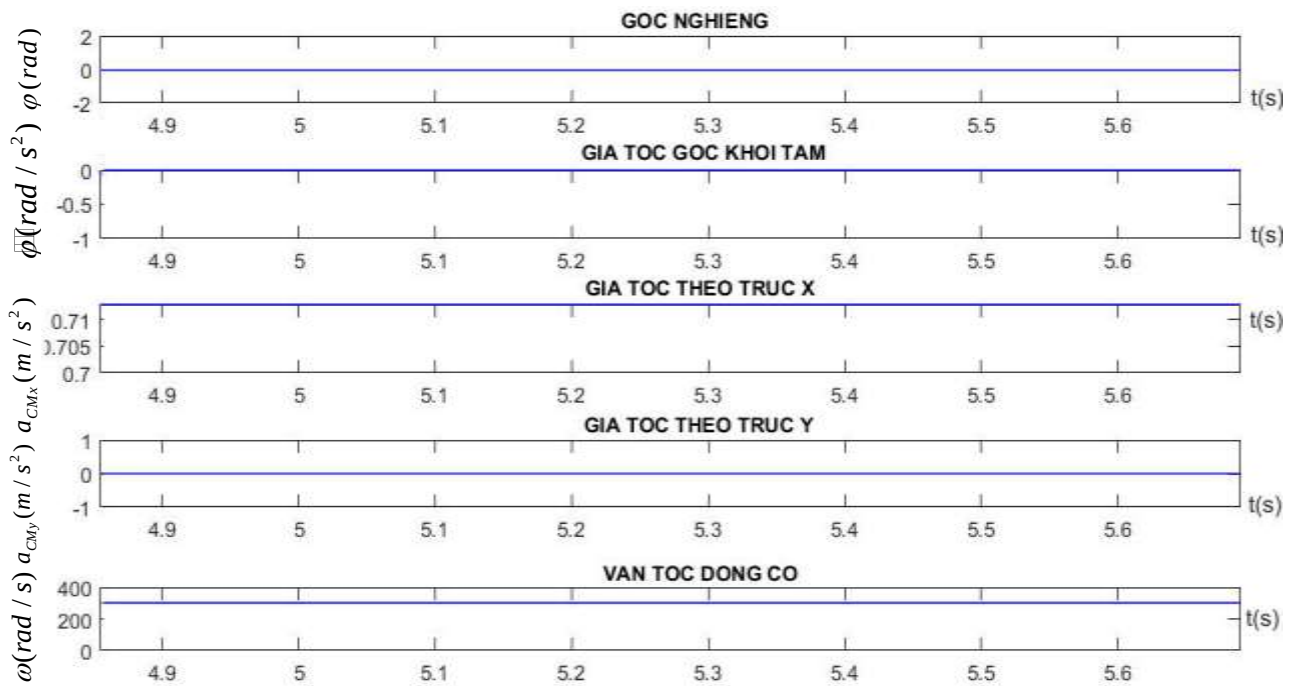


Hình 2.23: Kết quả mô phỏng bước 3 quá trình leo lên



Hình 2.24: Kết quả mô phỏng bước 4 quá trình leo lên

- Bước 3 và bước 4 là hai bước mà trạng thái của robot luôn hoán đổi cho nhau, bước 3 bắt đầu khi mặt đáy xích tiếp xúc với hai mũi bậc cầu thang, góc nghiêng robot $\varphi = \beta = 0.523(rad)$ và điểm cuối mặt đáy xích đã nhấc lên khỏi mặt đất. Trong suốt quá trình bước 3 và bước 4 hoán đổi nhau, tương ứng với robot lần lượt leo lên các bậc cầu thang, trong suốt quá trình này góc nghiêng robot là không đổi $\varphi = \beta = 0.523(rad)$, khi đó với $\ddot{\varphi} = 0$. Hình 2.25 mô tả biến đổi trạng thái của robot trong bước 3 và bước 4.



Hình 2.25: Kết quả mô phỏng bước 5 quá trình leo lên

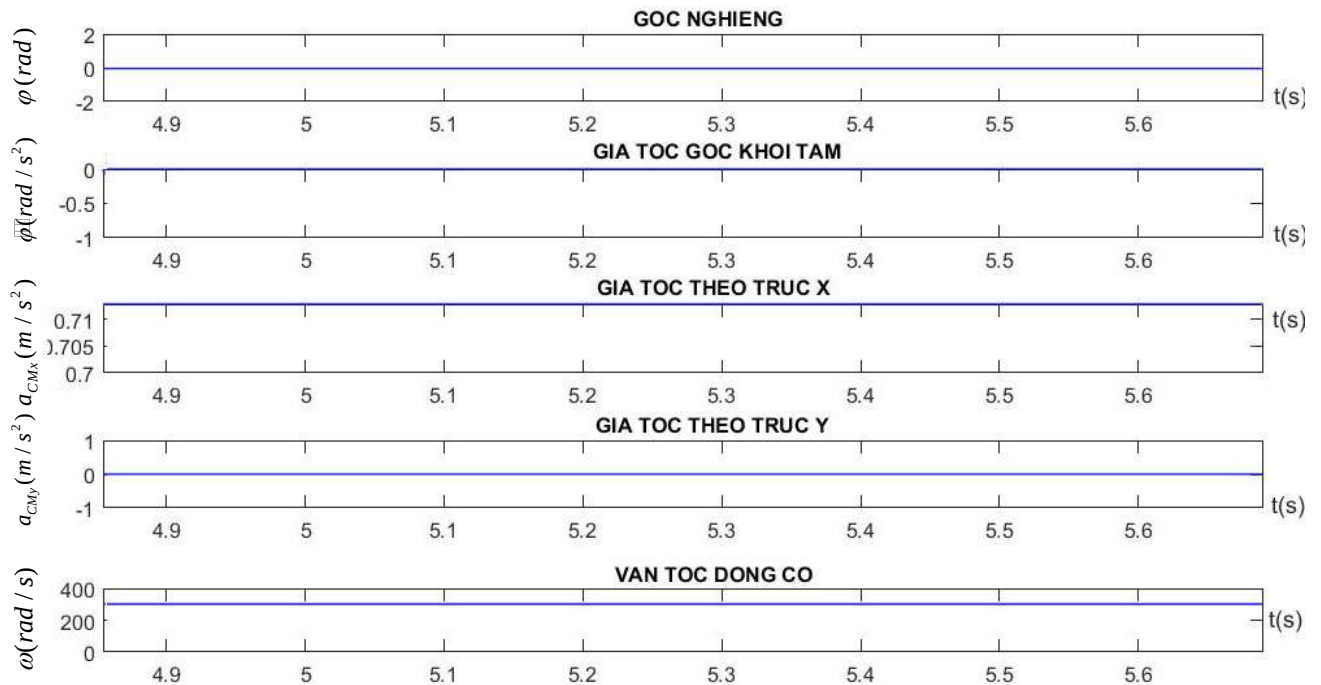
- Bước 5 quá trình leo lên diễn ra khi khối tâm robot đi qua mũi bậc cầu thang cuối cùng (mũi của chiều nghỉ), khi đó dưới tác dụng của trọng lực tại khối tâm, robot bị rơi xuống chiều nghỉ khi tiến lên trong bước 5, khi đó góc nghiêng φ sẽ biến đổi giảm từ $\varphi = \beta = 0.523(rad)$ về tới $\varphi = 0$, tương đương mặt xích đã nằm ngang trên chiều nghỉ. Khi đó bước 5 kết thúc, và robot chuyển động trên mặt phẳng nằm ngang. Kết thúc quá trình leo lên, hình 2.26 mô tả.

b) Quá trình leo xuống

- Quá trình leo xuống được xét tới khi robot đi từ mặt phẳng nằm ngang xuống tiếp xúc với mũi đầu tiên của bậc cầu thang, để có tính liên tục, trong mô phỏng luận

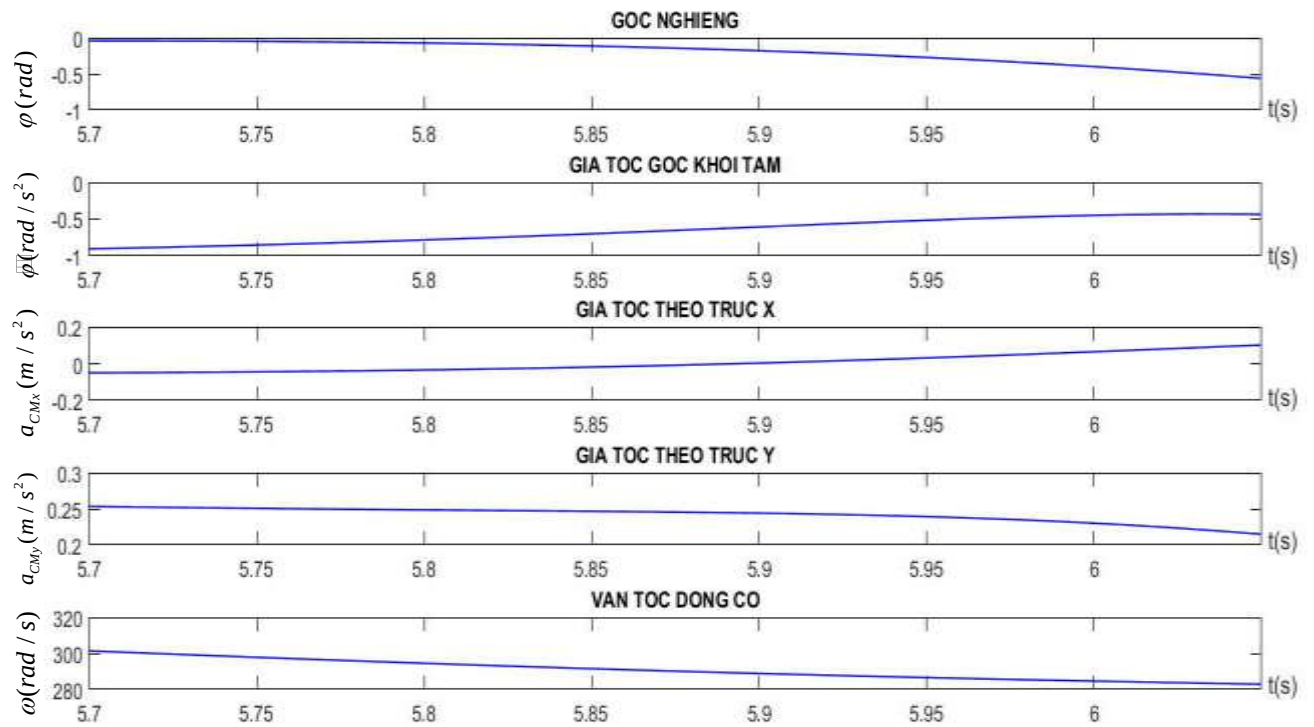
án tiếp nối về mặt thời gian khi kết thúc bước 5 của quá trình leo lên, robot nằm hoàn toàn trên mặt phẳng nằm ngang.

- Chúng ta có thể thấy, tại bước 1 của quá trình leo xuống robot di chuyển trên mặt phẳng nằm ngang, do vậy $\varphi = 0$ và $a_{CMY} = 0$. Có một điều đặc biệt là gia tốc góc khối tâm bị đứt từ $\ddot{\varphi} = 20(rad/s^2)$ đột ngột thành $\ddot{\varphi} = 0(rad/s^2)$ tại thời điểm $t = 4.2(s)$ (hình 2.26 và hình 2.27), điều này hoàn toàn hợp lý vì xét về bản chất vấn đề khi robot rơi xuống chiếu nghỉ (mặt phẳng nằm ngang) thì robot được mặt phẳng đỡ và quá trình thay đổi của góc nghiêng không xảy ra nữa $\varphi = 0$, không có hiện tượng quay xảy ra (tương ứng hệ phương trình (2.18)).

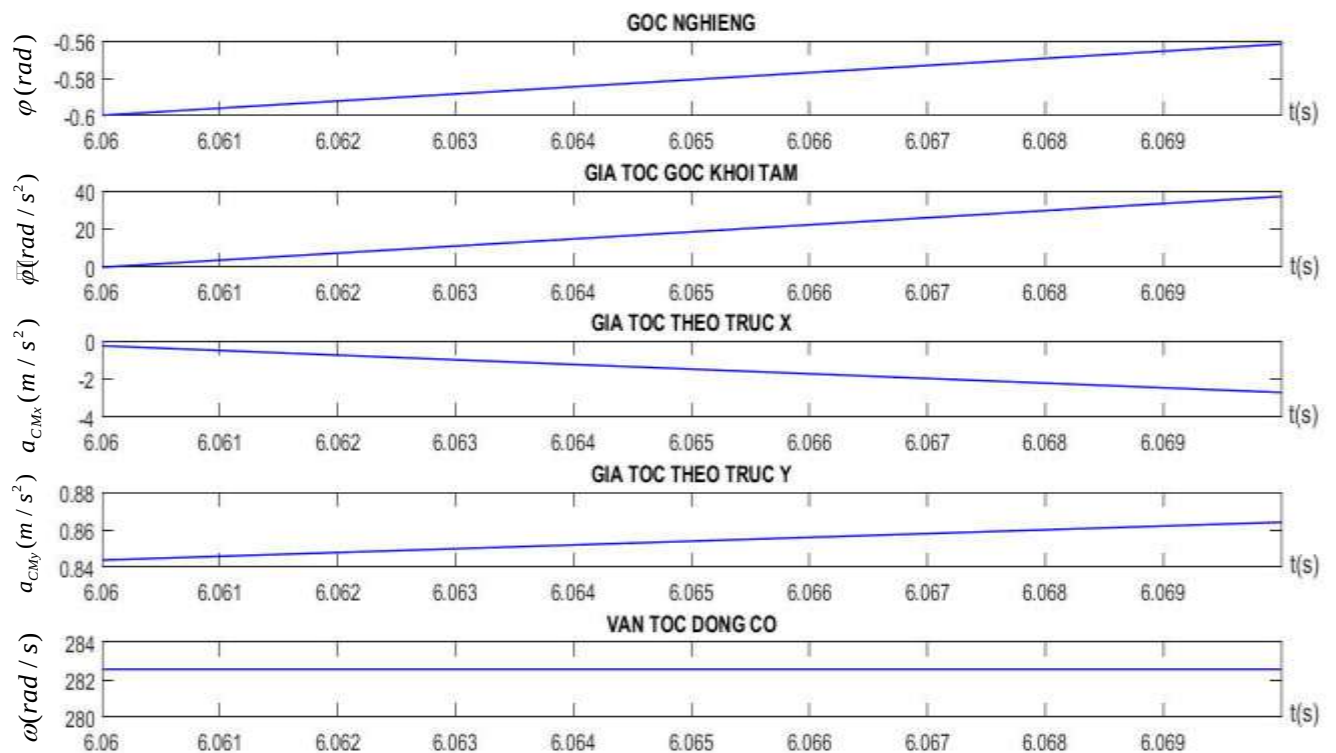


Hình 2.26: Kết quả mô phỏng bước 1 quá trình leo xuống

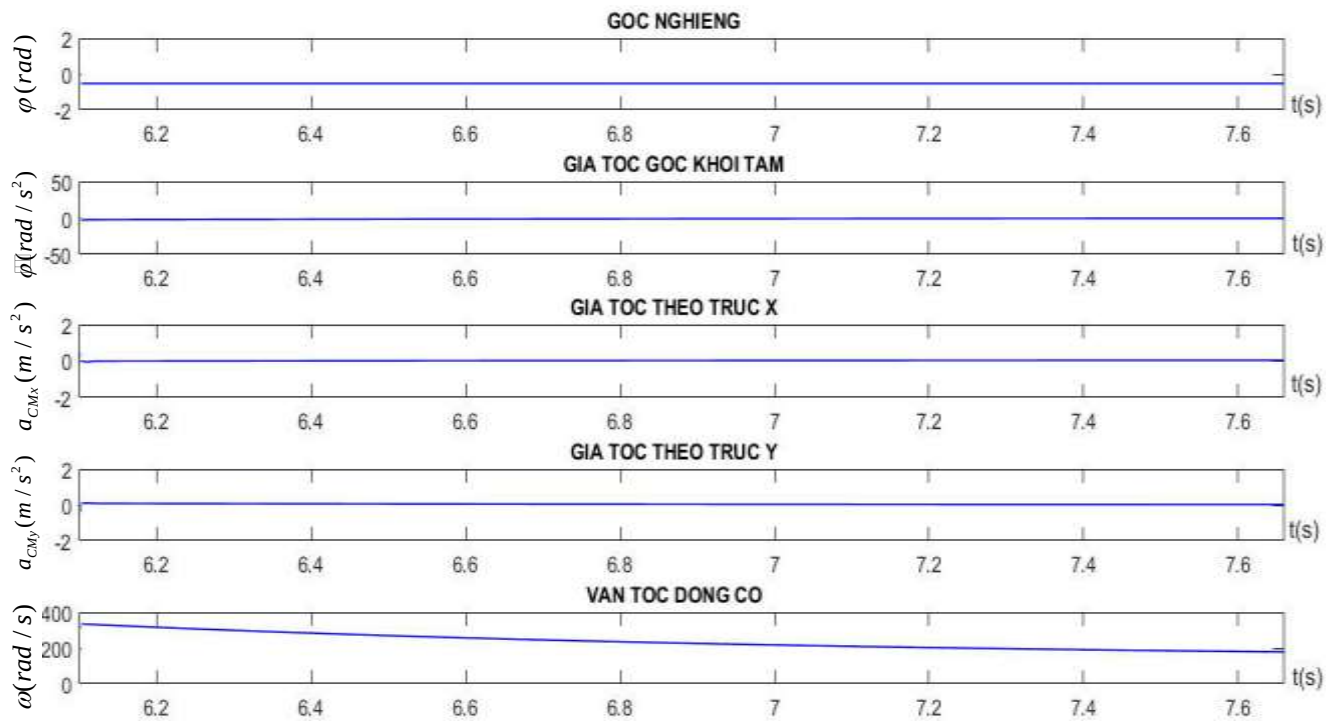
- Tương tự với quá trình leo lên, trạng thái quá trình leo xuống từ bước 2 đến bước 6 (bánh xích robot tiếp xúc với mặt phẳng đất nằm ngang) được lần lượt mô tả trên các hình từ hình 2.27 đến hình 2.30.



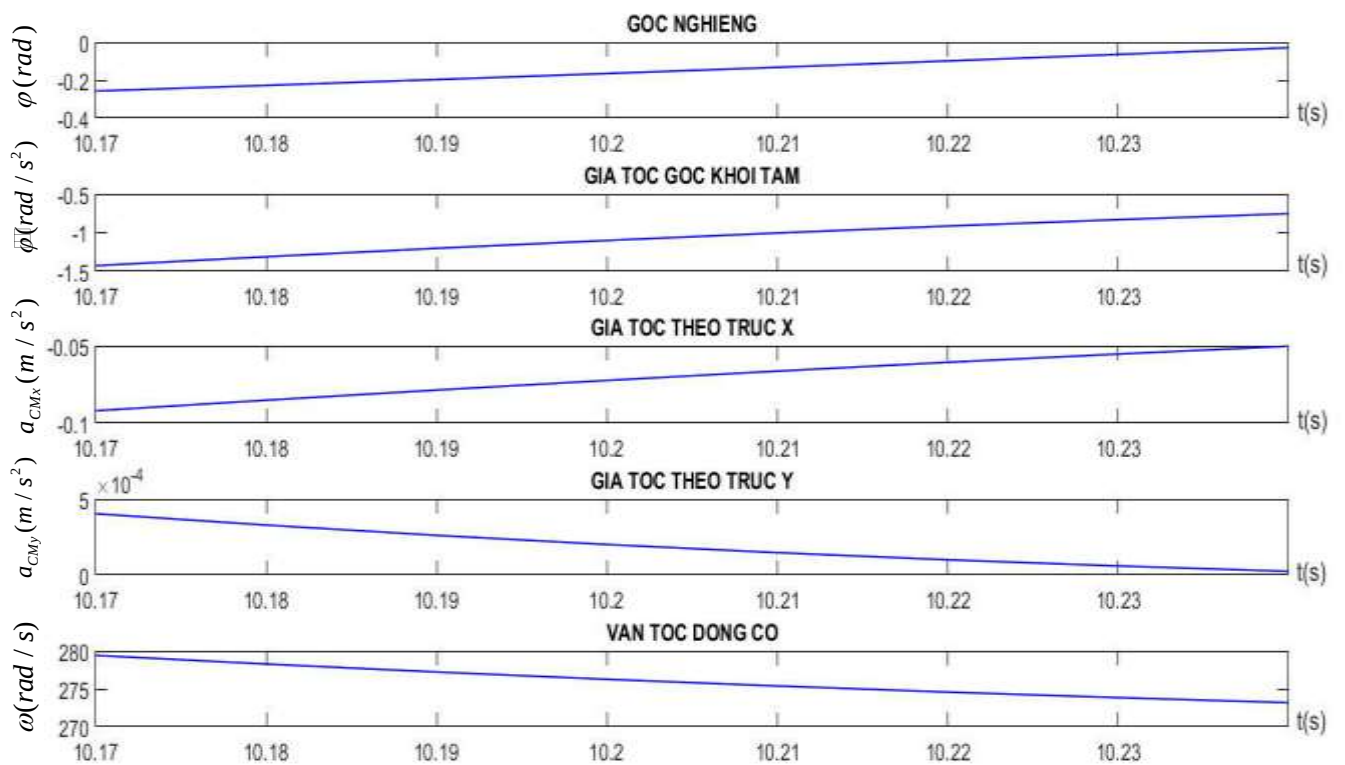
Hình 2.27: Kết quả mô phỏng bước 2 quá trình leo xuống



Hình 2.28: Kết quả mô phỏng bước 3 quá trình leo xuống



Hình 2.29: Kết quả mô phỏng bước 4 quá trình leo xuống



Hình 2.30: Kết quả mô phỏng bước 5 quá trình leo xuống

Nhận xét: Thông qua kết quả mô phỏng, luận án có nhận xét sau:

- Chương trình mô phỏng được dựa trên hệ phương trình động lực học quá trình leo cầu thang của robot (leo lên, leo xuống). Kết quả mô phỏng đã cho thấy tính chính xác của hệ phương trình động lực học này.

- Kết quả mô phỏng cũng cho thấy hệ thống điều khiển chuyển động được xây dựng để tạo mô men quay hai bánh xích robot hoàn toàn đáp ứng được quá trình leo cầu thang cho robot.

Kết luận chương 2:

Từ kết quả thu được trong chương 2, luận án có rút ra một số kết luận sau:

1. Đã xây dựng mô hình, thiết lập được các phương trình động lực học cho robot trong quá trình leo cầu thang với giả thiết chưa xét tới hiện tượng va đập dẫn tới lật;

2. Đã xây dựng bộ điều khiển chuyển động cho robot với hệ truyền động cho hai bánh xích sử dụng động cơ BLDC với phương pháp điều khiển vận tốc (tăng, giảm tốc) kèm theo driver điều khiển chuyển động cho động cơ BLDC truyền động;

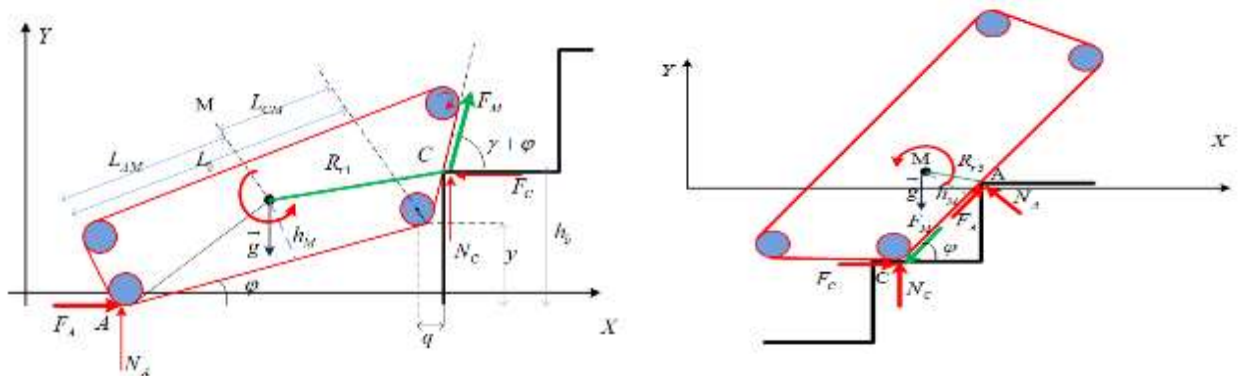
3. Đã mô phỏng chuyển động của robot lên xuống bậc cầu thang, kết quả mô phỏng của hệ phương trình động lực học, đã chứng minh khả năng điều khiển của bộ điều khiển chuyển động robot với động cơ BLDC có công suất được lựa chọn, đồng thời chứng minh tính chính xác của hệ phương trình động lực học đã được xây dựng.

