

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA CƠ - ĐIỆN

**HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ
CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA**

*National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering
(MEAE2023)*



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI



TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA CƠ – ĐIỆN

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ
CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA

National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering

(MEAE2023)

VỚI CHỦ ĐỀ :

**“XU THẾ VÀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ MỚI
TRONG CÔNG NGHIỆP”**

BAN TỔ CHỨC

- | | |
|---|----------------|
| 1. GS.TS Trần Thanh Hải, Trường Đại học Mở - Địa chất | Trưởng ban |
| 2. GS.TS Bùi Xuân Nam, Trường Đại học Mở - Địa chất | Phó Trưởng ban |
| 3. PGS.TS Triệu Hùng Trường, Trường Đại học Mở - Địa chất | Phó Trưởng ban |
| 4. PGS.TS Khổng Cao Phong, Trường Đại học Mở - Địa chất | Phó Trưởng ban |
| 5. TS Ngô Thanh Tuấn, Trường Đại học Mở - Địa chất | Phó Trưởng ban |
| 6. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, Trường Đại học Mở - Địa chất | Phó Trưởng ban |
| 7. PGS.TS Nguyễn Đức Khoát, Trường Đại học Mở - Địa chất | Ủy viên |
| 8. PGS.TS Nguyễn Văn Xô, Trường Đại học Mở - Địa chất | Ủy viên |
| 9. PGS.TS Đỗ Như Ý, Trường Đại học Mở - Địa chất | Ủy viên |
| 10. TS Nguyễn Thạc Khánh, Trường Đại học Mở - Địa chất | Ủy viên |
| 11. TS Phạm Thị Thủy, Trường Đại học Mở - Địa chất | Ủy viên |
| 12. ThS Hà Văn Thủy, Trường Đại học Mở - Địa chất | Ủy viên |
| 13. PGS.TS Trịnh Trọng Chương, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội | Ủy viên |
| 14. TS Quách Đức Cường, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội | Ủy viên |
| 15. TS Bùi Trung Kiên, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh | Ủy viên |
| 16. TS Lê Quý Chiến, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh | Ủy viên |
| 17. TS Đặng Việt Hùng, Trường Đại học Điện lực | Ủy viên |
| 18. PGS.TS Lưu Đức Thạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội | Ủy viên |
| 19. Ông Đỗ Hồng Nguyên, Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam | Ủy viên |
| 20. TS Đỗ Trung Hiếu, Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin | Ủy viên |
| 21. Ông Phạm Anh Tuấn, Công ty CP Cơ khí Hòn Gai – TKV | Ủy viên |
| 22. Ông Nguyễn Văn Rực, Công ty CP Cơ khí Hòn Gai – TKV | Ủy viên |
| 23. TS Nguyễn Đình Lượng, Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa | Ủy viên |
| 24. Bà Nguyễn Thúy Ngân, Công ty TNHH UPVIET | Ủy viên |

BAN KHOA HỌC

1. GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Trưởng ban
2. PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Phó Trưởng ban
3. TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Phó Trưởng ban
4. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Phó Trưởng ban
5. PGS.TS Nguyễn Đức Khoát, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
6. PGS.TS Kim Ngọc Linh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
7. PGS.TS Phạm Trung Sơn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
8. PGS.TS Đinh Văn Thắng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
9. PGS.TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
10. PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
11. TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
12. TS Phạm Thị Thủy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*, Ủy viên
13. PGS.TS Trịnh Trọng Chương, *Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, Ủy viên
14. TS Quách Đức Cường, *Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, Ủy viên
15. TS Bùi Trung Kiên, *Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh*, Ủy viên
16. TS Lê Quý Chiến, *Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh*, Ủy viên
17. TS Trần Thanh Sơn, *Trường Đại học Điện lực*, Ủy viên
18. TS Vũ Thị Thu Nga, *Trường Đại học Điện lực*, Ủy viên
19. TS Đặng Việt Hùng, *Trường Đại học Điện lực*, Ủy viên
20. PGS.TS Lưu Đức Thạch, *Trường Đại học Xây dựng Hà Nội*, Ủy viên
21. Ông Mai Ngọc Thạch, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam*, Ủy viên
22. Ông Đoàn Việt Tuấn, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam*, Ủy viên
23. Ông Vũ Tuấn Anh, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam*, Ủy viên
24. TS Lê Thùy Dương, *Viện Cơ khí Năng lượng và Mở - Vinacomin*, Ủy viên
25. Ông Nguyễn Văn Rực, *Công ty Cổ phần Cơ khí Hòn Gai - Vinacomin*, Ủy viên
26. Ông Trần Xuân Vũ, *Công ty Cổ phần Cơ khí Hòn Gai - Vinacomin*, Ủy viên
27. TS Nguyễn Đình Lượng, *Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa*, Ủy viên

BAN BIÊN TẬP

1. PGS.TS Khổng Cao Phong, Trưởng ban
2. TS Ngô Thanh Tuấn, Phó trưởng ban
3. PGS.TS Nguyễn Việt Nghĩa, Phó trưởng ban
4. TS Nguyễn Thạc Khánh, Ủy viên
5. TS Đặng Văn Chí, Ủy viên
6. TS Phạm Thị Thủy, Ủy viên
7. PGS.TS Đỗ Như Ý, Ủy viên
8. PGS.TS Nguyễn Văn Xô, Ủy viên

BAN THƯ KÝ

9. TS Ngô Thanh Tuấn, Trưởng ban
10. TS Hồ Việt Bun, Phó Trưởng ban
11. TS Nguyễn Thạc Khánh, Ủy viên
12. TS Đặng Văn Chí, Ủy viên
13. TS Lê Xuân Thành, Ủy viên
14. ThS Kim Cẩm Ánh, Ủy viên
15. ThS Nguyễn Tiến Sĩ, Ủy viên
16. ThS Trần Việt Linh, Ủy viên
17. ThS Nguyễn Thanh Tùng, Ủy viên

LỜI NÓI ĐẦU

Khoa học kỹ thuật ngày nay ngày càng phát triển, chúng vừa tạo ra cơ hội và cũng chính là thách thức cho sự phát triển trong tương lai. Đặc biệt, với nền công nghiệp của nước ta, đã, đang và tiếp tục được thừa hưởng của sự tiến bộ đó. Với mục đích hướng đến là giới thiệu, chia sẻ những nghiên cứu, những tiến bộ kỹ thuật trong các lĩnh vực liên quan đến sự đào tạo và phát triển chung của nền công nghiệp Việt Nam, Trường Đại học Mở - Địa chất phối hợp với một số Trường đại học, Viện nghiên cứu, Cơ quan và doanh nghiệp trong nước tổ chức Hội nghị khoa học toàn quốc về Cơ khí, Điện và Tự động hóa (National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering – MEAE2023).

Hội nghị là nơi giao lưu, kết nối các nhà khoa học, các doanh nghiệp, các cá nhân đang hoạt động trong lĩnh vực nói trên, để cùng nhau thảo luận, trao đổi học thuật và chia sẻ kinh nghiệm nhằm thúc đẩy sự phát triển của các lĩnh vực về Cơ khí, Điện và Tự động hóa, nhằm phục vụ cho sự nghiệp xây dựng và phát triển đất nước.

Trọng tâm của hội nghị đề cập đến “Xu thế và ứng dụng công nghệ mới trong công nghiệp”

Ban tổ chức tin rằng, Tuyển tập các công trình khoa học tham gia Hội nghị lần này sẽ góp phần đóng góp có chất lượng nhằm thúc đẩy cho sự phát triển chung cho nền công nghiệp ngày nay.

Thay mặt Ban tổ chức, tôi chân thành cảm ơn đến Đảng ủy, Hội đồng trường, Ban Giám hiệu Trường Đại học Mở - Địa chất và các đơn vị liên quan đã đồng hành, tạo mọi điều kiện thuận lợi cho việc Hội nghị được tổ chức thành công tốt đẹp.

Đặc biệt, trân trọng cảm ơn đến các tác giả các bài báo khoa học, các phản biện, các nhà khoa học, các cơ quan đồng nghiệp, các doanh nghiệp tài trợ đã có đóng góp quan trọng vì sự thành công chung của Hội nghị MEAE2023.

TM. BAN TỔ CHỨC



PGS.TS Khổng Cao Phong

MỤC LỤC

IIoT cho công nghiệp khai thác mỏ: Thực trạng và xu hướng	3
Nghiên cứu ứng dụng mạch vi điều khiển Arduino để giao tiếp với LabVIEW trong các bài toán đo lường và điều khiển bằng máy tính	23
Nghiên cứu giải pháp hỗ trợ đọc giá trị thông số nguồn điện trong trạm 35/6kV	28
Ứng dụng điều khiển trượt cho động cơ ổ từ khe hở dọc trục	33
Thiết bị thu thập dữ liệu trong các hệ thống điều khiển thông minh	41
Hệ thống tự động hóa dây chuyền sản xuất, chế biến chè xanh chất lượng cao phục vụ xuất khẩu... 46	
Ứng dụng logic mờ điều khiển mức trong hệ thống CE105.....	52
Ứng dụng webserver điều khiển giám sát mô hình thực hành truyền động chính máy doa 2620 sử dụng bộ điều khiển PLC S7-1200.....	57
Ứng dụng mạch vi điều khiển Arduino giao tiếp với Matlab GUI cho bài toán điều khiển và giám sát nhiệt độ.....	69
Ảnh hưởng của bề dày Nam châm vĩnh cửu đến chế độ làm việc động cơ lspmsm 3000 vòngphút.. 75	
Đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật của cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động cho các hệ thống điện mặt trời mái nhà	79
Nghiên cứu ảnh hưởng của suy giảm từ đến đặc tính làm việc ở chế độ xác lập của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp 2p, 15kW.....	89
Mô hình mạng điện mở hỗn hợp về phương diện an toàn điện giật	94
Thiết kế, chế tạo mạch kiểm tra điện trở cách điện động cơ không đồng bộ ba pha	101
Xây dựng cấu hình vận hành linh hoạt cho lưới điện nhỏ ở chế độ độc lập theo mục tiêu ổn định điện áp và tần số	104
Một giải pháp về tiết kiệm đường truyền trong thông tin cáp sợi quang	114
Thiết kế, chế tạo mạch điều khiển bộ băm xung dùng IGBT cho tàu điện ắc quy mô hầm lò	119

Phân tích sóng hài điện áp trong lưới điện khi hòa lưới hệ thống pin năng lượng mặt trời.....	128
Phân tích và đánh giá tổn hao công suất của bộ biến đổi chuyển mạch hạ áp (Buck Converter)	136
Một phương pháp mô phỏng nhiễu bức xạ sử dụng phương pháp số	140
Kỹ thuật thiết kế tương thích điện từ (EMC) cho các bộ biến đổi sử dụng bán dẫn thế hệ thứ ba GaN và SiC	143
Bảo mật dữ liệu tầng vật lý không sử dụng thuật toán mật mã trong truyền tin không dây	147
Cần trục xếp kho tự động - Những khác biệt và lưu ý trong tính toán thiết kế	151
Ứng dụng công nghệ đúc ly tâm chế tạo quạt hướng trục và ảnh hưởng của các thông số chế tạo đến đặc tính khí động lực học quạt thu được.....	158
Quy luật ảnh hưởng của tham số kết cấu vi mô dạng đặc biệt đến hiệu suất ma sát của cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng bơm piston hướng trục và thiết kế tối ưu hóa tham số vi mô.....	166
Nghiên cứu thuật toán để xây dựng phần mềm tính toán cơ cấu nâng	187
Một số vấn đề trong tính toán thiết kế máy tách nước ly tâm	187
Một số vấn đề trong tính toán thiết kế máy rót than xuống tàu cảng.....	197
Thiết kế và mô phỏng động lực học của máy cấp liệu rung	204
Khả năng hấp thụ rung động của tấm ba lớp dưới tác động của sóng không tĩnh hình trụ.....	209
Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hình học đến hiệu suất làm việc của tua bin trục giao	214
Sử dụng phương pháp phân phối mômen xác định nội lực trong các trục truyền động	219
Ứng dụng phần mềm Inventer phân tích, thiết kế khung máy ép thủy lực 4 trụ, lực ép 80 Tấn.....	224
Using lugre friction model to simulate the dynamic motion of hydraulic cylinders	232
Position control for a rodless pneumatic cylinder with four on – off valves.....	239

IIOT CHO CÔNG NGHIỆP KHAI THÁC MỎ: THỰC TRẠNG VÀ XU HƯỚNG

Khổng Cao Phong

Khoa Cơ – Điện; Trường ĐH Mỏ - Địa chất; E-mails: khongcaophong@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Internet vạn vật công nghiệp (IIoT) có tiềm năng giúp cải thiện quy trình sản xuất và kinh doanh bằng cách cho phép trích xuất thông tin có giá trị từ các quá trình công nghiệp. Tuy nhiên, ngành khai thác mỏ còn khá lạc hậu và có phần chậm thay đổi do những hạn chế về cơ sở hạ tầng trong truyền thông, quản lý dữ liệu, lưu trữ và trao đổi thông tin. Hầu hết các nỗ lực nghiên cứu cho đến nay về việc áp dụng IIoT trong ngành khai thác mỏ đều tập trung vào các mối quan tâm cụ thể như giám sát các hệ thống công nghệ (hầm bơm, thông gió, băng tải, sàng tuyển...), quản lý nhóm làm việc và nhân sự, giám sát đập thải quặng đuôi và hệ thống cảnh báo trước. Trong khi đó kiến trúc IIoT tổng thể phù hợp với điều kiện chung ở ngành khai khoáng vẫn còn thiếu. Bài báo này phân tích hiện trạng Công nghệ thông tin (IT) trong lĩnh vực khai thác mỏ và xác định thách thức lớn của sự phân mảnh thông tin theo chiều dọc do sự đa dạng về công nghệ của các hệ thống và thiết bị khác nhau được cung cấp bởi các nhà cung cấp khác nhau, ngăn cản khả năng tương tác, phân phối dữ liệu và trao đổi thông tin một cách an toàn giữa các thiết bị và hệ thống. Dựa trên các tài liệu hướng dẫn và thực tiễn từ các tiêu chuẩn IIoT chính, kiến trúc IIoT đa cấp phù hợp với ngành khai thác sẽ được tổng hợp và trình bày, gợi mở hướng giải quyết các thách thức đã xác định và cho phép khai thác thông tin một cách thông minh. Bằng giải pháp tự động hóa, hệ thống có thể tương tác, phân phối dữ liệu và khả năng hiển thị theo thời gian thực về tình trạng khai thác. Các kỹ thuật điều khiển từ xa, xử lý dữ liệu và khả năng tương tác của kiến trúc được đề xuất phát triển trong tất cả các giai đoạn từ khai thác, thăm dò đến thu hồi mỏ. Việc áp dụng kiến trúc IIoT như vậy trong ngành khai thác mỏ sẽ mang lại: Môi trường làm việc an toàn hơn cho công nhân; Khả năng dự báo các hoạt động khai thác; Môi trường tương tác cho hệ thống các thiết bị bao gồm cả thiết bị truyền thống lẫn hiện đại; Khả năng tự động hóa để giảm sự can thiệp của con người và cho phép giám sát các hoạt động trên mặt bằng cũng như dưới lòng đất. Những thách thức và hướng nghiên cứu mở quan trọng cũng được nghiên cứu và đề cập trong bài báo này, ví dụ như quản lý di động, khả năng mở rộng, ảo hóa ở biên IIoT và bản sao kỹ thuật số (Twin digital).

Từ khóa: IoT; IIoT; khai thác; Mỏ

1. Mở đầu

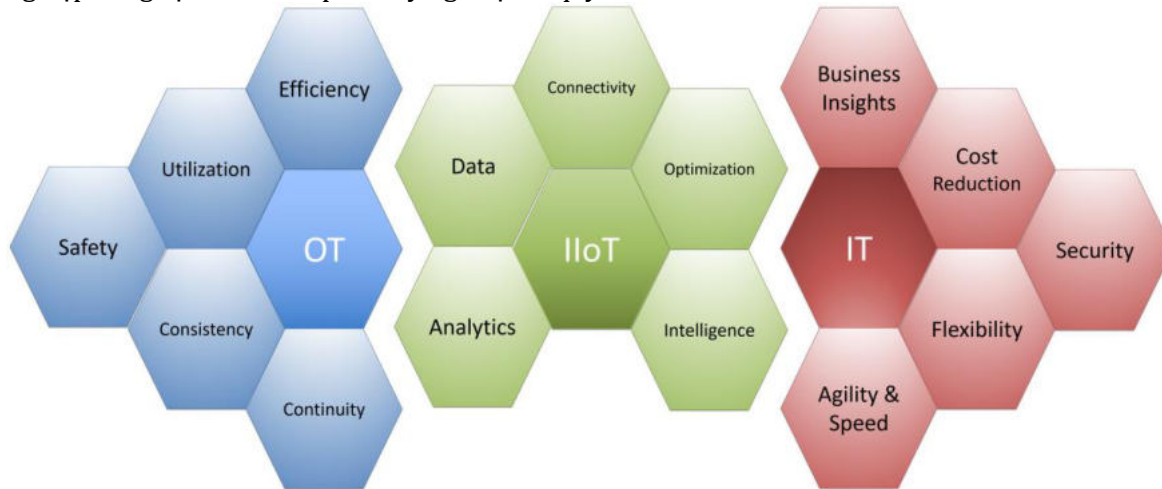
Các lĩnh vực công nghiệp hiện nay đang ở trong giai đoạn của cuộc cách mạng lần thứ tư, Công nghiệp 4.0. Trong cuộc cách mạng này, công nghệ kỹ thuật số từ những thập kỷ gần đây với sự trợ giúp của kết nối thông qua Internet vạn vật (Internet of Things - IoT), truy cập dữ liệu thời gian thực và giới thiệu các hệ thống vật lý không gian mạng được tập trung khai thác để tạo ra một cấp độ phát triển hoàn toàn mới.

Nằm trong xu thế phát triển đó, lĩnh vực công nghiệp Mỏ cũng đã và đang thay đổi để tận dụng các thế mạnh của IoT để tối ưu hóa các quá trình khai thác, chế biến.

IoT là một mô hình công nghệ được hiểu là như một mạng lưới toàn cầu nơi các thiết bị hoặc máy móc có thể tương tác [1]. IoT đang tạo ra một cuộc cách mạng công nghệ ảnh hưởng đến tất cả các lĩnh vực ứng dụng bao gồm nhà thông minh, thành phố thông minh, nông nghiệp, ô tô, chăm sóc sức khỏe, sản xuất công nghiệp và giao thông vận tải

[2]. IoT như vậy đã và đang làm thay đổi mọi thứ, bao gồm cả con người chúng ta trong các hoạt động giáo dục, giao tiếp, kinh doanh, khoa học và chính phủ. Trong bối cảnh này, các ngành công nghiệp đang bị thách thức phải suy nghĩ lại về quy

trình sản xuất, kinh doanh của mình với tiềm năng khơi dậy những đổi mới trong hệ thống sản xuất ở quy mô chưa từng có [3].



Hình 0.1 Công nghệ thông tin, công nghệ vận hành và IIoT [5]

IIoT (Industrial Internet of Thing) là một ứng dụng của IoT trong công nghiệp, là một phần của khái niệm Công nghiệp 4.0. IIoT tập trung vào ý tưởng số hóa đồng bộ và khả năng kết nối của tất cả các bộ phận sản xuất, kết hợp các thế mạnh của ngành công nghiệp truyền thống với công nghệ internet [4]. IIoT cũng có thể được coi là sự hội tụ của Công nghệ thông tin (Information Technology - IT) và Công nghệ vận hành (Operational Technology - OT) như trong Hình 0.1 [5]. IIoT là mạng của các thiết bị vật lý hoặc vật thể, được tích hợp với thiết bị điện tử, cảm biến có khả năng kết nối truyền thông cho phép tạo thành mạng lưới liên kết để trao đổi thông tin giữa sản xuất, vận hành, quản lý... nhằm đạt được giá trị và dịch vụ lớn hơn [6]. Với các tính năng ưu việt của mình IIoT được dự đoán sẽ có khả năng biến đổi nhiều ngành công nghiệp, bao gồm sản xuất, dầu khí, nông nghiệp và khai thác mỏ [7].

Mặc dù, IIoT có tiềm năng cải thiện quy trình sản xuất và kinh doanh bằng cách kết nối mạng truyền thông cho phép trích xuất thông tin có giá trị từ các quy trình công nghiệp. Tuy nhiên, ngành khai thác mỏ khá truyền thống và có phần chậm thay đổi do những hạn chế về cơ sở hạ tầng trong truyền thông, quản lý dữ liệu, lưu trữ và trao đổi

thông tin. Vì vậy trong nội dung bài báo này sẽ thực hiện việc nghiên cứu về lợi ích của ứng dụng IIoT trong lĩnh vực công nghiệp mỏ; Đánh giá thực trạng triển khai và nêu ra các vấn đề cần nghiên cứu nhằm mục đích cải thiện việc áp dụng IIoT trong ngành khai thác mỏ.

Nội dung bài báo thực hiện phương pháp tổng hợp định tính [8] để tổng hợp các thông tin về thực trạng ứng dụng IIoT ở trong lĩnh vực công nghiệp mỏ Thế giới và Việt Nam; tổng hợp những vấn đề về tiêu chuẩn tự động hóa công nghiệp, khả năng tương tác giữa các hệ thống cũ và mới; tổng hợp kiến trúc cấp cao, sử dụng các hướng dẫn của tiêu chuẩn công nghiệp và đáp ứng những thách thức cụ thể trong ngành khai thác mỏ.

Để giải quyết những thách thức này, Phương pháp nghiên cứu tài liệu cũng được sử dụng trong bài báo để tìm kiếm các giải pháp IIoT phù hợp cho ngành khai thác mỏ.

2. Lợi ích của ứng dụng IIoT trong công nghiệp mỏ

Trong vòng đời hình thành, phát triển và kết thúc của một mỏ thường được chia thành 05 giai đoạn như trong

Hình 0.2 [9].

Tìm kiếm là giai đoạn đầu tiên trong việc sử dụng trữ lượng khoáng sản, là tìm kiếm quặng hoặc các khoáng sản có giá trị khác (than hoặc phi kim loại).

Thăm dò là giai đoạn thứ hai trong vòng đời của một mỏ. Đây là giai đoạn xác định càng chính xác càng tốt quy mô và giá trị của một mỏ khoáng sản, sử dụng các kỹ thuật tương nhưng tinh tế hơn các kỹ thuật được sử dụng trong giai đoạn tìm kiếm.

Phát triển nằm giai đoạn thứ ba, thực hiện công việc mở mỏ khoáng sản để khai phá được thực hiện. Với giai đoạn này, việc khai thác thực tế trữ lượng, bấy giờ được gọi là quặng, bắt đầu.

Khai thác, giai đoạn khai thác thứ tư, gắn liền với việc thu hồi thực tế các khoáng sản từ lòng đất về số lượng. Mặc dù sự phát triển có thể tiếp tục nhưng điểm nhấn trong giai đoạn này là sản xuất. Thông thường, chỉ tiến hành phát triển vừa đủ trước khi khai thác để đảm bảo rằng hoạt động sản xuất, sau khi bắt đầu, có thể tiếp tục không bị gián đoạn trong suốt thời gian hoạt động của mỏ.

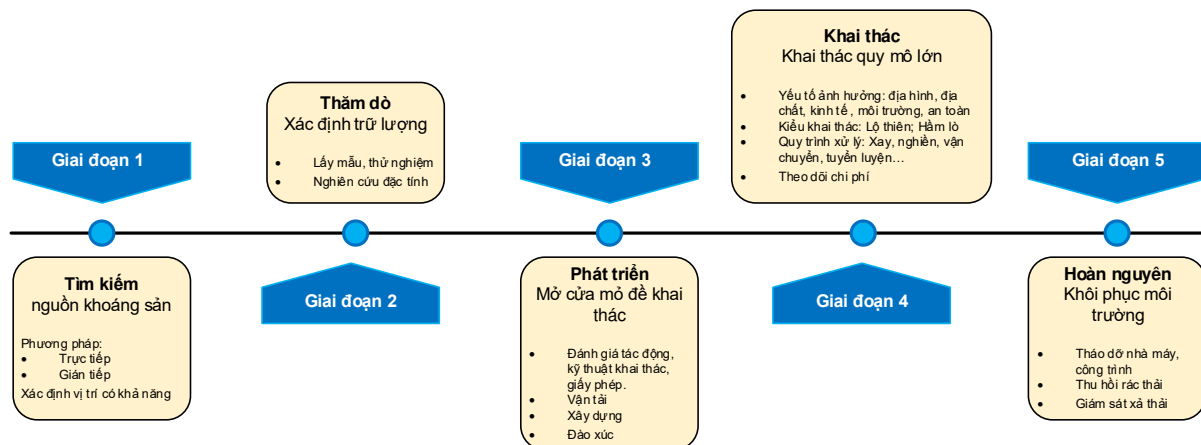
Cải tạo là giai đoạn cuối cùng trong quá trình vận hành của hầu hết các mỏ, quá trình đóng cửa mỏ và tái tạo đường nét, tái tạo thảm thực vật cũng như khôi phục các giá trị về nước và đất. Thời điểm tốt nhất để bắt đầu quá trình khai hoang mỏ là trước khi bắt đầu cuộc khai quật đầu tiên. Nói

cách khác, các kỹ sư quy hoạch mỏ nên lập kế hoạch khai thác sao cho quá trình cải tạo được xem xét và tổng chi phí khai thác cộng với cải tạo được giảm thiểu, chứ không chỉ chi phí khai thác.

Như vậy vòng đời của một mỏ là một quá trình diễn ra trong khoảng thời gian dài với những khối lượng công việc lớn, phức tạp. Với những ưu điểm về khả năng kết nối cung cấp thông tin theo dõi cho các hệ thống trang thiết bị trong quá trình hoạt động sản xuất, IIoT có thể giúp cải thiện năng suất tổng thể của các công ty trong toàn bộ vòng đời của mỏ. Ngoài việc thúc đẩy lợi nhuận của công ty, IIoT có thể cải thiện sự an toàn của thợ mỏ khi thợ mỏ làm việc trong môi trường nguy hiểm. Bằng những khả năng ưu việt của mình, IIoT có thể giúp cải thiện năng suất của các công ty khai thác mỏ cho phép thúc đẩy các khía cạnh hoạt động sau [10].

a. Sử dụng IIoT để tối ưu hóa quy trình sản xuất

Sử dụng IIoT trong công nghiệp Mỏ có thể vượt qua những thách thức phải đối mặt trong các mỏ hầm lò cũng như các mỏ lộ thiên. Công nghệ kết nối giống như mạng lưới GPS cho phép tùy chỉnh giải pháp cho các tình huống ứng dụng khác nhau mỏ.



Hình 0.2 Vòng đời phát triển mỏ

Thông qua IIoT, các nhà quản lý có thể tối ưu hóa các quá trình sản xuất cũng như nâng cao hiệu quả. Thông qua sự trợ giúp của các cảm biến cung

cấp dữ liệu thô, ngành khai thác có thể phân tích thông tin theo thời gian thực và xác định hướng hành động tốt nhất.

b. Cải thiện hiệu suất

Với IIoT, người ta có thể cải thiện hiệu suất làm việc của các công ty khai thác mỏ. Khi các phương tiện vận tải và các thiết bị IIoT làm việc cùng nhau, nó cho phép thu thập được nhiều dữ liệu hơn. Điều này cung cấp thông tin có độ chính xác hơn, giúp quá trình thực hiện được dễ dàng hơn.

Ngoài việc cải thiện hiệu suất của công ty thông qua tự động hóa, IIoT cũng có thể giảm một lượng đáng kể năng lượng tiêu hao cũng như giá thành bảo trì bảo dưỡng. Các thành phần khác nhau trong hệ thống sẽ được giám sát giúp cho quá trình thực hiện công việc được hiệu quả hơn. Với các dữ liệu chính xác, công ty có thể bố trí nhân lực cũng như thiết bị phù hợp hơn. Theo thời gian việc này sẽ giúp công ty giảm chi phí nhân công cũng như thiết bị, tăng lợi nhuận.

c. Giảm lãng phí và các chi phí không cần thiết

Khi bạn sử dụng IIoT trong mỏ, bạn có thể phát hiện ra những vị trí lãng phí thời gian, năng lượng cũng như nguyên vật liệu. Bằng cách giám sát hoạt động sản xuất kinh doanh theo thời gian thực, công ty có thể nắm vững hơn về môi trường sinh thái hoạt động của mỏ. Cùng với các cảm biến, công ty có thể thu thập thông tin về không khí nước, đất đá và sử dụng các dữ liệu này đưa ra các quyết định tốt hơn về những việc cần làm cho thợ mỏ hay máy móc thiết bị dưới lòng đất.

Công ty cũng có thể giảm lãng phí bằng cách tích hợp nhiều cảm biến thành một mạng lưới. Sau đó, công ty cần sử dụng các phần mềm phù hợp để phân tích dữ liệu.

d. Lập kế hoạch quản lý rủi ro

Trong nhiều trường hợp, ứng dụng IoT không tạo ra các quy trình hoặc kỹ thuật hoàn toàn mới. Thay vào đó chúng cho phép trực quan hóa những kỹ thuật hiện tại bằng các lối dữ liệu và hình ảnh. Các cảm biến cho phép giám sát cách thức quá trình sản xuất được thực hiện, các dự án và thợ mỏ đang làm việc trong thực tế. Bằng cách bố trí thêm các điểm thu thập dữ liệu, công ty có thể tìm hiểu thêm được và lượng tiêu thụ nhiên liệu cũng như việc bảo trì thiết bị.

Cùng với IoT, công ty có thể sử dụng các cảm biến và mạng truyền thông để theo dõi trạng thái

của máy móc thiết bị. Điều này cho phép công ty lập kế hoạch trước cho hoạt động bảo trì để việc sửa chữa và nâng cấp gây ra gián đoạn ít nhất có thể. Hơn nữa, công ty cũng có thể tiết kiệm được chi phí nhân công cho việc sửa chữa trang thiết bị trước khi nó bị hư hỏng. Mạng tích hợp cho phép nhà quản lý phát hiện tự động hiện tượng hao mòn hư hỏng của thiết bị.

e. Cải thiện sự an toàn

Không may là còn có những mối nguy hiểm trong công nghiệp mỏ. Mặc dù kỹ thuật đã góp phần giảm bớt những mối nguy hiểm này, trong đó IoT cho phép giảm bớt chúng theo những cách khác. Sử dụng IoT, công ty có thể bố trí cảm biến trên những đường lò không ổn định. Chúng cho phép nhà quản lý thu thập dữ liệu thời gian thực về độ an toàn trong mỏ, từ đó cho phép thực hiện các biện pháp để ngăn chặn nguy cơ sập hầm.

Khi xảy ra tai nạn, hệ thống IoT cho phép phản hồi nhanh hơn. Tính năng theo dõi cho phép đơn vị cấp cứu nhanh chóng xác định vị trí của người lao động. Điều này có nghĩa là thời gian cứu hộ và sơ tán sau tai nạn ngắn hơn.

Vì IoT giúp các hoạt động khai thác tự động trở nên khả thi, nên một số hệ thống trong công ty có thể hoạt động không cần sự có mặt của con người. Các thiết bị có thể được kết nối thông qua mạng internet và người vận hành có thể thao tác từ phòng điều khiển trung tâm. Phòng điều khiển này có thể ở gần hoặc nằm ở cách xa hiện trường sản xuất.

Như vậy bằng cách khai thác các thế mạnh của IoT, các mỏ có thể định hướng nghiên cứu phát huy những lợi ích sau:

- Xây dựng điều kiện làm việc an toàn hơn.
- Giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động sau nổ mìn.
- Giảm thời gian ngừng hoạt động của máy móc.
- Giới hạn thời gian cần thiết cho việc diễn tập sơ tán.
- Tối ưu hóa chi phí lao động và năng lượng.

3. Thực trạng ứng dụng IIoT trong công nghiệp Mỏ

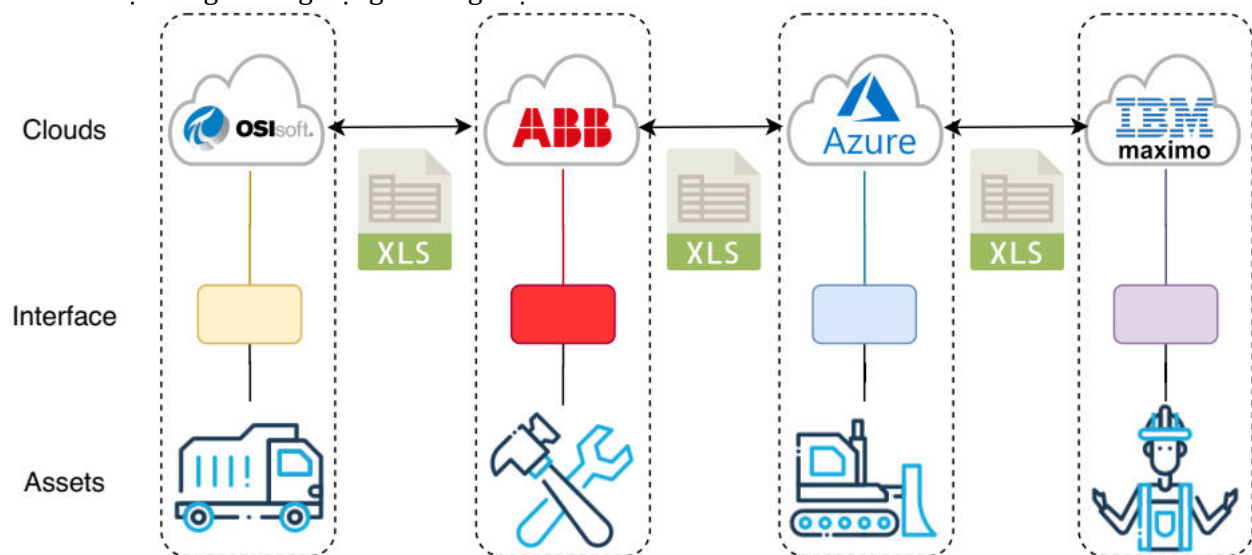
Trong tiến trình phát triển tới giai đoạn hiện nay (công nghiệp 4.0), các lĩnh vực công nghiệp đang dần hoàn thiện các hệ thống tự động hóa

(TĐH), hệ thống công nghệ thông tin (IT) và chuyển sang ứng dụng các công nghệ IoT kết hợp với trí tuệ nhân tạo. Công nghiệp mỏ ở trên Thế giới cũng như ở Việt Nam theo nhận định chung, thực hiện việc ứng dụng công nghệ mới vào sản xuất thường chậm hơn so với các ngành công nghiệp khác. Hiện nay việc ứng dụng IoT trong công nghiệp mỏ vẫn cơ bản ở các bước “Tin học hoá - Tự động hoá” [11]. Vì vậy trong phần này, bài báo thực hiện mô tả các hoạt động TĐH & CNTT hiện tại sau khi tổng hợp các thông tin về cơ sở hạ tầng IT trong các công ty khai thác mỏ qua tài liệu và thực tiễn.

Mặc dù không thuộc thuật ngữ IIoT, các công ty khai thác đã triển khai các hệ thống tiền IoT như bộ điều khiển logic lập trình (PLC) và hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu (SCADA) để giám sát và kiểm soát trong nhiều thập kỷ, với rất nhiều các hãng trên thị trường. So với các hệ thống IIoT, các hệ thống điều khiển giám sát hiện tại này thường là các hệ thống có bản quyền và đòi hỏi các thiết bị và driver để tương tác hoặc kết nối với các hệ thống khác. Sự khác biệt chính giữa các hệ thống dựa trên IIoT và các hệ thống cũ là hệ thống IIoT dựa trên cấu trúc mạng Giao thức Internet (IP) mở, có tính kết nối cao.

Hiện nay, ngành khai thác mỏ phụ thuộc nhiều vào các hệ thống và ứng dụng thương mại khác

nhau, gây ra sự phân mảnh thiếu đồng bộ theo chiều dọc [5]. Các giai đoạn khác nhau trong vòng đời phát triển của mỏ được mô tả trong mục **Error! Reference source not found.** Thăm dò là giai đoạn đầu tiên khi các nhà địa chất lấy mẫu từ các địa điểm cụ thể và thử nghiệm trong phòng thí nghiệm. Các mẫu này sau đó được phân tích dựa trên nhiều yếu tố khác nhau như kích thước và vật liệu lấy ra từ lỗ khoan. Sau khi phân tích mẫu, các nhà địa chất tạo ra các mô hình thống kê địa lý. Bộ phận thăm dò này có các công cụ và phần mềm riêng. Kết quả cuối cùng sau đó được bàn giao cho bộ phận kế hoạch. Các bộ phận kế hoạch cũng có bộ phần mềm và công cụ riêng để lập kế hoạch dựa trên đầu vào là kết quả thăm dò. Vấn đề ở đây là bộ phận thăm dò xuất kết quả thành một bảng excel để chia sẻ với bộ phận kế hoạch, nơi kết quả chỉ có thể được nhập từ bảng excel vì không có sự liên kết nào được thiết lập tự động giữa các hệ thống này. Tương tự, các quy trình công nghệ tiếp theo cũng hoạt động độc lập và không có sự tích hợp với nhau như cơ học đá, khoan và nổ mìn, xúc bốc và vận tải, máy nghiền, kho lưu trữ, nhà máy để xử lý và tập kết. Cuối cùng nguyên liệu được đưa vào kho và bộ phận bán hàng cần bán hàng và quản lý hồ sơ.



