

**BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ**



NGUYỄN TRỌNG QUỲNH

**NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ HYBRID ĐỂ ĐIỀU
KHIỂN VÀ GIÁM SÁT ROBOT CÔNG NGHIỆP**

LUẬN VĂN THẠC SĨ
CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:
TS. NGUYỄN TRỌNG CÁC

HẢI DƯƠNG – NĂM 2018

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan các kết quả nghiên cứu đưa ra trong khóa luận tốt nghiệp này là các kết quả thu được trong quá trình nghiên cứu của riêng tôi với sự hướng dẫn của TS. Nguyễn Trọng Các, không sao chép bất kỳ kết quả nghiên cứu nào của các tác giả khác.

Nội dung nghiên cứu có tham khảo và sử dụng một số thông tin, tài liệu từ các nguồn tài liệu đã được liệt kê trong danh mục các tài liệu tham khảo.

Nếu sai tôi xin chịu mọi hình thức kỷ luật theo quy định.

Hải Dương, ngày 20 tháng 7 năm 2018

Tác giả luận văn

Nguyễn Trọng Quỳnh

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	
DANH MỤC CÁC BẢNG	
DANH MỤC CÁC HÌNH	
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ HYBRID	4
VÀ ROBOT CÔNG NGHIỆP	4
1.1. Công nghệ hybrid	4
1.1.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước, trong nước	4
1.1.2. Ứng dụng công nghệ hybrid trong công nghiệp	7
1.2. Robot công nghiệp	7
1.2.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước, trong nước	7
1.2.2. Ứng dụng Robot trong công nghiệp	10
1.3. Phân loại Robot	13
1.3.1. Phân loại theo bộ điều khiển	13
1.3.2. Phân loại robot theo nguồn dẫn động	14
1.4. Định hướng nghiên cứu của đề tài	15
CHƯƠNG II: NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ ROBOT CÔNG NGHIỆP	18
2.1. Cấu tạo của robot công nghiệp	18
2.1.1. Sơ đồ khối robot công nghiệp	18
2.1.2. Tay máy (manipulator)	19
2.1.3. Bậc tự do của tay máy	19
2.1.4. Tay máy tọa độ vuông góc	21
2.1.5. Tay máy tọa độ trụ	21
2.1.6. Tay máy tọa độ cầu	22
2.1.7. Tay máy toàn khớp bản lề và SCARA	22
2.1.8. Cổ tay máy	22
2.2. Động học và động lực học của Robot Scara	23
2.2.1. Bài toán động học	23
2.2.2. Bài toán động lực học	32
2.3. Bộ điều khiển robot	40
2.3.1. Đặt vấn đề	40
2.3.2. PLC FX3U-40MT	40
2.3.3. Bộ DRIVER và động cơ SERVO YASKAWA SGDM-02ADA	49
CHƯƠNG III: LẮP ĐẶT, THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ	58
3.1. Sơ đồ kết nối servo	58
3.1.1. Đấu với nguồn 1 pha	58
3.1.2. Đấu với nguồn 3 pha	59

3.2. Sơ đồ đấu dây ở 3 chế độ điều khiển	60
3.2.1. Chế độ điều khiển tốc độ.....	60
3.2.2. Chế độ điều khiển vị trí.....	61
3.2.3. Chế độ điều khiển momen	62
3.3. Cài đặt thông số, vị trí cho Driver	62
3.4. Màn hình HMI NB7W-TW00B Omron.....	67
3.4.1. Kết nối HMI với PC.....	67
3.4.2. Thao tác với màn hình NB7 và phần mềm NB-designer.....	67
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	88
TÀI LIỆU THAM KHẢO	71

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2. 1. Tham số động học của Robot	28
Bảng 2. 2. Thông số động lực học Robot SCARA.	33

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1. 1. Robot công nghiệp trong công nghệ gia công và lắp ráp.....	11
Hình 1. 2. Robot trong các quá trình hàn và nhiệt luyện	12
Hình 1. 3. Robot công nghiệp trong công nghiệp đúc – rèn	12
Hình 1. 4. Robot trong nhà máy sản xuất.....	13
Hình 1. 5. Một dạng robot gấp đặt	13
Hình 1. 6. Một loại robot sơn thực hiện đường dẫn liên tục.	14
Hình 1. 7. Một loại robot sử dụng động cơ servo.	14
Hình 1. 8. Một loại robot sử dụng nguồn khí nén.	15
Hình 1. 9. Một loại robot di động sử dụng nguồn thủy lực.	15
Hình 2. 1. Sơ đồ khối robot công nghiệp	18
Hình 2. 2. Chuyển hệ tọa độ i sang j	24
Hình 2. 3. Mô hình Robot nối tiếp n khâu	25
Hình 2. 4. Biểu diễn các tham số Denavit-Hartenberg	26
Hình 2. 5. Sơ đồ động học của Robot SCARA 4 bậc tự do	28
Hình 2. 6. Sơ đồ động lực học Robot SCARA	34
Hình 2. 7. Đầu dây sink (-, NPN).....	42
Hình 2. 8. Đầu dây source (+, PNP)	42
Hình 2. 9. không có chân SS (đầu dây sink (-)).....	42
Hình 2. 10. Ngõ ra là relay (MR).....	42
Hình 2. 11. Ngõ ra là transistor (MT)	42
Hình 2. 12. Ngõ ra là transistor (MT)	43
Hình 2. 13. Sơ đồ điều khiển hệ thống.....	49
Hình 2. 14. Servo YASKAWA SGDM	50
Hình 2. 15. Động cơ servo được kết hợp cơ khí	50
Hình 2. 16. Động cơ servo	51
Hình 2. 17. Bộ Driver Động cơ servo	51
Hình 2. 18. Tín hiệu điều khiển động cơ servo	52
Hình 2. 19. Điều khiển động cơ servo chế độ mạch vòng kín	52
Hình 2. 20. Các mạch vòng điều khiển	53
Hình 2. 21. Bộ mã hóa xung vòng quay.....	54
Hình 2. 22. Cấu trúc vật lý bộ mã hóa xung vòng quay.....	55
Hình 2. 23. Chiều quay bộ mã hóa xung vòng quay.....	55
Hình 2. 24. Pha Z bộ mã hóa xung vòng quay.....	56
Hình 2. 25. Bộ mã hóa tuyệt đối	56
Hình 2. 26. Động cơ servo có bộ mã hóa tuyệt đối.....	56
Hình 3. 1. Sơ đồ kết nối servo đấu với nguồn 1 pha.....	58

Hình 3. 2. Sơ đồ kết nối servo đối với nguồn 3 pha.....	59
Hình 3. 3. Sơ đồ kết nối servo chế độ điều khiển tốc độ	60
Hình 3. 4. Sơ đồ kết nối servo chế độ điều khiển vị trí.....	61
Hình 3. 5. Sơ đồ kết nối servo chế độ điều khiển momen	62
Hình 3. 6. Giao diện phần mềm Sigma Win	62
Hình 3. 7. Giao diện mở phần mềm Sigma Win.....	63
Hình 3. 8. Chọn động cơ trên phần mềm Sigma Win	63
Hình 3. 9. Chọn thông số động cơ trên phần mềm Sigma Win	64
Hình 3. 10. Giao diện điều chỉnh thông số động cơ trên phần mềm Sigma Win	64
Hình 3. 11. Cài đặt thông số điều khiển vị trí trên phần mềm Sigma Win	65
Hình 3. 12. Cài đặt thông số encoder trên phần mềm Sigma Win.....	65
Hình 3. 13. Cài đặt kiểu pha encoder trên phần mềm Sigma Win.....	66
Hình 3. 14. Cài đặt phần mềm Sigma Win hoàn tất.....	66
Hình 3. 15. HMI kết nối với PC.....	67
Hình 3. 16. HMI kết nối với PC Thông qua cáp nạp GPW – CB03.....	67
Hình 3. 17. Mở phần mềm NB-designer.....	68
Hình 3. 18. PLC kết nối với HMI	68
Hình 3. 19. Tạo liên kết giữa PLC và HMI qua cổng truyền thông RS485.....	68
Hình 3. 20. Trở về giao diện HMI và bắt đầu Viết giao diện	69
Hình 3. 21. Robot trong quá trình lắp đặt	69
Hình 3. 22. Lắp mạch điều khiển cho Robot	70
Hình 3. 23. Chạy thử và hiệu chỉnh robot	70

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Theo Quyết định số 66/2014/QĐ-TTg ngày 25/11/2014 của Thủ Tướng chính phủ về việc phê duyệt danh mục công nghệ cao được ưu tiên đầu tư phát triển. Trong đó, công nghệ thiết kế, chế tạo robot là một trong các danh mục được ưu tiên đầu tư phát triển. Tại diễn đàn Kinh tế thế giới diễn ra tại Davos (Thụy Sĩ) ngày 05/2/2017. Thủ tướng nhấn mạnh, trước những thách thức mới, Việt Nam đang tập trung cơ cấu lại nền kinh tế, đổi mới mô hình tăng trưởng để tranh thủ cơ hội của cuộc Cách mạng Công nghệ 4.0. Xu hướng cách mạng công nghiệp 4.0 bao gồm tất cả những phát triển liên quan đến công nghiệp, đặc biệt công xưởng gắn liền với kỹ thuật số và sự xuất hiện của những người máy robot trên những dây chuyền sản xuất. Ngày 11/4/2017, Diễn đàn cách mạng công nghiệp lần thứ 4 do Bộ Công thương tổ chức đã diễn ra tại Khách sạn Melia, Hà Nội. Thứ trưởng khẳng định: Cách mạng 4.0 đang trong giai đoạn khởi phát. Nếu định hướng rõ ràng mục tiêu và cách thức tiếp cận thì cách mạng 4.0 sẽ là cơ hội quý báu mà Việt Nam tranh thủ đẩy nhanh tiến trình CNH, HĐH và sớm thực hiện được mục tiêu trở thành nước công nghiệp theo hướng hiện đại.

Thực hiện chủ trương, định hướng của Bộ Công Thương. Trường Đại học Sao Đỏ cũng đã tích cực đổi mới mô hình nhằm gắn đào tạo, nghiên cứu khoa học với doanh nghiệp. Đây cũng là một trong những nhiệm vụ của ngành Công Thương trong việc xây dựng mô hình 3 bên Nhà trường – Doanh nghiệp – Chính phủ về phát triển kỹ năng và đẩy mạnh công nghiệp hóa tại Việt Nam.

Cùng với đà phát triển công nghiệp hóa và hiện đại hóa tại Việt Nam, ứng dụng Robot trong ngành công nghiệp đang ngày càng trở nên phổ biến bởi tính linh hoạt và hiệu quả của nó. Các doanh nghiệp ở Việt Nam cũng chú trọng đầu tư dùng robot trong nhiều khâu sản xuất nhờ những ưu điểm vượt trội thay thế cho con người như độ chính xác cao, độ an toàn và độ bền đáp ứng được yêu cầu chất lượng cao trong sản xuất. Robot đem lại năng suất lao

động cao, giảm chi phí nguyên vật liệu và các dạng năng lượng tiêu thụ, nâng cao chất lượng và giảm giá thành sản phẩm, do đó tạo khả năng cạnh tranh cao hơn trong thị trường quốc tế. Mặt khác, Robot giải phóng con người khỏi lao động chân tay, giúp xã hội văn minh hơn, nâng cao được dân trí trong tổ chức các quá trình sản xuất và tổ chức xã hội. Chính vì vậy nghiên cứu điều khiển chuyển động Robot là vấn đề rất cấp thiết hướng tới làm chủ cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đang được các nhà khoa học rất quan tâm.

Lĩnh vực điều khiển Robot rất phong phú, từ các phương pháp điều khiển truyền thống như PID, phương pháp tính mô men, phương pháp điều khiển trượt đến các phương pháp điều khiển thông minh như điều khiển sử dụng mạng nơ ron, logic mờ, thuật gen và các phương pháp điều khiển tự thích nghi, các phương pháp học cho Robot, các hệ visual servoing,...

Robot hiện đang được nhiều khách hàng Việt Nam biết đến và đã cung cấp các giải pháp ứng dụng “cánh tay máy” cho nhiều nhà máy trong nước như hệ thống sơn, vận chuyển cho hệ thống dây chuyền dập vỏ ô tô cắt laze, cắt plasma, Robot bốc và xếp cho các dây chuyền...Do đó tác giả lựa chọn đề tài “Nghiên cứu, ứng dụng công nghệ Hybrid để điều khiển và giám sát robot công nghiệp”.

2. Mục đích nghiên cứu của đề tài

- Nghiên cứu, chế tạo robot công nghiệp trong lĩnh vực bốc, xếp hàng hóa cho các dây chuyền tự động.
- Tài liệu phục vụ nghiên cứu và chế tạo robot.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài

Robot công nghiệp trong lĩnh vực bốc, xếp hàng hóa

4. Phương pháp nghiên cứu của đề tài

- Nghiên cứu lý thuyết: Trên cơ sở nghiên cứu, phân tích các tài liệu ở trong và ngoài nước, đề xuất hướng nghiên cứu và chế tạo robot.
- Thực nghiệm: Chế tạo phần cơ khí, lắp đặt phần điện, thực nghiệm điều khiển và giám sát robot

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Đề tài thuộc lĩnh vực nghiên cứu giải pháp điều khiển robot công nghiệp trong lĩnh vực bốc, xếp hàng hóa cho các dây chuyền tự động; nghiên cứu lý thuyết kinh điển và ứng dụng vào thực tế. Từ các kết quả nghiên cứu của đề tài cho thấy có thể ứng dụng để điều khiển robot công nghiệp bốc, xếp hàng hóa trong thực tiễn. Đồng thời kết.

6. Kết cấu luận văn

Kết cấu luận văn gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về công nghệ Hybrid và robot công nghiệp

Chương 2: Nghiên cứu, thiết kế robot công nghiệp

Chương 3: Lắp đặt thực nghiệm và đánh giá kết quả

Kết luận và kiến nghị

Tài liệu tham khảo

CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ HYBRID VÀ ROBOT CÔNG NGHIỆP

1.1. Công nghệ hybrid

1.1.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước, trong nước

1.1.1.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Robot bốc xếp hiện nay được quan tâm và phát triển bởi các hãng sản xuất như Fuji, ABB, Puma, TMI,... [12], [13], [14], [15]. Các robot bốc xếp gần đây đều dựa trên cấu hình lai, có các thanh điều khiển lên/xuống (up/down) và vào/ra (in/out) riêng biệt. Các cánh tay này được kết nối liên động với nhau theo 1 cơ cấu song song để dẫn động vị trí và góc hướng của đầu công. Với cấu hình lai, trọng lượng của cánh tay sẽ được cân bằng cơ học bởi các cơ cấu phụ, cho phép tiêu tốn ít năng lượng và giảm sức ép lên các khớp, bạc đạn, điểm trụ và giá đỡ trên sàn. Fuji cho biết sản phẩm loại này của hãng giảm từ 50% tới 200% công suất tiêu thụ với năng suất bốc xếp tăng tới 1.600 bao/giờ. Đó là lý do để cơ cấu lai thay thế cho các cơ cấu nối tiếp như trước đây [12].

Một số công trình nghiên cứu về robot bốc xếp kiểu lai về xây dựng và giải các bài toán động học [16], [17], [18], [19], [25], động lực học [20], [21], [26], [27] để tạo cơ sở cho việc tính toán thiết kế và điều khiển robot bốc xếp [22], [23], [24], [25], [26], [27]. Bên cạnh đó là các nghiên cứu nhằm giảm thiểu công suất vận hành, lực tác động trên các trục [20], [21], [22]. Việc phân tích động lực học cho robot kiểu lai không thể sử dụng các giải pháp truyền thống cho các robot nối tiếp [16], [20], [21]. Một số nghiên cứu đề xuất và phát triển các cách tiếp cận khác nhau để mô phỏng và phân tích động lực học cho robot bốc xếp. Để đơn giản hoá việc thiết lập các phương trình động học, các tác giả [17] đã xem cấu trúc song song của robot như một thành phần đơn nguyên và thay thế thành phần này bằng cấu trúc tandem (kiểu như xe đạp cho 2 người đạp), sau đó áp dụng các phương trình D'Alembert để xác định các phương trình động học thuận và ngược. Các tác giả [19] đã tiến hành phân tích động học cho robot lai 4 bậc tự do, xác định bằng mô phỏng Matlab các tham số vị trí, vận tốc, gia tốc và không gian làm việc tối đa. Các tác giả [20] đã xây dựng một mô hình toán kinetostatic khi sử dụng lý thuyết D'Alembert để chuyển đổi hệ thống lực quán tính tức thời thành hệ tĩnh và tính toán lực cho mỗi trục cho robot ở tư thế bất kỳ. Các công trình nêu trên thực hiện với khớp lên/xuống và vào/ra loại quay.

Các tính toán thiết kế cụ thể phục vụ chế tạo robot bốc xếp kiểu lai do tính bảo mật công nghệ nên không có tài liệu công bố. Để thiết kế và chế tạo một robot bốc xếp có cấu hình lai, nhóm tác giả đã nghiên cứu, phân tích các bài toán động học và động lực học cho một robot bốc xếp có cấu hình tương tự robot của hãng

Fuji với một số cải tiến về truyền động. Cấu hình robot bốc xếp kiểu lai được thiết kế có các khớp chuyển động R và Z là các khớp trượt (x_1 và y_4). Các khớp trượt sẽ hạn chế việc quay ngược và rung lắc của cơ cấu, giá thành rẻ, dễ bôi trơn, dễ thay thế, độ bền cao, phù hợp cho ứng dụng bốc xếp.

[46], [47] đã trình bày việc áp dụng các phương pháp nguyên lý công ảo, phương trình Lagrange dạng nhân tử (công nghệ hybrid) để giải bài toán động lực học robot song song. Trong bài báo này áp dụng phương pháp tách cấu trúc để thiết lập phương trình vi phân đại số của các robot song song. Sau đó trình bày việc tính toán so sánh hai phương pháp giải bài toán động lực học ngược robot song song

Nhiều công trình nghiên cứu về rô bốt di động tập trung vào việc giải quyết bài toán điều khiển chuyển động. [48], [49], [50], [51] đã thiết kế các bộ điều khiển tương ứng mà chúng đã tích hợp mô hình động học có ràng buộc nonholonomic với mô hình động lực học của rô bốt di động. Ở đó, các tác giả đã giả sử điều kiện ràng buộc nonholonomic (các bánh xe chỉ có chuyển động lăn mà không trượt) luôn được đảm bảo. Tuy nhiên, trong thực tế, không phải lúc nào điều kiện ràng buộc nonholonomic cũng luôn được thỏa mãn. Ràng buộc nonholonomic phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như độ căng của lốp, độ trơn của mặt sàn, độ phẳng của địa hình, ... Khi đó, nếu muốn giải quyết bài toán điều khiển chuyển động thì động học, động lực học trượt phải được tính đến khi thiết kế bộ điều khiển cho rô bốt di động. Trong [52], các tác giả đã phát triển một mô hình động học suy rộng mà ở đó đã chứa đựng các loại trượt khác nhau như trượt dọc, trượt ngang, trượt quay. Trong [53], điều khiển lực ngang đã được đề xuất bằng các bộ điều khiển lực và vị trí, trong đó các yếu tố trượt đã được tính đến. Trong [54], các tác giả giới thiệu một bộ điều khiển bền vững để bám theo quỹ đạo bằng cách tích hợp vào động học trượt vào động học rô bốt di động bánh xe dưới dạng các hàm và tính ổn định được kiểm chứng bằng toán tử Lie. Trong [55], các tác giả đã xây dựng mô hình động lực học rô bốt di động bánh xe mà ở đó đã chứa đựng động lực học trượt ngang. Sau đó, mô hình động lực học này được sử dụng để thiết kế bộ lập quỹ đạo và bộ điều khiển để cho phép dẫn đường (navigation) có hiệu quả rô bốt di động trong điều kiện có trượt ngang

Hai thuật toán điều khiển tuyến tính kinh điển được áp dụng trên robot hai bánh là LQR và PID. Hai thuật toán này đều cho kết quả tốt nhưng việc hiệu chỉnh các thông số rất khó khăn, nhất là bộ điều khiển PID [56]. Để khắc phục nhược điểm này, đã có nhiều nghiên cứu về bộ tự chỉnh thông số bộ điều khiển tuyến tính và cho kết quả rất khả quan [57], [58], [59]. Mặc dù cho kết quả như mong muốn, nhưng việc thiết kế bộ điều khiển tuyến tính còn gặp một khó khăn đó là mô hình toán và thông số của robot này rất phức tạp, khó xác định. Bộ điều khiển mờ là bộ điều khiển thông minh được thiết kế chủ yếu dựa vào kinh nghiệm về đối tượng nên nó tỏ ra khá phù hợp khi áp dụng vào robot hai bánh.

1.1.1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Trong [1], các bài toán động học và động lực học được xây dựng trên cơ sở phân tích mô hình hình học và phương pháp Lagrange. Nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm MATLAB để xây dựng chương trình và xác định các lực moment trên trục động cơ trong quá trình chuyển động của robot. Một thuật toán tối ưu hóa (PSI) được áp dụng để tối ưu hóa cấu hình thiết kế của robot trong vùng không gian và thông số làm việc cho trước. Dựa trên cấu hình tối ưu hóa thiết kế, các kết quả mô phỏng động lực học của tay máy được khảo sát và đánh giá. Các kết quả tối ưu hóa thiết kế được xác định với tiêu chí tối ưu về moment trên trục động cơ. Các kết quả này chưa xét đến bài toán tối ưu về hiệu suất vận hành và không gian làm việc. Các kết quả lý thuyết và thực nghiệm thu được minh chứng việc xây dựng công cụ để phân tích động lực học, tối ưu hoá thiết kế và mô phỏng đem lại hiệu quả thiết thực.

[2] đã chứng minh phương pháp hybrid (kết hợp GA và Pareto) có kết quả tối ưu tương đương trong trường hợp chỉ dùng tập hợp tối ưu Pareto thuần túy. Các kết quả này đã được kiểm chứng khi tiến hành tối ưu đa tiêu chí. Phương pháp hybrid này cho phép giảm thiểu thời gian tối ưu kém hiệu quả do việc chọn lựa cấu hình thiết kế ban đầu không phù hợp với vùng không gian khảo sát. Khi tối ưu hóa thiết kế theo đa tiêu chí có số bước khảo sát lớn, thời gian tính toán có thể mất đến hàng trăm giờ. Khi đó, phương pháp kết hợp GA-Pareto có thể giảm thiểu một khoảng thời gian tính toán đáng kể. Đồng thời, phương pháp này giúp nhà thiết kế không gặp phải khó khăn trong việc chọn lựa một cấu hình thiết kế ban đầu phù hợp khi áp dụng bài toán dùng PSI và tập hợp tối ưu Pareto trong vùng không gian khảo sát bất kỳ. Các kết quả tối ưu đa tiêu chí được xác định với các ràng buộc về vị trí B_i , giới hạn góc khớp. Tuy nhiên, các kết quả này chưa xét đến các yếu tố về động lực học, độ cứng vững và các điểm kỳ dị của tay máy song song. Các vấn đề này sẽ được trình bày ở các công trình tiếp theo.

[3] đã đề xuất phương pháp hybrid (sử dụng thuật toán bền vững kết hợp kỹ thuật cuộn chiếu) trong chuyển động bám quỹ đạo của robot khi các thông số động lực học không xác định trước. Sự ổn định của hệ thống động lực học kín được chứng minh theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov. Tính hiệu quả của thuật toán đề xuất được xác nhận lại bằng các kết quả mô phỏng trên MatLab/Simulink cho thấy Robot Planar đã bám sát quỹ đạo đặt trong thời gian yêu cầu. Phương pháp đề xuất có thể được sử dụng cho các Robot có số bậc tự do lớn hơn và các tác nghiệp linh hoạt hơn.

[4] sử dụng phương pháp hybrid (kết hợp giữa dsPIC30f4011 và động cơ servo một chiều) để điều khiển robot tự cân bằng hai bánh đồng trục. Các tác giả đã thiết kế, chế tạo robot tự cân bằng hai bánh với bộ điều khiển trung tâm là dsPIC30f4011 của hãng MicroChip. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm (Các

thuật toán điều khiển đứng, tiến, lùi và đổi hướng đã làm việc tốt) trên mô hình thật đã được thực hiện phù hợp với phương pháp đề xuất.

[5] đã xây dựng được phương pháp hybrid bằng cách thiết kế mạng neural – fuzzy thích nghi cho robot đa hướng bám quỹ đạo chứa nhiều thông số bất định. Mạng NFN trong nghiên cứu này có thể xấp xỉ gần đúng hệ thống phi tuyến. Tất cả các luật học cập nhật thích nghi trong mạng NFN bắt nguồn từ định lý ổn định Lyapunov, đảm bảo sự hội tụ và sự ổn định của hệ thống điều khiển. Xây dựng phương pháp này cho việc điều khiển các hệ phi tuyến mà không có mô hình toán rõ ràng. Kết quả này đặt cơ sở cho việc thiết kế mạng NFN thích nghi có cấu trúc động cho hệ thống phi tuyến nhiều ngõ vào và ngõ ra (MIMO) sau này

1.1.2. Ứng dụng công nghệ hybrid trong công nghiệp

- Công nghệ hybrid được sử dụng phổ biến trong ngành sản xuất ô tô như: Ford Escape Hybrid, Honda Insight, Civic Hybrid, Toyota Prius,... Năm 2016, Toshiba mất công nghệ Hybrid Inverter. Ngay lập tức, các dòng máy lạnh sở hữu công nghệ này trở thành sự lựa chọn hàng đầu của người tiêu dùng khi chọn mua máy lạnh

- Trong những năm gần đây việc ứng dụng công nghệ hybrid trong điều khiển robot đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu như: Robot bốc xếp, robot lai 4 bậc tự do, robot di động, Robot Planar, robot tự cân bằng hai bánh đồng trục,...

1.2. Robot công nghiệp

1.2.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước, trong nước

1.2.1.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Kỹ thuật mờ là một trong số những kỹ thuật tốt nhất để mô tả những hệ thống phi tuyến phức tạp và ít thông tin, đặc biệt là những hệ thống phi tuyến khó khăn trong việc mô tả bằng các công thức toán học hay có độ bất định cao. Hệ thống mờ thích nghi tĩnh [39] cũng được dùng để ước lượng đặc tính phi tuyến của hệ thống trong quá trình thiết kế bộ điều khiển. Sử dụng định lý xấp xỉ tổng quát [40], nhiều nhà nghiên cứu đã áp dụng lý thuyết mờ vào lĩnh vực điều khiển thích nghi cho hệ phi tuyến mà không cần biết trước mô hình của hệ. Mạng neuron mô phỏng chức năng của bộ não con người được biết đến như một công cụ có khả năng học và khả năng thích nghi rất lớn cũng như khả năng chịu đựng lỗi. Những nghiên cứu gần đây về mạng neuron đã cho phép đưa ra phương pháp hồi qui để cập nhật trọng số của mạng neuron. Theo lý thuyết xấp xỉ tổng quát [41], mạng neuron nuôi tiến đa lớp có thể xấp xỉ bất cứ một hàm phi tuyến liên tục nào với độ chính xác mong muốn tùy ý. Với khả năng học của mình, mạng nơ-rôn đã chứng tỏ là một công cụ rất hiệu quả trong nhiều lĩnh vực như điều khiển công nghiệp [42], [43], [44], xử lý ảnh, mô hình hóa và nhận dạng hệ thống [45].

Trong những năm gần đây, nghiên cứu về robot di động (mobile Robot) đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm. Trong đó, một vấn đề khó khăn là nghiên cứu điều khiển cân bằng robot hai bánh. Việc điều khiển cân bằng cho robot hai bánh có thể được ứng dụng để điều khiển cho robot đi bằng hai chân, như robot ASIMO vì nguyên tắc điều khiển cân bằng là như nhau. Có nhiều nghiên cứu về điều khiển cân bằng cho robot di động hai bánh, ví dụ như robot Murata Boy được phát triển tại Nhật bản năm 2005 [31]. Một số phương pháp được sử dụng để điều khiển cân bằng cho robot hai bánh là: cân bằng nhờ sử dụng một bánh đà, như trong các nghiên cứu của Beznos [32], Gallaspy năm 1999 [33], và Suprpto năm 2006 [34]; cân bằng bằng cách di chuyển tâm trọng lực của Lee và Ham năm 2006 [35] và cân bằng nhờ lực hướng tâm của Tanaka và Murakami năm 2004 [36]. Trong số các phương pháp đó, cân bằng nhờ sử dụng bánh đà có ưu điểm là đáp ứng nhanh và có thể cân bằng ngay cả khi robot không di chuyển.