CHƯƠNG 3

**ĐỘNG LỰC HỌC KHI XẢY RA HIỆN TƯỢNG LẬT VÀ GIẢI PHÁP
ĐIỀU KHIỂN ĐỂ CHỐNG LẠI HIỆN TƯỢNG LẬT KHI ROBOT LEO
CẦU THANG**

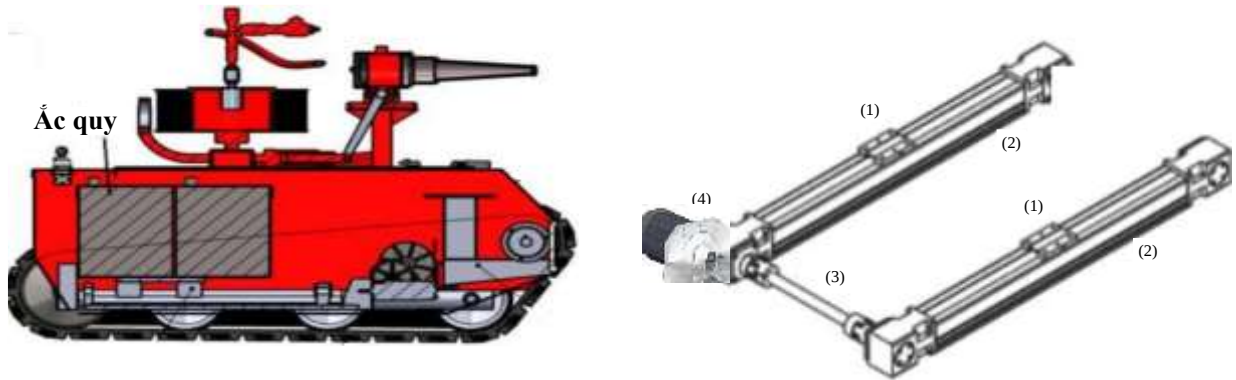
Như đã phân tích trong phần động lực học robot leo cầu thang, hiện tượng lật của robot có khả năng xuất hiện tại đầu giai đoạn leo lên cầu thang và đầu giai đoạn leo xuống cầu thang (trong quá trình đẩy xích robot tiếp xúc với mũi bậc cầu thang đầu khi leo lên và khi điểm đầu mũi bánh tiếp xúc với bậc đầu tiên khi leo xuống), hiện tượng lật này xuất hiện do quán tính quay của tâm (hình 3.1-a, hình 3.1-b) và phản lực tại điểm A gây nên, khi đó robot có hiện tượng xoay quanh điểm C (điểm C là tâm xoay của robot) thì robot sẽ không tiếp xúc với bậc cầu thang tại các điểm A nữa. Nếu góc $\beta \geq 90^\circ$ thì robot sẽ bị lật úp.

Để khắc phục hiện tượng này, luận án đưa ra phương án thay đổi trọng tâm của cụm xe Robot (bao gồm xe Robot và cụm Acquy), phương án này được thực hiện bằng cách gắn hệ thống ắc quy lên một bàn trượt được trượt bởi hệ thống bi và dây đai răng như sau (hình 3.1): Bộ ắc quy có khối lượng m_Q được gắn trên mặt của hai bàn trượt bi; khi động cơ quay (4), trục chuyển động (3) quay dẫn đến bánh răng gắn trên trục chuyển động quay, bánh răng tác động lên đai răng (2) tạo chuyển động cho đai răng; từ đó di chuyển bàn trượt (1) có gắn ắc quy ở trên. Do vậy, thông qua điều khiển động cơ, sinh ra một lực F sẽ di chuyển vị trí khối tâm ắc quy theo yêu cầu, làm thay đổi trọng tâm của cụm xe, chống lại hiện tượng lật được phân tích ở trên.



a) hiện tượng xoay quanh C khi robot leo lên cầu thang

b) *Hiện tượng xoay quanh C khi robot leo xuống cầu thang*



c) Đề xuất sử dụng vị trí ắc quy để thay đổi vị trí trọng tâm robot

Hình 3.1: Cấu tạo bộ phận thay đổi trọng tâm robot

(1) - bàn trượt bị tạo mặt phẳng gắn ắc quy; (2) - dây đai răng; (3) trục chuyển động; (4) động cơ truyền động để di chuyển vị trí ắc quy

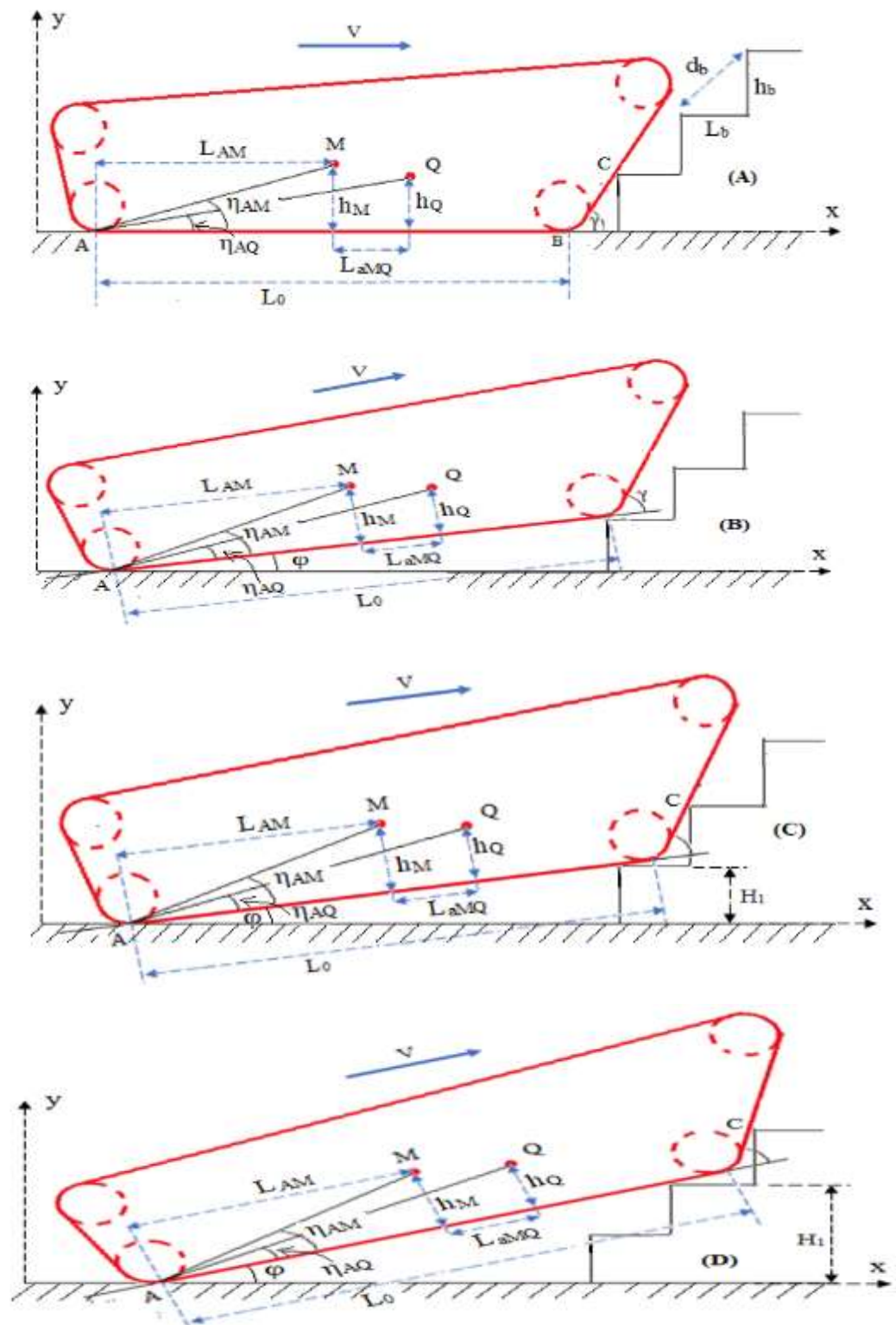
Chương 3 luận án thực hiện các nội dung sau:

- Xây dựng phương trình động lực học xét tới hiện tượng lật của robot khi leo cầu thang;
- Xây dựng bộ điều khiển chuyển động của đối trọng (ắc quy) để chống lại (giảm) hiện tượng lật cho robot trong quá trình leo cầu thang;
- Khảo sát động lực học của mô hình dẫn đến khả năng có hiện tượng lật của robot, từ đó đưa ra các cặp giá trị hợp lý của các tham số nhằm đảm bảo robot leo cầu thang với vận tốc lớn nhất mà không bị lật.

3.1. Xây dựng phương trình động lực học xét tới quá trình động lực học dẫn tới hiện tượng lật của robot

3.1.1. Quá trình động lực học dẫn tới lật khi leo lên cầu thang

Quá trình leo lên cầu thang sẽ xảy ra hiện tượng va chạm mặt xích phía trước và cạnh cầu thang. Xung lực va chạm sẽ tạo ra mô men quay với tâm là điểm A – điểm cuối mặt dưới xích tiếp đất. Gọi φ là góc tạo bởi mặt dưới xích và mặt phẳng nằm ngang (mặt đất). Nếu góc $\varphi > 90^\circ$ thì sẽ hiện tượng xe bị lật.



Hình 3.2: Phân tích quá trình lật khi leo lên

Để thuận tiện cho việc xây dựng mô hình động lực học, chúng ta tách khối tâm của robot thành hai hệ toạ độ (hai đối tượng) và sẽ dùng thuật ngữ:

- Xe robot (hệ toạ độ suy rộng 1): Để chỉ xe robot không bao gồm cụm Ac quy có khối lượng m_R (kg), vị trí khối tâm tại điểm M, vị trí này không đổi;

- Cụm ắc quy di động (hệ toạ độ suy rộng 2): Để chỉ cụm ắc quy có khả năng di chuyển, có khối lượng m_Q (kg), vị trí khối tâm tại điểm Q, vị trí này thay đổi dọc theo mặt phẳng song song với mặt đáy xích

- Ngoài ra cụm xe robot: để chỉ xe robot có bao gồm cụm Ac quy có khối lượng tổng là m_C (kg), vị trí khối tâm này thay đổi do điểm Q thay đổi.

- Gọi d_b là khoảng cách nghiêng giữa hai bậc cầu thang, khi đó N - là số lần va chạm giữa mặt xích phía trước và cạnh cầu thang bằng phần nguyên của tỷ số $\frac{L_0}{d_b}$, tức là:

$$N = \left[\frac{L_0}{d_b} \right] \quad (3.1)$$

a) Xét quá trình va chạm tại bậc thứ nhất

- Quá trình va chạm tại bậc thứ nhất được mô tả trên hình 3.2 (A). Giả sử va chạm giữa mặt xích phía trước và cạnh cầu thang thứ nhất tại điểm C, khi đó:

$$\overrightarrow{AC} = (L_0 + h_b \cot(\gamma), h_b) \quad (3.2)$$

- Giả thiết rằng trước khi va chạm, cụm Ac quy có cùng vận tốc với xe robot:

$$\vec{V} = (V, 0) \quad (3.4)$$

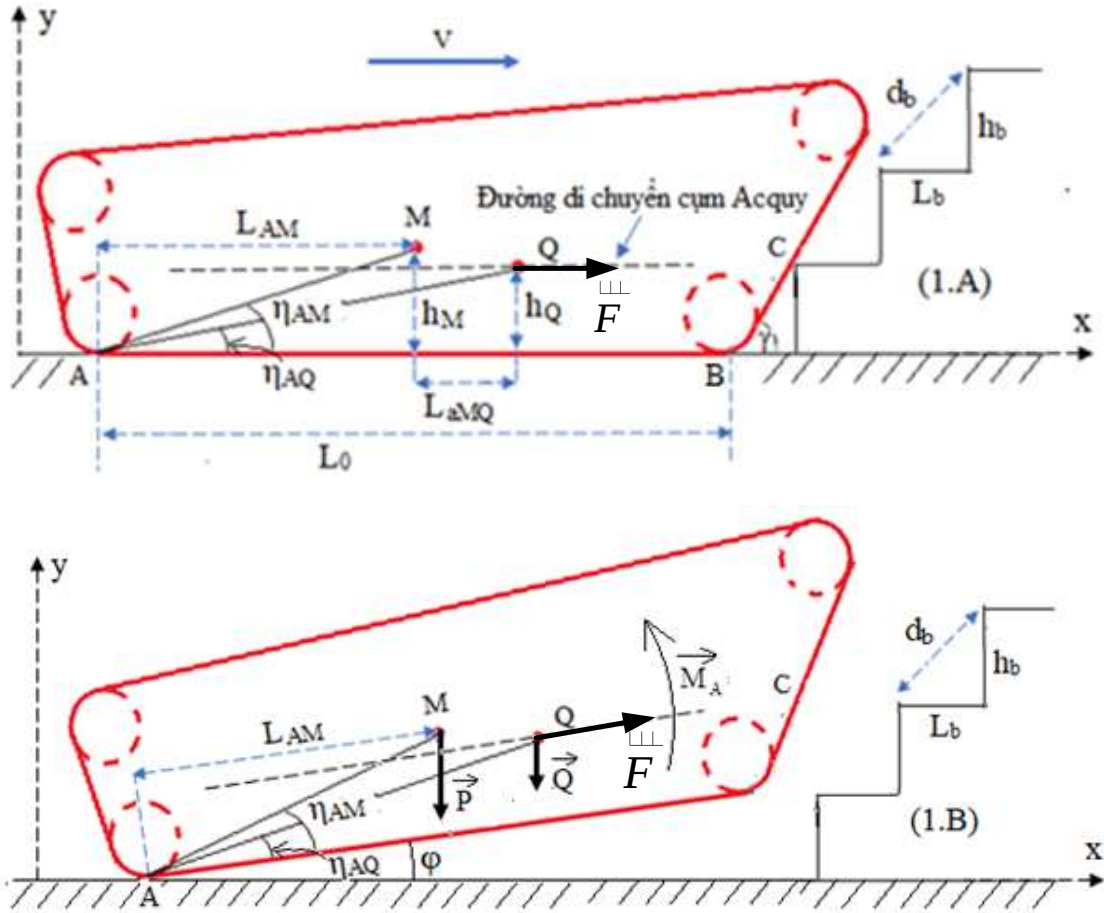
Theo định lý động lượng [2] thì biến thiên động lượng của cơ hệ trong va chạm bằng tổng xung lượng các lực va chạm ngoài, tức là:

$$m_c \vec{u}_c - m_c \vec{v}_c = \sum \vec{S}_k^e \quad (3.5)$$

trong đó m_c là toàn bộ khối lượng cơ hệ, $\vec{u}_c$ và $\vec{v}_c$ là vận tốc khối tâm của cơ hệ sau và trước khi va chạm.

Với hệ số phục hồi vận tốc khi va chạm là k , tức là $\frac{|\vec{u}_c|}{|\vec{v}_c|} = k$, và $\vec{u}_c$ ngược hướng với $\vec{v}_c$ dẫn đến $\vec{u}_c = -k \cdot \vec{v}_c$. Do vậy $-m_c(1 + k)\vec{v}_c = \sum \vec{S}_k^e$, mà $\vec{v}_c = \vec{V}$ dẫn đến với thời gian va chạm là τ_0 , sẽ có được xung lực va chạm là:

$$\vec{N} = \frac{\sum \vec{S}_k^e}{\tau_0} = -\frac{m_c(1+k)}{\tau_0} \cdot \vec{V} = \left(-\frac{m_c(1+k)}{\tau_0} V, 0 \right) \quad (3.5)$$



Hình 3.3: Mô tả sự va chạm của xe và bậc cầu thang tại các bậc thứ 1

- Đặt $L_{AMQ} = x_Q$ là khoảng cách từ điểm M tới điểm Q, giá trị biến đổi do sự dịch chuyển vị trí của áp quy.

- Xét t_1 là thời điểm va chạm, thời gian va chạm là τ_0 thì hệ phương trình động lực là

+) **Khi xảy ra qua chạm** ($t_1 \leq t < t_1 + \tau_0$)

Trong khoảng thời gian này ($t_1 \leq t < t_1 + \tau_0$) xung lực $\vec{N}$ tại C tạo lên mô men quay $\vec{M}_{AC}$ với tâm quay tại A sẽ là:

$$\vec{M}_{AN} = \vec{AC} \wedge \vec{N} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ L_0 + h_b \cot(\gamma) & h_b & 0 \\ -\frac{m_c(1+k)}{\tau_0} V & 0 & 0 \end{vmatrix} = \frac{m_c(1+k) \cdot h_b}{\tau_0} V \cdot \vec{k} \quad (3.6)$$

Đồng thời các mô men do trọng lượng xe robot và trọng lượng cụm Ac quy cũng xuất hiện:

$$\overrightarrow{M_{AM}} = \overrightarrow{AM} \wedge \vec{P}, \overrightarrow{M_{AQ}} = \overrightarrow{AQ} \wedge \vec{Q} \quad (3.7)$$

Trong đó:

$$\overrightarrow{AM} = d_{AM} \cdot (\cos(\eta_{AM} + \varphi), \sin(\eta_{AM} + \varphi)); \quad (3.8)$$

$$\overrightarrow{AM} = d_{AM} \cdot (\cos(\eta_{AM} + \varphi), \sin(\eta_{AM} + \varphi));$$

$$\overrightarrow{AM} = d_{AM} \cdot (\cos(\eta_{AM} + \varphi), \sin(\eta_{AM} + \varphi));$$

$$\vec{P} = (0, -m_R g); \vec{Q} = (0, -m_Q g)$$

$$\text{với } \eta_{AM} = \arcsin\left(\frac{h_M}{d_{AM}}\right); \eta_{AQ} = \arctg\left(\frac{h_Q}{L_{AM} + L_{MQ}}\right);$$

$$AQ = \frac{h_Q}{\sin(\eta_{AQ})} = \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \quad (3.9)$$

Dẫn đến:

$$\overrightarrow{M_{AM}} = -m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \cdot \overrightarrow{k} ; \quad (3.10)$$

$$\overrightarrow{M_{AQ}} = -m_Q g \cdot \frac{h_Q}{\sin(\eta_{AQ})} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) \cdot \overrightarrow{k}$$

Chú ý rằng, L_{AM} là giá trị cho trước xác định từ thiết kế cơ khí của robot, lúc này cụm Ac quy chưa di chuyển nên khoảng cách L_{MQ} giữ giá trị không đổi nào đó (giả thiết trùng với điểm M, nên tại thời điểm ban đầu này $L_{MQ} = 0$).

Nếu chọn hướng dương góc φ – là góc được tạo bởi mặt dưới xích xe robot với mặt phẳng ngang - theo chiều ngược kim đồng hồ thì:

- **Với hệ tọa độ suy rộng 1.** Phương trình vi phân biểu diễn sự biến thiên của góc φ trong thời gian va chạm τ_0 :

$$J_A \ddot{\varphi} = \frac{m_c(1+k) \cdot h_b}{\tau_0} V - m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) - m_Q g \cdot AQ \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) \quad (3.11)$$

$$\Leftrightarrow J_A \ddot{\varphi} = \frac{m_c(1+k) \cdot h_b}{\tau_0} V - m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) - m_Q g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) \quad (3.12)$$

với điều kiện đầu:

$$\varphi(0) = 0 ; \dot{\varphi}(0) = 0 \quad (3.13)$$

trong đó J_A – là mô men quán tính của cụm xe Robot đối với A

$$\begin{aligned} J_A &= J_{MR} + d_{AM}^2 \cdot m_R + (AQ)^2 \cdot m_Q \\ \Leftrightarrow J_A &= J_{MR} + d_{AM}^2 \cdot m_R \cdot ((L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2) \cdot m_Q \end{aligned} \quad (3.14)$$

Với $L_{MQ} = x_Q$.

+) Khi kết thúc xảy ra va chạm ($t \geq t_1 + \tau_0$), robot có hiện tượng lật do xung lực gây ra mô men quay thì

Mô men $\overrightarrow{M_{AN}}$ không còn nữa, khi đó phương trình vi phân biểu diễn sự biến thiên của góc φ sau thời gian τ_0 sẽ là:

- Với hệ tọa độ suy rộng 1

$$\begin{aligned} J_A \ddot{\varphi} &= -m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) - m_Q g \cdot AQ \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) \\ \Leftrightarrow J_A \ddot{\varphi} &= -m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \\ &\quad - m_Q g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) \end{aligned} \quad (3.15)$$

với $AQ = \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2}$

với điều kiện đầu:

$$\varphi(0) = \varphi_{\tau_0} ; \dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}_{\tau_0} \quad (3.16)$$

$\varphi_{\tau_0}, \dot{\varphi}_{\tau_0}$ là các giá trị có được từ (3.12), (3.13) với $t = \tau_0$. Chú ý rằng: nếu từ thời điểm τ_0 , cụm Ac quy bắt đầu di chuyển thì giá trị L_{MQ} và J_A thay đổi theo t (do góc η_{AQ} thay đổi).

- Với hệ tọa độ suy rộng 2 (lúc này bắt đầu hoạt động). Phương trình vi phân biểu diễn sự biến thiên của vị trí áp quy so với vị trí trọng tâm x_Q được tính như sau:

$$m_Q \ddot{x}_Q = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot AQ \quad (3.17)$$

Trong đó: $F = F(t)$ là đại diện lực sinh ra do động cơ tác động để di chuyển áp quy (lực này đã được quy đổi qua tỷ số chuyển của hệ chuyển động bàn trượt-dây đai).

Do $AQ = \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2}$, thay vào (3.17) ta có

$$m_Q \ddot{x}_Q = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \quad (3.18)$$

Vậy hệ phương trình động lực học của hệ thống gồm hai hệ toạ độ suy rộng 1 và hệ toạ độ suy rộng 2 được viết như sau:

$$\begin{cases} J_A \ddot{\varphi} = -m_R \cdot g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \\ -m_Q \cdot g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) + M_A \\ m_Q \ddot{x} = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.19)$$

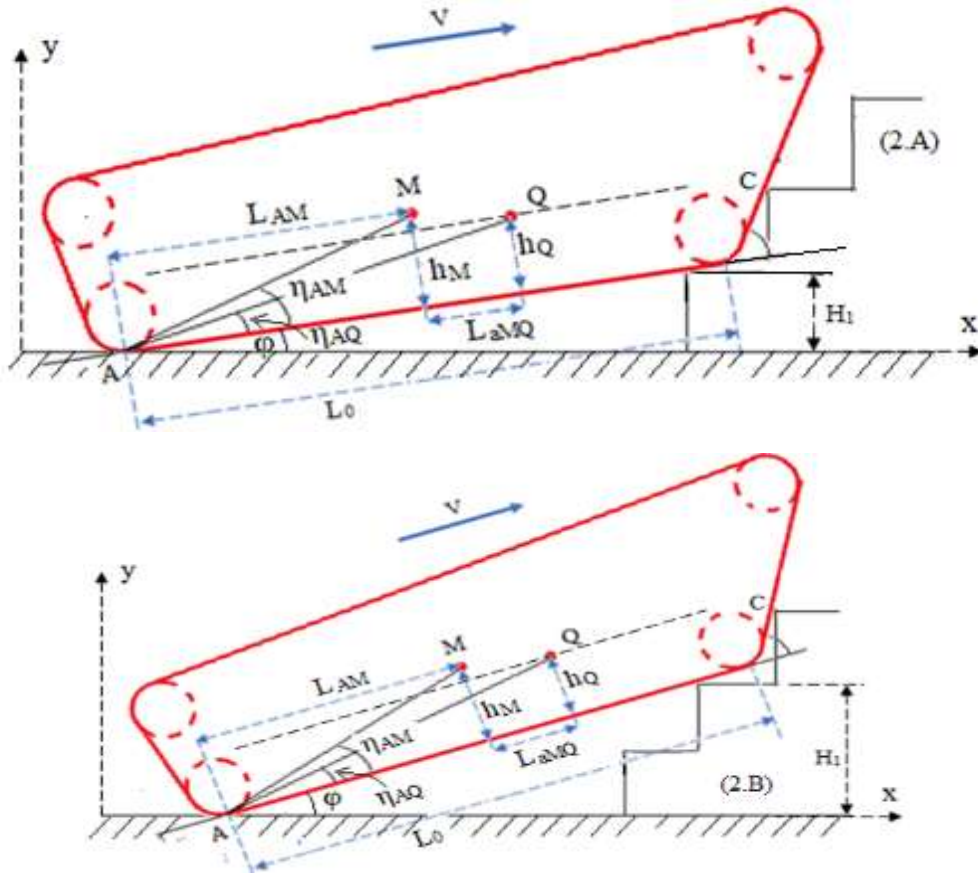
Với M_A là mô men do xung lực tác động khi va chạm gây ra có giá trị

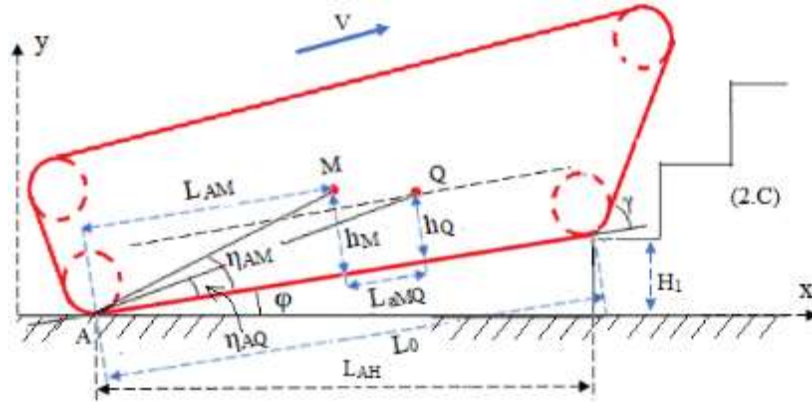
$$M_A = \frac{m_c(1+k) \cdot h_b}{\tau_0} V \text{ khi } t_1 \leq t < t_1 + \tau_0 \quad (3.20)$$

$$M_A = 0 \text{ khi } t \geq t_1 + \tau_0 \quad (3.21)$$

b) Xét quá trình va chạm tại bậc thứ hai trở đi

Quá trình va chạm tại các bậc thứ 2 trở đi được mô tả trên hình 3.4. Nếu va chạm tại bậc thứ k thì ta có $H_1 = (k-1) \cdot H_b$. Để tính xung lực va chạm cũng như tọa độ điểm va chạm, ta cần biểu diễn sự chuyển động của xe trước khi va chạm.