Hình 0.3 Các silo dữ liệu theo chiều dọc của các lĩnh vực khai thác mỏ [5]

Trong các công ty mỏ trên thế giới, các bộ phận khác nhau trên ở các giai đoạn hoạt động khác nhau trong vòng đời mỏ đang sử dụng các hệ thống IT khác nhau được thiết kế và phát triển bởi các hãng khác nhau. Các hệ thống thương mại phổ biến trong ngành là ABB, OSIsoft, IBM Maximo, Microsoft Azure, Dynamics 365 và Power BI. IBM Maximo cung cấp các giải pháp quản lý tài sản [12], ABB cung cấp các giải pháp sản xuất và phổ biến trong các hệ thống điều khiển. Một số thiết bị IoT được gắn vào hệ thống ABB, mang thông tin quan trọng [13]. OSIsoft đang cố gắng lấy dữ liệu từ nhiều hệ thống khác nhau để tích hợp, nhưng hầu hết dữ liệu được tích hợp qua bảng excel. Các thành phần phân tích và học máy cũng cần thiết để vận hành tốt hơn và mang lại lợi ích cho ngành khai thác mỏ. Để phân tích, Microsoft Azure đang được sử dụng để lấy dữ liệu từ hồ dữ liệu, OSIsoft, ABB bằng cách nhập bảng excel [14]. Như được hiển thị trong Hình 0.3, tất cả các hệ thống và ứng dụng này đều không thể tương tác

Ở các mỏ than Việt Nam về cơ bản vẫn đang ở giai đoạn tự động hóa và giám sát các hệ thống cho các mỏ. Các hệ thống TĐH và giám sát này chủ yếu là các chương trình giám sát khí mỏ, Hệ thống giám sát và điều khiển trạm quạt thông gió mỏ; Hệ thống tự động hóa băng tải; Hệ thống điều khiển giám sát tập trung [15]. Các hệ thống này thu thập dữ liệu từ các cảm biến tại hiện trường thông qua các thiết bị PLC hoặc các module chuyển đổi (Gateway) để đưa về giám sát tại trung tâm. Ngoài các hệ thống đó thì ở một số mỏ cũng đã thực hiện nghiên cứu, lắp đặt triển khai: Hệ thống giám sát điện năng [16]; Hệ thống điều khiển giám sát bơm thoát nước mỏ; Hệ thống điều khiển giám sát tời trục vận tải. Trong những năm gần đây cùng với sự phát triển của công nghệ tự động hóa và sự hợp lý của giá thành thiết bị, xu hướng nghiên cứu chế tạo các trang thiết bị được nhúng các cảm biến thông minh có khả năng gửi thông tin trạng thái lên mạng internet được một số đơn vị trong và ngoài tập đoàn than khoáng sản Việt Nam (TKV) thực hiện nghiên cứu. Các hệ thống phần mềm điều khiển giám sát ở Việt Nam hiện nay được tự phát triển hoặc triển khai dựa trên nền tảng phần mềm (platform) của một số hãng như Siemens; Mitsubitshi; ABB; Schneider; Omron... Cũng như các hệ thống IT ở các công ty mỏ trên thế giới, các hệ thống phần mềm này vẫn

hoạt động độc lập, không có sự tương tác, trao đổi thông tin, liên động qua lại. Hệ thống các phần mềm này thiếu sự kết nối ngay cả ở cấp kỹ thuật để phối hợp hoạt động.

Như vậy các hệ thống phần mềm IT trong các mỏ trên thế giới cũng như ở Việt nam đều có tình trạng ứng dụng, phát triển dựa trên các nền tảng công nghệ và định dạng dữ liệu riêng. Do đó, một hệ thống có thể tương tác với hệ thống khác của cùng một nhà cung cấp nhưng không thể tương tác với một nhà cung cấp khác (Hình 0.3). Điều này gây ra trở ngại lớn cho việc áp dụng các mô hình internet công nghiệp trong ngành khai thác mỏ và làm chậm quá trình sản xuất.

Có nhiều thách thức khác nhau để đạt được khả năng tương tác và liên lạc giữa các hệ thống khác nhau trong ngành khai thác mỏ. Như được hiển thị trong Hình 0.3, trạng thái hiện tại của các hệ thống trong ngành khai thác mỏ là việc kết nối của các hệ thống giống như các đường ống (hay các silo) thẳng đứng. Nói cách khác, ngành khai thác mỏ đang phải đối mặt với nhiều thách thức chính khác nhau trong việc phát triển IIoT, được tóm tắt như sau:

Đa dạng về công nghệ: việc phát triển hệ thống dựa trên IIoT dựa trên 5 công nghệ chính: mạng cảm biến không dây (WSN), nhận dạng tần số vô tuyến (RFID), điện toán đám mây, phần mềm trung gian/cổng liên kết (gateway) và phần mềm ứng dụng IIoT [1]. Hơn nữa, có nhiều hệ thống đã được triển khai dựa trên một hệ thống công nghệ khác nhau.

Sở hữu dữ liệu: vấn đề sở hữu hoặc quyền sở hữu dữ liệu là một thách thức quan trọng không chỉ trong ngành khai thác mỏ mà còn trên nhiều ngành khác. Các ngành thường có xu hướng lưu giữ dữ liệu cũng như thông tin để diễn giải dữ liệu. Chủ sở hữu thường là người tạo ra dữ liệu, nhưng nhà cung cấp hệ thống sẽ thu thập dữ liệu từ nhiều khách hàng khác nhau và có thể xác định xu hướng bằng cách phân tích dữ liệu đó.

Phân tán dữ liệu giữa các hệ thống cũ: trong ngành khai thác mỏ, dữ liệu được phân tán trên các nền tảng và hệ thống cũ khác nhau tạo ra những khó khăn trong việc thu thập thông tin cho phân tích và các hoạt động phát triển.

Bảo mật: IIoT cho phép các hệ thống và ứng dụng khác nhau giao tiếp với nhau và tạo ra nhiều mối đe dọa bảo mật khác nhau. Các kênh liên lạc

phải được bảo mật, các thiết bị IIoT trở nên dễ bị tấn công hơn trước các cuộc tấn công khác nhau như DDoS. Hơn nữa, cần có các quy tắc quản trị dữ liệu và lập kế hoạch bảo mật cụ thể.

Quản lý dữ liệu: Trong môi trường IIoT, các thiết bị và tài sản tạo ra dữ liệu, sau đó lưu trữ vào lớp trung tâm dữ liệu mà sau này các ứng dụng phân tích sẽ sử dụng. Có nhiều nguồn dữ liệu khác nhau trong ngành khai thác mỏ như hệ thống hoạch định nguồn lực doanh nghiệp (ERP), PIMS, Hệ thống thực thi sản xuất (MES) và nhiều hệ thống IT cũ kế thừa. Trong trường hợp này, quản lý dữ liệu là một nhiệm vụ đầy thách thức đòi hỏi phải sử dụng các kho lưu trữ dữ liệu, dung nạp, dữ liệu chủ (data master) và sao chép. Thách thức này trở nên tồi tệ nhất khi có nhiều nhà cung cấp hệ thống lưu trữ dữ liệu đám mây khác nhau tham gia, đây là trường hợp điển hình trong ngành khai thác mỏ.

Phân tích: phân tích trong ngành khai thác mỏ có tầm quan trọng cao hơn so với các ngành khác do máy móc hạng nặng, lực lượng con người, chức năng của nhà máy và kho dự trữ lớn. Người quản lý vận hành cần có những hiểu biết sâu sắc hơn về các quy trình và máy móc để họ có thể phát hiện các vấn đề và hành động phù hợp. Ngoài những nhu cầu phân tích dữ liệu biên tại các địa điểm khai thác nhằm mục tiêu chủ yếu vào hoạt động sản xuất, phân tích cũng cần có trên cấp độ văn phòng để biết các xu hướng và nhu cầu kinh doanh.

Ngoài các thách thức trên, hiện nay tất cả các tiêu chuẩn công nghiệp và kiến trúc tham chiếu được cho IIoT đều đang cố gắng giải quyết những thách thức trong các ngành công nghiệp nói chung. Các tiêu chuẩn này cung cấp các hướng dẫn và phương pháp hay nhất để thiết kế và phát triển giải pháp cho một trường hợp sử dụng cụ thể. Vì vậy, các công ty không thể trực tiếp áp dụng các tiêu chuẩn và kiến trúc tham chiếu này để đáp ứng các yêu cầu trong ngành khai thác mỏ, mặc dù có những tiêu chuẩn có thể hướng dẫn chúng ta thiết kế kiến trúc cho ngành khai thác mỏ.

4. Tiêu chuẩn IIoT và ứng dụng cho ngành khai thác mỏ

a. Tiêu chuẩn IoT công nghiệp

Trong phần này, chúng tôi đề cập đến các kiến trúc tham chiếu IoT công nghiệp có liên quan do các cơ quan tiêu chuẩn đề xuất.

Tiêu chuẩn IIRA (Industrial Internet Reference Architecture)

Kiến trúc tham chiếu Internet công nghiệp (IIRA) [17] hình thành vào năm 2014 và đưa ra các hướng dẫn để xây dựng hệ thống internet công nghiệp. Nó mô tả một khung kiến trúc mở tiêu chuẩn giúp thiết kế các hệ thống internet công nghiệp với tính năng hiện đại. Nó đặc trưng hóa các đặc điểm được quan tâm ở cấu trúc thông thường và tổ chức chúng thành bốn khía cạnh: kinh doanh, sử dụng, chức năng và thực hiện. IIRA cho rằng khía cạnh chức năng là phần quan trọng nhất cần xem xét đối với hệ thống IIoT mô tả năm lớp như sau:

- Lớp kinh doanh: lớp này cung cấp các chức năng cho phép các hoạt động công nghiệp từ đầu đến cuối như lập kế hoạch công việc, lập kế hoạch, lập kế hoạch nguồn lực doanh nghiệp (ERP) và quản lý vòng đời.
- Lớp ứng dụng: cung cấp các chức năng cho phép thực hiện một số nhiệm vụ hoặc mục tiêu bằng cách triển các khai ứng dụng logic thực tế như giao diện lập trình ứng dụng và giao diện người dùng, v.v.
- Lớp thông tin: lớp này cung cấp các chức năng thu thập và lưu trữ dữ liệu và ngữ nghĩa, chuyển đổi và phân tích dữ liệu, cung cấp và triển khai dữ liệu.
- Lớp vận hành: lớp này cung cấp các chức năng để các máy móc thiết bị hoạt động bình thường trong suốt vòng đời. Nó cũng chịu trách nhiệm triển khai, cấu hình, chẩn đoán và cập nhật danh mục thiết bị.
- Lớp điều khiển: các chức năng của lớp này cung cấp khả năng kiểm soát các tài sản công nghiệp như cảm biến, bộ truyền động và thông tin liên lạc.

Tiêu chuẩn RAMI 4.0

RAMI 4.0 là kiến trúc sáu lớp ba chiều được đề xuất bởi Plattform Industrie 4.0 của Đức và cung cấp khung kiến trúc hướng dịch vụ (Service Oriented Architecture - SOA) cho khả năng tương tác nhằm hỗ trợ và phát triển các đặc điểm chính của công nghiệp 4.0. Trọng tâm chính của RAMI 4.0 là tích hợp các tài sản công nghiệp từ phân xưởng đến văn phòng với các dịch vụ và ứng dụng dựa trên SOA trong các lĩnh vực sản xuất. Nó không cung cấp phương pháp chi tiết về kỹ thuật thực hiện nhưng xác định các tiêu chuẩn cho lĩnh vực

sản xuất được phân tích trong [18]. Các thông số kỹ thuật cốt lõi của RAMI 4.0 đã được công bố trong và áp dụng cho lĩnh vực dữ liệu được liên kết trong [8]. Cả RAMI 4.0 và IIRA của IIC đều cung cấp kiến trúc tham chiếu cho các hệ thống IoT công nghiệp và việc so sánh cả hai kiến trúc được công bố trong báo cáo chung [19].

Tiêu chuẩn oneM2M

oneM2M [20] được thành lập vào năm 2012 và là sáng kiến của 8 tổ chức tiêu chuẩn IT hàng đầu: Viện Tiêu chuẩn Viễn thông Châu Âu (ETSI) đến từ Châu Âu; Hiệp hội Doanh nghiệp và Công nghiệp Vô tuyến (ARIB) và Ủy ban Công nghệ Viễn thông (TTC) từ Nhật Bản; Hiệp hội Tiêu chuẩn Truyền thông Trung Quốc (CCSA) từ Trung Quốc; Liên minh Giải pháp Công nghiệp Viễn thông (ATIS); Hiệp hội Phát triển Tiêu chuẩn Viễn thông (TSDSI) từ Ấn Độ và Hiệp hội Công nghiệp Viễn thông (TIA) từ Hoa Kỳ; và Hiệp hội Công nghệ Viễn thông (TTA) từ Hàn Quốc. Mục tiêu của oneM2M là xác định lớp dịch vụ ngang [2] để cung cấp cách kết nối và giao tiếp với các hệ thống IoT khác nhau. Các nhà cung cấp khác nhau cung cấp các hệ thống IoT không thể tương tác với các hệ thống IoT khác và hình thành các đường ống liên kết dữ liệu theo chiều thẳng đứng gây ra sự phân mảnh trên thị trường. Kiến trúc lớp liên kết ngang oneM2M giải quyết vấn đề này bằng cách giảm sự phân mảnh dọc trên thị trường [21]. Một bài báo chung được viết bởi IIC và oneM2M, trình bày chi tiết IIRA và oneM2M và cung cấp các hướng đi trong tương lai cho cả hai tổ chức.

Tiêu chuẩn Arrowhead Framework

Dự án Arrowhead Framework của EU [22] bắt đầu vào năm 2013 và đề xuất một kiến trúc để mô tả quy trình làm việc của tự động hóa dựa trên IoT. Kiến trúc và khung nguồn mở được đề xuất tuân theo hướng dẫn của RAMI 4.0 [23]. Dự án đã được kế thừa sự thành công của các dự án dự án Productive 4.0 [24] và Arrowhead Tool [25]. Các dự án này tiếp tục công việc trên tiêu chuẩn Arrowhead Tool [26] với mục đích tạo thuận lợi cho việc phát triển, triển khai và điều phối các hệ thống tích hợp dựa trên khái niệm SOA một cách thích hợp. Arrowhead Framework hình thành các đám mây cục bộ dựa trên SOA với ba hệ thống cốt

lõi bắt buộc là hệ thống Đăng ký dịch vụ, Ủy quyền và Điều phối. Để nâng cao khả năng của Arrowhead Framework Local Clouds, có một số hệ thống và dịch vụ hỗ trợ có sẵn như EventHandler, Gateway, Gatekeeper, hệ thống giám sát và quản lý QoS và nhiều hệ thống đang được phát triển cho tương lai. Công việc tiếp theo về Arrowhead Framework được thực hiện trong dự án Arrowhead Framework Eclipse [27].

b. Phát triển kiến trúc IIoT cho ngành khai thác mỏ

Mặc dù là ngành có tốc độ ứng dụng công nghệ mới chậm hơn so với các ngành khác, trong thực tế cũng đã có một số nỗ lực học thuật và nghiên cứu để áp dụng IoT và công nghệ hiện đại trong ngành khai thác mỏ. Trong [28], các nhà nghiên cứu đã thực hiện khảo sát các ứng dụng IIoT để xác định những thách thức của ngành khai thác mỏ và xác định liệu một mỏ dưới lòng đất có khả năng hỗ trợ các hệ thống IIoT hay không. Đánh giá về chuyển đổi kỹ thuật số trong khai thác [29] đã trình bày các phần nền tảng là dữ liệu phổ biến, khả năng kết nối và ra quyết định. Một hệ thống IIoT và Phân tích khung cấu trúc nâng cao được đề xuất trong [30], nó cung cấp kiến trúc phân lớp để sử dụng làm hướng dẫn và hỗ trợ cho việc áp dụng IIoT trong ngành khai thác mỏ.

Nhiều nỗ lực nghiên cứu trên thế giới cũng như ở Việt Nam đã cố gắng giải quyết các vấn đề cụ thể trong ngành khai thác mỏ bằng cách giới thiệu IoT như hệ thống giám sát khí [31] và hệ thống định vị nhân viên [32] trong mỏ than. Các công việc khác như giám sát đập thải quặng đuôi và hệ thống cảnh báo trước trong hầm mỏ, theo dõi thiết bị để bảo trì, cải thiện an toàn máy móc, hệ thống phân tích tai nạn [33], hệ thống tập trung oxy, hệ thống quản lý nhóm làm việc và hệ thống quản lý nhân sự [34], hệ thống giám sát thông gió và hệ thống dự đoán chất lượng không khí trong hầm mỏ dưới lòng đất [35].

Kiến trúc và công nghệ IoT được trình bày trong [36] để cho phép tạo ra một nền tảng ứng dụng kỹ thuật số làm nổi bật việc thăm dò môi trường cơ học đá tạo ra các cơ hội mới để triển khai IoT trong việc khám phá cơ sở hạ tầng khoáng sản mới, xử lý, theo dõi và ngăn ngừa chất thải tốt hơn về ô nhiễm khai thác mỏ. Khám phá thử nghiệm cũng là những

đổi mới tiên tiến có thể được tận dụng để xây dựng mô hình khai thác IoT bền vững hiện đại.

Nhiều giải pháp thương mại có sẵn trên thị trường dành cho ngành khai thác mỏ và hầu hết chúng đều được thảo luận và đánh giá trong [37]. Hơn nữa, Trong tài liệu tham khảo [38] cũng mô tả ứng dụng của công nghiệp 4.0 trong ngành khai thác mỏ bằng phần mềm phát triển vòng đời (Software Development Life Cycle - SDLC) và giới thiệu mô bán thông minh, trong khi chỉ tập trung vào các mô hình tích hợp công nghiệp. Một nền tảng phát triển cảm biến đa mô hình dựa trên IP để thực hiện giám sát IoT trong các mỏ than dưới lòng đất được phát triển và mô tả trong [39]. Đây là mạng cảm biến không dây dựa trên Zigbee (WSN) ban đầu được thiết lập và mở rộng sang IoT với cổng hỗ trợ IP.

Các tài liệu nghiên cứu cho thấy rõ ràng rằng tốc độ triển khai Internet công nghiệp trong ngành khai thác mỏ đang chậm hơn. Ngoài ra, các giải pháp để giải quyết các vấn đề cụ thể được trình bày trong tài liệu cũng tạo ra thách thức về khả năng tương tác giữa các giải pháp khác nhau. Cần có kiến trúc IIoT cho ngành khai thác mỏ cho phép khả năng tương tác trơn tru để trao đổi thông tin từ các địa điểm khai thác tới các đơn vị vận hành và sàn văn phòng. Hơn nữa, kiến trúc phải tuân theo các hướng dẫn của tiêu chuẩn công nghiệp được thiết kế bởi các cơ quan tiêu chuẩn và được nhiều nhà cung cấp áp dụng. Để giải quyết khoảng trống nghiên cứu này, nghiên cứu này tổng hợp kiến trúc IIoT bằng cách sử dụng các hướng dẫn của tiêu chuẩn công nghiệp dành cho ngành khai thác mỏ.

5. Xu hướng và Thách thức

a. Định hướng IIoT cho ngành khai thác mỏ

Trong phần này, các kiến trúc cấp cao theo các tiêu chuẩn và hướng dẫn của tổ chức quốc tế được giới thiệu. Bản tóm tắt so sánh lấy từ các tiêu chuẩn để so sánh, tổng hợp lựa chọn kiến trúc IIoT cho hoạt động khai thác mỏ được mô tả trong Bảng 0.1. Trong kiến trúc, các quan điểm, lĩnh vực chức năng và chức năng xuyên suốt của IIRA đã được đề cập tới. Các nội dung đó vốn đang cung cấp những chỉ dẫn đa dạng cho công nghiệp và được xem xét nghiên cứu để xác định các kiến trúc IIoT cho các ứng dụng khác nhau trong ngành khai thác mỏ. Kiến trúc tham chiếu RAMI 4.0 cũng đưa ra hướng

dẫn cho kiến trúc phân lớp và các chức năng xuyên suốt cho ngành khai thác mỏ. Lớp vỏ quản trị của RAMI 4.0 được xem xét cho các vấn đề điều khiển và vận hành, trong đó các tác vụ trong vấn đề điều khiển của khu mỏ được quản lý từ hoạt động vận hành. Tiếp đến, tiêu chuẩn oneM2M đề xuất một lớp dịch vụ chung để cung cấp chế độ xem theo chiều ngang cho các silo thông tin theo chiều dọc. Cách tiếp cận của oneM2M CSE là coi kiến trúc IIoT là thông tin cùng với các chức năng dịch vụ khác nhau như quản lý nhóm, đăng ký và thông báo, quản lý và lưu trữ dữ liệu cũng như bảo mật. Cuối cùng, đối với các hiện trường khai thác, cách tiếp cận của Arrowhead Framework dựa trên đám mây cục bộ, nơi các hệ thống khác nhau có thể đăng ký và cung cấp dịch vụ, được xem xét. Các dịch vụ này có thể tương tác với nhau một cách an toàn và có thể được phát hiện và điều phối bởi các thành phần cốt lõi của đám mây cục bộ.

Kiến trúc phân lớp được thể hiện trong Hình 0.4 và được chia thành 5 lớp. Mỗi khu vực khai thác mỏ bao gồm hai vùng là vùng kiểm soát biên và vùng vận hành biên. Các thông tin và phân tích cũng có thể triển khai tại chỗ trong một địa điểm khai thác duy nhất ở lớp biên hoặc ngoài địa điểm trên đám mây. Lớp thông tin bên ngoài khu vực mỏ, trên đám mây, được kết nối với tất cả các khu vực của mỏ và các lớp ở trên đó. Hơn nữa, lớp phân tích, lớp kinh doanh và ứng dụng nằm phía trên lớp thông tin. Luồng thông tin, lệnh/yêu cầu và quyết định cũng được thể hiện trong Hình 0.4 với các mũi tên khác nhau. Sau đây là mô tả chi tiết của từng lớp.

Lớp điều khiển biên

Điều khiển trong khu vực khai thác mỏ bao gồm nhiều thành phần khác nhau như phần mềm OT, phần mềm IT, cảm biến, bộ truyền động, thiết bị (di động) và các hệ thống vật lý khác. Lĩnh vực này chịu trách nhiệm về các chức năng khác nhau được thực hiện bởi các hệ thống điều khiển và tự động hóa công nghiệp. Các chức năng này liên quan đến việc đọc dữ liệu từ các cảm biến, áp dụng các thuật toán và logic, đồng thời gửi lệnh đến bộ chấp hành để điều khiển hệ thống vật lý. Điều khiển trong khu vực khai thác thường yêu cầu độ chính xác về thời gian cao. Các thành phần hoặc thiết bị thực hiện các nhiệm vụ như vậy trong điều khiển thường được đặt ở gần các hệ thống vật lý mà chúng điều khiển

và cũng có thể bị phân tán về mặt địa lý. Nhân viên bảo trì có thể không truy cập được các thiết bị và hệ thống vật lý này một cách dễ dàng sau khi triển khai chúng tại khu mỏ.

Lớp vận hành biên

Mỏ có nhiều loại khác nhau như mỏ lộ thiên và mỏ dưới hầm lò, do đó vùng hoạt động có thể ở bên trong mỏ hoặc trên bề mặt khi bắt đầu khai thác mỏ trong trường hợp mỏ hầm lò. Vùng hoạt động chịu trách nhiệm quản lý và vận hành vùng điều khiển. Các chức năng trong vùng này chịu trách nhiệm cung cấp và triển khai, quản lý tài sản, giám sát và chẩn đoán, tối ưu hóa và tiên lượng.

Cung cấp và Triển khai bao gồm tập hợp các chức năng cần thiết cho việc định cấu hình, triển khai, đăng ký và giám sát tài sản cũng như việc triển khai và ngừng sử dụng tài sản.

Bảng 0.1. Những vấn đề cần quan tâm cho khung và chuẩn IIoT.

Tiêu chuẩn	Những vấn đề chính
IIRA	Quan điểm của IIRA trong nghiên cứu ứng dụng cho ngành khai thác mỏ. Phân loại các chức năng của IIRA để ứng dụng vào các lĩnh vực trong ngành khai thác mỏ. Các chức năng xuyên suốt của IIRA cần thiết cho ngành khai thác mỏ.
RAMI 4.0	Nghiên cứu hướng dẫn cấu trúc hệ thống IIoT sáu lớp của RAMI 4.0 để xây dựng kiến trúc phân lớp của ngành khai thác mỏ. Các chức năng xuyên suốt cần thiết cho ngành khai thác mỏ. Lớp vỏ quản trị của RAMI 4.0 để phân loại lĩnh vực điều khiển và vận hành.
oneM2M	Các dịch vụ chung của oneM2M cho vấn đề thông tin. Quản lý dữ liệu & Kho lưu trữ thông tin. Quản lý nhóm về thông tin trong ngành khai thác mỏ cho các phòng ban và các bên liên quan khác nhau. Đăng ký và thông báo thông tin.

	Vấn đề bảo mật thông tin.
Arrowhead Framework	Khái niệm về đám mây cục bộ cho lớp biên của các khu khai thác mỏ. Bảo mật cho việc tự động hóa trong điều khiển và vận hành. Cơ chế điều phối ở giữa điều khiển và vận hành.

Quản lý tài sản bao gồm một tập hợp các chức năng cho phép các trung tâm hoặc hệ thống quản lý tài sản gửi lệnh đến hệ thống điều khiển, sau đó từ hệ thống điều khiển đến tài sản. Các lệnh này có tính hai chiều nên tài sản có thể phản hồi lại các lệnh này về trung tâm quản lý tài sản.

Giám sát và chẩn đoán có trách nhiệm phát hiện và dự đoán các sự cố xảy ra. Điều này chịu trách nhiệm phân tích thời gian thực các số liệu đo lường chính của thiết bị, thu thập dựa trên thông tin điều tra và xử lý dữ liệu an toàn của thiết bị để có thể phát hiện nguồn gốc thực sự của vấn đề, sau đó cảnh báo về các điều kiện đáng ngờ và sự bất thường.

Trong hoạt động khai thác, tiên lượng thực sự quan trọng và bao gồm tập hợp các nhiệm vụ mà hệ thống IIoT cung cấp dưới dạng trình điều khiển phân tích dự đoán. Nó dựa trên bằng chứng lịch sử về hoạt động và hiệu quả của tài sản, tài sản trong kỹ thuật và vật lý cũng như kiến thức về mô hình hóa.

Tối ưu hóa bao gồm một loạt các chức năng nhằm nâng cao hiệu quả và hiệu suất của thiết bị, giảm thiểu việc sử dụng năng lượng và tối đa hóa chất lượng bằng cách sử dụng trang thiết bị một cách hợp lý. Bằng cách nhận biết những khoảng trống đầu ra và giai đoạn hiệu suất thấp, nó giúp duy trì trang thiết bị hoạt động ở hiệu suất cao nhất.

Ngoài ra, tại khu vực khai thác mỏ, có một một bộ Gateway biên chịu trách nhiệm phân tích thời gian thực và định dạng dữ liệu. Gateway biên cũng chịu trách nhiệm về khả năng kết nối và khả năng tương tác giữa các giải pháp liên kết độc khác nhau được đề trong bài báo này. Điều quan trọng cần đề cập ở đây là bộ định dạng dữ liệu sẽ chuyển đổi tất cả dữ liệu từ vận hành và điều khiển sang dạng dễ hiểu đối với hệ thống thông tin.

Lớp thông tin

Lớp thông tin chịu trách nhiệm quản lý và xử lý dữ liệu. Lớp này hoạt động như một trung tâm thông tin với các chức năng thu thập dữ liệu từ nhiều miền khác nhau, quan trọng nhất là từ hoạt động điều khiển, vận hành và có thể nằm tại chỗ (trong khu mỏ) hoặc bên ngoài (trên đám mây). Trong ngành khai thác mỏ, miền này là kho lưu trữ dữ liệu tập trung lưu trữ tất cả dữ liệu từ các hệ thống phòng ban khác nhau bao gồm thăm dò, địa chất, nghiền và nhà máy, quản lý chất thải, bán hàng và kinh doanh.

Quản lý và lưu trữ dữ liệu bao gồm khả năng thu thập dữ liệu để tổng hợp lượng lớn dữ liệu, chuyển đổi dữ liệu đó sang định dạng cụ thể và lưu trữ dữ liệu cho các mục đích khác như phân tích và xử lý ngữ nghĩa.

quan khác nhau có thể tạo các nhóm khác nhau để có quyền truy cập phù hợp vào lớp thông tin. Với sự trợ giúp của quản lý nhóm trong lớp thông tin, nhà máy cũng có thể đạt được sự tích hợp theo chiều ngang và từ đầu đến cuối bằng cách cung cấp quyền truy cập vào thông tin bằng thông tin xác thực dựa trên nhóm.

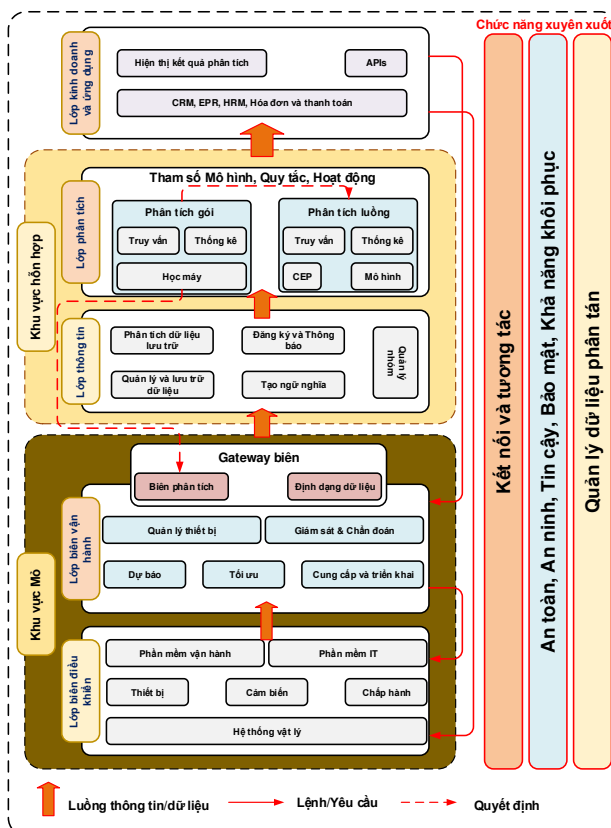
Ngoài việc sử dụng quản lý nhóm hoặc các mô hình kiểm soát truy cập truyền thống khác như Kiểm soát truy cập bắt buộc (MAC), Kiểm soát truy cập tùy ý (DAC) và Kiểm soát truy cập dựa trên vai trò (RBAC), Kiểm soát truy cập dựa trên thuộc tính (ABAC) có thể được xem xét. Với mức độ chi tiết ủy quyền cao của ABAC, việc quản lý tập trung các chính sách truy cập với các thuộc tính ghi nhật ký được tổng hợp và giám sát tập trung đã đạt được, điều này có thể cung cấp một mô hình mạnh mẽ hơn để kiểm soát truy cập trong các hệ thống tự động hóa công nghiệp [40].

Đăng ký và Thông báo cung cấp thông báo dựa trên đăng ký theo dõi thông tin cập nhật về một sự kiện cụ thể. Kho phân tích lưu trữ là cơ sở dữ liệu chứa dữ liệu thô và hài hòa từ nhiều nguồn. Kho lưu trữ phân tích chuyển đổi dữ liệu theo cách để có thể cung cấp dữ liệu cho miền phân tích để phân tích cấp doanh nghiệp.

Ngữ nghĩa có dữ liệu ngữ nghĩa cho các tài nguyên có thể được sử dụng cho khả năng tương tác ngữ nghĩa giữa các bên liên quan khác nhau. Mặc dù cần có bản thể luận cụ thể và ngữ pháp chung để các hệ thống tham gia có thể quyết định một mô hình bản thể luận để giao tiếp với nhau.

Lớp phân tích

Lớp phân tích chịu trách nhiệm lấy dữ liệu từ lớp thông tin, chủ yếu từ kho phân tích và thực hiện phân tích. Tương tự như lớp thông tin, nó cũng có thể đặt tại chỗ (cục bộ trong mỏ) hoặc trên web (trên đám mây). Việc phân tích trong ngành khai thác mỏ có những thách thức vì kết quả trong thế giới vật chất có thể làm thay đổi hoạt động và sự an toàn của mọi thứ. Những kết quả như vậy có thể là ngoài ý muốn hoặc nguy hiểm và có thể vô tình ảnh hưởng đến sức khỏe con người hoặc gây thiệt hại tài sản và bầu không khí. Miền phân tích trong ngành khai thác có thể sử dụng cả mô hình xử lý phân tích theo lô và luồng. Phân tích dữ liệu hàng loạt là một phương pháp cực kỳ hiệu quả để lưu trữ



Hình 0.4 Tổng hợp kiến trúc IIoT cho công nghiệp Mỏ

Lớp thông tin cũng cung cấp Quản lý nhóm chịu trách nhiệm xử lý các yêu cầu liên quan đến nhóm. Người dùng từ các phòng ban hoặc các bên liên

số lượng lớn dữ liệu được thu thập theo thời gian. Phân tích luồng là quá trình có thể phân tích dữ liệu truyền từ thiết bị này sang thiết bị khác gần như ngay lập tức.

Lớp kinh doanh và ứng dụng

Lĩnh vực kinh doanh và ứng dụng là môi trường kỹ thuật để thực hiện logic ứng dụng và doanh nghiệp thực tế. Điều này phản ánh các chức năng kinh doanh hỗ trợ các quy trình kinh doanh và chức năng kinh doanh của các nhiệm vụ quản trị mà khung IIoT sẽ triển khai để tạo điều kiện thuận lợi cho các hoạt động liên tục. Các chức năng kinh doanh khác nhau bao gồm ERP, CRM, HRM, Hóa đơn và Thanh toán. Bản báo cáo phân tích sử dụng dữ liệu từ lớp thông tin và miền phân tích để tạo và báo cáo phân tích thông qua các công cụ có thể được sử dụng cho các truy vấn, báo cáo và trang tổng quan dưới dạng dashboard.

Chức năng xuyên suốt

Các lĩnh vực khác nhau được mô tả ở trên tập trung vào các chức năng hệ thống chính thường được yêu cầu để hỗ trợ triển khai IIoT trong ngành khai thác mỏ. Để cho phép các chức năng hệ thống chính, phải cung cấp chức năng bổ sung. Các tính năng hỗ trợ này, còn được gọi là các chức năng xuyên suốt, cũng cần phải được cung cấp khả năng truy cập được trên một số thành phần thực tế của kiến trúc như sau:

Khả năng kết nối và tương tác

Khả năng kết nối và khả năng tương tác rất quan trọng đối với các hệ thống IIoT. Trong trường hợp của ngành khai thác mỏ, những vấn đề này đang là thách thức do các silo chứa theo chiều dọc và hệ thống kế thừa. Kiến trúc tổng hợp cung cấp chức năng xuyên suốt về kết nối và khả năng tương tác theo hai cách tiếp cận chính như trong **Error! Reference source not found.** Điều này nhằm đảm bảo rằng các hệ thống không đồng nhất có thể giao tiếp.

Dựa trên nhà môi giới: phương pháp môi giới như trong **Error! Reference source not found.b**, tương tự như việc sử dụng trình dịch giữa hai người nói ngôn ngữ riêng biệt. Cách tiếp cận của nhà môi giới hoạt động khá tốt với số lượng bên giao tiếp hạn chế. Có lẽ đó là cách tốt nhất để cho phép giao tiếp giữa các bên, nơi trước đây họ được thiết kế

với các yêu cầu riêng biệt và giờ đây họ cảm thấy cần phải tương tác. Hơn nữa, cách tiếp cận dựa trên người môi giới cũng khả thi để chia sẻ dữ liệu khi một hệ thống chỉ muốn một số thông tin cụ thể từ hệ thống khác. Trong trường hợp này, nhà môi giới dựa trên PubSub có thể hoạt động như một kho trung gian giữa các hệ thống này và bất cứ khi nào sự kiện hoặc dữ liệu xảy ra trong hệ thống, nhà môi giới sẽ thông báo cho hệ thống khác quan tâm đến dữ liệu đó và đã đăng ký.

Mô hình Common-Meta: cách tiếp cận theo mô hình common-meta như trong **Error! Reference source not found.a**, cần có tầm nhìn tổng quan về khả năng tương tác kiến trúc vì các bên giao tiếp phải được tạo ra bằng cách sử dụng mô hình common-meta tiêu chuẩn và các giao diện đã được quyết định. Có một số hướng để đạt được các mô hình common-meta và các giao diện đã được thống nhất. Các chiến lược chiếm ưu thế bao gồm đặc điểm kỹ thuật chung, module chung, khung nguồn mở được xây dựng dựa trên tiêu chuẩn, khung nguồn mở và khung hệ sinh thái khép kín.

Trong bối cảnh ngành khai thác mỏ, nhiều công ty cũng đang đối mặt với vấn đề tương tự về silo liên kết thẳng đứng. Để vượt qua rào cản chia sẻ dữ liệu giữa các ngành dọc khác nhau, Boliden [5] thiết kế một giải pháp dựa trên mô hình khả năng tương tác dựa trên nhà môi giới. Một nhà môi giới dựa trên hệ thống backend MQTT được thiết kế và đặt giữa các hệ thống đã được triển khai bởi nhiều nhà cung cấp khác nhau. Lý do chọn MQTT làm phần mềm trung gian là vì nó là nguồn mở và có kho thư viện phong phú để làm việc với các công nghệ khác nhau. Có các chủ đề cụ thể được đăng ký trong nhà môi giới và hệ thống nguồn xuất bản dữ liệu về chủ đề đó trong nhà môi giới. Mặt khác, tất cả người nghe đều đăng ký chủ đề cụ thể và bất cứ khi nào có sự kiện mới, nhà môi giới sẽ phát dữ liệu tới tất cả người nghe. Hơn nữa, nhà môi giới cũng triển khai một trình định dạng dữ liệu để dịch dữ liệu theo nền tảng nguồn và đích.