Có nhiều thuật toán điều khiển đã được đề xuất như điều khiển phi tuyến [35], thiết kế bù bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận quỹ đạo gốc [33] và điều khiển PD [34]. Tuy nhiên, những thuật toán điều khiển đó không bền vững, robot không thể mang tải với các tải trọng biến đổi, và không thể làm việc trong môi trường có nhiễu loạn. Vì vậy các thuật toán điều khiển bền vững cho robot di động hai bánh là rất cần thiết. Lý thuyết điều khiển bền vững H_∞ là một lý thuyết điều khiển hiện đại cho việc thiết kế các bộ điều khiển tối ưu và bền vững cho các đối tượng điều khiển có thông số thay đổi hoặc chịu tác động của nhiễu bên ngoài. Tuy nhiên, trong phương pháp thiết kế H_∞ mà McFarlane và Glover lần đầu tiên đưa ra vào năm 1992 [37] và kể cả các nghiên cứu sau này về lý thuyết điều khiển H_∞ [38] bộ điều khiển thu được thường có bậc cao (bậc của bộ điều khiển được xác định là bậc của đa thức mẫu). Bậc của bộ điều khiển cao có nhiều bất lợi khi chúng ta đem thực hiện điều khiển trên robot, vì mã chương trình phức tạp, thời gian tính toán lâu nên đáp ứng của hệ thống sẽ bị chậm.

[60] đã thiết kế bộ điều khiển mờ và chạy thời gian thực trên chip vi điều khiển dsPIC30F2010 của hãng Microchip. Bộ điều khiển được thiết kế bằng công cụ Matlab/Simulink. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy robot đã cân bằng tốt. Tuy nhiên, nhóm tác giả chỉ thiết kế bộ điều khiển cân bằng góc nghiêng của robot. Tương tự, Cheng-Hao Huang và các cộng sự [61] đã thiết kế ba bộ điều khiển mờ để điều khiển cân bằng, vị trí và hướng của robot. Bộ điều khiển được thiết kế hoàn toàn bằng ngôn ngữ C và chạy thời gian thực trên chip FPGA. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển đã hoạt động ổn định và điều khiển tốt các thông số của robot. Tuy nhiên, việc thiết kế và thực thi bộ điều khiển khá phức tạp.

Việc thiết kế bộ điều khiển mờ tuy đã cho thấy nhiều ưu điểm so với thiết kế bộ điều khiển tuyến tính nhưng về chất lượng của đáp ứng chưa thể khẳng định

được ưu điểm. Vì thế, việc so sánh đáp ứng của các bộ điều khiển này đã được các nhà nghiên cứu quan tâm. Ahmad Nor Kasruddin Nasir và các cộng sự [62] đưa ra sự so sánh về đáp ứng của hai bộ điều khiển mờ và PID. Dựa vào kết quả mô phỏng, nhóm tác giả đã khẳng định bộ điều khiển mờ cho kết quả tốt hơn bộ điều khiển PID. Bộ điều khiển mờ cho ra luật điều khiển hai động cơ không quá giới hạn, giảm vọt lố, rút ngắn thời gian tăng so với bộ điều khiển PID. Một sự so sánh cũng đã được Amir A. Bature và các cộng sự [63] công bố tại hội nghị quốc tế về cơ khí và cơ điện tử. Trong đó, nhóm tác giả tiến hành thực nghiệm và so sánh đáp ứng của bộ điều khiển mờ với bộ điều khiển PID và LQR thay vì mô phỏng. Kết quả so sánh cũng cho thấy bộ điều khiển mờ cho đáp ứng nhanh, độ vọt lố thấp hơn nhưng tiêu thụ nhiều năng lượng hơn hai bộ điều khiển còn lại.

Trong [64], một bộ điều khiển thích nghi được đề xuất để điều khiển bám đường cong và lực cho tay máy di động. Một mô hình toán học và một thuật toán thiết kế quỹ đạo cho các tay máy di động đã được đề xuất [65]

1.2.1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

[6] đã đưa ra các phương pháp di chuyển của robot dựa trên bài toán động học cũng như cách điều khiển các động cơ tương ứng với từng chuyển động. Tính mới lạ của phương pháp này là đưa ra các giải thuật điều khiển cụ thể áp dụng cho robot có chân. Thuật toán này sẽ khắc phục được những thiếu sót trong quá trình chuyển động của robot 6 chân nói riêng và robot có chân nói chung sử dụng 2 phương pháp đó là: phương pháp dựa trên phương trình Lagrange dạng nhân tử và phương pháp dựa trên phương trình vi phân thu gọn về tọa độ khớp chủ động. Sử dụng phương pháp dựa trên phương trình vi phân thu gọn về tọa độ khớp chủ động thì thời gian tính toán nhỏ hơn sử dụng phương pháp dựa trên phương trình Lagrange dạng nhân tử.

[8] đã thiết kế thuật toán điều khiển Robot tự hành bám theo quỹ đạo đặt một cách trơn chu và nhanh nhất khi Robot có tham số m, I là thay đổi (đây là trường hợp gặp thường xuyên trong thực tế khi điều khiển xe Robot tự hành có tương tác với các đối tượng), đồng thời cấu trúc của bộ điều khiển đơn giản để có thể nhúng trong vi xử lý tạo ra các bộ điều khiển thực tế. Thuật toán đề xuất có đặc tính chính đó là độ bền vững và hiệu quả chống lại sự thay đổi tham số khối lượng và mô men quán tính của robot. Bộ điều khiển được thiết kế chia làm 2 phần, phần 1 là bộ điều khiển động học phi tuyến và phần 2 là bộ điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu để đáp ứng việc bám theo các giá trị vận tốc tịnh tiến và vận tốc quay mong muốn. Các luật điều khiển đơn giản và tường minh đã dẫn đến sự đơn giản trong việc điều chỉnh các tham số để đạt được hiệu quả mong muốn bao gồm bám sai số và điều khiển các tín hiệu. Độ ổn định của hệ thống được thỏa mãn bởi việc lựa chọn hàm Lyapunov tương thích. Kết quả mô phỏng đã thể hiện được tính bền vững và hiệu quả của giải pháp này.

[9] đã xây dựng thành công mô hình động học, động lực học của rô bốt di động khi có trượt ngang. Trong các mô hình động học, động lực học đều chứa đựng động học, động lực học của trượt ngang. Sau đó, chúng tôi đã đề xuất một luật điều khiển theo phương pháp tuyến tính hóa phản hồi vào ra. Tính ổn định của luật điều khiển đã được kiểm chứng bằng Matlab-Simulink khi tiến hành mô phỏng cho rô bốt bám theo quỹ đạo thẳng và quỹ đạo tròn. Trong tương lai, chúng tôi sẽ khảo sát và thiết kế bộ điều khiển cho rô bốt di động khi vừa có trượt dọc, vừa có trượt ngang

[10] nhóm tác giả đưa ra đề nghị sử dụng bộ điều khiển tự chỉnh PID mờ để điều khiển. robot để tận dụng được thế mạnh của bộ điều khiển tuyến tính và bộ điều khiển thông minh. Bộ điều khiển đề nghị gồm hai vòng điều khiển. Vòng thứ nhất có cấu hình gồm hai nhánh đều sử dụng bộ điều khiển PD mờ. Nhánh thứ nhất sẽ tính toán góc tham chiếu cho bộ điều khiển cân bằng dựa vào vị trí tham chiếu để giúp robot bám được vị trí. Nhánh thứ hai sẽ cân bằng robot tại góc tham chiếu. Vòng điều khiển thứ hai là một bộ điều khiển PID tự chỉnh thông số điều khiển hướng của robot. Góc nghiêng của robot được đo bằng cảm biến tích hợp MPU6050 kết hợp với bộ lọc bù. Bộ điều khiển được chạy thời gian thực trên vi điều khiển 32-bit nhân ARM Cortex-M4 STM32F407VG của hãng STMicroelectronic. Để thiết kế và thực thi bộ điều khiển nhúng, nhóm tác giả phối hợp sử dụng Matlab/Simulink và hệ điều hành nhúng thời gian thực FreeRTOS.

[11] đã xây dựng mô hình động học và động lực học của hệ tích hợp rô bốt di động, pan tilt, camera. Sau đó đề xuất một phương pháp điều khiển mới. Sơ đồ điều khiển gồm hai vòng kín: vòng ngoài là vòng điều khiển động học, vòng trong là để điều khiển động lực học. Các thành phần bất định tham số được bù bằng một luật học online trong bộ điều khiển thích nghi. Tính ổn định tiệm cận của hệ thống được chứng minh bằng tiêu chuẩn Lyapunov.

1.2.2. Ứng dụng Robot trong công nghiệp

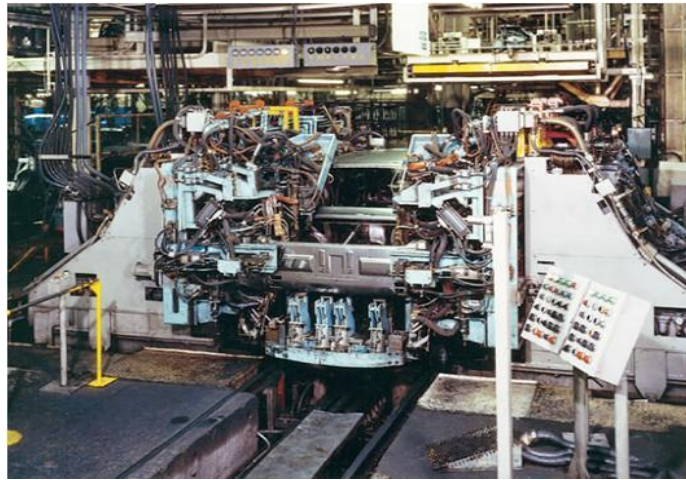
Các Robot nói chung được sử dụng rộng rãi với nhiều mục đích, trong nhiều lĩnh vực, từ các nhà máy, xí nghiệp lớn tới các công việc phục vụ trong sinh hoạt đời sống của con người. Robot có thể làm việc trong môi trường độc hại, nguy hiểm như trong các lò phản ứng hạt nhân, phóng xạ,...hay trong công việc thám hiểm không gian, thăm dò các hành tinh thuộc hệ Mặt trời. Trong sinh hoạt, có các Robot trợ giúp, phục vụ người già, cắt cỏ, lau nhà...

Đối với Robot công nghiệp nói riêng, mức độ ứng dụng của nó diễn ra mạnh mẽ và sâu rộng hơn cả. Hầu hết các dây chuyền tự động hoá sản xuất hiện đại đều có sự xuất hiện của Robot.

Các Robot công nghiệp được ứng dụng trong các lĩnh vực cụ thể sau:

a. Robot công nghiệp trong công nghệ gia công và lắp ráp

Độ chính xác định vị và thời gian là yếu tố quan trọng nhất khi thiết kế các Robot lắp ráp. Có nhiều dây chuyền tự động gồm các máy vận năng và Robot công nghiệp. Các dây chuyền đạt mức độ tự động hoá cao, tự động hoàn toàn không có sự tham gia của con người, rất linh hoạt và không đòi hỏi đầu tư lớn. Trong đó các máy và Robot trong dây chuyền được điều khiển bằng cùng một hệ thống chương trình. Đó là các dây chuyền lắp ráp ô tô, các sản phẩm điện tử (Hình 1.1). Yêu cầu hiện nay đối với các Robot công nghiệp loại này là nâng cao tính linh hoạt để đáp ứng nhiều loại công việc, hạ giá thành và dễ thích hợp với các sản phẩm loại nhỏ.



Hình 1. 1. Robot công nghiệp trong công nghệ gia công và lắp ráp

b. Robot công nghiệp trong các quá trình hàn và nhiệt luyện

Các quá trình này bao gồm các công việc nặng nhọc, độc hại, nhiệt độ cao. Hàn đường thường được thực hiện bằng tay. Tuy nhiên năng suất thấp do yêu cầu chất lượng bề mặt mỗi hàn liên quan đến các thao tác của đầu mỏ hàn với môi trường khắc nghiệt do khói và nhiệt độ phát ra trong quá trình hàn. Không giống kỹ thuật hàn điểm, ở đó mỗi hàn có vị trí cố định, mỗi hàn trong kỹ thuật hàn đường nằm dọc theo mối ghép giữa hai tấm kim loại. Những hệ thống hàn đường thực tế phụ thuộc vào con người trong việc kẹp chặt chính xác chi tiết được hàn và sau đó robot di chuyển dọc theo quỹ đạo được lập trình trước. Ưu điểm duy nhất so với hàn bằng tay là chất lượng mỗi hàn được ổn định. Người vận hành chỉ còn thực hiện một việc đơn giản là kẹp chặt các chi tiết (Hình 1.2).



Hình 1. 2. Robot trong các quá trình hàn và nhiệt luyện

c. Robot công nghiệp trong công nghiệp đúc – rèn, trong ngành gia công áp lực nơi mà điều kiện làm việc nặng nề, dễ gây mệt mỏi

Công việc rất đa dạng điều kiện làm việc khắc nghiệt, sản phẩm luôn thay đổi và đặc biệt là chất lượng của sản phẩm phụ thuộc quá nhiều vào quá trình thao tác. Robot có thể làm các công việc như: rót kim loại nóng chảy vào khuôn, lấy vật đúc ra khỏi khuôn. Ngày nay, ở nhiều nước trên thế giới, Robot được sử dụng rộng rãi để tự động hoá công nghệ đúc nhưng chủ yếu để phục vụ các máy đúc áp lực (Hình 1.3).



Hình 1. 3. Robot công nghiệp trong công nghiệp đúc – rèn

Ví dụ trong công nghệ rèn: Robot có thể thực hiện nhiều việc như: đưa phôi vào lò nung, vận chuyển phôi sau khi ra khỏi lò... So với các phương tiện cơ giới và tự động khác phục vụ các máy rèn dập thì dùng Robot có ưu điểm là nhanh, chính xác và cơ động hơn.

d. Robot công nghiệp trong nhà máy sản xuất

Trong sản xuất lớn, những robot này là những hệ thống được tự động hoá hoàn toàn: chúng đo đạc, cắt, khoan các thiết bị chính xác và còn có khả năng hiệu chỉnh các công việc của mình, hầu như ở đây không cần sự giúp đỡ của con người trừ chương trình điều khiển trong máy tính điện tử. Chỉ với vài người giám sát công

việc; các máy móc này có thể hoạt động suốt ngày đêm; các robot làm tất cả các công việc như vận chuyển sản phẩm từ công đoạn sản xuất này tới công đoạn sản xuất khác kể cả việc đưa và sắp xếp thành phẩm vào kho (Hình 1.4).



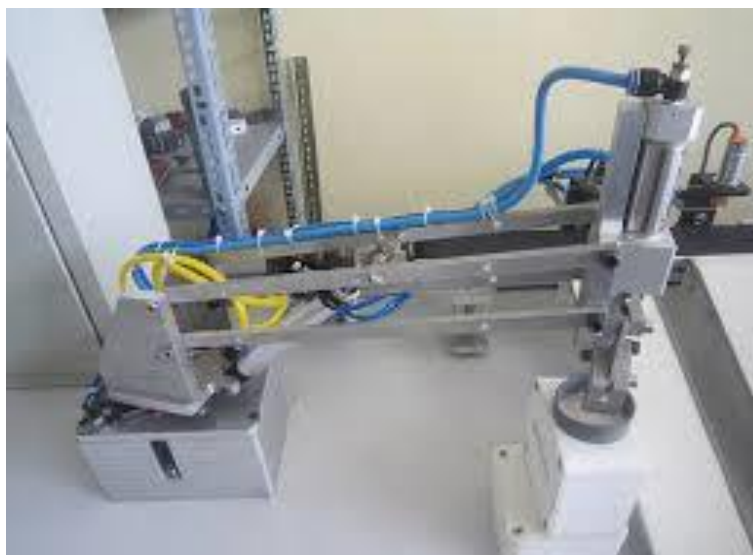
Hình 1. 4. Robot trong nhà máy sản xuất

1.3. Phân loại Robot

1.3.1. Phân loại theo bộ điều khiển

a. Robot gấp - đặt:

Robot này thường nhỏ và sử dụng nguồn dẫn động khí nén. Bộ điều khiển phổ biến là bộ điều khiển lập trình (PLC) để thực hiện điều khiển vòng hở. Robot hoạt động căn cứ vào các tín hiệu phản hồi từ các tiếp điểm giới hạn hành trình cơ khí đặt trên các trục của tay máy.



Hình 1. 5. Một dạng robot gấp đặt

b. Robot đường dẫn liên tục

Robot loại này sử dụng bộ điều khiển servo thực hiện điều khiển vòng kín. Hệ thống điều khiển liên tục là hệ thống trong đó robot được lập trình theo một

đường chính xác. Trong hệ thống điều khiển này, đường dẫn được biểu diễn bằng một loạt các điểm rời rạc gần nhau và được lưu vào bộ nhớ robot, sau đó robot sẽ thực hiện lại chính xác đường dẫn đó.



Hình 1. 6. Một loại robot sơn thực hiện đường dẫn liên tục.

1.3.2. Phân loại robot theo nguồn dẫn động

a. Robot dùng nguồn cấp điện

Nguồn điện cấp cho robot thường là DC để điều khiển động cơ DC. Hệ thống dùng nguồn AC cũng được chuyển đổi sang DC. Các động cơ sử dụng thường là động cơ bước, động cơ DC servo, động cơ AC servo. Robot loại này có thiết kế gọn, chạy êm, định vị rất chính xác. Các ứng dụng phổ biến là robot sơn, hàn.



Hình 1. 7. Một loại robot sử dụng động cơ servo.

b. Robot dùng nguồn khí nén

Hệ thống cần được trang bị máy nén, bình chứa khí và động cơ kéo máy nén. Robot loại này thường được sử dụng trong các ứng dụng có tải trọng nhỏ có tay máy là các xy-lanh khí nén thực hiện chuyển động thẳng và chuyển động quay. Do khí nén là lưu chất nén được nên robot loại này thường sử dụng trong các thao tác gấp đặt không cần độ chính xác cao.



Hình 1. 8. Một loại robot sử dụng nguồn khí nén.

c. Robot dùng nguồn thuỷ lực

Nguồn thuỷ lực sử dụng lưu chất không nén được là dầu ép. Hệ thống cần trang bị bơm để tạo áp lực dầu. Tay máy là các xy - lanh thuỷ lực chuyển động thẳng và quay động cơ dầu. robot loại này được sử dụng trong các ứng dụng có tải trọng lớn.



Hình 1. 9. Một loại robot di động sử dụng nguồn thuỷ lực.

1.4. Định hướng nghiên cứu của đề tài

Thuật ngữ “Robot” được nhắc đến lần đầu tiên trong vở kịch “Rossum’s Univesal Robot” của Karel Capek năm 1922. Năm 1961 robot công nghiệp đầu tiên được ứng dụng trong nhà máy lắp ráp ô tô của General Motor - USA. Từ năm 1970 đến nay đã có hơn 20 báo cáo chính thức về sứ mệnh chinh phục không gian của các robot được gửi đi để thám hiểm Hệ mặt trời.

Ngày nay công nghệ robot hầu như được áp dụng trên mọi lĩnh vực trong đời sống xã hội cũng như trong công nghiệp. Trong tương lai, robot có thể thay thế con người thực hiện các công việc phức tạp như điều khiển ô tô tham gia giao thông. Các robot hiện đại có cấu trúc đặc biệt có thể tự tách ra hoặc kết hợp lại để cùng phối hợp thực hiện nhiều tính năng khác nhau theo yêu cầu công nghệ.

Cùng với sự tiến bộ của kỹ thuật robot trên thế giới, công nghệ robot tại Việt Nam cũng có những bước đi đáng ghi nhận. Tính từ năm 2006, đã có nhiều bài báo trong nước và nước ngoài ghi nhận sự tiến bộ của kỹ thuật robot tại Việt Nam với nhiều đại diện như: Robot chiến trường của Học viện kỹ thuật quân sự, Robot hút bụi thông minh, Robot nhảy múa TOSY, Robot đánh bóng bàn TOPIO, đại diện cho Robocon Việt Nam đã đạt 05 huy chương vàng các giải Robocon quốc tế. Đến nay, nước ta đã nhập khẩu và triển khai nhiều robot phẫu thuật phục vụ điều trị cho các bệnh đòi hỏi cao về sự chính xác - như các ca phẫu thuật cột sống- tại các tuyến trung ương. Robot hàn, robot lắp ráp, robot phân loại và nhiều chủng loại robot công nghiệp khác cũng được đầu tư nghiên cứu nghiêm túc.

Cùng với sự phát triển của công nghệ sản xuất phần cứng và thuật toán điều khiển số, robot hiện đại không chỉ là một khối thiết bị cứng nhắc mà còn được trang bị các cảm biến như là các giác quan. “Haptic control” là thuật ngữ chỉ một mô hình điều khiển mà trong đó người điều khiển và thiết bị có tương tác trực tiếp hoặc gián tiếp với nhau. Mô hình này tái tạo lại toàn bộ hay một phần cảm giác của con người khi tham gia tương tác với thiết bị. Gần đây, Wacom cũng đã cho ra đời một thiết bị haptic thương mại có thể mã hóa được tọa độ và lực tác động của bút vẽ trên một mặt cảm ứng BambooTMPad của hãng Wacom.

Theo Quyết định số 66/2014/QĐ-TTg ngày 25/11/2014 của Thủ Tướng chính phủ về việc phê duyệt danh mục công nghệ cao được ưu tiên đầu tư phát triển. Trong đó, công nghệ thiết kế, chế tạo robot là một trong các danh mục được ưu tiên đầu tư phát triển. Tại diễn đàn Kinh tế thế giới diễn ra tại Davos (Thụy Sĩ) ngày 05/2/2017. Thủ tướng nhấn mạnh, trước những thách thức mới, Việt Nam đang tập trung cơ cấu lại nền kinh tế, đổi mới mô hình tăng trưởng để tranh thủ cơ hội của cuộc Cách mạng Công nghệ 4.0. Xu hướng cách mạng công nghiệp 4.0 bao gồm tất cả những phát triển liên quan đến công nghiệp, đặc biệt công xưởng gắn liền với kỹ thuật số và sự xuất hiện của những người máy robot trên những dây chuyền sản xuất. Ngày 11/4/2017, Diễn đàn cách mạng công nghiệp lần thứ 4 do Bộ Công thương tổ chức đã diễn ra tại Khách sạn Melia, Hà Nội. Thủ tướng khẳng định: Cách mạng 4.0 đang trong giai đoạn khởi phát. Nếu định hướng rõ ràng mục tiêu và cách thức tiếp cận thì cách mạng 4.0 sẽ là cơ hội quý báu mà Việt Nam tranh thủ đẩy nhanh tiến trình CNH, HĐH và sớm thực hiện được mục tiêu trở thành nước công nghiệp theo hướng hiện đại.

Qua khảo sát tại các doanh nghiệp như: Tập đoàn than và khoáng sản, các doanh nghiệp sản xuất cơ khí, gạch gốm, chế biến thực phẩm trong nước,.. nhận thấy các doanh nghiệp đã sử dụng những robot trong sản xuất, các robot này hoạt động rất hiệu quả. Tuy nhiên, các robot này chủ yếu là nhập ngoại vì vậy việc nâng cấp bảo trì, bảo dưỡng, thay đổi công nghệ gặp không ít khó khăn; Kinh phí đầu tư lớn. Đây là những vấn đề khó khăn và cấp thiết. Vì vậy em đã lựa chọn đề tài (kết hợp giữa động cơ servo, màn hình HMI và PLC) điều khiển robot công nghiệp đó là “*Nghiên cứu ứng dụng công nghệ hybrid để điều khiển và giám sát robot công nghiệp*”.

Kết luận chương I:

Ngày nay, nghiên cứu về robot đã trở thành một trong những chủ đề nghiên cứu chính, nhiều hứa hẹn, nhiều thách thức trong giới hàn lâm cũng như trong công nghiệp và đã trở thành một lĩnh vực nghiên cứu đa ngành có độ phức tạp cao.

Dựa trên những phân tích và khảo sát về các công trình nghiên cứu đã được công bố liên quan mật thiết đến đề tài, nhóm tác giả đã đề xuất một số hướng nghiên cứu cải tiến mới với mong muốn bắt kịp sự phát triển của khoa học công nghệ trong lĩnh vực chế tạo robot.

CHƯƠNG II

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ ROBOT CÔNG NGHIỆP

2.1. Cấu tạo của robot công nghiệp

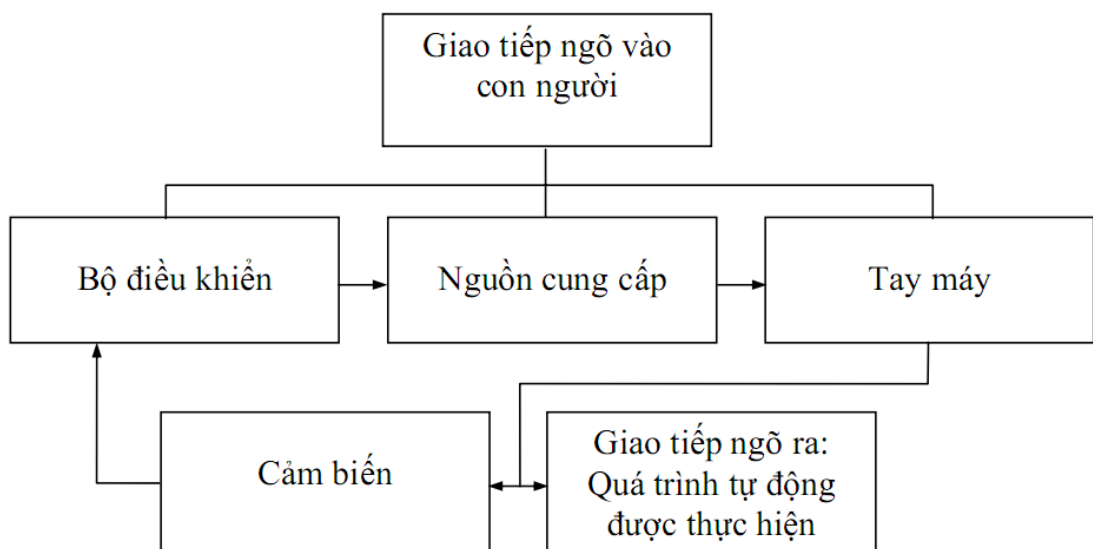
2.1.1. Sơ đồ khối robot công nghiệp

Về mặt truyền động và điều khiển, robot được cấu tạo từ các khối cấu trúc cơ khí hoạt động nhờ các cơ cấu tác động. Các cơ cấu tác động này có thể hoạt động phối hợp với nhau để thực hiện những công việc phức tạp dưới sự điều khiển của một bộ phận có cấu tạo như máy tính, còn gọi là những bộ điều khiển PC - based. Với những đặc điểm về cấu tạo và hoạt động thì robot thường được sử dụng trong các hệ thống sản xuất linh hoạt dạng workcell (FMS - Flexible Manufacturing Systems) và các hệ thống sản xuất tích hợp máy tính (CIM - Computer Integrated Manufacturing). Ngày càng có nhiều dây chuyền sản xuất tự động có sử dụng robot thay thế dần các dây chuyền sản xuất tự động với chương trình hoạt động “cứng” trước đây.

Việc ứng dụng robot vào sản xuất gắn liền với sự hiểu biết đầy đủ các vấn đề có liên quan chặt chẽ với nhau như các dạng nguồn dẫn động, các hệ thống và chế độ điều khiển, các cảm biến trang bị trên robot, khả năng của phần mềm và ngôn ngữ lập trình cũng như chọn lựa các bộ giao tiếp và xuất/nhập tín hiệu phù hợp cho các bộ phận chấp hành khác nhau. Trong chương này sẽ đề cập đến những vấn đề cơ bản nhất về các thành phần và cấu hình của một robot công nghiệp.

Về mặt kết cấu, robot được chế tạo rất khác biệt nhau, nhưng chúng được xây dựng từ các thành phần cơ bản như nhau

1. Tay máy
2. Nguồn cung cấp
3. Bộ điều khiển



Hình 2. 1. Sơ đồ khối robot công nghiệp

2.1.2. Tay máy (manipulator)

Thuật ngữ “tay máy” và robot trong quan niệm của nhiều nhà chuyên môn trong lĩnh vực này không có sự khác biệt. Để thuận tiện trong trình bày, ở đây ta hiểu tay máy là một dạng robot có cấu tạo mô phỏng theo những đặc điểm cấu tạo cơ bản của cánh tay người. Cũng có thể hiểu tay máy là tập hợp các bộ phận và cơ cấu cơ khí được thiết kế để hình thành các khối có chuyển động tương đối với nhau, được gọi là các khâu động. Trong đó, phân liên kết giữa các khâu động được gọi là các khớp động hay còn gọi là các trục. Tay máy cũng bao gồm cả các cơ cấu tác động là các phần tử thực sự thực hiện các chuyển động để vận hành tay máy như động cơ điện, xy - lanh dầu ép, xy - lanh khí nén,... Phân quan trọng khác trên các tay máy là bộ phận hay khâu tác động cuối (End - Effector) để thao tác trên đối tượng làm việc - thường là các tay gắp hoặc các đầu công cụ chuyên dùng.