Hình 3.4: Mô tả sự va chạm của xe và bậc cầu thang tại các bậc thứ 2 trở đi

- Xét t_2 là thời điểm va chạm, thời gian va chạm là τ_0 , xe ở trạng thái như ở hình 2.C, góc φ phi đó có giá trị φ_0 , thì hệ phương trình động lực là

+) **Khi xảy ra qua chạm** ($t_2 \leq t < t_2 + \tau_0$), với hệ tọa độ suy rộng 1

$$\varphi_0 = \arcsin\left(\frac{H_1}{L_0}\right); \text{ đặt } L_{AH} = \sqrt{L_0^2 - H_1^2} \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{L_{AH}}{L_0} \quad (3.22)$$

Điểm A di chuyển cùng với vận tốc V của xe, giả sử tại thời điểm t xe va chạm với bậc cầu thang (hình 3.4)

$$(L_{AH} - V \cdot t) \tan(\varphi) - H_1 = 0 \quad (3.23)$$

Gọi $h = H_1 + h_b$ là cao độ điểm va chạm C, dẫn đến:

$$(L_{AH} + L_b - L_0 \cos \varphi - V \cdot t) \tan(\varphi) + L_0 \sin \varphi - h = 0 \quad (3.24)$$

Giải hệ hai phương trình (3.23) và (3.24) tìm được giá trị T_c và φ_c là thời điểm t và giá trị góc φ lúc bắt đầu va chạm. Với C là điểm va chạm, có được véc tơ $\overrightarrow{AC}$ sẽ là:

$$\overrightarrow{AC} = (L_{AH} + L_b - V \cdot T_c; h) \quad (3.25)$$

Đạo hàm hai vế (3.24), dẫn đến:

$$\dot{\varphi}_c = \dot{\varphi}(T_c) = \frac{V \tan(\varphi_c)}{(L_{AH} - V \cdot T_c)} (1 + \tan^2(\varphi_c)) \quad (3.26)$$

Giả sử các điểm M, Q có tọa độ: $M(X_M, Y_M)$, $Q(X_Q, Y_Q)$, ta có:

$$X_M = d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi); \quad Y_M = d_{AM} \cdot \sin(\eta_{AM} + \varphi) \quad (3.27)$$

$$X_Q = d_{AQ} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi); \quad Y_Q = d_{AQ} \cdot \sin(\eta_{AQ} + \varphi)$$

Dẫn đến tọa độ trọng tâm G của cụm xe robot sẽ là:

$$X_G = \frac{m_R X_M + m_Q X_Q}{m_c}, Y_G = \frac{m_R Y_M + m_Q Y_Q}{m_c} \quad (3.28)$$

Đặt

$$a = [m_R d_{AM} \sin(\eta_{AM} + \varphi_c) + m_Q d_{AQ} \sin(\eta_{AQ} + \varphi_c)] \cdot \dot{\varphi}_c; \quad (3.29)$$

$$b = [-m_R d_{AM} \cos(\eta_{AM} + \varphi_c) - m_Q d_{AQ} \cos(\eta_{AQ} + \varphi_c)] \dot{\varphi}_c$$

Khi đó véc tơ vận tốc tại G ở thời điểm va chạm sẽ là:

$$\vec{V}_G = \left(\frac{-a}{m_c}; \frac{-b}{m_c} \right) \quad (3.30)$$

Áp dụng (3.4) với hệ số phục hồi vận tốc khi va chạm k có được xung lực va chạm $\vec{N}$ sẽ là:

$$\vec{N} = \frac{\Sigma \vec{S}_k^e}{\tau_0} = -\frac{m_c(1+k)}{\tau_0} \cdot \vec{V}_G \quad (3.31)$$

Có được

$$\vec{N} = \frac{(1+k)}{\tau_0} (a; b) \quad (3.32)$$

Do đó, mô men đối với điểm A của xung lực va chạm sẽ là:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{M_{AN}} = \overrightarrow{AC} \wedge \vec{N} &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ L_{AH} + L_b - V \cdot T_c & h & 0 \\ \frac{a(1+k)}{\tau_0} & \frac{b(1+k)}{\tau_0} & 0 \end{vmatrix} \\ &= \frac{(1+k)}{\tau_0} [(L_{AH} + L_b - V \cdot T_c)b - ah] \cdot \vec{k} \end{aligned} \quad (3.33)$$

Sử dụng (3.9) và (3.10) có được phương trình vi phân biểu diễn sự biến thiên của góc φ trong thời gian va chạm τ_0 :

$$J_A \ddot{\varphi} = \frac{(1+k)}{\tau_0} [(L_{AH} + L_b - V \cdot T_c)b - ah] - m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \quad (3.34)$$

$$-m_Q g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi)$$

với điều kiện đầu:

$$\varphi(0) = \varphi_c; \dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}_c \quad (3.35)$$

và J_A được tính theo (3.14).

+) **Khi kết thúc xảy ra va chạm** ($t \geq t_2 + \tau_0$), với hệ tọa độ suy rộng 1:

Robot có hiện tượng lật do xung lực gây ra mô men quay, mô men $\overline{M_{AN}}$ không còn nữa, khi đó phương trình vi phân biểu diễn sự biến thiên của góc φ sau thời gian τ_0 sẽ là:

$$\begin{aligned} J_A \ddot{\varphi} = & -m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \\ & -m_Q g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) \end{aligned} \quad (3.36)$$

với điều kiện đầu:

$$\varphi(0) = \varphi_{\tau_0}; \dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}_{\tau_0} \quad (3.37)$$

$\varphi_{\tau_0}, \dot{\varphi}_{\tau_0}$ là các giá trị có được từ (3.36), (3.37) với $t = \tau_0$. Chú ý rằng: nếu từ thời điểm τ_0 , cụm Ac quy bắt đầu di chuyển thì giá trị L_{aMQ} và J_A thay đổi theo t (do góc η_{AQ} thay đổi).

Từ các phương trình (3.17), (3.34), (3.36). Hệ phương trình động lực học của hệ thống trong trường hợp leo từ bậc thứ 2 gồm hai hệ tọa độ suy rộng 1 và hệ tọa độ suy rộng 2 được viết như sau:

$$\begin{cases} J_A \ddot{\varphi} = -m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \\ -m_Q g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) + M_A \\ m_Q \ddot{x}_Q = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.38)$$

Với N_A là mô men do xung lực tác động khi va trạm gây ra có giá trị:

$$\begin{cases} M_A = \frac{(1+k)}{\tau_0} [(L_{AH} + L_b - V \cdot T_c) b - ah] & \text{ khi } t_2 \leq t \leq t_2 + \tau_0 \\ M_A = 0 & \text{ khi } t > t_2 + \tau_0 \end{cases} \quad (3.39)$$

Giải các phương trình (3.38), (3.39) cho ta giá trị góc φ trong các khoảng thời gian τ_0 và sau τ_0 . Nếu $\varphi > 90^\circ$ thì cụm xe sẽ bị lật.

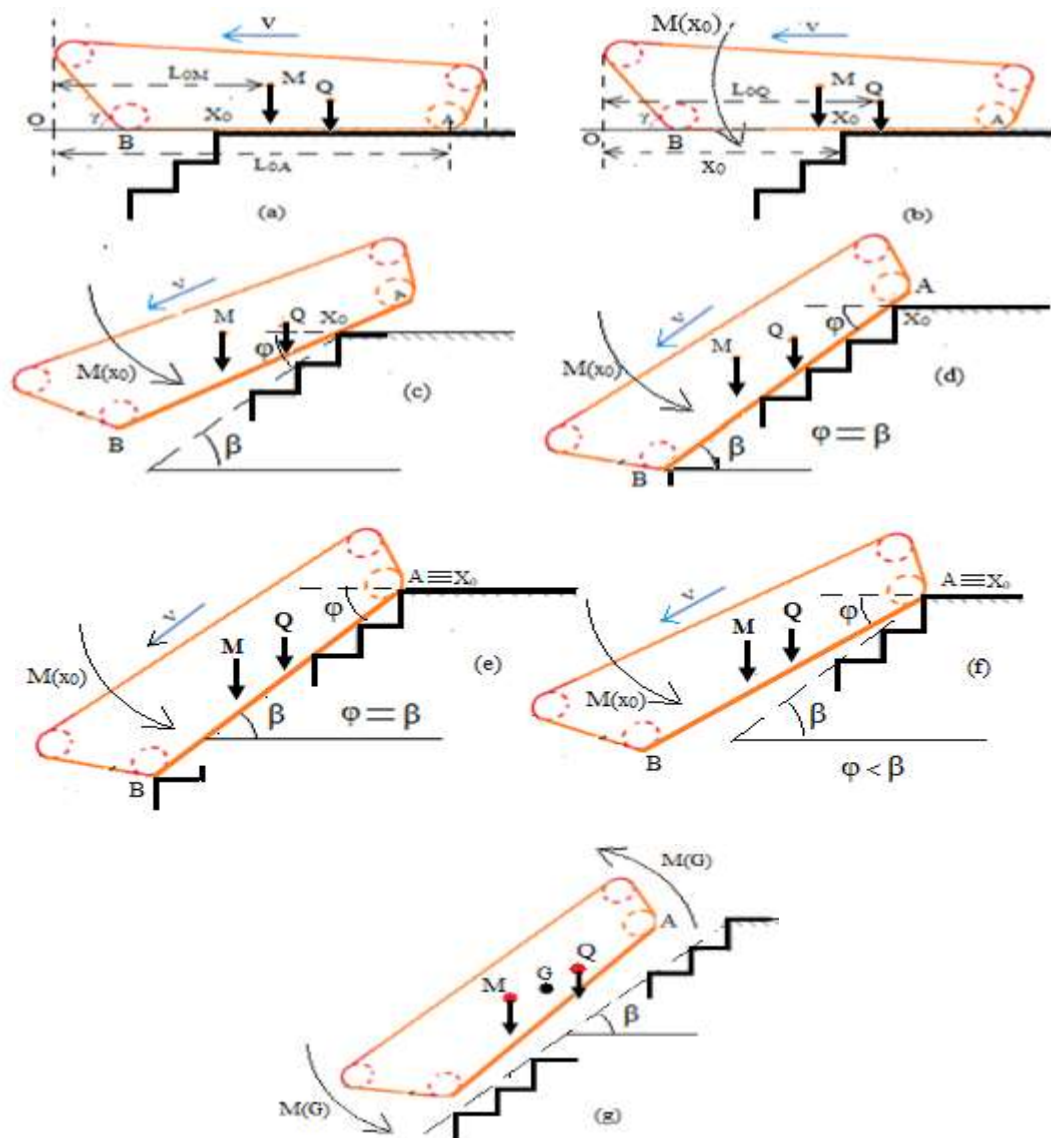
3.1.2. Quá trình động lực học dẫn tới lật khi leo xuống cầu thang

Để nghiên cứu hiện tượng xe bị lật trong quá trình leo xuống cầu thang, ta xem xét các hiện tượng sẽ xảy ra của xe robot trong quá trình leo xuống này.

Đầu tiên, xe chạy với vận tốc V trên mặt phẳng ngang tiến tới mép bậc đầu tiên (từ trên xuống) của cầu thang, (Hình 3.5-a). Gọi điểm tại mép bậc cầu thang đầu tiên trên cùng cầu thang là X_0 , khoảng cách ngang OX_0 là x_0 . Xe di chuyển đến khi hình chiếu G (G là trọng tâm của cụm xe) xuống mặt phẳng ngang trùng với X_0 thì

bắt đầu xuất hiện mô men quay $M(X_0)$ với tâm quay X_0 , (Hình 3.5-b). Lúc này, xích xe vẫn tiếp tục di chuyển cùng với xe quay quanh X_0 , (Hình 3.5-c) và góc φ (tạo bởi mặt dưới xích xe và mặt phẳng ngang) sẽ tăng đến khi $\varphi = \beta$ (như ở hình 3.5-d hoặc hình 3.5-e). Lúc này có thể khoảng cách $x_0 < OA$ (Hình 3.5-d) hoặc $x_0 = OA$ (Hình 3.5-e). Cả hai trường hợp này, mặt dưới xích xe sẽ tiếp xúc với mặt bậc thang, xe không có hiện tượng bay, (Hình 3.g)

Nếu khi $X_0 \equiv A$ mà góc $\varphi < \beta$ (Hình 3.f) thì xe chuyển động có dạng bay (Hình 3.g). Ta sẽ tính toán để hạn chế tốc độ V của xe để không có hiện tượng xe bay xảy ra.



Hình 3.5: Mô tả quá trình leo xuống cầu thang của cụm xe robot tại các thời điểm và các trường hợp khác nhau

a) Giai đoạn đầu tiên khi leo xuống

- **Xét hệ tọa độ suy rộng 1** (góc nghiêng φ). Gọi X_0 là điểm trên mặt xích dưới tiếp xúc với mép bậc cầu thang trên cùng mà X_0 là tâm quay đầu tiên khi xe leo xuống. Khoảng cách OX_0 là x_0 sẽ được tính theo công thức:

$$x_0 = \frac{L_{OM}.m_R + L_{OQ}.m_A}{m_C} \quad (3.40)$$

Gọi thời điểm $t=0$ khi xe tiến đến vị trí X_0 trùng với mép bậc cầu thang trên cùng, lúc này bắt đầu xuất hiện một mô men quay với tâm quay là X_0 , đồng thời cho cụm Ac quy bắt đầu chuyển động (Hình 3.5-b)

$$L_{OQ} = L_{OQ}(t) \quad (3.41)$$

Giả sử xe robot có khối lượng riêng theo thiết diện ngang tại u (vuông góc với mặt phẳng xích dưới kể từ điểm O) là $q(u)$ (kg/m). Tại thời điểm t mặt xích dưới quay được một góc φ (Hình 3.5-c). Mô men quay khi đó có giá trị:

$$\begin{aligned} M_{X_0}(\varphi) &= \quad (3.42) \\ g \cdot \cos \varphi &\left\{ \int_0^{x_0+Vt} (x_0 + V - u)q(u)du - \int_{x_0+Vt}^L (u - x_0 - V)q(u)du \right\} \\ &- [L_{OQ}(t) - (x_0 + V)]m_Q \\ &= g \cdot \cos \varphi \{ (x_0 + V) \cdot m_C - L_{OM}m_R - L_{OQ}(t) \cdot m_Q \} \end{aligned}$$

với V là vận tốc của xe robot

Phương trình động lực học của cụm xe robot sẽ là:

$$J_{X_0}\ddot{\varphi} = g \cdot \cos \varphi \{ (x_0 + V) \cdot (m_R + m_Q) - L_{OM}m_R - L_{OQ}(t) \cdot m_Q \} \quad (3.43)$$

với điều kiện đầu

$$\varphi(0) = 0; \dot{\varphi}(0) = 0 \quad (3.44)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} J_{X_0} &= J_{MR} + [h_M^2 + (x_0 + V - L_{OM})^2] \cdot m_R \\ &+ [h_Q^2 + (x_0 + Vt - L_{OQ}(t))^2] \cdot m_Q \end{aligned} \quad (3.45)$$

Từ (3.40) tính được x_0 , suy ra

$$t_1 = \frac{L_{OA} - x_0}{V} \quad (3.46)$$

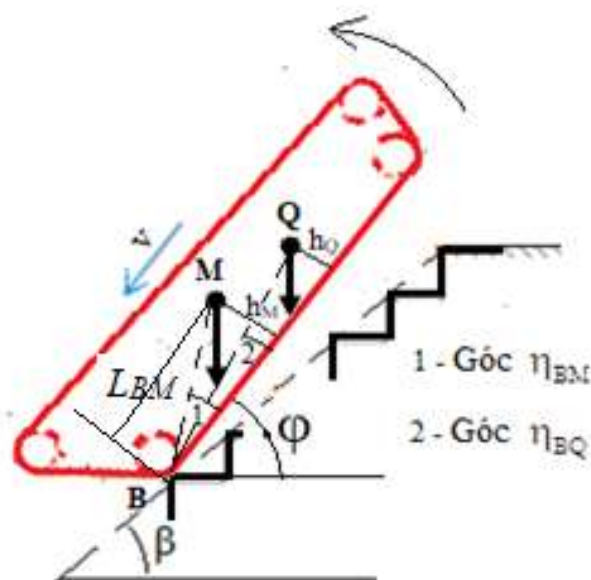
là khoảng thời gian để tới điểm tâm quay cuối cùng là A.

Giải (3.43), (3.44) bằng số, tính được giá trị góc φ tại thời điểm t_1 là $\varphi_1 = \varphi(t_1)$. Từ đó tìm được giá trị tối đa của V để $\varphi_1 = \beta$.

Xét trường hợp $V \leq V_{\max}$, tại thời điểm $\varphi = \beta$ thì xe robot sẽ được mô tả như trong hình 3.5-d hoặc hình 3.5-e. Đến đây ta có kết thúc giai đoạn 1 của quá trình leo xuống cầu thang. Tại thời điểm này, nhờ (3.43) và (3.44) ta tính được trị φ và $\dot{\varphi}$ ở cuối giai đoạn 1, được ký hiệu là φ_{c1} và $\dot{\varphi}_{c1}$

b) Giai đoạn thứ 2 khi leo xuống

Như phân tích ở phần trên, trong quá trình đầu tiên khi leo xuống, xe vừa di chuyển vừa quay quanh điểm tiếp xúc của xe và mép bậc thang trên cùng (điểm X_0), khi góc $\varphi = \beta$ là lúc cả mặt xích dưới tiếp xúc mặt phẳng các mép bậc thang (Hình 3.5-d, Hình 3.5-e), lúc này do quán tính quay nên cụm xe robot tiếp tục quay với tâm quay là điểm B - điểm đầu xe (trên mặt xích dưới) tiếp xúc với mặt đất, đồng thời trọng lượng của xe robot và Ac quy cũng sẽ tạo ra một mô men quay với tâm quay B.



Hình 3.6: Mô tả xe Robot ở giai đoạn 2 khi leo xuống cầu thang

- Xét hệ tọa độ suy rộng 1 (góc nghiêng φ). Chú ý rằng, giá trị đầu của góc φ và $\dot{\varphi}$ của giai đoạn 2 sẽ là giá trị cuối của giai đoạn 1.

Có được phương trình vi phân biểu diễn chuyển động quay của cụm xe robot:

$$J_B \ddot{\varphi} = -g \cdot m_R \cdot d_{BM} \cos(\eta_{BM} + \varphi) - g \cdot m_Q \cdot d_{BQ} \cos(\eta_{BQ} + \varphi) \quad (3.47)$$

với điều kiện đầu

$$\varphi(0) = \varphi_{c1}; \dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}_{c1} \quad (3.48)$$

trong đó:

$$J_B = J_{MR} + d_{BM}^2 \cdot m_R + d_{BQ}^2 \cdot m_Q \quad (3.49)$$

Nếu tại $t = 0$ cụm acquy bắt đầu chuyển động (luôn có $h_Q = \text{const}$) và tại $t = 0$ cho giá trị đầu: $d_{BQ} = d_{BQ}^0 = L_{BM}$ (vì ban đầu M và Q trùng nhau) thì góc ban đầu

$$\eta_{BQ} = \eta_{BQ}^0 = \arcsin\left(\frac{h_Q}{L_{BM}}\right) \quad (3.50)$$

Giả sử cụm Acquy di chuyển trên đường thẳng song song mặt xích dưới theo quy luật $L_{MQ} = x_Q = x_Q(t)$ (L_{MQ} là khoảng cách giữa trọng tâm M và áp quy Q), khi đó có được:

$$d_{BQ} = \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \quad \text{và} \quad \eta_{BQ} = \arcsin\left(\frac{h_Q}{d_{BQ}}\right) = \arcsin\left(\frac{h_Q}{\sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2}}\right) \quad (3.51)$$

Từ đó phương trình vi phân biểu diễn chuyển động quay (có khả năng gây ra hiện tượng lật) là:

$$J_B \ddot{\varphi} = -g \cdot m_R \cdot d_{BM} \cos(\eta_{BM} + \varphi) - g \cdot m_Q \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{BQ} + \varphi) \quad (3.52)$$

Do vậy, nếu không chế được vận tốc xe robot theo điều kiện ($V \leq V_{\max}$) để đảm bảo không có hiện tượng bay, thì hệ phương trình động lực học của hệ thống trong trường hợp đi xuống dốc ảnh hưởng tới hiện tượng lật của robot được viết lại với hệ tọa độ suy rộng 2 được kế thừa từ phương trình (3.17) (*chuyển động của ác quy có bản chất là như nhau trong khi lên và khi xuống*) như sau:

$$\begin{cases} J_B \ddot{\varphi} = -g \cdot m_R \cdot d_{BM} \cos(\eta_{BM} + \varphi) \\ \quad -m_Q \cdot g \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{BQ} + \varphi) \\ m_Q \ddot{x}_Q = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.53)$$

Kết luận: Vậy hệ phương trình động lực học xét tới động lực học dẫn đến khả năng bị lật của robot được thể hiện trên các công thức (3.38) và công thức (3.53) được viết lại như sau

- Trường hợp đi lên:

$$\begin{cases} J_A \ddot{\varphi} = -m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \\ \quad -m_Q g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) + M_A \\ m_Q \ddot{x}_Q = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.19)$$

với J_A được thể hiện trong (3.13) và M_A là mô men do xung lực tác động khi va trạm gây ra có giá trị với bậc cầu thang thứ nhất là (3.20)

$$M_A = \frac{m_c(1+k) \cdot h_b}{\tau_0} V \text{ khi } t_1 \leq t < t_1 + \tau_0 \quad (3.20)$$

$$M_A = 0 \text{ khi } t \geq t_1 + \tau_0$$

và bậc cầu thang thứ hai chờ đi là (3.39)

$$\begin{cases} M_A = \frac{(1+k)}{\tau_0} [(L_{AH} + L_b - V \cdot T_c)b - ah] \text{ khi } t_2 \leq t \leq t_2 + \tau_0 \\ M_A = 0 \text{ khi } t > t_2 + \tau_0 \end{cases} \quad (3.39)$$

- Trường hợp đi xuống:

$$\begin{cases} J_B \ddot{\varphi} = -g \cdot m_R \cdot d_{BM} \cos(\eta_{BM} + \varphi) \\ \quad -m_Q \cdot g \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{BQ} + \varphi) \\ m_Q \ddot{x}_Q = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.53)$$

3.2. Xây dựng bộ điều khiển PID mờ điều khiển chuyển động hệ ác quy chống hiện tượng lật cho robot leo cầu thang

a) Phân tích lựa chọn bộ điều khiển

Để đảm bảo robot không bị lật khi xảy ra va chạm với mũi bậc cầu thang trong quá trình leo lên, là hiện tượng quán tính xảy ra nhanh dẫn tới lật khi robot leo xuống và đáp ứng khả năng chế tạo thực tế, hệ thống điều khiển vị trí ác quy cần phải đảm bảo các yếu tố sau:

- Có phản ứng nhanh để cho ra kết quả điều khiển sớm;
- Đảm bảo độ chính xác cần thiết;
- Có cấu trúc đảm bảo sự đơn giản để có thể áp dụng dễ dàng cho việc lập trình trên vi điều khiển, PLC công nghiệp được trang bị trong robot chữa cháy.