Quản lý dữ liệu phân tán (Distributed Data Management - DDM)

Dữ liệu được phân phối giữa các địa điểm và biên giới mở khác nhau, do đó, để giải quyết thách thức quản lý dữ liệu do các thiết bị và ứng dụng khác nhau tạo ra ở các địa điểm mở khác nhau, DMM cũng được coi là chức năng xuyên suốt. DMM

bao gồm ba bước: (1) thu thập dữ liệu, (2) tổng hợp dữ liệu và (3) lưu trữ, trong khi kết nối là chức năng tiên quyết. Hơn nữa, DMM còn chứa một số tác vụ mang tính hệ thống như:

- Xuất bản và đăng ký: xuất bản và đăng ký là giải pháp lý tưởng để chia sẻ thông báo dữ liệu giữa các thành phần được liên kết lỏng lẻo và cho phép mô hình xuất bản-đăng ký tùy chỉnh lộ trình liên lạc giữa các nhà xuất bản và người đăng ký tùy theo nhu cầu của họ. Nó hỗ trợ các loại dữ liệu khác nhau như truyền dữ liệu, cảnh báo và sự kiện, lệnh và điều khiển cũng như dữ liệu cấu hình. Nó cung cấp luồng dữ liệu đáng tin cậy từ các thiết bị biên đến bộ lưu trữ dữ liệu trung tâm, khả năng xử lý có thể mở rộng của một tỷ lệ lớn nguồn dữ liệu và người tiêu dùng ngày càng tăng, đồng thời truyền các lệnh điều khiển đáng tin cậy từ ứng dụng hoặc dịch vụ quản lý đến thiết bị.

- Giảm thiểu và phân tích: Các thiết bị và ứng dụng IIoT tạo ra lượng lớn dữ liệu và việc truyền tất cả dữ liệu thô này đến trung tâm dữ liệu trung tâm thường vô nghĩa và tốn kém, nhưng những thông tin giá trị ẩn trong dữ liệu thô không được bị mất. Giảm thiểu và phân tích có thể xử lý dữ liệu bằng cách giảm dung lượng hoặc tốc độ mà không ảnh hưởng đến những thông tin giá trị ẩn giấu của dữ liệu.

- Truy vấn: DMM thực hiện truy vấn bằng hai mô hình: (1) mô hình truy vấn một lần dựa trên mẫu phản hồi yêu cầu và rất phù hợp với cơ sở dữ liệu truyền thống, (2) mô hình truy vấn liên tục tương thích với cơ sở dữ liệu và dữ liệu trong bộ nhớ hệ thống quản lý luồng. Để chọn một tập hợp con dữ liệu từ một tập hợp lớn hơn, DMM sử dụng kết hợp hai kiểu: lưu dữ liệu; chạy truy vấn và ngược lại, lưu truy vấn; chạy dữ liệu. Cả kiểu và mô hình truy vấn đều có thể triển khai ở các cấp độ khác nhau.

- Lưu trữ, hỗ trợ và truy xuất: lưu trữ và duy trì tập hợp con dữ liệu theo thứ tự tuần tự với tính năng gần như thời gian giúp sắp xếp thứ tự nhận dạng và sao chép trên các bộ dữ liệu khác nhau. Nó giúp tạo hồ sơ kiểm tra để kiểm tra, mô phỏng và các hình thức kiểm tra khác nhau trong tương lai, đồng thời lưu trữ đáng tin cậy và lưu trữ có thể mở rộng giới cũng triển khai một trình định dạng dữ liệu để dịch dữ liệu theo nền tảng nguồn và đích.

An toàn, bảo mật, độ tin cậy, quyền riêng tư và khả năng phục hồi

Để đảm bảo tính bảo mật trong các thành phần trên toàn hệ thống, một tập hợp các chức năng bảo mật nhất định, như các chức năng xuyên suốt, phải được tích hợp trong từng thành phần vận hành và hoạt động liên lạc của chúng, chẳng hạn như mã hóa và xác thực. Tính bảo mật tổng thể của hệ thống IIoT của ngành khai thác mỏ dựa trên cách các hệ thống này triển khai bảo mật và mức độ an toàn của chúng được tích hợp. Nhìn chung, hệ thống an toàn và đáng tin cậy phụ thuộc vào tập hợp các tính năng nhất định như:

An toàn: an toàn là trạng thái của hệ thống hoạt động mà không tạo ra khả năng gây thương tích cho người làm việc trong hầm mỏ. Các phương pháp đánh giá an toàn OT truyền thống tập trung vào các đối tượng và quy trình vật lý, sau đó tích hợp các khả năng xảy ra lỗi phần tử được tính toán vào rủi ro hệ thống tổng thể. Phân tích rủi ro để phát hiện rủi ro nhằm tránh các thủ tục sai sót và nâng cao khả năng chịu đựng của hệ thống trước các sự cố không thể đoán trước. Trong khi một thành phần phần mềm hoạt động chính xác như được lập trình, nhưng kẻ xấu có thể khai thác các lỗ hổng hệ thống liên quan đến bảo mật. Kẻ tấn công từ xa có thể khai thác điểm yếu trong hệ thống được kết nối của mỏ để đưa thiết bị vào trạng thái không an toàn, ví dụ: phương tiện tự hành, vì vậy điều quan trọng là phải sử dụng các quy định và thực hành an toàn.

Bảo mật: bảo mật của hệ thống là một hành vi liên tục chứ không phải trạng thái logic. Không có hệ thống IIoT nào có thể tiếp tục hoạt động an toàn trong mọi tình huống, vì vậy cần chỉ rõ các trường hợp cụ thể được coi là quan trọng cùng với hành vi an toàn mà các bên liên quan mong đợi. Tính bảo mật, tính toàn vẹn và tính khả dụng được viết tắt là CIA, là những đặc điểm cần được duy trì để cung cấp bảo mật. Tuy nhiên, tính khả dụng mang lại giá trị cao nhất cho công nghệ vận hành, tiếp theo là tính toàn vẹn, trong đó tính bảo mật thường là mối quan tâm cuối cùng, cuối cùng dẫn đến từ viết tắt AIC (cũng được công nhận là bộ bảo mật ba lớp).

Độ tin cậy: độ tin cậy là khả năng của một thiết bị hoặc hệ thống thực hiện các nhiệm vụ cần thiết trong một khoảng thời gian nhất định, theo các yêu cầu nhất định. Độ tin cậy của hệ thống có thể được

nâng cao bằng cách phân tích khía cạnh độ tin cậy nào mà kẻ tấn công có thể tác động và triển khai hệ thống cũng như tính bảo mật của hệ thống để khắc phục các cuộc tấn công đó.

Quyền riêng tư: quyền riêng tư là quyền của một cá nhân hoặc nhóm trong việc kiểm soát thông tin nào liên quan đến thông tin đó có thể được truy xuất, phân tích và xử lý cũng như thông tin đó có thể được tiết lộ bởi ai và cho ai. Quyền riêng tư phụ thuộc vào việc các bên liên quan có ý định bảo mật thông tin hay hạn chế thông tin đó khỏi các mục đích khác cần thiết về mặt pháp lý hay không. Điều quan trọng là luôn cập nhật các luật và hướng dẫn, chẳng hạn như Quy định chung về bảo vệ dữ liệu của Châu Âu (GDPR).

Khả năng phục hồi: khả năng phục hồi là khả năng phát triển của một hệ thống hoạt động theo cách ngăn chặn, hấp thụ và xử lý các tình huống đối nghịch động trong khi thực hiện các nhiệm vụ được phân bổ và khôi phục các chức năng vận hành sau quan hệ nhân quả. Khi một chức năng bị lỗi, nó không buộc các chức năng khác bị lỗi, do đó, cần có sẵn các hình thức thay thế để thực hiện tác vụ bị lỗi trong hệ thống để có thể thực hiện ngay lập tức, nhanh chóng và nhất quán.

b. Thách thức

Phần này thảo luận về những thách thức mở nhằm mục đích đưa ra một số hướng nghiên cứu trong lĩnh vực IoT công nghiệp. Các công nghệ hỗ trợ IoT như mạng cảm biến không dây, điện toán đám mây, phân tích dữ liệu lớn, giao thức truyền thông và hệ thống nhúng có nhiều thách thức được giải quyết liên tục trong giới học thuật và ngành công nghiệp. Ngược lại với IoT, IIoT là sự hội tụ của IT và OT trong các ngành công nghiệp và đưa ra nhiều thách thức mới ở cấp độ biên. Lớp biên (edge) theo cấu trúc phân lớp IoT của ngành khai thác mỏ trải rộng trên nhiều địa điểm mỏ, nhà máy và kho dự trữ với sự hiện diện của nhiều thiết bị, hệ thống và kênh liên lạc khác nhau. Vì vậy, những thách thức chính nằm ở cấp độ biên các khu mỏ nơi diễn ra sự hội tụ của IT và OT và một số thách thức này như sau:

Khả năng tương tác và tích hợp

Ở phần 0 bài báo này, chúng tôi đã mô tả hai chế độ khác nhau để đạt được khả năng tương tác giữa các hệ thống. Mô hình common-meta khó đạt được do các hệ thống cũ dựa trên nền tảng công nghệ khác. Ngoài ra, nhược điểm chính của cách tiếp cận dựa trên mô hình nhà môi giới là nếu số lượng các bên tương tác tăng lên thì nhu cầu triển khai nhà môi giới cũng tăng lên và độ phức tạp tổng thể của phương pháp này là $O(N^2)$. Trong đó “N” là số lượng bên tương tác và số lượng nhà môi giới cần thiết để kết nối các nút “N” này là $N(N - 1)/2$. Hơn nữa, việc tích hợp cũng là một thách thức chính trong ngành khai thác mỏ, nơi rất khó đạt được sự tích hợp theo chiều ngang giữa các bộ phận của ngành khai thác mỏ như bộ phận thăm dò, vận hành và quản lý. Sự tích hợp từ đầu đến cuối giữa các bên liên quan khác nhau cũng là cần thiết. Các mỏ có bản chất phức tạp, rất khó triển khai các nhà môi giới và thiết lập các kênh liên lạc mạnh mẽ. Hiện đang có nghiên cứu nhằm giải quyết những thách thức về khả năng tương tác trong các ngành khác [41], điều này cũng có thể tạo điều kiện thuận lợi để giải quyết vấn đề tương tự trong ngành khai thác mỏ.

Khả năng mở rộng

IIoT được cho là sẽ gây ra một số vấn đề do số lượng tác nhân giao tiếp có thể không giới hạn. Trường hợp xấu nhất là hàng triệu sự cố có thể xảy ra xảy ra với nhiều loại thiết bị. Các hệ thống công nghiệp phải trang bị cho mình cơ sở hạ tầng có thể mở rộng để sẵn sàng mở rộng. Trong tương lai, nhiều thiết bị sẽ được lắp đặt cố định hay có tính di động, vì vậy giải pháp IIoT cần phải có khả năng thích ứng và có thể mở rộng để phù hợp với nhiều thiết bị. Các địa điểm khai thác thực sự lớn trong khu vực và có nhiều thiết bị IoT được triển khai cho nhiều mục đích khác nhau. Các thiết bị và ứng dụng này chủ yếu được kết nối và điều khiển bởi một số nút biên. Các mỏ hiện đại được trang bị nhiều hệ thống robot, phương tiện tự hành và máy bay không người lái cho nhiều hoạt động khác nhau. Phần biên của mỏ phải có khả năng tăng giảm quy mô số lượng thiết bị và ứng dụng tùy theo nhu cầu, ví dụ: có rất nhiều vật liệu cần lấy ra khỏi mỏ vì lý do nào đó để nút cạnh có thể mở rộng số lượng thiết bị tự trị phương tiện và robot để tăng tốc quá

trình này. Sự hội tụ của blockchain và điện toán biên có thể cung cấp các cách để giải quyết các thách thức về khả năng mở rộng trong IIoT [41].

Linh hoạt

Khi có một số ứng dụng IIoT suất hiện thì việc cung cấp dịch vụ cho các ứng dụng IIoT khác nhau khá khó khăn theo nhu cầu của chúng. Người tiêu dùng IIoT thường yêu cầu các ứng dụng di động được tối ưu hóa liên tục, cá nhân hóa, giá trị gia tăng và tùy chỉnh. Cách tốt nhất để thiết kế giải pháp IIoT một cách hiệu quả nhằm mở rộng và giúp tổ chức tích hợp các ứng dụng khác nhau là sử dụng kiến trúc linh hoạt sẽ phát triển trong tương lai. Trong bối cảnh của ngành khai thác mỏ, các địa điểm khai thác mỏ có tính chất năng động với nhiều rủi ro khác nhau. Ví dụ: có cảnh báo về một số tai nạn trong mỏ nên các thiết bị và hệ thống IoT phải linh hoạt để thích ứng với những thay đổi theo nhu cầu. Các nhà sản xuất hoặc nhà thiết kế thiết bị và ứng dụng IoT cần phát triển tính linh hoạt cho sản phẩm của mình vì các bản cập nhật chương trình cơ sở không chỉ tạo điều kiện thuận lợi cho việc tùy chỉnh khi triển khai ban đầu tại địa điểm khai thác mà còn cho phép cài đặt hoặc cập nhật các chức năng mới từ xa mà không cần đưa chúng vào phòng thí nghiệm. Giải pháp linh hoạt dựa trên container cho hoạt động công nghiệp có thể giải quyết vấn đề này như được mô tả trong [41] cho các ứng dụng điều khiển công nghiệp.

An ninh và An toàn

Sự phức tạp của công nghệ IIoT và tính thay đổi của cơ sở hạ tầng mạng IoT góp phần gây ra một số vấn đề bảo mật. Tại các khu mỏ, hệ thống điều khiển, thiết bị IoT và ứng dụng cần được bảo mật để không thể tiêm mã độc vào để thực hiện một số nhiệm vụ nguy hiểm như điều khiển hệ thống nổ mìn, phương tiện, máy bay không người lái và hệ thống thông gió trong mỏ. Thông qua IIoT, cần phải có bảo mật theo cách từ dưới lên trên, điều đó có nghĩa là ứng dụng IIoT phải áp dụng quy trình khởi động an toàn, tường lửa, quy tắc kiểm soát truy cập, xác thực thiết bị và có thể thực hiện các bản vá và cập nhật bảo mật. Hơn nữa, việc xác minh và xác thực bảo mật mang lại niềm tin vào tính hiệu quả của các biện pháp kiểm tra bảo mật được phát triển để khắc phục các lỗ hổng bảo mật đã được phát

hiện. Đây là một nhiệm vụ được tiếp tục thực hiện ngay cả khi hệ thống chưa thực hiện các sửa đổi vận hành, điều này không chỉ giúp giữ an toàn cho hệ thống trước các cuộc tấn công mới mà còn có thể điều tra hành vi của thiết bị nếu gặp trục trặc để thực hiện các biện pháp an toàn cho công nhân trong hầm mỏ. Blockchain có thể được coi là công cụ hỗ trợ bảo mật [41] và an toàn [42] trong IIoT.

Quản lý di chuyển

Về mặt mạng và giao thức IIoT, tính di động của thiết bị sẽ đặt ra những thách thức khác nhau. Quản lý di động là một nhiệm vụ khó khăn trong môi trường công nghiệp. Việc phát hiện chuyển động của thiết bị là điều quan trọng để nhận biết được chuyển động của thiết bị, giúp kết nối thiết bị với các khu vực khác nhau của mạng. Hơn nữa, cần phải biết vị trí hiện tại của thiết bị trong mạng, điều này đòi hỏi phải trao đổi các thông báo hoặc tín hiệu điều khiển. Ví dụ: một phương tiện tự hành trong khu mỏ có thể đi đến khu mỏ khác hoặc di chuyển giữa các mỏ và kho dự trữ và cần được kết nối với các nút biên được phân bổ trên các khu vực khác nhau. Tính di động có hai phạm vi, phạm vi di động cục bộ trong mạng cục bộ và phạm vi di động toàn cầu. Hiện đang có các hoạt động nghiên cứu về các giao thức quản lý di động nhằm giải quyết các thách thức mở khác nhau như khả năng chịu lỗi, sơ đồ cân bằng, định tuyến tam giác, đa đường dẫn, kỹ thuật đệm và hợp tác giữa các di động và nội di động.

Tập trung vào hệ thống phân tán của hệ thống

Bản chất hiện tại của các kiến trúc và giải pháp IIoT trong ngành khai thác chủ yếu là tập trung, thu thập dữ liệu từ mọi tài sản và lưu trữ trên đám mây tập trung, dẫn đến một điểm lỗi duy nhất và các vấn đề về khả năng kết hợp. Xu hướng tương lai là hướng tới mạng phân tán, mạng này thực sự phức tạp hơn nhưng là một cách tiếp cận dài hạn [42][43][44]. Với việc đưa mạng phân tán vào các khu mỏ, thiết bị sẽ trở nên có khả năng đáp ứng trả lời thông tin, sẽ không có điểm lỗi duy nhất nào và nó sẽ khuyến khích thị trường mở nơi khả năng kết hợp sẽ không còn là vấn đề toàn cầu nữa. Kiến trúc phân tán có thể bao gồm một số hệ thống độc lập được kết nối thông qua sự phối hợp và ràng buộc muộn để tạo thành một hệ thống các hệ thống. Sự

độc lập mang lại lợi ích cho việc phát triển, vận hành và quản lý các hệ thống con khác nhau. Điều này liên quan đến khả năng mở rộng và tính linh hoạt nêu trên. Mô hình phi tập trung một phần của hệ thống các hệ thống dựa vào khả năng kết nối và kết nối mạng, đồng thời đưa ra khái niệm về cổng cốt lõi hoặc nhà môi giới để cải thiện khả năng tương tác và bảo mật hiệu quả. Tất cả những hướng này có thể là mục tiêu trong nghiên cứu trong tương lai.

Ảo hóa ở biên

Trong môi trường IIoT, giống như nền tảng đám mây, biên cũng cần các công nghệ ảo hóa để cung cấp tài nguyên, lập lịch tác vụ và tính toán sandboxing. Có nhiều kỹ thuật ảo hóa khác nhau như máy ảo, Linux container, dịch vụ di động và SDN dựa trên máy tính ảo [45]. Với những lợi ích của việc triển khai nền tảng ảo hóa, điện toán biên có nhiều đặc điểm nổi bật so với điện toán đám mây, điều này đặt ra những trở ngại khác nhau cho việc quản lý máy ảo hoặc container như phân bố rải rác, tài nguyên hạn chế, tính di động của các nút biên, độ tin cậy kém và dịch vụ hạn chế. Hơn nữa, những thách thức nêu trên cũng có thể được giải quyết bằng cách đạt được ảo hóa ở biên. Ngành khai thác mỏ có nhiều địa điểm với các nút biên và thiết bị biên khác nhau và cần phải quản lý các nút và thiết bị này ở biên tương tự như các nút và ứng dụng trong cụm nền tảng đám mây. Có nhiều dự án khác nhau để giải quyết thách thức này như OpenStack, KubeEdge, Edge virtualization engine (EVE), OpenEdge. Hiện tại các dự án này chưa đủ hoàn chỉnh và cần nhiều nỗ lực nghiên cứu hơn.

Bản song sinh kỹ thuật số

Ngoài những thách thức nghiên cứu mở nêu trên, Digital Twin còn là một hướng nghiên cứu khác cho ngành khai thác mỏ. Có nhiều định nghĩa khác nhau về bản sao kỹ thuật số và [46] đã kết luận định nghĩa này là “Bản sao kỹ thuật số là sự thể hiện kỹ thuật số toàn diện của một đối tượng riêng lẻ. Nó bao gồm các thuộc tính, điều kiện và hành vi của đối tượng trong đời thực thông qua các mô hình và dữ liệu. Digital Twin là một tập hợp các mô hình thực tế có thể mô phỏng hành vi của đối tượng trong môi trường được triển khai. Bản song sinh kỹ thuật số đại diện và phản ánh bản sao vật lý của nó và vẫn là

bản sao ảo của nó trong toàn bộ vòng đời của đối tượng”.

Theo khảo sát gần đây [47], bản song sinh kỹ thuật số có 12 thuộc tính chính trong bối cảnh IIoT như tính đại diện và ngữ cảnh hóa, phản ánh, nhân rộng, ràng buộc, bền bỉ, khả năng lưu trữ, khả năng kết hợp, tài khoản hóa/khả năng quản lý, tăng cường, quyền sở hữu, dịch vụ hóa và khả năng dự đoán. Trong khi đó, một số tình huống điển hình của việc sử dụng bản sao kỹ thuật số là thiết kế và hợp nhất các sản phẩm, dự đoán và mô phỏng hành vi, dịch vụ hóa sản phẩm vật lý và tăng cường sản phẩm đó.

Trong khai thác, khái niệm bản sao kỹ thuật số cung cấp bản sao của mô vật lý trong môi trường ảo để mô phỏng và thực hiện các kế hoạch trong mô hình ảo, đồng thời giúp đưa ra các quyết định dựa trên giá trị. Nó có thể giúp tiến hành phân tích “điều gì sẽ xảy ra nếu” để kiểm tra các phương pháp xử lý khác nhau như nổ mìn, nghiền và vận chuyển để hiểu rõ hơn về kết quả. Hơn nữa, mô phỏng cung cấp những hiểu biết sâu sắc hơn để có thể dự đoán và ngăn chặn sự cố của tài sản tại các khu mỏ.

c. Những đề xuất về Kiến trúc đa cấp tổng hợp

Phần trước mô tả kiến trúc IIoT cấp cao tổng hợp để giải quyết những thách thức hiện tại trong ngành khai thác mỏ. Một số nỗ lực nghiên cứu đã cố gắng giải quyết các vấn đề cụ thể của IIoT trong ngành khai thác mỏ như giám sát thông gió, phân tích tai nạn, quản lý tổ đội và nhân sự, giám sát đập thải quặng đuôi và hệ thống báo động trước. Tuy nhiên, các giải pháp IIoT riêng lẻ này đã tạo ra thách thức về khả năng tương tác giữa các giải pháp khác nhau. Cần có kiến trúc IIoT cho ngành khai thác mỏ tuân theo các nguyên tắc công nghiệp do các cơ quan tiêu chuẩn xác định và được nhiều nhà cung cấp áp dụng. Mặc dù thực tế là có một số tiêu chuẩn và sáng kiến IIoT đưa ra các hướng dẫn để cải thiện năng suất trong các ngành khác nhau. Thật không may, việc áp dụng các thông lệ tiêu chuẩn này trong ngành khai thác mỏ không hề đơn giản do tính chất phức tạp của hoạt động khai thác mỏ. Ngành khai thác mỏ có những thách thức đặc biệt so với các ngành khác do những hạn chế về cơ sở hạ tầng tại các khu mỏ. Các địa điểm khai thác có thể có nhiều loại khác nhau như dưới hầm lò hoặc trên mặt bằng. Các địa điểm mỏ khác nhau triển khai một bộ

thiết bị và hệ thống thương mại khác nhau tùy theo nhu cầu vận hành gây ra sự phân mảnh theo chiều dọc, do đó việc truyền dữ liệu và liên lạc giữa các hệ thống và thiết bị khác nhau trong một mỏ hoặc giữa một số mỏ trở nên khó khăn. Công trình này nghiên cứu ngành khai thác mỏ và các tiêu chuẩn IIoT liên quan để tổng hợp kiến trúc IIoT cấp cao như trong Hình 0.4 có thể mang lại lợi ích cho ngành khai thác mỏ. Kiến trúc phân lớp giải quyết các thách thức hiện tại trong ngành khai thác mỏ bằng cách cung cấp môi trường được điều khiển từ xa, tự động và có khả năng tương tác để cải thiện khả năng liên lạc, truy cập dữ liệu và quản lý dữ liệu. Kiến trúc coi mỗi địa điểm khai thác là một biên IIoT, giải quyết tất cả các vấn đề nghiêm trọng và phức tạp bằng công cụ biên cục bộ, kể tên một số vấn đề như quản lý tài sản, giám sát và chẩn đoán, cung cấp và triển khai cũng như khả năng tương tác giữa các hệ thống và thiết bị khác nhau. Lớp thông tin tạo điều kiện cải thiện khả năng truy cập dữ liệu của các hệ thống, phòng ban và các bên liên quan khác nhau. Ngoài lĩnh vực thông tin, công cụ phân tích còn thực hiện phân tích dữ liệu nhanh chóng và hiệu quả để giúp xác định các quyết định kinh doanh nhằm cải thiện năng suất cũng như các quyết định vận hành ở biên để nhận biết các rủi ro khác nhau. Khả năng dự đoán về hoạt động khai thác và rủi ro tiềm ẩn trong ngành khai thác cũng có thể đạt được bằng phân tích. Cả lớp thông tin và phân tích đều có thể được đặt tại chỗ trong mỏ hoặc ở ngoài cơ sở trên đám mây để tất cả các bộ phận và bên liên quan có thể truy cập một cách an toàn. Kiến trúc IIoT này cũng có thể giúp các công ty khai thác thông minh hơn và hiệu quả hơn đồng thời tăng cường quy trình hậu cần và quan hệ khách hàng tốt hơn bằng ứng dụng kinh doanh.

Hơn nữa, các chức năng xuyên suốt được mô tả trong kiến trúc giải quyết nhiều thách thức khác trong ngành khai thác mỏ như bảo mật, phân phối dữ liệu giữa các bộ phận và bên liên quan khác nhau, sở hữu dữ liệu, an toàn, quyền riêng tư và khả năng phục hồi mà tài liệu và các công việc liên quan khác còn thiếu. Việc áp dụng kiến trúc IIoT như vậy trong ngành khai thác mỏ mang lại địa điểm khai thác an toàn hơn cho công nhân, hoạt động khai thác có thể dự đoán được, tự động hóa và vận hành máy móc tiên tiến, môi trường có thể tương tác cho cả hệ thống và thiết bị truyền thống và hiện đại, tự

động hóa để giảm sự can thiệp của con người, nâng cao hiệu quả, đảm bảo cho người lao động và an toàn và khả năng hiển thị của thiết bị, giảm chi phí vận hành, giảm chi phí năng lượng và cho phép giám sát dưới lòng đất bằng cách hội tụ công nghệ vận hành (OT) và công nghệ thông tin (IT). Kiến trúc IIoT cấp cao tổng hợp đạt được giải quyết các thách thức đã xác định trong ngành khai thác mỏ. Khi bắt đầu vận hành khu mỏ mới, kiến trúc này có thể được áp dụng. Tuy nhiên, có những trở ngại trong việc áp dụng các hoạt động khai thác đang diễn ra vì chúng diễn ra liên tục và không thể có khả năng tạm dừng. Cũng khó có thể thay đổi liên mạch các công nghệ vận hành và thông tin hiện đang hoạt động. Hơn nữa, việc giới thiệu IIoT trong ngành khai thác mỏ mang lại nhiều thách thức mới như đã được mô tả.

6. Kết luận

IIoT là nguồn và là công cụ cho phép tự động hóa công nghiệp, đồng thời mở ra khả năng cho những hiểu biết quan trọng có thể áp dụng trong một số lĩnh vực kinh doanh. Bài báo nghiên cứu vòng đời khai thác và phân tích các hoạt động IT hiện tại trong ngành khai thác mỏ để xác định các thách thức khác nhau có thể giải quyết bằng cách áp dụng kiến trúc IIoT phù hợp trong ngành khai thác mỏ. Các hướng dẫn được đưa ra bởi hệ thống các tiêu chuẩn IIoT toàn cầu và các ý tưởng nghiên cứu được trình bày để tổng hợp kiến trúc IIoT cho ngành khai thác mỏ nhằm giải quyết những thách thức hiện có. Kiến trúc IIoT tổng hợp có thể áp dụng để thu hẹp khoảng cách kỹ thuật về khả năng tương tác và trao đổi dữ liệu tồn tại trong môi trường khai thác. Việc triển khai kiến trúc cấp cao như vậy có thể được thực hiện bằng cách xem xét các công nghệ khác nhau như ứng dụng OT/IT, thiết bị IoT, điện toán đám mây, điện toán biên, phần mềm trung gian, dữ liệu lớn và ứng dụng kinh doanh.

Bài báo cũng liệt kê các vấn đề nghiên cứu mở quan trọng và hướng đi tương lai cho các nhà nghiên cứu. Những thách thức nghiên cứu mở mô tả rõ ràng tính toán biên và tính toán sương mù là lớp thách thức nhất đối với ngành khai thác mỏ và điều này cũng đúng đối với các lĩnh vực công nghiệp khác nhau. Những thách thức nêu trên đối với bài toán biên có thể được giải quyết bằng những tiến bộ trong kỹ thuật ảo hóa dành cho tính

toán biên. Giải pháp dựa trên ảo hóa trong điện toán biên để triển khai, điều phối, cập nhật và nâng cấp là rất cần thiết. Không chỉ ngành khai thác mỏ mà hầu hết tất cả các ngành đều khá phức tạp với sự tiến bộ của các hệ thống và dịch vụ vi mô dựa

Tài liệu tham khảo

- [1] I. Lee and K. Lee, “The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises,” *Bus. Horiz.*, vol. 58, no. 4, pp. 431–440, 2015, doi: 10.1016/j.bushor.2015.03.008.
- [2] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [3] A. Rymaszewska, P. Helo, and A. Gunasekaran, “IoT powered servitization of manufacturing – an exploratory case study,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 192, pp. 92–105, 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.02.016.
- [4] Q. Li *et al.*, “Smart manufacturing standardization: Architectures, reference models and standards framework,” *Comput. Ind.*, vol. 101, no. June 2015, pp. 91–106, 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.06.005.
- [5] A. Aziz, O. Schelén, and U. Bodin, “A Study on Industrial IoT for the Mining Industry: Synthesized Architecture and Open Research Directions,” *Internet of Things*, vol. 1, no. 2, pp. 529–550, 2020, doi: 10.3390/iot1020029.
- [6] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, and T. Watson, “The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework,” *Comput. Ind.*, vol. 101, no. March, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
- [7] H. Jaidka, N. Sharma, and R. Singh, “Evolution of IoT to IIoT: Applications & Challenges,” *SSRN Electron. J.*, pp. 1–6, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3603739.
- [8] S. R. Bader and M. Maleshkova, *The Semantic Asset Administration Shell*, vol. 11702 LNCS. Springer International Publishing, 2019.
- trên IoT. Có rất nhiều giải pháp sẵn có để điều phối và triển khai dịch vụ điện toán đám mây, nhưng không tồn tại một giải pháp tiêu chuẩn hoặc cụ thể nhằm đến cùng một vấn đề đối với lớp biên, lớp trung gian hỗn hợp.
- [9] J. M. Hartman, Howard L. / Mutmansky, *Introductory Mining Engineering*, 2. Edition. Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [10] C. Brian McGlynn, Davra, “Industrial Internet of Things (IIoT) in Mining,” 2023. <https://www.davra.com/industrial-internet-of-things-iiot-in-mining/>.
- [11] T. chí TKV, “Triển khai chương trình hành động tin học hoá - tự động hoá trong sản xuất và điều hành,” 2017. <https://congdoantkv.vn/tin-tuc/chi-tiet/2742/TKV-Trien-khai-chuong-trinh-hanh-dong-tin-hoc-hoa---tu-dong-hoa-trong-san-xuat-va-dieu-hanh> (accessed Nov. 11, 2023).
- [12] IBM, “IBM Maximo Application Suite,” 2023, [Online]. Available: <https://www.ibm.com/products/maximo>.
- [13] D. (ABB) Vondle, “Asset performance management,” *Joint Conference and Exhibition on Customer Service and Information Management and Technology 2011, CS/IMTech 2011*, 2011. <https://new.abb.com/industrial-software/asset-performance-management> (accessed Nov. 11, 2023).
- [14] “Discover what’s happening on Azure.” <https://azure.microsoft.com/en-us>.
- [15] VIELINA, “Sản phẩm, dịch vụ.” <https://www.vielina.com/ProductsList.html?categoryId=0>.
- [16] K. C. P. Nguyễn Đức Khoat, “Hệ thống quản lý & giám sát tiêu thụ điện năng,” *Tự động hóa ngày nay*, vol. 153, 2013, [Online]. Available: <https://vnautomate.net/he-thong-quan-ly-giam-sat-tieu-thu-dien-nang.html>.
- [17] I. I. Consortium, “The Industrial Internet Reference Architecture.” <https://www.iiconsortium.org/IIRA/>.
- [18] I. Grángel-Gonzalez *et al.*, “The industry 4.0 standards landscape from a

- semantic integration perspective,” *IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. ETFA*, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1109/ETFA.2017.8247584.
- [19] Plattform Industrie 4.0, “Plattform Industrie 4.0 - RAMI4.0 – a reference framework for digitalisation,” *Plattf. Ind. 4.0*, 2019.
- [20] S. Husain, A. Prasad, A. Kunz, A. Papageorgiou, and J. Song, “Recent Trends in Standards Related to the Internet of Things and Machine-to-Machine Communications,” *J. Inf. Commun. Converg. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 228–236, 2014, doi: 10.6109/jicce.2014.12.4.228.
- [21] S. Husain, A. Kunz, J. Song, and T. Koshimizu, “Interworking architecture between oneM2M service layer and underlying networks,” *2014 IEEE Globecom Work. GC Wkshps 2014*, no. March, pp. 636–642, 2014, doi: 10.1109/GLOCOMW.2014.7063504.
- [22] “Arrowhead.” <https://arrowhead.eu/>.
- [23] J. Delsing, “Local Cloud Internet of Things Automation: Technology and Business Model Features of Distributed Internet of Things Automation Solutions,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 11, no. 4, pp. 8–21, 2017, doi: 10.1109/MIE.2017.2759342.
- [24] P. 4.0, “Opening the gates to the digital future.” <https://productive40.eu/>.
- [25] Arrowhead, “Arrowhead Tools.” <https://tools.arrowhead.eu/home/>.
- [26] A. FPVN, “Doubling European industrial productivity by applying transformative, autonomous, and evolvable information interoperability for resilient and adaptive production value networks.” <https://fpvn.arrowhead.eu/fpvn-arrowhead/>.
- [27] E. Foundation, “Eclipse Arrowhead.” Eclipse Arrowhead.
- [28] and M. R. C. Zhou, N. Damiano, B. Whisner, “Industrial Internet of Things: (IIoT) applications in underground coal mines,” *Min Eng. 2017 December*, 2017.
- [29] A. Young and P. Rogers, “A Review of Digital Transformation in Mining,” *Mining, Metall. Explor.*, vol. 36, no. 4, pp. 683–699, 2019, doi: 10.1007/s42461-019-00103-w.
- [30] R. L. De Moura, L. D. L. F. Ceotto, and A. Gonzalez, “Industrial IoT and Advanced Analytics Framework: An Approach for the Mining Industry,” *Proc. - 2017 Int. Conf. Comput. Sci. Comput. Intell. CSCI 2017*, no. August, pp. 1308–1314, 2018, doi: 10.1109/CSCI.2017.228.
- [31] Y. Zhu and G. You, “Monitoring System for Coal Mine Safety Based on Wireless Sensor Network,” *2019 Cross Strait Quad-Regional Radio Sci. Wirel. Technol. Conf. CSQRWC 2019 - Proc.*, pp. 1–2, 2019, doi: 10.1109/CSQRWC.2019.8799111.
- [32] Z. Liu, C. Li, Q. Ding, and D. Wu, “A coal mine personnel global positioning system based on wireless sensor networks,” *Proc. World Congr. Intell. Control Autom.*, pp. 7026–7031, 2010, doi: 10.1109/WCICA.2010.5554279.
- [33] M. McNinch, D. Parks, R. Jacksha, and A. Miller, “Leveraging IIoT to improve machine safety in the mining industry,” *Min. Eng.*, vol. 71, no. 11, pp. 51–52, 2019, doi: 10.1007/s42461-019-0067-5.
- [34] S. Dessureault, “Rethinking Fleet and Personnel Management in the Era of IoT, Big Data, Gamification, and Low-Cost Tablet Technology,” *Mining, Metall. Explor.*, vol. 36, no. 4, pp. 591–596, 2019, doi: 10.1007/s42461-019-0073-7.
- [35] B. W. Jo and R. M. A. Khan, “An internet of things system for underground mine air quality pollutant prediction based on azure machine learning,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 4, 2018, doi: 10.3390/s18040930.
- [36] P. Sharma and S. Jangirala, *Internet of Things for sustainable urbanism*, vol. 2236, no. 1. 2022.
- [37] P. Gackowiec and M. Podobińska-Staniec, “IoT platforms for the Mining Industry: An overview,” *Inz. Miner.*, vol. 2019, no. 1, pp. 267–272, 2019, doi: 10.29227/IM-2019-01-47.

- [38] A. Telukdarie and M. Sishi, "Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry - a case study," *Int. J. Min. Miner. Eng.*, vol. 11, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.1504/ijmme.2020.10027477.
- [39] P. K. Mishra, S. Kumar, Pratik, M. Kumar, and J. Kumar, "IoT Based Multimode Sensing Platform for Underground Coal Mines," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 108, no. 2, pp. 1227–1242, 2019, doi: 10.1007/s11277-019-06466-z.
- [40] E. Yalcinkaya, A. Maffei, and M. Onori, "Application of Attribute Based Access Control Model for Industrial Control Systems," *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur.*, vol. 9, no. 2, pp. 12–21, 2017, doi: 10.5815/ijcnis.2017.02.02.
- [41] A. Zeid, S. Sundaram, M. Moghaddam, S. Kamarthi, and T. Marion, "Interoperability in smart manufacturing: Research challenges," *Machines*, vol. 7, no. 2, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/machines7020021.
- [42] M. R. Wales, "Industrial Applications," no. June, pp. 1–6, 2012.
- [43] T. P. Raptis, A. Passarella, and M. Conti, "Industrial Edge Networks," vol. 38, no. 5, pp. 915–927, 2020.
- [44] V. Lesi, Z. Jakovljevic, and M. Pajic, "Reliable industrial IoT-based distributed automation," *IoTDI 2019 - Proc. 2019 Internet Things Des. Implement.*, no. Lc, pp. 94–105, 2019, doi: 10.1145/3302505.3310072.
- [45] Z. Tao *et al.*, "A Survey of Virtual Machine Management in Edge Computing," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 8, pp. 1482–1499, 2019, doi: 10.1109/jproc.2019.2927919.
- [46] S. Haag and R. Anderl, "Digital twin – Proof of concept," *Manuf. Lett.*, vol. 15, no. June, pp. 64–66, 2018, doi: 10.1016/j.mfglet.2018.02.006.
- [47] R. Minerva, G. M. Lee, and N. Crespi, "Digital Twin in the IoT Context: A Survey on Technical Features, Scenarios, and Architectural Models," *Proc. IEEE*, vol. 108, no. 10, pp. 1785–1824, 2020, doi: 10.1109/JPROC.2020.2998530.