Tay máy có thể gọi là cánh tay cơ khí của robot công nghiệp thông thường là một chuỗi động hỏ được tạo thành từ nhiều khâu được liên kết với nhau nhờ các khớp động. Khâu cuối (hay khâu tác động cuối) của tay máy thường có dạng một tay gắp hoặc được gắn dụng cụ công tác. Mỗi khâu động trên tay máy có nguồn dẫn động riêng, năng lượng và chuyển động truyền đến cho chúng được điều khiển trên cơ sở tín hiệu nhận được từ bộ phận phản hồi là các cảm biến nhằm thông báo trạng thái hoạt động của các khâu chấp hành, trong đó vấn đề được đặc biệt quan tâm là vị trí và vận tốc dịch chuyển của khâu cuối - khâu thể hiện kết quả tổng hợp các chuyển động của các khâu thành phần.

2.1.3. Bậc tự do của tay máy

Thông thường các tay máy có trên một bậc tự do. Số bậc tự do hay bậc chuyển động của tay máy là số khả năng chuyển động độc lập của nó trong không gian hoạt động. Trong lĩnh vực robot học (robotic) người ta hay gọi mỗi khả năng chuyển động (có thể là chuyển động thẳng; dọc theo hoặc song song với một trục, hoặc chuyển động quay quanh trục) là một trục, tương ứng theo đó là một tọa độ suy rộng dùng để xác định vị trí của trục trong không gian hoạt động. Mỗi trục của tay máy đều có cơ cấu tác động và cảm biến vị trí được điều khiển bởi một bộ xử lý riêng.

Thông qua các khảo sát thực tế, người ta nhận thấy là để nâng cao độ linh hoạt của tay máy sử dụng trong công nghiệp, các tay máy phải có số bậc chuyển động cao. Tuy nhiên, số bậc chuyển động này không nên quá 6. Lý do chính là với 6 bậc chuyển động nếu bố trí hợp lý sẽ đủ để tạo ra khả năng chuyển động linh hoạt của khâu tác động cuối nhằm có thể tiếp cận đối tượng thao tác (nằm trong vùng không gian hoạt động của nó) theo mọi hướng. Ngoài ra, số bậc tự do nhiều hơn sáu sẽ không kinh tế và khó điều khiển hơn. Sáu bậc chuyển động được bố trí gồm:

- Ba bậc chuyển động cơ bản hay chuyển động định vị.
- Ba bậc chuyển động bổ sung hay chuyển động định hướng.

*** Bậc chuyển động cơ bản hay chuyển động định vị**

Về mặt nguyên lý cấu tạo, tay máy là một tập hợp các khâu được liên kết với nhau thông qua các khớp động để hình thành một chuỗi động hở. Khớp động được sử dụng trên các tay máy thường là các khớp loại 5 (khớp tịnh tiến hoặc khớp quay loại 5) để dễ chế tạo, dễ dẫn động bằng nguồn độc lập và cũng dễ điều khiển. Tay máy có số chuyển động độc lập thường là từ ba trở lên (dưới đây ta sẽ gọi là bậc tự do hay bậc chuyển động).

Các chuyển động độc lập có thể là các chuyển động tịnh tiến hoặc chuyển động quay. Mỗi khâu động trên tay máy, về nguyên tắc, có ít nhất là một khả năng chuyển động độc lập và thường là một. Như vậy khái niệm bậc tự do hay bậc chuyển động cũng chính là số khả năng chuyển động độc lập mà một tay máy có thể thực hiện được.

Trường hợp mỗi khâu động trên tay máy có một khả năng chuyển động độc lập, thì tay máy có bao nhiêu khâu động sẽ có bấy nhiêu bậc chuyển động và cũng có từng ấy khớp động hay trục. Các chuyển động cơ bản, hay chuyển động chính trên một tay máy là những chuyển động có ảnh hưởng quyết định đến dạng hình học của không gian hoạt động của nó như bạn đọc đã xem ở phần phân loại. Các chuyển động này thực hiện việc chuyển dời cổ tay của tay máy đến những vị trí khác nhau trong vùng không gian hoạt động của tay máy vì vậy còn được gọi là các chuyển động định vị.

Bên cạnh các robot tĩnh tại được sử dụng phần lớn trong công nghiệp hiện nay, các loại robot di động cũng được sử dụng trong một số trường hợp đặc biệt. Bậc chuyển động của robot di động được xác định bởi số khả năng chuyển động độc lập của nó kể cả các chuyển động di động.

Phần ngoài cùng của tay máy (khâu tác động cuối - End Effector) thường có dạng của một tay gắp, một bộ phận làm việc với đối tượng thao tác, có thể tác động trực tiếp với đối tượng thao tác hoặc được thay thế bởi các dụng cụ công nghệ như là ống đưa dây hàn trên robot hàn, đầu phun sơn hoặc phun men, đầu vặn bu-lông, đai ốc trong dây truyền lắp ráp tự động, v.v...Chuyển động kẹp của tay gắp không được kể khi tính bậc chuyển động bởi vì chuyển động này không ảnh hưởng đến vị trí, tọa độ của tay máy.

Để thuận tiện trong việc điều khiển, mỗi bậc chuyển động của tay máy thường là có nguồn dẫn động riêng, có thể là nguồn dẫn khí nén, dầu ép hay điện. Một số tay máy dùng chung nguồn dẫn cho một nhóm các chuyển động, tuy nhiên, kiểu dùng chung này cồng kềnh và kém linh hoạt hơn. Phần lớn các robot công nghiệp hiện đại có một tay máy. Tuy vậy trong ứng dụng cũng có robot có nhiều tay máy.

*** Bậc chuyển động bổ sung (bậc chuyển động định hướng).**

Một tay máy đều yêu cầu một bộ phận công tác trang bị ở khâu tác động cuối (End Effector), có thể là một bộ gắp, kẹp hoặc súng phun sơn, phun vữa, ống dẫn

dây hàn, v.v... có đủ độ linh hoạt trong chuyển động để đảm bảo khả năng hoàn thành nhiệm vụ công nghệ đặt ra. Để hoàn toàn định hướng đến tư thế làm việc với đối tượng thao tác cũng cần tối thiểu ba bậc chuyển động, tương tự như các chuyển động xoay của cổ tay người; ba khớp quay loại 5 được sử dụng để xoay khâu tác động cuối trong mặt phẳng ngang, mặt phẳng thẳng đứng và quay quanh trục của nó.

Các bậc chuyển động xoay cổ tay nói trên được gọi là các chuyển động định hướng nhằm tăng khả năng linh hoạt, giúp tay máy có thể dễ dàng định hướng của khâu tác động cuối đạt đến tư thế cần thiết để tác động lên đối tượng thao tác, cũng như tăng khả năng tránh chướng ngại vật trong không gian thao tác nhằm cải thiện tính chất động lực học của tay máy.

Tuy nhiên, điều cần lưu ý ở đây là thêm càng nhiều bậc chuyển động một mặt sẽ làm tăng khả năng linh hoạt của tay máy, mặt khác cũng kéo theo hệ quả là làm tăng thêm sai số dịch chuyển, tức là làm tăng sai số tích lũy trong điều khiển vị trí của khâu tác động cuối. Điều này đồng nghĩa với sự gia tăng về chi phí và thời gian sản xuất và bảo dưỡng robot.

2.1.4. Tay máy toạ độ vuông góc

Robot hoạt động trong hệ toạ độ này bao gồm ba chuyển động định vị X, Y, Z theo các trục toạ độ vuông góc. Ứng dụng chính của robot loại này là các thao tác vận chuyển vật liệu, sản phẩm, đúc, dập, chất dỡ hàng hoá, lắp ráp các chi tiết máy, v.v...

* Ưu điểm:

- Không gian làm việc lớn, có thể dài đến 20m.
- Đối với loại gắn trên trần sẽ dành được diện tích sàn lớn cho các công việc khác.

- Hệ thống điều khiển đơn giản.

* Hạn chế:

Việc thêm vào các loại cần trục hay các loại thiết bị vận chuyển vật liệu khác trong không gian làm việc của robot không được thích hợp lắm. Việc duy trì vị trí của các cơ cấu dẫn động và các thiết bị điều khiển điện đối với loại robot trên đều gặp nhiều trở ngại.

2.1.5. Tay máy toạ độ trụ

Tiêu biểu cho một robot hoạt động trong hệ toạ độ trụ là robot được trang bị hai chuyển động tịnh tiến và một chuyển động quay.

* Ưu điểm:

- Có khả năng chuyển động ngang và sâu vào trong các máy sản xuất.
- Cấu trúc theo chiều dọc của máy để lại nhiều khoảng trống cho sàn.
- Kết cấu vững chắc, có khả năng mang tải lớn.
- Khả năng lắp lại tốt.

* Nhược điểm:

Nhược điểm duy nhất là giới hạn tiến về phía trái và phía phải do kết cấu cơ khí và giới hạn các kích cỡ của cơ cấu tác động theo chiều ngang.

2.1.6. Tay máy tọa độ cầu

Robot loại này được bố trí có ít nhất hai chuyển động quay trong ba chuyển động định vị. Dạng robot này là dạng sử dụng điều khiển servo sớm nhất.

2.1.7. Tay máy toàn khớp bản lề và SCARA

Loại cấu hình dễ thực hiện nhất được ứng dụng cho robot là dạng khớp nối bản lề và kể đó là dạng ba trục thẳng, gọi tắt là dạng SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Actuator) Dạng này và dạng tọa độ trụ là phổ cập nhất trong ứng dụng công nghiệp bởi vì chúng cho phép các nhà sản xuất robot sử dụng một cách trực tiếp và dễ dàng các cơ cấu tác động quay như các động cơ điện, động cơ đầu ép, khí nén.

* Ưu điểm:

- Mặc dù chiếm diện tích làm việc ít song tầm vươn khá lớn. Tỷ lệ kích thước/tầm vươn được đánh giá cao.

- Về mặt hình học, cấu hình dạng khớp nối bản lề với ba trục quay bố trí theo phương thẳng đứng là dạng đơn giản và có hiệu quả nhất trong trường hợp yêu cầu gấp và đặt chi tiết theo phương thẳng đứng. Trong trường hợp này bài toán tọa độ hoặc quỹ đạo chuyển động đối với robot chỉ cần giải quyết ở hai phương x và y còn lại bằng cách phối hợp ba chuyển động quay quanh ba trục song song với trục z.

2.1.8. Cổ tay máy

- Bàn tay người có 27 khúc xương với 22 bậc tự do rất phức tạp. Hiện nhiên, các nhà thiết kế không bao giờ áp dụng hết các bậc tự do đó vào tay gấp của robot. Nhiều nhà nghiên cứu về khoa học phân tích thao tác cũng như các nhà sản xuất đưa ra số bậc chuyển động tối đa hợp lý của tay máy là sáu như đã phân tích ở phần trước. Cũng ở phần trước đã trình bày, ngoài ba chuyển động cơ bản để thực hiện chuyển động định vị, tay máy sẽ được bổ sung tối đa là ba chuyển động định hướng dạng ba chuyển động quay quanh ba trục vuông góc, gồm:

Chuyển động xoay cổ tay (ROLL), góc quay ρ

Chuyển động gập cổ tay (PITCH), góc quay δ

Chuyển động lắc cổ tay (YAW), góc quay ϵ

Hai chuyển động gập (PITCH) và lắc cổ tay (YAW) thực hiện trên hai phương vuông góc. Loại robot SCARA không cần thiết phải bổ sung các chuyển động dạng này vì điều đó sẽ phá vỡ đặc trưng hoạt động của nó. Tùy theo yêu cầu của thao tác công nghệ đặt ra cho robot, người thiết kế cần thực hiện sự phối hợp đa dạng các chuyển động định vị với các chuyển động định hướng.

Chuyển động gấp, kẹp của khâu công tác cuối thường không được tính vào bậc chuyển động (hay bậc tự do) của robot ngoại trừ trường hợp tay gấp có dạng tay gấp servo được điều khiển bởi một mạch riêng trên bộ điều khiển.

2.2. Động học và động lực học của Robot Scara

Theo quan điểm động học, một Robot thường được biểu diễn bằng một chuỗi động học hở, gồm các khâu được liên kết với nhau bằng các khớp. Một đầu của chuỗi được gắn lên thân, còn đầu kia nối với phần công tác. Kết cấu của Robot SCARA trong đề tài gồm có khâu được nối với nhau bằng 4 khớp quay, quay, tịnh tiến, quay (4 bậc tự do). Trong quá trình Robot làm việc đòi hỏi phần công tác phải được định vị và định hướng chính xác trong không gian. Động học và động lực học Robot giải quyết lớp bài toán:

Lớp bài toán thuận căn cứ vào các biến khớp để xác định vùng làm việc của phần công tác và mô tả chuyển động của phần công tác trong vùng làm việc. Lớp bài toán ngược, xác định các biến khớp để đảm bảo chuyển động cho trước của phần công tác.

Động lực học Robot nghiên cứu quan hệ giữa lực, momen, năng lượng,... với các thông số chuyển động của nó.

2.2.1. Bài toán động học

2.2.1.1. Bài toán động học thuận

2.2.1.1.1. Các phép biến đổi tọa độ dùng ma trận thuần nhất

Xét 2 hệ tọa độ: hệ tọa độ $o_j x_j y_j z_j$ và hệ tọa độ $o_i x_i y_i z_i$. Hệ tọa độ $o_i x_i y_i z_i$ quay tương đối một góc φ và tịnh tiến gốc tọa độ o_i một khoảng p so với hệ tọa độ $o_j x_j y_j z_j$ như hình 2.1 dưới đây.

Gốc o_j xác định trong hệ tọa độ $o_i x_i y_i z_i$ bằng vector p :

$$p = (a, -b, -c, 1)^T \quad (2.1)$$

Giả sử vị trí của điểm M trong hệ tọa độ $o_j x_j y_j z_j$ được xác định bằng vector r_j

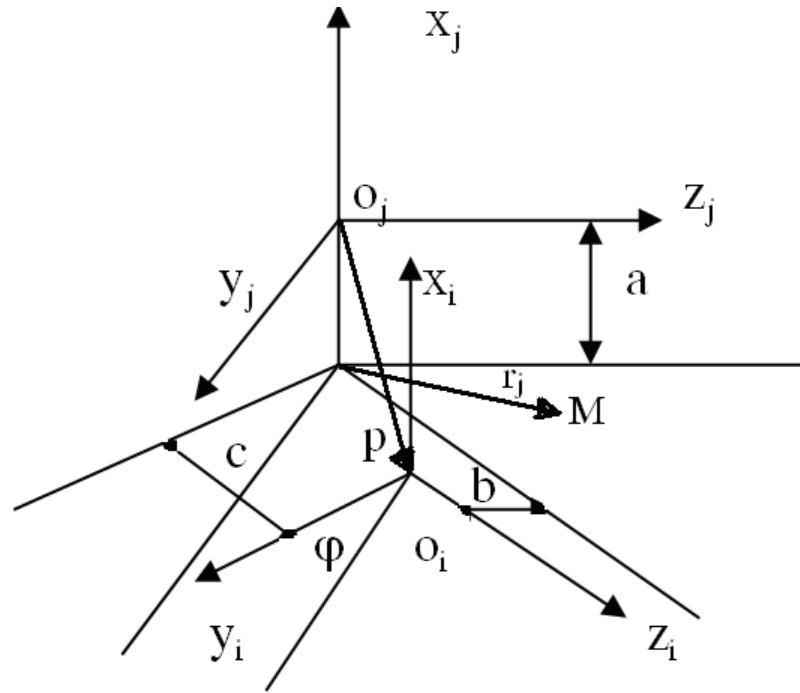
$$r_j = (x_j, y_j, z_j, 1)^T \quad (2.2)$$

Hệ tọa độ $o_i x_i y_i z_i$ được xác định bằng vector r_i :

$$r_i = (x_i, y_i, z_i, 1)^T \quad (2.3)$$

Dễ dàng thiết lập được các tọa độ:

$$\begin{cases} x_i = x_j + at_j \\ y_i = y_j \cos \varphi - z_j \sin \varphi - bt_j \\ z_i = y_j \sin \varphi + z_j \cos \varphi - ct_j \\ t_i = t_j = 1 \end{cases} \quad (2.4)$$



Hình 2. 2. Chuyển hệ tọa độ i sang j

Sắp xếp các hệ số ứng với x_j , y_j , z_j và t_j thành một ma trận :

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & -b \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & -c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Phương trình biến đổi tọa độ được viết lại:

$$r_i = T_{ij} r_j \quad (2.6)$$

Ma trận T_{ij} biểu thị bằng ma trận 4x4 như phương trình (2.5) gọi là ma trận thuần nhất. Ma trận (2.6) được viết lại :

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & -b \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & -c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Như vậy, ta đã dùng ma trận thuần nhất để biến đổi tọa độ của một điểm từ hệ tọa độ thuần nhất này sang hệ tọa độ thuần nhất kia. Sử dụng ma trận thuần nhất trong phép biến đổi tọa độ có nhiều ưu điểm, vì trong ma trận 4x4 bao gồm cả thông tin về sự quay và về cả dịch chuyển tịnh tiến.

$$\text{Ma trận thuần nhất } T_{ij} \text{ được viết rút gọn: } T_{ij} = \begin{bmatrix} R_{ij} & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Trong đó:

R_{ij} : ma trận quay 3×3

P: ma trận 3×1 biểu thị tọa độ của o_j trong hệ tọa độ $o_i x_i y_i z_i$.

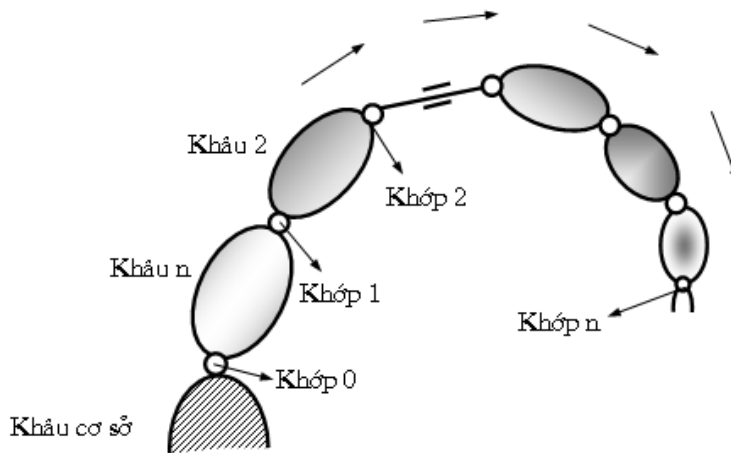
Thành phần P trong ma trận $T_{4 \times 4}$ cho phép xác định vị trí của hệ trục tọa độ $o_i x_i y_i z_i$ so với hệ $o_j x_j y_j z_j$.

Thành phần R_{ij} cho phép xác định hướng của hệ trục tọa độ $o_i x_i y_i z_i$ so với hệ $o_j x_j y_j z_j$.

Như vậy, ma trận thuần nhất $T_{4 \times 4}$ cho phép ta xác định được cả vị trí và hướng của hệ trục tọa độ $o_i x_i y_i z_i$ so với hệ $o_j x_j y_j z_j$.

2.2.1.1.2. Ma trận biến đổi thuần nhất Denavit-Hartenberg (DH)

Xét mô hình Robot gồm có n khâu như hình 2.2. Các khâu được đánh số tăng dần từ khâu cơ sở (khâu 0) cho đến khâu thứ n . Khớp thứ k nối giữa khâu $k-1$ và khâu k . Hai loại khớp thường được dùng trong Robot là khớp quay và khớp tịnh tiến. Mỗi khớp chỉ có một bậc tự do.



Hình 2. 3. Mô hình Robot nối tiếp n khâu

Theo DH, tại mỗi khớp ta gán một hệ trục tọa độ, quy ước về cách đặt hệ trục tọa độ này như sau:

Trục z_i được liên kết với trục của khớp thứ $i+1$. Chiều của z_i được chọn tùy ý.

Trục x_i được xác định là đường vuông góc chung giữa trục khớp i và khớp $i+1$, hướng từ điểm trục của khớp i tới khớp $i+1$. Nếu hai trục song song, thì x_i có thể chọn bất kỳ là đường vuông góc chung hai trục khớp. Trong trường hợp hai trục này cắt nhau, x_i được xác định theo chiều của $z_i \times z_{i+1}$ (quy tắc bàn tay phải).

Trục y_i được xác định theo x_i và z_i theo quy tắc bàn tay phải.

Bốn thông số DH liên hệ giữa phép biến đổi của hai hệ trục tọa độ liên tiếp được xác định như sau:

θ_i : góc xoay đưa trục x_{i-1} về x_i quanh z_{i-1} theo quy tắc bàn tay phải.

d_i : dịch chuyển dọc trục z_{i-1} đưa gốc tọa độ về nằm trên trục z_i .

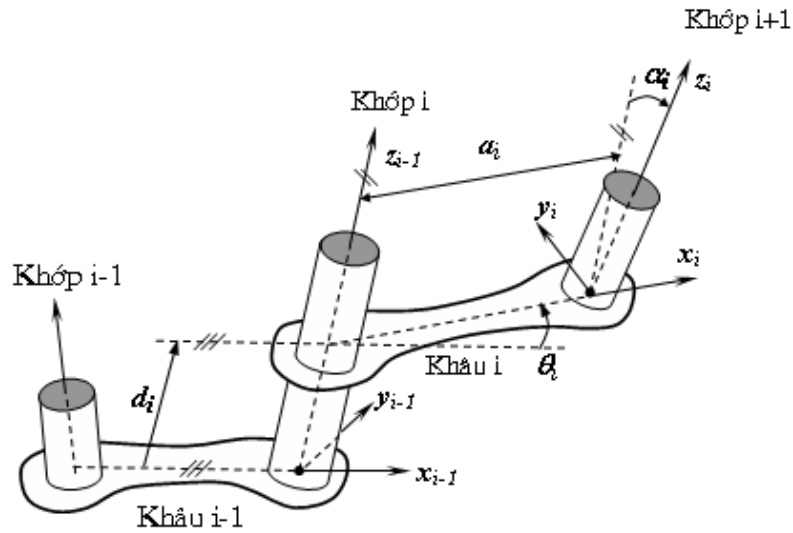
α_i : góc xoay trục z_{i-1} về z_i quanh x_i theo quy tắc bàn tay phải.

a_i : dịch chuyển dọc trục x_i , đưa gốc toạ độ về nằm trên trục x_i .

Do mỗi khớp chỉ có một bậc tự do nên trong bốn thông số trên chỉ có duy nhất một thông số đóng vai trò là ẩn.

Nếu khớp là khớp tịnh tiến thì d_i sẽ là ẩn

Nếu khớp là khớp quay thì θ_i sẽ là ẩn.



Hình 2. 4. Biểu diễn các tham số Denavit-Hartenberg

Ma trận của phép biến đổi, ký hiệu là H_i , là tích của các ma trận biến đổi cơ bản và có dạng như sau:

$${}^{i-1}H_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Hay dạng thu gọn

$${}^{i-1}H_i = H_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Một cách hình thức có thể biểu diễn ma trận thuần nhất như sau:

$$H_i = \begin{bmatrix} {}^{i-1}A_i & {}^{i-1}P_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Trong đó :

${}^{i-1}\mathbf{A}_i$ (3x3): ma trận Côsin chỉ hướng đưa hệ tọa độ i về $i-1$

${}^{i-1}\mathbf{p}_i$ (3x1): vị trí gốc tọa độ của hệ tọa độ i đặt trong hệ $i-1$

Nếu thực hiện phép biến đổi liên tiếp, quan hệ giữa hệ tọa độ i so với khâu cơ sở (hệ tọa độ 0) được xác định bởi:

$$\mathbf{T}_i = \mathbf{H}_1 \mathbf{H}_2 \dots \mathbf{H}_i = \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{A}_i & {}^0\mathbf{p}_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i & \mathbf{p}_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Trong đó :

$\mathbf{A}_i$ (3x3): ma trận Côsin chỉ hướng đưa hệ của hệ tọa độ i về hệ tọa độ 0

$\mathbf{p}_i$ (3x1): vị trí gốc tọa độ của hệ tọa độ i so với khâu cơ sở.

Phép biến đổi ngược từ hệ tọa độ cơ sở về hệ tọa độ i chính là ma trận nghịch đảo của ma trận thuận nhất.

Nếu ký hiệu ma trận nghịch đảo dạng khối:

$$(\mathbf{T}_i)^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_i & \mathbf{b}_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Ta có

$$\mathbf{T}_i (\mathbf{T}_i)^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i & \mathbf{p}_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_i & \mathbf{b}_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\text{hay} \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i \mathbf{B}_i & \mathbf{A}_i \mathbf{b}_i + \mathbf{p}_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Đồng nhất từng phần tử ma trận khối của (2.15) ta được

$$\mathbf{A}_i \mathbf{B}_i = \mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{B}_i = (\mathbf{A}_i)^{-1} = \mathbf{A}_i^T \quad (2.16)$$

$$\mathbf{A}_i \mathbf{b}_i + \mathbf{p}_i = \mathbf{0}$$

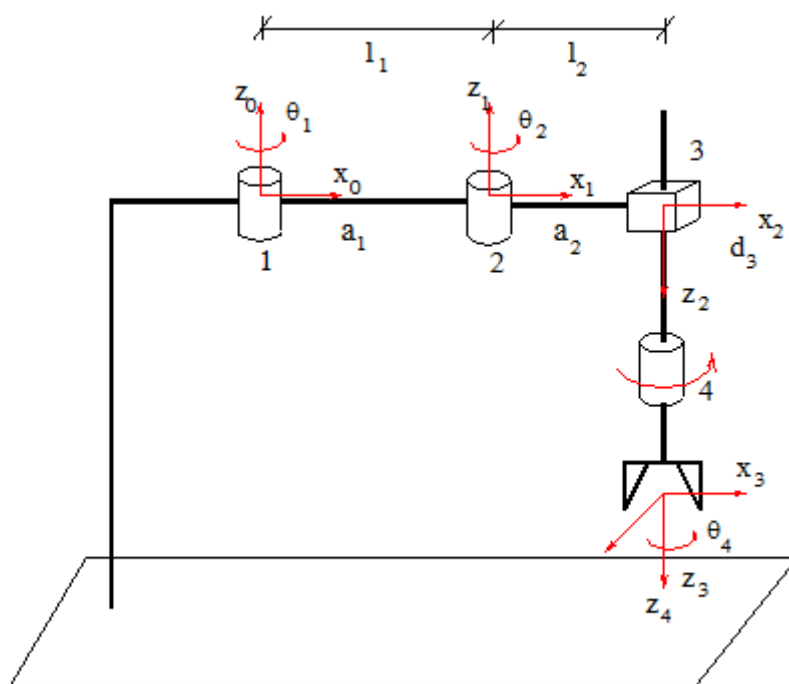
$$\Rightarrow \mathbf{b}_i = -(\mathbf{A}_i)^{-1} \mathbf{p}_i = -\mathbf{A}_i^T \mathbf{p}_i \quad (2.17)$$

Vậy

$$(\mathbf{T}_i)^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i^T & -\mathbf{A}_i^T \mathbf{p}_i \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Nhờ ma trận biến đổi thuận nhất 4x4, việc xác định vị trí và hướng của một khâu bất kỳ của Robot là hoàn toàn xác định. Điều này rất hữu ích trong việc xây dựng các công thức tính toán động năng và thế năng của một khâu bất kỳ.