Hiện nay đã có rất nhiều bộ điều khiển đã được nghiên cứu như: Điều khiển PID, điều khiển PID mờ, điều khiển tối ưu (LQR, LQG), điều khiển thích nghi, điều khiển dự báo (MPC), điều khiển mạng nơ-ron nhân tạo. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID mờ có những ưu điểm sau:

- Khả năng xử lý nhanh do yếu tố đơn giản của thuật toán PID mờ, đảm bảo đáp ứng về thời gian (độ nhạy phản ứng theo thời gian thực tế) tốt hơn các bộ điều khiển khác;
- Độ chính xác đảm bảo do kết hợp giữa thuật toán PID và khả năng thích nghi cơ bản của điều khiển mờ mà không cần mô hình toán học chính xác của đối tượng như điều khiển tối ưu hay điều khiển dự báo. Điều này áp dụng phù hợp cho robot vì quá trình va đập với bậc cầu thang là quá trình ngẫu nhiên, mô men do xung lực gây ra phụ thuộc nhiều vào góc nghiêng cầu thang, vận tốc robot..., việc đo xung lực để lấy tín hiệu phản hồi điều khiển khó triển khai trong thực tế.
- Bộ điều khiển PID mờ có thuật toán đơn giản hơn các thuật toán điều khiển khác (điều khiển tối ưu, điều khiển thích nghi, điều khiển dự báo...). Do vậy không có yêu cầu cao về thiết bị phần cứng hệ điều khiển, được triển khai dễ dàng trên vi điều khiển, PLC

Từ những ưu điểm được phân tích ở trên, bộ điều khiển PID mờ được lựa chọn để nghiên cứu ứng dụng cho điều khiển chuyển động hệ ác quy chống hiện tượng lật robot khi leo cầu thang.

b) Yêu cầu điều khiển

Mô hình động lực học của hệ thống khi xét tới hiện tượng lật được xác định thông qua hệ phương trình (3.19) với trường hợp đi lên và (3.53) với trường hợp đi xuống. Trong hệ phương trình này, nếu xét tới mối liên hệ giữa chuyển động đối trọng (ác quy) và góc nghiêng của áp quy, hệ phương trình này sẽ có dạng:

- Khi lên và va vào bậc thứ nhất (bậc 1)

$$\begin{cases} M_A = \begin{cases} M_A = \frac{m_c(1+k).h_b}{\tau_0} V k h i t_1 \leq t < t_1 + \tau_0 \\ M_A = 0 k h i t \geq t_1 + \tau_0 \end{cases} \\ F = m_Q \ddot{x}_Q - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.54)$$

- Khi lên và va vào bậc thứ 2 trở lên

$$\begin{cases} M_A = \begin{cases} M_A = \frac{(1+k)}{\tau_0} [(L_{AH} + L_b - V.T_c)b - ah] k h i t_2 \leq t \leq t_2 + \tau_0 \\ M_A = 0 k h i t > t_2 + \tau_0 \end{cases} \\ F = m_Q \ddot{x}_Q - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.55)$$

- Khi đi xuống

$$\begin{cases} M_A = 0 \\ F = m_Q \ddot{x}_Q - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.56)$$

Khi có tác động của xung lực thì mô men sinh ra do xung lực $M_A \neq 0$, khi không có xung lực tác động thì $M_A = 0$

Có thể thấy hệ thống rút gọn có 2 biên trạng thái với đầu vào là lực F đẩy đối trọng theo chiều dịch chuyển của xe, M_A được coi như nhiễu sinh ra do tiếp xúc giữa bánh xích của xe với cầu thang. Có thể thấy khi M_A lớn, góc nghiêng sẽ lớn và nếu vượt ngưỡng cho phép ($\varphi > 90^\circ$) sẽ gây ra hiện tượng lật xe. M_A chịu ảnh hưởng của 2 yếu tố là tốc độ dài của xe V và tính chất của bề mặt tiếp xúc. Do hệ truyền động tốc độ của xe được thiết kế riêng biệt (*hệ điều khiển chuyển động riêng tại chương 2*), đảm bảo xe leo lên bậc cầu thang với vận tốc đều, nên trong mục này giả thiết xe được khống chế tốc độ V không đổi trong phạm vi an toàn cho phép. Do vậy tín hiệu điều khiển lực đẩy F của đối trọng (hệ ác quy) cần được điều khiển theo hướng giảm thiểu tác động của thành phần M_A gây lật xe khi góc nghiêng vượt quá ngưỡng.

3.2.1. Xây dựng bài toán điều khiển lực F

Trường hợp 1: Nếu $M_A = 0$

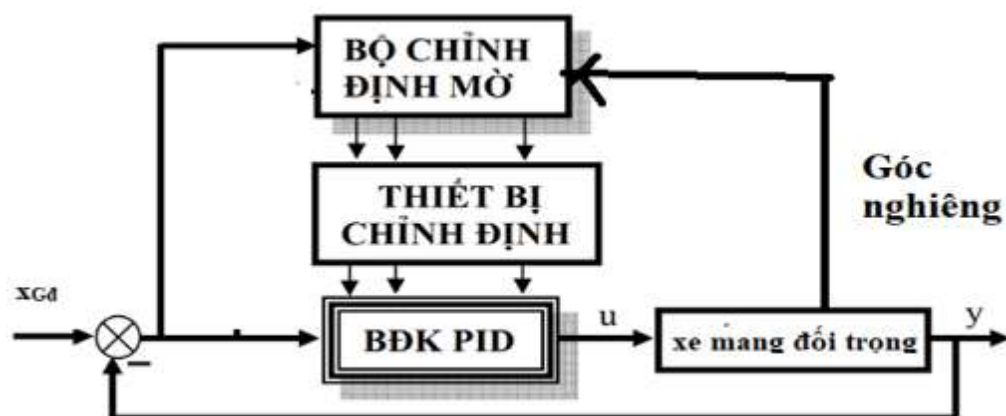
- Khi xe lên cầu thang, lực F được thiết kế để đưa đối trọng di chuyển dọc phương chuyển động của xe từ vị trí hiện tại tới điểm cuối hành trình phía mũi xe.
- Khi xe đi xuống cầu thang, lực F được thiết kế với chiều ngược với phương chuyển động của xe, đưa đối trọng chuyển động theo hướng đuôi xe.

Trường hợp 2: Nếu $M_A \neq 0$, lực F cần được ngược chiều để giảm tác động của M_A để giảm góc nghiêng, tránh lật xe.

- Khi góc nghiêng $= 0$: lực F giữ ko đổi;
- Khi góc nghiêng nhỏ: lực F giữ không đổi hoặc tăng nhẹ;
- Khi góc nghiêng vừa: lực F tăng nhẹ hoặc tăng vừa;
- Khi góc nghiêng lớn: lực F tăng vừa hoặc tăng lớn;
- Khi góc nghiêng rất lớn dẫn đến nguy cơ lật: lực F tăng lớn hoặc rất lớn.

Có thể thấy việc điều khiển ở đây liên quan đến việc di chuyển đối trọng của xe trong khi đảm bảo góc nghiêng không vượt quá ngưỡng cho phép. Rõ ràng, với yêu cầu của bài toán không cần thiết điều khiển chính xác vị trí cũng như góc nghiêng của xe mà chỉ cần trong giới hạn yêu cầu, vậy việc sử dụng các bộ điều khiển mờ là phương án thích hợp.

Cấu trúc bộ điều khiển PID mờ như sau (hình 3.7):

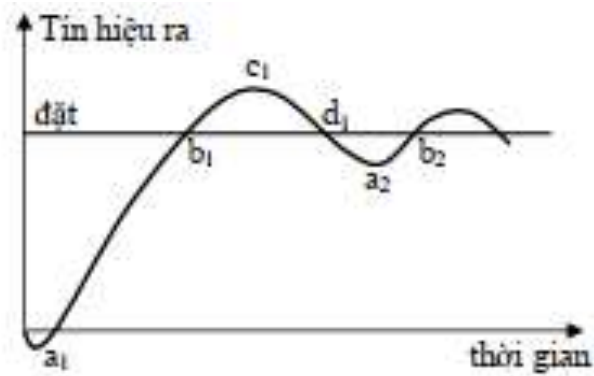


Hình 3.7: Cấu trúc bộ điều khiển PID mờ

Mô hình toán của bộ PID mờ

$$F(t) = K_p e(t) + K_t \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.57)$$

Luật chỉnh định PID



Hình 3.8: Tín hiệu ra bộ điều khiển PID mờ

Nguyên tắc chỉnh định các thông số như sau:

- Tại lân cận a_1 , cần tăng lực đẩy để rút ngắn thời gian đưa đối tượng chuyển động về vị trí đích nếu góc nghiêng không vượt ngưỡng. Do vậy K_p , K_I tăng, K_D giảm.
- Tại lân cận b_1 - c_1 - d_1 , để tránh quá điều chỉnh, cần giảm K_p/K_I và tăng K_D .
- Tại lân cận a_2 - b_2 , K_p giảm, K_D và K_I tăng

3.2.2. Xây dựng bộ điều khiển PID mờ

1) Các biến vào/ra:

- Có 2 tín hiệu đầu vào gồm: sai số vị trí trọng tâm, góc nghiêng của xe;
- Có 3 tín hiệu ra: K_p , K_D , K_I

2) Xác định biến ngôn ngữ:

- Sai số vị trí đối trọng: {âm lớn, âm nhỏ, bằng không, dương nhỏ, dương lớn}

$$ET = \{N3, N2, N1, ZE, P1, P2, P3\}$$

- Góc nghiêng: {không nghiêng, nghiêng nhỏ, nghiêng vừa, nghiêng lớn, nghiêng rất lớn}

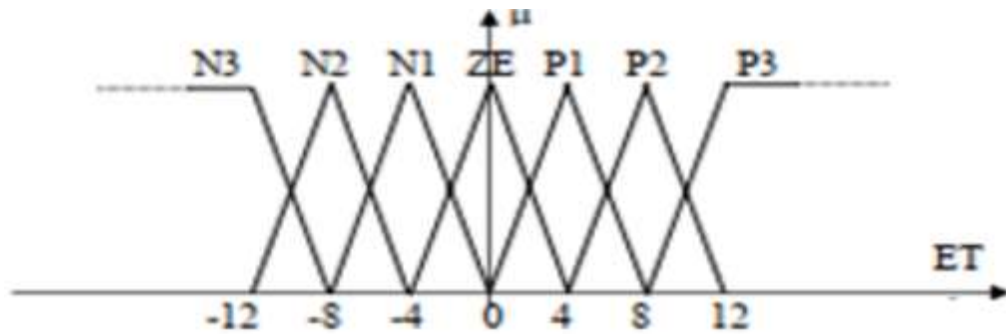
$$IG = \{L1, L2, L3, L4, L5\}$$

Các đầu ra:

- Hệ số tỷ lệ K_p : {bằng không, nhỏ, vừa, lớn, rất lớn} = {Z, S, M, L, U}
- Hệ số vi phân K_D : {bằng không, nhỏ, vừa, lớn, rất lớn} = {Z, S, M, L, U}
- Hệ số tích phân K_I : {bằng không, nhỏ, vừa, lớn, rất lớn} = {Z, S, M, L, U}

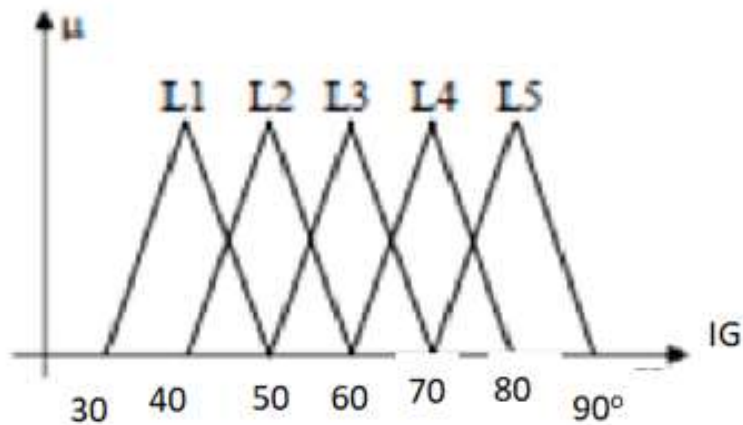
3) Xác định tập mờ cho các biến vào/ra

- Xác định miền giá trị của các biến ET



Hình 3.9: Miền giá trị của ET

- Xác định miền giá trị của góc nghiêng



Hình 3.10: Miền giá trị của góc nghiêng

4) Xây dựng luật hợp thành và thiết bị hợp thành

Luật hợp thành được xây dựng thể hiện trên bảng sau:

Bảng 3.1: Bảng luật hợp thành

K _P		Góc nghiêng IG						
		L1	L2	L3	L4	L5		
E _T	N3	L	L	U	U	U		
	N2	M	M	L	L	L		
	N1	S	S	M	M	M		
	ZE	Z	Z	Z	S	S		
	P1	S	S	M	L	L		
	P2	M	M	L	L	L		

	P3	M	L	U	U	U		
KD		Góc nghiêng						
		L1	L2	L3	L4	L5		
ET	N3	S	S	M	L	L		
	N2	M	M	L	L	L		
	N1	L	L	U	U	U		
	ZE	Z	Z	Z	S	S		
	P1	L	L	U	U	U		
	P2	M	M	L	L	L		
	P3	S	S	M	U	U		
K _I		Góc nghiêng						
		L1	L2	L3	L4	L5		
E _T	N3	L	L	U	U	U		
	N2	M	M	L	L	L		
	N1	S	S	M	M	M		
	ZE	Z	Z	Z	S	S		
	P1	S	S	M	L	L		
	P2	M	M	L	L	L		
	P3	M	L	U	U	U		

5) Giải mờ và tối ưu

Luận án chọn luật hợp thành theo quy tắc Min-Max, và giải mờ theo phương pháp trọng tâm kết quả bộ điều khiển được thể hiện tại mục khảo sát dưới đây.

3.3. Khảo sát động lực học của mô hình dẫn đến khả năng có hiện tượng lật của robot

Mục đích của việc khảo sát động lực học mô hình là để tìm mối liên hệ của các thông số vận tốc (V), góc nghiêng cầu thang (γ) đến sự lật của robot khi leo lên và leo xuống cầu thang, để từ đó tìm ra được các giá trị hợp lý của gia tốc di chuyển của khối áp quy ($\ddot{x}_Q = a_Q$) với quãng đường di chuyển từ vị trí khối tâm M đến cuối các hành

trình để chống lại sự lật. Các giá trị $\ddot{x}_Q$ tương ứng với các giá trị V và γ sẽ là đại lượng đầu vào để tiến hành điều khiển di chuyển của áp quy trong phần tiếp theo.

Để khảo sát động lực học dẫn tới khả năng lật của robot, luận án sử dụng các yếu tố sau:

- Sử dụng hệ phương trình động lực học của robot được xây dựng tại mục 3.1 để tính toán khảo sát;
- Sử dụng phần mềm Matlab ứng dụng giải bài toán và vẽ đồ thị;
- Bộ điều khiển truyền động cho bánh xích được xây dựng tại chương 2 đáp ứng điều kiện tạo ra vận tốc V không đổi cho robot di chuyển;
- Bộ điều khiển đối trọng sử dụng luật điều khiển PID mờ được xây dựng tại chương 3 tạo ra các gia tốc của khối tâm (a_Q) theo các yêu cầu trong khi khảo sát.
- Các thông số tính toán (từ cấu tạo cơ khí của robot được thiết kế) để phân tích sự lật của robot được trình bày trên bảng 3.2

Bảng 3.2: Các thông số tính toán để phân tích sự lật đổ của robot

Ký hiệu	Giá trị	Ký hiệu	Giá trị	Ký hiệu	Giá trị	Các thông số thay đổi	
d_{AM}	0.35 [m]	h_M	0.1[m]	L_{AM}	0.4 [m]	Ký hiệu	Giá trị
J_{MR}	30 [kg.m ²]	h_Q	0.08 [m]	L_0	0.8 [m]	V	0.45÷6 [m/s]
k	1	L_b	0.37 [m]	T_0	0.005 [s]	a_Q	0.1÷1.2 [m/s ²]
g	9.81 [m/s ²]	L_{OA}	1 [m]	m_Q	30 [kg]	β	30 ⁰ ÷ 45 ⁰
h_b	0.15 [m]	L	1.2 [m]	m_R	120 [kg]	γ	40 ⁰ ÷ 46 ⁰

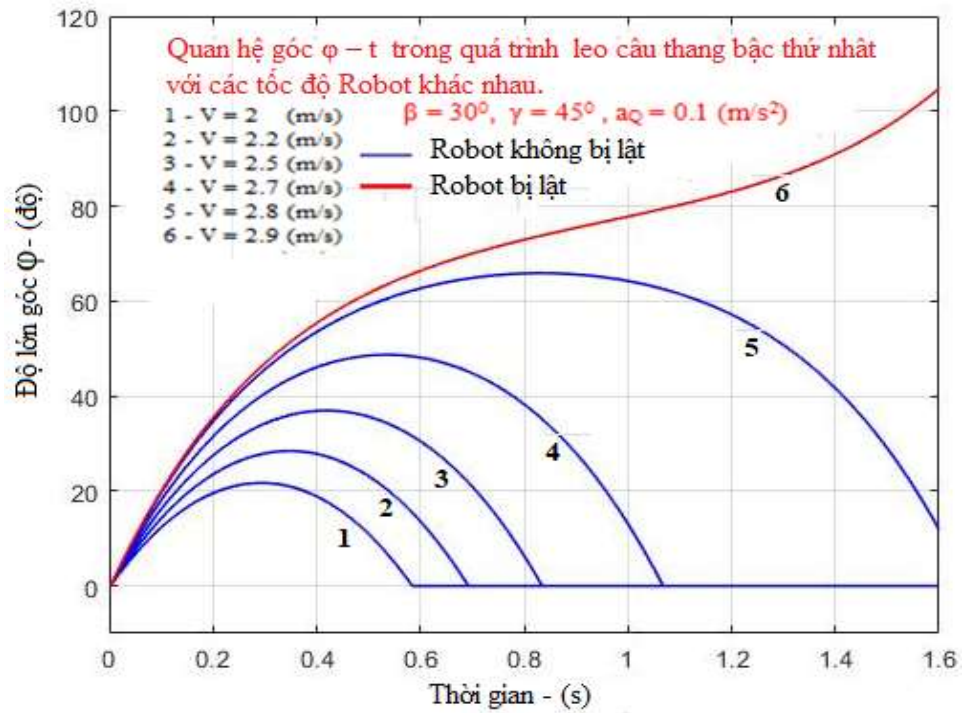
Từ các giá trị thông số cho trên bảng 3.2, tính được số bậc thang sẽ xảy ra và chạm khi robot leo lên: $N = \left\lceil \frac{L_0}{d_b} \right\rceil = 2$, do vậy ở đây ta sẽ khảo sát các thông số ảnh hưởng đến sự lật của robot khi leo lên cầu thang ở bậc thứ nhất và thứ 2.

Cho các thông số: $\beta = 30^\circ$, $\gamma = 45^\circ$, $a_Q = 0.1 \text{ (m/s}^2\text{)}$, khảo sát phương trình đầu (tương ứng hệ tọa độ suy rộng 1, góc φ) của hệ phương trình (3.19) với các giá trị vận tốc V thay đổi từ 2 – 6 (m/s) và các giá trị V thay đổi từ 2 – 2.9 (m/s), nhận được các biểu đồ biểu diễn sự biến thiên của góc φ trong quá trình robot leo lên bậc thứ nhất (Hình 3.10) và bậc thứ 2 (Hình 3.11). Từ kết quả cho thấy khi tốc độ V tăng lên thì xung lượng va chạm càng lớn, sẽ dẫn đến khả năng robot bị lật: với $V = 6 \text{ (m/s)}$ khi leo ở bậc thứ nhất và $V = 2.9 \text{ (m/s)}$ khi leo ở bậc thứ 2 thì góc φ có giá trị vượt quá 90° , dẫn đến hiện tượng robot bị lật.

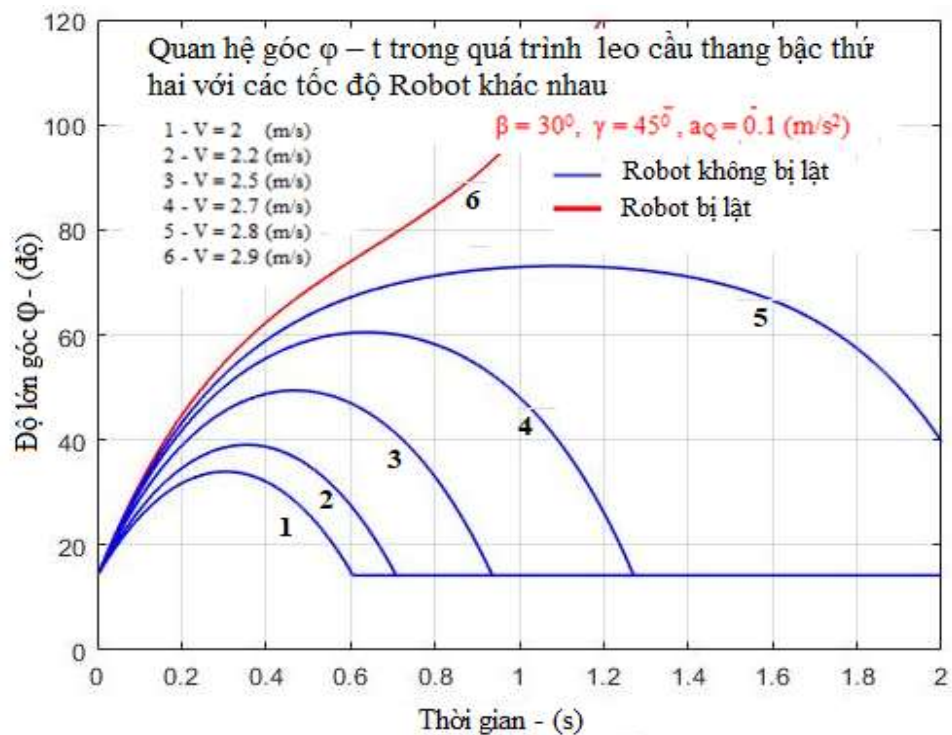
Đồ thị trên hình 3.12 biểu diễn sự biến thiên của góc φ ứng với giá trị các góc leo γ (góc nghiêng mặt trước của robot) khác nhau. Góc nghiêng γ ảnh hưởng trực tiếp đến tọa độ điểm va chạm, nên γ càng lớn thì góc φ có giá trị càng lớn khi bắt đầu va chạm và càng dễ dẫn đến hiện tượng robot bị lật. Kết quả khảo sát cho thấy: với độ dốc cầu thang $\beta = 30^\circ$, vận tốc robot $V = 2.8 \text{ (m/s)}$, gia tốc di chuyển cụm acquy $a_Q = 0.1 \text{ (m/s}^2\text{)}$ thì robot không bị lật với các góc $\gamma \leq 45^\circ$ và bị lật nếu $\gamma > 45^\circ$ (Hình 3.12).

Trong quá trình xuống cầu thang, góc nghiêng phía trước γ không ảnh hưởng đến hiện tượng lật của robot. Tính được khi vận tốc robot $V \leq 0.85 \text{ (m/s)}$ thì robot không xảy ra hiện tượng bay.