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MẠCH VI ĐIỀU KHIỂN ARDUINO ĐỂ GIAO TIẾP VỚI LABVIEW TRONG CÁC BÀI TOÁN ĐO LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN BẰNG MÁY TÍNH

Đặng Văn Chí^{1,*}, Đào Hiếu², Uông Quang Tuyền³

mail: dangvanchi@humg.edu.vn

Trường Đại học Mở – Địa chất, Hà Nội

TÓM TẮT

Card đo lường điều khiển và giao tiếp với LabVIEW của hãng NI (National Instruments) đang được sử dụng rất rộng rãi trên Thế giới. Với chức năng kết nối các thiết bị ngoại vi và máy tính, đặc biệt được ứng dụng phổ biến trong các lĩnh vực đo lường giám sát, điều khiển robot và các hệ cơ điện tử... Tuy nhiên việc nghiên cứu, phát triển và ứng dụng các loại card NI này ở các Trường Đại học, các Viện nghiên cứu ở Việt Nam còn hạn chế do giá thành rất đắt và phần mềm Labview yêu cầu phải có bản quyền. Bài báo đề xuất giải pháp sử dụng dòng vi điều khiển Arduino để thay thế, được cho là phù hợp trong công tác nghiên cứu thiết kế, phát triển đối với các bài toán đo lường và điều khiển giao tiếp với LabVIEW. Kết quả nghiên cứu cho phép ứng dụng Arduino để thay thế cho một số loại Card NI cơ bản của hãng trong các bài toán về đo lường, giám sát và điều khiển bằng máy tính.

Từ khóa: Card NI, phần mềm LabVIEW, Vi điều khiển Arduino, Arduino và PC

1. Đặt vấn đề

LabVIEW (viết tắt của Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) là môi trường ngôn ngữ đồ họa, hiệu quả trong việc giao tiếp đa kênh giữa con người, thuật toán và các thiết bị. LabVIEW hỗ trợ các kỹ sư, nhà khoa học... xây dựng các thuật toán một cách nhanh, gọn, sáng tạo, dễ hiểu nhờ các khối hình ảnh có tính gợi nhớ và cách thức hoạt động theo kiểu dòng dữ liệu (data flow) lần lượt từ trái qua phải. Các thuật toán này sau đó được áp dụng lên các mạch điện và cơ cấu chấp hành thực nhờ vào việc kết nối hệ thống thật với LabVIEW thông qua nhiều chuẩn giao tiếp như chuẩn giao tiếp RS232 (giao tiếp qua cổng COM), chuẩn USB, chuẩn giao tiếp mạng TCP/IP, UDP, chuẩn GPIB,... Vì vậy LabVIEW là một ngôn ngữ giao tiếp đa kênh. LabVIEW hỗ trợ hầu hết các hệ điều hành (Windows 2000, XP, Vista, Windows7), Linux, MacOS, Window Mobile, Window Embedded.

Các ứng dụng của LabVIEW: (Wolfgang Georgi, Ergun Metin, 2006).

LabVIEW là một ngôn ngữ lập trình với khái niệm hoàn toàn khác so với các ngôn ngữ lập trình

truyền thống như C, Pascal. Bằng cách diễn đạt cú pháp thông qua các hình ảnh trực quan trong môi trường soạn thảo, LabVIEW được gọi với tên khác là lập trình G (viết tắt của Graphical). LabVIEW được sử dụng trong các lĩnh vực đo lường, tự động hóa, cơ điện tử, robotics, vật lý, toán học, ô tô...

LabVIEW giúp kết nối bất kỳ cảm biến, bất kỳ cơ cấu chấp hành nào với PC: Các tín hiệu đo được với Labview gồm: nhiệt độ, sức căng, độ rung, âm thanh, điện áp, dòng điện, tần số, ánh sáng, điện trở, xung, thời gian, tín hiệu số, hình ảnh, tốc độ ...

LabVIEW có thể được sử dụng để xử lý các kiểu dữ liệu như tín hiệu tương tự (analog), tín hiệu số (digital), hình ảnh (vision), âm thanh (audio),... với tính năng phân tích mạnh mẽ. Labview có hơn 500 chức năng lập sẵn để trích xuất thông tin từ dữ liệu thu nhận được, phân tích các phép đo và xử lý tín hiệu. Các chức năng phân tích tần số, phát tín hiệu, toán học, chỉnh lý đường cong, phép nội suy. Mô phỏng và xử lý các tín hiệu thu nhận được để phục vụ cho mục đích nghiên cứu mà người lập trình mong muốn.

Chức năng hiển thị: xây dựng giao diện người dùng một cách nhanh chóng và thẩm mỹ hơn nhiều

so với các ngôn ngữ khác như Visual Basic, Matlab ...hiển thị dữ liệu bao gồm các chức năng tạo báo cáo và quản lý dữ liệu. Các tiện ích vẽ biểu đồ và đồ thị cùng công cụ trực quan 2D,3D cài sẵn. Thêm vào đó ta có thể xem và điều khiển Vis thông qua Internet bằng LabVIEW. Đối với việc tạo báo cáo, NI cung cấp một số tùy chọn như công cụ tạo tài liệu, báo cáo dạng HTML, báo cáo dạng Word/Excel và báo cáo tương tác với NI DIA.

Chức năng điều khiển: LabVIEW tích hợp nhiều công cụ và tính năng giúp kỹ sư điều khiển tự động dễ dàng thực hiện các bài toán về điều khiển. Cho phép thực hiện các thuật toán điều khiển như PID, Logic mờ (Fuzzy) một cách nhanh chóng thông qua các chức năng tích hợp sẵn trong LabVIEW. Cho phép kết hợp với nhiều ngôn ngữ truyền thống như C, C++.

LabVIEW hỗ trợ các giao thức giao tiếp khác nhau như RS232, RS485, TCP/IP, PCI, USB, Ethernet.

Hiện nay công tác đào tạo sử dụng LabVIEW ở các trường Đại học kỹ thuật ở nước ta còn hạn chế. Một phần nguyên nhân là những thiết bị, Card giao tiếp điều khiển chuyên dụng của LabVIEW có giá đắt, chưa được các Trường quan tâm đầu tư đồng bộ cả về thiết bị lẫn phần mềm. Một thiết bị được cho là có giá thành hợp lý NI MyRIO-1900 của hãng NI giới thiệu nhằm hỗ trợ công tác nghiên cứu cho sinh viên và giảng viên Đại học cũng có giá cả chục triệu đồng. Mặt khác phần mềm LabVIEW chính hãng có bản quyền có giá thành cũng rất đắt. Trong khi đó công tác đào tạo ở các trường vẫn có thói quen dùng các phần mềm miễn phí, phần mềm crack và không có bản quyền... Những bất cập trên sẽ không còn là vấn đề nan giải với đề xuất ứng dụng VĐK Arduino để thay thế. Việc ứng dụng các dòng vi điều khiển Arduino để giao tiếp truyền thông với LabVIEW để thực hiện các bài toán về đo lường và điều khiển bằng máy tính sẽ khắc phục được những khó khăn trên và đặc biệt rất nhanh chóng và thuận lợi khi xây dựng, triển khai những dự án.

Vi điều khiển Arduino hiện nay được cộng đồng nghiên cứu và sinh viên ở các Trường Đại học, cao đẳng sử dụng khá phổ biến do nhiều ưu điểm. Với đặc điểm là giá thành rẻ, phần mềm có bản quyền của hãng được cung cấp miễn phí, được cập nhật thường xuyên và ngôn ngữ lập trình đơn giản,

để hiểu. Phần mềm được hãng phát triển nhiều ứng dụng thực tế rất cơ bản, dễ hiểu và có hướng dẫn tường minh, đặc biệt khả năng hỗ trợ người học tự nghiên cứu và phát triển các dự án, các ý tưởng thực tế. Một tiện ích khác cũng là ưu điểm khi dùng Arduino so với các dòng VĐK khác là người học không cần phải làm mạch. Bo mạch Arduino rất đa dạng đầy đủ các tính năng của người dùng VĐK cần có: như các cổng In/Out Digital/Analog, các cổng thu phát xung tốc độ cao, PWM, kết nối truyền thông với PC rất đơn giản qua cổng USB ... và một ưu điểm khác nữa là các phần mềm như Matlab, LabView hiện nay hỗ trợ miễn phí Driver cho tất cả các dòng VĐK Arduino này.

Vì vậy bài báo đề xuất nghiên cứu VĐK Arduino để giao tiếp với LabVIEW thay thế Card NI, ứng dụng cho bài toán đo lường và điều khiển bằng máy tính. Kết quả nghiên cứu khẳng định việc thay thế Card LabVIEW cho các ứng dụng đo lường điều khiển bằng máy tính là hoàn toàn khả thi. Đặc biệt thích hợp cho công tác giảng dạy, nghiên cứu trong các Viện, các Trường Đại học với chi phí thấp. Đồng thời cung cấp một giải pháp đơn giản, dễ thực hiện, đảm bảo các yêu cầu về công nghệ, kỹ thuật, tính hiện đại trong các bài toán đo lường, điều khiển giám sát bằng máy tính.

2. Vi điều khiển Arduino và truyền thông trong môi trường Matlab

2.1. Vi điều khiển Arduino (<http://Arduino.vn>)

- Hiện nay trên thị trường có nhiều phiên bản VĐK Arduino như Arduino Uno R3, Arduino Mega2560, Arduino Nano, Arduino Pro Mino, Arduino Lenadro, Arduino Industrial... dưới đây giới thiệu phiên bản Arduino Uno R3(hình 1) được sử dụng để giao tiếp với Matlab.

- Arduino Uno R3 là một board mạch vi điều khiển được phát triển bởi Arduino.cc, với nền tảng điện tử mã nguồn mở chủ yếu dựa trên vi điều khiển AVR Atmega328P. Phiên bản hiện tại của Arduino Uno R3 đi kèm với giao diện USB, 6 chân đầu vào analog, 14 cổng số I/O được sử dụng để kết nối với các thiết bị ngoại vi. Trong đó có 14 cổng I/O và 6 chân đầu ra PWM. Arduino Uno R3 được kết nối trực tiếp với PC thông qua USB để giao tiếp với phần mềm lập trình IDE, tương thích với Windows dễ sử dụng và thích hợp với các ngôn ngữ lập trình như C và C++ được sử dụng trong IDE. Ngoài USB,

người dùng có thể dùng nguồn điện ngoài để cấp nguồn cho bo mạch.



Hình 1. Bo mạch Arduino và cáp giao tiếp USB
Một số thông số kỹ thuật cơ bản của Arduino UNO R3:

- Chip ATMEGA328P-PU
- Nguồn Cấp: 7-12V
- 14 Chân Digital I/O (6 chân PWM)
- 6 Chân Analog Inputs
- 32k Flash Memory
- 16Mhz Clock Speed
- SRAM 2 KB
- EEPROM 1 KB

2.2. LabVIEW và truyền thông giữa VDK Arduino với LabVIEW (Đặng Văn Chí & nnk 2021)

LabVIEW là một môi trường lập trình đồ họa để tạo các ứng dụng với giao diện người dùng chuyên nghiệp một cách nhanh chóng và hiệu quả. Ngày nay có hàng triệu kỹ sư, nhà khoa học sử dụng LabVIEW để phát triển các ứng dụng đo lường, kiểm thử, và điều khiển bằng cách sử dụng các biểu tượng trực quan và dây nối tín hiệu. Ngoài ra, LabVIEW có thể được mở rộng cho nhiều nền tảng phần cứng và hệ điều hành khác nhau. Trong thực tế, nền tảng LabVIEW có khả năng tích hợp với hàng nghìn thiết bị phần cứng và cung cấp hàng trăm thư viện được xây dựng sẵn để phân tích nâng cao và hiển thị dữ liệu giúp tạo ra các thiết bị ảo có thể tùy chỉnh theo nhu cầu của mình.

Chương trình LabVIEW mô phỏng giao diện và hoạt động của các thiết bị thực, như dao động ký và thiết bị đo đa năng, chương trình LabVIEW được gọi là thiết bị ảo (Virtual Instrument), thường gọi tắt là VI. VI có Front Panel và Block Diagram, Front Panel là giao diện người dùng và Block Diagram là chương trình phía sau giao diện người dùng. Sau khi xây dựng Front Panel, thêm mã (code) để điều

khiến các đối tượng trên Front Panel bằng cách sử dụng các hình đồ họa đại diện cho các hàm. Mã trên Block Diagram là mã dạng đồ họa, thường được biết đến là G code (mã G) hoặc Block Diagram code.

LabVIEW sử dụng lập trình đồ họa dạng dòng chảy dữ liệu, dòng chảy của dữ liệu qua các nút trên Block Diagram xác định trình tự thực hiện chương trình. Lập trình đồ họa và thực thi dạng dòng chảy dữ liệu là hai đặc tính chính làm cho LabVIEW khác với hầu hết ngôn ngữ lập trình đa dụng khác.

Để kết nối và làm việc với Arduino, trên LabVIEW cần có 1 bộ VIs của Arduino. Thông qua bộ VIs, LabVIEW có thể lấy dữ liệu từ các chân Arduino và xử lý, điều khiển hoặc hiển thị kết quả trên màn hình máy tính. Do sự phổ biến và chuẩn hóa của Arduino nên bộ VIs đã được phổ biến rộng rãi, không cần người sử dụng phải tự lập trình. Với bộ VIs thì chỉ cần thiết kế giao diện và mọi việc đã có LabView xử lý. Hiện nay có 2 chuẩn: LIFA và LINX, trong đó chuẩn LIFA được sử dụng phổ biến hơn cả, mang lại nhiều tiện ích, được cài đặt theo các bước sau:

+ Bước 1: Cài đặt VI Package Manager (VIPM) – đây là phần mềm quản lý cũng như giúp download các gói VI của LabVIEW.

+ Bước 2: Sau khi cài đặt xong, vào VIPM và tìm giao diện Arduino cho LabVIEW với từ khóa “LabVIEW Interface for Arduino”. Sau đó cài đặt LabVIEW Interface for Arduino cho LabVIEW, lưu ý phải đúng phiên bản của LabVIEW.

+ Bước 3: Kết nối Arduino với máy tính qua cổng USB.

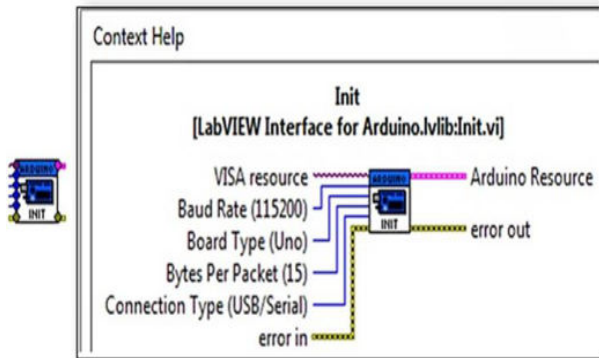
+ Bước 4: Nạp mã nguồn cho Arduino để có thể giao tiếp với LabVIEW. Tìm đến <LabVIEW> là nơi chứa thư mục LabVIEW sau khi cài đặt.

+ Bước 5: Chọn vi.lib\LabVIEW interface for Arduino\Firmware Kích đúp vào LIFA_Base. Trình dịch IDE Arduino sẽ tự hiển thị.

+ Bước 6: Chọn đúng Board và Serial Port sau đó kích vào Upload để nạp vào Arduino. Khi có thông báo Done uploading là đã nạp thành công và đã có thể làm việc với Arduino trên LabVIEW.

2.3. Khối INIT và thiết lập tham số truyền thông trên LabVIEW với Arduino

- Khối INIT: Để thiết lập giao diện LabVIEW với Arduino (hình 2)



Hình 2. Khối INIT thiết lập giao diện LabVIEW cho Arduino

Khối Init có nhiều chân ra, để thiết lập cho việc kết nối ta chỉ quan tâm tới một vài chân như sau:

- + Chân VISA resource là chân thiết lập cổng COM để giao tiếp giữa LabVIEW và Arduino.
- + Chân Baud Rate là chân thiết lập tốc độ baud: tốc độ baud là 115200 đối với Arduino Uno, là 9600 đối với các dòng Arduino khác.
- + Chân Board Type là chân để chọn loại Arduino để làm việc: có 3 loại Arduino được hỗ trợ là: Uno, Mega 2560 và Dimuelanove/Atmega 328.
- + Chân Connection Type là chân lựa chọn kiểu kết nối: qua USB, XBEE hoặc Bluetooth.
- + Chân Arduino Resource để kết nối với các khối khác.

Một khối được chia làm 2 dãy chân dữ liệu.

+ Các chân nằm bên trái của khối là các chân đưa dữ liệu vào hoặc là các thiết lập ban đầu của tín hiệu. Các chân bên phải là các chân đưa dữ liệu ra hoặc các thành phần của tín hiệu đã tách được khi qua khối.

Để thiết lập bất kỳ chân nào của một khối ta làm như sau:

- + Đưa con trỏ chuột tới chân cần thiết lập sao cho con trỏ chuột trở thành Wiring tool (hoặc có thể dùng Tool Palette).
- + Click Chuột phải, sau đó trỏ chuột vào Create chọn kiểu thiết lập. Có 3 kiểu thiết lập: Constant (hằng số), Control (điều khiển), Indicator (hiển thị) tùy vào mục đích để lựa chọn phù hợp.
- + Chân Arduino Resource của khối này nối với chân Arduino Resource của khối khác.
- + Chân error out của khối trước thì nối với error in của khối liền sau.
- + Đối với các khối còn lại thiết lập tương tự

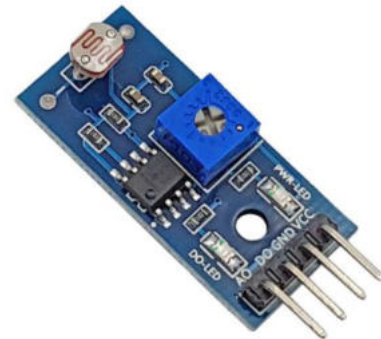
3. Thiết kế xây dựng bài toán đo lường điều khiển trên mô hình thử nghiệm (Đặng Văn Chí, 2017).

Mô hình có tính chất thử nghiệm truyền thông giữa giao diện LabVIEW với VĐK Arduino, cần phải đảm bảo chức năng đo lường, giám sát và điều khiển. Vì vậy bài toán được chọn là sử dụng cảm biến quang trở để đo cường độ ánh sáng (hay độ rọi), ứng dụng trong các bài toán điều khiển tự động bật/tắt đèn hoặc điều chỉnh tự động độ sáng đèn trong thực tế.

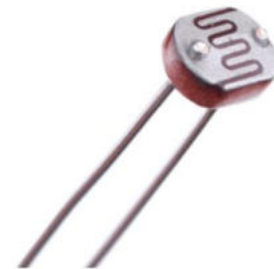
3.1. Tính chọn thiết bị xây dựng mô hình

Vi điều khiển Arduino: hình ảnh và thông số kỹ thuật như hình 1

Module cảm biến quang trở: (hình 3) module quang trở giao tiếp với Arduino là CDS có tích hợp sẵn Op-amp (LM393) và biến trở so sánh mức tín hiệu giúp cho việc nhận biết tín hiệu trở nên dễ dàng, Cảm biến ánh sáng này thường dùng để nhận biết, bật tắt thiết bị theo cường độ ánh sáng môi trường, hình 4.



Hình 3. Module cảm biến quang trở



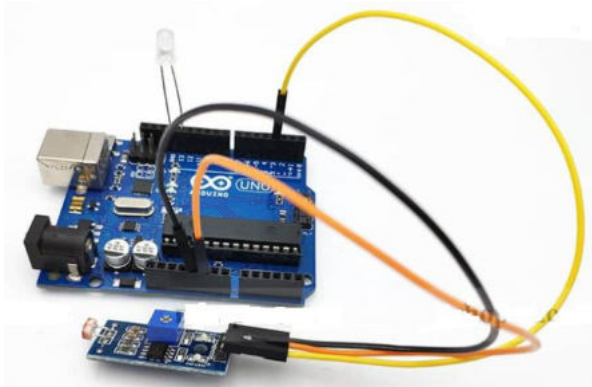
Hình 4. Quang trở CDS

IC LM393 được tích hợp nhiều tính năng phù hợp để sử dụng làm bộ so sánh. IC chứa hai op-amp (operational amplifier) so sánh độ chính xác cao riêng biệt có thể hoạt động từ nguồn điện đơn hoặc kép. Một tính năng khác là dải điện áp cung cấp rộng nên có thể sử dụng IC trong nhiều ứng dụng

khác nhau. IC này yêu cầu dòng điện hoạt động thấp do đó rất lý tưởng để sử dụng trong các thiết bị di động và hoạt động bằng pin. Hệ thống logic đầu ra có thể được sử dụng trong các mạch kỹ thuật số. Dòng điện đầu ra tối đa của IC là 20mA đủ để điều khiển các transistor và hệ thống logic, thiết bị logic và vi điều khiển. Có thể điều chỉnh chiết áp để thay đổi mức phát hiện cường độ ánh sáng.

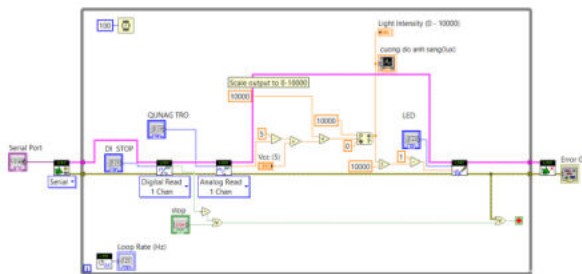
3.2. Thiết kế xây dựng mô hình

+ Sơ đồ kết nối thiết bị: Sơ đồ đề xuất như hình 5



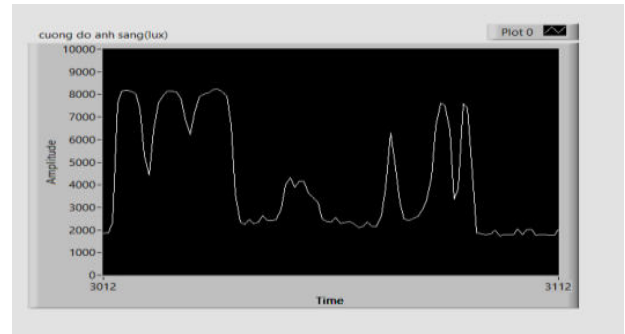
Hình 5. Sơ đồ kết nối Arduino với mô đun quang CDS và Led điều khiển

3.3. Lập trình đo lường, điều khiển, giám sát và truyền thông trong LabVIEW, hình 6

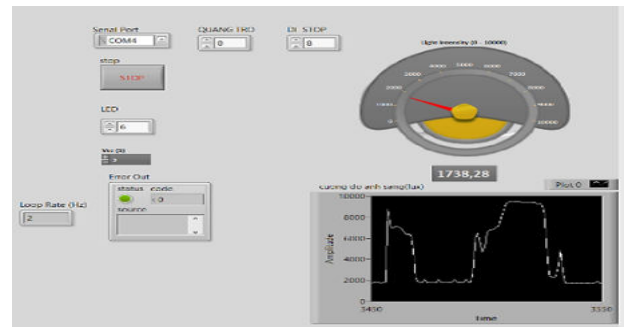


Hình 6. Giao diện lập trình trong môi trường LabVIEW

3.4. Các kết quả chạy thử nghiệm trên mô hình



Hình 7. Giao diện giám sát đo cường độ ánh sáng



Hình 8. Giao diện điều khiển – giám sát LabVIEW

4. Kết luận:

- Việc nghiên cứu ứng dụng vi điều khiển Arduino để giao tiếp với giao diện LabVIEW cho bài toán điều khiển và giám sát cường độ ánh sáng đã đáp ứng được các yêu cầu về kỹ thuật và mục tiêu đặt ra.

- Các tác giả đã thực hiện việc khảo sát tính chọn thiết bị, xây dựng mô hình, lập trình điều khiển, lập trình truyền thông, xây dựng giao diện giám sát trên LabVIEW và chạy thử kết nối với các thiết bị ngoại vi. Bước đầu cho kết quả khả quan, hệ thống chạy ổn định, đáp ứng các yêu cầu công nghệ đặt ra.

- Mô hình xây dựng có tính chất thử nghiệm, sử dụng các sensor và thiết bị có giá thành thấp, độ chính xác và chất lượng còn hạn chế. Đề xuất tiếp tục đánh giá độ chính xác, tính ổn định và bền vững của hệ thống khi sử dụng các cảm biến chuyên dụng, có độ chính xác cao làm việc trong môi trường công nghiệp.

- Với kết quả nghiên cứu bước đầu này, việc ứng dụng các dòng VĐK Arduino để thay thế các Card đo lường điều khiển chuyên dụng của LabVIEW để thực hiện các bài toán trong đo lường – điều khiển – giám sát bằng máy tính là hoàn toàn

khả thi. Giải pháp có giá thành thấp, đảm bảo đầy đủ các yêu cầu về kỹ thuật và công nghệ cho các bài toán về đo lường – điều khiển – giám sát. Trong các Trường Đại học cách tiếp cận trên là phù hợp cho công tác giảng dạy và đào tạo lý thuyết với chi phí thấp. Ở các Viện nghiên cứu phù hợp công tác nghiên cứu Khoa học và triển khai ứng dụng thực tế sản xuất.

- Tốc độ lấy mẫu tối đa của hầu hết các dòng Arduino là 10kHz, trong khi mạch Arduino về bản chất chỉ có 1 ADC. Do vậy với các ứng dụng yêu cầu đọc và xử lý cùng lúc nhiều cổng Analog thì cần chú ý đến vấn đề này.

Đặng Văn Chí: Đề xuất ý tưởng, nghiên cứu tổng quan cơ sở lý thuyết, xây dựng thuật toán và lập trình điều khiển giám sát trên LabVIEW.

Đào Hiếu: Thiết kế giao diện, xây dựng mô hình

Ông Quang Tuyến: Chạy thử nghiệm, soạn thảo và biên tập bài báo.

Tài liệu tham khảo

Sách tham khảo

Đặng Văn Chí (2017), Kỹ thuật đo lường điện và các thuật toán đo phi điện. NXB Xây dựng, 298 trang.

Đặng Văn Chí & nnk (2021), Đo lường điều khiển bằng máy tính, ứng dụng công nghệ IoT – Lora Gateway để giám sát và điều khiển xa trên Web Server. NXB KHKT, 285 trang.

Phạm Quang Huy, Nguyễn Trọng Hiếu, (2016), Vi điều khiển và ứng dụng Arduino dành cho người tự học. NXB Bách Khoa Hà Nội, 407 trang.

Lưu Thế Vinh, (2007). Giáo trình đo lường – cảm biến. NXB ĐH Quốc gia TP Hồ Chí Minh.

Wolfgang Georgi, Ergun Metin, (2006). Einfuehrung in LabVIEW. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag Muenchen.

Ernest O. Doebelin, (2003). Measurement System: “Application and design”, Mc Graw Hill.

Web tham khảo

<http://Arduino.vn>

<https://www.ni.com>

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP HỖ TRỢ ĐỌC GIÁ TRỊ THÔNG SỐ NGUỒN ĐIỆN TRONG TRẠM 35/6KV

Ông Quang Tuyến¹, Nguyễn Đức Tân²

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường ĐH Mở - Địa chất, Việt Nam, uongquangtuyen@humg.edu.vn;

² Công ty than Mạo Khê, Tập đoàn Than Khoáng sản Việt Nam

TÓM TẮT

Bài viết trình bày kết quả nghiên cứu giải pháp hỗ trợ nhân viên trực trạm biến áp trong công tác ghi số liệu về các đại lượng điện áp, dòng điện và công suất phụ tải của trạm biến áp. Giải pháp của nhóm tác giả bao gồm: thiết kế phần mềm cài đặt trên máy tính và thiết bị thu thập các thông số của nguồn điện tại trạm biến áp 35kV. Thiết bị thu thập các giá trị được lắp đặt trong tủ điện của trạm, đọc các thông số của nguồn và gửi dữ liệu tới máy tính với công nghệ truyền dữ liệu bluetooth BLE 4.0. Phần mềm trên máy tính ghi nhận lại các dữ liệu này và hiển thị theo dạng bảng và đồ thị phụ tải.

Từ khóa: Thông số cơ bản, điện áp, dòng điện, nhiệt độ, bluetooth

1. Mở đầu

Hiện nay trên thế giới và trong nước, các thiết bị trong dây chuyền sản xuất, các thiết bị trong trạm

biến áp đều được giám sát và theo dõi thông qua hệ thống SCADA.

Các thông số này đều được cập nhật tại phòng điều khiển trung tâm bởi hệ thống báo cáo. Tuy nhiên không phải lúc nào cũng tạo các báo cáo từ

phòng điều khiển trung tâm để theo dõi hàng này tại các vị trí đặt thiết bị, trạm biến áp.

Tại các trạm biến áp, các giá trị cũng đều cần được theo dõi định kỳ theo giờ, theo ngày, tháng. Nên tại các trạm, cán bộ vận hành trạm biến áp vẫn thường xuyên phải ghi lại số liệu tại các đồng hồ đo điện áp, dòng điện và công suất của nguồn. Điển hình là tại các trạm biến áp 35/6kV. Các giá trị điện áp nguồn 35kV và 6kV đều được ghi chép lại bằng tay, trên sổ tại trạm biến áp bởi nhân viên trực trạm.

Tác giả đề xuất giải pháp tự động ghi lại các số liệu trên bằng phần mềm và thiết bị được ghép nối với các thiết bị đo đếm điện tại trạm.

2. Nội dung nghiên cứu

Dựa trên nghiên cứu lý thuyết và thực tế tại trạm biến áp của mỏ Mạo Khê. Tác giả đã nghiên cứu và chế tạo thiết bị thu nhận các giá trị từ bộ đo đếm các thông số nguồn điện chuẩn công nghiệp. Các giá trị này được tổng hợp và truyền tới máy tính thông qua truyền dẫn không dây, bluetooth.

Song song với việc chế tạo thiết bị thu nhận dữ liệu trên, tác giả cũng đã viết một phần mềm để nhận dữ liệu và hiển thị dữ liệu dưới dạng bảng và đồ thị.

2.1. Thiết bị đo các giá trị điện

Integra 1530 đa chức năng cung cấp hoạt động không phức tạp và độ chính xác cao <math><0,2\%</math> đo điện áp ba pha, dòng điện, tần số, Watts, VAR, VA, năng lượng, hệ số công suất và tổng biến dạng hài của cả pha và hệ thống, dòng điện và điện áp. Để phù hợp với yêu cầu của các ứng dụng giám sát năng lượng riêng lẻ, Integra 1530 cung cấp lập trình và hiển thị đơn giản, thông qua giao diện điều khiển menu hoặc gói cấu hình phần mềm dựa trên Windows tùy chọn có thể được sử dụng để cấu hình và giám sát từ xa. Sau khi được cấu hình bằng một trong hai phương pháp, việc giám sát đồng thời tới đa 50 biến chất lượng điện và điện có thể được truyền vào các hệ thống quản lý tòa nhà thông qua các tùy chọn giao tiếp xung, tương tự hoặc kỹ thuật số.

Được thiết kế cho tất cả các hệ thống phân phối và thiết bị đóng cắt điện áp thấp, trung và cao, Integra 1530 cung cấp khả năng lập trình tỷ lệ VT và CT. Kết nối trực tiếp lên đến 480V AC với tiêu chuẩn đầu vào CT 5A và đầu vào CT 1A có sẵn dưới dạng tùy chọn

Integra 1530 cung cấp các đầu ra xung đơn hoặc kép tùy chọn cho phép truyền lại các thông số dựa trên thời gian kW.Hr và kVAR.Hr. Đầu ra được xung với tốc độ tỷ lệ thuận với năng lượng đo được kW.Hr hoạt động, với độ rộng và tốc độ xung dễ dàng lập trình cục bộ hoặc từ xa. Role đầu ra có tiếp điểm không có volt được cách ly hoàn toàn, với kết nối qua các đầu kẹp dạng vít



Lên đến hai đầu ra tương tự cũng có thể được bao gồm, cho phép truyền trở đi các tham số tuyến tính bằng cách sử dụng tín hiệu tương tự tiêu chuẩn công nghiệp. Mỗi kênh tương tự có thể được gán cho một trong 47 thông số đo được với nhịp đầu ra có thể điều chỉnh hoàn toàn để phù hợp với yêu cầu của khách hàng và có thể được cấu hình để hoạt động ở chế độ dòng điện bình thường, đảo ngược, ngưỡng hoặc không đổi. Cả hai đầu ra tương tự đều có chung lợi nhuận được cách ly điện từ các đầu ra không tương tự

Tín hiệu vào	
Điện áp vào	57.7 đến 277V (L-N) 100 đến 480V (L-L)
Tỷ số biến áp	Bất kỳ giá trị nào cho tới 400kV (tối đa 360MW**)
Dòng điện vào	5A (1A mặc định)
Tỷ số biến dòng	9999:5A hoặc 9999:1A (tối đa 360MW**)
Tín hiệu ra	
RS485	2400, 4800, 9600, 19200
Xung	SPNO, 100V, 0.5A tối đa
Xung ra	Hoặc 2
Tương tự	Hoặc 2
Điện áp cấp	85V-287 VAC

	85V-312 VDC
** tỷ lệ VT hoặc CT tối đa được giới hạn để sự kết hợp giữa điện áp sơ cấp và dòng điện không vượt quá 360MW ở 120% đầu vào có liên quan	

2.2. Module điều khiển ESP32

ESP32 NodeMCU được phát triển trên nền module trung tâm là ESP32 với công nghệ Wifi, BLE và nhân ARM SoC tích hợp mới nhất hiện nay, là sự lựa chọn hàng đầu trong các nghiên cứu, ứng dụng về Wifi, BLE và IoT.

Kết hợp cả WiFi và Bluetooth chip trên cùng 1 Board phát triển. Nhờ đó, ESP32 có thể vừa có thể phát tín hiệu điều khiển vừa có thể nhận tín hiệu điều khiển từ thiết bị khác thông qua Wifi và Bluetooth.

Tối ưu hóa trong việc tiêu thụ năng lượng: ESP32 được thiết kế để phù hợp với các thiết bị di động, các thiết bị và ứng dụng IoT.

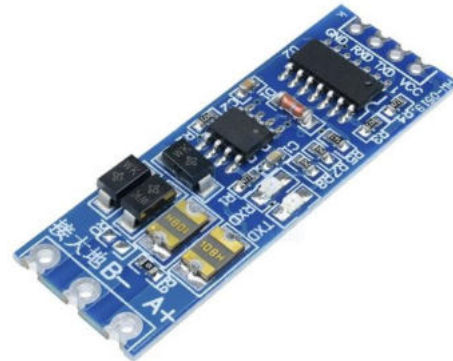


ESP32-WROOM-32D sử dụng chip ESP32-D0WD là chip nhúng được thiết kế có thể mở rộng và thích ứng. Có 2 lõi CPU có thể điều khiển riêng lẻ và tần số xung nhịp CPU có thể điều chỉnh được từ 80MHz tới 240MHz

- Chip xử lý: ESP32-D0WD
- Network protocols: IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
- WiFi mode: Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
- Wi-Fi Security: WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Các giao thức: 802.11 b/g/n
- Bluetooth: Các giao thức: Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specification
- Encryption: AES/RSA/ECC/SHA
- Module interface: SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR
- On-chip sensor: Hall sensor
- On-board clock: 40 MHz crystal
- Điện áp hoạt động: 2.7 ~ 3.6V
- Dòng điện hoạt động: trung bình: 80 mA

- Nhiệt độ hoạt động: $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

2.3. Module modbusRTU 485



Mạch chuyển giao tiếp UART TTL to RS485 V2 được thiết kế để có thể giúp bạn chuyển giao tiếp từ chuẩn giao tiếp UART TTL (Vi điều khiển, máy tính nhúng,...) sang chuẩn giao tiếp RS485 và ngược lại.

Mạch chuyển giao tiếp UART TTL to RS485 V2 được thiết kế với khả năng chống nhiễu cao, tích hợp các bộ đệm, Cầu chì tự phục hồi, Diod chống nhiễu giúp hệ thống chạy ổn định, an toàn hơn và không làm cháy board điều khiển trung tâm. Phần chân giao tiếp RS485 trên mạch có chân Mass, nếu hệ thống có đường dây mass tiếp đất thì có thể sử dụng để nối vào chân Mass này giúp tăng khả năng chống nhiễu và chống sét.

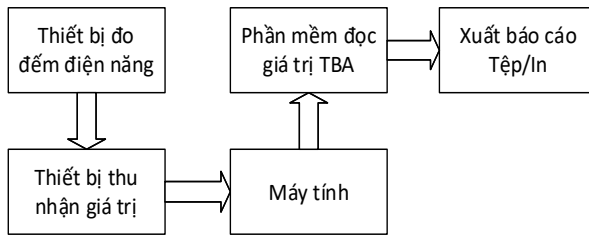
Mạch hỗ trợ kết nối nhiều điểm RS485 trên đường Bus, mạch được thiết kế để các điểm có thể nối "nóng" mà không sợ hiện tượng module bị chết khi chưa ngắt đường truyền tổng.

Thông số kỹ thuật:

- Điện áp hoạt động: 3 - 5VDC.
- Điện áp giao tiếp TTL: 3 - 5VDC.
- Khoảng cách truyền RS485 có thể lên đến 1km (khuyến nghị sử dụng dưới 800m và dây bus chuyên dụng cho RS485).
- Có đèn led thông báo trạng thái truyền nhận RX và TX.