Dựa vào cơ sở nghiên cứu lý thuyết trên áp dụng vào bài toán động học thuận Robot SCARA 4 bậc tự do:



Hình 2. 5. Sơ đồ động học của Robot SCARA 4 bậc tự do
 Từ sơ đồ trên với các hệ trục tọa độ được thiết lập như hình vẽ ta có các tham số động học như sau:

Bảng 2. 1. Tham số động học của Robot

Khâu	θ	d	a	α
1	θ_1	d_1	a_1	0
2	θ_2	0	a_2	0
3	0	d_3	0	π
4	θ_4	0	0	0

Khi đó ta có các ma trận biến đổi thuần nhất Denavit-Hartenberg có dạng như sau:

$${}^0H_1 = H_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & a_1 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & a_1 \sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$${}^1H_2 = H_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2 \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2 \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

$${}^2H_3 = H_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$${}^3H_4 = H_4 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & 0 \\ S_4 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$${}^0T_4 = H_1.H_2.H_3.H_4 = \begin{bmatrix} C_1(C_2.C_4 + S_2.S_4) - S_1(S_2.C_4 - C_2.S_4) & C_1(-C_2.S_4 + S_2.C_4) - S_1(S_2.S_4 - C_2.C_4) & 0 & a_2.C_1.C_2 - a_2.S_1.S_2 + a_1.C_1 \\ S_1(C_2.C_4 + S_2.S_4) + C_1(S_2.C_4 - C_2.S_4) & S_1(-C_2.S_4 + S_2.C_4) + C_1(S_2.S_4 - C_2.C_4) & 0 & a_2.S_1.C_2 + a_2.S_2.C_1 + a_1.S_1 \\ 0 & 0 & -1 & -d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Trong đó:

$$c_1 = \cos \theta_1$$

$$s_1 = \sin \theta_1$$

$$c_2 = \cos \theta_2$$

$$s_2 = \sin \theta_2$$

Do đó hệ phương trình động học thuận tay máy Robot:

$$n_x = C_1(C_2.C_4 + S_2.S_4) - S_1(S_2.C_4 - C_2.S_4) \quad (2.24)$$

$$n_y = S_1(C_2.C_4 + S_2.S_4) + C_1(S_2.C_4 - C_2.S_4) \quad (2.25)$$

$$n_z = 0 \quad (2.26)$$

$$o_x = C_1(-C_2.S_4 + S_2.C_4) - S_1(S_2.S_4 - C_2.C_4) \quad (2.27)$$

$$o_y = S_1(-C_2.S_4 + S_2.C_4) + C_1(S_2.S_4 - C_2.C_4) \quad (2.28)$$

$$o_z = 0 \quad (2.29)$$

$$a_x = 0 \quad (2.30)$$

$$a_y = 0 \quad (2.31)$$

$$a_z = -1 \quad (2.32)$$

$$p_x = a_2.C_1.C_2 - a_2.S_1.S_2 + a_1.C_1 \quad (2.33)$$

$$p_y = a_1.S_1.C_2 - a_2.S_2.C_1 + a_1.S_1 \quad (2.34)$$

$$p_z = -d_3 \quad (2.35)$$

Toạ độ vị trí điểm tác động cuối E được xác định như sau:

$$\begin{cases} x_E = a_1.C_1.C_2 - a_2.S_1.S_2 + a_1.C_1 \\ y_E = a_1.S_1.C_2 - a_2.S_2.C_1 + a_1.S_1 \\ z_E = -d_3 \end{cases} \quad (2.36)$$

Như vậy vị trí điểm cuối được thiết lập dựa trên các biến khớp: θ_1, θ_2, d_3 .

2.2.1.1.3. Miền làm việc của Robot

Để tìm miền làm việc của Robot ta dựa vào phương trình điểm tác động cuối.

$$\begin{cases} x_E = a_1.C_1.C_2 - a_2.S_1.S_2 + a_1.C_1 \\ y_E = a_1.S_1.C_2 - a_2.S_2.C_1 + a_1.S_1 \\ z_E = -d_3 \end{cases}$$

Căn cứ vào vùng làm việc cụ thể của Robot, ta cho các biến khớp $\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$ biến thiên trong phạm vi cho phép, cụ thể là: $\theta_1 = [-150^\circ, 150^\circ]$, $\theta_2 = [-150^\circ, 150^\circ]$, $d_3 = [0, 160]$,

$$\theta_4 = [-180^\circ, 180^\circ]$$

Chiều dài khâu 1 và 2 là: $a_1 = 300 \text{ mm}$; $a_2 = 200 \text{ mm}$; $d_1 = 600 \text{ mm}$

2.2.1.2. Bài toán động học ngược của Robot SCARA 4 bậc tự do

2.2.1.2.1. Tổng quát về bài toán động học ngược

Trong quá trình thiết kế Robot cần thiết phải tiến hành giải bài toán động học ngược của Robot. Bài toán động học ngược cho phép xác định quy luật biến đổi của các tọa độ suy rộng $q_k(t)$ khi biết trước các giá trị về vị trí và hướng của các khâu trong Robot. Sử dụng phương pháp giải tích cho bài toán này đối với Robot nói chung là rất khó khăn vì phải giải hệ 6 phương trình phi tuyến có n ẩn. Bài toán chỉ có thể giải được với các điều kiện ràng buộc cho trước.

Các điều kiện ràng buộc của bài toán động học ngược bao gồm:

Điều kiện tồn tại nghiệm

Điều kiện duy nhất của tập nghiệm

Điều kiện chọn phương pháp giải

Để có thể nhận được thuật toán đơn giản, cần thiết phải thực hiện phép tối ưu theo 2 giai đoạn:

- Tìm hình dáng tối ưu phù hợp với các vị trí đã cho của vật kẹp.
- Tìm quy luật biến đổi của các tọa độ suy rộng.

2.2.1.2.2. Bài toán động học ngược của Robot SCARA 4 bậc tự do

Động học ngược giải quyết bài toán xác định các biến khớp khi biết vị trí tay Robot.

Từ các phương trình động học thuận của robot ở trên, ta thấy:

Từ phương trình (2. 33) và (2. 34) ta có:

$$p_x^2 = a_1^2 . C_1^2 + a_2^2 . C_{12}^2 + 2 . a_1 . a_2 . C_1 . C_{12}$$

$$p_y^2 = a_1^2 . S_1^2 + a_2^2 . S_{12}^2 + 2 . a_1 . a_2 . S_1 . S_{12}$$

Trong đó: $C_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2)$

$$S_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\begin{aligned} p_x^2 + p_y^2 &= a_1^2(C_1^2 + S_1^2) + a_2^2(S_{12}^2 + C_{12}^2) + 2 . a_1 . a_2 . (C_1 . C_{12} + S_1 . S_{12}) \\ &= a_1^2 + a_2^2 + 2 . a_1 . a_2 . (C_1 . C_{12} + S_1 . S_{12}) \end{aligned}$$

Rút gọn theo các công thức lượng giác ta có:

$$p_x^2 + p_y^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2 . a_1 . a_2 . \cos(\theta_1 - (\theta_1 + \theta_2))$$

$$= a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos(-\theta_2)$$

Do đó:

$$\cos\theta_2 = \frac{p_x^2 + p_y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}$$

$$\sin\theta_2 = \sqrt{1 - \cos^2\theta_2}$$

Từ đó tính được góc θ_2 :

$$\theta_2 = \text{atan2}(\sin\theta_2, \cos\theta_2) \quad (2.37)$$

Mặt khác từ phương trình (2.33) ta có:

$$\begin{aligned} p_x &= a_1 \cdot \cos\theta_1 + a_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ &= a_1 \cdot \cos\theta_1 + a_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 - a_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \\ &= (a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2) \cdot \cos\theta_1 - a_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \end{aligned}$$

$$\cos\theta_1 = \frac{p_x + a_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2}{a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2} \quad (2.38)$$

Phương trình (2.34):

$$\begin{aligned} p_y &= a_1 \cdot \sin\theta_1 + a_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) = \\ &= a_1 \cdot \sin\theta_1 + a_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \cos\theta_2 + a_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \\ &= (a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2) \cdot \sin\theta_1 + a_2 \cdot \sin\theta_2 \cdot \cos\theta_1 \end{aligned}$$

Thế phương trình (2.38) vào ta có:

$$p_y = (a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2) \cdot \sin\theta_1 + a_2 \cdot \sin\theta_2 \cdot \frac{p_x + a_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2}{a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2}$$

$$(a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2) \cdot p_y = (a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2)^2 \cdot \sin\theta_1 + a_2 \cdot \sin\theta_2 (p_x + a_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2)$$

$$(a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2) \cdot p_y - a_2 \cdot \sin\theta_2 \cdot p_x = [(a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2)^2 + a_2^2 \cdot \sin^2\theta_2] \cdot \sin\theta_1$$

$$\sin\theta_1 = \frac{(a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2) \cdot p_y - a_2 \cdot \sin\theta_2 \cdot p_x}{a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos\theta_2} \quad (2.39)$$

Thế phương trình (2.39) vào phương trình (2.38) ta có:

$$\theta_1 = \text{atan2}(\sin\theta_1, \cos\theta_1) \quad (2.40)$$

Từ phương trình (2.35) ta có:

$$d_3 = -p_z \quad (2.41)$$

Mặt khác từ phương trình (2.33) ta có:

$$n_x = C_1(C_2 \cdot C_4 + S_2 \cdot S_4) - S_1(S_2 \cdot C_4 - C_2 \cdot S_4)$$

Rút gọn theo các công thức lượng giác ta được:

$$\begin{aligned} n_x &= \cos\theta_1 \cdot \cos(\theta_2 - \theta_4) - \sin\theta_1 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_4) \\ &= \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_4) \end{aligned}$$

$$\sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_4) = \sqrt{1 - n_x^2}$$

$$(\theta_1 + \theta_2 - \theta_4) = \text{atan2}(\sqrt{1 - n_x^2}, n_x)$$

$$\theta_4 = \theta_1 + \theta_2 - \text{atan2}(\sqrt{1 - n_x^2}, n_x) \quad (2.42)$$

Vậy hệ phương trình động học ngược của Robot Serpent là:

$$1. \quad \theta_1 = \text{atan2}(\sin\theta_1, \cos\theta_1)$$

$$\sin\theta_1 = \frac{(a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2) \cdot p_y - a_2 \cdot \sin\theta_2 \cdot p_x}{a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \sin\theta_2}$$

$$\cos\theta_1 = \frac{p_x + a_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2}{a_1 + a_2 \cdot \cos\theta_2}$$

$$2. \quad \theta_2 = \text{atan2}(\sin\theta_2, \cos\theta_2)$$

$$\cos\theta_2 = \frac{p_x^2 + p_y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}$$

$$\sin\theta_2 = \sqrt{1 - \cos^2\theta_2}$$

$$3. \quad d_3 = -p_z$$

$$4. \quad \theta_4 = \theta_1 + \theta_2 - \text{atan2}(\sqrt{1 - n_x^2}, n_x)$$

2.2.2. Bài toán động lực học

Phương trình động lực học mô tả mối quan hệ giữa lực, mô men với vị trí, vận tốc và gia tốc. Tín hiệu vào là lực và mô men, phương trình động lực học là kết quả chuyển động của hệ thống.

Trong hệ thống Robot phức tạp, phương trình động lực học đưa đến cho ta những thông tin mà khó nhận được từ các phương trình khác. Khi nhận được phương trình động lực học trong cấu trúc ma trận, đơn giản chúng, ta sẽ nhận được những thông tin cần thiết cho điều khiển. Để tìm phương trình động lực học đòi hỏi ta phải biết được những mối quan hệ giữa mômen với gia tốc trong một khớp và mối quan hệ giữa mômen của khớp này với gia tốc của khớp khác.

2.2.2.1. Hàm Lagrange và các vấn đề động lực học

Lagrange định nghĩa sự khác biệt giữa động năng và thế năng của hệ thống.

$$L = K - P$$

Trong đó:

+ K là tổng động năng của hệ thống.

+ P là tổng thế năng của hệ thống.

Do đó phương trình động lực học được xác định bằng biểu thức:

$$F_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i}$$

Trong đó: q_i là biên khớp.

$q_i = \theta_i$ đối với khớp quay.

$q_i = r_i$ đối với khớp tịnh tiến.

F_i biểu diễn lực hoặc mô men.

$$\text{Động năng của khớp thứ } i: K_i = \frac{1}{2} m_i \cdot v_i^2 + \frac{1}{2} J_i \cdot \omega_i^2$$

Với J_i là mô men quán tính của khớp thứ i .

2.2.2.2. Phương trình động lực học Robot SCARA

Theo cấu hình, Robot SCARA có các thông số như ở bảng.

Bảng 2. 2. Thông số động lực học Robot SCARA.

	Khớp 1	Khớp 2	Khớp 3	Khớp 4
Biến	θ_1	θ_2	l_3	θ_4
Chiều dài	l_1	l_2	l_3	0
Khối lượng	m_1	m_2	m_3	m_4
Vận tốc	v_1	v_2	v_3	v_4
Chiều dài tâm khối	l_{g1}	l_{g2}	l_{g3}	0

Giả sử khối lượng nằm ở đầu mút các thanh nối, ta có chiều dài tâm khối chính là chiều dài của thanh nối

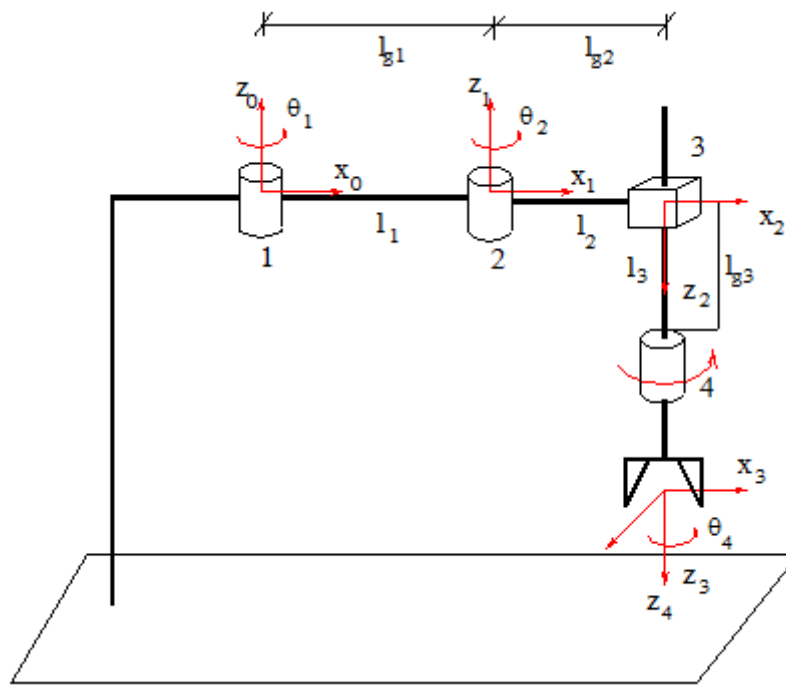
$$l_{g1} = l_1$$

$$l_{g2} = l_2$$

$$l_{g3} = l_3$$

Hệ qui chiếu gắn với hệ trục tọa độ (O_0, x_0, y_0, z_0) trên khớp thứ nhất. Khi đó mặt phẳng (O_0, x_0, y_0) là mặt phẳng đẳng thế.

Sơ đồ động lực học Robot SCARA



Hình 2. 6. Sơ đồ động lực học Robot SCARA

2.2.2.3. Tính toán động năng và thế năng cho từng khớp

Khớp 1:

$$\begin{cases} x_1 = l_{g1} \cdot \cos\theta_1 \\ y_1 = l_{g1} \cdot \sin\theta_1 \\ z_1 = 0 \end{cases}$$

Trong đó x_1, y_1, z_1 là hình chiếu của thanh nối số 1 lên các trục x, y, z .

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -l_{g1} \cdot \sin\theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 \\ \dot{y}_1 = l_{g1} \cdot \cos\theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 \\ \dot{z}_1 = 0 \end{cases}$$

Ta có: $v_1 = \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2} = \sqrt{(-l_{g1} \cdot \sin\theta_1 \cdot \dot{\theta}_1)^2 + (l_{g1} \cdot \cos\theta_1 \cdot \dot{\theta}_1)^2}$

$$\Rightarrow v_1^2 = l_{g1}^2 \cdot \dot{\theta}_1^2$$

Động năng:

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} J_1 \cdot \omega_1^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot l_{g1}^2 \cdot \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} J_1 \cdot \dot{\theta}_1^2$$

Trong đó J_1 : mô men quán tính khớp 1.

Thế năng: $P_1 = 0$.

Khớp 2:

$$\begin{cases} x_2 = l_1 \cdot \cos \theta_1 + l_{g2} \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 = l_1 \cdot \sin \theta_1 + l_{g2} \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ z_2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = -l_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - l_{g2} \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{y}_2 = l_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 + l_{g2} \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{z}_2 = 0 \end{cases}$$

Ta có: $v_2 = \sqrt{\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2}$

$$v_2^2 = l_1^2 \cdot \dot{\theta}_1^2 + l_{g2}^2 \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{g2} \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2) \cdot \cos \theta_2$$

Động năng:

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} J_2 \cdot \omega_2^2$$

$$= \frac{1}{2} m_2 \cdot [l_1^2 \cdot \dot{\theta}_1^2 + l_{g2}^2 \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{g2} \cdot (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2) \cdot \cos \theta_2] + \frac{1}{2} J_2 \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2$$

Thế năng: $P_2 = 0$

Khớp 3:

$$\begin{cases} x_3 = l_1 \cdot \cos \theta_1 + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_3 = l_1 \cdot \sin \theta_1 + l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ z_3 = -l_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x}_3 = -l_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{y}_3 = l_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{z}_3 = -\dot{l}_3 \end{cases}$$

$$v_3 = \sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2 + \dot{z}_3^2}$$

$$v_3^2 = l_1^2 \cdot \dot{\theta}_1^2 + l_{g2}^2 \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{g2} \cdot (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2) \cdot \cos \theta_2 + \dot{l}_3^2$$

Động năng:

$$K_3 = \frac{1}{2} m_3 \cdot v_3^2 = \frac{1}{2} m_3 \cdot [l_1^2 \cdot \dot{\theta}_1^2 + l_{g2}^2 \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{g2} \cdot (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2) \cdot \cos \theta_2 + \dot{l}_3^2]$$

Thế năng:

$$P_3 = m_3 \cdot g \cdot h_3 = -m_3 \cdot g \cdot l_3$$

Khớp 4:

$$\begin{cases} x_4 = l_1 \cdot \cos \theta_1 + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_4 = l_1 \cdot \sin \theta_1 + l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ z_4 = -l_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x}_4 = -l_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{y}_4 = l_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{z}_4 = -\dot{l}_3 \end{cases}$$

$$v_4 = \sqrt{\dot{x}_4^2 + \dot{y}_4^2 + \dot{z}_4^2}$$

$$K_4 = \frac{1}{2} m_4 \cdot v_4^2 + \frac{1}{2} J_4 \cdot \omega_4^2$$

$$= \frac{1}{2} m_4 \left[l_1^2 \cdot \dot{\theta}_1^2 + l_2^2 \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + 2l_1 \cdot l_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cdot \cos \theta_2 + l_3^2 \right] + \frac{1}{2} J_4 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)^2$$

$$P_4 = m_4 \cdot g, h_4 = -m_4 \cdot g \cdot l_3$$

Tổng động năng của hệ thống:

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4$$

Các biến khớp: $\theta_1, \theta_2, l_3, \theta_4$.

Đặt tâm khối tại đầu mút của thanh nối, ta có:

$$l_{g1} = l_1$$

$$l_{g2} = l_2$$

$$l_{g3} = l_3$$

$$\begin{aligned} K = & \frac{1}{2} \left[(m_1 + m_2 + m_3 + m_4) l_1^2 + (m_2 + m_3 + m_4) l_2^2 + J_1 + J_2 + J_4 \right] \dot{\theta}_1^2 + (m_2 + m_3 + m_4) l_1 l_2 \cos \theta_2 \cdot \dot{\theta}_1^2 \\ & + \left[(m_2 + m_3 + m_4) l_2^2 + J_2 + J_4 \right] \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2 + (m_2 + m_3 + m_4) l_1 l_2 \cos \theta_2 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2 \\ & + \frac{1}{2} \left[(m_2 + m_3 + m_4) l_2^2 + J_2 + J_4 \right] \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} (m_3 + m_4) l_3^2 + \frac{1}{2} J_4 \cdot \dot{\theta}_4^2 + J_4 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \dot{\theta}_4 + J_4 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_4 \end{aligned}$$

Tổng thế năng của hệ thống:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = - (m_3 + m_4) \cdot g \cdot l_3$$

2.2.2.4. Phương trình động lực học

Lagrange của hệ thống: $L = K - P$

$$\begin{aligned}
 L = & \frac{1}{2} \left[(m_1 + m_2 + m_3 + m_4) l_1^2 + (m_2 + m_3 + m_4) l_2^2 + J_1 + J_2 + J_4 \right] \dot{\theta}_1^2 + (m_2 + m_3 + m_4) l_1 l_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\
 & + \left[(m_2 + m_3 + m_4) l_2^2 + J_2 + J_4 \right] \dot{\theta}_2^2 + (m_2 + m_3 + m_4) l_1 l_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \frac{1}{2} \left[(m_2 + m_3 + m_4) l_2^2 + J_2 + J_4 \right] \dot{\theta}_2^2 \\
 & + \frac{1}{2} (m_3 + m_4) l_3^2 + \frac{1}{2} J_4 \dot{\theta}_4^2 + J_4 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_4 + J_4 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_4 + (m_3 + m_4) g l_3
 \end{aligned}$$

Các phần tử của phương trình động lực học:

$$F_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i}$$

1. Khớp 1:

$$M_1 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} - \frac{\partial L}{\partial \theta_1}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = & \left[(m_1 + m_2 + m_3) l_1^2 + (m_2 + m_3) l_2^2 + J_1 + J_2 \right] \dot{\theta}_1 + 2(m_2 + m_3) l_1 l_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1 \\
 & + \left[(m_2 + m_3) l_2^2 + J_2 \right] \dot{\theta}_2 + (m_2 + m_3) l_1 l_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = & \left[(m_1 + m_2 + m_3) l_1^2 + (m_2 + m_3) l_2^2 + J_1 + J_2 \right] \ddot{\theta}_1 + 2(m_2 + m_3) l_1 l_2 \cos \theta_2 \ddot{\theta}_1 \\
 & - 2(m_2 + m_3) l_1 l_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \left[(m_2 + m_3) l_2^2 + J_2 \right] \ddot{\theta}_2 - (m_2 + m_3) l_1 l_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1} = 0$$

2. Khớp 2

$$M_2 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} - \frac{\partial L}{\partial \theta_2}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = \left[(m_2 + m_3) l_2^2 + J_2 \right] \dot{\theta}_2 + (m_2 + m_3) l_1 l_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1 + \left[(m_1 + m_2) l_2^2 + J_2 \right] \dot{\theta}_2$$

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = & \left[(m_2 + m_3) l_2^2 + J_2 \right] \ddot{\theta}_2 + (m_2 + m_3) l_1 l_2 \cos \theta_2 \ddot{\theta}_1 \\
 & - (m_2 + m_3) l_1 l_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \left[(m_2 + m_3) l_2^2 + J_2 \right] \ddot{\theta}_2
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_2} = (m_2 + m_3) l_1 l_2 (-\sin \theta_2) \dot{\theta}_1^2 + (m_2 + m_3) l_1 l_2 (-\sin \theta_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2$$

3. Khớp 3

$$L_3 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{l}_3} - \frac{\partial L}{\partial l_3}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{l}_3} = m_3 \dot{l}_3$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{l}_3} = m_3 \ddot{l}_3$$

$$\frac{\partial L}{\partial l_3} = -m_3 \cdot g \cdot \dot{l}_3$$

4. Khớp 4:

$$M_4 = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_4} - \frac{\partial L}{\partial \theta_4}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_4} = J_4 \cdot \dot{\theta}_1 + J_4 \cdot \dot{\theta}_2 + J_4 \cdot \dot{\theta}_4$$

$$\frac{d}{dt} \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_4} = J_4 \ddot{\theta}_1 + J_4 \ddot{\theta}_2 + J_4 \ddot{\theta}_4$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$$

Như vậy phương trình động lực học của hệ thống được biểu diễn bằng các phương trình sau:

$$\begin{aligned} M_1 = & [(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)l_1^2 + (m_2 + m_3 + m_4)l_2^2 + J_1 + J_2 + J_4] \ddot{\theta}_1 + 2(m_2 + m_3 + m_4)l_1 l_2 \cos \theta_2 \cdot \ddot{\theta}_1 \\ & - 2(m_2 + m_3 + m_4)l_1 l_2 \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2 + [(m_2 + m_3 + m_4)l_2^2 + J_2 + J_4] \ddot{\theta}_2 + (m_2 + m_3 + m_4)l_1 l_2 \cos \theta_2 \cdot \ddot{\theta}_2 \\ & - (m_2 + m_3 + m_4)l_1 l_2 \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 + J_4 \ddot{\theta}_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 = & [(m_2 + m_3 + m_4)l_2^2 + J_2 + J_4] \ddot{\theta}_1 + (m_2 + m_3 + m_4)l_1 l_2 \cos \theta_2 \cdot \ddot{\theta}_1 - (m_2 + m_3 + m_4)l_1 l_2 \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2 \\ & + [(m_2 + m_3 + m_4)l_2^2 + J_2 + J_4] \ddot{\theta}_2 - (m_2 + m_3 + m_4)l_1 l_2 \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 + J_4 \ddot{\theta}_4 \end{aligned}$$

$$F_3 = (m_3 + m_4) \cdot \ddot{l}_3 + (m_3 + m_4) \cdot g \cdot \dot{l}_3$$

$$M_4 = J_4 \cdot \ddot{\theta}_1 + J_4 \cdot \ddot{\theta}_2 + J_4 \cdot \ddot{\theta}_4$$

Từ hệ phương trình động lực học của hệ thống trên ta đặt:

$$m_{1234} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4.$$

$$m_{234} = m_2 + m_3 + m_4.$$

$$m_{34} = m_3 + m_4.$$

$$J_{124} = J_1 + J_2 + J_4.$$

$$J_{24} = J_2 + J_4.$$

Khi đó phương trình động lực học trở thành:

$$M_1 = [m_{1234}.l_1^2 + m_{234}.l_2^2 + J_{124} + 2.m_{234}.l_1.l_2.Cos\theta_2]\ddot{\theta}_1 + (m_{234}.l_2^2 + J_{24} + m_{234}.l_1.l_2.Cos\theta_2)\ddot{\theta}_2 - 2m_{234}.l_1.l_2.Sin\theta_2.\dot{\theta}_2^2 + J_4.\ddot{\theta}_4$$

$$M_2 = [m_{234}.l_2^2 + J_{24} + m_{234}.l_1.l_2.Cos\theta_2]\ddot{\theta}_1 + [m_{234}.l_2^2 + J_{24}]\ddot{\theta}_2 - m_{234}.l_1.l_2.Sin\theta_2.\dot{\theta}_2^2 + J_4.\ddot{\theta}_4$$

$$F_3 = m_{34}.\ddot{l}_3 + m_{34}.g$$

$$M_4 = J_4.\ddot{\theta}_1 + J_4.\ddot{\theta}_2 + J_4.\ddot{\theta}_4$$

Xác định các thành phần trong phương trình động lực học:

$$H_{11} = m_{1234}.l_1^2 + m_{234}.l_2^2 + J_{124} + 2.m_{234}.l_1.l_2.\cos\theta_2$$

$$H_{12} = m_{234}.l_2^2 + J_{24} + m_{234}.l_1.l_2.\cos\theta_2$$

$$H_{13} = 0$$

$$H_{14} = J_4$$

$$h_{111} = 0$$

$$h_{122} = -m_{234}.l_1.l_2.\sin\theta_2$$

$$h_{133} = 0$$

$$h_{144} = 0$$

$$h_{112} = -2.m_{234}.l_1.l_2.\sin\theta_2$$

$$g_1 = 0$$

$$H_{21} = m_{234}.l_2^2 + J_{24} + m_{234}.l_1.l_2.\cos\theta_2$$

$$H_{22} = m_{234}.l_2^2 + J_{24}$$

$$H_{23} = 0$$

$$H_{24} = J_4$$

$$h_{211} = m_{234}.l_1.l_2.\sin\theta_2$$

$$H_{31} = 0$$

$$H_{32} = 0$$

$$H_{33} = m_{34}$$

$$H_{34} = 0$$

$$g_3 = m_{34}.g$$

$$H_{41} = J_4$$

$$H_{42} = J_4$$

$$H_{43} = 0$$

$$H_{44} = J_4$$

Phương trình động lực học rút gọn:

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & 0 & H_{14} \\ H_{21} & H_{22} & 0 & H_{24} \\ 0 & 0 & H_{33} & 0 \\ H_{41} & H_{42} & 0 & H_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{d}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{122} \cdot \dot{\theta}_2^2 + h_{112} \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \dot{\theta}_2 \\ h_{211} \cdot \dot{\theta}_1^2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g_3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2.3. Bộ điều khiển robot

2.3.1. Đặt vấn đề

Với sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật, đặc biệt là ngành điện tử động hóa đã được ứng dụng nhiều trong công nghiệp. Điều khiển chuyển động trong các hệ thống ngày càng đòi hỏi cao về độ chính xác, tính đáp ứng của máy móc trong hệ thống. Động cơ Servo cũng thay đổi và cải tiến liên tục để đáp ứng yêu cầu ngày càng khắt khe trong các hệ thống này như momen cao hơn, kích cỡ nhỏ hơn, khả năng phản hồi vị trí tuyệt đối và khả năng điều khiển được bằng phần mềm. Vì vậy mà động cơ Servo ngày càng được ứng dụng rộng rãi và được ưu tiên sử dụng hàng đầu trong công nghiệp. Máy tính ngày càng được ứng dụng nhiều trong các lĩnh vực Công nghệ và ngành tự động hóa cũng nằm trong xu hướng tất yếu đó. Với sự tiện nghi của máy tính cùng với trí tuệ tuyệt vời của con người đã tạo ra những phần mềm có thể kết nối động cơ servo với PLC...qua đó việc điều khiển, giám sát trở nên dễ dàng, linh hoạt và tốn ít sức lực hơn nhiều so với trước đây.