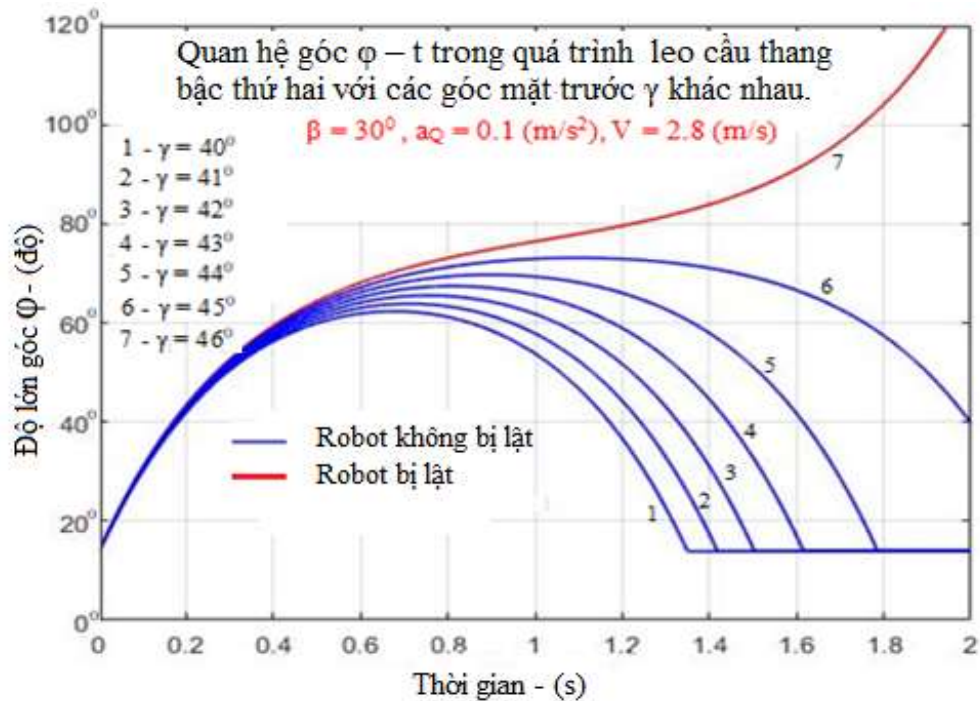
Xét với độ nghiêng cầu thang $\beta = 30^\circ$, gia tốc di chuyển của cụm acquy $a_Q = 0.1 \text{ (m/s}^2\text{)}$ và với vận tốc V thay đổi từ 0.25 – 0.45 (m/s). Kết quả tính toán về sự biến thiên của góc φ ứng với giá trị vận tốc V khác nhau được thể hiện trên đồ thị hình 3.13. Cũng tương tự như trường hợp leo lên, giá trị V càng lớn thì càng dễ dẫn đến hiện tượng lật robot khi xuống cầu thang. Ở hình 3.13 cho thấy, với $V = 0.45 \text{ (m/s)}$ thì góc φ sẽ đến lúc vượt quá 90° , robot bị lật.



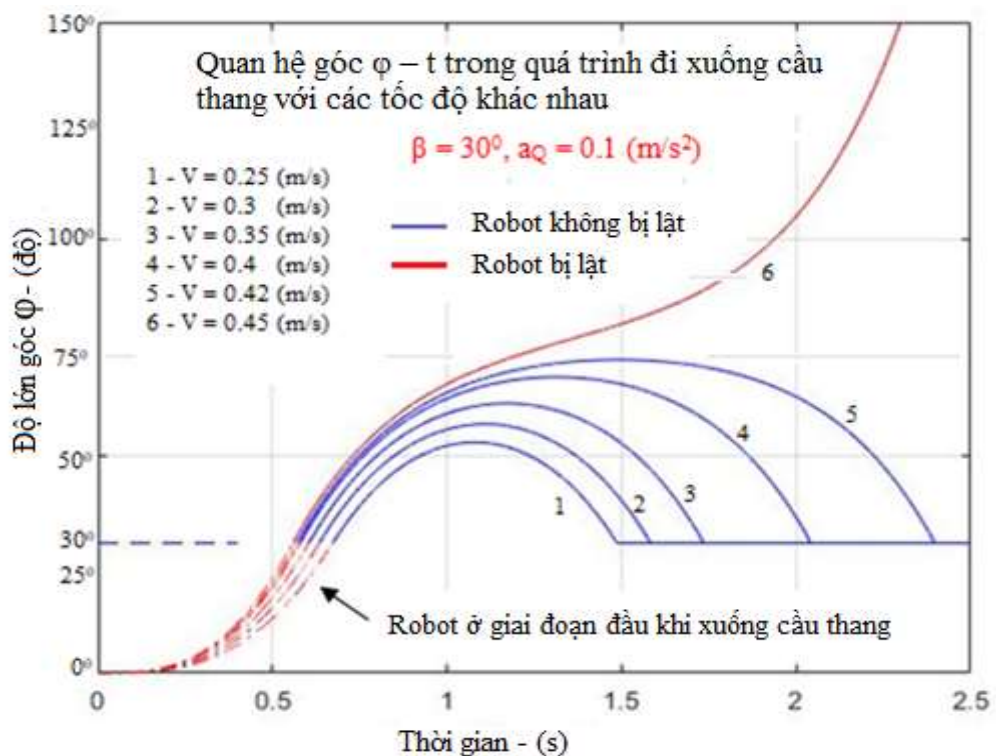
Hình 3.10: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ nhất với các tốc độ khác nhau



Hình 3.11: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ hai với các tốc độ khác nhau



Hình 3.12: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo lên cầu thang bậc thứ hai với các góc leo γ (góc mặt trước của robot) khác nhau

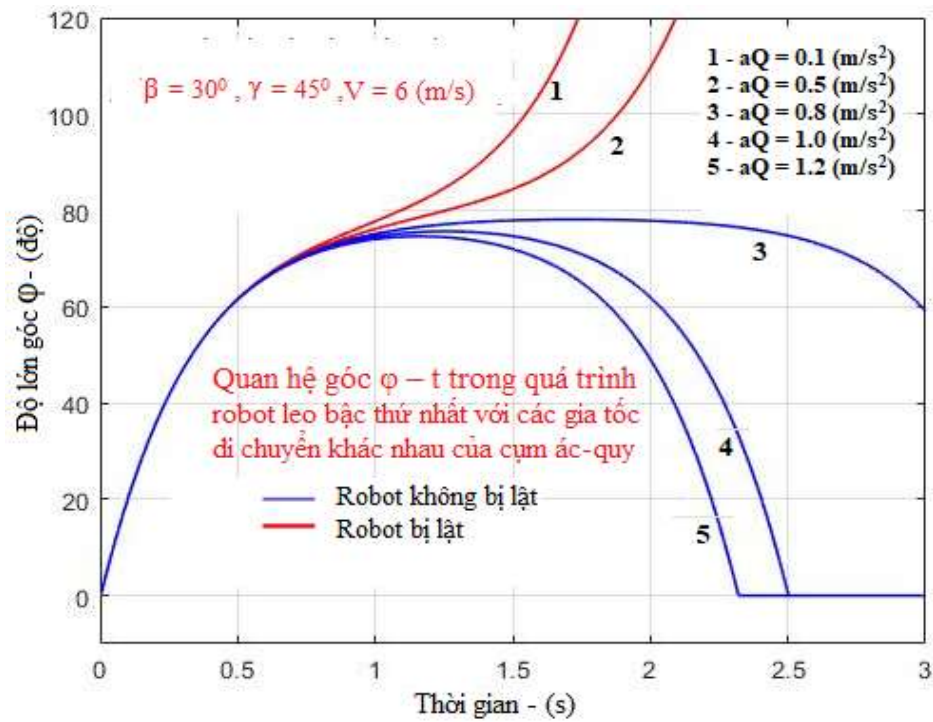


Hình 3.13: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo xuống cầu thang ở các tốc độ khác nhau

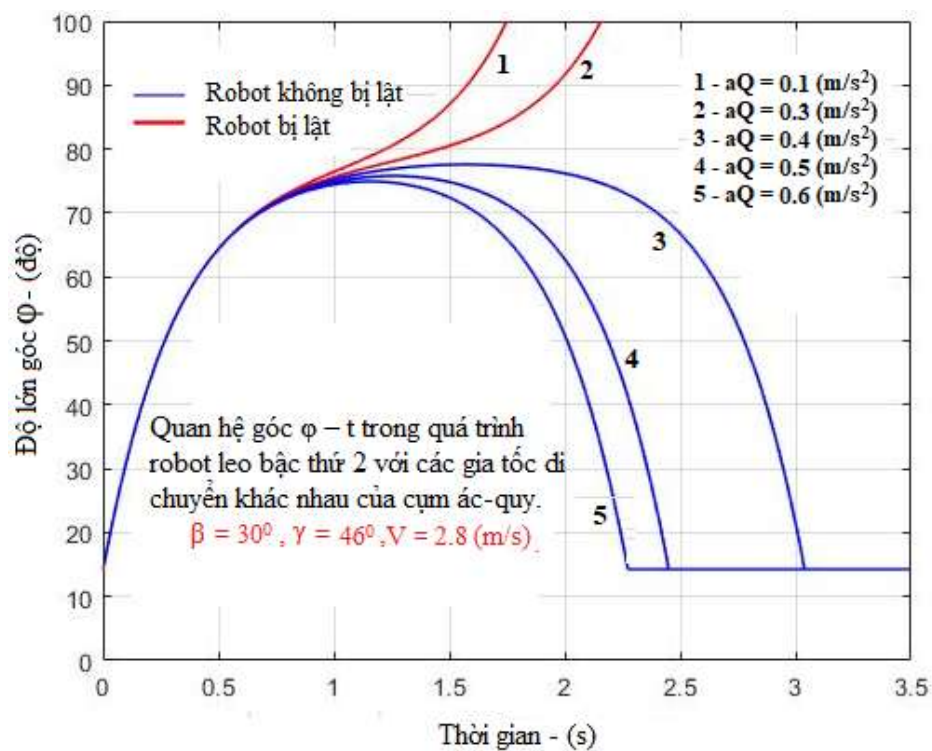
Khảo sát với các thông số chế tạo robot như cho trên bảng 3.2 và các độ dốc cầu thang từ 30^0 đến 45^0 . Trên bảng 3.3 ghi các giá trị giới hạn vận tốc $V_{\max}$ ứng với các trị của gia tốc cụm acquy a_Q và từng độ dốc cầu thang β để đảm bảo robot không bị lật khi xuống cầu thang. Từ kết quả ghi trên bảng 3.3 cho thấy: độ dốc cầu thang β càng lớn thì càng cần giảm vận tốc V để robot không bị lật, điều này cũng phù hợp với thực tế.

Khi tăng giá trị gia tốc a_Q thì khả năng robot bị lật sẽ giảm đi. Chẳng hạn như với $\beta=30^0$, $\gamma = 45^0$, $V = 6$ (m/s) khi leo ở bậc thứ nhất, nếu khi sau va chạm, cụm acquy di chuyển với gia tốc $a_Q = 0.1$ (m/s²) thì robot bị lật, nhưng nếu $a_Q \geq 0.8$ (m/s²) thì robot không bị lật (hình 3.14). Tương tự như vậy, với $\beta = 30^0$, $\gamma = 46^0$, $V = 2.8$ (m/s), robot không bị lật nếu $a_Q \geq 0.4$ (m/s²) khi leo lên ở bậc thứ 2 (Hình 3.15); hoặc là với $\beta = 30^0$, $V = 0.45$ (m/s), robot không bị lật nếu $a_Q \geq 0.3$ (m/s²) khi leo xuống (hình 3.16). Việc tăng giá trị gia tốc a_Q lên sẽ làm tăng nhanh độ lớn của mô men quay do trọng lực của cụm xe robot, do vậy khả năng robot bị lật sẽ giảm đi.

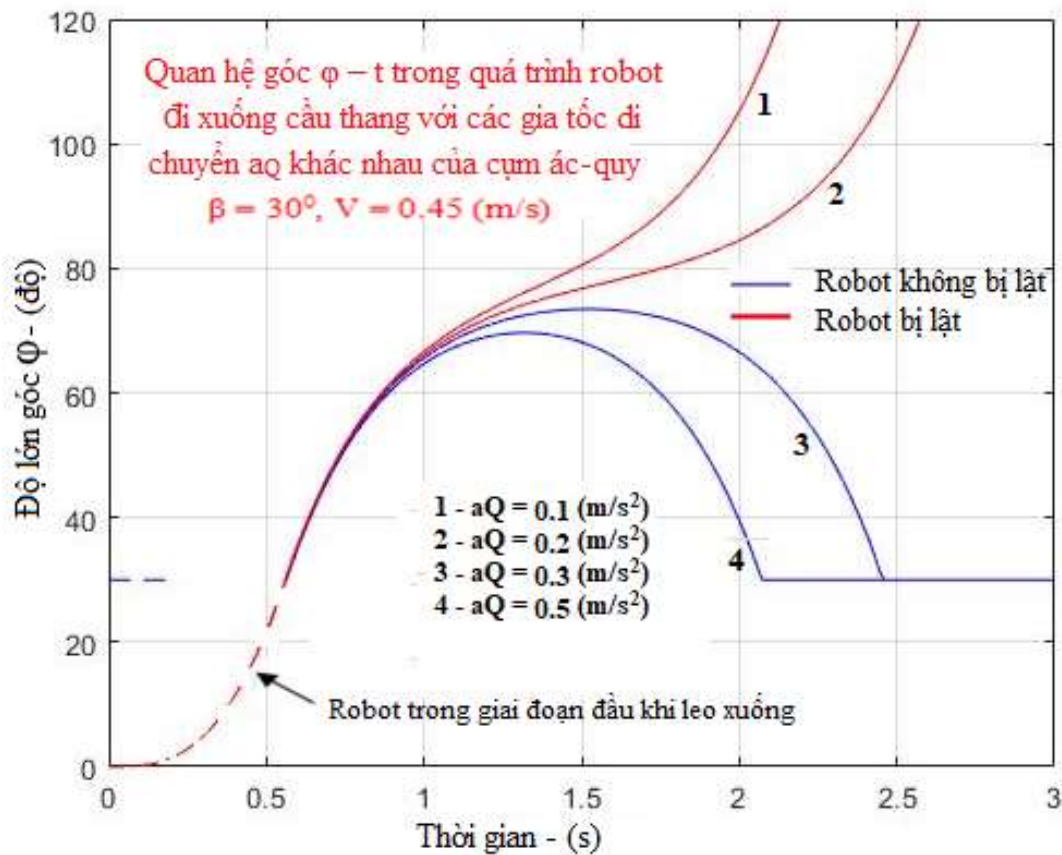
Như vậy có thể thấy rằng, ngoài các yếu tố về độ dốc cầu thang β , góc nghiêng mặt trước robot γ và vận tốc di chuyển của robot V , thì giá trị của gia tốc chuyển động cụm acquy a_Q cũng ảnh hưởng đáng kể đến sự lật ngược của robot khi leo lên hoặc xuống cầu thang.



Hình 3.14: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ nhất với các gia tốc di chuyển a_Q khác nhau của áp quy



Hình 3.15: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ hai với các gia tốc di chuyển a_Q khác nhau của áp quy



Hình 3.16: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo xuống cầu thang với các gia tốc đi chuyển a_Q khác nhau của áp quy

Kết quả khảo sát với các thông số chế tạo robot như cho trên Bảng 3.2 và các độ dốc cầu thang từ 30° đến 45° . Trên bảng 3.3 ghi các giá trị giới hạn vận tốc $V_{\max}$ ứng với các trị của gia tốc cụm ác-quy a_Q và từng độ dốc cầu thang β để đảm bảo robot không bị lật khi xuống cầu thang. Từ kết quả ghi trên bảng 3.3 cho thấy: độ dốc cầu thang β càng lớn thì càng cần giảm vận tốc V để robot không bị lật, điều này cũng phù hợp với thực tế.

Bảng 3.3: Một số giới hạn vận tốc robot tương ứng khi xuống cầu thang với các trị gia tốc cụm acquy và độ dốc cầu thang

(* $V_{\max}$ là giá trị lớn nhất của vận tốc chuyển động đều robot V)

(* a_Q là gia tốc của cụm áp quy, $a_Q = \ddot{x}_Q$ trong hệ phương trình dao động)

	Độ dốc cầu thang (β)							
	30 ⁰	32 ⁰	34 ⁰	36 ⁰	38 ⁰	40 ⁰	42 ⁰	45 ⁰
a_Q (m/s^2)	$V_{\max}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)	$V_{\max}$ (m/s)
0.1	0.42	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1	0.1	0.05
0.2	0.43	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1	0.1	0.05
0.3	0.45	0.35	0.25	0.2	0.15	0.1	0.1	0.05
0.4	0.45	0.35	0.25	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1
0.5	0.45	0.35	0.25	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1

Nhận xét: Trong quá trình leo lên cầu thang, nếu góc nghiêng phía trước của xe robot càng lớn thì khả năng bị lật ngược của robot càng lớn. Vì góc nghiêng cầu thang trong các nhà tầng được quy chuẩn khi xây dựng phải nằm trong khoảng từ 30⁰-45⁰ (Theo quy định về xây dựng trong quy chuẩn QCVN 06:2022/BXD về phòng chống cháy nổ cho công trình xây dựng), do vậy góc nghiêng phía trước của robot nên được chế tạo với giá trị $\gamma = 45^0$ là tốt nhất vì đảm bảo góc tiếp xúc với tất cả các cầu thang trong thực tế. Luận án cũng đã đưa ra được các giá trị tối thiểu mà gia tốc cụm acquy cần đạt được (tương ứng với giá trị vận tốc robot, góc nghiêng cầu thang, góc nghiêng phía trước robot) để Robot không bị lật trong quá trình lên xuống cầu thang (các giá trị này được thể hiện trên các đồ thị và bảng 3.3 được trình bày ở trên)

Kết luận chương 3

Từ kết quả đã trình bày trong chương 3 ở trên, luận án rút ra một số kết luận sau:

1. Đã xây dựng được mô hình, thiết lập được phương trình động lực học xét tới hiện tượng lật của robot;
2. Thiết lập được mối quan hệ giữa các đại lượng góc nghiêng ϕ là hàm của gia tốc đối trọng a_Q . Kết quả này tạo thuận lợi để thiết lập thuật toán điều khiển PID

mờ bảo sinh ra lực F để di chuyển đối trọng từ vị trí ban đầu tới cuối hành trình với gia tốc $a_Q = \ddot{x}_Q$ để chống lại hiện tượng lật;

3. Dựa trên phương trình động lực học và bộ điều khiển đối trọng, luận án tiến hành khảo sát hiện tượng lật (ứng dụng phần mềm Matlab trong tính toán và mô phỏng), từ đó rút ra được cặp giá trị V và $a_Q = \ddot{x}_Q$ tương ứng với các giá trị góc bậc cầu thang có góc nghiêng khác nhau (*từ 30 đến 45 độ, tương ứng với góc nghiêng của bậc cầu thang được sử dụng trong xây dựng công trình tại Việt Nam hiện nay theo quy chuẩn QCVN 06:2022/BXD*)

4. Luận án đã xác định được giá trị vận tốc của robot khi leo lên và leo xuống cầu thang ứng với độ dốc của cầu thang và gia tốc thay đổi trọng tâm đối trọng a_Q . Kết quả nghiên cứu tại chương này là tài liệu tham khảo cho việc nghiên cứu chế tạo các robot chữa cháy dạng bánh xích leo cầu thang, từ kết quả này có thể giúp các nhà nghiên cứu tối ưu được kích thước của robot chữa cháy mà vẫn đảm bảo khả năng robot không bị lật khi di chuyển tiếp cận đám cháy với vận tốc lớn nhất $V_{\max}$, khi sử dụng phương pháp điều khiển trọng tâm chống lại khả năng lật.

CHƯƠNG 4

THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH LÝ THUYẾT

4.1. Mục tiêu và nhiệm vụ thực nghiệm kiểm chứng mô hình lý thuyết

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm để so sánh kết quả tính toán theo mô hình lý thuyết, từ đó sẽ đánh giá được độ tin cậy của mô hình tính toán lý thuyết đã xây dựng. Xuất phát từ các lý do trên luận án tiến hành nghiên cứu thực nghiệm với mục tiêu và nhiệm vụ sau:

4.1.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm

Xác định được góc lật φ của robot khi leo lên, leo xuống cầu thang (góc nghiêng của robot) với các vận tốc khác nhau và gia tốc a_Q khác nhau, từ kết quả thực nghiệm so sánh với góc lật tính theo lý thuyết để đánh giá độ tin cậy của mô hình lý thuyết luận án đã xây dựng.

4.1.2. Nhiệm vụ nghiên cứu thực nghiệm

Để đạt được mục tiêu trên, nhiệm vụ của nghiên cứu thực nghiệm như sau:

- Xác định khả năng leo cầu thang với hệ thống truyền động được trang bị dựa trên mô hình động lực học quá trình leo cầu thang của robot (chương 2);
- Xác định góc lật của robot khi di chuyển có va chạm dẫn đến hiện tượng lật
- Kiểm định lại khả năng chống lật với sự điều khiển chuyển động khối tâm với các trường hợp gia tốc khác nhau.

Kết quả thực nghiệm được so sánh với kết quả có được từ mô hình lý thuyết để đưa ra nhận xét về tính chính xác của mô hình lý thuyết.

4.1.3. Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm

Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm là một mô hình robot chữa cháy công trình công nghiệp có tính năng leo cầu thang, đây là robot được chế tạo đầu tiên trong quá trình thực hiện đề tài cấp nhà nước “**Nghiên cứu công nghệ, thiết kế và chế tạo thử nghiệm robot chữa cháy cho công trình công nghiệp**”, mã số ĐTĐL.CN-98/21. Địa điểm tiến hành thực nghiệm tại Công ty cổ phần thiết bị chuyên dùng Việt Nam và tại trường cao đẳng công nghệ Bách khoa Hà Nội.

4.2. Chọn tham số thay đổi điều khiển và thông số đánh giá

4.2.1. Chọn tham số thay đổi điều khiển

Để tương thích với mô hình tính toán lý thuyết, luận án chọn tham số thay đổi và điều khiển trong quá trình thực nghiệm như sau:

- Độ dốc cầu thang thanh đổi từ 30 độ đến 35 độ
- Vận tốc của robot di lên xuống cầu thang
- Gia tốc thay đổi trọng tâm của đối trọng

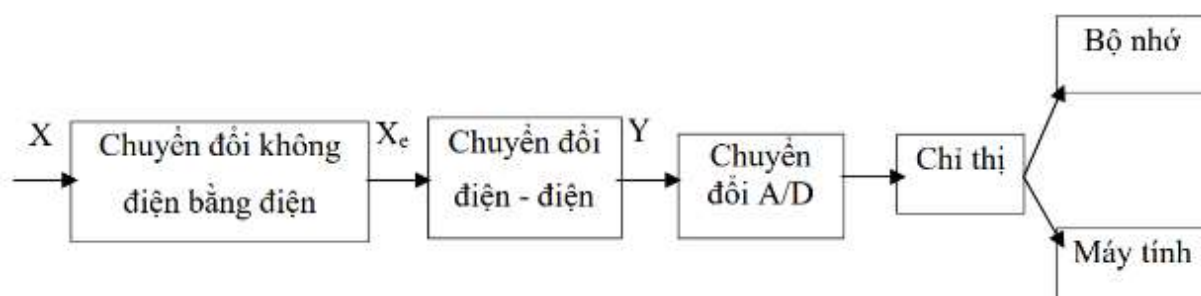
Các thông số khác của robot được thực nghiệm lấy theo bảng 3.2

4.2.2. Chọn thông số đánh giá

Mục tiêu của nghiên cứu là robot tiếp cận đám cháy nhanh nhất nhưng không bị lật, do vậy thông số đánh giá là góc lật của robot. Để đánh giá khả năng bị lật của robot, luận án dựa vào chỉ tiêu góc nghiêng của robot (góc φ). Do vậy, luận án lựa chọn thông số đánh giá đầu ra của thực nghiệm là góc lật φ

4.3. Phương pháp xác định các đại lượng nghiên cứu và thiết bị đo

Việc bố trí thí nghiệm xác định các đại lượng nghiên cứu được tiến hành trên đối tượng nghiên cứu thực nghiệm tại hiện trường, áp dụng phương pháp đo các đại lượng không điện bằng điện thông qua một số loại cảm biến đo tiêu chuẩn của Cộng hòa Liên bang Đức như các cảm biến đo gia tốc. Kết quả thí nghiệm được ghi lại dưới dạng mã ASCII và được kết nối với máy tính điều khiển bằng các phần mềm Catman, Excel và xử lý bằng phần mềm DasyLab....



Hình 4.1: Sơ đồ cấu trúc dạng khối của thiết bị thí nghiệm

Đại lượng X là đại lượng đo không điện qua chuyển đổi sơ cấp được kết quả, qua biến đổi điện - điện cho đại lượng đầu ra Y dưới dạng điện áp, sau đó qua bộ

chuyển đổi tương tự số A/D (Analog Digital Converter) đưa vào bộ chỉ thị, đưa ra bộ nhớ ghi ở dạng mã ASCII và hiển thị trên màn hình.

4.3.1. Phương pháp điều chỉnh độ dốc cầu thang và phương pháp xác định góc nghiêng cầu thang

Để có thể thực nghiệm robot leo lên cầu thang với các góc nghiêng khác nhau, luận án đã tiến hành chế tạo 01 cầu thang thử nghiệm, cầu thang này có khả năng thay đổi được độ dốc cầu thang thông qua các khớp (hình 4.2). Đồng thời luận án tiến hành thực nghiệm tại, cầu thang tại trường Cao đẳng Công nghệ Bách Khoa-Thành Trì – Hà nội.