2.4. Mô hình cấu trúc của giải pháp

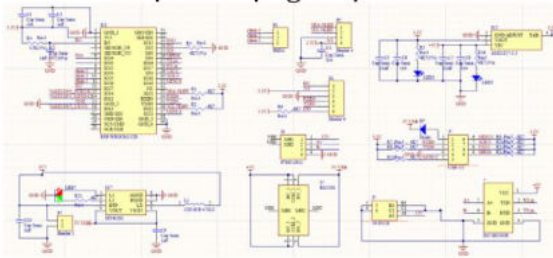
Các đồng hồ đọc các thông số của điện năng được ghép nối với thiết bị thu nhận giá trị; sau đó được truyền lên máy tính thông qua giao thức bluetooth. Phần mềm sẽ hiển thị các giá trị nhận được dạng bảng và đồ thị, đồng thời có thể xuất các báo cáo thành tập tin.



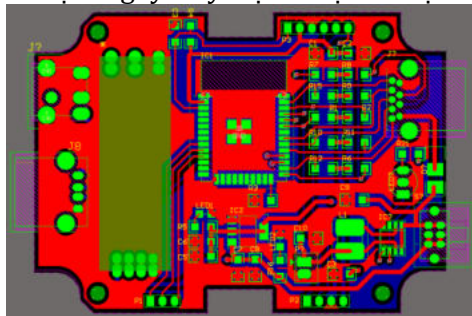
Thiết bị hoàn chỉnh

2.4.1. Thiết bị thu nhận giá trị

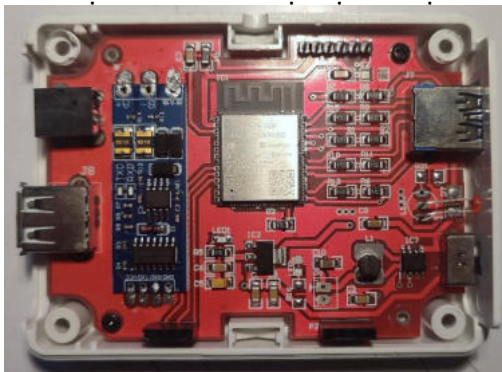
a. Mạch nguyên lý và thiết bị phần cứng



Mạch nguyên lý mạch nhận dữ liệu



Mạch in của thiết bị nhận dữ liệu



Mạch hoàn chỉnh

b. Mã nguồn đọc và truyền dữ liệu

Hàm đọc dữ liệu qua kết nối ModbusRTU 485:

```
void readFlow() {
    uint8_t result;
    uint16_t buf[10];
    result=sensor.readHoldingRegisters(START_A
DDRESS, NUMBER_REGISTER);
    if (result == sensor.ku8MBSuccess)
    {
        buf[0] = sensor.getResponseBuffer(0);
        buf[1] = sensor.getResponseBuffer(2);
        buf[2] = sensor.getResponseBuffer(4);
        buf[3] = sensor.getResponseBuffer(6);
        buf[4] = sensor.getResponseBuffer(8);
        buf[5] = sensor.getResponseBuffer(10);
        buf[6] = sensor.getResponseBuffer(12);
        buf[7] = sensor.getResponseBuffer(14);
        buf[8] = sensor.getResponseBuffer(16);
        for (int i=0; i<NUMBER_REGISTOR; i++)
        { Serial.print(sensor.getResponseBuffer(i));
          Serial.print(" ");
        }
        sensorvalue=String(buf[0])+","+String(buf[1])+
        ","+String(buf[2])+","+String(buf[3])+","+String
        (buf[4])+","+String(buf[5])+","+String(buf[6])+
        ","+String(buf[7])+","+String(buf[8]);
    }
}
```

Hàm truyền dữ liệu đọc được qua Bluetooth:

```
void bletrans(){
    if (deviceConnected) {
        if ((millis() - lastTime) >= timerDelay) {
            readFlow();
            String temp =
            String(SENSOR_TYPE)+","+String(sensorvalue);
            const char *datasensor;
```

```

datasensor = temp.c_str();
SensordataCharacteristics.setValue(datasensor);
SensordataCharacteristics.notify();
lastTime = millis();
}
}
}

```

2.4.2. Phần mềm đọc giá trị trạm biến áp

Giao diện của phần mềm được thiết kế trên phần mềm Qt5Designer với ngôn ngữ Python để thực hiện việc tìm kiếm và kết nối thiết bị với phần mềm trên máy tính. Qua đó thực hiện thu thập dữ liệu từ thiết bị lên máy tính hiển thị và vẽ biểu đồ phụ tải cho trạm biến áp.



2.5. Nội dung và kết quả đạt được

Do điều kiện kỹ thuật tại trạm biến áp công ty than Mạo Khê, không thể đặt được các thiết bị trên, nên tác giả đã thực hiện các thí nghiệm trên các thiết bị ở phòng thí nghiệm tự động hoá với đồng hồ đo đếm điện năng, sử dụng thiết bị trên và phần mềm. Kết quả cho thấy được khả năng tự ghi nhận các giá trị theo đúng thời gian đặt; các giá trị tự động lưu trữ lại và hiển thị trên bảng và đồ thị. Nếu được nghiên cứu sâu hơn và có thời gian thử nghiệm ở thực tế, hệ thống có thể sẽ đáp ứng được

các yêu cầu của trạm biến áp, giúp giảm bớt công việc cho cán bộ trực trạm.

Tài liệu tham khảo

- (1) J Medina-García, T Sánchez-Rodríguez, JAG Galán; 2017; A Wireless Sensor System for Real-Time Monitoring and Fault Detection of Motor Arrays, ... - Sensors, 2017 - mdpi.com
- (2) SJ Yu, YH Park; 2020; UA-WSN: Secure and Lightweight Three-Factor-Based User Authentication Protocol for Wireless Sensor Networks - Sensors, 2020 - mdpi.com
- (3) Wagma Khan, Danish Javeed, Muhammad Taimoor Khan, Syed Roohullah Jan, FazlullahKhan; 2016; Applications of Wireless Sensor Networks in Food and Agriculture Sectors; International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 5, Issue 6, June 2016; ISSN: 2278 – 1323
- (4) Ưông Quang Tuyến, Phạm Minh Hải, Thái Hải Âu; 2021, Giám sát các thông số hoạt động của thiết bị sử dụng mạng cảm biến không dây; Tạp chí công nghiệp Mỏ, Số 1, năm 2022; ISSN 0868-7052
- (5) Ting Zhang, Jiang Lu, Fei Hu, Member, IEEE and Qi Hao, Member, IEEE: Health Innovations and Point-of-Care Technologies Conference Seattle, Washington USA, October 8-10, 2014
- (6) Diego Hortelano, Teresa Olivares, M. Carmen Ruiz, Celia Garrido-Hidalgo, and Vicente López: From Sensor Networks to Internet of Things. Bluetooth Low Energy, a Standard for This Evolution; 14 February 2017; Sensors, 2017 - mdpi.com

ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT CHO ĐỘNG CƠ Ồ TỪ KHE HỖ DỌC TRỰC

Nguyễn Việt Anh, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Hậu Quốc Khánh, Ngô Mạnh Tùng*
Khoa Điện, Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội, Việt Nam, Số 298 đường Cầu Diễn, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, emails: anhnv@hau.edu.vn, quanghuy1029@gmail.com, nguyenkhanhbq2002x@gmail.com, tung_nm@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày thiết kế bộ điều khiển trượt cho hệ truyền động động cơ nam châm vĩnh cửu khe hở dọc trục. Đây là động cơ tích hợp ổ đỡ từ, momen quay và lực dọc trục sinh ra do tác động của từ trường stator với từ trường nam châm vĩnh cửu của rotor. Dựa trên phương trình trạng thái động cơ, bộ điều khiển trượt đề xuất được ứng dụng trong điều khiển tốc độ và điều khiển vị trí dọc trục. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống đảm bảo rotor ở vị trí cân bằng và tốc độ bám theo giá trị đặt yêu cầu trong trường hợp có các thành phần bất định xuất hiện.

Từ khóa: Động cơ ổ từ, Điều khiển trượt, Từ trường dọc trục.

1. Mở đầu

Động cơ ổ từ là một sản phẩm công nghệ cao, được sử dụng để thay thế cho các động cơ ổ bi thông thường, nhất là trong một số môi trường làm việc đặc thù. Sự khác biệt so với động cơ dùng ổ bi thông thường đó là động cơ ổ từ được thiết kế sử dụng lực từ trường để nâng trục động cơ và loại bỏ đi sự tiếp xúc vật lý. Khi đó, động cơ có thể làm việc ở dải tốc độ cao hơn trong khi sự mài mòn và ma sát cơ khí gần như là không đáng kể. Do đó, ưu điểm của động cơ sử dụng ổ từ là làm việc ở dải tốc độ cao, vận hành tin cậy trong điều kiện khắc nghiệt, không yêu cầu dầu bôi trơn, không gây ô nhiễm, loại bỏ nguy cơ cháy nổ và nâng cao thời gian vận hành của toàn bộ hệ thống.

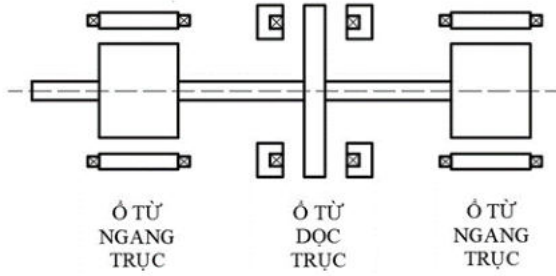
Một hệ thống ổ từ thường bao gồm hai hệ điều khiển: hệ điều khiển thứ nhất tạo ra lực từ nâng trục động cơ theo một phương thẳng đứng vuông góc với trục động cơ, hệ điều khiển thứ hai kiểm soát chuyển động quay và cố định sự dịch chuyển dọc trục của bản thân trục động cơ [1, 2, 3]. Trong bài báo này nghiên cứu và trình bày thiết kế bộ điều khiển ứng với hệ điều khiển thứ hai vừa nêu.

Hình 1 trình bày cấu trúc của động cơ ổ từ khe hở dọc trục. Ở cấu trúc này, hai ổ từ ngang trục có nhiệm vụ tạo nên lực nâng trục động cơ theo

hướng ngang trục. Một ổ từ dọc trục động cơ đóng vai trò cố định rotor và trục động cơ theo phương dọc trục và tạo ra momen làm quay động cơ. Sự kết hợp giữa động cơ ổ từ dọc trục này được gọi là động cơ có từ trường khe hở dọc trục (TTKHDT).

Động cơ TTKHDT được nghiên cứu trong bài báo là động cơ đồng bộ có cấu trúc bao gồm một rotor dạng đĩa có gắn nam châm vĩnh cửu và hai stator ở hai bên của rotor được quấn bởi các cuộn dây ba pha. Trong các công trình [5, 6, 7] đã cơ bản thực hiện được các yêu cầu điều khiển đối với động cơ TTKHDT. Cụ thể là các tài liệu này cùng sử dụng cấu trúc điều khiển dựa theo nguyên lý điều khiển vector từ thông rotor [4], bao gồm hai mạch vòng là mạch vòng tạo ra tín hiệu dòng điện i_d điều chỉnh vị trí dọc trục của rotor và mạch vòng tạo ra tín hiệu dòng điện i_q điều chỉnh tốc độ rotor.

Ngoài ra, trong [1, 2, 7] chỉ thực hiện thiết kế điều khiển cho đáp ứng tốc độ mà chưa quan tâm tới bộ điều khiển vị trí. Bên cạnh đó, bộ điều khiển được thiết kế chỉ là bộ điều khiển tuyến tính PID như ở tài liệu [6, 8] trong khi động cơ có tính phi tuyến mạnh.



Hình 5: Cấu trúc của động cơ ổ tự nâng từ khe hở dọc trục

Một đặc điểm cần chú ý là thông số khe hở không khí giữa rotor với hai stator của động cơ ổ từ thay đổi theo thời gian. Điều này làm ảnh hưởng trực tiếp đến giá trị độ tự cảm pha của stator trên trục d và trục q . Do đó, mô hình toán học của động cơ có chứa các thành phần bất định, làm giảm đi chất lượng của bộ điều khiển.

Bộ điều khiển trượt được biết đến với ưu điểm bền vững với đối tượng chứa các tham số bất định [9, 10]. Vì thế, bài báo nghiên cứu và thiết kế bộ điều khiển trượt để điều khiển cả hai đại lượng là vị trí dọc trục và tốc độ động cơ nhằm tăng sự ổn định trước sự bất định của thông số mô hình đối tượng [11, 12]. Để kiểm chứng các bộ điều khiển đề xuất, hệ thống điều khiển được xây dựng và mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink.

2. Các phương trình trạng thái của động cơ

Động cơ TTKHDT có cấu tạo gồm một rotor và hai stator. Cấu trúc của động cơ được trình bày trên Hình 2. Giả thiết rằng, các tham số trên trục x, y, θ_x, θ_y của rotor được kiểm soát bởi việc điều khiển các ổ từ ngang trục. Bài báo chỉ tập trung thiết kế bộ điều khiển trượt tương ứng cho hai bậc tự do là vị trí dọc trục và tốc độ quay của rotor. Theo nguyên lý điều khiển tựa theo từ thông rotor, các đại lượng và tham số của động cơ sẽ được thực hiện quy đổi về hệ tọa độ quay dq thông qua các ma trận chuyển đổi tọa độ [4].

Mô hình toán học của động cơ TTKHDT có chứa một số thành phần bất định do độ tự cảm pha của stator là hàm tỉ lệ nghịch so với khe hở không khí g theo công thức xấp xỉ sau:

$$L_{sd} = 3L'_{sd0} \frac{1}{2g} + L_{sl} \quad (1)$$

$$L_{sq} = 3L'_{sq0} \frac{1}{2g} + L_{sl} \quad (2)$$

L'_{sd0} và L'_{sq0} là điện cảm từ hóa trục d và trục q trên đơn vị dài; L_{sl} là điện cảm dòng rò. $g = g_0 \pm z$ là khe hở giữa rotor và stator; g_0 là khe hở ở vị trí cân bằng; z là sự dịch chuyển từ vị trí cân bằng.

Mô hình toán học của động cơ đồng bộ TTKHDT biểu diễn trên hệ trục tạo độ quay d, q như sau [3]:

$$\begin{cases} u_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} di_{sd}/dt - \omega L_{sq} i_{sq} \\ u_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} di_{sq}/dt + \omega L_{sd} i_{sd} + \omega \lambda_m \\ \lambda_{sd} = L_{sd} i_{sd} + \lambda_m \\ \lambda_{sq} = L_{sq} i_{sq} \end{cases} \quad (3)$$

Với λ_m là từ thông móc vòng do từ trường rotor sinh ra trên stator; i_{sd} và i_{sq} là thành phần dòng điện stator; u_{sd} và u_{sq} thành phần điện áp stator; ω là tốc độ rotor; λ_{sd} và λ_{sq} là từ thông stator.

Theo [3, 5, 6] momen được điều khiển bởi dòng điện trục q , còn lực hút được điều khiển bởi dòng điện trục d . Chúng ta có:

$$\begin{cases} i_{q1} = i_{q2} = i_q \\ i_{d1} = i_{d0} - i_d \\ i_{d2} = i_{d0} + i_d \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó: i_{d1} và i_{d2} là dòng điện dọc trục của hai stator; i_{d0} là dòng bù có giá trị rất nhỏ hoặc bằng 0. Lực dọc trục và momen tổng do hai stator tác động lên rotor [3]:

$$F = 4K_{Fd} i_f i_d + \{4K_{Fd}(i_d^2 + i_f^2) + 4K_{Fq} i_q^2\} z / g_0 \quad (5)$$

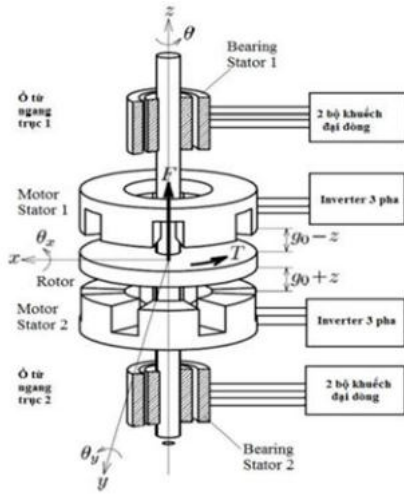
$$T = 2K_T i_q + 2K_R i_d i_q z / g_0 \quad (6)$$

Với i_f dòng 1 chiều quy đổi từ từ trường vĩnh cửu của roto

Nếu sự dịch chuyển bằng không hoặc rất nhỏ so với khe hở không khí tại điểm cân bằng g_0 thì ta có:

$$F = 4K_{Fd} i_f i_d \quad (7)$$

$$T = 2K_T i_q \quad (8)$$



Hình 6: Cấu trúc của động cơ TTKHDT

Mặc dù lực hút dọc trục F_v vẫn chịu phụ thuộc nhỏ vào thành phần dòng điện trục q và momen quay T vẫn chịu phụ thuộc nhỏ vào thành phần dòng trục d , nhưng có thể điều khiển lực hút F bởi dòng điện i_d và momen T bởi dòng điện i_q .

3. Thiết kế bộ điều khiển trượt có mặt trượt kiểu PID

Điều khiển trượt là một phương pháp điều khiển phi tuyến được áp dụng cho đối tượng sau. Xét $x \in \mathbb{R}^n$ là vector trạng thái, u là tín hiệu điều khiển, $s = s(t, x)$ là mặt trượt, ta có hệ sau:

$$\ddot{x}(t) = f(t, x, u) \quad (9)$$

$$s = s(t, x) \quad (10)$$

Khi thực hiện điều khiển cho hệ (9), phương pháp điều khiển trượt sẽ đưa sai số e về mặt trượt s sau đó theo thời gian thì mặt trượt s sẽ tiến về 0 dẫn đến sai số giao động tại 0. Có một vấn đề đó là cần loại bỏ hiện tượng dao động quanh mặt trượt khi biên độ của luật điều khiển trượt thay đổi lớn, trong bài báo này ứng dụng hàm trượt PID để giải quyết tồn tại vừa nêu:

$$s(t) = \dot{e}(t) + \lambda_1 e(t) + \lambda_2 \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (11)$$

Trong đó $e(t)$ là sai số giữa đáp ứng ngõ ra và tín hiệu mong muốn được thiết lập. λ_1 và λ_2 là hai hằng số dương. Hai giá trị này được chọn sao cho phương trình đặc tính $s^2 + \lambda_1 s + \lambda_2 = 0$ phải thỏa mãn Hurwitz. Trong đó s là biến phức và nghiệm

của phương trình phải nằm ở nửa bờ trái của mặt phẳng phức.

Do đó, hàm trượt có thể được viết lại như sau:

$$s(t) = \dot{r}(t) - \dot{y}(t) + \lambda_1(r(t) - y(t)) + \lambda_2 \int_0^t (r(\tau) - y(\tau)) d\tau \quad (12)$$

Với $r(t)$ là tín hiệu mong muốn, $y(t)$ là tín hiệu ngõ ra. Theo lý thuyết ổn định Lyapunov, chọn một hàm xác định dương:

$$V(t) = \frac{1}{2} s^2(t) \quad (13)$$

Phương trình trên có thể được viết lại

$$\dot{V} = s(t) \cdot \dot{s}(t) \quad (14)$$

Để $\dot{V}(t)$ xác định âm:

$$\text{Chọn } \dot{s}(t) = -k \cdot \text{sign}(s(t)) - \eta s(t)$$

Thay $\dot{s}(t) = -k \cdot \text{sign}(s(t)) - \eta s(t)$ vào $\dot{V}(t)$ sẽ cho hàm:

$$\dot{V}(t) = s \cdot [-k \cdot \text{sign}(s(t)) - \eta s(t)] , \text{ với } k, \eta \text{ là hằng số dương chọn trước.}$$

Hiện tượng chattering được hiểu là một chuyển động dao động quanh bề mặt trượt. Sự xuất hiện của các sai số chuyển đổi như độ trễ thời gian chuyển đổi hoặc tính không liên tục của hàm chuyển đổi có thể là nguyên nhân có thể dẫn đến hành vi động học này xảy ra gần bề mặt trượt.

Chattering có thể dẫn đến việc mài mòn các bộ phận cơ khí chuyển động và tổn thất nhiệt cao trong mạch điện. Các vấn đề về giảm thiểu hoặc loại bỏ chattering đã được giải quyết với nhiều phương pháp đã được thiết kế. Một trong số chúng, trong trường hợp đơn giản nhất, là thay thế hàm dấu bất liên tục $\text{sgn}(s)$ bằng một xấp xỉ liên tục, một hàm mềm mại.

Trong đồ án này, ta lựa chọn hàm tanh:

$$\tanh(t) = \frac{e^{2s}-1}{e^{2s}+1} \quad (15)$$

Trong phần tiếp theo sẽ ứng dụng phương pháp điều khiển trượt kiểu PID cho vòng điều khiển vị trí dọc trục và điều khiển tốc độ động cơ.

3.1. Thiết kế bộ điều khiển vị trí dọc trục

Sai lệch dọc trục được tính như sau:

$$m\ddot{z} = F - F_L \quad (16)$$

Với m là khối lượng phần chuyển động, F_L là lực hút dọc trục, F_L là lực tải dọc trục. Từ (7) ta có:

$$m\ddot{z} = 4K_{Fd}i_f i_d - F_L \quad (17)$$

Giả sử vị trí mong muốn là z_{Ref} . Ta có:

$$e_{1z} = z_{Ref} - z \quad (18)$$

$$e_{2z} = \dot{z}_{Ref} - \dot{z} \quad (19)$$

Sai số của hệ thống được định nghĩa là:

$$\begin{cases} \dot{e}_{1z} = e_{2z} \\ \dot{e}_{2z} = \ddot{z}_{Ref} - \frac{4K_{Fd}i_f i_d}{m} + \frac{F_L}{m} \end{cases} \quad (20)$$

Chọn mặt trượt có dạng:

$$s(t) = \dot{e}_{1z}(t) + \lambda_1 e_{1z}(t) + \lambda_2 \int_0^t e_{1z}(\tau) d(\tau)$$

$$\dot{s}(t) = \ddot{e}_{1z}(t) + \lambda_1 \dot{e}_{1z}(t) + \lambda_2 e_{1z}(t) \quad (21)$$

$$= \ddot{z}_{Ref} - \frac{4K_{Fd}i_f i_d}{m} + \frac{F_L}{m} + \lambda_1 \dot{e}_{1z}(t) + \lambda_2 e_{1z}(t)$$

với λ_1 và λ_2 là hằng số dương và bộ điều khiển cần làm cho $s(t)$ đến 0. Chọn hàm V xác định dương:

$$V(s) = \frac{1}{2}s^2 \quad (22)$$

Theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov, để hệ ổn định tiệm cận thì $\dot{V} < 0$. Do đó ta chọn:

$$\dot{s}(t) = -k_z \cdot \text{sign}(s(t)) - \eta_z s(t) \quad \text{với } k_z, \eta_z \text{ là hằng số dương chọn trước.}$$

Từ đó tín hiệu đầu ra dòng điện như sau:

$$i_d = \frac{m}{4k_{Fd}i_f} [z_{ref}'' + \frac{F_L}{m} + \lambda_1(z_{ref} - \dot{z}) + \lambda_2(z_{ref} - z) + k_z \text{sign}(s) + \eta_z s] \quad (23)$$

Thay (23) vào (21) được:

$$\dot{s}(t) = -k_z \cdot \text{sign}(s(t)) - \eta_z s(t) + \frac{F_L}{m}$$

$$\text{Chọn } k_z > \frac{F_L}{m}$$

$$\text{Khi } s(t) < 0, \dot{V} = s \cdot \dot{s} = s(-k_z - \eta_z s + \frac{F_L}{m}) < 0$$

$$\text{Khi } s(t) > 0, \dot{V} = s \cdot \dot{s} = s(-k_z - \eta_z s + \frac{F_L}{m}) < 0$$

Thỏa mãn Lyapunov.

3.2. Thiết kế bộ điều khiển tốc độ động cơ

Sai lệch giữa momen điện từ T và momen tải T_L tạo nên gia tốc bám theo đặc tính cơ của động cơ.

Hàm chuyển động quay của động cơ được viết như sau:

$$J\dot{\omega} = T - T_L \quad (24)$$

Từ (8) ta có:

$$\dot{\omega} = \frac{T}{J} - \frac{T_L}{J} = \frac{2K_T i_q}{J} - \frac{T_L}{J} \quad (25)$$

Giả sử tốc độ mong muốn là ω_{Ref}

$$e_\omega = \omega_{Ref} - \omega \quad (26)$$

Chọn mặt trượt như sau:

$$s(t) = \dot{e}_\omega(t) + \lambda_3 e_\omega(t) + \lambda_4 \int_0^t e_\omega(\tau) d(\tau)$$

$$\dot{s}(t) = \ddot{e}_\omega(t) + \lambda_3 \dot{e}_\omega(t) + \lambda_4 e_\omega(t) \quad (27)$$

$$= \ddot{\omega}(t) + \lambda_3 (\dot{\omega}_{Ref} - \frac{2K_T i_q}{J} + \frac{T_L}{J}) + \lambda_4 e_\omega(t)$$

với λ_3 và λ_4 là hằng số dương và bộ điều khiển cần làm cho $s(t)$ tiến đến 0. Chọn hàm V xác định dương:

$$V(s) = \frac{1}{2}s^2 \quad (28)$$

Theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov, để hệ ổn định tiệm cận thì $\dot{V} < 0$ hay: $\dot{V} = s(t) \cdot \dot{s}(t) < 0$

Do đó ta chọn: $\dot{s}(t) = -k_\omega \cdot \text{sign}(s(t)) - \eta_\omega s(t)$ với k_ω, η_ω là hằng số dương chọn trước.

Ta có tín hiệu đầu ra dòng điện như sau:

$$i_q = \frac{J}{2k_T} \left[\frac{k_\omega \text{sign}(s) + \eta_\omega s + \omega_{ref}'' - \dot{\omega}}{\lambda_3} + \frac{T_L}{J} + \omega_{ref}' + \frac{\lambda_4(\omega_{ref} - \omega)}{\lambda_3} \right] \quad (29)$$

Thay (29) vào (27) được:

$$\dot{s}(t) = -k_\omega \cdot \text{sign}(s(t)) - \eta_\omega s(t) + \frac{T_L}{J}$$

$$\text{Chọn } k_\omega > \frac{T_L}{J}$$

$$\text{Khi } s(t) < 0, \dot{V} = s \cdot \dot{s} = s(k_\omega - \eta_\omega s + \frac{T_L}{J}) < 0$$

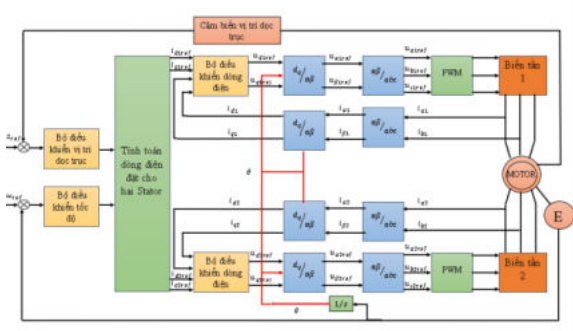
$$\text{Khi } s(t) > 0, \dot{V} = s \cdot \dot{s} = s(-k_\omega - \eta_\omega s + \frac{T_L}{J}) < 0$$

Thỏa mãn Lyapunov.

4. Mô phỏng và kết quả

Động cơ có các thông số cơ bản như sau: khối lượng rotor 0,235 kg, momen quán tính 0,000086 kg.m²; điện trở stator 2,6 Ω; từ thông móc vòng λ_m

= 0,0126 Wb, $L'_{sq0} = 9,6 \cdot 10^{-6} Hm$, $L'_{sd0} = 8,2 \cdot 10^{-6} Hm$, $L'_{sl} = 6 \cdot 10^{-3} H$, khe hở không khí $g = 1,7$ mm. Tiến hành mô phỏng cấu trúc này trên phần mềm Matlab- Simulink ta thu được những kết quả sau.

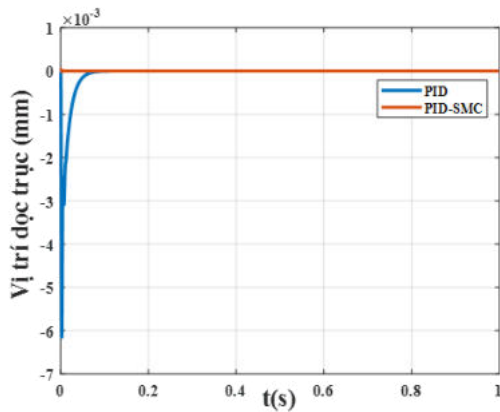


Hình 3: Cấu trúc điều khiển động cơ

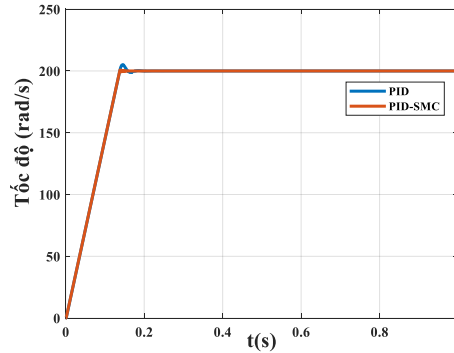
Quá trình mô phỏng sẽ so sánh kết quả của hai bộ điều khiển: bộ điều khiển PID thông thường và bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID trên đối tượng động cơ TTKHDT.

Trường hợp làm việc không chịu tác động của tải lực dọc trục và momen tải.

Hình 4 cho thấy thời gian xác lập của bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID là 0.07s còn với bộ điều khiển PID là 0.14s. Đồng thời đồ thị Hình 5 cho ta thấy đáp ứng tốc độ bám theo giá trị đặt gồm bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID là 0.09s và bộ điều khiển PID là 0,13 với độ quá điều chỉnh của bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID và bộ PID thông thường lần lượt là 0.6% và 3.3%.

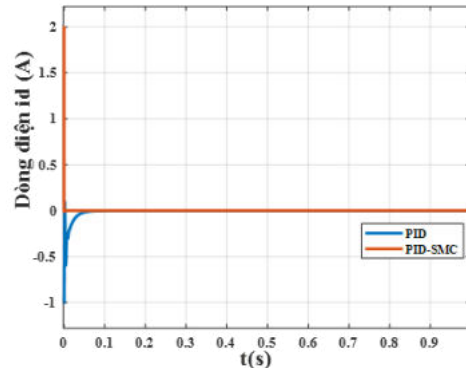


Hình 4: Vị trí dọc trục khi không có tác động của nhiễu tải

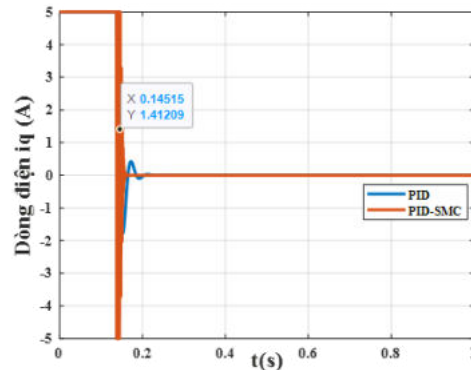


Hình 5: Tốc độ động cơ khi không có tác động của nhiễu tải

Hình 6 và Hình 7 cho biết đáp ứng hai thành phần dòng điện trên hệ tọa độ dq . Khi động cơ chạy ổn định cả về vị trí lẫn tốc độ khi không có tải và momen tác động dòng điện i_d và i_q được điều chỉnh duy trì ổn định bằng 0 với thời gian xác lập của bộ điều khiển trượt kiểu PID nhanh hơn so với bộ PID thông thường.



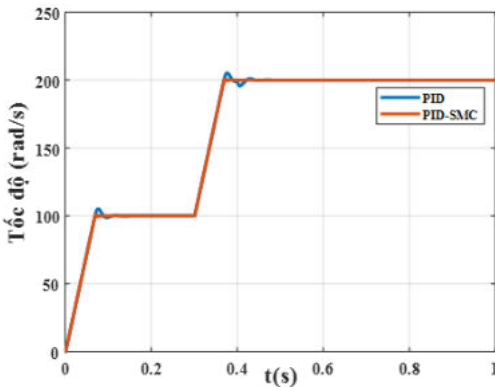
Hình 6: Dòng điện I_d khi không có tác động của nhiễu và momen tải



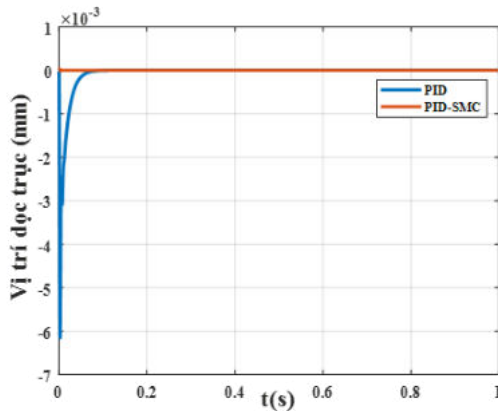
Hình 7: Dòng điện I_q khi không có tác động của nhiễu và momen tải

Trường hợp khi thay đổi giá trị đặt tốc độ.

Hình 8 và Hình 9 cho thấy kết quả đáp ứng tốc độ và vị trí dọc trục khi thay đổi giá trị đặt tốc độ động cơ từ 100 rad/s lên 200 rad/s. Đồ thị kết quả cho thấy ở bộ điều khiển trượt kiểu PID, tốc độ động cơ tăng từ 0 lên 100 rad/s sau khoảng 0.08 s. Và động cơ tăng từ 100 rad/s lên 200 rad/s với thời gian 0.09s và độ quá điều chỉnh gần như bằng 0. Còn với bộ điều khiển PID ta thấy động cơ tăng từ 0 lên 100 rad/s sau khoảng 0.14 s và động cơ tăng từ 100 rad/s lên 200 rad/s với thời gian 0.16s đồng thời độ quá điều chỉnh 3.3%. Đồng thời vị trí dọc trục không thay đổi khi điều chỉnh thay đổi tốc độ, dòng điện i_q đóng vai trò làm gia tốc khi tốc độ được điều chỉnh.



Hình 8: Đáp ứng tốc độ khi thay đổi tốc độ đặt



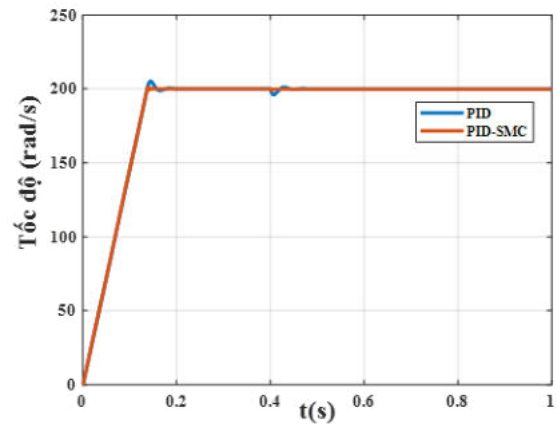
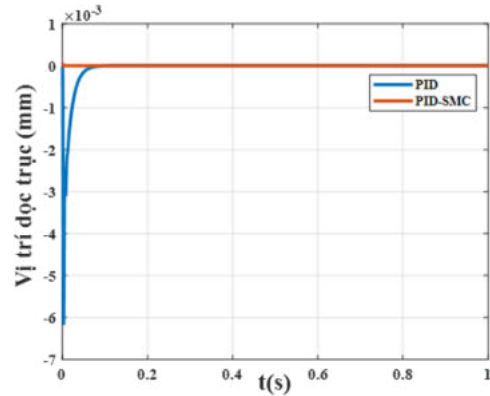
Hình 9: Đáp ứng vị trí khi thay đổi tốc độ đặt

Trường hợp xuất hiện momen tải tại 0.4s

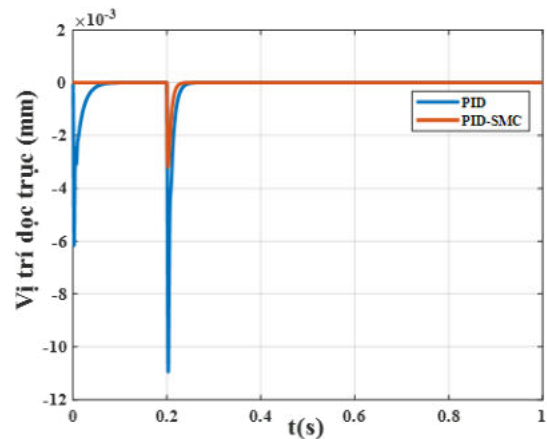
Khi ta lắp thêm moment tải vào động cơ tại thời điểm 0.4s lúc này thời gian xác lập của bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID là 0.07s còn với bộ điều khiển PID là 0.13s còn vị trí dọc trục không bị ảnh hưởng nhiều (Hình 10a).

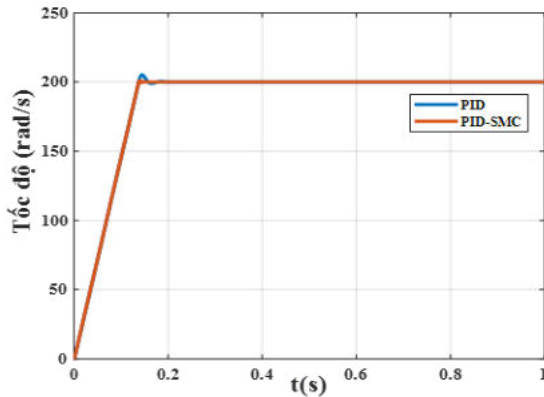
Trường hợp khi xuất hiện lực tải dọc trục tại 0,2s

Hình 10b cho ta thấy vào thời điểm 0.2s có lực tác động lúc này thời gian xác lập của bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID là 0.1s còn với bộ điều khiển PID là 0.15s, tốc độ động cơ thay đổi không đáng kể.