2.3.2. PLC FX3U-40MT

2.3.2.1. Giới thiệu tổng quan PLC FX3U-40MT

- PLC FX là một loại PLC micro của hãng MISUBISHI nhưng có nhiều tính năng mạnh mẽ. Loại PLC này được tích hợp sẵn các I/O trên CPU.

- PLC được viết tắt bởi ba từ “ Programmable Logic Controller ” có ý nghĩa là bộ điều khiển lập trình.

- Bộ điều khiển lập trình là một thiết bị mà người sử dụng có thể lập trình để thực hiện một loạt hay trình tự các sự kiện. Các sự kiện này được kích hoạt bởi tác nhân kích thích “ ngõ vào “ tác động vào PC hoặc qua các hoạt động trễ như thời gian định thì hay các sự kiện được đếm. Một khi sự kiện được kích hoạt, nó ở trạng thái ON hoặc OF. Một bộ điều khiển lập trình sẽ liên tục “ lặp ” trong chương trình do “ người sử dụng lập trình ra ” chờ tín hiệu ở ngõ vào và xuất tín hiệu ở ngõ ra tại thời điểm đã lập trình.

- Cấu trúc của bộ điều khiển lập trình có thể được phân thành các thành phần. Bộ phận mà chương trình được nạp vào lưu trữ và xử lý thường được gọi là Main processing hay còn gọi là CPU.

- Vậy, lập trình cho một PLC là đi tìm điều kiện tín hiệu ngõ vào tác động lên đối tượng điều khiển cho tín hiệu ngõ ra tương ứng. PLC FX ra đời từ năm 1981 cho đến nay đã có rất nhiều chủng loại tùy theo Model như: FX0(S), FX1, FX2, FX0N, FX1S, FX1N, FX2N, FX3G và FX3U. Tùy theo Model mà các loại này có dung lượng bộ nhớ khác nhau. Dung lượng bộ nhớ chương trình có thể từ 2kStep đến 8kStep (hoặc 64kStep khi gắn thêm bộ nhớ ngoài). Tổng số I/O đối với các loại này có thể lên đến 256 I/O, riêng đối với FX3U(C) có thể lên đến 384 I/O. Số Module mở rộng có thể lên đến 8 Module. Loại PLC FX tích hợp nhiều chức năng trên CPU (Main Unit) như ngõ ra xung hai tọa độ, bộ đếm tốc độ cao (HSC), PID, đồng hồ thời gian thực...

- Module mở rộng nhiều chủng loại như: Module mở rộng vào ra (I/O), Module mở rộng analog, xử lý nhiệt độ, điều khiển vị trí, các Module mạng như Cclink, Profibus....

- Ngoài ra còn có các board mở rộng (Extension Board) như Analog, các board dùng cho truyền thông các chuẩn RS232, RS422, RS485, và cả USB.

Để lập trình PLC ta có thể sử dụng các phần mềm sau: FXGP_WIN_E, GX_Developer.

Các phương pháp lập trình như:

- LAD(ladder): là phương pháp lập trình hình thang, thích hợp trong ngành điện công nghiệp.

- FBD(Flowchart Block Diagram): là phương pháp lập trình theo sơ đồ khối, thích hợp cho ngành điện tử số.

- STL(Statement List): là phương pháp lập trình theo dạng dòng lệnh giống như ngôn ngữ Assembly, thích hợp cho ngành máy tính.

- Một PLC gồm có các vùng nhớ sau:

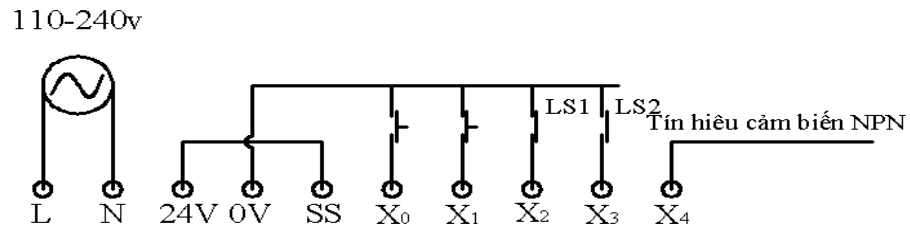
- + Tín hiệu ngõ vào: X
- + Tín hiệu ngõ ra : Y
- + Bộ định thời Timers : T
- + Bộ đếm Counter: C
- + Các cờ nhớ của PLC: M và S
- + Thanh ghi dữ liệu D, V và Z

2.3.2.2. Phương pháp đấu dây ngõ vào, ngõ ra PLC

- Đấu dây ngõ vào (X)

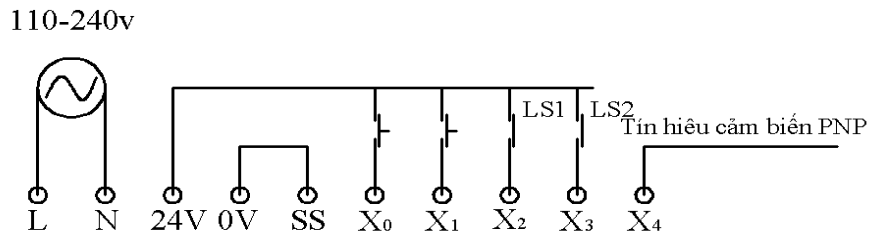
- Trường hợp 1: có chân SS (sink/source)

* Đấu dây sink (-, NPN)



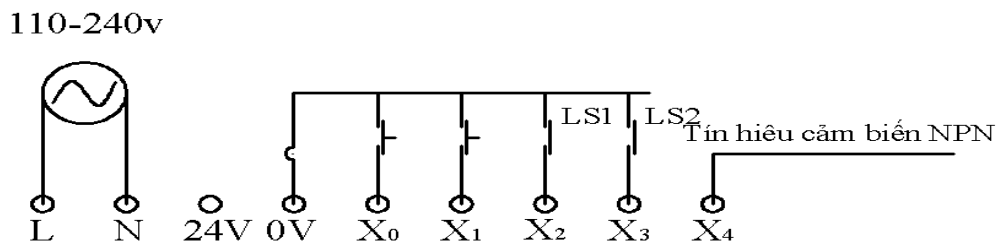
Hình 2. 7. Đầu dây sink (-, NPN)

* Đầu dây source (+, PNP)



Hình 2. 8. Đầu dây source (+, PNP)

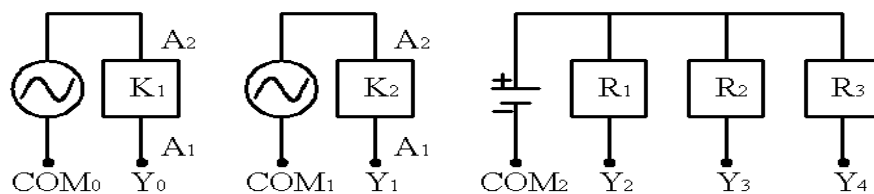
- Trường hợp 2: không có chân SS (đầu dây sink (-))



Hình 2. 9. không có chân SS (đầu dây sink (-))

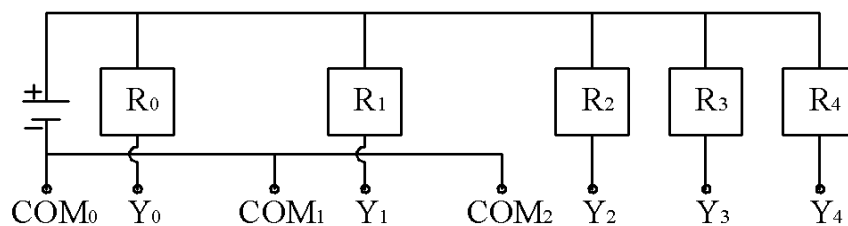
- Đầu dây ngõ ra (Y)

+ Ngõ ra là relay (MR)

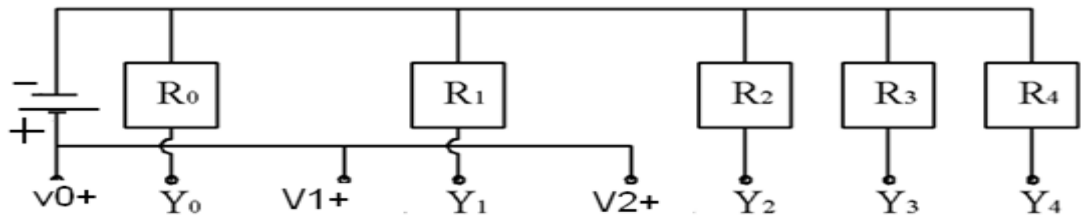


Hình 2. 10. Ngõ ra là relay (MR)

- Ngõ ra là transior (MT)



Hình 2. 11. Ngõ ra là transior (MT)



Hình 2. 12. Ngõ ra là transistor (MT)

2.3.2.3. Các vùng nhớ trên họ PLC FX Mitsubishi

Khi lập trình điều khiển hệ thống thì mỗi thiết bị có công dụng riêng. Để dễ dàng xác định thì mỗi thiết bị gán cho một ký tự.

- X: Dùng để chỉ ngõ vào vật lý gắn trực tiếp vào PC. Các ngõ vào này có thứ tự đếm theo hệ đếm bát phân $X_0X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7, X_{10}X_{11}, \dots$

- Y: Dùng để chỉ ngõ ra trực tiếp từ PC. Các ngõ ra này có thứ tự đếm theo hệ đếm bát phân $Y_0Y_1Y_2Y_3Y_4Y_5Y_6Y_7, Y_{10}Y_{11}, \dots$

- M và S : Dùng như là các cờ hoạt động trong PC.

Tất cả các thiết bị trên được gọi là các ‘ thiết bị bit ’ nghĩa là các thiết bị này có hai trạng thái ON hoặc Off. 1 hoặc 0.

Ta có thể tổ hợp các thiết bị bit lại để có thể tạo thành một dữ liệu 4bit, Byte, Word, hay Double Word như sau:

- $K_1M_0 = M_3M_2M_1M_0$ (tương ứng dữ liệu 4bit)

- $K_2M_{10} = M_{17}M_{16}M_{15}M_{14}M_{13}M_{12}M_{11}M_{10}$ (tương ứng với dữ liệu 8bit)

Tổng quát: $K_nM_m (1 \leq n \leq 8)$

- D: Thanh ghi 16 bit/32 bit. Đây là thiết bị Word.

- T: Dùng để xác định thiết bị định thì có trong PC (timer). Dữ liệu trên Timer là dữ liệu dạng Word (16bit) và trạng thái Timer ta nói Timer là thiết bị bit.

- C: Dùng để xác định thiết bị đếm có trong PC. Dữ liệu trên Counter là dữ liệu dạng Word (16bit/32bit) và trạng thái trên counter là trạng thái bit.

Ta có bảng các thiết bị như sau (đối với các PLC phiên bản từ 2.0 trở lên)

Mục	FX0S(N)	FX1s	FX1N	FX2N(C)	FX3U(C)
Phương pháp xử lý chương trình	Thực hiện chương trình tuần hoàn				
Phương pháp xử lý vào ra	Cập nhật ở đầu và cuối chu kỳ quét (khi lệnh END được thi hành)				
Thời gian xử lý	Cơ bản: 1.6- >3.6 μS ứng dụng 10- >100 μS	Cơ bản: 0.72 μS ứng dụng 10- >100 μS		Cơ bản :0.08 μS ứng dụng 1.52 - >100 μS	Cơ bản :0.065 μS ứng dụng 0.642 - >100 μS

Ngôn ngữ lập trình		Ladder+ Instruction +SFC				
Dung lượng chương trình		2kStep		8kStep	8kStep(16kStep gắn thêm bộ nhớ ngoài)	8kStep(64kStep gắn thêm bộ nhớ ngoài)
Cấu hình vào /ra có thể		128I/O (Max In/Out 128)	30I/O (Max16In, 14Out)	128I/O (Max In/Out 128)	256 I/O	384I/O
Role phụ trợ (M)	Chung	M ₀ -> M ₅₁₁		M ₀ -> M ₁₅₃₅	M ₀ ->M ₃₀₇₁	M ₀ ->M ₇₆₇₉
	Được chốt	M ₃₈₄ -> M ₅₁₁		M ₃₈₄ -> M ₁₅₃₅	M ₅₀₀ -> M ₃₀₇₁	M ₅₀₀ -> M ₇₆₇₉
	Chuyên dùng	M ₈₀₀₀ ->M ₈₂₅₅				M ₈₀₀₀ -> M ₈₅₁₁
Role trạng thái (S)	Chung	S0 -> S127		S0 -> S999		S0 -> S4095
	Được chốt			S500 -> S999		S500 -> S4095
	Khởi tạo	S0->S9				
	Cờ hiệu	Không		S900 -> S999		S900 -> S999
Bộ định thời Timer (T)	100ms	T0 -> T62		T0 -> T199		
	10ms	T32 -> T62 (M8028 =ON)		T200 -> T245		
	1ms(được chốt)	T63		T246 -> T249		
	100ms(được chốt)	Không		T250 -> T255		
	1ms	Không				T256 -> T511
Bộ đếm Counter	Chung (U) 16bit	C0 -> C31		C0 -> C199		
	Được chốt (U) 16bit	C16 -> C31		C16->C199	C100 -> C199	
	Chung	Không		C200 -> C234		

	(U/D) 32bit				
	Được chốt (U/D) 32bit	Không		C220 -> C234	
Bộ đếm tốc độ cao(HS C)	1 pha (U/D) 32bit	C235- >C238		C235 -> C240	
	Một pha tự khởi động và Reset (U/D) 32 bit	C241,C2 42 và C244		C241 -> C245	
	2 pha (U/D) 32bit	C246, C247 và C249		C246 -> C250	
	Pha A/B 32 bit	C251, C252 và C254		C251 -> C255	
Thanh ghi dữ liệu 16bit(D)	Chung	D0 -> D255		D0 -> D7999	
	Được chốt	D128 -> D255	D128- >D79 99	D200 -> D7999	
	T /ghi tập tin	D1000 -> D2499		D1000 -> D7999	
	Đặc biệt		D8000 -> D8255	D8000- >D8251	
Thanh ghi mở rộng 16bit (R)		Không		R0 -> R32767	
Thanh ghi tập tin mở rộng 16bit (ER)		Không		ER0- >ER32767	
Thanh ghi chỉ mục 16 bit	V	V		V0->V7	
	Z	Z		Z0->Z7	
Con trỏ	Dùng với	P0->P63	P0->P63	P0->P127	P0->P4095

P và I	lệnh CALL/CJ (P)				
	Ngắt bởi ngõ vào	I00 Δ - >I30 Δ Cạnh lên: Δ =1 Cạnh xuống Δ = 0	I00 Δ -> I50 Δ Cạnh lên: Δ =1 Cạnh xuống Δ = 0		
	Ngắt bởi Timer	Không		I6 ΔΔ -> I8 ΔΔ ΔΔ :10 -> 99ms	
	Ngắt bởi Counter	Không		I010 -> I060	
Số mức lồng		8 cho lệnh MC và MCR (N0 -> N7)			
Hằng số	Thập phân K	16bit: -32.768 -> +32.767 32bit:-2.147.483.648 -> +2.147.483.647			
	Thập lục phân H	16bit: 0000 -> FFFF 32bit:00000000 -> FFFFFFFF			
	Dạng dấu chấm động	Không		32bit:0, $\pm 1.175.10^{-38} \rightarrow \pm 3.403.10^{+38}$	
	Số thực R	Không			32bit

2.3.2.4. Đặc tính ngõ vào, ngõ ra

a. Đặc tính ngõ vào.

		FX bộ phận chính ,FX Modul mở rộng	
		X0 -> X7	X10 -> ∞
Điện áp ngõ vào		24VDC $\pm 10\%$	
Dòng ngõ vào		24VDC, 7mA	24VDC, 5mA
Công tắc ngõ vào	Off-> On	>4.5mA	>3.5mA
	On-> Off	<1.5 mA	
Thời gian đáp ứng		<10ms	
Cách ly mạch điện dùng		Dùng photocoupler	
Chỉ dẫn hoạt động		Dùng led	

b. Đặc tính ngõ ra.

Mô tả	Ngõ ra dùng relay	Ngõ ra dùng Transistor
-------	-------------------	------------------------

Điện áp		<240VAC,<30VDC	5-> 30VDC
Tỷ lệ dòng điện /N ngõ		2A/1 ngõ, 8A/Com	0.5A/1 ngõ, 0.8A/Com
Công suất lớn nhất của tải		80VA	12W/24VDC
Đèn phụ tải lớn		100w (1.17A/85VAC, 0.4A/250VAC)	1.5W/24VDC
Phụ tải nhỏ		Khi nguồn cấp nhỏ hơn 5VDC thì cho phép ít nhất 2mA	-----
Thời gain đáp ứng	Off->On	10ms	<0.2ms; <5 μ S (chỉ Y0,Y1)
	ON->OFF		
Mạch cách ly		Bằng Relay	Photocuopler
Dòng điện rỉ		-----	0.1mA/30VDC
Chỉ dẫn hoạt động		LED sáng khi cuộn dây được kích hoạt	

2.3.2.5. Bộ đếm tốc độ cao (HSC)

a. Tổng quát:

Bộ đếm tốc độ cao là loại bộ đếm dùng cho chức năng đếm xung ngõ vào ở tần số cao, các loại bộ đếm này có thể đếm xung ngõ vào có tần số cao lên đến 60KHZ. Các bộ đếm này hoạt động độc lập với chương trình quét trên PLC. Trên họ PLC FX ta có thể chọn cùng lúc nhiều nhất là 6 bộ đếm và các ngõ vào tương ứng cho hoạt động đếm xung ngõ vào có tần số cao là từ X0-> X7. Ta có thể sử dụng giá trị đếm của các bộ đếm tốc độ cao để thực hiện ngắt bởi bộ đếm tốc độ cao (ngắt này chỉ có trên các bộ FX2N (C) và FX3U(C)).

b. Phân loại các bộ đếm:

Bộ đếm tốc độ cao (High Speed Counter) bao gồm 21 bộ đếm bắt đầu từ C235 -> C255 và được chia thành các loại sau:

- Bộ đếm tốc độ cao 1 pha do người dùng tự khởi động và reset từ C235-> C240
- Bộ đếm tốc độ cao 1 pha khởi động và reset mặc định bởi phần cứng từ C241-> C245.
- Bộ đếm tốc độ cao 2 pha hai chiều từ C246-> C250
- Bộ đếm tốc độ cao pha A/B từ C251 -> C255

c. Các bộ đếm này hoạt động theo bảng sau:

- Đối với các bộ FX0N trở về trước

Input	1 Phase counter user start/reset				1 Phase counter assigned start/reset			2 Phase counter bi-directional			A/B Phase counter		
	C235	C236	C237	C238	C241	C242	C244	C246	C247	C249	C251	C252	C254
X0	U/D				U/D		U/D	U	U	U	A	A	A
X1		U/D			R		R	D	D	D	B	B	B
X2			U/D			U/D			R	R		R	R
X3				U/D		R	S			S			S

- Đối với các bộ FX1S trở về sau

ng ổ vào	Bộ đếm 1 pha do người dùng khởi động và Reset						Bộ đếm 1 pha khởi động và reset được gán trước					Bộ đếm 2 pha hai chiều					Bộ đếm pha A/B				
	C235	C236	C237	C238	C239	C240	C241	C242	C243	C244	C245	C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
X0	U/D						U/D			U/D		U	U		U		A	A		A	
X1		U/D					R			R		D	D		D		B	B		B	
X2			U/D					U/D			U/D		R		R			R		R	
X3				U/D				R		S	R			U		U			A		A
X4					U/D				U/D					D		D			B		B
X5						U/D			R					R		R			R		R
X6										S					S					S	
X7											S					S					S

Trong đó, U: Up counter input

R: Reset counter input

A: A phase counter input

B: B phase counter input

D: Down counter input

S: Start counter

Từ bảng trên ta thấy ngõ vào xung từ X0->X5. Hai ngõ còn lại X6 và X7 cũng được gọi là hai ngõ vào tốc độ cao song chúng chỉ được sử dụng để khởi động một bộ đếm tốc độ cao nào đó.

Chú ý:

- Là các bộ đếm từ C235-> C245 để các bộ đếm này đếm lên (UP) hay đếm xuống (DOWN) thì phải SET hoặc RESET bit đặc biệt.

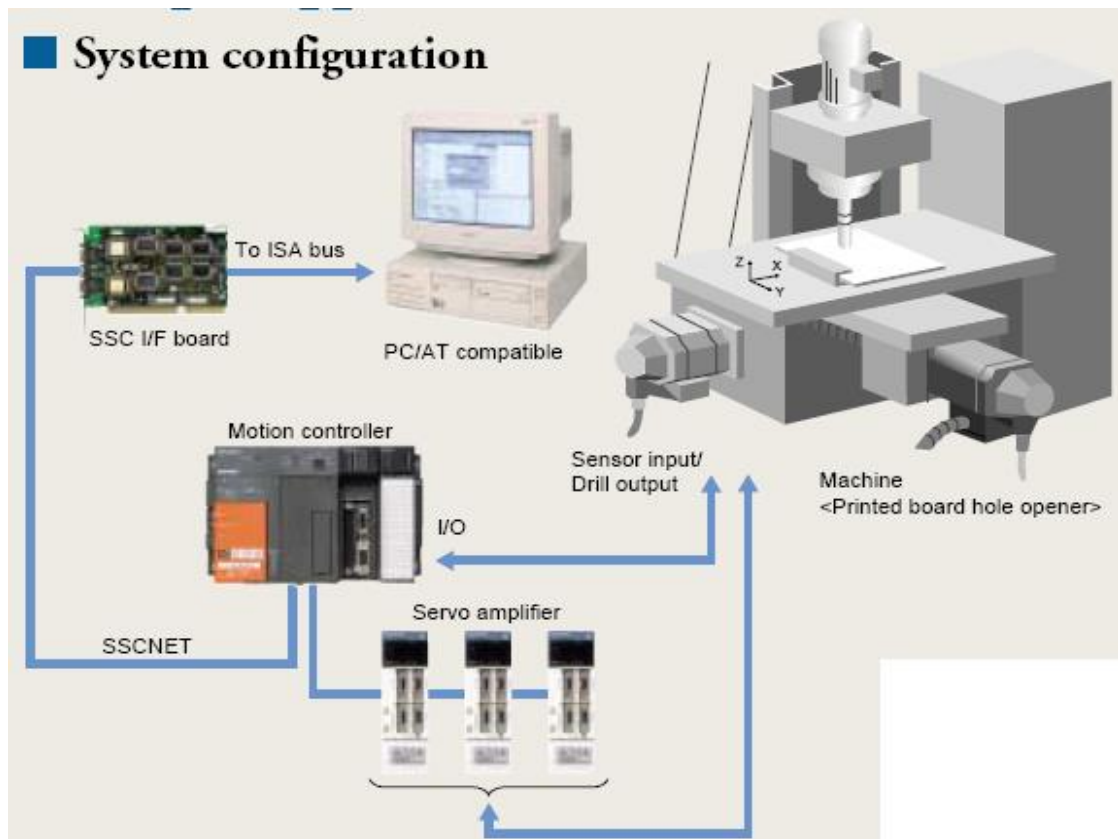
- Ví dụ muốn bộ đếm C*** đếm lên thì bit đặc biệt tương ứng là M8*** phải bị reset, ngược lại để bộ đếm này đếm xuống thì M8*** phải được set.

- Có thể chọn bộ đếm bất kỳ nhưng lưu ý không được chọn cùng lúc 2 bộ đếm có trùng với nhau ít nhất một ngõ vào trong một chương trình.
- Có thể chọn nhiều bộ đếm cùng lúc song tổng tần số của các xung ngõ vào luôn phải nhỏ hơn 20kHz.
- Đặc biệt đối với hai ngõ vào là X0 và X1 có thể cho xung ngõ vào cao hơn.
- Đối với các bộ đếm 1 pha hay hai pha như C235, C236 và C240 có thể tần số ngõ vào lên đến 60KHZ.
- Đối với bộ đếm pha A/B như C251 có thể cho phép đếm xung tần số cao lên đến 30KHZ.

2.3.3. Bộ DRIVER và động cơ SERVO YASKAWA SGDM-02ADA

2.3.3.1. Giới thiệu chung

Trong công nghiệp có rất nhiều quá trình điều khiển và điều khiển vị trí là một trong những khâu quan trọng nhất. Bởi lẽ khi muốn sản xuất hàng loạt sản phẩm có kích thước đồng đều nhau thì buộc hệ thống phải điều khiển chính xác như: hệ thống đóng gói sản phẩm, đóng nắp chai, đo và cắt chiều dài trên băng tải, khắc chữ, cắt ống....và ứng dụng lớn nhất hiện nay là các máy công cụ CNC. Vì thế việc ứng dụng các thiết bị điều khiển vị trí như Step Motor, Servo Motor là rất cần thiết. Vì nhu cầu ứng dụng rất lớn nên các hãng sản xuất các thiết bị công nghiệp lớn như Siemen, Omron, Mitsubishi, Yakawa, koyo, Parasonic...đã không ngừng chế tạo và đưa ra các sản phẩm mới nhằm làm thỏa mãn nhu cầu của người tiêu dùng.



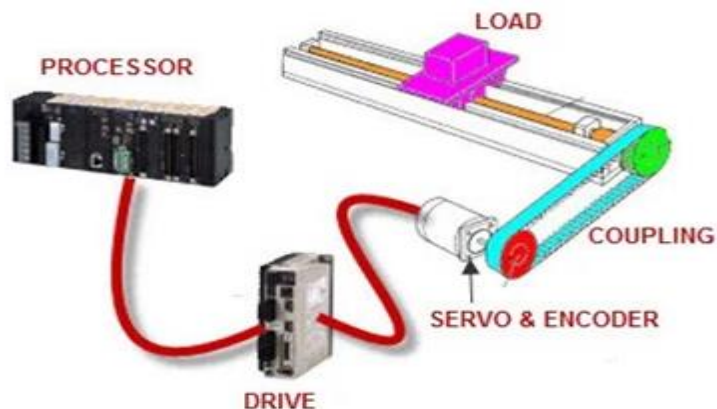
Hình 2. 13. Sơ đồ điều khiển hệ thống

2.3.3.2. Giới thiệu về Servo YASKAWA SGDM



Hình 2. 14. Servo YASKAWA SGDM

Động cơ servo là thành phần quan trọng của hệ thống điều khiển chuyển động. Để hoạt động được, chúng ta phải nối động cơ servo với các phần cứng, phần mềm hỗ trợ điều khiển chuyển động. Động cơ servo được kết hợp cơ khí với các thiết bị máy móc khác để cung cấp lực di chuyển các thiết bị này theo yêu cầu của ứng dụng.



Động cơ servo được sử dụng trong các hệ thống điều khiển chuyển động để cung cấp một lực cơ học cụ thể trong khoảng thời gian nhất định. Để đạt được điều này, chúng ta phải điều khiển vị trí, vận tốc và mô men của động cơ servo theo yêu cầu ứng dụng.

Để hoạt động chuẩn xác, động cơ servo phải kết hợp với:

- Bộ điều khiển: Thông thường là PLC hoặc bộ điều khiển chuyển động chuyên dụng sẽ chạy chương trình điều khiển để thực hiện đúng theo yêu cầu kỹ thuật của ứng dụng.
- Bộ điều khiển động cơ: Thiết bị điện tử có chức năng cung cấp đủ năng lượng cho động cơ theo đúng cách, đúng thời điểm.
- Bộ mã hóa xung vòng quay: Tạo phản hồi cho hoạt động của động cơ.