Để xác định được góc nghiêng cầu thang, luận án sử dụng việc đo thủ công thông qua thước góc điện tử. Việc dùng đo thủ công với lý do độ dốc cầu thang là cố định so với từng trường hợp cầu thang thực tế, và từng lượt thử nghiệm đối với cầu thang thí nghiệm. Thước đo góc thủ công được thể hiện trên hình 4.3, thước góc này được hiện góc thông qua đồng hồ số hiển thị trên thước góc.



Hình 4.2: Cầu thang thực nghiệm với các khớp được chế tạo để thay đổi góc nghiêng



Hình 4.3: Thước đo góc điện tử được sử dụng để đo độ dốc cầu thang

4.3.2. Phương pháp xác định vận tốc và gia tốc di chuyển



Hình 4.4: Encoder phát xung để đo vận tốc và gia tốc góc

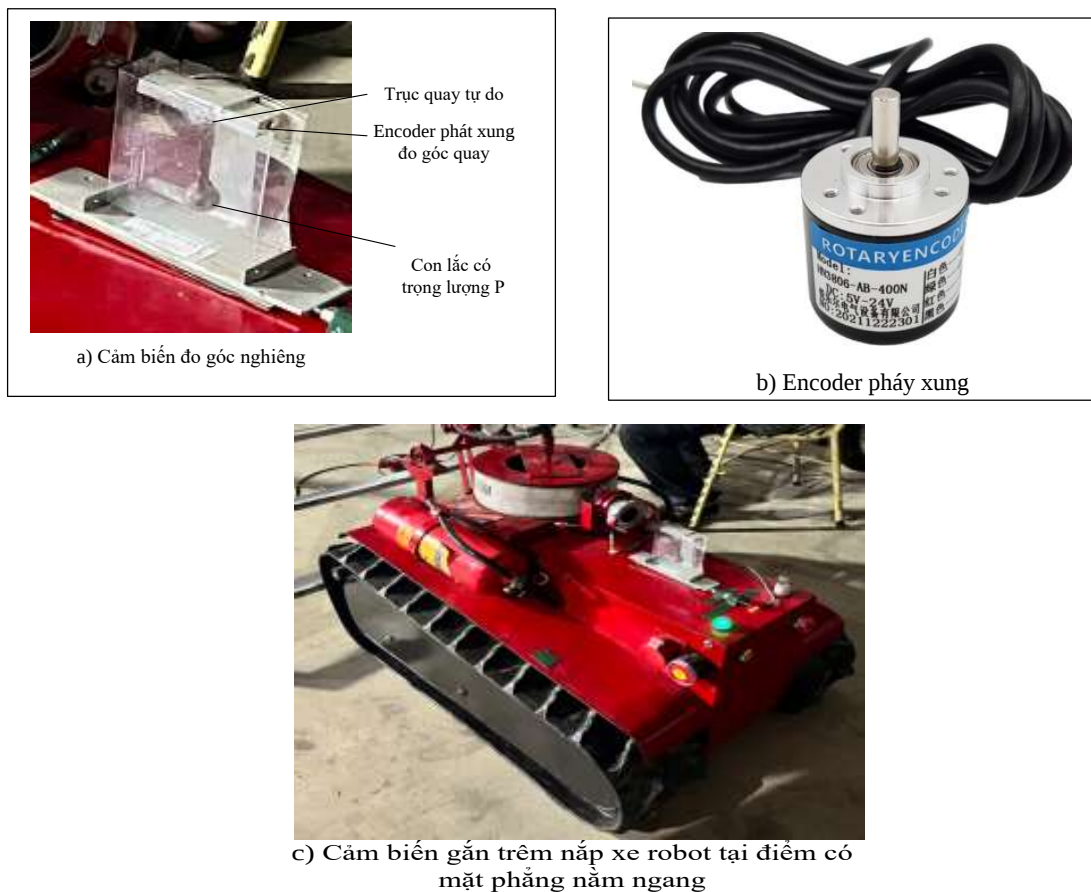
Để đo vận tốc, gia tốc của robot và ác quy, đề tài sử dụng encoder phát xung (hình 4.4), cụ thể như sau:

- Để đo vận tốc dài robot, encoder được gắn trực tiếp tại đồng trục với bánh sao (bánh chuyển động vào mắt xích) từ việc đo vận tốc góc trục bánh sao có thể quy đổi ra vận tốc dài của bánh xe robot, từ đó đo vận tốc dài của robot (khi robot không bị trượt).

- Để đo gia tốc ắc quy, encoder cũng được gắn vào trục quay của pully, từ đó có thể quy đổi ra được gia tốc chuyển động của ắc quy dọc theo trục chuyển động.

4.3.3. Phương pháp xác định góc nghiêng của robot

Để đo góc nghiêng của robot φ trong quá trình leo cầu thang luận án sử dụng cảm biến đo góc xoay có cấu tạo được thể hiện trên hình 4.5. Cấu tạo cảm biến gồm có con lắc có trọng lượng P, được gắn lên trục xoay tự do, đầu trục xoay được gắn với encoder phát xung. Cảm biến đo góc xoay được gắn trên nắp xe robot tại điểm có mặt phẳng nằm ngang song song mặt đất. Khi robot leo cầu thang tạo nên góc nghiêng φ , do lực trọng trường nên trục của cảm biến sẽ bị xoay một góc φ tương ứng, khi đó trục encoder sẽ phát ra các xung với số lượng xung tương ứng với góc nghiêng φ . Thông qua tín hiệu chuyển về bộ thu thập và xử lý, máy tính sẽ nhận được giá trị góc φ cần đo.



Hình 4.5: Cấu tạo và phương pháp gắn cảm biến đo góc nghiêng trên robot

4.3.4. Thiết bị khuếch đại và chuyển đổi A/D



Hình 4.6: Thiết bị DMC Plus

L luận án sử dụng bộ khuếch đại tín hiệu DMC-Plus của Cộng hòa Liên bang Đức. Thiết bị này là bộ thu thập và khuếch đại thông tin đo lường kết nối với máy tính như hình 4.3 điều khiển bằng phần mềm Catmant. Thiết bị này thay thế cho bộ khuếch đại K và bộ chuyển đổi A/D (Analog/Digital) trong sơ đồ nguyên lý của phương pháp thí nghiệm. Thiết bị DMC Plus có các modul được chế tạo theo các kênh:

- Modul DV01: Là modul khuếch đại kiểu dòng một chiều DC, dùng để đo nhiệt độ, nối với cặp nhiệt, các dòng một chiều. Modul này có thể đo được nguồn điện áp với dải đo rất rộng $\pm 0,1(V)$; $\pm 1(V)$; $\pm 10(V)$; $\pm 200(V)$, dải tần 2,2 (kHz);
- Modul DV10: Kiểu khuếch đại dòng một chiều DC, để nối các cầu đủ và bán cầu điện trở, có thể đo điện thế, nguồn điện áp DC, dải tần 4,4 (Hz);
- Modul DV30: Kiểu khuếch đại là tần số 600 (Hz), dùng để đo các cầu đủ và bán cầu điện trở, đo điện thế, nguồn điện áp DC, dải tần 250 (Hz);
- Modul DV35: Kiểu khuếch đại là tần số, thích hợp để đo điện trở, nguồn điện áp DC, dải tần 250 (Hz);
- Modul DV55: Kiểu khuếch đại là tần số, khoảng khuếch đại là 4,8 (kHz), rất thông dụng. Dùng để nối với các cầu đủ và bán cầu điện trở, đo điện áp các nguồn áp DC, dải tần 2,2 (kHz);
- Modul DZ65: Dùng cho việc nối các cảm biến đo mô men và tốc độ, công suất.

4.4. Tổ chức tiến hành thí nghiệm

4.4.1. Tổ chức thí nghiệm

a) Lắp đặt thiết bị thí nghiệm: Đề tài tiến hành thí nghiệm như sau:

- Lắp cảm biến đo góc nghiêng robot lên nóc robot, đảm bảo cảm biến nằm trên mặt phẳng ngang khi robot ở trên mặt đất;

- Lắp encoder vào bánh sao (bánh truyền động cho xích) để đo vận tốc của robot;

- Lắp encoder vào trục quay của hệ pully-dây đai chuyển động cho cụm ắc quy để đo gia tốc ắc quy (*trên hành trình của hệ pully-dây đai đã có những cảm biến vị trí và khớp chặn cơ khí để đảm bảo cụm ắc quy chuyển động trong giới hạn phía trên, giới hạn phía dưới*). Việc điều khiển chuyển động này được điều khiển bởi bộ điều khiển với luật PID mờ được thiết kế tại chương 3);

- Với cầu thang thí nghiệm

- + Với cầu thang được chế tạo riêng cho quá trình thí nghiệm (hình 4.2), phía đầu cầu thang được liên kết bởi các bu lông qua các khớp, mỗi khớp sẽ tương ứng với một góc nghiêng nhất định theo yêu cầu của thí nghiệm;

- + Ngoài ra, luận án còn tiến hành thí nghiệm với các cầu thang được xây dựng thực tế tại trường Cao đẳng công nghệ Bác khoa. Các cầu thang này có góc nghiêng là cố định, do vậy chỉ khảo sát được sự ảnh hưởng của động lực học dẫn tới hiện tượng lật khi vận tốc robot thay đổi (vận tốc này được đặt, và bộ điều khiển được thiết kế tại chương 2 đảm bảo robot ổn định vận tốc này trong quá trình leo cầu thang), cùng với đó là khảo sát được ảnh hưởng của chuyển động khối ắc quy chống lại khả năng lật của robot.

b) Các tham số thay đổi trong quá trình thí nghiệm

Từ sự bố trí thí nghiệm ở trên, một số thông số có thể được thay đổi khi làm thí nghiệm gồm có

- Độ dốc cầu của cầu thang β thay đổi trong các trường hợp khác nhau ($\beta = 30^\circ - 45^\circ$ theo quy chuẩn QCVN 06:2022/BXD về phòng chống cháy nổ cho công trình xây dựng) thông qua việc điều chỉnh các lỗ khớp của cầu thang được chế tạo thí nghiệm, và trong hai cầu thang của hai trường khác nhau.

- Vận tốc robot thay đổi trong các trường hợp khác nhau thông qua việc đặt giá trị đầu vào từ cần của điều khiển từ xa (*vận tốc này giới hạn $V_{max} \leq 2,8$ (m/s) do khả năng đáp ứng của động cơ truyền động*).

- Gia tốc của ắc quy thay đổi tương ứng để đảm bảo chống lại hiện tượng lật, gia tốc này được điều khiển tự động thông qua luật điều khiển PID mờ được thiết kế tại chương 3

c) Đo các thông số đầu ra của thí nghiệm

Góc nghiêng robot φ , vận tốc leo robot V , a_Q gia tốc di chuyển của cụm ắc quy (đối trọng) được đo và nghi lại bằng số trên môi trường EXCEL.

d) Tiến hành thí nghiệm

Sau khi công tác lắp đặt được hoàn tất luận án tiến hành thí nghiệm như sau:

- Cho robot di chuyển lên, xuống cầu thang với các tốc độ nhất định khác nhau (tốc độ đặt), sau đó đo và xác định các giá trị của góc nghiêng robot φ và gia tốc ắc quy a_Q ;

- Tiếp theo thay đổi độ dốc cầu thang và tiến hành thí nghiệm lại như trên.

Quá trình tổ chức thí nghiệm và đo kết quả được thể hiện trên hình 4.7 đến hình 4.9



Hình 4.7: Tổ chức thí nghiệm



Hình 4.8: Tổ chức thí nghiệm và đo kết quả với cầu thang chế tạo có khả năng thay đổi độ dốc

4.4.2. Kết quả thực nghiệm

Kết quả thực nghiệm được ghi lại khi luận án tổ chức thực nghiệm với cầu thang chế tạo thí nghiệm và cầu thang thực tế tại trường Cao đẳng công nghệ Bách Khoa Hà Nội với cầu thang có độ dốc $\beta=30$ độ.

Phần mềm chuyên dụng Catman dành cho Spider 8 được thiết kế để có thể lưu trữ dữ liệu và xuất dữ liệu sang tệp Excel hoặc Matlab. Từ phần mềm Catman chuyên dụng của Spider 8, thời gian lấy mẫu (đếm xung) được đặt thành $t = 0.05$ (s)

Dữ liệu thực nghiệm được ghi lại trong bảng 4.1 và bảng 4.2, trong đó các đại lượng: t , V_{TN} , $a_{Q_{TN}}$, φ_{TN} lần lượt là thời gian, vận tốc của xe robot, gia tốc của cụm acquy, giá trị góc φ . Dữ liệu của V_{TN} và $a_{Q_{TN}}$ là các dữ liệu rời rạc (được mô tả bằng dấu "+" trong hình.14), nên cần tiến hành thực hiện các bước sau:

- Mô tả V_{TN} và $a_{Q_{TN}}$ thành các hàm V_{HQ} và $a_{Q_{HQ}}$ là các hàm bậc 2, liên tục của thời gian t nhờ việc sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất (hình 4.10 ÷ hình 4.13);
- Sử dụng các hàm V_{HQ} , $a_{Q_{HQ}}$ vào các phương trình được thiết lập trong mô hình lý thuyết sẽ nhận được các giá trị của góc φ_{LT} và cuối cùng
- So sánh hệ số tương quan giữa hai dãy giá trị φ_{TN} và φ_{LT} để rút ra kết luận về việc mô hình lý thuyết có phù hợp với thực tế hay không.

Tương ứng với các giá trị V_{TN} và a_{Q_TN} đo được trong quá trình thử nghiệm, bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất, công thức V_{HQ} mô tả quy luật V_{TN} và công thức a_{Q_HQ} mô tả quy luật a_{Q_TN} theo thời gian thu được:

$$V_{HQ} = -0.00947t^2 + 0.048675t + 0.400225(m/s) \quad (4.1)$$

$$a_{Q_HQ} = 0.00508t^2 + 0.05350t + 0.35227(m/s^2) \quad (4.2)$$

Ở đây, mốc thời gian $t = 0$ được tính từ lúc xe robot bắt đầu quay ở bậc thang trên cùng (tức là góc φ bắt đầu lớn hơn 0) và do quãng đường cụm acquy di chuyển bị hạn chế nên trên phụ lục chỉ ghi giá trị gia tốc $a_{Q_TN} > 0$ ở tại các thời điểm ban đầu $t \leq 1(s)$, còn lại đều bằng 0 sau đó. Từ công thức (4.1) và (4.2) và số liệu thực nghiệm cho quá trình robot leo lên cầu thang (bảng 4.1) và robot leo xuống cầu thang (bảng 4.2), luận án tiến hành vẽ đồ thị cho robot khi leo lên (hình 4.10 và 4.11) và khi leo xuống cầu thang (hình 4.12 và hình 4.13).

Bảng 4.1 : Kết quả thực nghiệm khi robot leo lên cầu thang

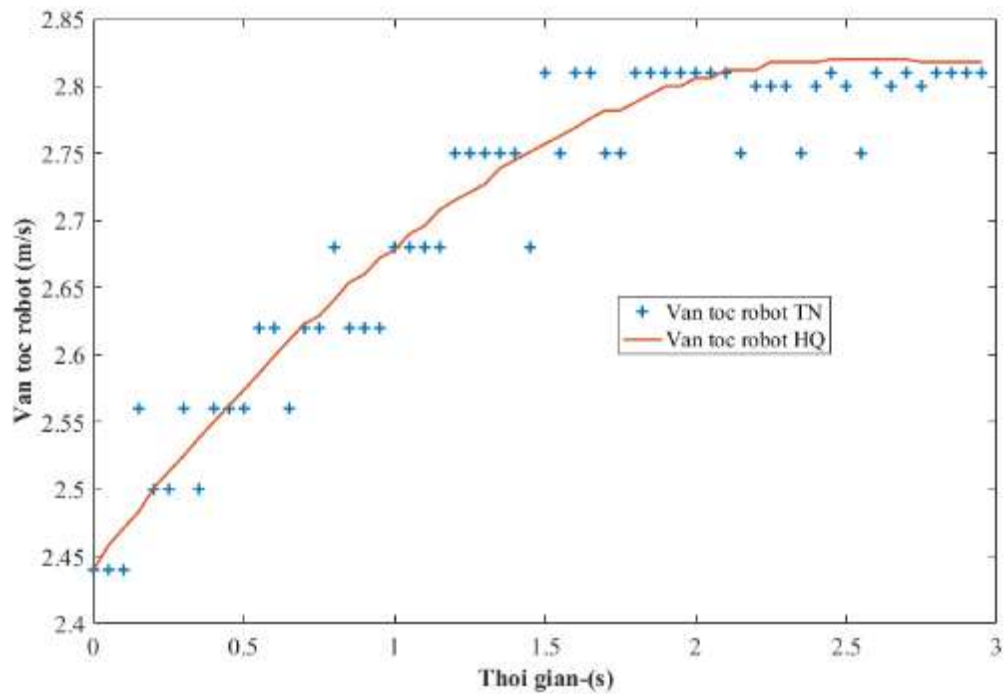
Time (s)	a_{Q_TN} (m/s ²)	a_{Q_HQ} (m/s ²)	V_{TN} (m/s)	V_{HQ} (m/s)	φ_{TN} (độ)	φ_{LT} (độ)	Time (s)	V_{TN} (m/s)	V_{HQ} (m/s)	φ_{TN} (độ)	φ_{LT} (độ)
0	0.9	0.88	2.44	2.44	0	0	1.5	2.81	2.76	51.0	50.9
0.05	0.875	0.888	2.44	2.458	0	0	1.55	2.75	2.763	44.3	48.9
0.1	0.9	0.895	2.44	2.471	0.1	0.1	1.6	2.81	2.769	39.8	38.9
0.15	0.875	0.9	2.56	2.483	0.6	0.6	1.65	2.81	2.776	37.5	36.0
0.2	0.9	0.908	2.50	2.501	1.1	1.2	1.7	2.75	2.782	33.3	34
0.25	0.925	0.915	2.50	2.513	2.5	2.3	1.75	2.75	2.782	33.3	32
0.3	0.925	0.923	2.56	2.525	3.7	4.0	1.8	2.81	2.788	33.1	31
0.35	0.925	0.93	2.50	2.538	7.3	6.4	1.85	2.81	2.794	33.0	30
0.4	0.95	0.935	2.56	2.550	9.4	9.5	1.9	2.81	2.800	32.5	30
0.45	0.95	0.943	2.56	2.562	12.3	13.3	1.95	2.81	2.800	32.5	30
0.5	0.95	0.95	2.56	2.574	16.4	18.2	2	2.81	2.806	33.2	30
0.55	0.95	0.958	2.62	2.586	23.4	23.9	2.05	2.81	2.806	33.8	30
0.6	0.95	0.965	2.62	2.599	33.6	30.7	2.1	2.81	2.812	33.0	30
0.65	0.975	0.973	2.56	2.611	43.1	38.0	2.15	2.75	2.812	30.3	30
0.7	1.025	0.98	2.62	2.623	39.8	44.1	2.2	2.8	2.812	30.1	30

Time (s)	a_{Q_TN} (m/s ²)	a_{Q_HQ} (m/s ²)	V_TN (m/s)	V_HQ (m/s)	ϕ_TN (độ)	ϕ_LT (độ)	Time (s)	V_TN (m/s)	V_HQ (m/s)	ϕ_TN (độ)	ϕ_LT (độ)
0.75	0.975	0.988	2.62	2.629	47.2	49.4	2.25	2.80	2.818	30.4	30
0.8	0.975	0.995	2.68	2.641	49.8	53.8	2.3	2.80	2.818	30.1	30
0.85	1.025	1.003	2.62	2.654	58.4	57.4	2.35	2.75	2.818	29.3	30
0.9	1	1.013	2.62	2.660	63.8	60.3	2.4	2.80	2.818	29.8	30
0.95	1	1.02	2.62	2.672	56.1	62.6	2.45	2.81	2.82	30.4	30
1	1	1.02	2.68	2.678	65.6	64.2	2.5	2.80	2.82	30.4	30
1.05			2.68	2.690	65.0	65.3	2.55	2.75	2.82	30.6	30
1.1			2.68	2.696	59.0	66.0	2.6	2.81	2.82	30.5	30
1.15			2.68	2.708	61.8	66.0	2.65	2.87	2.82	29.5	30
1.2			2.75	2.715	69.6	65.6	2.7	2.81	2.82	29.8	30
1.25			2.75	2.721	63.6	64.7	2.75	2.80	2.818	30.4	30
1.3			2.75	2.727	54.7	63.1	2.8	2.81	2.818	30.3	30
1.35			2.75	2.739	64.6	61.1	2.85	2.81	2.818	29.3	30
1.4			2.75	2.745	50.7	58.4	2.9	2.81	2.818	29.7	30
1.45			2.68	2.751	62.0	55.0	2.95	2.81	2.818	30.2	30

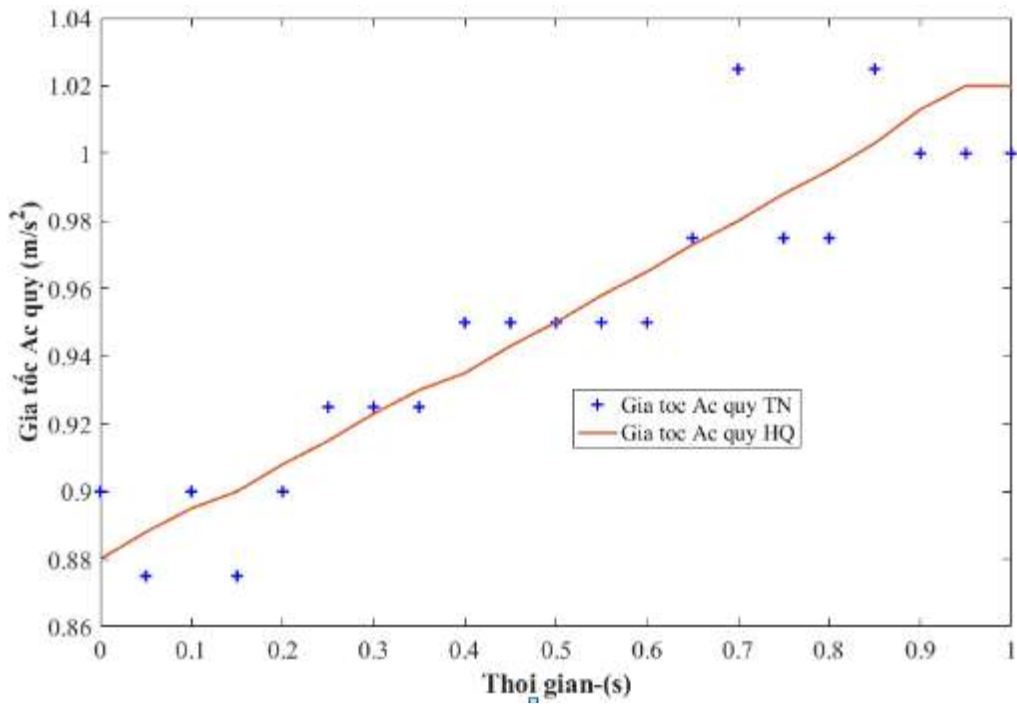
Bảng 4.2 : Kết quả thực nghiệm khi robot leo xuống cầu thang

Time (s)	a_{Q_TN} (m/s ²)	a_{Q_HQ} (m/s ²)	V_TN (m/s)	V_HQ (m/s)	ϕ_TN (độ)	ϕ_LT (độ)	Time (s)	V_TN (m/s)	V_HQ (m/s)	ϕ_TN (độ)	ϕ_LT (độ)
0.00	0.36	0.352	0.40	0.400	0	0	1.50	0.46	0.452	46.4	46.3
0.05	0.35	0.355	0.40	0.403	0	0	1.55	0.45	0.453	40.3	41.7
0.10	0.36	0.358	0.40	0.405	0.1	0.1	1.60	0.46	0.454	36.2	36.3
0.15	0.35	0.36	0.42	0.407	0.5	0.5	1.65	0.46	0.455	34.1	30
0.20	0.36	0.363	0.41	0.410	1	1.1	1.70	0.45	0.456	30.2	30
0.25	0.37	0.366	0.41	0.412	2.3	2.1	1.75	0.45	0.456	29.9	30
0.30	0.37	0.369	0.42	0.414	3.4	3.6	1.80	0.46	0.457	30.5	30
0.35	0.37	0.372	0.41	0.416	6.6	5.8	1.85	0.46	0.458	30.2	30
0.40	0.38	0.374	0.42	0.418	8.5	8.6	1.90	0.46	0.459	29.5	30
0.45	0.38	0.377	0.42	0.420	11.2	12.1	1.95	0.46	0.459	29.5	30
0.50	0.38	0.38	0.42	0.422	14.9	16.5	2.00	0.46	0.460	30.2	30
0.55	0.38	0.383	0.43	0.424	21.3	21.7	2.05	0.46	0.460	30.7	30