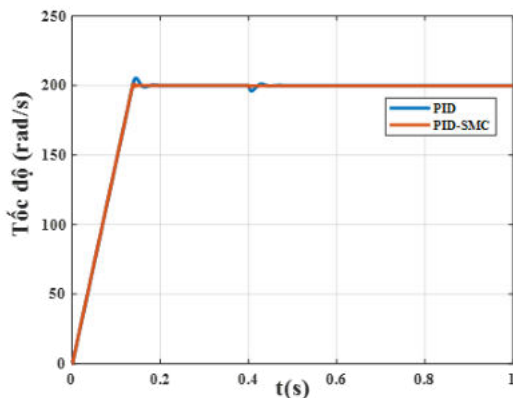
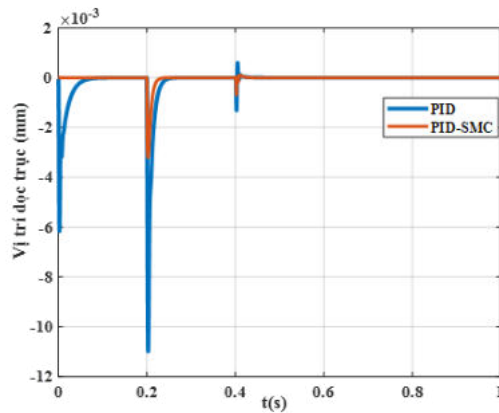


Hình 10a: Đáp ứng vị trí dọc trục và tốc độ khi có momen tải tác động





Hình 10b: Đáp ứng vị trí dọc trục và tốc độ khi có lực tác động.

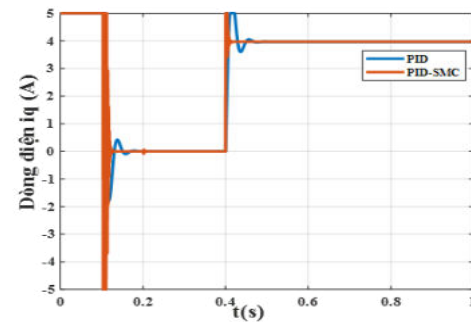
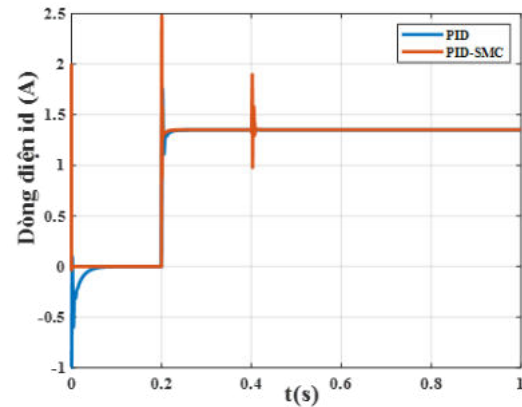


Hình 11a: Đáp ứng vị trí dọc trục và tốc độ khi có momen tải và lực tác động.

Trường hợp xuất hiện cả momen tải và lực dọc trục.

Khi ta cho lực tác động và momen tải vào động cơ lần lượt tại thời điểm 0.2s và 0.4s. Ta thấy thời gian xác lập và độ quá điều chỉnh của động cơ sử dụng bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID

tốt hơn so với bộ điều khiển PID thông thường (Hình 11a). Đồng thời ta nhận thấy rằng tại đồ thị Hình 11b, dòng điện i_d và i_q của bộ điều khiển trượt kiểu PID ổn định nhanh hơn so với bộ PID thường nhưng giao động lớn hơn so với bộ PID thường khi động cơ chịu sự tác động của lực dọc trục và momen tải.



Hình 11b: Đáp ứng dòng điện i_d và i_q khi có momen tải và lực tác động

5. Kết luận

Bài báo trình bày phương pháp điều khiển trượt có mặt trượt kiểu PID áp dụng vào điều khiển mạch vòng vị trí dọc trục và điều khiển tốc độ cho động cơ ổ từ khe hở dọc trục. Các tín hiệu điều khiển được thiết kế bền vững trước sự ảnh hưởng của các thành phần bất định của động cơ, vốn làm giảm chất lượng đáp ứng điều khiển. Kết quả mô phỏng đã cho ta thấy rõ đc bộ điều khiển trượt với hàm trượt kiểu PID có tính vượt trội và ổn định hơn hẳn so với bộ điều khiển PID thông thường. Tuy nhiên, để nâng cao sự chính xác hơn nữa thì cần kết hợp với các bộ quan sát nhiễu trạng thái cho hệ thống.

Lời cảm ơn

Bài báo này được hỗ trợ bởi Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội theo quyết định số 1213/QĐ-ĐHCN ngày 20-9-2023.

Tài liệu tham khảo

- [1] D. N. Q. U. S, "Salient Pole Permanent Magnet Axial-Gap Self-Bearing Motor," *Magnetic Bearings, Theory and Applications*, p. pp. 61–83, 2010.
- [2] S. M. a. M. M. F. M. Zaihidee, "Application of Fractional Order Sliding Mode Control for Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor," *IEEE Access (Volume: 7)*, pp. vol. 7, pp. 101765–101774, 2019.
- [3] S. L. a. Z. Z. H. Wang, "Design and implementation of chattering free sliding mode control method for PMSM speed regulation system," *2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pp. vol. 2015-June, no. June, pp. 2069–2074, 2015.
- [4] B. S. J. K. Hedrick, "Dynamic Surface Control of Uncertain Nonlinear Systems", *Springer*, May 18th, 2011
- [5] M. D. S. X. a. D. H. L. Feng, "Speed Regulation for PMSM Drives Based on a Novel Sliding Mode Controller," *IEEE Access (Volume: 8)*, pp. vol. 8, pp. 63577–63584, 2020.
- [6] D. W. N. a. T. A. Lipo, "Vector Control and Dynamics of {AC} Drives", *Clarendon Press*, September 26, 1996.
- [7] N. a. S. U. Q. Dich, "Axial position and speed vector control of the inset permanent magnet axial gap type self bearing motor," *2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, p. pp. 130–135, 2009.
- [8] G. F. H. B. K. J. T. D. M. V. a. X. Z. T. D. Nguyen, "Modeling and position-sensorless control of a dual-airgap axial flux permanent magnet machine for flywheel energy storage systems," *Journal of Power Electronic*, pp. vol. 12, no. 5, pp. 758–768, 2012
- [9] N. Tùng, "Ổ định tốc độ động cơ đồng bộ từ trường dọc trục sử dụng điều khiển trượt" *Tạp chí khoa học công nghệ 52*, 2019.
- [10] Q. D. N. a. S. Ueno, "Analysis and control of nonsalient permanent magnet axial gap self-bearing motor," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. vol. 58, no. 7, pp. 2644 –2652, 2011
- [11] Q. N. a. S. Ueno, "Salient pole permanent magnet axial-gap self-bearing motor," *Magnetics Bearings, Theory and Applications*, 2009.
- [12] S. Ye, "Design and performance analysis of an iterative flux sliding-mode observer for the sensorless control of PMSM drives," *ISA transactions*, pp. vol. 94, pp. 255–264, 2019.
- [13] K. J. T. S. Z. a. H. T. N. T. D. Nguyen, "A novel axial flux permanent-magnet machine for flywheel energy storage system: Design and analysis" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. vol. 58, no. 9, pp 3784–3794, 2011.
- [14] G. F. K. J. T. a. D. M. V. T. D. Nguyen, "Modeling and sensorless direct torque and flux control of a dual-airgap axial flux permanent-magnet machine with field-weakening operation," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, pp. vol. 19, no. 2, pp. 412–422, 20

THIẾT BỊ THU THẬP DỮ LIỆU TRONG CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH

Đào Hiếu ^{1,*}, Đặng Văn Chí ², Khổng Cao Phong ³, Uông Quang Tuyền ⁴

¹ Khoa Cơ – Điện, Trường đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, E-mails : daohieu@humg.edu.vn;

² Khoa Cơ – Điện, Trường đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, E-mails : dangvanchi@humg.edu.vn;

³ Khoa Cơ – Điện, Trường đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, E-mails : khongcaophong@humg.edu.vn;

⁴ Khoa Cơ – Điện, Trường đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, E-mails : uongquangtuyen@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Ngày nay, các hệ thống điều khiển thông minh hay trí tuệ nhân tạo đã không còn là khái niệm. Chúng đã xuất hiện và tác động đến hầu hết mọi lĩnh vực trong đời sống hàng ngày của con người cũng như sản xuất công nghiệp. Khả năng thích nghi và đáp ứng tối ưu với các yêu cầu điều khiển là lý do của sự phát triển bùng nổ đó. Hiệu quả mang đến là vô cùng to lớn. Vậy, cơ sở của khả năng tối ưu đáp ứng đó là gì? - Là dữ liệu. Dữ liệu là kiến thức của các hệ thống điều khiển thông minh. Dữ liệu càng lớn, kiến thức càng nhiều. Trong bài báo này, các tác giả giới thiệu về thiết bị thu thập dữ liệu trong các hệ thống điều khiển thông minh. Cấu trúc, thành phần cấu tạo, nguyên tắc hoạt động và phương án thiết kế, xây dựng sẽ được trình bày chi tiết qua quá trình xây dựng thử nghiệm thiết bị thu thập dữ liệu nhiệt độ, độ ẩm môi trường và tốc độ gió trong điều kiện phòng thí nghiệm.

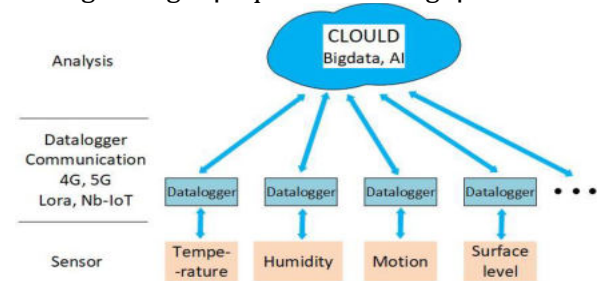
Từ khóa: Thiết bị thu thập dữ liệu, Datalogger, Hệ thống điều khiển thông minh, Trí tuệ nhân tạo, AI, Smart Controller.

1. Mở đầu

Hiện nay, trí tuệ nhân tạo (AI - Artificial Intelligence) là một trong những tiêu chí để đánh giá khả năng, mức độ thông minh của một hệ thống điều khiển. Thực tế sản xuất, nhu cầu của con người đang tạo ra các yêu cầu, tiêu chí ngày một cao hơn với các dây chuyền sản xuất, thiết bị sinh hoạt, Điều này dẫn tới vai trò ngày một lớn hơn của AI.

Cũng giống như trí tuệ của con người, AI hoạt động dựa trên một cơ sở dữ liệu có vai trò như là kiến thức của nó. Cùng với thuật toán xử lý, chọn lọc và phân tích, AI trở nên thông minh hơn khi cơ sở dữ liệu của nó càng lớn, càng đầy đủ và chi tiết. Trong không gian mạng, các thông tin được thu thập qua những thao tác, quá trình sử dụng internet của người dùng. Còn trong các hệ thống công nghiệp và môi trường, cần có những thiết bị làm nhiệm vụ thu thập dữ liệu, trạng thái hệ thống trong quá trình làm việc. Nhờ đó, AI có thể thực hiện những giải pháp điều khiển tối ưu. Điều đó có nghĩa là, những thiết bị thu thập dữ liệu, cơ sở dữ liệu và thuật toán là những thành phần cơ bản tạo

nên AI, và con người đang từng bước được tận hưởng những hiệu quả mà AI mang lại.



Hình 1. Cấu trúc hệ thống AI

Thu thập dữ liệu là cái gốc tạo nên hiệu quả làm việc cho AI. Thật vậy, vì ngay cả với các hệ thống chưa được áp dụng AI, công việc này vẫn là vô cùng quan trọng, bởi khi đó, con người chính là đối tượng làm thay công việc của AI. Có nghĩa là, xây dựng hệ thống thu thập và lưu trữ dữ liệu chính là tiền đề, bước đệm, cơ sở để bất cứ một hệ thống điều khiển nào đó tiến tới áp dụng AI. Trong nhiều tình huống, thông tin mà cơ sở dữ liệu chứa đựng chính là cơ sở để thiết kế, xây dựng các hệ thống, dây chuyền công nghiệp.

Với vai trò vô cùng quan trọng đó, ở Việt Nam, các thiết bị thu thập dữ liệu cũng đã và đang được phát triển và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Về môi trường, khí hậu có thể kể tới như hệ thống đo chất lượng không khí PAM Air (hình 2a), hệ thống đo mưa Vrain (hình 2b). Hàng nghìn trạm PAM Air trên cả nước phục vụ yêu cầu giám sát nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ bụi (pamair.org). Tương tự, cũng có hàng nghìn trạm Vrain khắp 63 tỉnh thành phục vụ nhu cầu điều tiết nước thủy lợi, hồ chứa, thủy điện và cảnh báo thiên tai (vrain.vn). Trong công nghiệp, các hệ thống giám sát khí metan trong lò khai thác khoáng sản có vai trò vô cùng quan trọng trong đảm bảo độ an toàn khai thác (vinacom.vn); các hệ thống giám sát nhiệt độ, vận tốc, ... nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm là thành phần không thể thiếu trong các dây chuyền tự động.



a. Trạm đo chất lượng không khí PAM Air



b. Trạm đo lượng mưa Vrain

Hình 2. Trạm đo (quan trắc) thông số môi trường

Trong bài báo này, các tác giả giới thiệu một giải pháp thiết kế, xây dựng thiết bị thu thập dữ liệu (còn gọi là Datalogger) có thể sử dụng trong phạm vi nhà kho, nhà xưởng cho đến những phạm vi rộng lớn không giới hạn. Để đáp ứng tiêu chí đó, thiết bị phải có đạt được một số yêu cầu sau:

- Hoạt động không phụ thuộc nguồn điện lưới để có thể lắp đặt ở khu vực hẻo lánh
- Hoạt động ổn định
- Kết nối được nhiều loại cảm biến khác nhau cho phép thiết bị có thể ứng dụng trong nhiều bài toán, yêu cầu, hệ thống khác nhau.
- Có thể lưu trữ dữ liệu tại chỗ và tại cơ sở dữ liệu chung trên Cloud.
- Vừa có khả năng kết nối thành hệ thống, vừa có khả năng làm việc độc lập.

2. Xây dựng cấu trúc thiết bị datalogger

Với các yêu cầu được đặt ra, từng vấn đề cần được xác định và lựa chọn giải pháp phù hợp. Cụ thể:

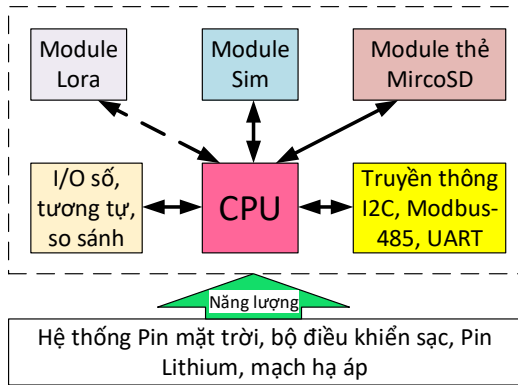
Để thiết bị hoạt động không phụ thuộc vào nguồn điện lưới, nguồn năng lượng sẽ được cung cấp bởi mặt trời và hệ thống tích trữ năng lượng để sử dụng vào ban đêm. Như vậy, bộ phận cung cấp năng lượng sẽ phải gồm pin mặt trời, ắc quy hoặc pin lithium và một bộ điều khiển sạc.

Việc kết nối được nhiều loại cảm biến khác nhau cho phép mở rộng đối tượng ứng dụng của thiết bị. Điều đó đòi hỏi bộ điều khiển trung tâm (CPU) của hệ thống phải có nhiều khả năng kết nối thông tin. Các chuẩn tín hiệu của cảm biến đo tập trung ở một số dạng mang tính quy chuẩn như dạng số, dạng tương tự, và một số kiểu truyền thông. Cùng với yêu cầu về sự ổn định, CPU của hệ thống sẽ là một vi điều khiển đã khẳng định được chất lượng, hoạt động bền bỉ và có nhiều giải pháp kết nối thông tin.

Dữ liệu đo có thể được lưu trữ trên Cloud. Tức là, thiết bị phải có khả năng kết nối mạng internet. Để thiết bị hoạt động độc lập, cho phép lắp đặt ở nơi hẻo lánh, giải pháp kết nối internet duy nhất là sử dụng hạ tầng mạng điện thoại di động. Như vậy, thiết bị sẽ có bộ phận giao tiếp Sim điện thoại.

Kết nối internet qua Sim di động giúp thiết bị có khả năng làm việc độc lập mà dữ liệu vẫn được lưu trữ một cách hệ thống. Tính năng này phù hợp khi đối tượng đo nằm trên diện tích rộng, không giới hạn không gian. Trong các trường hợp khác, khu vực quan trắc nhỏ, ví dụ như kho chứa, nhà xưởng, sự làm việc độc lập của các datalogger là không phù hợp. Lúc này, các datalogger sẽ liên kết với nhau tạo thành một mạng đo dữ liệu, và chỉ có 1 datalogger trong mạng đó có thể kết nối internet để gửi dữ liệu chung lên Cloud. Yêu cầu này dẫn tới, thiết bị sẽ có thành phần để kết nối mạng trực tiếp các datalogger với nhau. Việc kết nối này nên là không dây để đảm bảo tính linh hoạt của hệ thống trong lắp đặt.

Trên cơ sở những phân tích đó, thiết bị datalogger có sơ đồ khối cấu trúc như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối cấu trúc thiết bị datalogger

3. Xây dựng thiết bị thử nghiệm

3.1. Xây dựng cấu trúc phần cứng

Từ cấu trúc datalogger xác định được, các tác giả thực hiện xây dựng thiết bị thử nghiệm đáp ứng yêu cầu bài toán đã đặt ra. Các thành phần được lựa chọn cho thiết bị thử nghiệm gồm:

Vi điều khiển PIC18f46k22 được lựa chọn làm CPU cho thiết bị thử nghiệm bởi khả năng hoạt động bền bỉ và ổn định cũng những tính năng sẵn có như:

64 kilo Byte bộ nhớ Flash cho phép lưu trữ các chương trình điều khiển lớn, phức tạp; kích thước Ram lớn lên tới 3896 Byte và 1kilo Byte bộ nhớ EEPROM cho phép lưu trữ các đầy đủ các thông tin cài đặt hệ thống mà không cần thẻ nhớ ngoài;

36 cổng I/O đa chức năng, trong đó có tới 30 kênh chuyển đổi tương tự - số 10 bit cho phép đọc tín hiệu tương tự; 6 khối truyền thông chia đều cho 3 chuẩn SPI, I2C và EUSART. Ngoài ra các I/O cũng cho phép thiết lập không giới các giao diện truyền thông UART mềm một cách tùy ý. Những thông số này cho phép khả năng thiết kế linh hoạt các I/O cho datalogger đáp ứng đầy đủ yêu cầu về khả năng giao tiếp với các loại cảm biến, các module chức năng khác nhau (Microchip.com).

Module Lora 100mW được lựa chọn để giải quyết bài toán kết nối các thiết bị thành một mạng lưới quan trắc. Truyền thông Lora là giao thức truyền thông không dây, có khoảng cách truyền xa ở công suất thấp, tiêu thụ ít năng lượng nên rất phù hợp với thiết bị sử dụng năng lượng từ pin. Công suất 100mW cho phép module truyền tín hiệu với khoảng cách lên tới 3km trong điều kiện không vật cản, do đó, đảm bảo kết nối tín hiệu giữa các trạm

với nhau trong phạm vi nhà xưởng hoặc kho hàng. Module Lora giao tiếp với CPU qua giao thức truyền thông UART cho phép việc kết nối trở nên linh hoạt và đơn giản.

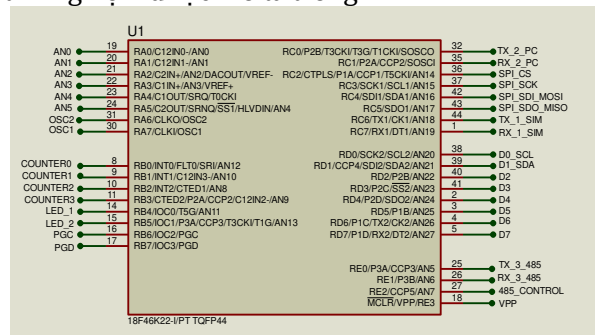
Để kết nối mạng, thử nghiệm sử dụng Module Sim 4G A7670C thay vì các module sim phổ thông khác như 800 hay 900. Điều này là do các module sim kiểu cũ sử dụng băng tần 2G là băng tần sẽ không còn được các nhà mạng di động cung cấp trong tương lai. Vấn đề này đang dẫn tới các thiết bị datalogger kiểu cũ sẽ được thay thế hàng loạt để đảm bảo khả năng kết nối. Thiết bị thử nghiệm lựa chọn phương thức giao tiếp giữa CPU với A7670C qua truyền thông UART tương tự như module Lora để không bị phụ thuộc và các module phần cứng sẵn có của CPU (Simcom.com).

Module thẻ nhớ MicroSD cho phép CPU lưu trữ tại chỗ dữ liệu thu thập được. Các file lưu trữ được định dạng dưới dạng file text (.txt) nên có kích thước nhỏ. Với khả năng giao tiếp với thẻ lên tới 32 Gbyte, lượng dữ liệu có thể lưu trữ được ở trong thẻ là rất lớn, trong thời gian dài. Module thẻ nhớ sử dụng giao thức SPI để giao tiếp với CPU.

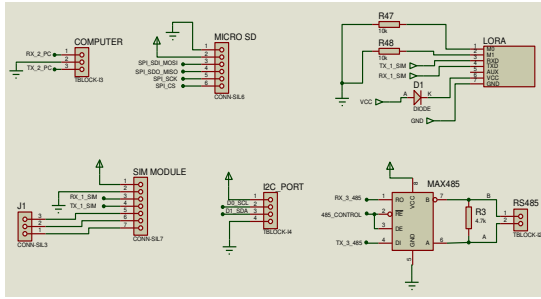
Ngoài ra, để tiện theo dõi trạng thái hệ thống trong quá trình thử nghiệm, các tác giả thiết kế một cổng giao tiếp giữa thiết bị với máy tính qua giao thức RS232 - UART.

Hệ thống cung cấp năng lượng cho hoạt động của thiết bị bao gồm: Pin mặt trời, bộ điều khiển sạc và pin Lithium. Các IC ổn áp LM1117-5V được sử dụng để hạ mức điện áp từ 12VDC của pin Lithium xuống 5Vdc cung cấp năng lượng cho CPU và các module làm việc.

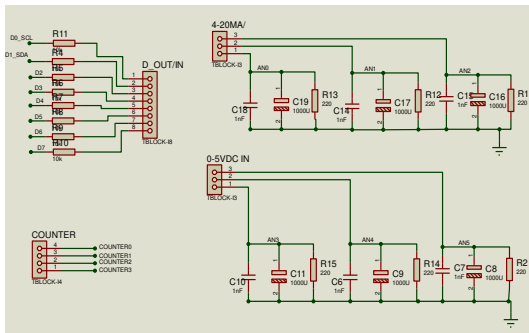
Với những lựa chọn đó, sơ đồ mạch thiết kế thiết bị thử nghiệm được mô tả trong hình 4.



a. Pic18f46k22 được sử dụng làm CPU



b. Các cổng giao tiếp Máy tính, Module Sim, Lora, MicroSD và Các cổng truyền thông I2C, 485-Modbus

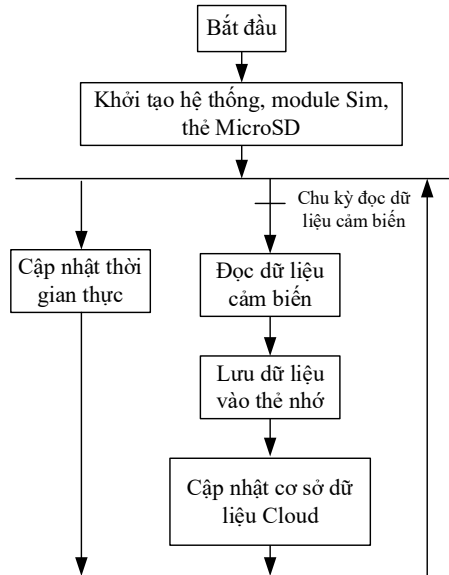


c. Các I/O số, tương tự và bộ đếm Counter
Hình 4. Sơ đồ mạch nguyên lý thiết bị datalogger thử nghiệm

3.2. Thiết kế phần mềm

Cơ chế hoạt động của thiết bị là đọc các dữ liệu từ cảm biến qua các kết nối I/O hoặc kết nối truyền thông theo một chu kỳ thời gian đặt trước. Sau đó, các dữ liệu này được lưu vào thẻ nhớ tại chỗ với các thông tin bổ sung gồm ngày, tháng, năm, giờ, phút, giây đọc dữ liệu. Đồng thời, dữ liệu sẽ được gửi đi qua module Sim khi hoạt động độc lập, hoặc gửi qua module Lora khi thiết bị là một thành viên trong mạng quan trắc. Ở chế độ này, về phần cứng, CPU của thiết bị chỉ kết nối với 1 trong hai module Sim hoặc Lora. Trường hợp thiết bị đóng vai trò Master trong mạng quan trắc là khi thiết bị chỉ có nhiệm vụ tập hợp dữ liệu từ các thành viên trong mạng qua module Lora, sau đó lưu trữ vào thẻ nhớ đồng thời gửi lên Cloud. Ở trường hợp này, CPU của thiết bị kết nối với cả 2 module Sim và Lora nhưng lại không kết nối với cảm biến. Với mục tiêu ban đầu là xây dựng thiết bị thu thập dữ liệu, các tác giả chỉ thực hiện xây dựng chương trình thử nghiệm ở chế độ có đọc dữ liệu cảm biến. Ở chế độ Master, nhiệm vụ của thiết bị đơn giản hơn nhiều.

Giản đồ trạng thái hệ thống được mô tả trên hình 5.



Hình 5. Giản đồ các trạng thái của hệ thống

Với công nghệ hiện nay, việc kết nối mạng để gửi dữ liệu lên Cloud sử dụng 3 phương thức phổ biến là HTTP, FTP hay MQTT. Trong thử nghiệm này, các tác giả sử dụng phương pháp giao tiếp với module Sim qua tập lệnh AT, các đoạn lệnh gửi dữ liệu được mô tả trong Hình 6.

```

AT+SAPBR=3,1,"CONTYPE","GPRS"
OK
AT+SAPBR=1,1
OK
AT+SAPBR=2,1
+SAPBR: 1,1,"21.66.182.134"
OK
AT+HTTPIPINIT
OK
AT+HTTTPARA="CID",1
OK
AT+HTTTPARA="URL","supan.xyz/api/dataprocess"
OK
AT+HTTTPDATA=40,10000
DOWNLOAD
OK
|AT+HTTTPACTION=1
OK
+HTTTPACTION: 1,200,42
AT+HTTPTERM
OK
AT+SAPBR=0,1
OK
    
```

```
a) Giao thức HTTP
AT+CFTPSSTART
OK
+CFTPSSTART: 0
AT+CFTPSLOGIN="apict0106.xyz"
      |,21,"dhieu","F78^mfg73",0
OK
+CFTPSLOGIN: 0
AT+CFTPSPWD
OK
+CFTPSPWD: "/"
AT+CFTPSPUT="Hieu1.txt",10
>
Hello Hieu
OK
+CFTPSPUT: 0
AT+CFTPSLOGOUT
OK
+CFTPSLOGOUT: 0
AT+CFTPSSTOP
OK
+CFTPSSTOP: 0
```

```
b) Giao thức FTP
+CMQTTSTART: 0
AT+CMQTTACCQ=0,"hieudao/1"
OK
AT+CMQTTCONNECT=0,"apict0106.xyz",80,1
OK
+CMQTTCONNECT: 1,0
AT+CMQTTSUBTOPIC=0,9,1
>
hieudao/test
OK
AT+CMQTTSUB=0,4,1,1
=>If successfully:
>
hieudao
OK
AT+CMQTTTOPIC=0,8
>
test1
OK
AT+CMQTTPAYLOAD=0,1
>
<du_lieu_cam_bien>
OK
AT+CMQTTTTPUB=0,1,60
OK
```

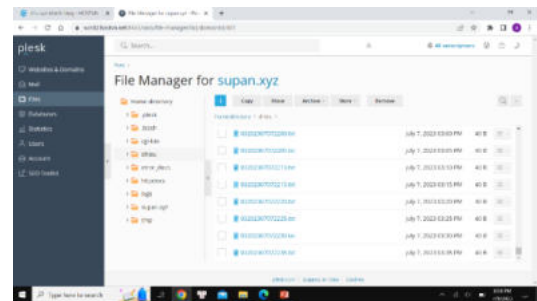
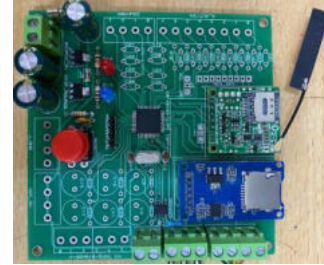
c) Giao thức MQTT

Hình 6. Các đoạn lệnh gửi dữ liệu lên Cloud theo các giao thức HTTP, FTP và MQTT

4. Kết quả thiết kế và thử nghiệm

Trên mạch thử nghiệm (hình 7), các tác giả mới chỉ thực hiện kết nối cảm biến qua hai kênh truyền

thông là I2C với cảm biến nhiệt độ, độ ẩm SHT30 và truyền thông Modbus – 485 với cảm biến tốc độ gió VMS-3000-FSJT-N01. Đồng thời sử dụng truyền thông UART để truyền thông tin hệ thống về máy tính. Các module được kết nối gồm module thẻ nhớ MicroSD và module Sim A7670C.



Hình 7. Thiết bị thử nghiệm và Các dữ liệu lưu trữ trên Cloud

Dữ liệu lưu trữ trên Cloud theo từng file với tên file được quy định theo cấu trúc gồm 6 thành phần viết liền tiếp là mã trạm, năm, tháng, ngày, giờ, phút. Dữ liệu cập nhật theo chu kỳ 5 phút một lần.

Kết quả thử nghiệm cho thấy, thiết bị hoạt động rất ổn định, dữ liệu cập nhật đều đặn khi cường độ sóng di động ổn định. Khi thiết bị trong quá trình cập nhật dữ liệu lên Cloud, nếu xảy ra hiện tượng mất sóng dẫn đến mất kết nối có thể làm treo module Sim. Khi đó module Sim cần được khởi động lại. Do đó, trước khi cập nhật dữ liệu, cần thực hiện kiểm tra cường độ sóng (cường độ tín hiệu). Thử nghiệm cho thấy, khi cường độ sóng đo được có giá trị từ 5 trở lên và ổn định, dữ liệu dễ dàng được cập nhật. Ở điều kiện sóng di động tốt, giá trị này thường ở mức trên 15.

Việc sử dụng các giao thức HTTP, FTP hay MQTT để cập nhật dữ liệu lên Cloud về bản chất là tương tự như nhau với quá trình gửi đi một chuỗi các ký tự. Các module Sim hỗ trợ một cách đầy đủ các tập lệnh AT để thực hiện các kiểu giao thức này. Ở thử nghiệm này, các tác giả mới chỉ dừng lại ở các giao tiếp một chiều theo hướng từ thiết bị về Cloud. Lý

do là, thực tế, các datalogger trong công nghiệp và môi trường thường hoạt động độc lập. Tuy nhiên, trong nhiều tình huống việc gửi thông tin theo chiều ngược lại (gửi lệnh điều khiển từ server xuống thiết bị) cũng khá cần thiết. Cụ thể, các tín hiệu như : khởi động lại hệ thống từ xa, hoặc thay đổi chu kỳ cập nhật dữ liệu từ xa.... Với yêu cầu đó, chỉ có giao thức MQTT là thực hiện được và các module Sim cũng hỗ trợ tập lệnh AT để thực hiện được công việc này.

5. Kết luận

Quá trình xác định cấu trúc, chế tạo thiết bị thử nghiệm cho thấy:

Xây dựng thiết bị datalogger cho các bài toán thu thập dữ liệu không phải là vấn đề quá phức tạp. Các thiết bị datalogger đã và đang được xây dựng, phát triển một cách chủ động bằng thiết bị và kỹ thuật trong nước là tiền đề cho quá trình phát triển và ứng dụng kỹ thuật điều khiển hiện đại trong sản xuất.

Với sự phát triển của mạng internet, các ứng dụng IoT đang phát triển một cách chóng mặt và

thâm nhập vào các quy trình sản xuất và trở thành xu thế tất yếu của mọi hệ thống điều khiển. Nhiều công ty, tập đoàn lớn trong nước cũng đã xây dựng những kế hoạch rõ ràng, chiến lược sản xuất, kinh doanh tập trung vào các hệ thống thu thập dữ liệu, cơ sở hạ tầng lưu trữ dữ liệu (big data) phục vụ nhu cầu của sản xuất. Đó sẽ là động lực thúc đẩy sự phát triển và lớn mạnh của nền công nghiệp Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

* Website:

<https://pamair.org/ve-pam-air/>

<https://vrain.vn/landing>

[https://vinacomin.vn/tin-trong-nuoc/che-
tao-thanh-cong-he-thong-giam-sat-khi-me-tan-
tu-dong-8246.htm](https://vinacomin.vn/tin-trong-nuoc/che-tao-thanh-cong-he-thong-giam-sat-khi-me-tan-tu-dong-8246.htm) Simcom, A7670 Series_AT
command Manual (pdf)

[https://nostris.ee/pdf/A7670%20Series%20Ha-
rdware%20Design_V1.00.pdf](https://nostris.ee/pdf/A7670%20Series%20Hardware%20Design_V1.00.pdf)

[https://ww1.microchip.com/downloads/en/De-
viceDoc/40001412G.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf).

HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG HÓA DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT, CHẾ BIẾN CHÈ XANH CHẤT LƯỢNG CAO PHỤC VỤ XUẤT KHẨU

Trình Hải Thái ^{1,*}, Phạm Thị Phương Hoa ¹, Lê Kế Trung ¹, Vũ Hoàng Mạnh ²

¹ Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa, phamphuonghoa2710@gmail.com;

² Công ty cổ phần trà Than Uyên, vuhoangmanhtb@gmail.com ;

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống giám sát điều khiển tự động quá trình sản xuất, chế biến chè xanh sao lãn chất lượng cao phục vụ xuất khẩu. Hệ thống do các chuyên gia trong nước làm chủ thiết kế chế tạo, giá thành thấp hơn (khoảng 50%) so với nhập ngoại đem đến khả năng áp dụng nhân rộng cho nhiều nhà máy khác tại Việt Nam. Đây là hệ thống tự động hóa hoàn chỉnh đầu tiên tại Việt Nam do các chuyên gia trong nước thiết kế chế tạo cho dây sản xuất chế biến chè xanh sao lãn chất lượng cao. Hệ thống tự động hóa có nhiều tính sáng tạo, không sao chép giải pháp của nước ngoài và đạt mục tiêu giảm giá thành, sử dụng các thiết bị thông dụng dễ thay thế, sửa chữa. Sau khi đưa vào ứng dụng thực tế tại công ty cổ phần trà Than Uyên từ tháng 6 năm 2020, hệ thống đã hoạt động ổn định liên tục đến nay. Hệ thống nâng cao độ chính xác điều khiển các thông số công nghệ, đem lại nhiều lợi ích thiết thực cho doanh nghiệp. Hệ thống có giá thành thấp, mức độ tự động hóa cao, có khả năng cạnh tranh tốt với sản phẩm nước ngoài.

Từ khóa: Trạm giám sát điều khiển hiện trường FCS, trạm vận hành OS, trạm lập trình ES

1. Mở đầu

Trước đây Công ty Cổ phần Trà Than Uyên đã có dây chuyền chế biến chè công suất 50 tấn chè tươi/ngày, được điều khiển chủ yếu bằng tay, hệ thống không đồng bộ do chấp vá từ nhiều giai đoạn đầu tư khác nhau. “Trái tim” của dây chuyền là hệ thống lò chè, được điều khiển bằng tay hoàn toàn (H.1) nên chất lượng không đồng đều giữa các mẻ, tốn nhiều nhân công. Các công đoạn quan trọng khác như: xào, sấy, sao lăn, ... điều khiển nhiệt độ bằng cách tắt/bật quạt gió theo ngưỡng nhiệt độ (cao/thấp) nên không ổn định, nhiệt độ dao động lớn (150 oC ...650 oC).



Hình 1. Hệ thống lò chè bằng tay trước dây chuyền

Trên cơ sở khảo sát công nghệ sản xuất chè xanh sao lăn tại Công ty Cổ phần Trà Than Uyên, chúng tôi đã xây dựng giải pháp kỹ thuật, nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống giám sát điều khiển tự động đạt chỉ tiêu kỹ thuật sau:

Dây chuyền gồm 02 module, công suất mỗi module: max 50 tấn chè tươi/ngày/module;

Sản phẩm chè xanh sao lăn đạt các chỉ tiêu chất lượng như sau: TCVN 9740:2013 (ISO 11287:2011); TCVN 3218:2012; đạt tiêu chuẩn xuất khẩu;

Dây chuyền sản xuất chè xanh sao lăn bao gồm các công đoạn:

- Công đoạn bảo quản chè tươi;
- Công đoạn hấp chè;
- Công đoạn làm khô;
- Công đoạn sấy nhẹ;
- Công đoạn vò chè;
- Công đoạn sấy chè;
- Công đoạn sao lăn;
- Công đoạn làm nguội;
- Công đoạn phân loại sản phẩm;
- Công đoạn đấu trộn;
- Công đoạn đóng bao.

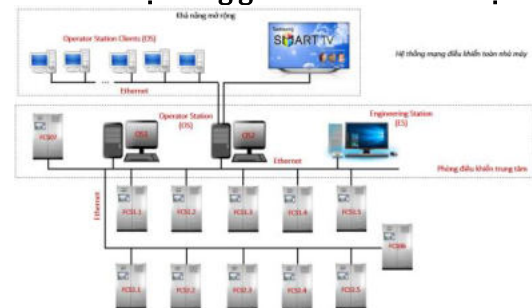
Dây chuyền chia thành hai nhánh (02 module) song song để đảm bảo không bị dừng khi một nhánh hỏng, hoặc sản xuất 50% công suất khi thiếu chè đầu vào.