Hình 2. 16. Động cơ servo

Cấu trúc động cơ servo:

- Động cơ AC Servo
- Động cơ DC Servo

Động cơ servo có 2 loại:

Động cơ DC Servo có 2 loại: động cơ 1 chiều có chổi than và động cơ 1 chiều không chổi than

Động cơ AC Servo có 3 cuộn dây với 1 đầu chung cho tất cả các cuộn dây. Thông thường đầu chung được nối với dương nguồn và được kích từ theo thứ tự liên tục, 120° cho mỗi bước. Rotor trong động cơ có 2 răng, Stator có 3 cực cách nhau 120° . Khi một cuộn kích điện thì răng của rotor bị hút vào cực một. Nếu dòng qua cuộn một bị ngắt và đóng dòng cho cuộn hai, rotor quay 120° và răng của rotor bị hút vào cuộn hai. Để động cơ quay một cách liên tục chúng ta cần cấp điện luân phiên cho 3 cuộn dây.

Chức năng của bộ điều khiển động cơ servo



Hình 2. 17. Bộ Driver Động cơ servo

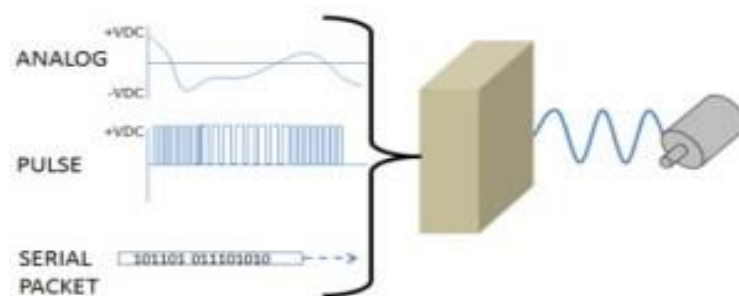
Cần có nguồn điện cấp tương thích với thiết kế của động cơ servo. Bộ điều khiển cung cấp nguồn cho động cơ servo đúng lượng, đúng thời điểm để điều khiển vị trí tốc độ và mô men tương ứng với các đầu vào từ bộ điều khiển chuyển động, phản hồi từ bộ mã hóa xung vòng quay và từ bản thân động cơ servo.

Các chức năng khác của bộ điều khiển bao gồm:

- Truyền thông với bộ điều khiển chuyển động
- Đọc phản hồi từ bộ mã hóa xung vòng quay và điều chỉnh thời gian thực cho mạch vòng điều khiển kín.

- Xử lý các tín hiệu vào/ra ví dụ như các thiết bị an toàn, chế độ đầu vào và các tín hiệu đầu ra về trạng thái hoạt động. Vì lý do này, mỗi bộ điều khiển thường kết hợp với một dòng động cơ servo cụ thể.

Trong khi tín hiệu đầu vào cho bộ điều khiển động cơ servo là dòng một chiều (DC), đầu ra bộ điều khiển gần như là dạng sóng điện xoay chiều để điều khiển trơn tốc độ, gia tốc và mô men của động cơ servo.



Hình 2. 18. Tín hiệu điều khiển động cơ servo

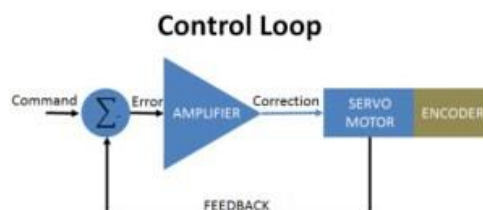
Tín hiệu điều khiển động cơ servo:

Dựa vào dữ liệu lưu trong chương trình điều khiển chuyển động, bộ điều khiển nhận tín hiệu để thực hiện một dạng chuyển động nhất định. Tín hiệu từ bộ điều khiển chuyển động gửi tới bộ điều khiển động cơ servo có thể có nhiều dạng:

- Điện áp một chiều dạng tương tự (ví dụ như từ -12VDC đến +12VDC)
- Dãy xung
- Gói dữ liệu truyền qua mạng

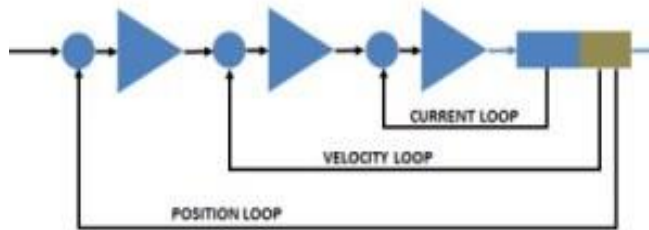
Phản hồi trong hệ thống động cơ servo

Bộ điều khiển và động cơ servo cùng hoạt động để vận hành trong chế độ mạch vòng kín.



Hình 2. 19. Điều khiển động cơ servo chế độ mạch vòng kín

Khi sử dụng mạch phản hồi, vị trí thực tế, vận tốc hay mô men của động cơ servo được so sánh với lệnh chuyển động và bất kỳ sai số nào giữa các cặp giá trị trên đều được xác định. Sau đó, bộ điều khiển động cơ servo sẽ sử dụng các thông tin sai số này để điều chỉnh hoạt động của động cơ theo thời gian thực, sao cho quá trình hoạt động của động cơ đáp ứng được yêu cầu của ứng dụng. Chu trình phản hồi – xác định sai số – triệt tiêu sai số được gọi là mạch vòng điều khiển kín. Mạch vòng điều khiển



Hình 2. 20. Các mạch vòng điều khiển

Mạch vòng điều khiển được xử lý bởi bộ điều khiển động cơ servo, bộ điều khiển chuyển động hoặc cả hai tùy thuộc vào yêu cầu điều khiển. Để đạt được chuyển động như mong muốn cho ứng dụng của mình, chúng ta có thể tách riêng các mạch vòng điều khiển cho vị trí, vận tốc và mô men.

Không phải tất cả các ứng dụng điều khiển đều bao gồm cả ba dạng mạch vòng điều khiển vừa nêu. Nhiều ứng dụng chỉ gồm có mạch vòng dòng điện và mạch vòng tốc độ dùng cho điều khiển tốc độ. Nhiều ứng dụng lại cần có cả ba mạch vòng điều khiển để điều khiển vị trí.

- Điều khiển vị trí (Position Loop)

Vị trí được hiểu là vị trí góc tuyệt đối của trục động cơ servo hoặc trong vài trường hợp, là vị trí của thiết bị truyền động bởi động cơ servo. Khi động cơ servo thay đổi vị trí, bộ mã hóa xung vòng quay của động cơ servo sẽ gửi phản hồi vị trí thực tế của trục động cơ tới bộ điều khiển động cơ servo hoặc có thể gửi tín hiệu trực tiếp tới bộ điều khiển chuyển động.

Mạch vòng vị trí sẽ tiến hành so sánh vị trí đặt và vị trí thực tế; từ sai số nhận được và các thông số căn chỉnh của mạch vòng, bộ điều khiển tự động điều chỉnh vị trí trục quay động cơ theo thời gian thực để triệt tiêu sai lệch vị trí. Theo cách này, động cơ servo sẽ thực hiện chính xác theo thông số đã đặt trước ngay cả khi điều kiện vận hành thay đổi. Ví dụ như, nếu thiết bị truyền động bởi động cơ servo trở nên khó di chuyển, bộ điều khiển động cơ servo sẽ điều khiển tăng mô men sinh ra và/hoặc điều khiển động cơ vận hành trong khoảng thời gian lâu hơn để đạt được vị trí mong muốn bất chấp ma sát của cơ cấu truyền động.

- Điều khiển tốc độ (Velocity Loop)

Tốc độ ở đây được hiểu là vận tốc và chiều quay của động cơ servo. Khi động cơ servo tăng tốc hoặc giảm tốc, bộ mã hóa xung vòng quay sẽ gửi vận tốc và chiều quay thực tế tới bộ điều khiển động cơ servo hoặc gửi trực tiếp tới bộ điều khiển chuyển động.

Mạch vòng tốc độ sẽ so sánh tốc độ đặt với tốc độ hiện tại; dựa vào sai số tốc độ và các thông số căn chỉnh của mạch vòng, bộ điều khiển động cơ sẽ tự động điều chỉnh vận tốc động cơ theo thời gian thực để đạt được các yêu cầu của ứng dụng.

Theo cách này, động cơ servo sẽ thực hiện đúng theo các thông số đã cài đặt ngay cả khi điều kiện vận hành thay đổi. Ví dụ như, nếu động cơ servo truyền động cho một cơ cấu có trọng lượng lớn, động cơ sẽ rất khó để giảm tốc. Trong trường hợp này, động cơ có thể tăng mô men nghịch để dừng tải trong khoảng thời gian và khoảng cách theo yêu cầu của ứng dụng.

- Điều khiển Mô men (Current Loop)

Mô men của động cơ Servo là lực tạo ra từ chuyển động quay của rotor động cơ. Mô men tạo ra tỷ lệ thuận với dòng điện hiệu dụng chạy trong cuộn dây stator của động cơ. Dòng hiệu dụng càng cao, mô men sinh ra càng lớn.

Bộ điều khiển động cơ servo đo trị số dòng hiệu dụng chạy trong cuộn dây stator và dùng phản hồi giá trị này để tự động điều chỉnh dòng điện trong động cơ theo thời gian thực nhằm đáp ứng được yêu cầu mô men của ứng dụng.

Mạch vòng dòng điện đôi khi được hiểu là mạch vòng mô men.



Hình 2. 21. Bộ mã hóa xung vòng quay

- Bộ phản hồi mã hóa xung vòng quay

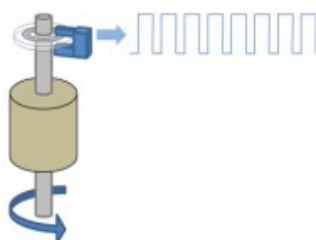
Bộ mã hóa xung vòng quay (encoder): Là thiết bị phần cứng thiết yếu của hệ thống động cơ servo có tác dụng phản hồi tốc độ và vị trí.

Thông thường, bộ mã hóa xung vòng quay nằm trong hoặc được gắn với động cơ servo. Trong một vài ứng dụng, bộ mã hóa xung vòng quay là thiết bị được gá lắp riêng biệt với động cơ. Cách gá lắp này giúp cho bộ mã hóa xung vòng quay ghi nhận được các thông số khác ảnh hưởng đến hoạt động của động cơ servo.

Có hai dạng bộ mã hóa xung vòng quay chính:

- Bộ mã hóa xung vòng quay tỷ lệ (incremental)
- Bộ mã hóa xung vòng quay tuyệt đối (absolute)

Cấu trúc vật lý của bộ mã hóa xung vòng quay quyết định dạng tín hiệu phản hồi.



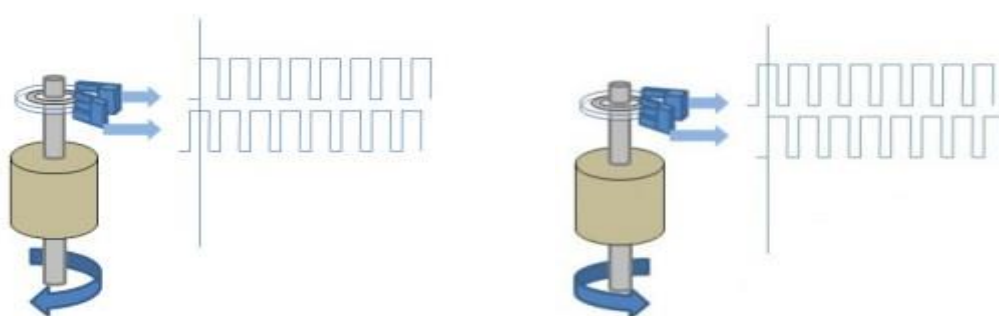
Hình 2. 22. Cấu trúc vật lý bộ mã hóa xung vòng quay

- Bộ mã hóa xung vòng quay tỷ lệ

Bộ mã hóa xung vòng quay tỷ lệ áp dụng nguyên lý quang học sử dụng một đĩa thủy tinh trong suốt được in các vạch đối xứng tỏa tròn theo khoảng cách đều. Đĩa này được gắn cố định với trục động cơ và quay cùng rotor của động cơ. Các vạch trên đĩa được phát hiện bởi một cảm biến quang điện. Đầu ra của cảm biến thay đổi mỗi khi có sự thay đổi từ sáng sang tối hoặc từ tối sang sáng. Tốc độ thay đổi này tỷ lệ thuận với vận tốc động cơ. Đầu ra của bộ mã hóa xung vòng quay là một dải xung tỷ lệ với vận tốc động cơ. Đầu ra này đôi lúc còn được gọi là tín hiệu Pha A.

Như vậy, với bộ mã hóa này chúng ta không thể biết được chiều quay mà chỉ biết được tốc độ của động cơ.

Để biết được chiều quay, bộ mã hóa xung vòng quay tỷ lệ cần lắp thêm một cảm biến quang thứ hai, cách cảm biến thứ nhất một khoảng cách nhất định

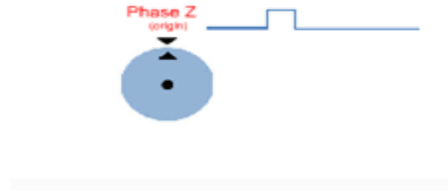


Hình 2. 23. Chiều quay bộ mã hóa xung vòng quay

Khi thay đổi chiều quay thì xung cũng thay đổi vị trí của cảm biến thứ hai được lắp ở vị trí sao cho sự thay đổi sáng tối làm cho đầu ra của cảm biến thứ hai lệch pha 90 độ so với cảm biến thứ nhất.

Quan hệ giữa các xung này được gọi là chậm pha $\frac{1}{4}$ chu kỳ. Bằng cách so sánh hai dãy xung lệch pha này, ngoài xác định được vận tốc quay còn có thể xác định được chiều quay. Đầu ra từ cảm biến thứ 2 còn được gọi là tín hiệu Pha B. Bên

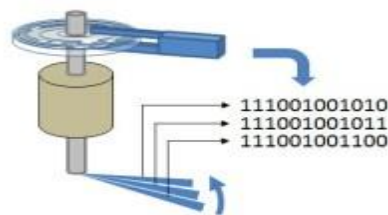
cạnh tín hiệu pha A và pha B, bộ mã hóa xung vòng quay có thể có đầu ra thứ ba được gọi là Pha Z. Pha Z chỉ xuất đi một xung ứng với mỗi vòng quay. Tín hiệu này có tác dụng xác định vị trí gốc ban đầu hoặc vị trí tham chiếu.



Hình 2. 24. Pha Z bộ mã hóa xung vòng quay

Bộ mã hóa xung vòng quay tỷ lệ sử dụng xung tham chiếu này là điểm bắt đầu để từ đó xác định vị trí tuyệt đối bằng cách đếm số xung bắt đầu từ một vị trí đã biết.

- Bộ mã hóa xung vòng quay tuyệt đối

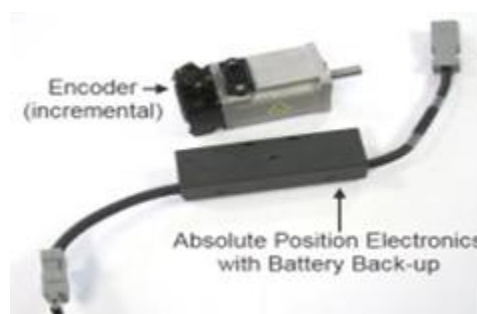


Hình 2. 25. Bộ mã hóa tuyệt đối

Bộ mã hóa xung vòng quay tuyệt đối cũng sử dụng một đĩa trong suốt; nhưng thay vì dùng các vạch in, đĩa này có các vùng trong suốt và vùng mờ sắp xếp theo mã nhị phân.

Mỗi bit mã hóa là một vùng riêng biệt trên đĩa và các cảm biến quang sẽ đồng thời đọc tất cả các vùng này.

Dữ liệu đọc từ đĩa là duy nhất ứng với mỗi vị trí góc của trục động cơ. Dữ liệu này có thể được gửi đi từ bộ mã hóa theo phương thức song song hoặc được chuyển đổi sang kiểu dữ liệu nối tiếp. Số bit trong mã dữ liệu quy định độ phân giải góc của bộ mã hóa xung vòng quay.



Hình 2. 26. Động cơ servo có bộ mã hóa tuyệt đối

Theo lý thuyết, một bộ mã hóa xung vòng quay có độ phân giải 12 bit sẽ sinh ra 4096 mã đơn nhất khi quay một vòng 360 độ; hay nói cách khác khi trục động cơ quay được 0.088 độ sẽ xuất ra một mã đơn nhất. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng tới việc tăng thêm số góc thực tế nhưng bộ mã hóa 20 bit cũng không phải là hiếm gặp.

Một phương pháp khác để xác định vị trí tuyệt đối là kết hợp một dạng đặc biệt của bộ mã hóa xung vòng quay tỷ lệ với một bộ nhớ phân cứng cùng với một phần mềm riêng thay vì sử dụng chiếc đĩa đất đỏ của bộ mã hóa tuyệt đối.

Thiết bị sử dụng các xung lũy tiến từ bộ mã hóa để tạo một vị trí ảo tuyệt đối trong bộ nhớ phân cứng. Nhờ có pin, bộ nhớ được duy trì ngay cả khi ngắt nguồn của hệ thống.

Cả hai dạng bộ mã hóa xung vòng quay tuyệt đối đều có thể gửi phản hồi vị trí cần thiết đến bộ điều khiển động cơ servo.

Sau đây là sơ đồ kết nối cấp nguồn cho bộ driver Servo và sơ đồ đấu dây ở 3 chế độ điều khiển:

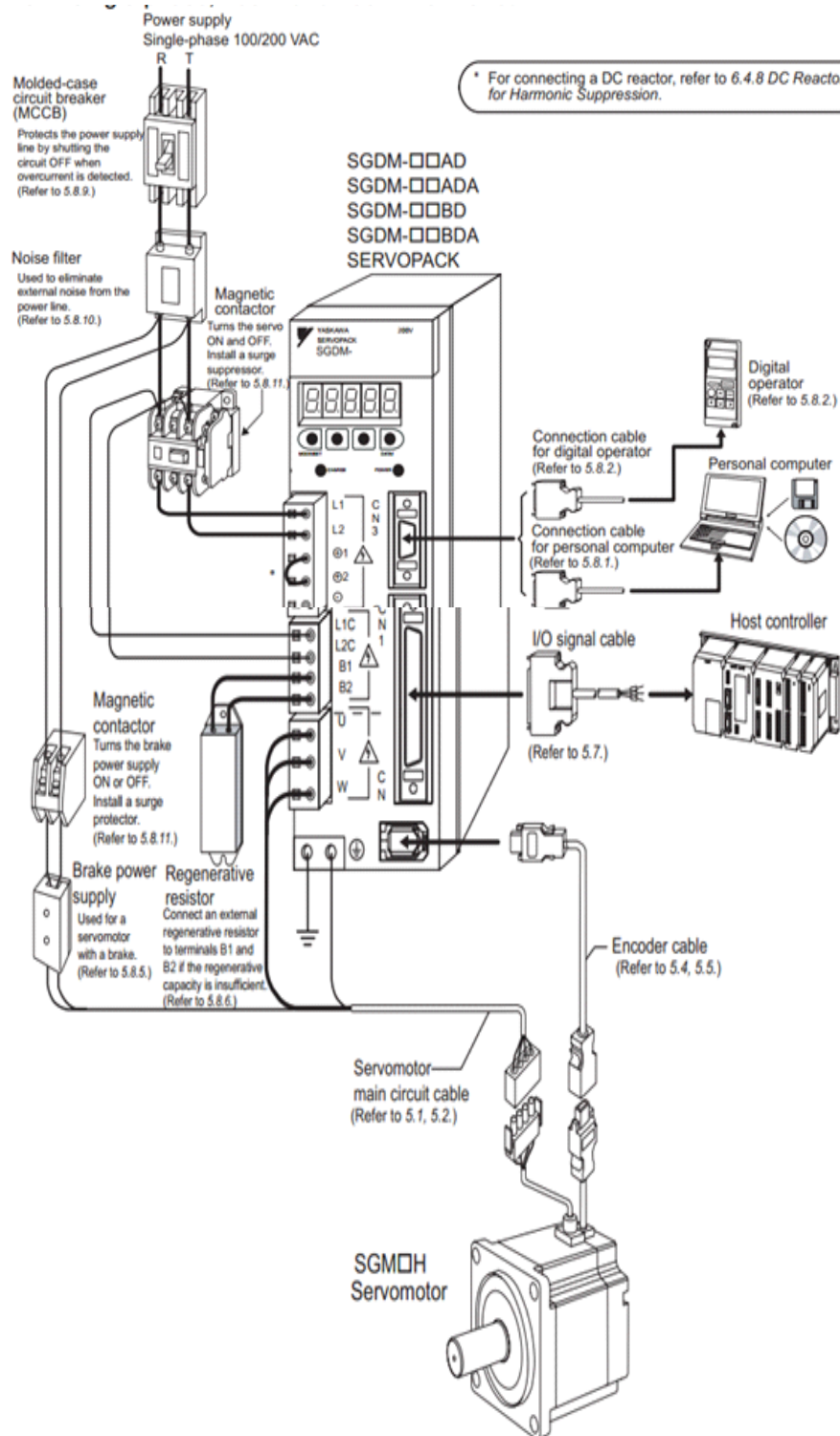
Kết luận chương II: Tác giả đã nghiên cứu và tính toán động lực học của robot đồng thời nghiên cứu về PLC FX3U, đưa ra được phương pháp điều khiển và sơ đồ kết nối mạch điều khiển.