0.60	0.38	0.386	0.43	0.426	30.5	27.9	2.10	0.46	0.461	30	30
0.65	0.39	0.389	0.42	0.428	39.2	34.5	2.15	0.45	0.461	30.3	30
0.70	0.41	0.392	0.43	0.430	36.2	40.1	2.20	0.47	0.461	30.1	30
0.75	0.39	0.395	0.43	0.431	42.9	44.9	2.25	0.47	0.462	30.4	30
0.80	0.39	0.398	0.44	0.433	45.3	48.9	2.30	0.47	0.462	30.1	30
0.85	0.41	0.401	0.43	0.435	53.1	52.2	2.35	0.45	0.462	29.3	30
0.90	0.40	0.405	0.43	0.436	58	54.8	2.40	0.47	0.462	29.8	30
0.95	0.40	0.408	0.43	0.438	51	56.9	2.45	0.46	0.463	30.4	30
1.00	0.40	0.408	0.44	0.439	59.6	58.4	2.50	0.47	0.463	30.4	30
1.05			0.44	0.441	59.1	59.4	2.55	0.45	0.463	30.6	30
1.10			0.44	0.442	53.6	60	2.60	0.46	0.463	30.5	30
1.15			0.44	0.444	56.2	60	2.65	0.47	0.463	29.5	30
1.20			0.45	0.445	63.3	59.6	2.70	0.46	0.463	29.8	30
1.25			0.45	0.446	57.8	58.8	2.75	0.47	0.462	30.4	30
1.30			0.45	0.447	49.7	57.4	2.80	0.46	0.462	30.3	30
1.35			0.45	0.449	58.7	55.5	2.85	0.46	0.462	29.3	30
1.40			0.45	0.450	46.1	53.1	2.90	0.46	0.462	29.7	30
1.45			0.44	0.451	56.4	50	2.95	0.46	0.461	30.2	30

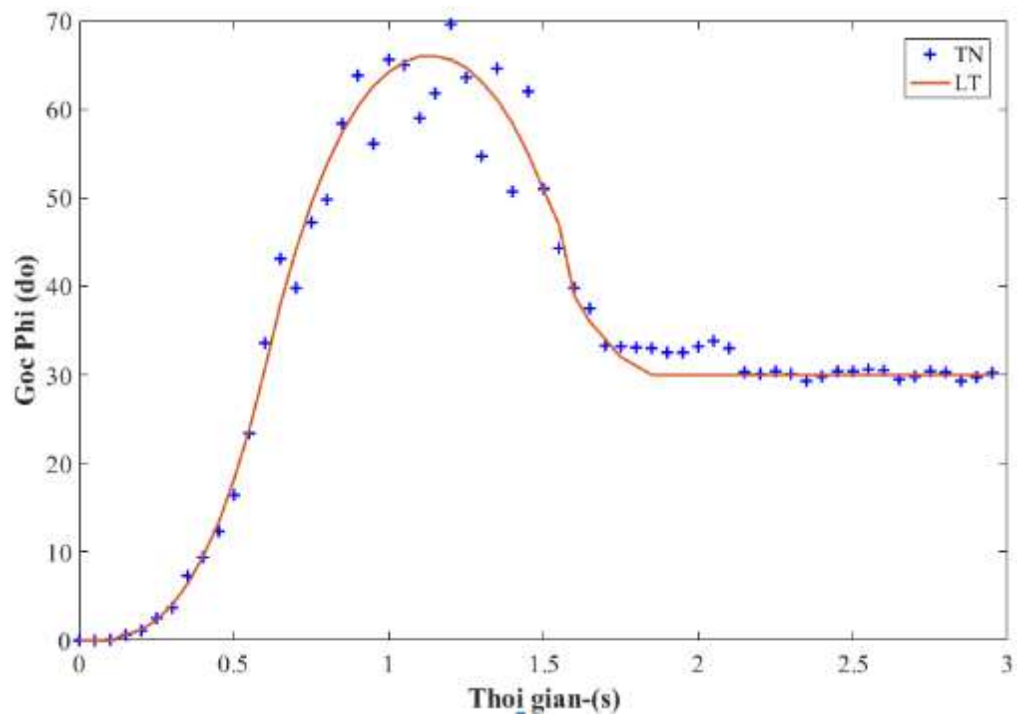


(a)

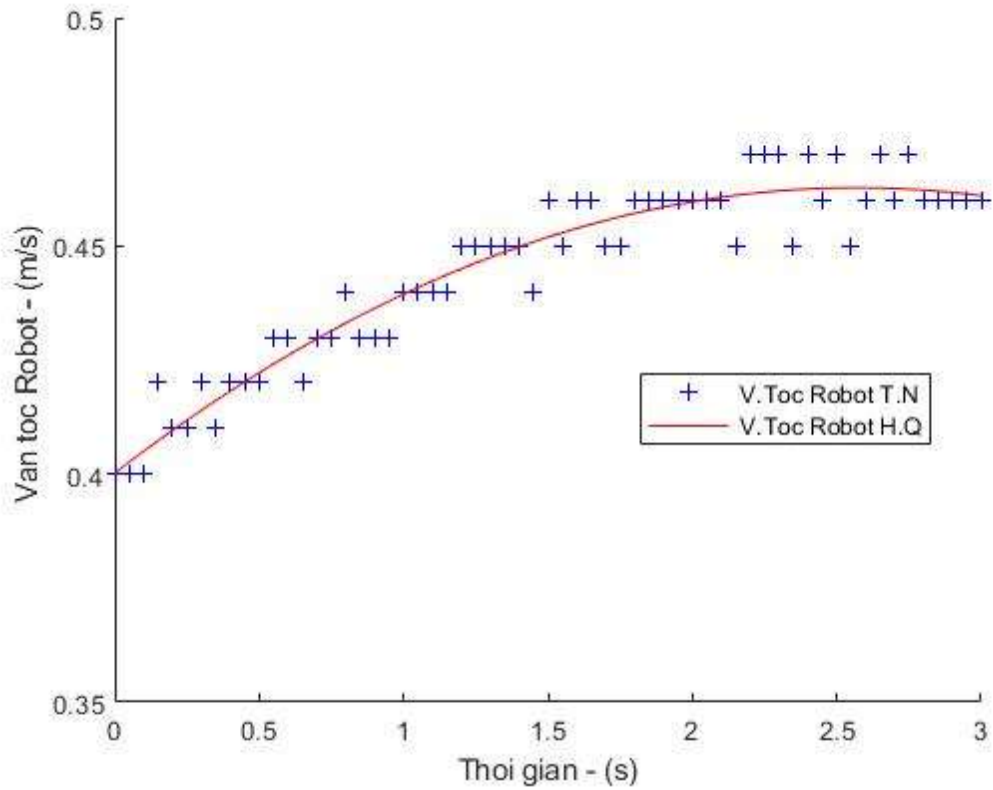


(b)

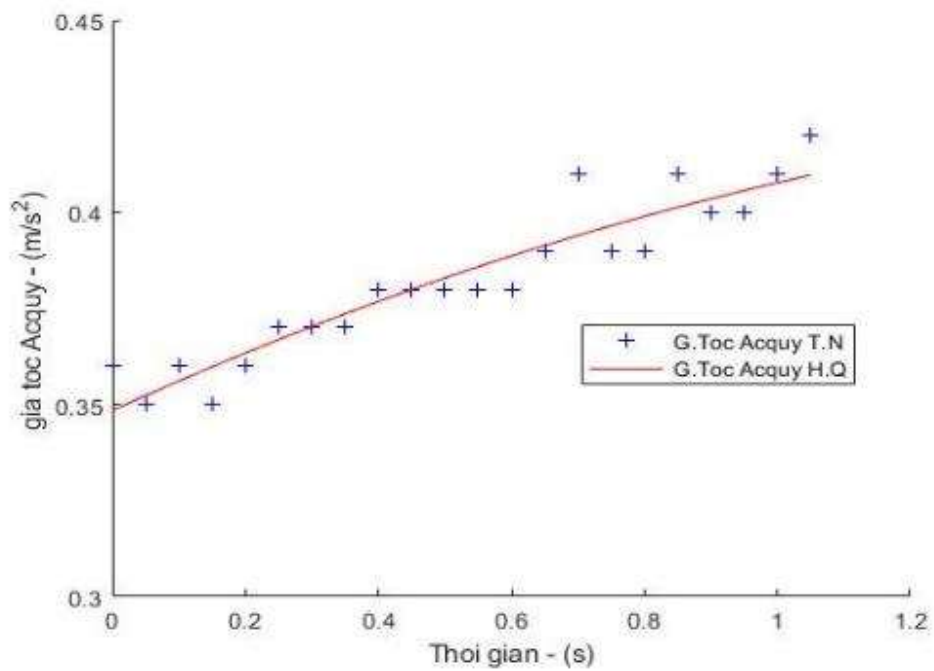
Hình 4.10: Vận tốc của robot và gia tốc của cụm acquy trong quá trình thực nghiệm robot leo lên cầu thang theo thời gian



Hình 4.11: Đồ thị biểu diễn góc φ khi robot leo lên cầu thang trong quá trình thực nghiệm (φ_{TN}) và tính toán theo mô hình lý thuyết (φ_{LT})

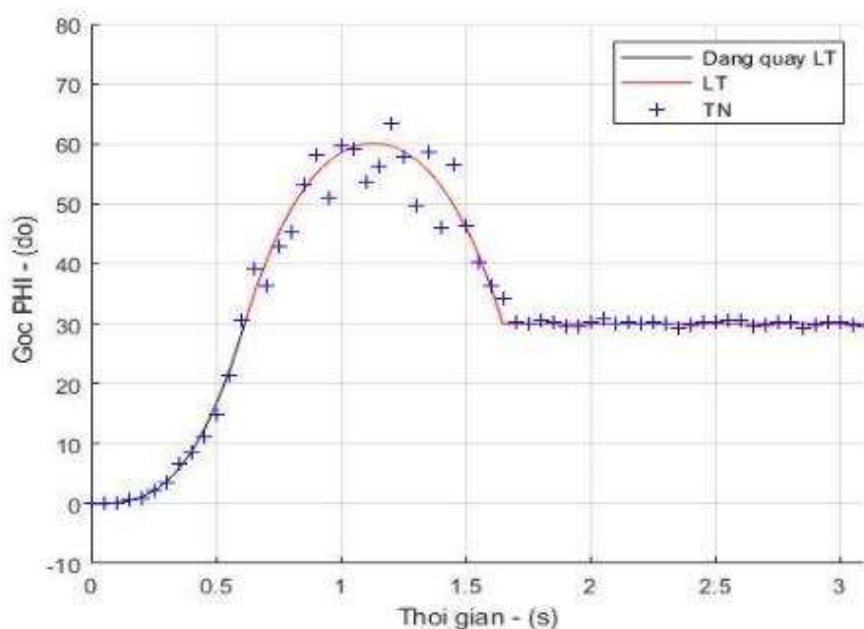


(a)



(b)

Hình 4.12: Vận tốc của robot và gia tốc của cụm acquy trong quá trình thực nghiệm robot leo xuống cầu thang theo thời gian



Hình 4.13: Đồ thị biểu diễn góc φ khi robot xuống cầu thang trong quá trình thực nghiệm (φ_{TN}) và tính toán theo mô hình ý thuyết (φ_{LT})

Từ số liệu ở bảng 4.1 và bảng 4.2, nhận thấy dãy giá trị φ_{TN} và φ_{LT} có hệ số tương quan là 0,98 (hình 4.10÷ hình 4.13). Điều này chứng tỏ mô hình động lực học của robot chữa cháy khi leo lên leo xuống cầu thang có xét tới va đập gây ra hiện tượng lật có độ tin cậy cần thiết và phù hợp với thực tế. Từ kết quả so sánh giữa kết quả thực nghiệm góc lật của robot chữa cháy với góc lật của robot chữa cháy theo mô hình khảo sát lý thuyết đã xây dựng trong chương 3, cho thấy mô hình lý thuyết đã xây dựng có thể chấp nhận được.

Kết luận chương 4

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm, luận án rút ra một số kết luận sau:

1. Luận án đã xây dựng được phương pháp nghiên cứu thực nghiệm xác định động lực học của robot khi va đập với bậc cầu thang trong quá trình di chuyển (leo cầu thang) dẫn tới khả năng lật của robot, lựa chọn được thiết bị đo, cảm biến đo, phương pháp xử lý số liệu thí nghiệm.

2. Từ kết quả thí nghiệm xác định được góc nghiêng robot khi va chạm vào bậc cầu thang φ , ứng với các vận tốc khác nhau, độ nghiêng của bậc cầu thang và gia tốc thay đổi tọa độ trọng tâm của đối trọng khác nhau.

3. Luận án đã so sánh kết quả thực nghiệm với kết quả khảo sát theo mô hình tính toán lý thuyết, kết quả so sánh cho thấy dãy các giá trị này đều có hệ số tương quan $> 0,8$ điều đó chứng tỏ mô hình tính toán theo lý thuyết là chấp nhận được.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Trên cơ sở của những nghiên cứu lý thuyết, và thực nghiệm về động lực học và điều khiển robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp, luận án rút ra một số kết luận sau quả sau:

1. Bằng các phương pháp nghiên cứu trong lý thuyết động lực học đã xây dựng được mô hình, thiết lập phương trình động lực học cho robot leo cầu thang khi chưa xét tới động lực học do va đập với cầu thang. Từ kết quả này, đã đề xuất hệ thống điều khiển truyền động cho động cơ nhằm đảm bảo khả năng di chuyển của robot khi đi trên đường bằng, leo cầu thang (vượt chướng ngại vật).

2. Đã xây dựng được mô hình, thiết lập được phương trình động lực học của robot tương tác với bậc cầu thang trong quá trình di chuyển lên, xuống cầu thang, đề xuất cơ cấu chống lật thông qua thuật toán điều khiển vị trí đối trọng, khảo sát hệ phương trình động lực học xác định được:

- Giá trị tối ưu của góc leo robot (góc nghiêng phía trước mặt xích) là $\gamma = 45^\circ$;
- Ảnh hưởng của các giá trị (góc dốc cầu thang β , góc leo robot γ , vận tốc lớn nhất robot $V_{\max}$ và gia tốc của đối trọng a_Q) tới khả năng bị lật của robot;
- Các cặp giá trị tương ứng, với mỗi các giá trị góc dốc của bậc cầu thang β và góc leo robot γ với vận tốc leo lớn nhất của robot $V_{\max}$, thì cần giá trị gia tốc tương ứng của cụm ác quy a_Q để robot không bị lật.

3. Thiết lập được mối quan hệ giữa các đại lượng góc nghiêng φ là hàm của gia tốc đối trọng a_Q . Kết quả này tạo thuận lợi để thiết lập thuật toán điều khiển đối trọng chống lại hiện tượng lật của robot khi va chạm với cầu thang.

4. Luận án đã xây dựng được bảng xác định giá trị giới hạn vận tốc của robot chữa cháy khi di chuyển lên xuống cầu thang trong quá trình hoạt động chữa cháy (bảng 3.3), kết quả này là cơ sở xác định chế độ sử dụng an toàn cho robot chữa cháy công trình công nghiệp.

5. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng mô hình tính toán lý thuyết cho thấy hệ số tương quan r giữa dãy các giá trị góc nghiêng φ dẫn tới hiện tượng lật của mô hình tính toán lý thuyết và kết quả thực nghiệm đều thỏa mãn $r > 0,8$, điều đó chứng tỏ mô hình tính toán theo lý thuyết phù hợp với thực tế có độ tin cậy cần thiết. Bảng nghiên cứu thực nghiệm và

lý thuyết đã sử dụng được vận tốc lớn nhất của khi xuống cầu thang $V_{\max} = 0,45$ (m/s) và khi lên $V_{\max} = 2,8$ (m/s) ứng với độ dốc cầu thang $\beta=30^0$ và gia tốc thay đổi cụm ắc quy (đôi trọng) tương ứng là $a_Q = 0,4$ (m/s²) và $a_Q = 1$ (m/s²)

2. Kiến nghị

Do thời gian nghiên cứu có hạn, đề tài hoàn thiện cần tiếp tục nghiên cứu một số nội ngoài phạm vi nghiên cứu của luận án như sau :

1. Nghiên cứu mô hình động lực học của robot chữa cháy công trình công nghiệp khi leo lên cầu thang có kéo theo cuộn vòi chữa cháy.
2. Nghiên cứu mô hình động lực học của robot chữa cháy khi vừa leo lên cầu thang vừa quay vòng chuyển hướng, vừa kéo cuộn vòi chữa cháy.

CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN ĐÃ CÔNG BỐ

1. Hoàng Sơn, **Nguyễn Xuân Nguyên**, Nguyễn Phạm Thục Anh, Nguyễn Thị Huyền (2023). *Nghiên cứu động lực học robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp trong quá trình leo cầu thang*. Tạp chí khoa học và công nghệ Lâm nghiệp, số 2(2023), ISSN: 189-3828

2. Son Hoang, Anh Nguyen Pham Thuc, **Nguyen Xuan Nguyen** (2023). *Designing and Control Track-Belt Robot for Firefighting Task*. 2023 7th International Conference on Robotics and Automation Sciences, Electronic ISBN: 979-8-3503-1356-7, DOI: 10.1109/ICRAS57898.2023.10221617

3. Hoang Son, Vu Khac Bay, Nguyen Pham Thuc Anh, **Nguyen Xuan Nguyen**, Hoang Ha, Nguyen Thai Van (2024). *Research on the overturning phenomenon of firefighting and rescue crawler robots when climbing up and down stairs*. International Journal of Intelligent Robotics and Applications, ISSN (Print): 2366-5971, DOI:org/10.1007/s41315-024-00394-3.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- 1/9. Lê Quang Bôn, (2024), “*Nghiên cứu công nghệ, thiết kế và chế tạo thử nghiệm robot chữa cháy cho công trình công nghiệp*”, mã số ĐTDL.CN-98/21, Đề tài độc lập cấp quốc gia, Cục thông tin khoa học công nghệ quốc gia.
- 2/10. Đỗ Sanh, (2005), *Cơ học – Tập 2 – Động lực học*, NXB Thống kê.
3. Nguyễn Hứa Cẩn, Phạm Quốc Thịnh, Phạm Minh Thái, Nguyễn Văn Tài, Lê Thị Vàng (2004), *Lý thuyết ô tô máy kéo*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
4. Tăng Quốc Nam (2020), “*Chế tạo robot vận chuyển trong các khu vực cách ly có nguy cơ lây nhiễm cao*”. Đề tài cấp quốc gia, Cục thông tin khoa học công nghệ quốc gia.
5. Nguyễn Đức Ánh (2022), “*Nghiên cứu chế tạo robot tìm kiếm mục tiêu dưới nước hỗ trợ công tác cứu nạn, cứu hộ*”, Đề tài cấp Bộ Công An.
6. Dương Thị Thuỳ Vân, TS. Hán Thành Trung, TS Vũ Trí Viễn (2021), “*Nghiên cứu, thiết kế chế tạo robot khử khuẩn CD 1.0*”. Đề tài cấp cơ sở, Trường Đại học Tôn Đức Thắng
7. Nguyễn Trọng Doanh; Nguyễn Ngọc Đạt. *Nghiên cứu động học và mô phỏng robot nhện bốn chân*. Cơ khí Việt Nam - 2018 - ISSN.0866-7056

Tiếng Anh

8. Wells P, Deguire D (2005). *TALON: A Universal Unmanned Ground Vehicle Platform, Enabling the Mission to Be the Focus*. Proceeding of the SPIE, Orlando, FL. 5804: 747-757.
9. Frost T, Norman C, Pratt S, Yamauchi B (2002). *Derived Performance Metrics and Measurements Compared to Field Experience for the PackBot*. Proceedings of the PerMIS Workshop, Gaithersburg, MD, USA. pp. 201-208.
10. Yamauchi B (2004). *PackBot: A Versatile Platform for Military Robotics*. Proceedings of SPIE-Unmanned Ground Vehicle Technology VI, Orlando, FL. 5422: 228-237.
11. Ben-Tzvi P, Ito S, Goldenberg A A (2007). *Autonomous Stair Climbing with Reconfigurable Tracked Mobile Robot*. IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments, Ottawa, Canada. pp. 1-6.

12. Yoneda K, Ota Y, Hirose S (2001). *Development of a Hi-Grip Stair Climbing Crawler with Hysteresis Compliant Blocks*. Proceedings of 4th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR), Karlsruhe, Germany. pp. 569-576.
13. Birk A, Carpin S (2001). *Rescue Robotics a Crucial Milestone on the Road to Autonomous Systems*. Advanced Robotics Journal. 20(5): 595-576.
14. Murphy R R (2004). *Human-Robot Interaction in Rescue Robotics*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews. 34(2): 138-153.
15. Liu Y, Liu G (2009). *Track-Stair Interaction Analysis and Online Tipover Prediction for a Self-Reconfigurable Tracked Mobile Robot Climbing Stairs*. IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS. 14(5): 528-538.
16. Liu J, Wang Y, Ma S, Li B (2005). *Analysis of Stairs-climbing Ability for a Tracked Reconfigurable Modular Robot*. Proceeding of IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, Kobe, Japan. pp. 53-58.
17. Vu Q H, Kim B S, Song J B (2008). *Autonomous Stair Climbing Algorithm for a Small Four-Tracked Robot*. International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, Korea. pp. 2356-2360
18. Magda Judith Morales Tavera, Omar Lengerke, Max Suell Dutra, Elkin Yesid Veslin Diaz. *Navigation and sensing system on a firefighting robot*. ABCM Symposium Series in Mechatronics, Section VII – Robotics, 2012.
19. Pengcheng Liu, Hongnian Yu, Shuang Cang, Luige Vladareanu. *Robot-Assisted Smart Firefighting and Interdisciplinary Perspectives*. Proceedings of the 22nd International Conference on Automation & Computing, University of Essex, Colchester, UK, 7-8 September 2016.
20. Chee Fai Tan et al. *Fire Fighting Mobile Robot: State of the Art and Recent Development*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(10): 220-230, 2013.
21. Sandip Gupta Farogh Ahmad S. Sundar and Shanmugasundaram M. “*Manually controlled enhanced wireless intelligent fire fighting robot*”. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol.12, no.21, 2017.
22. Jon Hastie, Ben Jacobs Chris Martell, Tim Parker Amir Talako, *Development of a New Arm For The Foster-Miller TALON Robot*, Department of Mechanical, Industrial and

- Manufacturing Engineering College of Engineering, Northeastern University Boston, MA 02115 December 8, 2005.
23. Haijun Mo Ping Huang Shaowei Wu, *Study on Dynamic Stability of a Tracked Robot Climbing over an Obstacle or Descending Stairs*, College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, 510640, China mohj@scut.edu.cn.
 24. Harada, K.; Kajita, S.; Kaneko, K. & Hirukawa, H. (2006). *Dynamics and Balance of a Humanoid Robot during Manipulation Tasks*, IEEE Transaction on Robotics, 2006, vol. 22, no. 3, pp. 568-575.
 25. Sugahara, Y.; Carbone, G.; Hashimoto, K.; Ceccarelli, M.; Lim, H. & Takanishi, A. (2007). *Experimental Stiffness Measurement of WL-16RII Biped Walking Vehicle during Walking Operation*, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 19, No. 3, Jun. 2007, pp. 272-280.
 26. Nakajima, S.; Nakano, E.; & Takahashi, T.; (2007). *Motion Control Technique for Practical Use of a Leg-Wheel Robot on Unknown Outdoor Rough Terrains*, Proceedings of IEEE/RSJ International conference on Intelligent Robots and Systems, vol.1, (Month 2004), pp. 1353-1358
 27. Altendorfer, R.; Moore, E.Z.; Komsuoglu, H.; Buehler, M.; Brown, H.; McMordie, D.; Saranli, U.; Full, R. & Koditschek, D.E. (2001). *A Biologically Inspired Hexapod Runner*, Autonomous Robots, Vol. 11, (month 2001), pp. 207 – 213
 28. Matsumoto, O.; Kajita, S.; Saigo, M. & Tani, K; (1999). *Biped-type leg-wheeled robot*, Advanced Robotics, 13(3), Oct. 1999, pp.235-236.
 29. Stoeter A. Sascha; Rybski E. Paul; Gini Maria & Papanikolopoulos Nikolao (2002). *Autonomous Stair-Hopping with Scout Robots*, Proceedings of the IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems, pp.721-726, 2002
 30. Murphy R. Robin (2000). *Biomimetic Search for Urban Search and Rescue*, Proceedings of the IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems, pp. 2073-2078, Takamatsu Japan, October 2000
 31. Yim M.; Duff D. & Roufas K. (2000). *Modular Reconfigurable Robots, An Approach To Urban Search and Rescue*, Proceedings of 1st International Workshop on Humanfriendly Welfare Robotic Systems, pp.69-76