Theo yêu cầu đặt hàng, hệ thống tự động hóa phải được nghiên cứu thiết kế, chế tạo sao cho:

- Giá thành thấp hơn so với nhập ngoại;
- Mức độ tự động hóa cao tương đương hệ thống của Nhật;
- Thiết bị phổ dụng, rẻ, dễ mua thay thế;
- Hoạt động ổn định, tin cậy, chính xác;
- Độ bền chấp nhận được.

2. Nội dung chính

2.1. Mô hình hệ thống giám sát điều khiển tự động



Hình 2. Mô hình hệ thống giám sát điều khiển tự động

Hệ thống tự động hóa cho dây chuyền sản xuất chè xanh sao lăn có kiến trúc như H.2. Tại cấp điều khiển hiện trường sẽ có các trạm giám sát điều khiển phân tán FCS X.Y (X = 1, 2 là chỉ số module; Y = 1, 2, 3, 4, 5 là chỉ số nhóm công đoạn) cho từng module (nhánh) và FCS6 chung cho cả hai module. Mỗi trạm FCSX.Y sẽ phụ trách giám sát điều khiển một hoặc một số công đoạn bảng sau:

Trạm FCS	Công đoạn giám sát điều khiển
FCS X.1	Công đoạn bảo quản chè tươi và công đoạn hấp chè
FCS X.2	Công đoạn làm khô và công đoạn sấy nhẹ
FCS X.3	Công đoạn vò chè và công đoạn sấy chè
FCS X.4	Công đoạn sao lăn
FCS X.5	Công đoạn làm nguội và công đoạn phân loại sản phẩm
FCS06	Công đoạn đấu trộn và công đoạn đóng bao

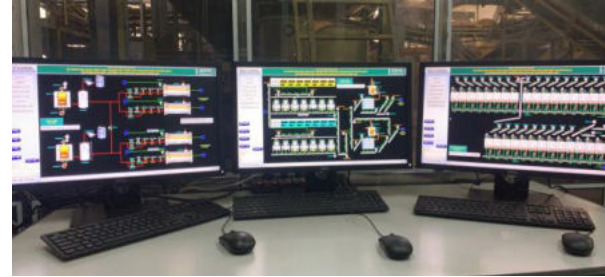
Thiết kế không quá nhiều hoặc quá ít trạm FCS đảm bảo linh hoạt trong triển khai, bố trí các trạm FCS tại hiện trường, tiết kiệm dây, đủ khả năng xử lý của từng trạm, độ tin cậy cao. Tùy thuộc vào từng công đoạn cụ thể mà các trạm FCS có cấu hình tương ứng. Ngoài ra, mỗi trạm FCS có thể kết nối với các tủ điều khiển nhỏ hơn nằm tại mỗi công đoạn để thuận tiện cho việc thao tác.

Các FCS đều cùng nằm trên một mạng LAN nên chúng sẽ giám sát chéo lẫn nhau và chia sẻ dữ liệu để tối ưu hóa hoạt động chung của toàn nhà máy. FCS được chế tạo dựa trên PLC (S7-1200) tiêu chuẩn công nghiệp của SIEMENS. Như vậy đảm bảo tính mở, tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế, đảm bảo độ tin cậy và độ bền cao, dễ dàng và nhanh chóng thay thế, bảo trì.

Căn cứ trên số lượng IO thống kê cho từng công đoạn, căn cứ vào cấu hình các PLC S7-1200 (loại rẻ nhất và thông dụng trên thị trường Việt Nam), căn cứ vào khả năng mở rộng của mỗi loại CPU S7-1200, nhóm thực hiện đã lựa chọn CPU-1214 để sử dụng trong dự án. Đây là một CPU mạnh mức trung bình, giá bán chấp nhận được trong dự án, bộ nhớ đủ dùng, khả năng tính toán đáp ứng được cho các tác vụ điều khiển (thời gian thực hiện mỗi tác vụ thường cỡ hàng giây). Tuy nhiên, riêng đối với công đoạn sao lán, do CPU-1214 hỗ trợ số module mở rộng không đủ dùng nên đã phải sử dụng tới 02 CPU.

Trong dây chuyền sản xuất chè xanh sao lán, hầu hết các công đoạn đều sử dụng nhiều biến tần. Do đó trạm FCS sẽ kết nối với các biến tần qua mạng RS485 để có nhiều thông tin đưa về từ biến tần, tiết kiệm dây, ổn định, dễ thi công hơn so với dùng tín hiệu tương tự.

Tại phòng giám sát điều khiển trung tâm có 03 máy tính (H.3): 02 trạm OS (Operator Station) và 01 trạm ES (Engineering Station). OS là trạm vận hành, ES là trạm thiết kế và lập trình phục vụ công tác bảo trì hệ thống giám sát điều khiển. Trên OS sẽ cài đặt phần mềm giao diện vận hành (HMI). OS sẽ trao đổi dữ liệu (thu thập dữ liệu và ra lệnh điều khiển, cài đặt cấu hình) với các FCS qua mạng LAN. Trên ES sẽ cài đặt các môi trường lập trình, gỡ rối (debug). Hệ thống giám sát điều khiển trung tâm có khả năng mở rộng các trạm OS clients một cách dễ dàng bằng kết nối ethernet.



Hình 3. Phòng giám sát điều khiển trung tâm

2.2. Phần mềm điều khiển PLC

Điều khiển tự động các thiết bị chấp hành tuân thủ theo yêu cầu công nghệ: Dựa trên các dữ liệu đo lường hoặc/và dữ liệu cấu hình đã cài đặt trên PLC để điều khiển tự động các thiết bị chấp hành theo đúng yêu cầu công nghệ. Các chức năng chính gồm có:

- Chế độ điều khiển: Điều khiển tự động / Điều khiển tay;
- Tự động nhận dạng đối tượng điều khiển trên cơ sở thuật toán tự phát triển;
- Tự động cài đặt tham số cho bộ điều khiển trên cơ sở thuật toán tự phát triển;
- Điều khiển các vòng loop (khoảng 40 vòng PID);
- Điều khiển theo chuỗi trình tự;
- Điều khiển logic;
- Điều khiển bảo vệ;
- Điều khiển khởi động;
- Điều khiển dừng;
- Báo động còi, đèn;

Điều khiển bán tự động: Trong trường hợp cảm biến bị hỏng, người vận hành có thể hỗ trợ bổ sung thông tin cho hệ thống để nó có thể tiếp tục quá trình điều khiển tự động. Hệ thống sẽ căn cứ vào ngữ cảnh (trạng thái hiện tại của thiết bị, máy móc, quá trình) để tiếp tục quá trình điều khiển một cách chính xác sau khi có đủ thông tin cần thiết do người vận hành cung cấp.

Điều khiển luân phiên: Áp dụng cho các cụm thiết bị có từ 02 thiết bị mắc song song trở lên, ví dụ như công đoạn sàng phân loại.

Cảnh báo các loại sự cố: Sai phản hồi trạng thái, vượt ngưỡng giá trị đo, lỗi cảm biến,...;

Hệ thống được tích hợp trên cơ sở các bộ điều khiển thông dụng, cấu hình thấp, nhưng được tăng khả năng xử lý nhờ các kỹ thuật:

- Xử lý đa luồng;
- Điều độ tiến trình;

- Ảnh xạ bộ nhớ;
- Tùy biến lát cắt thời gian;
- ...

Các tính năng nêu trên cho phép giảm chi phí đầu tư (không cần phải mua PLC cấu hình mạnh) cũng như dễ dàng bảo trì khi hỏng.

Phần mềm điều khiển trên PLC được xây dựng trên cơ sở bộ thư viện do nhóm thực hiện tự phát triển trong vòng 20 năm qua. Thư viện có gần 100 hàm cơ sở như: xung dirac, bộ định thời, điều khiển chuỗi trình tự, phát xung, lọc nhiễu, truyền thông, xử lý hàng đợi kiểu quay vòng, tự chỉnh PID, điều khiển vòng kín, mạng nơ ron, mô phỏng quá trình, tích phân, ... Thư viện được lập trình bằng ngôn ngữ tiêu chuẩn STL/SCL (chuẩn IEC 61131-3). Thư viện do nhóm tự phát triển, hoàn toàn không dùng hàm thư viện của hãng sản xuất PLC, do đó chương trình điều khiển có tính khả chuyển rất cao, không phụ thuộc chủng loại/phiên bản PLC, không phụ thuộc hãng sản xuất PLC, dễ dàng chuyển từ chương trình PLC của SIEMENS sang chương trình PLC của ABB, Rockwell Automation, Yokogawa, Hầu hết các hàm thư viện này đã được sử dụng, kiểm chứng trong thực tế sản xuất và được hoàn thiện liên tục trong vòng 20 năm qua nên độ tin cậy cao.

Đây chuyên có khoảng 40 lò sấy nên khối lượng công việc chỉnh định tham số PID cho các lò tương đối lớn, hơn nữa, mô hình các lò có thể thay đổi sau khi sửa chữa, đại tu, thay mới và cần chỉnh định lại.

Hãng SIEMENS có công cụ để tự chỉnh (autotuning) tham số PID, tuy nhiên, thực tế cho thấy sử dụng công cụ autotuning khá phức tạp, đòi hỏi nhiều kiến thức chuyên sâu, không có khả năng tùy biến để tự động chuyển tiếp từ giai đoạn tự chỉnh sang giai đoạn làm việc bình thường. Thực nghiệm cho thấy, nếu cài đặt cấu hình chưa phù hợp có thể làm cho autotuning của SIEMENS không tìm được bộ tham số PID hoặc thời gian tự chỉnh quá lâu. Mặt khác, mã nguồn autotuning của SIEMENS đóng kín, không cho phép can thiệp tùy chỉnh theo yêu cầu thực tế, không có khả năng chuyển thuật toán sang PLC của các hãng khác.

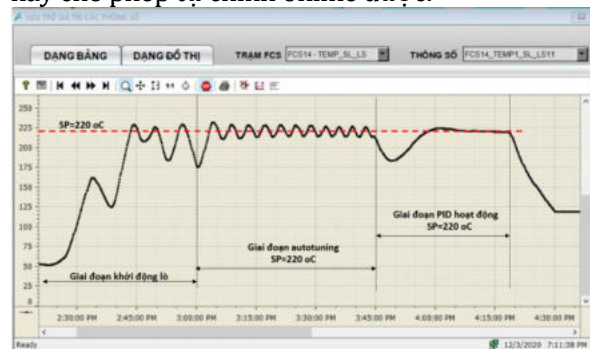
Vì các lý do trên, dự án đã tự phát triển thuật toán autotuning online, có khả năng tự chỉnh trong khi lò đang hoạt động bình thường, ít ảnh hưởng tới chất lượng chè trong quá trình tự chỉnh, có thể tự động chuyển tiếp từ giai đoạn autotuning sang giai đoạn điều khiển PID. Thuật toán tự chỉnh sử dụng

phương pháp nhận dạng trong vòng phản hồi rơ le [1]. Mục tiêu của hàm nhận dạng và tự chỉnh là tìm hai tham số: hệ số khuếch đại tới hạn $K_{PROCESS}$ và chu kỳ dao động tới hạn $T_{PROCESS}$. Sau khi tìm được tham số $K_{PROCESS}$ và $T_{PROCESS}$, dự án đã thử tính toán tham số PID theo Ziegler-Nichols và Luyben [1] và đưa vào vận hành thực tế. Tuy nhiên chất lượng điều khiển không đạt yêu cầu (có sai lệch tĩnh và thời gian quá độ lớn). Bằng thực nghiệm, dự án đã tìm bộ tham số khác để tính toán tham số cho PID:

- $Gain = 1.0 * (1 / K_{PROCESS})$;
- $T_i = 1.0 * T_{PROCESS}$;
- $T_d = 0.1 * T_{PROCESS}$;
- Kết quả cho thấy bộ tham số tìm được bằng thực nghiệm để tính toán tham số PID cho chất lượng điều khiển đạt yêu cầu (H.4):
- Sai lệch tĩnh xấp xỉ 0 oC;
- Độ quá điều chỉnh khoảng 2.5% - 5% ;
- Thời gian quá độ khoảng 10 -12 phút;
- Thời gian autotuning khoảng 45 phút,

tuy nhiên có thể kết thúc giai đoạn tự chỉnh sớm hơn để giảm thời gian xuống khoảng 15-20 phút. Điều này tùy thuộc vào độ ổn định tham số của mô hình đối tượng, trạng thái ban đầu của lò (nóng/nguội).

Trong thời gian autotuning, nhiệt độ dao động trong mức cho phép ($\pm 5 .. \pm 10$ oC) nên hầu như không ảnh hưởng tới chất lượng chè. Phương pháp này cho phép tự chỉnh online được.



Hình 3. Đồ thị quá trình autoruning thực tế

Kết quả chạy PID sau khi tự chỉnh như H.13, nhiệt độ bám sát theo các đường bậc thang đặt trước, dải nhiệt độ làm việc của các lò giảm từ 150 oC... 650 oC (trước đây) xuống còn khoảng 150 oC... 350 oC, đem đến chất lượng chè ổn định và đồng đều hơn ở các mẻ, nhiên liệu cũng được tiết kiệm hơn.

Tuy nhiên, phương pháp tự chỉnh phản hồi role còn nhược điểm là không tự động tìm được thông số chận (bias – giá trị nhiệt độ tại thời điểm ban đầu khi chưa có tín hiệu điều khiển) trong mô hình đối tượng, phải dùng phương pháp thủ công để xác định thông số bias. Để khắc phục nhược điểm này, nhóm thực hiện đang phát triển thêm phương pháp nhận dạng đối tượng điều khiển dùng trí tuệ nhân tạo trên cơ sở mạng nơ ron, nhúng trực tiếp trên PLC và đã thu được một số kết quả khả quan. Các kết quả nghiên cứu theo hướng này sẽ được đưa vào ứng dụng thực tế trong tương lai gần.

2.3. Chức năng phần mềm HMI

Trên trạm vận hành OS

- Hiển thị sơ đồ công nghệ;
- Hiển thị trạng thái hoạt động của thiết bị;
- Hiển thị đồ thị online của các thông số công nghệ;
- Hiển thị online trên text-box các thông số công nghệ;
- Cài đặt các tham số cấu hình cho hệ thống;
- Cảnh báo sự cố;
- Lưu trữ các dữ liệu đo đạc;
- Lưu trữ các cảnh báo;
- Báo cáo thống kê.
- Trên touch screen
- Cài đặt các thông số cho hệ thống điều khiển tự động như: các ngưỡng hoạt động, ngưỡng cảnh báo, bộ định thời, chuyển chế độ điều khiển, ...
- Theo dõi các cảnh báo trong hệ thống;
- Giám sát trạng thái hoạt động của các thiết bị chấp hành và đo lường;
- Giám sát các thông số công nghệ chính

3. Kết quả đạt được

Thiết kế chế tạo được một hệ thống tự động hóa hoàn chỉnh, hiện đại, có mức độ tự động hóa cao (tương đương hệ thống của Nhật) cho dây chuyền sản xuất chế biến chè xanh sao lăn (H.5-H.13). Đây là hệ thống đầu tiên hoàn toàn do Việt Nam thiết kế chế tạo cả thiết bị cơ khí và hệ thống điều khiển, cho phép một số công đoạn chính trong chế biến chè được tự động hóa 100% (không cần công nhân vận hành): công đoạn vò chè, công đoạn phân loại, công đoạn sấy chè.

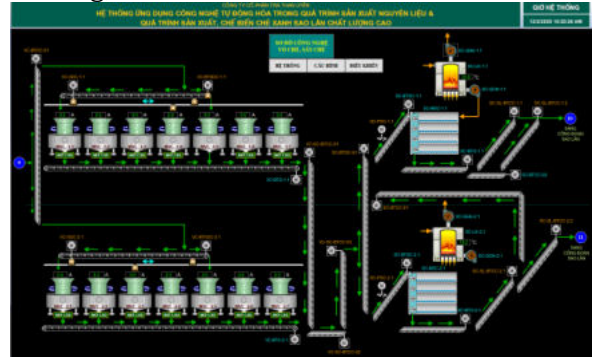
Quy mô hệ thống điều khiển: 13 PLC, khoảng 2000 IO, 10000 tag, 40 vòng loop điều khiển PID, 70 biến tần, 60 thông số đo analog.



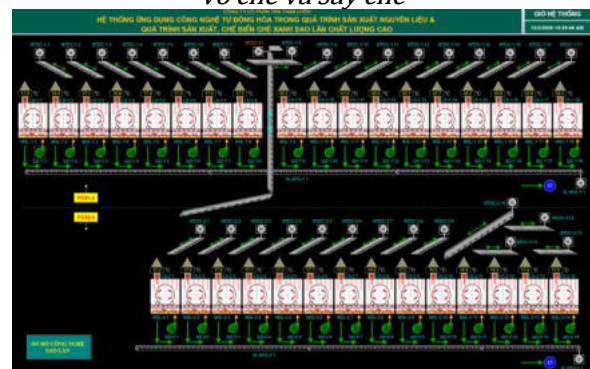
Hình 4. Công đoạn vò chè được tự động hóa 100%

Ứng dụng hệ thống tự động hóa đã nâng cao độ chính xác điều khiển các thông số công nghệ. Sau khi đưa vào áp dụng sản xuất chè đem lại nhiều lợi ích cho doanh nghiệp:

- Nâng cao chất lượng chè;
- Tiết kiệm nhiên liệu (điện, than);
- Tiết kiệm nhân công;
- Nâng cao năng suất;
- Nâng cao tuổi thọ thiết bị;
- Hỗ trợ phát hiện và xử lý sự cố nhanh chóng;



Hình 5. Màn hình giám sát điều khiển công đoạn vò chè và sấy chè



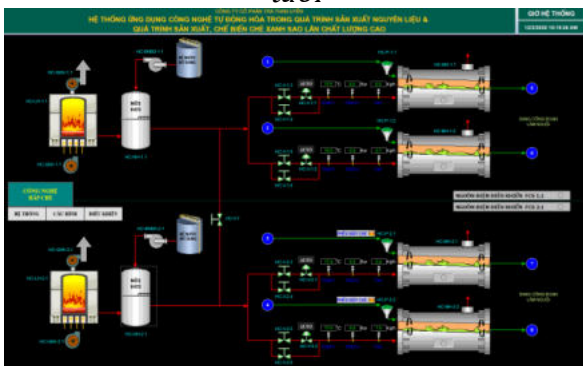
Hình 6. Màn hình GSDK công đoạn sao lăn



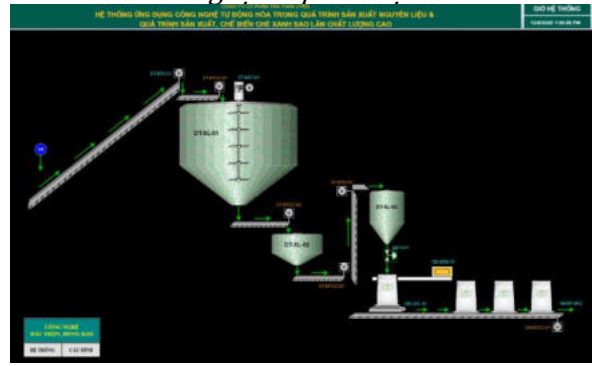
Hình 7. Màn hình GSDK công đoạn bảo quản chèn tươi



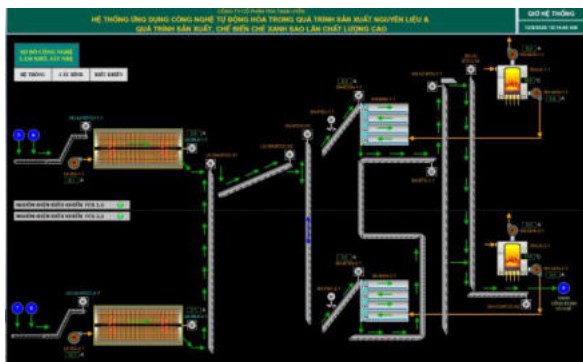
Hình 10. Màn hình giám sát điều khiển công đoạn làm nguội và phân loại chèn



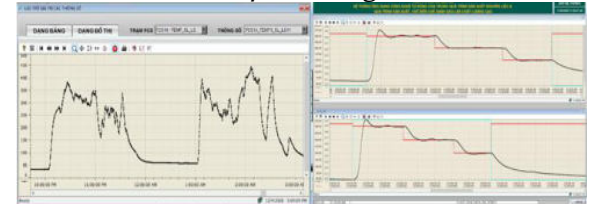
Hình 8. Màn hình GSDK công đoạn hấp chèn



Hình 11. Màn hình giám sát điều khiển công đoạn khuấy trộn và đóng bao



Hình 9. Màn hình giám sát điều khiển công đoạn làm khô và sấy nhẹ



Hình 11. Đồ thị biến thiên nhiệt độ trước và sau khi áp dụng tự động hóa

4. Kết luận

Hệ thống tự động hóa đã giúp nâng cao năng suất, chất lượng và hiệu quả cho dây chuyền sản xuất chế biến chèn xanh sao lán của Công ty Cổ phần Trà Than Uyên.

Hệ thống tự động hóa cho do các chuyên gia trong nước tự thiết kế chế tạo, giá thành thấp hơn (khoảng 50%) so với nhập ngoại đem đến khả năng áp dụng nhân rộng cho nhiều nhà máy khác tại Việt Nam.

Đây là hệ thống tự động hóa hoàn chỉnh đầu tiên tại Việt Nam do các chuyên gia trong nước thiết kế chế tạo cho dây sản xuất chế biến chèn xanh sao lán chất lượng cao. Hệ thống tự động hóa có nhiều

tính sáng tạo, không sao chép giải pháp của nước ngoài, đã đạt mục tiêu giảm giá thành, sử dụng các thiết bị thông dụng dễ thay thế, sửa chữa.

Hệ thống đã được ứng dụng vào thực tế tại công ty cổ phần trà Than Uyên từ tháng 6 năm 2020, đã hoạt động ổn định liên tục đến nay, đem lại hiệu quả thực sự cho doanh nghiệp.

Tài liệu tham khảo

Hoàng Minh Sơn, 2016, *Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình*

Điện công nghiệp và điều khiển động cơ, 2017, *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*

ỨNG DỤNG LOGIC MỜ ĐIỀU KHIỂN MỨC TRONG HỆ THỐNG CE105

Vũ Tiến Mạnh, Bùi Văn Huy, Quách Đức Cường, Vũ Thị Yến, Ngô Mạnh Tùng*

Khoa Điện, trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Việt Nam, emails: vumanh2723@gmail.com, buivanhuy@hau.edu.vn, quachcuong304@gmail.com, yenvt@hau.edu.vn, tung_nm@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Điều khiển mức chất lỏng trong bồn chứa ở các dây chuyền sản xuất công nghiệp thực phẩm và đồ uống có vai trò quan trọng, ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm đầu ra. Hệ thống bồn chứa có thể gồm nhiều bể nối với nhau thông qua các van kết nối. Vì vậy, khi vận hành hệ thống xuất hiện một số vấn đề như độ trễ hệ thống, sự tương tác các bể, mô hình toán hệ không chính xác và nhiều quá trình ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển của bộ PID. Bài báo này nghiên cứu và thiết kế kết hợp bộ điều khiển PID và lý thuyết mờ để hạn chế các tồn tại trên. Chất lượng của bộ điều khiển đề xuất được kiểm nghiệm trên mô hình thực nghiệm gồm hai bể

Từ khóa: *Điều khiển mức, hệ thống CE105 của hãng Tecquipment, bộ điều khiển PID, bộ điều khiển mờ.chứa của hãng Tecquipment có xét đến yếu tố nhiễu do van xả.*

1. Mở đầu

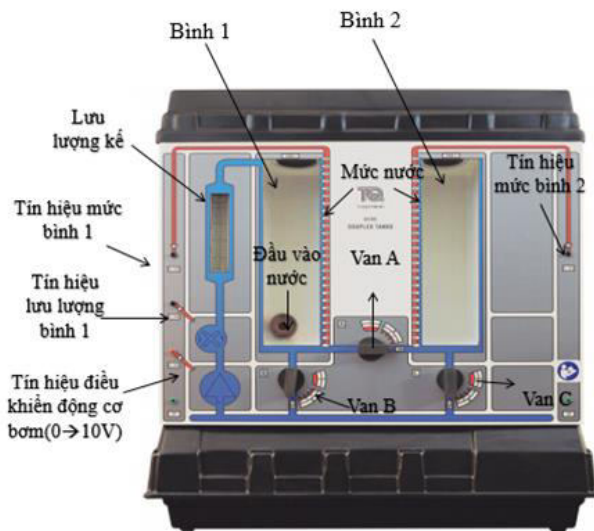
Hệ thống điều khiển mức chất lỏng trong hệ các bình trộn là rất quan trọng trong quá trình sản xuất thực phẩm và đồ uống. Vấn đề đặt ra trong các hệ thống này yêu cầu ổn định mức chất lỏng trong bể chứa ở giá trị yêu cầu. Đã có một số bài báo [1-4] đã sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống để điều khiển cho hệ thống. Các bộ điều khiển mà những bài báo đó đưa ra giúp cho hệ thống ổn định, tuy nhiên, đáp ứng vẫn còn chậm và khả năng kém linh hoạt trong việc điều chỉnh các thông số. Trong khi đó, phương pháp điều khiển mờ không phụ thuộc vào mô hình toán của đối tượng, do đó người thiết kế dựa trên kinh nghiệm vận hành điều khiển đối tượng để đưa ra quy luật tính toán tín hiệu điều khiển phù hợp, từ đó có thể khắc phục được sự kém linh hoạt của bộ PID [5-11]. Việc sử dụng bộ điều khiển mờ-PID đã được áp dụng nhiều trong điều

khiển hệ thống và động cơ [12-14]. Mặc dù kết quả trong các tài liệu này đều bám giá trị đặt và thời gian đáp ứng nhanh nhưng chưa có kết quả nào thu được khi áp dụng trên một mô hình thực nghiệm có hệ bồn chứa nối tiếp nhau. Vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung tìm hiểu và thiết kế bộ điều khiển logic mờ kết hợp bộ điều khiển PID để điều khiển mức chất lỏng trong bình ứng dụng trên đối tượng thực là hệ thống CE105 Coupled Tanks [15]. Bộ điều khiển đề xuất có khả năng nhanh chóng đưa mức chất lỏng đạt giá trị đặt và luôn ổn định, nhằm đảm bảo cung cấp chính xác lượng chất lỏng cho các quá trình công nghiệp như sản xuất thuốc, chưng cất, tinh luyện...ngay cả khi hệ thống có tham số thay đổi, góc mở của các van. Kết quả của bộ điều khiển Fuzzy-PID sẽ được so sánh với kết quả của bài báo [1] trong trường hợp khi lưu lượng van xả thay đổi hoặc khi có yêu cầu thay đổi mức chất lỏng. Từ đó, đưa ra nhận xét về thời gian đáp ứng

và độ ổn định của bộ điều khiển logic mờ kết hợp PID đề xuất trong bài báo.

2. Mô hình thực nghiệm CE105

Hệ thống thực mà nhóm tác giả sử dụng nghiên cứu là CE105 Coupled Tanks của hãng TecEquipment. Trên hệ thống có một máy bơm, một cảm biến lưu lượng, hai cảm biến mức (1V tương ứng 25mm) và ba van xả A, B, C. Các van xả có độ mở thay đổi từ 0 đến 5 (tương ứng 0% đến 100%). Van A nằm ở giữa hai bình để điều chỉnh lưu lượng chất lỏng từ bình 1 sang bình 2.

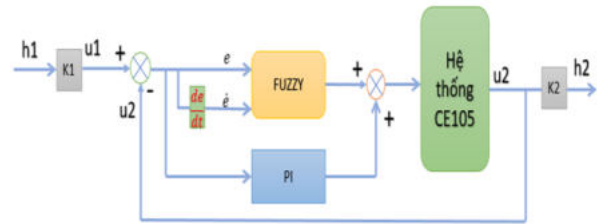


Hình 1. Mô hình thí nghiệm điều khiển mức CE105

Ban đầu, giá trị đầu vào là mức nước $h1$ qua bộ chuyển đổi $K1$ thì giá trị mức nước sẽ được quy đổi sang điện áp $u1$. Giá trị điện áp $u1$ sẽ được đưa vào bộ điều khiển, đầu ra của bộ điều khiển là điện áp đặt cho máy bơm của hệ thống. Kết quả đầu ra của hệ thống đưa vào bộ chuyển đổi $K2$ để cho ra tín hiệu mức $h2$ bám theo tín hiệu $h1$ đưa vào ban đầu.

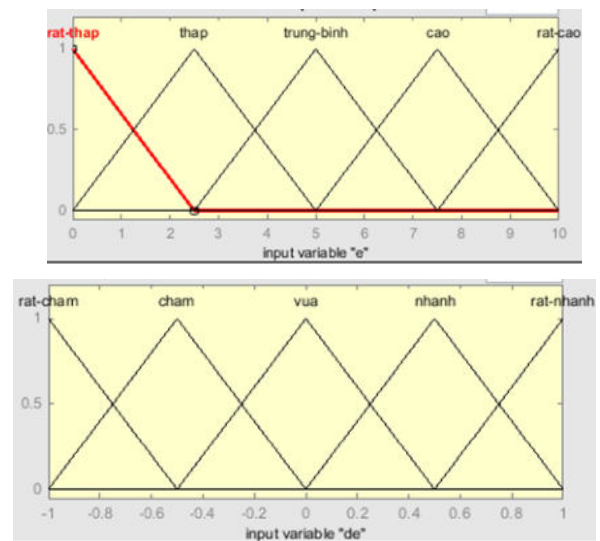
3. Thiết kế bộ điều khiển

Để điều khiển hệ thống mức, bài báo đề xuất sử dụng bộ điều khiển mờ kết hợp bộ điều khiển PID để tạo ra luật điều khiển Fuzzy-PI như hình 2.



Hình 2. Cấu trúc điều khiển hệ thống mức

Trong cấu trúc Hình 2, bộ điều khiển mờ với hai đầu vào là e và de/dt và một đầu ra. Tín hiệu điều khiển tác động tới đối tượng là tổng của tín hiệu điều khiển mờ với tín hiệu từ bộ PI tạo ra.



Hình 3. Mờ hóa đầu vào e và de

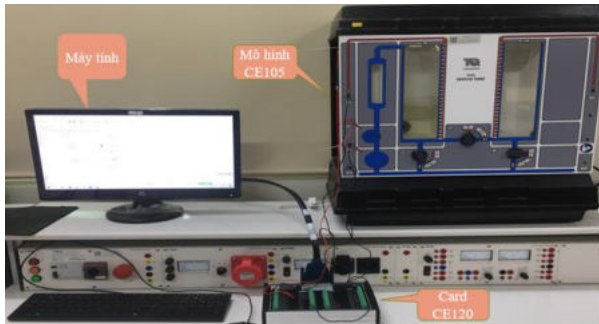
Các biến đầu vào và đầu ra được làm mờ và được chia ra làm 5 trạng thái: rat-cham, cham, vua, nhanh, rat-nhanh.

Luật mờ cho bộ điều khiển mờ là yếu tố quyết định đến chất lượng của bộ điều khiển đề xuất. Trong bài báo này, dựa trên hệ thực nghiệm, nhóm tác giả đã tiến hành thử nghiệm rất nhiều lần trên hệ thực nghiệm CE105 để tìm ra được luật điều khiển mờ phù hợp, kết quả được trình bày ở Bảng 1. Sau khi xây dựng được bộ điều khiển mờ, kết hợp với bộ điều khiển PID áp dụng phương pháp tối ưu hóa modul cho mô hình toán của hệ thống [1] được hệ số $K_p=15$, $T_I=0,008$. Bộ điều khiển Fuzzy-PI điều khiển mức được hoàn chỉnh.

Bảng 1. Bảng luật cho bộ điều khiển mờ

de	e				
	Rat thấp	Thap	Trung bình	Cao	Rat cao
Rat cham	Thap	Thap it	Trung bình	Cao it	Cao
Cham	Thap it	Trung bình	Cao it	Cao	Rat cao
Vua	Trung bình	Cao it	Cao	Rat cao	Rat cao
Nhanh	Cao it	Cao	Rat cao	Rat cao	Rat cao
Rat nhanh	Cao	Rat cao	Rat cao	Rat cao	Rat cao

4. Kết quả thực nghiệm

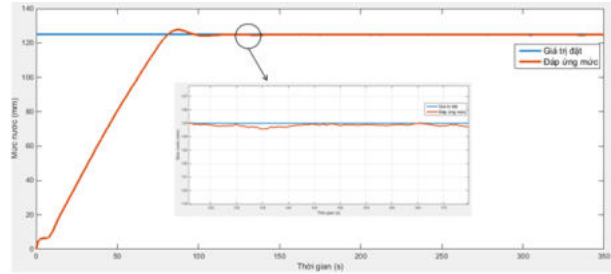


Hình 4. Hệ thống thực nghiệm điều khiển mức

Mô hình CE105 của Tecquipment được kết nối máy tính thông qua card CE120 như hình 4. Cấu trúc điều khiển được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink. Trong Hình 4, tín hiệu mức chất lỏng được đo từ cảm biến và truyền tới Card PCIe-6321 của NI. Màn hình hiển thị giám sát các đồ thị đáp ứng đầu ra. Tín hiệu hệ thống thu thập được thực hiện theo cấu trúc trên phần mềm Matlab/Simulink với chu kỳ lấy mẫu $T_s = 10\text{ms}$.

Để kiểm nghiệm chất lượng của hệ thống điều khiển, quá trình thực nghiệm được tiến hành theo ba trường hợp sau đây.

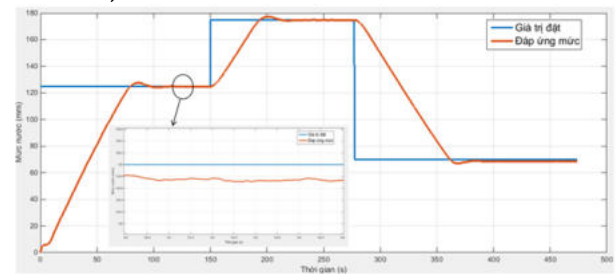
Trường hợp 1: Giá trị đặt không đổi



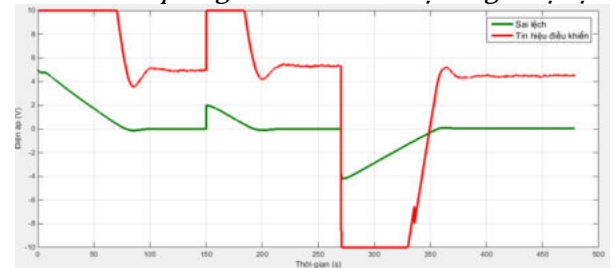
Hình 5: Đáp ứng mức chất lỏng khi giá trị đặt là 125mm

Từ đồ thị trên hình 5, đáp ứng mức chất lỏng cần thời gian là 85s để đạt giá trị đặt, với sai số không đáng kể. Như vậy, bộ Fuzzy-PI đề xuất đáp ứng được yêu cầu điều khiển ổn định mức nước với độ quá điều chỉnh nhỏ.

Trường hợp 2: Để đánh giá khả năng bám giá trị đặt của hệ thống, quá trình thực nghiệm được tiến hành bằng cách thay đổi mức nước tại 125mm, 175mm, 70mm.



Hình 6: Đáp ứng của mức nước tại ba giá trị đặt



Hình 7: Tín hiệu điều khiển và sai lệch khi thay đổi giá trị đặt

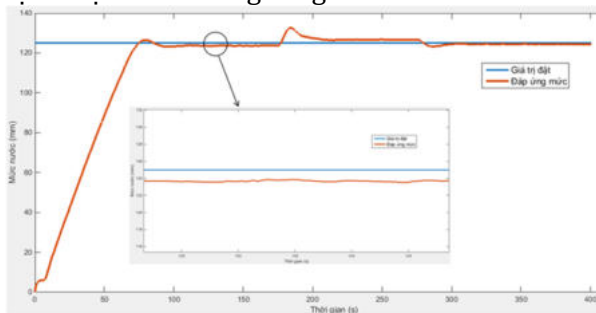
Hình 7 cho thấy, tín hiệu điều khiển luôn đạt giá trị lớn nhất 10V ở những thời gian đầu trong khoảng thời gian quá độ. Như vậy, đáp ứng mức có khả năng nhanh nhất tăng lên gần với giá trị mong muốn. So sánh kết quả của bộ điều khiển Fuzzy-PI với bộ điều khiển PID [1] thu được bảng 2:

Bảng 2: Chất lượng của bộ Fuzzy-PI với bộ PID khi mức chất lỏng thay đổi

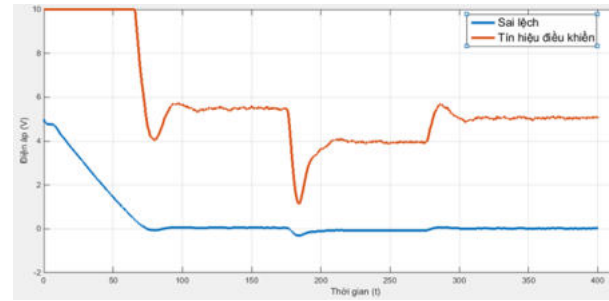
	125mm		175mm		70mm	
	PI D	Fuzz y-PI	PI D	Fuzz y-PI	PID	Fuzz y-PI
Độ quá điều chỉnh	3,4 %	2,08 %	4,2 %	1,3%	10,6 %	2,2%
Thời gian xác lập	80,1	74	86,2	36	104,7	79,5

Qua bảng 2, tại cả 3 giá trị đặt, bộ Fuzzy-PI đều giảm được độ quá điều chỉnh và thời gian xác lập so với bộ điều khiển PID truyền thống. Như vậy, cho thấy tốc độ của bộ điều khiển đã được cải thiện đồng thời sai số xác lập nhỏ khoảng 0,7%.