CHƯƠNG III

LẮP ĐẶT, THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

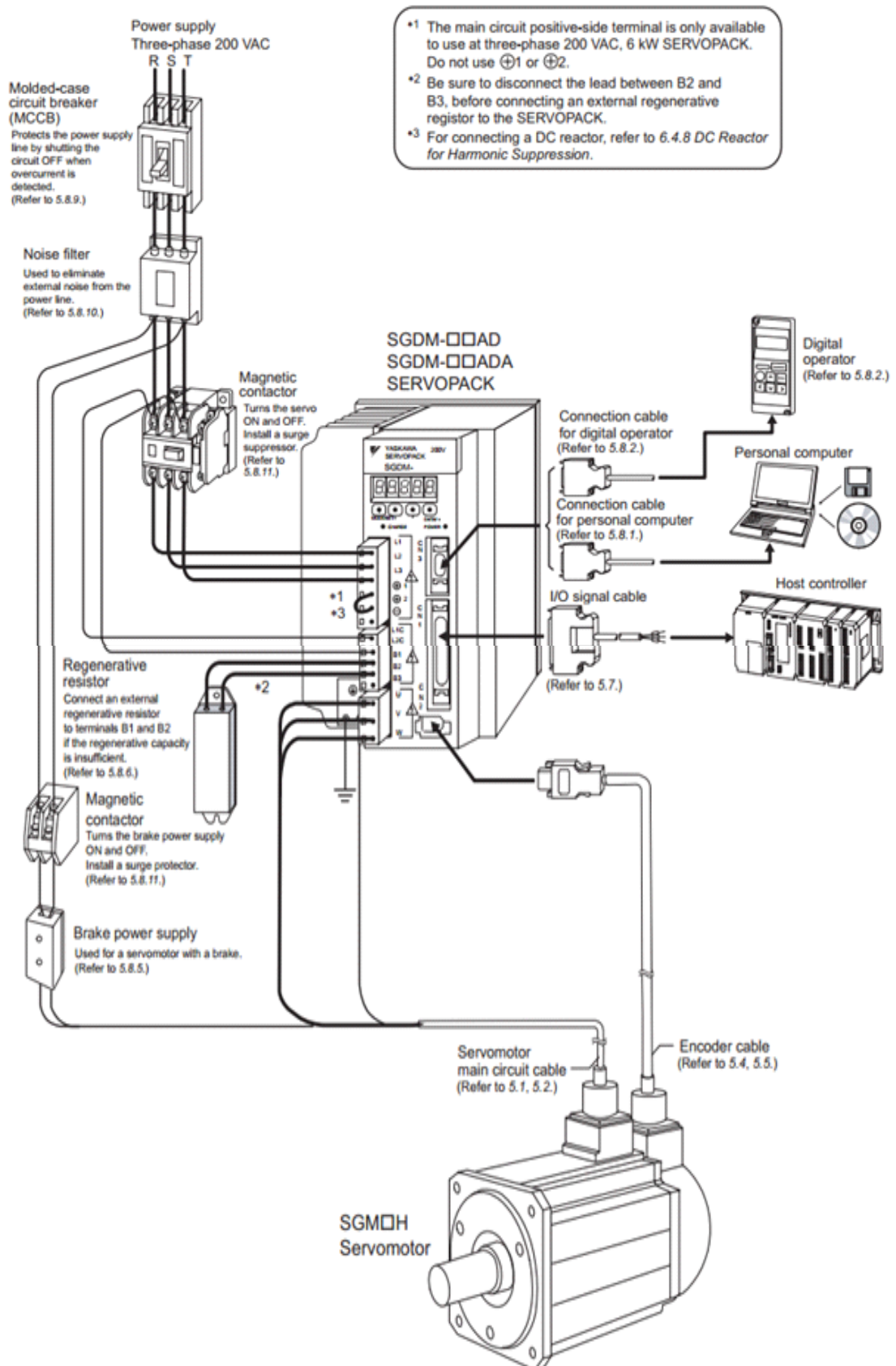
3.1. Sơ đồ kết nối servo

3.1.1. Đấu với nguồn 1 pha



Hình 3. 1. Sơ đồ kết nối servo đấu với nguồn 1 pha

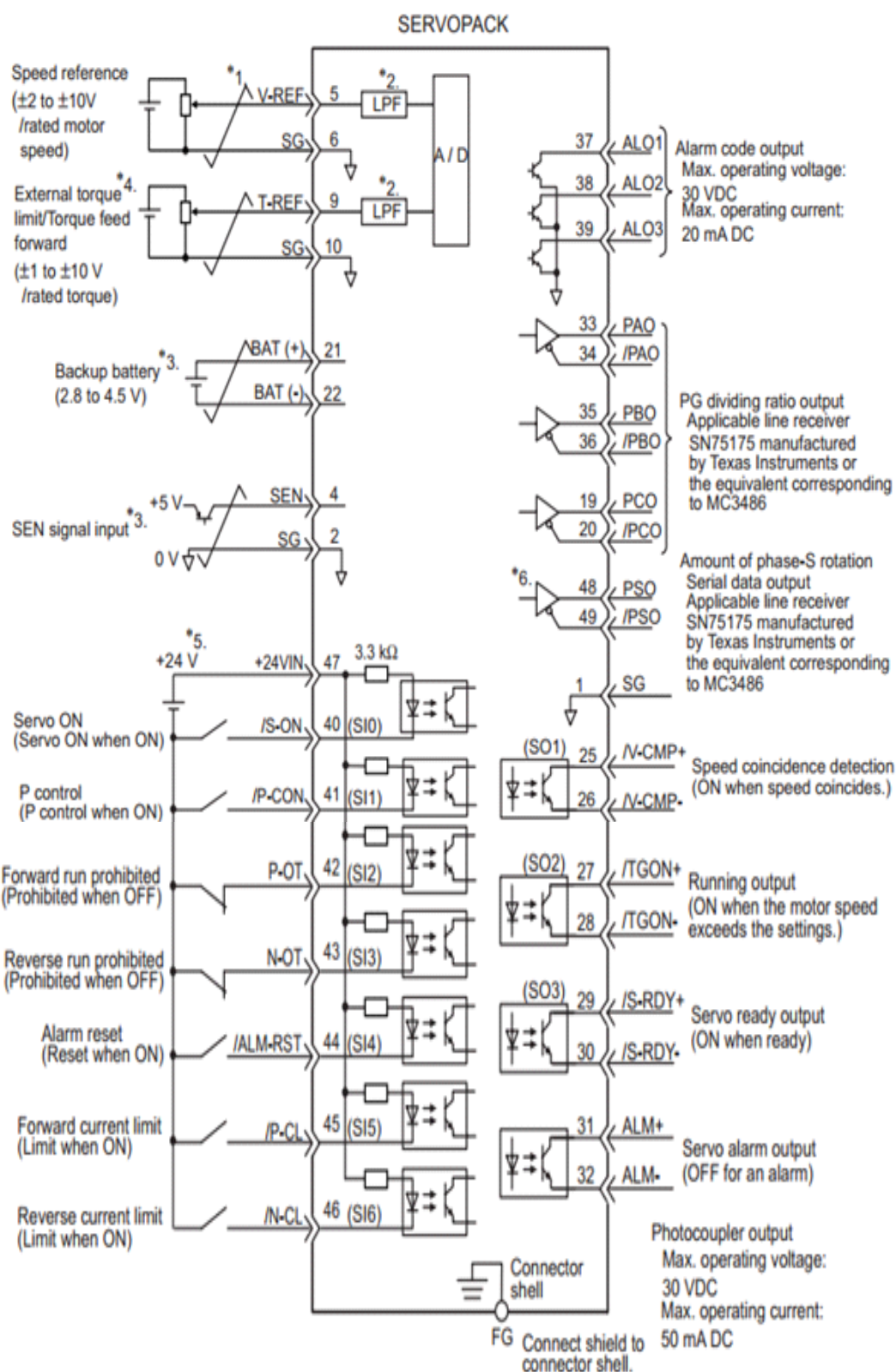
3.1.2. Đối với nguồn 3 pha



Hình 3. 2. Sơ đồ kết nối servo đối với nguồn 3 pha

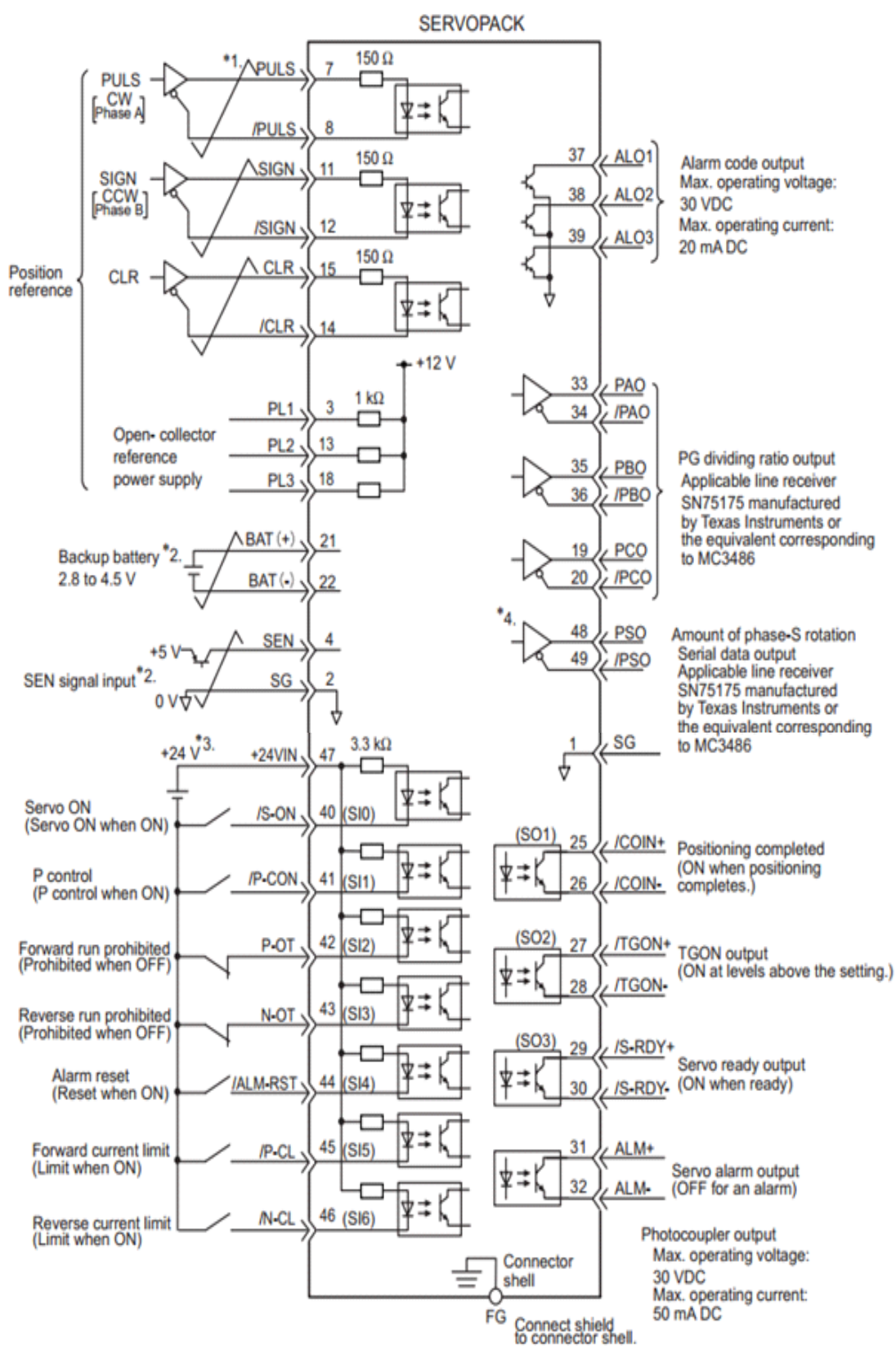
3.2. Sơ đồ đấu dây ở 3 chế độ điều khiển

3.2.1. Chế độ điều khiển tốc độ



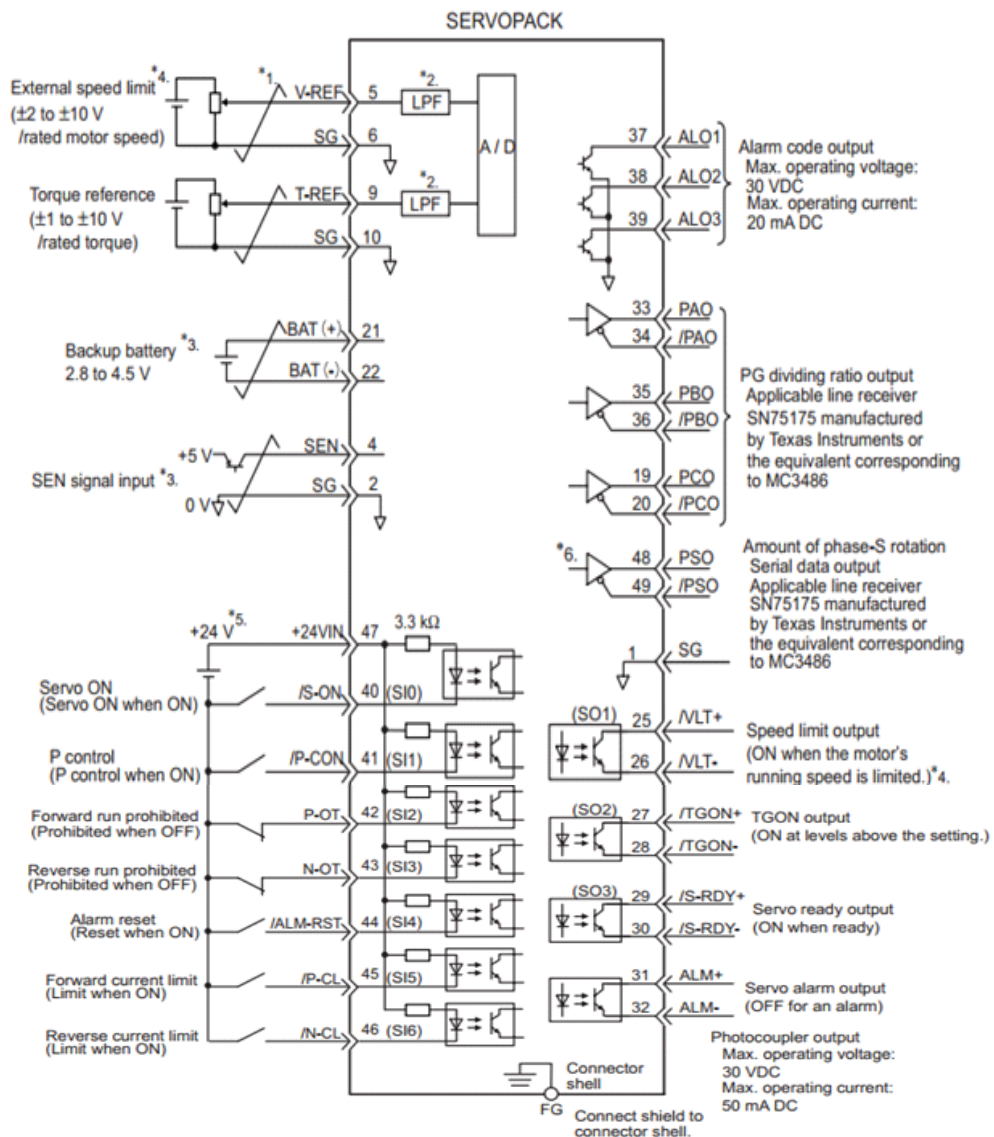
Hình 3. 3. Sơ đồ kết nối servo chế độ điều khiển tốc độ

3.2.2. Chế độ điều khiển vị trí



Hình 3. 4. Sơ đồ kết nối servo chế độ điều khiển vị trí

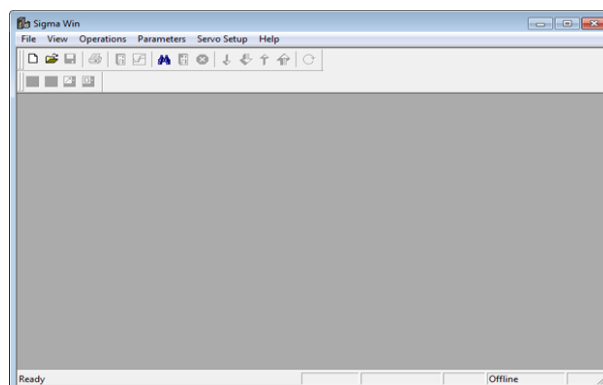
3.2.3. Chế độ điều khiển momen



Hình 3. 5. Sơ đồ kết nối servo chế độ điều khiển momen

3.3. Cài đặt thông số, vị trí cho Driver

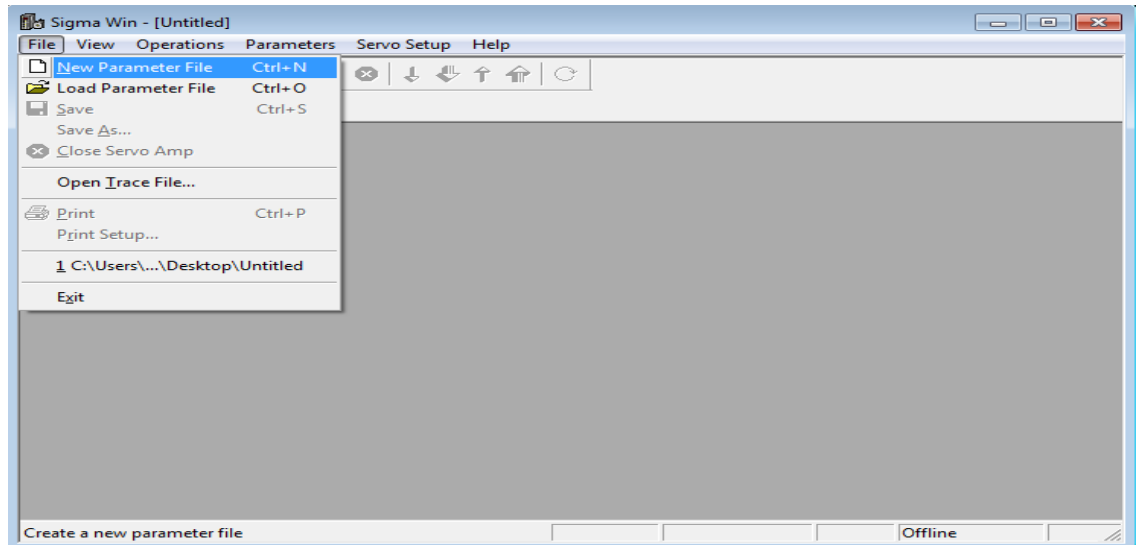
Sử dụng phần mềm **Sigma Win**



Hình 3. 6. Giao diện phần mềm Sigma Win

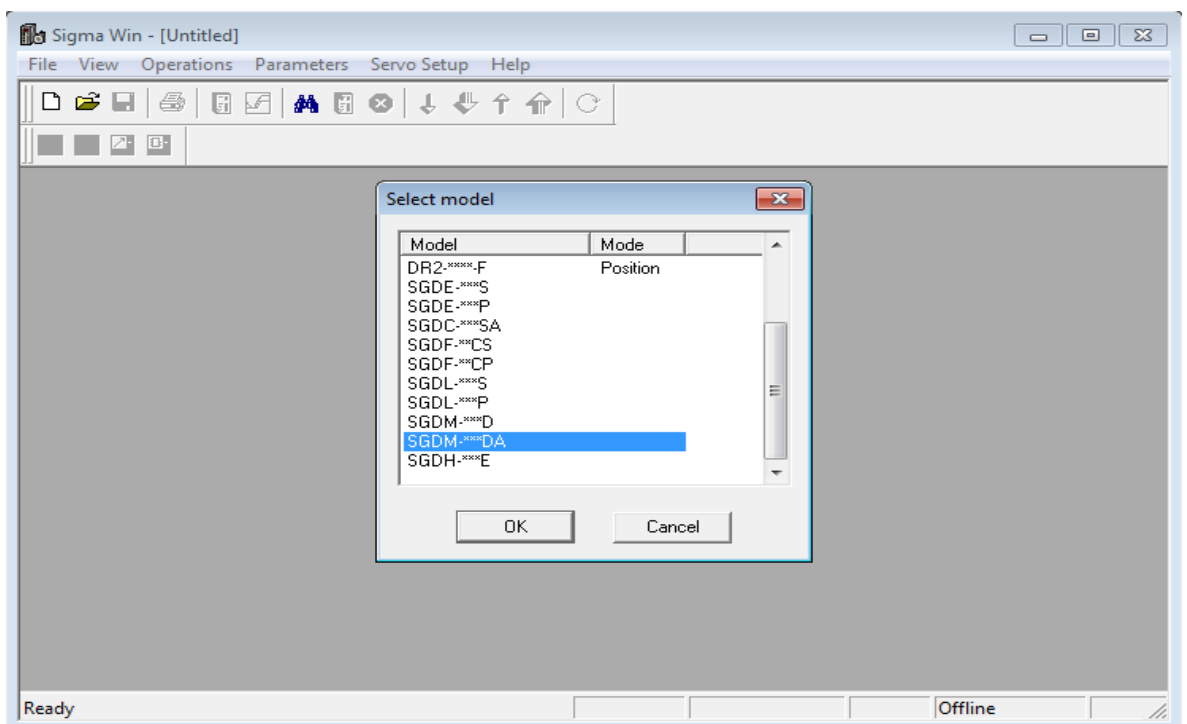
Click mở phần mềm:

Chọn File - > New parameter File



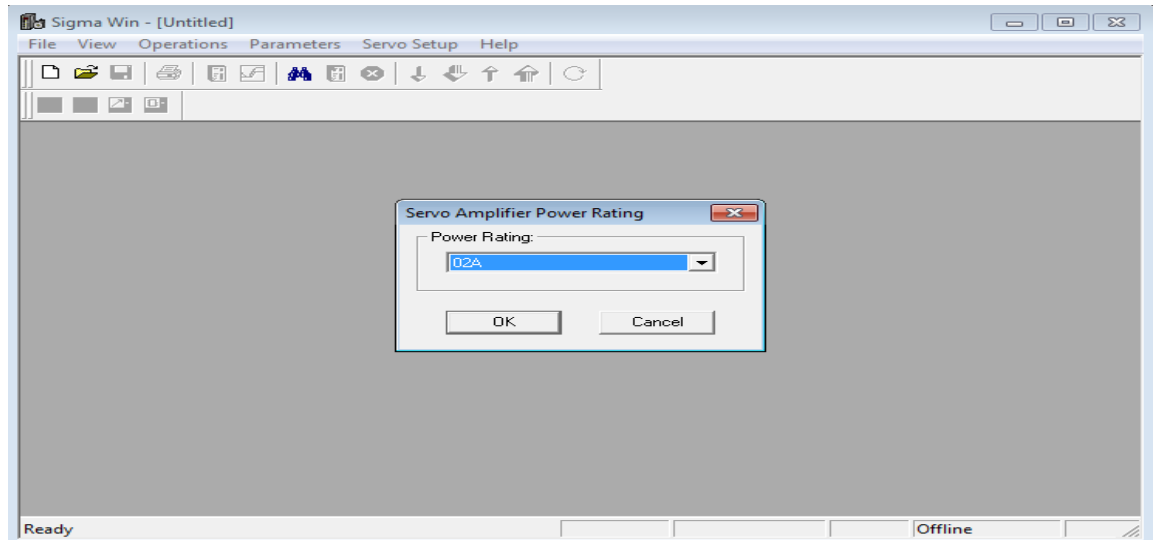
Hình 3. 7. Giao diện mở phần mềm Sigma Win

Màn hình sẽ hiển thị series của các dòng động cơ YASKAWA. Ta tiến hành chọn dòng động cơ mà ta đang sử dụng (ví dụ : ở đây chọn SGDM) :



Hình 3. 8. Chọn động cơ trên phần mềm Sigma Win

Sau đó chọn công suất dòng định mức của từng loại :



Hình 3. 9. Chọn thông số động cơ trên phần mềm Sigma Win

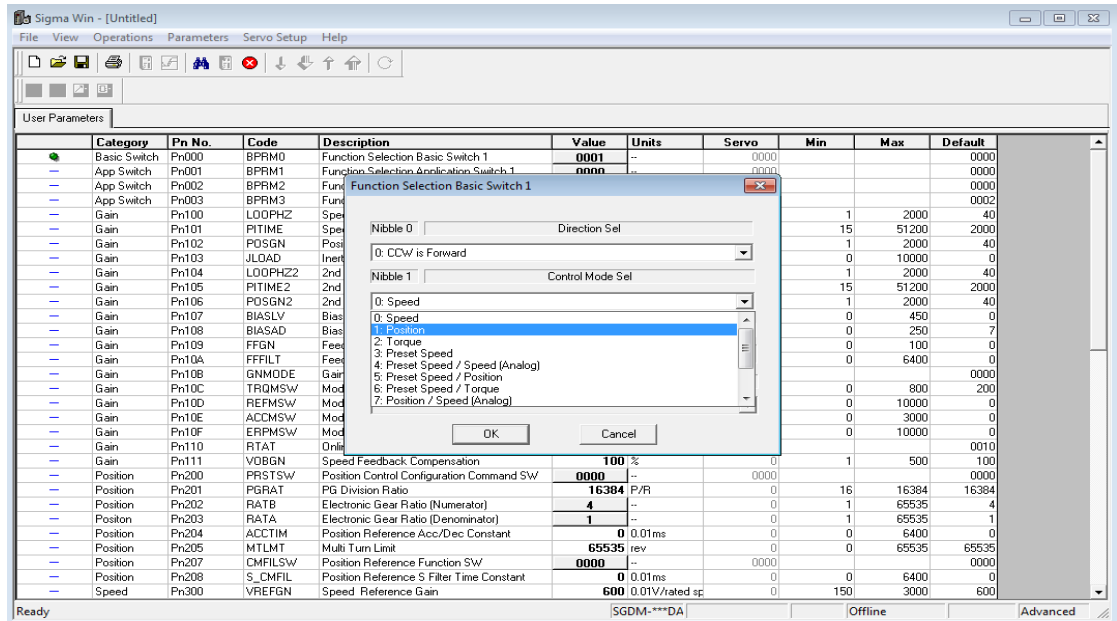
Vậy là ta đã vào được màn hình chính để cài đặt thông số:

	Category	Pn No.	Code	Description	Value	Units	Servo	Min	Max	Default
Basic Switch	Pn000	BPRM0	Function Selection Basic Switch 1	0000	--	0000				0000
App Switch	Pn001	BPRM1	Function Selection Application Switch 1	0000	--	0000				0000
App Switch	Pn002	BPRM2	Function Selection Application Switch 2	0000	--	0000				0000
App Switch	Pn003	BPRM3	Function Selection Application Switch 3	0002	--	0000				0002
Gain	Pn100	LOOPHZ	Speed Loop Gain	40	Hz	0		1	2000	40
Gain	Pn101	PITIME	Speed Loop Integration Time Constant	2000	0.01ms	0		15	51200	2000
Gain	Pn102	POSGN	Position Loop Gain	40	1/s	0		1	2000	40
Gain	Pn103	JLOAD	Inertia Ratio	0	%	0		0	10000	0
Gain	Pn104	LOOPHZ2	2nd Speed Loop Gain	40	Hz	0		1	2000	40
Gain	Pn105	PITIME2	2nd Speed Loop Integration Time Constant	2000	0.01ms	0		15	51200	2000
Gain	Pn106	POSGN2	2nd Position Loop Gain	40	1/s	0		1	2000	40
Gain	Pn107	BIASLV	Bias Level	0	rpm	0		0	450	0
Gain	Pn108	BIASAD	Bias Width Addition	7	ref units	0		0	250	7
Gain	Pn109	FFGN	Feed Forward	0	%	0		0	100	0
Gain	Pn10A	FFFLT	Feed Forward Filter Time Constant	0	0.01ms	0		0	6400	0
Gain	Pn10B	GNMODE	Gain-Related Application SW	0000	--	0000				0000
Gain	Pn10C	TRQMSW	Mode Switch (Torque Reference)	200	%	0		0	800	200
Gain	Pn10D	REFMSW	Mode Switch (Speed Reference)	0	rpm	0		0	10000	0
Gain	Pn10E	ACCMSW	Mode Switch (Acceleration Reference)	0	10rpm/s	0		0	3000	0
Gain	Pn10F	ERPMSW	Mode Switch (Error Pulse)	0	ref units	0		0	10000	0
Gain	Pn110	RTAT	Online Auto Tuning Related SW	0010	--	0000				0010
Gain	Pn111	VOBGN	Speed Feedback Compensation	100	%	0		1	500	100
Position	Pn200	PRSTSW	Position Control Configuration Command SW	0000	--	0000				0000
Position	Pn201	PGRAT	PG Division Ratio	16384	P/R	0		16	16384	16384
Position	Pn202	RATB	Electronic Gear Ratio (Numerator)	4	--	0		1	65535	4
Position	Pn203	RATA	Electronic Gear Ratio (Denominator)	1	--	0		1	65535	1
Position	Pn204	ACCTIM	Position Reference Acc/Dec Constant	0	0.01ms	0		0	6400	0
Position	Pn205	MTLMT	Multi Turn Limit	65535	rev	0		0	65535	65535
Position	Pn207	CMFILSW	Position Reference S Filter SW	0000	--	0000				0000
Position	Pn208	S_CMFIL	Position Reference S Filter Time Constant	0	0.01ms	0		0	6400	0
Speed	Pn300	VREFGN	Speed Reference Gain	600	0.01V/rated sp	0		150	3000	600

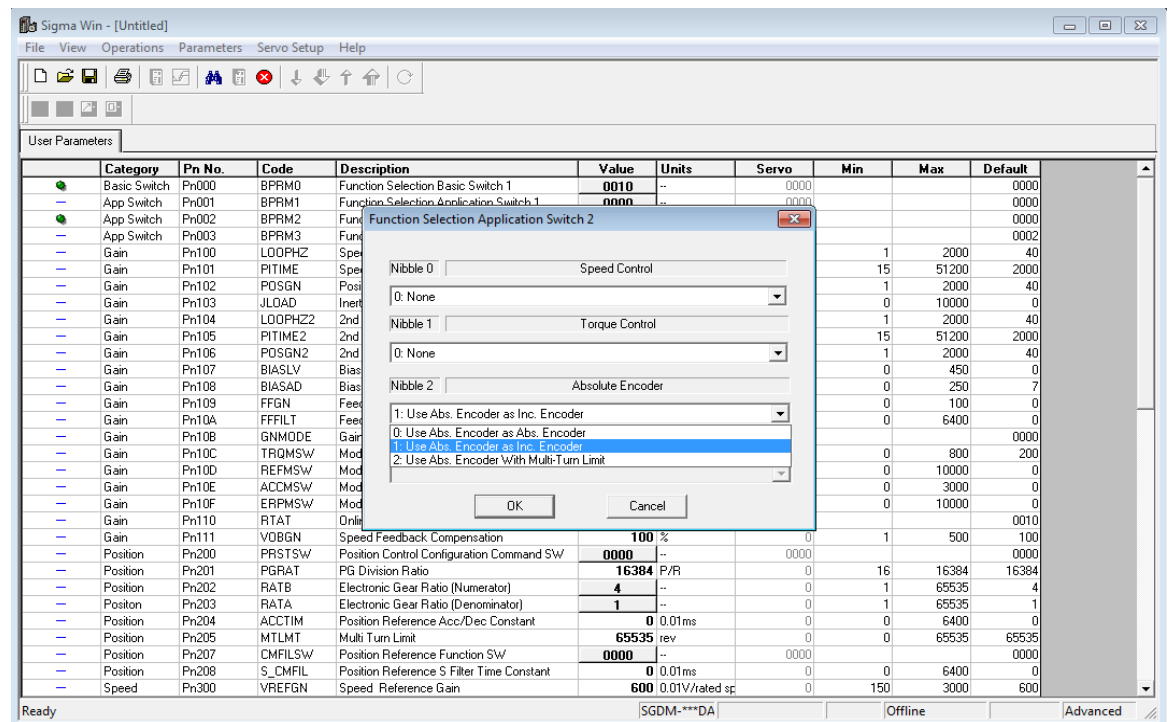
Hình 3. 10. Giao diện điều chỉnh thông số động cơ trên phần mềm Sigma Win

Để cài đặt chế độ vị trí, ta làm theo các bước sau :

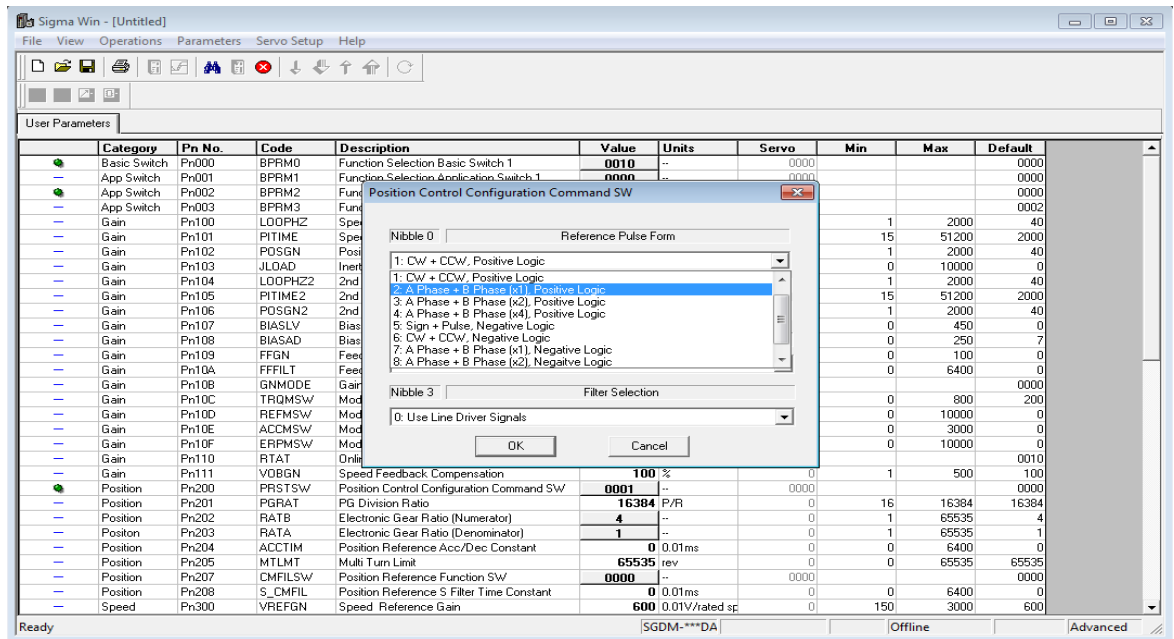
Pn000 (lựa chọn chức năng chuyển đổi cơ bản 1) : chọn position



Hình 3. 11. Cài đặt thông số điều khiển vị trí trên phần mềm Sigma Win
Pn001 (lựa chọn chức năng chuyển đổi ứng dụng 1) : chọn Use Abs. Encoder as Inc Encoder.