32. Krishna M.; Bares J. & Mutschler Ed, (1997). *Tethering System Design for Dante II*, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1100-1105
33. Granosik, G.; Hansen, M. & Borenstein, J. (2005). *The OmniTread Serpentine Robot for Industrial Inspection and Surveillance*, International Journal of Industrial Robots, No. 32, Vol.2, 139–148
34. Tsukagoshi H.; Sasaki M.; Kitagawa A. & Tanaka T. (2005). *Design of a higher jumping rescue robot with the optimized pneumatic drive*. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1288-1295
35. Kan Taguchi, Hisataka Satoh (1997). *A Study of the Wheel-Foot Mechanism for Stair Climbing*. Journal of the Robotics Society of Japan Vol. 15 No. 1, pp. 118-123. DOI <https://doi.org/10.7210/jrsj.15.118>.
36. Arai, M.; Tanaka, Y.; Hirose, S.; Tsukui, S. & Kuwahara, H. (2006). *Improved Driving Mechanism for Connected Crawler Vehicle “Souryu-IV” for in Rubble Searching Operations*. Proceedings of IEEE International Workshop on Safety Security and Rescue Robotics (SSRR2006), pp. TUE-AM 1-1, August 2006, Washington, USA.
37. Tanaka, Y.; Arai, M.; Hirose, S. & Tsukui, S. (2006). *Development of “Souryu-V” with MonoTread-Crawlers and Elastic-Rods Joint*. Proceedings of IEEE International Workshop on Safety Security and Rescue Robotics (SSRR2006), pp. TUE-AM 1-1, Washington, USA.
38. Miyanaka, H.; Wada, N.; Kamegawa, T.; Sato, N.; Tsukui, S.; Igarashi, H. & Matsuno, F. (2007). *Development of a unit type robot “KOHGA2” with stuck avoidance ability*, Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3877–3882. Roma, Italy.
39. Takayama T. & Hirose S. (2000). *Development of Souryu-I: Connected Crawler Vehicle for Inspection of Narrow and Winding Space*, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON-2000), pp.143-149

40. Granosik, G.; Hansen, M. & Borenstein, J. (2005). *The OmniTread Serpentine Robot for Industrial Inspection and Surveillance*. International Journal of Industrial Robots, No. 32, Vol.2, 139–148
41. Weijun Tao, Yi Ou and Hutian Feng (2012). *Research on Dynamics and Stability in the Stairs-Climbing of a Tracked Mobile Robot*. International Journal of Advanced Robotic Systems. 2012, Vol. 9, DOI: 10.5772/52850
42. Haijun Mo, Ping Huang, Shaowei Wu, (2005). *Study on Dynamic Stability of a Tracked Robot Climbing over an Obstacle or Descending Stairs*. Proceedings of the Third IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications (DELTA'06) 0-7695-2500-8/05 © IEEE

Website:

43. Nguyên mẫu robot rồng bay dập lửa trong một buổi thử nghiệm. *Ảnh: Akita Prefectural Universit*. https://vnexpress.net/robot-rong-bay-phun-nuoc-chua-chay-4692159.html?utm_source=chatgpt.com
44. <https://daihocpccc.bocongan.gov.vn/2020/04/13/9-robot-chua-chay-hien-dai-nhat-the-gioi>
45. Cận cảnh robot Colossus. (*Ảnh: Shark Robotics*). <https://vtcnews.vn/may-bay-khong-nguoi-lai-robot-cuu-hoa-dap-dam-chay-tai-nha-tho-duc-ba-ra-sao-ar469873.html>
46. Nguồn ảnh: VOV. <https://doanhnghiepvn.vn/quoc-te/viet-nam-dang-so-huu-xe-phong-chay-chua-chay-uu-viet-the-nao/20190906111838049>
47. <https://www.nguoiduatin.vn/ngam-nhin-nhung-thiet-bi-pcccnch-tan-tien-tai-ha-noi-204617919.htm>

PHỤ LỤC

**Hình ảnh thực nghiệm với cầu thang thực tế tại trường Cao đẳng Công nghệ
Bách Khoa Hà Nội**



Chương trình điều khiển động cơ

```
//Tiền lùi là CH3
// Trái phải là CH4
// nút nhấn TRÁI còi CH5
// Đèn 1 là CH6 SWA
// Đèn 2 là CH7 SWD
// VR A là điều khiển đôi trọng CH8
// VR B là điều khiển vòi phun CH9
int rc1, motor1; //biến cho động cơ 1
int rc2, motor2; //biến cho động cơ 2
int rc3, motor3; // biến cho động cơ 3
int rc4, motor4; // biến cho động cơ 4
int t1, t2;
int v1;
int v2;
int coi,den1,den2; //biến còi, đèn 1 và đèn 2
void setup() {
  analogWrite(3,255);
  analogWrite(4,255);
  digitalWrite(10,HIGH);
  digitalWrite(11,HIGH);
  digitalWrite(12,HIGH);
  pinMode(2,INPUT);//Nhận tín hiệu từ tay đk động cơ 1
  pinMode(5,INPUT);//Nhận tín hiệu từ tay đk động cơ 2
  pinMode(6,INPUT);// Nhận tín hiệu từ tay đk đèn 1
  pinMode(7,INPUT); // Nhận tín hiệu từ tay đk đèn 2
  pinMode(13,INPUT); // Nhận tín hiệu từ tay đk điều khiển còi
  pinMode(22,INPUT); // Nhận tín hiệu từ tay đk điều khiển đôi trọng
  pinMode(24,INPUT); // Nhận tín hiệu từ tay đk điều khiển vòi phun
  pinMode(3,OUTPUT); //PWM1 Động cơ 1
```

```

pinMode(4,OUTPUT); // PWM2 Động cơ 2
pinMode(8,OUTPUT); //Chân điều khiển chiều động cơ 1
pinMode(9,OUTPUT); //Chân điều khiển chiều động cơ 2
pinMode(10,OUTPUT); //Chân điều khiển còi
pinMode(11,OUTPUT); //điều khiển đèn 1
pinMode(12,OUTPUT); //điều khiển đèn 2
pinMode(26,OUTPUT); //điều khiển động cơ đối trọng
pinMode(28,OUTPUT); //điều khiển động cơ đối trọng
pinMode(30,OUTPUT); //điều khiển động cơ vòi phun
pinMode(32,OUTPUT); //điều khiển động cơ vòi phun
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
rc1=pulseIn(2,HIGH);
motor1=map(rc1,994,1988,0,256);
rc2=pulseIn(5,HIGH);
motor2=map(rc2,994,1988,0,256);
rc3=pulseIn(22,HIGH);
motor3=map(rc3,994,1988,0,255);
rc4=pulseIn(24,HIGH);
motor4=map(rc4,994,1988,0,255);
den1=pulseIn(6,HIGH); //đọc chân số 6
den2=pulseIn(7,HIGH); // đọc chân số 7
coi=pulseIn(13,HIGH); //đọc chân số 13
//Serial.print("buoc: ");
//Serial.println(den1);
//delay(100);
//điều khiển đối trọng
//Tiến đối trọng
if(motor3>135)

```

```

{
rc3=pulseIn(22,HIGH);
motor3=map(rc3,994,1988,0,255);
digitalWrite(26,HIGH);
digitalWrite(28,LOW);
}
//lùi đổi trọng
if((motor3<115)&&(motor3>0))
{
rc3=pulseIn(22,HIGH);
motor4=map(rc4,994,1988,0,255);
digitalWrite(26,LOW);
digitalWrite(28,HIGH);
}
//stop đổi trọng
if((motor3<135)&&(motor3>115))
{
rc3=pulseIn(22,HIGH);
motor3=map(rc3,994,1988,0,255);
digitalWrite(26,LOW);
digitalWrite(28,LOW);
}
//điều khiển vòi phun
//Tiến vòi phun
if(motor4>135)
{
rc4=pulseIn(24,HIGH);
motor4=map(rc4,994,1988,0,255);
digitalWrite(30,HIGH);
digitalWrite(32,LOW);

```

```

    }
    // hạ vòi phun
    if((motor4<115)&&(motor4>0))
    {
rc4=pulseIn(24,HIGH);
motor4=map(rc4,994,1988,0,255);
digitalWrite(30,LOW);
digitalWrite(32,HIGH);
    }
    //stop vòi phun
    if((motor4<135)&&(motor4>115))
    {
rc4=pulseIn(24,HIGH);
motor4=map(rc4,994,1988,0,255);
digitalWrite(30,LOW);
digitalWrite(32,LOW);
    }
    //điều khiển đèn 1
    if((den1<1200)&&(den1>0))
    {
digitalWrite(11,HIGH);
    }
    if((den1>1200))
    {
digitalWrite(11,LOW);
    }
    if((den1==0))
    {
digitalWrite(11,HIGH);
    }

```

```

//điều khiển đèn 2
if((den2<1200)&&(den2>0))
{
digitalWrite(12,HIGH);
}
if((den2>1200))
{
digitalWrite(12,LOW);
}
if((den2==0))
{
digitalWrite(12,HIGH);
}
// còi
if((coi<1200)&&(coi>0))
{
digitalWrite(10,HIGH);
}
if((coi>1200))
{
digitalWrite(10,LOW);
}
if((coi==0))
{
digitalWrite(10,HIGH);
}
//Tiến
if(motor1>135)
{
rc1=pulseIn(2,HIGH);

```

```

motor1=map(rc1,994,1988,0,256);
digitalWrite(8,HIGH);
digitalWrite(9,LOW);
v1=382-motor1;
analogWrite(3,v1);
analogWrite(4,v1);
    }
    // Lùi
    if((motor1<115)&&(motor1>0))
    {
rc1=pulseIn(2,HIGH);
motor1=map(rc1,994,1988,0,256);
digitalWrite(8,LOW);
digitalWrite(9,HIGH);
v1=127+motor1;
    analogWrite(3,v1);
    analogWrite(4,v1);
    }
//stop
if((motor1<135)&&(motor1>115)&&(motor2<135)&&(motor2>115))
{
    v1=255;
    v2=255;
    analogWrite(3,255);
    analogWrite(4,255);
}
/*
if((motor2<135)&&(motor2>115))
{
    v1=255;

```

```

    v2=255;
    analogWrite(3,255);
    analogWrite(4,255);
}
*/

if((motor1<0)&&(motor2<0))
{
    v1=255;
    v2=255;
    analogWrite(3,255);
    analogWrite(4,255);
}

    // Xoay trái
    if(motor2>135)
    {
        rc2=pulseIn(5,HIGH);
        motor2=map(rc2,994,1988,0,256);
        digitalWrite(8,HIGH);
        digitalWrite(9,HIGH);
        v2=382-motor2;
        analogWrite(3,v2);
        analogWrite(4,v2);
    }
    // xoay phải
    if((motor2<115)&&(motor2>0))
    {
        rc2=pulseIn(5,HIGH);
        motor2=map(rc2,994,1988,0,256);
        digitalWrite(8,LOW);
        digitalWrite(9,LOW);
        v2=127+motor2;
        analogWrite(3,v2);
        analogWrite(4,v2);
    }

```

}

Chương trình mô phỏng Matlab

Khai Báo Tham Số

%% Parameters

m=50; %kg;

mg=500; %kgf

L=0.7; %Meter

La=0.350;

Lc=0.350;

Kapa=0.17; %Meter

h=0.085; %Meter

Theda=45*pi/180; %Radian theda=35*pi/180 theo đúng với mình chọn

r=0.1; %Meter

ti=0.01;

D=15.16*pi/180;

Muu=0.56;

Eff=0.5;

G=60;

V_rated=35; %Volts

T_stall_rated=1.13;

n_noload_rated=3380;

Bb=0.279; %Meter

V=20; %Volts

%% Relationship of parameters

T_stall=T_stall_rated*V/V_rated;

n_noload=n_noload_rated*V/V_rated;

w_noload=n_noload*2*pi/60;

t_a=0.2;

a_noload=w_noload/t_a;

w_slope=-w_noload/T_stall;

```

a_slope=-a_noload/T_stall;
I=22;
j=1;
%% Preallocate for speed
i_final=1500;
B=zeros(1,i_final);
DeltaL=zeros(1,i_final);
L_1=zeros(1,i_final);
L_2=zeros(1,i_final);
L_T=zeros(1,i_final);
N_c=zeros(1,i_final);
Na=zeros(1,i_final);
Rr3=zeros(1,i_final);
Tm1=zeros(1,i_final);
Tm2=zeros(1,i_final);
d2A_dt2=zeros(1,i_final);
d2B_dt2=zeros(1,i_final);
d2Q_dt2=zeros(1,i_final);
d2x_dt2=zeros(1,i_final);
d2y_dt2=zeros(1,i_final);
dA_dt=zeros(1,i_final);
dB_dt=zeros(1,i_final);
dx_dt=zeros(1,i_final);
dy_dt=zeros(1,i_final);
q=zeros(1,i_final);
time=zeros(1,i_final);
w=zeros(1,i_final);
w_max=zeros(1,i_final);
%%
Động Lực Học

```

```

%%% PART 1
i=1;
time(i)=0;
B(i)=0.001; %Radian D
dB_dt(i)=0;
w(i)=0; %Guess W
X(i)=0;
y(i)=0;
dx_dt(i)=0;
dy_dt(i)=0;
d2Q_dt2(i)=0;
L_2(i)=L/2;
L_T(i)=0.02;
L_1(i)=L/2;
d2A_dt2(i)=0;
dA_dt(i)=0;
DeltaL(i)=0;
DDD(i)=0;
check(i)=0;
while(B(i)<D)
    error=1;
    Tm2(i)=(1/w_slope)*w(i)+T_stall;
    Tm1(i)=Tm2(i);
    while((error>0.001)|| (error<-0.001))
        w_max(i)= Tm2(i)*w_slope+w_noload;
        if(w(i)<(w_max(i))-20)
            d2Q_dt2(i+1)=(a_slope*Tm2(i))+a_noload;
            w(i+1)=d2Q_dt2(i+1)*ti+w(i);
        else
            w(i+1)= w_max(i);

```

```

d2Q_dt2(i+1)=(w(i+1)-w(i));
end
q(i)=(Kapa-L*sin(B(i))/tan(Theda+B(i)));
RR(i)=(Lc+Kapa-L*sin(B(i))-q(i)*tan(B(i))+cos(B(i))*q(i));
Na(i)=(220*Lc*cos(B(i))+q(i))/(cos(B(i))*L+q(i));
%Na(i)=mg*(Lc*cos(B(i)))/(cos(B(i))*L+q(i));
d2B_dt2(i) = (Na(i)*(-0.56*Kapa-L*cos(B(i))-
q(i))+mg*(Lc*cos(B(i))+q(i)))/(I+m*RR(i)^2);

d2x_dt2(i) = 1-(d2B_dt2(i))*((La).*sin(B(i))+h*cos(B(i)));
d2y_dt2(i) = +d2B_dt2(i)*(La*cos(B(i))-h*sin(B(i)));

N_c(i) =((-m*(d2x_dt2(i))+(G*Eff/r)*Tm2(i)*cos(Theda+B(i))-0.1*Na(i)))/
(sin(B(i)+Theda)+Muu*cos(B(i)+Theda));
Tm2(i) = (d2y_dt2(i)*m+mg-Na(i)-
N_c(i)*(0.1*sin(B(i)+Theda)+cos(B(i)+Theda)))/((sin(Theda+B(i))*G*Eff)/r);

error=(Tm2(i)-Tm1(i))/Tm2(i);
Tm2(i)=Tm1(i)+Tm2(i)*error/4;
Tm1(i)=Tm2(i);

end

dB_dt(i+1)= d2B_dt2(i)*ti+dB_dt(i);
B(i+1)=B(i)+dB_dt(i)*ti+0.5*d2B_dt2(i)*ti^2;
dx_dt(i+1)=-d2x_dt2(i)*ti+dx_dt(i);
X(i+1)=X(i)+dx_dt(i)*ti+0.5*d2x_dt2(i)*ti^2;
dy_dt(i+1)=d2y_dt2(i)*ti+dy_dt(i);
y(i+1)=y(i)+dy_dt(i)*ti+0.5*d2y_dt2(i)*ti^2;
time(i+1)=time(i)+ti;
time(i+1)=time(i)+ti;

```

```

L_2(i)=L/2;
L_T(i)=0.01;
L_1(i)=L/2;
d2A_dt2(i)=0;
dA_dt(i)=0;
i=i+1;

```

```
end
```

```

i_end(j)=i-1;
j=j+1;
BB1=B(i(end)-1);
BB2=B(i(end));
E = 35*pi/180;

```

```
%% Part 2
```

```

while(BB1<BB2&&BB2<E)
    error=1;
    Tm2(i)=(1/w_slope)*w(i)+T_stall;
    Tm1(i)=Tm2(i);
    while((error>0.001)|| (error<-0.001))
        w_max(i)=Tm2(i)*w_slope+w_noload;
        if(w(i)<(w_max(i)))
            d2Q_dt2(i+1)=(a_slope*Tm2(i))+a_noload;
            w(i+1)=d2Q_dt2(i+1)*ti+w(i);
        else
            w(i+1)=w_max(i);
            d2Q_dt2(i+1)=(w(i+1)-w(i));
        end
        q(i)=(L*cos(B(i))-Kapa/tan(B(i)));
        RR(i)=((Lc-q(i)/cos(B(i)))^2+ (L/2*sin(B(i))+h*cos(B(i))- Kapa)^2)^0.5;
    end
end

```

```

MM(i)=(L*cos(B(i))-h*sin(B(i)))-Muu*(Lc*sin(B(i))+h*cos(B(i)));
NN(i)=(cos(B(i))+Muu*sin(B(i)))*(Lc*cos(B(i))-q(i));
MMM(i)=(sin(B(i))+Muu*cos(B(i)))*(h*sin(B(i))+h*sin(B(i))+Lc*sin(B(i))-
Kapa);
Na(i)=220*(NN(i)+MMM(i))/(MMM(i)+NN(i)+MM(i));
d2B_dt2(i) = (Na(i)*(Muu*(Lc*sin(B(i))+h*cos(B(i)))-(L*cos(B(i))-
q(i)))+mg*(L/2*cos(B(i))))/(I+m*RR(i)^2);
d2x_dt2(i) = +2- (d2B_dt2(i))*((La).*sin(B(i))+h*cos(B(i)));
d2y_dt2(i) = d2B_dt2(i)*(La*cos(B(i))-h*sin(B(i)));
N_c(i) =
(1/(sin(B(i))+Muu*cos(B(i))))*((m*(d2x_dt2(i)))+(G*Eff/r)*Tm2(i)*cos(B(i))-
Muu*Na(i)));
Tm2(i) = (d2y_dt2(i)*m+mg-Na(i)-N_c(i)*(cos(B(i))-
Muu*sin(B(i))))/((sin(B(i))*G*Eff)/r);
error=(Tm2(i)-Tm1(i))/Tm2(i);
Tm2(i)=Tm1(i)+Tm2(i)*error/4;
Tm1(i)=Tm2(i);
end

w(i+1)=d2Q_dt2(i)*ti+w(i);
w_max(i)=Tm2(i)*w_slope+w_noload;
if(w(i)<(w_max(i)))
    d2Q_dt2(i+1)=(a_slope*Tm2(i))+a_noload;
    w(i+1)=d2Q_dt2(i+1)*ti+w(i);
else
    w(i+1)=w_max(i);
    d2Q_dt2(i+1)=(w(i+1)-w(i));
end

dB_dt(i+1)=d2B_dt2(i)*ti+dB_dt(i);
B(i+1)=B(i)+dB_dt(i)*ti+0.5*d2B_dt2(i)*ti^2;

```

```

dx_dt(i+1)=-d2x_dt2(i)*ti+dx_dt(i);
X(i+1)=X(i)+dx_dt(i)*ti+0.5*d2x_dt2(i)*ti^2;
dy_dt(i+1)=d2y_dt2(i)*ti+dy_dt(i);
y(i+1)=y(i)+dy_dt(i)*ti+0.5*d2y_dt2(i)*ti^2;
time(i+1)=time(i)+ti;
time(i+1)=time(i)+ti;
L_2(i)=L/2;
L_T(i)=0.02;
L_1(i)=L/2;
BB2=B(i(end));
i=i+1;
end
i_end(j)=i-1;
j=j+1;
%% Part 3
L_2(i)=L_2(i(end)-1);
L_2(i)=L/2*cos(B(i));
L_T(i)=0.01;
L_1(i)=0;
B(i)=35*pi/180;
while(L_2(i-1)>0)
    error=1;
    Tm2(i)=(1/w_slope)*w(i)+T_stall;
    Tm1(i)=Tm2(i);
    while((error>0.001)|| (error<-0.001))
        w_max(i)=Tm2(i)*w_slope+w_noload;
        if(w(i)<(w_max(i)))
            d2Q_dt2(i+1)=(a_slope*Tm2(i))+a_noload;
            w(i+1)=d2Q_dt2(i+1)*ti+w(i);
        else

```

```

w(i+1)=w_max(i);
d2Q_dt2(i+1)=(w(i+1)-w(i));
end
d2A_dt2(i+1)=(r/60)* d2Q_dt2(i);
dA_dt(i)=r*w(i)/60;
L_T(i)=L_T(i-1)+dA_dt(i)*ti+0.5*d2A_dt2(i)*ti^2;
L_1(i)=L/2+L_T(i);
L_2(i)=L/2-L_T(i);
d2y_dt2(i)=(r/60)* d2Q_dt2(i)-sin(B(i))*d2A_dt2(i);
d2x_dt2(i)=cos(B(i))*d2A_dt2(i)-dA_dt(i)*sin(B(i));
Na(i)=mg*(L_2(i))/(L/2*cos(B(i))*(cos(B(i))-
Muu*sin(B(i))))+Kapa*(Muu*cos(B(i))+sin(B(i))));
N_c(i)=mg+m*d2y_dt2(i)-Na(i)*(cos(B(i))-Muu*sin(B(i)))-
Tm2(i)*(G*Eff/r)*sin(B(i));

Tm2(i)=(m*d2x_dt2(i)+Muu*N_c(i)+(Muu*cos(B(i))+sin(B(i)))*Na(i))/(G*(Eff/r))
*cos(B(i));
error=(Tm2(i)-Tm1(i))/Tm2(i);
Tm2(i)= Tm1(i)+Tm2(i)*error/4;
Tm1(i)=Tm2(i);
end
time(i+1)=time(i)+ti;
w(i+1)=d2Q_dt2(i)*ti+w(i);
d2B_dt2(i)=0;
dB_dt(i+1)=d2B_dt2(i)*ti+dB_dt(i);
B(i+1)=35*pi/180;
dx_dt(i+1)=d2x_dt2(i)*ti+dx_dt(i);
X(i+1)=X(i)+dx_dt(i)*ti+0.5*d2x_dt2(i)*ti^2;
dy_dt(i+1)=d2y_dt2(i)*ti+dy_dt(i);
y(i+1)=y(i)+dy_dt(i)*ti+0.5*d2y_dt2(i)*ti^2;

```

```

    i=i+1;
end
i_end(j)=i-1;
j=j+1;

```

Vẽ Đồ Thị

```

%% Plot
subplot(5,2,1)
plot(time(i),B(i))
xlabel('t(sec)')
ylabel('B(rad)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Angle')

```

```

subplot(5,2,2)
plot(time(i),d2B_dt2(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel('d2B_dt2(rad/t^2)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Acceleration of Beta')

```

```

subplot(5,2,3)
plot(time(i), w(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel('w (rad/s)')
if(time(max(i))>time(min(i)))

```

```

xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Motor Speed')

```

```

subplot(5,2,4)
plot(time(i), d2x_dt2(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel(' d2x_dt2(m/s^2)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Acceleration of X at center of mass')

```

```

subplot(5,2,5)
plot(time(i), d2Q_dt2(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel('d2Q_dt2 (rad/s^2)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Motor Acceleration')

```

```

subplot(5,2,6)
plot(time(i),d2y_dt2(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel('d2y_dt2 (m/s^2)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Acceleration of Y at center of mass')

```

```

subplot(5,2,7)

```

```

plot(time(i), Tm2(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel('Tm2 (Nm)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Motor Torque')

```

```

subplot(5,2,8)
plot(time(i), Na(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel('Na (N)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Normal Force at A')

```

```

subplot(5,2,9)
plot(time(i),(Tm2(i).*w(i)));
xlabel('t(sec)')
ylabel('P_T (W)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Power')

```

```

subplot(5,2,10)
plot(time(i), N_c(i));
xlabel('t(sec)')
ylabel('N_c (N)')
if(time(max(i))>time(min(i)))
xlim([time(min(i)) time(max(i))])
end
title('Normal Force at c')

```