Hình 3. 12. Cài đặt thông số encoder trên phần mềm Sigma Win
Pn200 (lệnh cấu hình điều khiển vị trí): chọn A Phase + B Phase(x1)
Positive Logic



Hình 3. 13. Cài đặt kiểu pha encoder trên phần mềm Sigma Win

Pn201 (tỉ lệ phân chia PG): cài lại thành 200 P/R

Pn202 (tỉ lệ thiết bị điện tử) tử số thành: 8192

Pn203 (tỉ lệ thiết bị điện tử) mẫu số thành: 1000

Và ta sẽ được các thông số như hình dưới đây và hoàn tất việc cài đặt cho driver:

Category	Pn No.	Code	Description	Value	Units	Servo	Min	Max	Default
Basic Switch	Pn000	BPRM0	Function Selection Basic Switch 1	0010	--	0000			0000
App Switch	Pn001	BPRM1	Function Selection Application Switch 1	0000	--	0000			0000
App Switch	Pn002	BPRM2	Function Selection Application Switch 2	0100	--	0000			0000
App Switch	Pn003	BPRM3	Function Selection Application Switch 3	0002	--	0000			0002
Gain	Pn100	LODPHZ	Speed Loop Gain	40	Hz	0	1	2000	40
Gain	Pn101	PITIME	Speed Loop Integration Time Constant	2000	0.01ms	0	15	51200	2000
Gain	Pn102	POSGN	Position Loop Gain	40	1/s	0	1	2000	40
Gain	Pn103	JLOAD	Inertia Ratio	0	%	0	0	10000	0
Gain	Pn104	LODPHZ2	2nd Speed Loop Gain	40	Hz	0	1	2000	40
Gain	Pn105	PITIME2	2nd Speed Loop Integration Time Constant	2000	0.01ms	0	15	51200	2000
Gain	Pn106	POSGN2	2nd Position Loop Gain	40	1/s	0	1	2000	40
Gain	Pn107	BIASLV	Bias Level	0	rpm	0	0	450	0
Gain	Pn108	BIASAD	Bias Width Addition	7	ref units	0	0	250	7
Gain	Pn109	FFGN	Feed Forward	0	%	0	0	100	0
Gain	Pn10A	FFFLT	Feed Forward Filter Time Constant	0	0.01ms	0	0	6400	0
Gain	Pn10B	GNMODE	Gain-Related Application SW	0000	--	0000			0000
Gain	Pn10C	TRQMSW	Mode Switch (Torque Reference)	200	%	0	0	800	200
Gain	Pn10D	REFMSW	Mode Switch (Speed Reference)	0	rpm	0	0	10000	0
Gain	Pn10E	ACCMSW	Mode Switch (Acceleration Reference)	0	10rpm/s	0	0	3000	0
Gain	Pn10F	ERPMWS	Mode Switch (Error Pulse)	0	ref units	0	0	10000	0
Gain	Pn110	RTAT	Online Auto Tuning Related SW	0010	--	0000			0010
Gain	Pn111	VOBGN	Speed Feedback Compensation	100	%	0	1	500	100
Position	Pn200	PRSTSW	Position Control Configuration Command SW	0001	--	0000			0000
Position	Pn201	PGRAT	PG Division Ratio	200	P/R	0	16	16384	16384
Position	Pn202	RATB	Electronic Gear Ratio (Numerator)	8192	--	0	1	65535	4
Position	Pn203	RATA	Electronic Gear Ratio (Denominator)	1000	--	0	1	65535	1
Position	Pn204	ACCTIM	Position Reference Acc/Dec Constant	0	0.01ms	0	0	6400	0
Position	Pn205	MTLMT	Multi Turn Limit	65535	rev	0	0	65535	65535
Position	Pn207	CMFILSW	Position Reference Function SW	0000	--	0000			0000
Position	Pn208	S_CMFIL	Position Reference S Filter Time Constant	0	0.01ms	0	0	6400	0
Speed	Pn300	VREFGN	Speed Reference Gain	600	0.01V/rated sp	0	150	3000	600

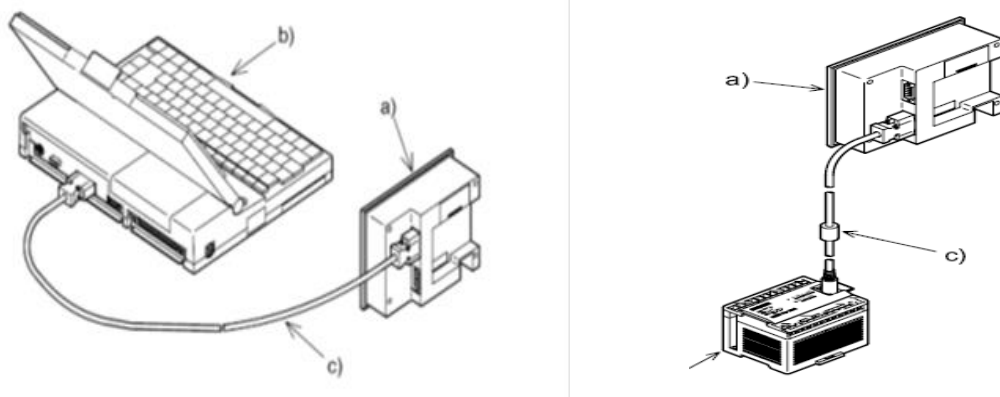
Hình 3. 14. Cài đặt phần mềm Sigma Win hoàn tất

3.4. Màn hình HMI NB7W-TW00B Omron

3.4.1. Kết nối HMI với PC

Màn hình HMI NB7W-TW00B Omron 24V là loại màn hình cảm ứng tuy cho phần giao diện không lớn song chủng loại màn hình này được tích hợp nhiều chức năng rất mạnh. Ta có thể sử dụng loại màn hình này để tạo các hình ảnh đồ họa giúp ta có cái nhìn trực quan hơn về hệ thống. Bên cạnh cái nhìn trực quan về hệ thống thì những hình ảnh đó còn cho phép ta điều khiển và giám sát hệ thống một cách linh hoạt và dễ dàng. Loại màn hình này cho phép tới 500 trang màn hình ứng dụng, điều này giúp người sử dụng có thể giám sát hệ thống sản xuất phức tạp. Bên cạnh đó màn hình còn có chức năng như một bộ lập trình bằng tay giúp người sử dụng có thể trực tiếp lập trình cho bộ điều khiển PLC mà không cần phải sử dụng đến máy tính....

Kết nối màn hình Pro-face với PC:



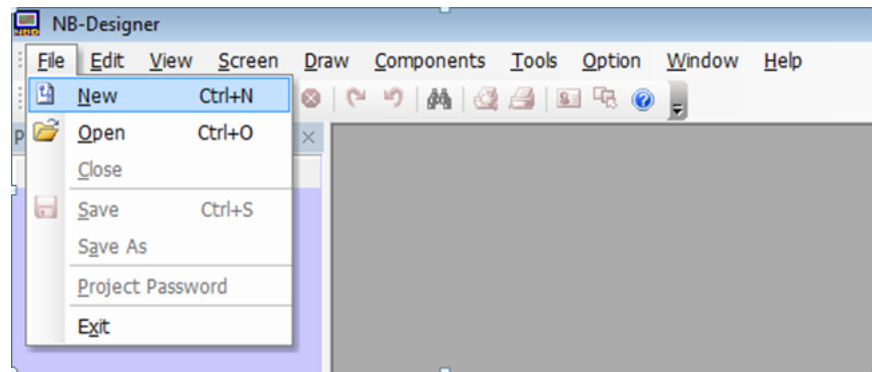
Hình 3. 15. HMI kết nối với PC



Hình 3. 16. HMI kết nối với PC Thông qua cáp nạp GPW – CB03

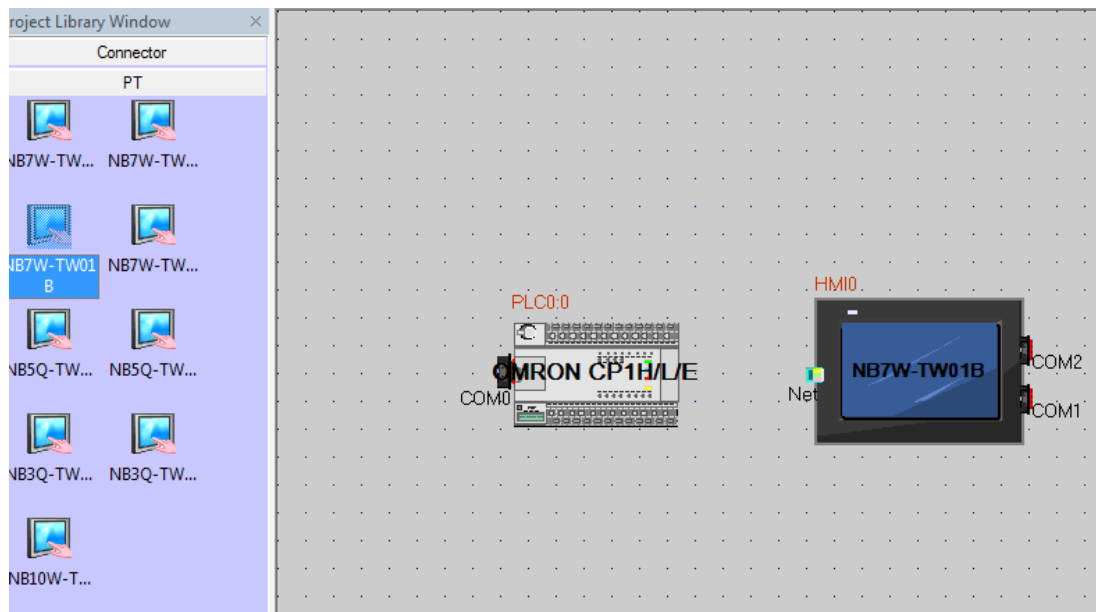
3.4.2. Thao tác với màn hình NB7 và phần mềm NB-designer

B1: mở phần mềm và tạo project mới và nhấn ok để hoàn tất



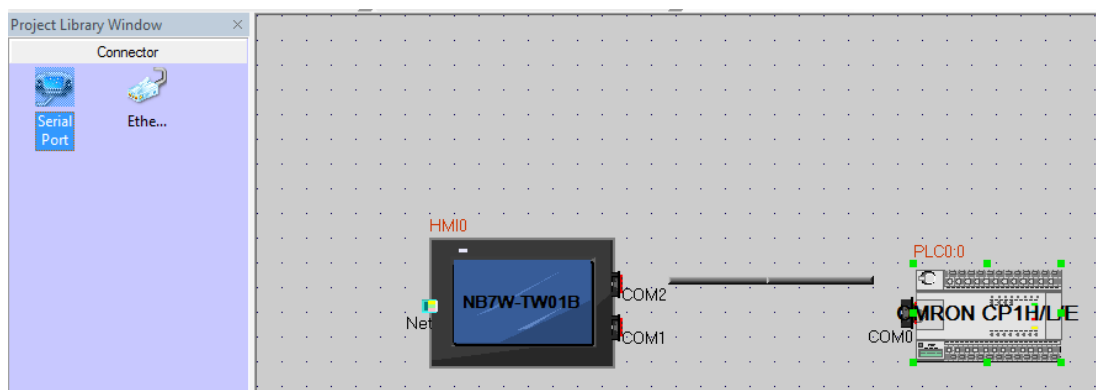
Hình 3. 17. Mở phần mềm NB-designer

B2: Chọn PLC kết nối HMI



Hình 3. 18. PLC kết nối với HMI

B3: Tạo liên kết giữa PLC và HMI qua cổng truyền thông RS485, Chọn serial port và kéo ra màn hình để tạo liên kết giữa Com 2 của HMI và Com 0 của PLC.



Hình 3. 19. Tạo liên kết giữa PLC và HMI qua cổng truyền thông RS485

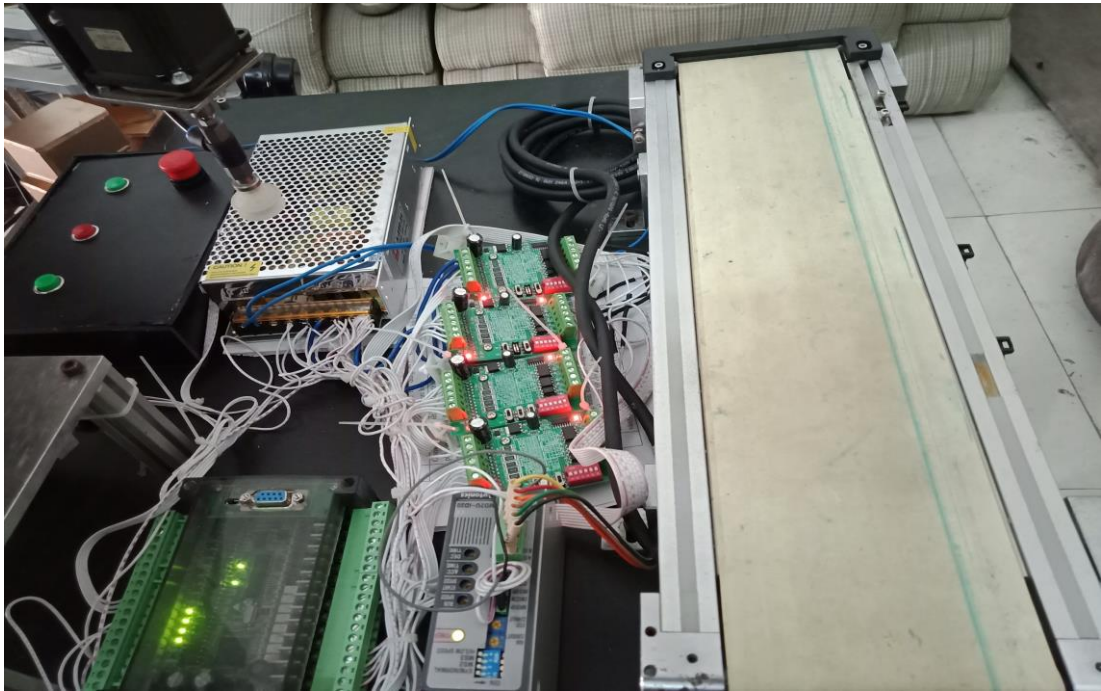
B4: Trở về giao diện HMI và bắt đầu Viết giao diện: Click chuột vào Window chọn “edit window”.



Hình 3. 20. Trở về giao diện HMI và bắt đầu Viết giao diện



Hình 3. 21. Robot trong quá trình lắp đặt



Hình 3. 22. Lắp mạch điều khiển cho Robot



Hình 3. 23. Chạy thử và hiệu chỉnh robot

Kết luận chương III. Sau khi nghiên cứu và tính toán động lực học của robot, tác giả đưa ra các phương án điều khiển và lắp đặt lập trình, hiệu chỉnh các thông số của robot cho đảm bảo độ chính xác và hoạt động hiệu quả.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

- Đóng góp của luận văn là nghiên cứu được phương pháp điều khiển Hybrid áp dụng vào điều khiển robot trong công nghiệp.
- Tạo ra được bộ tài liệu, công thức toán học về tính toán động lực học cho robot trong công nghiệp.
- Lắp đặt phần cơ khí robot công nghiệp và thiết kế mạch điều khiển, chương trình điều khiển và giám sát robot công nghiệp
- Nội dung luận văn đã thực hiện được các mục tiêu của đề tài theo đề cương nghiên cứu.

2. KIẾN NGHỊ

Robot công nghiệp đã và đang chứng tỏ khả năng ứng dụng cho công nghiệp, cho đào tạo. Vì vậy, nghiên cứu, thiết kế chế tạo robot công nghiệp là rất cần thiết. Với thời gian có hạn, học viên chỉ nêu được những vấn đề cơ bản trong thiết kế động lực học của robot đồng thời đưa ra được phương pháp điều khiển tốt nhất cho robot. Trong khoảng thời gian này học viên cũng đã chế tạo thành công mô hình robot công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO**1. Tiếng Việt**

- [1]. Lê Anh Kiệt, Nguyễn Hồng Phúc, Nguyễn Xuân Vinh (2016): Phân tích động lực học và tối ưu hoá cấu hình lai cho robot bốc xếp AKB. Hội nghị toàn quốc lần thứ 8 về Cơ Điện tử - VCM-2016, tr. 159 – 165.
- [2]. Nguyễn Minh Thanh, Nguyễn Xuân Vinh, Lê Hoài Quốc, Nguyễn Ngọc Lâm (2011): Tối ưu hóa thiết kế tay máy song song dùng thuật toán di truyền kết hợp tập hợp tối ưu Pareto. Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá (VCCA-2011), tr. 207 – 214.
- [3]. Nguyễn Phạm Thục Anh, Thái Hữu Nguyên (2013): Áp dụng phương pháp backstepping trong điều khiển bền vững chuyển động của Robot. Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá (VCCA-2013), tr. 472 – 476.
- [4]. Hoàng Quang Chính (2013): Nghiên cứu, phát triển robot tự cân bằng hai bánh. Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá (VCCA-2013), tr. 539 – 547.
- [5]. Phạm Hoàng Thông, Nguyễn Đức Thành (2012): Ứng dụng mạng Neural – Fuzzy điều khiển Robot đa hướng bám quỹ đạo. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 6, tr. 363 – 372.
- [6]. Đặng Trí Dũng, Nguyễn Trường Thịnh (2012): Phát triển giải thuật điều khiển và tránh vật cản dành cho robot sáu chân. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 6, tr. 386 – 392.
- [7]. Nguyễn Văn Khang, Nguyễn Thành Công (2012): Về hai phương pháp giải bài toán động lực học ngược robot song song. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 6, tr. 574 – 392.
- [8]. Ngô Mạnh Tiến, Phan Xuân Minh, Phan Quốc Thắng, Nguyễn Doãn Phước (2012): Một thuật toán điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu cho robot tự hành non-holonomic với tham số bất định. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 6, tr. 607 – 613.
- [9]. Nguyễn Văn Tính, Phạm Thượng Cát, Phạm Minh Tuấn (2015): Mô hình hóa và điều khiển rô bốt di động non-holonomic có trượt ngang. Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hoá (VCCA-2015), tr. 103 – 108.
- [10]. Nguyễn Văn Khanh, Trần Thanh Hùng (2015): Điều khiển thời gian thực robot hai bánh tự cân bằng sử dụng bộ điều khiển PID mờ tự chỉnh. Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hoá (VCCA-2015), tr. 70 – 77.
- [11]. Nguyễn Văn Tính, Nguyễn Đăng Chung, Phạm Thượng Cát, Phạm Minh Tuấn (2015): Thiết kế luật điều khiển thích nghi cho hệ tích hợp rô bốt di động – pan tilt – camera để tiếp cận mục tiêu. Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hoá (VCCA-2015), tr. 388 – 396.

2. Tiếng Anh

- [12]. Fuji Robotics, Fuji robotic palletizer catalogue, 2014, www.fujirobotics.com/
- [13]. ABB palettizer, ABB robot palletizer catalogue, 2015. www.abbpalletizers.com/
- [14]. TMI Corp., Ilterpal R - TMI robot palletizer catalogue, 2015. www.tmipal.com/
- [15]. Chung, W.K., Cho, H.S., On the dynamic characteristics of a balanced PUMA-760 robot, *Industrial Electronics* 35(2), 222–230 (1988).
- [16]. F. Gao, W. Li, X. Zhao, Z. Jin, and H. Zhao, New kinematic structures for 2-, 3-, 4-, and 5-DOF parallel manipulator designs, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 37, no. 11, pp. 1395–1411, 2002.
- [17]. Z.-G. Zhang, J.-Y. Zang, and C. Yun, Kinematics analysis and simulation of seriesparallel palletizing robot, *Journal of Ma-Machine Design*, vol. 27, no. 11, pp. 47–51, 2010.
- [18]. X. Guan, W. Jidong, Mechanical design and kinematic analysis of a new kind of palletizing robot, *Mechanic Automation and Control Engineering*, pp. 404-408, 15-17 July, 2011.
- [19]. Y. Tao, F. Chen and H. Xiong, Kinematics and workspace of a 4-DOF hybrid palletizing robot, *Advances in Mechanical Engineering* Volum 2014, Article ID 125973.
- [20]. Meiyu Lv, Jinquan Li, Binglei Duan, Rong Fu, A Palletizing Robot Dynamics Analysis, *International Journal of Advancements in Computing Technology (IJACT)*, Volume 4, Number 11, June 2012.
- [21]. R. Zhiyuan, Z. Baocheng, L. Jun, Dynamic simulation of palletizing robots based on ADAMS, *The 2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)*, 2012
- [22]. L. Jinquan, Y. Xiangdong, and F. Tie, *The Design of Palletizing Robot's. Structure and Control System*, Beijing Institute of Technology Press, Beijing, China, 2011.
- [23]. S. Lim, S. Yu, M. Kang and C. Han, Robot Palletizing Simulation Using Heuristic Pattern Generation and Trajectory Optimization, *SICEICASE International Joint Conference 2006*, Oct. 18-21, 2006, Busan, Korea.
- [24]. Van Linh Tran, Quang Vinh Bui, Tuan Anh Nguyen, Xuan Hao Nguyen, Cong Bang Pham, Viet Anh Dung Cai, Study, design and control robot palletizer, *Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí - Lần thứ IV*, pp. 130-139, 2015.

- [25]. F. Ning, G. Wang, C. Yun, Application of Selfadaptive Fuzzy Control in the MDJ Palletizer, 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, pp. 859-863, 20-22 Oct, 2008.
- [26]. F. Ning, C. Yun, and X. Chen, Dynamic Analysis and Control of the MJR Robot Palletizer, ICIRA 2008, pp. 713–722, 2008.
- [27]. F. Ning, G. Wang, C. Yun, Modeling and Control of the MDJ Robot Palletizer, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 2406-2411, Qingdao, China, 2008.
- [28]. S.K. Agrawal, A. Fattah. Gravity-balancing of spatial robotic manipulators, Mechanism and Machine Theory, Vol. 39, No. 12, pp. 1331–1344, 2004.
- [29]. R. Carrabotta, A. Martini, M. Troncosi, A. Rivola, Optimal static balancing of a spatial palletizing robot, CCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics, June 29 - July 2, 2015, Barcelona, Catalonia, Spain
- [30]. X. Yongfei, B. Shuhui, W. Xuelin, L. Xiangdong, and F. Xinjian, Analysis and Optimization for Balancing Mechanism of High-Speed & Heavy-Load Manipulators, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.26 No.5, 2014.
- [31]. Murata Boy Robot (www.murataboy.com).
- [32]. EV, Jicharev DN, Lensky AV, Savitsky K V, et al. “Control of autonomous motion of two-wheel bicycle with gyroscopic stabilization,” In: Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation, 1998, p. 2670-5.
- [33]. Gallaspy JM. “Gyroscopic stabilization of an unmanned bicycle,” M.S. Thesis, Auburn University, 1999.
- [34]. Suprpto S. “Development of a gyroscopic unmanned bicycle,” M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 2006.
- [35]. Lee S, Ham W. “Self-stabilizing strategy in tracking control of unmanned electric bicycle with mass balance,” IEEE international conference on intelligent robots and systems, 2002, p. 2200-5.
- [36]. Tanaka Y, Murakami T. “Self sustaining bicycle robot with steering controller,” In: Proceedings of international workshop on advanced motion control, 2004, p. 193-7.
- [37]. McFarlane D, Glover K. “A loop shaping design procedure using H_∞ synthesis,” IEEE Trans Automat Contr 1992; 37(6): 759-69.
- [38]. Chu YC, Glover K, Dowling AP. “Control of combustion oscillations via H_∞ loop shaping, μ -analysis and integral quadratic constraints,” Automatica 2003; 39(2): 219-31.
- [39]. JT Spooner, M Maggiore, Stable adaptive Control and Estimation for Nonlinear Systems-Neural and Fuzzy Approximator Techniques, NewYork:Wiley, 2002

- [40]. L.X.Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1994.
- [41]. Kurt Hornik, Multilayer feed forward networks are universal approximators, Neural network vol 2, pp.359-366, Pergamon, 1989.
- [42]. Asriel U.Levin and Kumpathi S.Narendra, Control of nonlinear dynamical systems using neural networks: Controllability and stabilization, IEEE transaction on neural network, 1993.
- [43]. O Omidvar, DL Elliott, Neural systems for control, NewYork: Academic, 1997
- [44]. Jang-Hyun Park Sung-Hoe Huh Seong-Hwan Kim Sam-Jun Seo Gwi-Tae Park , Direct adaptive controller for nonaffine nonlinear systems using selfstructuring neural networks, IEEE Transactions on Neural Networks, 2005
- [45]. Narendra, K.S. Parthasarathy, K, Identification and control of dynamical systems using neural networks, Neural Networks, IEEE Transactions on Volume 1, Issue 1, Mar 1990 Page(s):4 – 27, 1990
- [46]. L-W. Tsai: Robot analysis: The mechanics of serial and parallel manipulator. John Wiley & Sons, Inc, 1999.
- [47]. S. Staicu: Inverse dynamics of the 3-PRR planar parallel robot. Robotics and Autonomous Systems 57 (2009), pp. 556-563.
- [48]. T. Hu, S. Yang, F. Wang, G. Mittal, A neural network for a nonholonomic mobile robot with unknown robot parameters. Proc. of the 2002 IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, Washington DC., May 2002.
- [49]. T. Hu and S. Yang, A novel tracking control method for a wheeled mobile robot, Proc. of 2nd Workshop on Computational Kinematics, Seoul, Korea, May 20-22, 2001, pp. 104-116.
- [50]. R. Fierro and F. L. Lewis, Control of a nonholonomic mobile robot using neural networks, IEEE Trans. on Neural Networks, 9 (4): 389-400, 1998.
- [51]. E. Zalama, P. Gaudiano and J. Lopez Coronado, A real-time, unsupervised neural network for the low-level control of a mobile robot in a nonstationary environment, Neural Networks, 8: 103-123, 1995.
- [52]. M. Tarokh, G.J. McDermott, Kinematics modeling and analyses of articulated rover, IEEE Trans. on Robotics, vol. 21, no.4, pp. 539- 553, 2005.
- [53]. S. Jung, T.C. Hsia, Explicit lateral force control of an autonomous mobile robot with slip, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS 2005, pp. 388 – 393, 2005.
- [54]. X. Zhu, G. Dong, D. Hu, Z. Cai, Robust tracking control of wheeled mobile robots not satisfying nonholonomic constraints, Proc. of the 6th Int. Conf. on Intelligent Systems Design and Applications ISDA'06, 2006.

- [55]. N. Sidek, and N. Sarkar, SARKAR, Dynamic modeling and control of nonholonomic mobile robot with lateral slip, Proc. of the 7th WSEAS Int. Conf. on Signal Processing, Robotics and Automation (ISPRA '08), University of Cambridge, UK, February 20-22, 2008
- [56]. Muhammad T. A., Large Signal Analysis of the Mach-Zender Modulator with Variable BIAS, Proceeding of Natl. Sci. Counc. ROC(A), vol.25, no. 4, pp. 254-258, 2001.
- [57]. Qiu C., Huang Y., The design of fuzzy adaptive PID controller of two-wheeled self-balancing robot, International Journal of Information and Electronics Engineering, vol. 5, no. 3, pp. 193-197, May 2015.
- [58]. Fang J., The research on the application of fuzzy immune PD algorithm in the two-wheeled and self-balancing robot system, International Journal of Control and Automation, vol. 7, no. 10, pp. 109-118, Oct. 2014.
- [59]. Ren T.J., Chen T.C., Chen C.J., Motion control for a two-wheeled vehicle using a self-tuning PID controller, Control Engineering Practice, vol. 16, pp. 365-375, Mar. 2008.
- [60]. Miasa S., Al-Mjali M., Al-Haj Ibrahim A., Tutunji T.A., Fuzzy control of a two-wheel balancing robot using DSPIC, The 7th International Multi-Conference on Systems Signals and Devices, pp. 1-6, Amman, Jordan, June 2010
- [61]. Huang C.H, Wang W.J, Design and implementation of fuzzy control on a two-wheel inverted pendulum, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 7, pp. 2988-3001, July 2011.
- [62]. Nasir A.N.K., Ahmad M.A., Ghazali R., Pakheri N.S., Performance comparison between fuzzy logic controller (FLC) and PID controller for a highly nonlinear two-wheels balancing robot, The First International Conference on Informatics and Computational Intelligence, pp. 176-181, Dec. 2011.
- [63]. Amir A.B, Salinda Buyamin, Mohamed N.A, Mustapha Muhammad, A comparison of controller for balancing two wheeled inverted pendulum robot, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, vol. 14, no. 03, pp. 62-68, June 2014.
- [64]. W. Dong, On trajectory and force tracking control of constrained mobile manipulators with parameter uncertainty, Automatica 38 (2002) 1475 – 1484.
- [65]. M. H. Korayem, H.N. Rahimi, A. Nikoobin, Mathematical modeling and trajectory planning of mobile manipulators with flexible links and joints, Applied Mathematical Modelling 36 (2012) 3229–324.