Trường hợp 3: Để đánh giá khả năng ổn định trước các nhiễu bên ngoài, quá trình thực nghiệm được tiến hành bằng cách thay đổi góc mở của van xả C tại ba vị trí như trong bảng 3.



Hình 8: Đáp ứng của mức chất lỏng khi có nhiễu tác động



Hình 9: Tín hiệu điều khiển và sai lệch tại những lần thay đổi độ mở van.

So sánh kết quả khi có tác động nhiễu của bộ điều khiển Fuzzy-PI với bộ điều khiển PID [1] thu được bảng 3. Hình 9 cho thấy, khi góc mở van giảm từ 80% xuống 10%, đáp ứng mức có xu hướng tăng lên, tín hiệu điều khiển nhanh chóng sụt giảm về gần 1v để làm giảm mức thực tế. Ở chiều ngược lại, khi góc mở tăng từ 10% lên 60%, mức chất lỏng có xu hướng giảm dưới giá trị đặt, khi ấy, tín hiệu điều khiển tăng lên 5,8V để kéo mức thực tế ko giảm nhiều so với điểm mong muốn

Bảng 3: Chất lượng của hai bộ điều khiển khi góc mở van thay đổi (80%- 10%- 60%)

	80%		10%		60%	
	PID	Fuzz y-PI	PI D	Fuzz y-PI	PID	Fuzz y-PI
Độ quá điều chỉnh	3,4 %	2,26 %	8 %	6%	12,3 %	1,44 %
Thời gian xác lập	72	68	87	29,5	127,8	16,5

Từ bảng 3, so sánh về độ quá điều chỉnh và thời gian xác lập hai bộ điều khiển, thì bộ điều khiển Fuzzy-PI đã giảm được cả hai giá trị so với bộ PID. Như vậy, khi có tác động của nhiễu từ van xả, bộ Fuzzy-PI vẫn đáp ứng tốt để giúp hệ thống ổn định nhanh chóng với sai số xác lập nhỏ.

5. Kết luận

Bài báo trình bày thiết kế bộ điều khiển mờ kết hợp bộ điều khiển PI để có luật điều khiển Fuzzy-PI cho hệ thống điều khiển mức. Kết quả thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển Fuzzy-PI đề xuất đã nâng cao chất lượng điều khiển mức chất lỏng khi có sự thay đổi của góc mở van xả. Ngoài ra, bộ điều khiển Fuzzy-PI đã khắc phục được một số nhược điểm của bộ PID truyền thống như giảm độ quá điều chỉnh và rút ngắn thời gian xác lập. Tuy nhiên cần tiếp tục nghiên cứu và thiết lập các dữ liệu mờ để phát triển luật điều khiển mờ tối ưu hơn nữa trong các công bố tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

- [1] Vũ Tiến Mạnh, Trần Tuấn Anh, Phạm Văn Hùng, Vũ Thị Yến, Ngô Mạnh Tùng, “Điều khiển mức trong hệ thống CE105 couple tanks”, *Tạp chí KHCN,doi*
<http://doi.org/10.57001/huih5804.2023.134>
- [2]. Nguyễn Minh Hải, Nguyễn Chí Ngôn, “Nhận dạng hệ điều khiển mức chất lỏng”. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, v01. 27 (2013), pp. 37-43.
- [3]. A. Mukhtar, V. K. Tayal and H. Singh, "PSO Optimized PID Controller Design for the Process Liquid Level Control," *2019 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)*, Noida, India, 2019, pp. 590-593.
- [4]. C.B.Kadu, C.Y.Patil, “ Design and Implementation of Stable PID Controller for Interacting Level Control System”, *Procedia Computer Science*, volume 79, 2016,pp. 737-746.
- [5] N.V. Tiềm, Thiết kế bộ điều khiển PD mờ bền vững cho điều khiển tốc độ của xe lai điện, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 55 (2016) 41-46.
- [6].Yodyium Tipsuwan and Mo-Yuen Chow, “Fuzzy Logic Microcontroller Implementation for DC Motor Speed Control”, *Industrial Electronics Society*, 1999. IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE, pp 1271-1276.
- [7]. Daijin Kim, “An Implementation of Fuzzy Logic Controller on the Reconfigurable FPGA System”, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol.47, No. 3 (2000), pp. 703-715.
- [8]. Carlos Dualibe, Michel Verleysen and Paul G.A Jespers, “Design of Analog Fuzzy Logic Controller in CMOS Technologies”, *Kluwer Academic Publishers*, 2003.
- [9]. Bhaskar Roy and Shilpi Sisodiya, “Fuzzy Logic Controller Based Speed Analysis and Control of DC Shunt Motor”, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, Vol 3, 2015, pp 152-157.
- [10]. Fawzan Salem, E.H.E. Bayoumi, Robust fuzzy-PID control of three-motor drive system using simulated annealing optimization, *Journal of Electrical Engineering*, 2011.
- [11]. Vedrana Jerkovi, Toni VargaA, Survey of Fuzzy Algorithms Used in Multi-Motor Systems Control, *Electronics* 2020, 9, 1788.
- [12]Gengyun Yao, Fengxiang Gao, Changsong Wang and Xiao Chen, "Design and simulation based on Kalman filter fuzzy adaptive PID control for mold liquid level control system," 2009 Chinese Control and Decision Conference, Guilin, China, 2009, pp. 6105-6109
- [13]Liang Chen, Cuizhu Wang, Yang Yu, Yawei Zhao ,“The research on boiler drum water level control system based on self-adaptive fuzzy-PID”, Chinese Control and Decision Conference,(2010) pp. 1582-1584.
- [14]. Gao Bing, Dong Hairong, Zhang Yanxin, Speed Adjustment Bracking of Automatic Train Operation System based on Fuzzy-PID Switching Control, Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2009, pp. 577-580.
- [15]. TecQuipment, “*CE110 Coupled Tanks*”, ©TecQuipment Ltd, (2013).

ỨNG DỤNG WEBSERVER ĐIỀU KHIỂN GIÁM SÁT MÔ HÌNH THỰC HÀNH TRUYỀN ĐỘNG CHÍNH MÁY DOA 2620 SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PLC S7-1200

Nguyễn Xuân Quỳnh^{1,*}, Đinh Thị Hằng², Đỗ Trung Hiệp³, Nguyễn Hữu Giang³, Phạm Thị Lan³

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Khoa Điện, Trường Đại Học Kinh Tế Kỹ Thuật Công nghiệp Hà Nội

³Trung Tâm Việt Nhật, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: nxquynhhuai@gmail.com

TÓM TẮT

Thực hành Trang bị điện là môn học chuyên ngành nằm trong chương trình đào tạo các ngành Công nghệ kỹ thuật như Điện - Điện tử, Điều khiển, Tự động hóa. Kỹ năng này cũng được đào tạo trong các lĩnh vực nghề bao gồm Điện dân dụng và công nghiệp, Tự động hóa. Mục tiêu của môn học là học viên biết cách lắp ráp, sửa chữa, điều khiển các mạch điện từ đơn giản đến phức tạp, từ mạch điện cơ bản đến mạch điện của máy cắt gọt kim loại, máy nâng vận chuyển và các thiết bị điều khiển sử dụng PLC và màn hình cảm ứng HMI. Từ những kinh nghiệm trong việc giảng dạy môn học này cũng như nhu cầu thực tiễn của xã hội hiện nay, chúng tôi đã nghiên cứu và xây dựng hệ thống Webserver điều khiển và giám sát Mô-đun thực hành truyền động chính máy doa 2620 sử dụng bộ điều khiển PLC S7-1200. Mô-đun đề xuất không chỉ có thể thực hiện phương pháp điều khiển công tắc nút nhấn vật lý truyền thống mà còn thực hiện điều khiển tự động qua màn hình cảm ứng HMI và điều khiển từ xa thông qua ứng dụng của máy chủ web và bộ điều khiển logic khả trình PLC S7-1200. Kết quả thử nghiệm cho thấy chức năng điều khiển qua Webserver được thực hiện linh hoạt, chức năng giám sát các thông số điện năng qua Webserver trực quan phù hợp với xu hướng phát triển công nghiệp hiện nay.

Từ khóa: PLC, HMI, vi điều khiển

1. Đặt vấn đề

Trong xu thế hội nhập toàn cầu, đất nước ta đang bước vào giai đoạn thực hiện công nghiệp hóa hiện đại hóa, bất cứ ngành nghề kỹ thuật nào cũng cần đến tự động hóa. Hiện nay, với sự phát triển của công nghệ số hóa, các dây chuyền tự động được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong sản xuất. Các doanh nghiệp sản xuất luôn tự cải tiến công nghệ, hệ thống máy móc của mình để tạo ra những sản phẩm có chất lượng tốt nhất, giá cả cạnh tranh nhất.

Hiện nay, có rất nhiều tài liệu học tập, giáo trình viết về máy doa 2620, nhiều mô hình thực hành cho sinh viên về máy doa nhưng mới chỉ dừng lại ở các thiết bị rời được lắp vào bàn bằng các vít bắt gỗ, thường bị tháo ra lắp vào để phù

hợp với nội dung từng bài, điều khiển thuần túy sử dụng các khí cụ điện đóng cắt thông thường bằng nút ấn vật lý [1],[2]. Nắm bắt được nhu cầu thực tiễn, nhóm tác giả đã nghiên cứu ứng dụng PLC S7-1200 kết hợp màn hình cảm ứng xây dựng Webserver điều khiển, giám sát mô hình điều khiển truyền động chính máy doa 2620. Máy làm việc cả chế độ điều khiển đóng cắt bằng tay và chế độ tự động, qua đó, người học không chỉ hiểu được nguyên lý làm việc của máy ở chế độ điều khiển đóng cắt thông thường mà còn ứng dụng được học phần PLC để xây dựng chương trình điều khiển máy một cách tự động dựa trên nguyên lý đã có



Hình 1. Mô hình thực hành máy doa 2620

2. Xây dựng mô hình thực hành máy doa 2620

2.1. Yêu cầu công nghệ

- Truyền động chính máy doa 2620 được thực hiện từ động cơ không đồng bộ xoay chiều 3 pha 2 cấp tốc độ bằng cách thay đổi dây quấn cuộn stato động cơ Δ/YY (thay đổi từ tốc độ 1450 lên 2900 vòng/phút).
- Động cơ truyền động chính được hãm ngược thông qua role tốc độ gắn trên trục động cơ.
- Các điều kiện ban đầu đảm bảo máy làm việc ở hai cấp tốc độ là khóa chuyển mạch 1KH và 2KH kín.

2.2. Lựa chọn phương án, thiết bị điều khiển

Xuất phát từ yêu cầu công nghệ, nhóm tác giả đã phân tích, tính toán lựa chọn phương pháp điều khiển và các thiết bị sử dụng trong mô hình. Cụ thể: động cơ trục chính, bơm dầu, bơm nước, gạt phoi, PLC S7-1200, CPU 1214 DC/DC/DC, modul mở rộng analog cho PLC S7-1200, màn hình cảm ứng điều khiển giám sát SAMKOON, hệ thống đồng hồ đo tốc độ, đồng hồ đo dòng điện, điện áp và các role đóng cắt, bảo vệ, biến trở hãm...

a. Chọn động cơ truyền động.

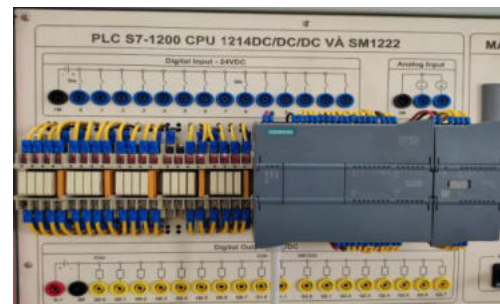
Mô hình mạch điện truyền động chính máy doa yêu cầu đảo chiều quay, bơm nước làm mát và hút phoi trong quá trình gia công, từ yêu cầu công nghệ đó, nhóm tác giả lựa chọn:

- Động cơ truyền động chính M1 công suất 0.75kw
- Động cơ bơm dầu M2 công suất 0.37Kw
- Động cơ bơm nước M3 công suất 0.37Kw
- Động cơ gạt phoi M4 công suất 0.37Kw

b. PLC S7-1200

Nhằm đáp ứng được yêu cầu điều khiển và chi phí trong thực tế áp dụng, nhóm tác giả lựa chọn sử dụng PLC Siemens S7 – 1200 với các tính năng đáp ứng được yêu cầu điều khiển và giám sát được đề ra.

Bộ điều khiển lập trình PLC S7-1200 được thiết kế theo dạng compact CPU được tích hợp sẵn các ngõ I/O. Tuy nhiên PLC S7-1200 vẫn được trang bị thêm các module I/O để mở rộng khả năng của PLC. PLC S7-1200 với thiết kế nhỏ gọn, đa năng, đơn giản nhưng mang đến độ chính xác cao trong hệ thống tự động.



Hình 2. PLC S7 – 1200 CPU 1214DC/DC/DC

Nhờ vào các module mở rộng mà PLC S7-1200 có thể được tùy chỉnh hoàn hảo cho từng ứng dụng cụ thể. Đặc điểm nổi bật của dòng Simatic S7-1200 đó là được trang bị giao tiếp cổng Ethernet, truyền thông Profinet đảm bảo các thiết bị và các thành phần trong hệ thống hoạt động cùng nhau một cách tin cậy và chắc chắn.

c. Màn hình điều khiển giám sát Samkoon

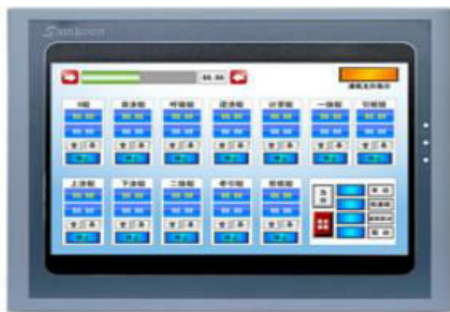
Chức năng: bảng điều khiển cho các tương tác giữa người và máy, người vận hành có thể điều khiển các thao tác trên đó. Ngoài ra màn hình còn dùng để hiển thị các trạng thái cũng như các tín hiệu hoạt động của máy và thiết bị tùy thuộc vào nhu cầu người dùng.

Các thông số:

MODEL: SK-070HS

Điện áp nguồn: DC24V ($\pm 15\%$)

+ Tích hợp cổng Ethernet, cho phép kết nối trực tiếp với PLC S7-1200



Hình 3. Màn hình điều khiển giám sát

cd Khối đồng hồ đo và hiển thị

- Đồng hồ đo đa chức năng MFM383AC – Selec đo và giám sát các thông số điện: dòng điện, điện áp, công suất, cos phi, theo thời gian thực tế.

- Đồng hồ đa năng Hanyoung RP3: đo tốc độ động cơ trực chính thông qua role tốc độ.



Hình 4. Đồng hồ đo

d. Khối thiết bị Công tắc tơ và role [3]

Chức năng: đóng, mở cung cấp điện cho động cơ.

- Tính chọn Công tắc tơ:

+ Chọn công tắc tơ đóng cắt cho động cơ trực chính M1 có $P_{dm} = 0,75kW$; $U_{dm} = 380V$

Xác định dòng điện tính toán

$$I_{tt} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{dm} \cdot \cos\phi \cdot \eta} = \frac{750}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85 \cdot 0.78} = 1,7 \text{ (A)}$$

Điều kiện chọn: $U_{dmCTT} \geq 380V$

$$U_{cd} = U_{dk} = 220$$

$$I_{dmCTT} \geq I_{TT} = 1,7A$$

Từ các điều kiện trên chọn Công tắc tơ GMC40 có $U_{dm} = 500V$; $U_{cd} = 220V$; $I_{dm} = 40A$. Có 3 tiếp điểm chính và hai cặp tiếp điểm mạch điều khiển.

+ Tính chọn công tắc tơ đóng cắt cho động cơ bơm dầu, bơm nước, hút phoi có $P_{dm} = 0,37kW$; $U_{dm} = 380V$

Xác định dòng điện tính toán

$$I_{tt} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{dm} \cdot \cos\phi \cdot \eta} = \frac{0,37}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.75 \cdot 0.71} = 1.05 \text{ (A)}$$

Điều kiện chọn: $U_{dmCTT} \geq 380V$

$$U_{cd} = U_{dk} = 220$$

$$I_{dmCTT} \geq I_{TT} = 1,05 A$$

Chọn Công tắc tơ GMC09 có $U_{dm} = 500V$; $U_{cd} = 220V$; $I_{dm} = 9A$. Có 3 tiếp điểm chính và một cặp tiếp điểm mạch điều khiển

- Tính chọn Rơ le nhiệt

+ Tính chọn rơle nhiệt để bảo vệ quá tải cho động cơ trực chính 1M

$$I_{tt} = 1,7 A$$

$$I_{tdRN} = 1,2 \cdot 1,7 = 2,04A$$

$$U_{dmRN} = 380V$$

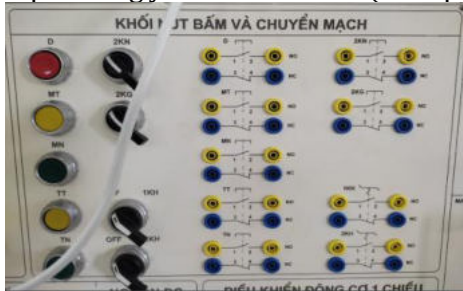
Chọn rơle nhiệt loại MEC GTH22 có $U_{dm} = 500 (V)$; $I_{td} = 1,6 - 2,5 (A)$



Hình 5. Công tắc tơ và role.

e. Khối nút bấm và chuyển mạch

- Nút ấn: đóng cắt mạch điện hoặc 1 số loại quá trình trong điều khiển. (số lượng 05)
- Chuyển mạch: đóng cắt mạch điện khi đáp ứng được những yêu cầu cần thiết. (số lượng 04)



Hình 6. Nút bấm, chuyển mạch

f. Khối biến trở phụ

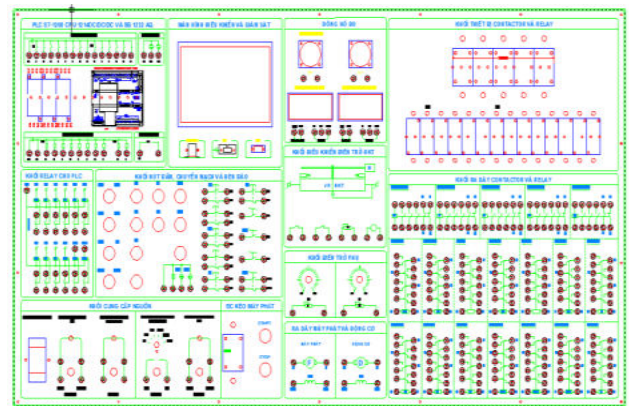
- Thay đổi giá trị điện trở, sử dụng trong quá trình hãm động cơ trục chính (số lượng: 03). Dải điện trở: 0-470 Ohm



Hình 7. Khối biến trở

2.3. Sơ đồ bố trí thiết bị trên mô hình thực hành

Từ yêu cầu công nghệ của máy, nhóm tác giả xây dựng mô hình thực hành máy doa 2620:



Hình 8. Sơ đồ bố trí thiết bị trên mô hình thực hành

Trên mô hình có thể thực hiện được cả ba phương án điều khiển:

- Phương án thứ nhất: điều khiển bằng cách sử dụng trực tiếp các nút ấn điều khiển đặt trên mô hình.

- Phương án thứ hai: Sử dụng màn hình cảm ứng HMI để điều khiển.

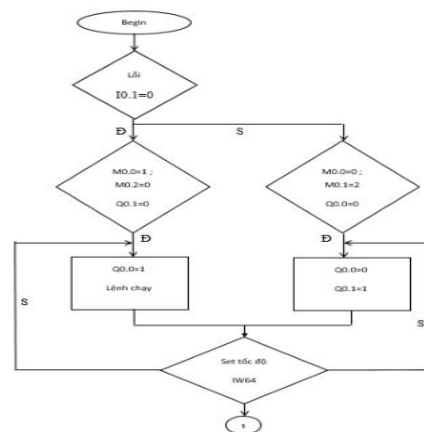
- Phương án thứ ba: ứng dụng Webserver điều khiển và giám sát mô hình từ xa.

Dưới đây, nhóm tác giả sẽ trình bày cụ thể nội dung ứng dụng Webserver điều khiển mô hình máy doa 2620 và quản lý, giám sát điện năng sử dụng trên mô hình.

3. Thiết kế giao diện điều khiển máy doa 2620 trên webserver

3.1. Viết chương trình PLC cho mạch điều khiển máy doa 2620 trên TIA Portal [4],[5],[6].

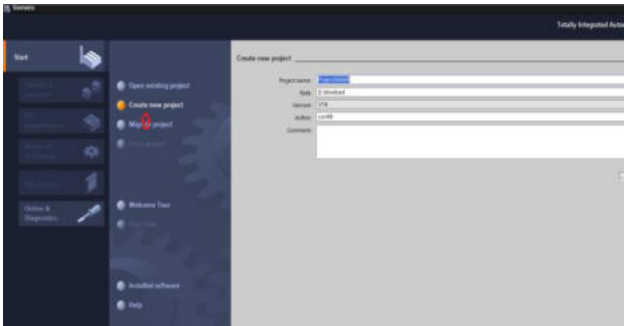
Thuật toán chương trình chính



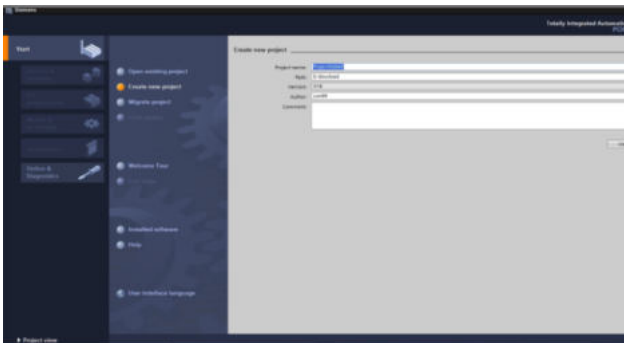
Bước 1: Từ màn hình desktop nhấp đúp chọn biểu tượng Tia Portal V16



Bước 2 : Click chuột vào Create new project để tạo dự án.



Bước 3 : Nhập tên dự án vào Project name sau đó nhấn create



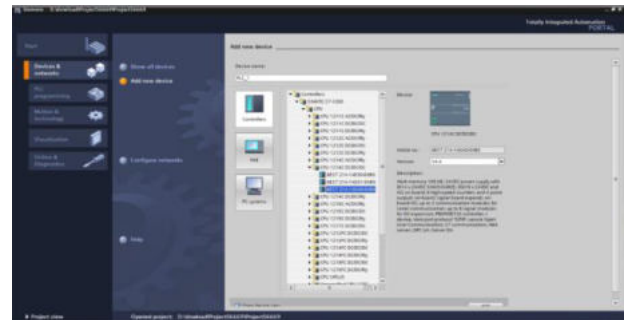
Bước 4: Chọn configure a device



Bước 5 : Chọn add new device

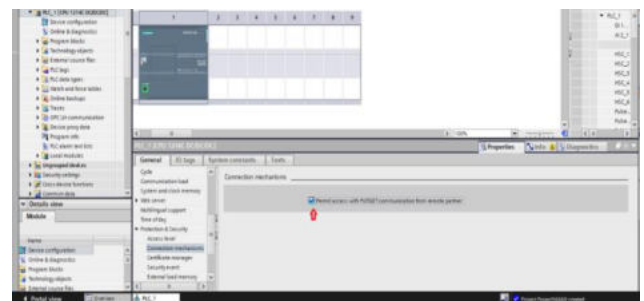


Bước 6 : Chọn loại CPU PLC sau đó chọn add



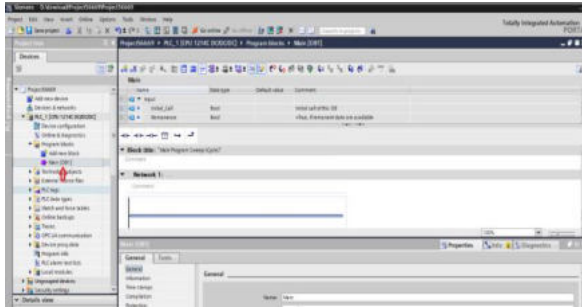
Chọn Cpu 1214 DC/DC/DC (chọn cpu dựa trên hiệu số trên mặt PLC mà ta sử dụng)

Bước 7: Project mới được hiện ra



Để kết nối được ta cần tích vào mục connection mechanisms .

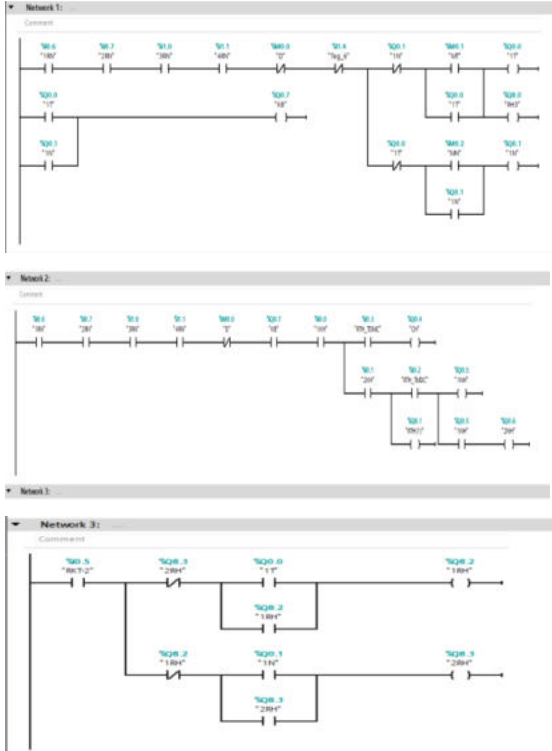
Bước 8: Vào mục program blocks



Sau đó chọn Main {0B1} và bắt đầu viết chương trình.

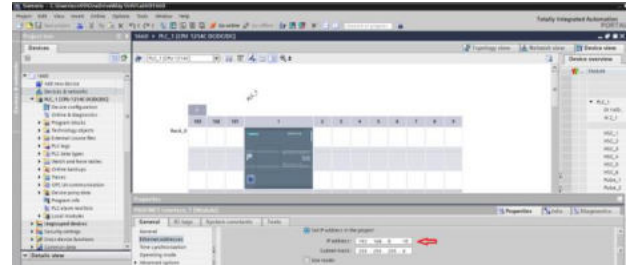
Bước 9: Viết chương trình

Chương trình điều khiển máy doa:

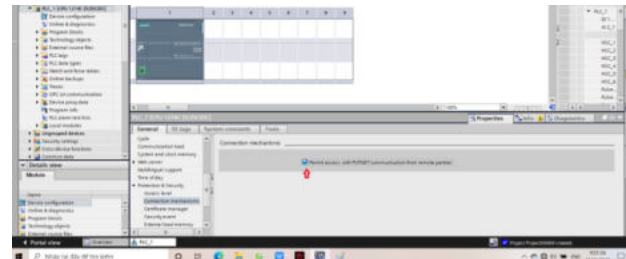


3.2. Đổ chương trình từ phần mềm tia portal lên PLC S7-1200

Bước 1: Kiểm tra lại IP của PLC

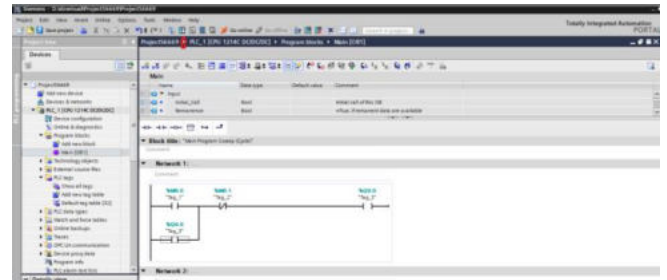


Bước 2: Vào mục connection mechanisms Đã bật PUT/GET hay chưa nếu chưa ta thực hiện bật và kiểm tra lại chương trình bằng cách nhấn Compile

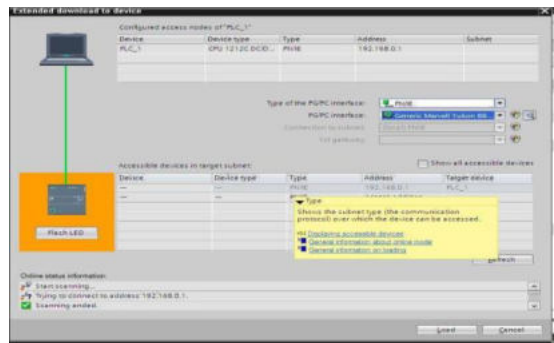


Bước 3: Đổ chương trình lên PLC S7-1200

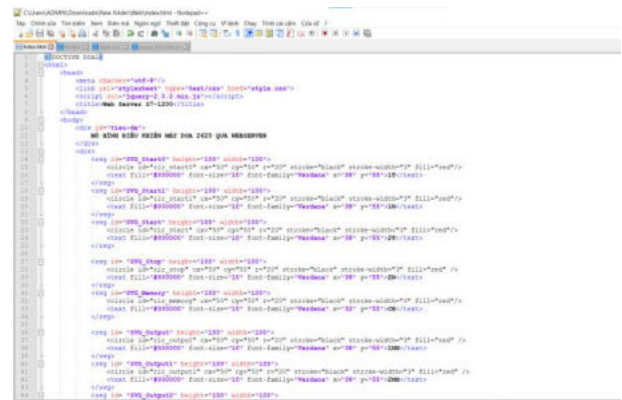
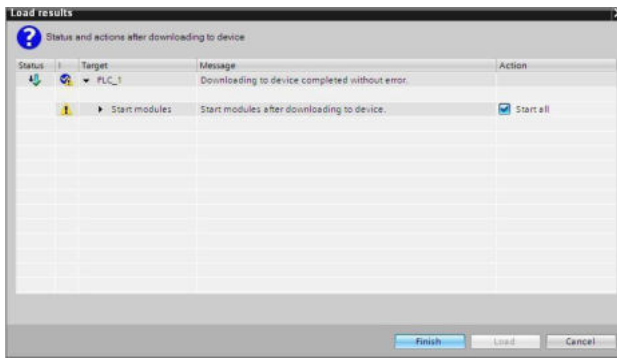
Kết nối PLC và phần mềm bằng cổng WAP/LAN và chọn vào biểu tượng download trên thanh công cụ



Chọn cấu hình Type of the PG/PC interface và PG/PC interface như hình dưới sau đó nhấn chọn load

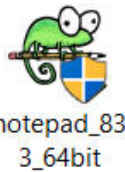


Chọn start all như hình vẽ và nhấn finish

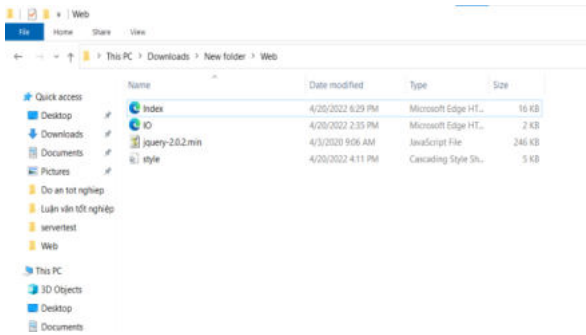


3.3. Thiết kế giao diện điều khiển máy doa 2620 trên Webservice

Bước 1: Mở phần mềm Notepad++

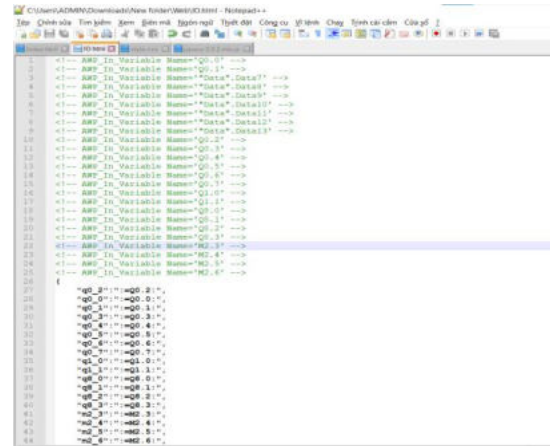


Bước 2: tạo 3 file lần lượt đặt tên là: Index.html, IO.html, style.css bằng phần mềm notepad++. Và tải file jquery-2.0.2.min. Cho 4 file vào chung một thư mục

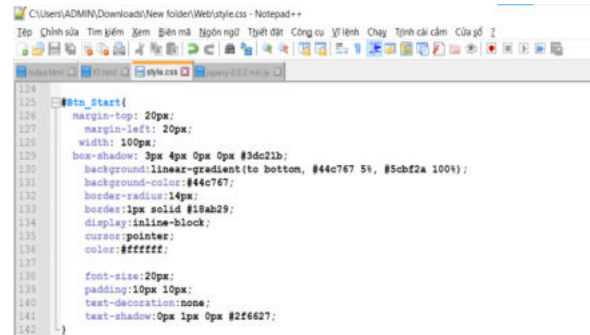


Bước 3: mở file Index.html bằng phần mềm notepad++ và viết code tạo giao diện trang web

Bước 4: mở file IO.html bằng notepad++ và viết code để gán các biến từ PLC lên Webservice

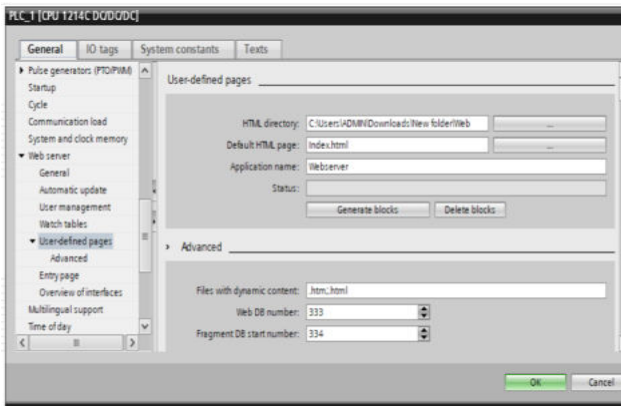


Bước 5: Mở file style.css viết code để chỉnh kích thước, màu sắc,...của nút ấn và đèn báo



Bước 6: vào chương trình máy doa 2620 trên phần mềm Tiaportal

Chọn devices & networks -> properties -> Web server -> User defined pages



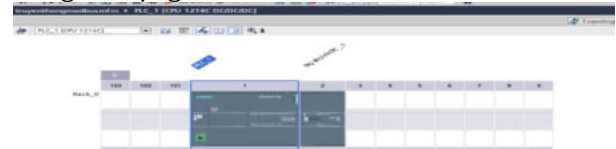
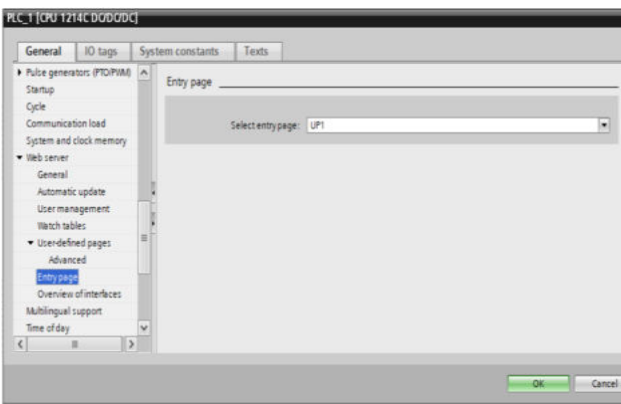
- + Trong phần HTML directory chọn thư mục chứa 4 file code đã tạo bên trên
- + Default HTML page: chọn file Index.html
- + Application name: đặt tên Webserver
- + Chọn vào Generate blocks -> Yes
- + Chọn Entry page -> UP1

Hình 9. Kết quả giao diện điều khiển mô hình máy đo 2620 trên Webserver

4. Thiết kế hệ thống quản lý và giám sát điện năng trên mô hình

4.1. Truyền thông RS485 với đồng hồ selec MFM383A-C

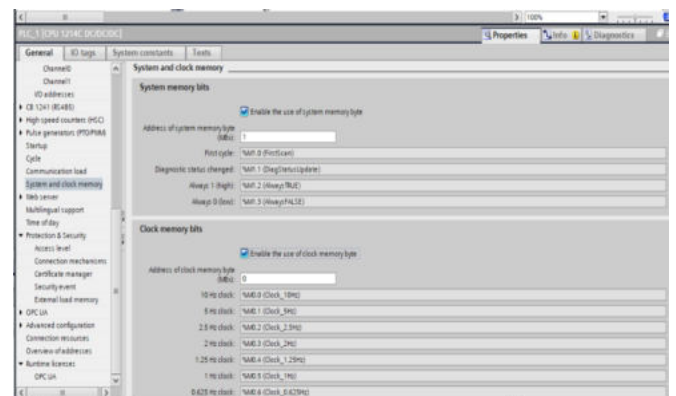
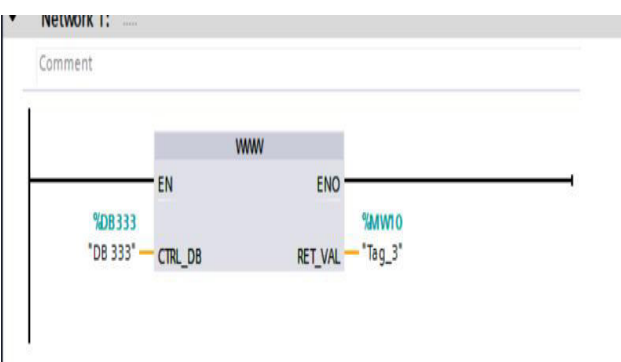
Bước 1: Trên TIA chọn loại CPU PLC mà mô hình đang sử dụng



Bước 2: click vào PLC và chuyển sang phần Properties, chọn vào phần System and clock memory và click vào 2 mục system memory bits và Clock memory bits

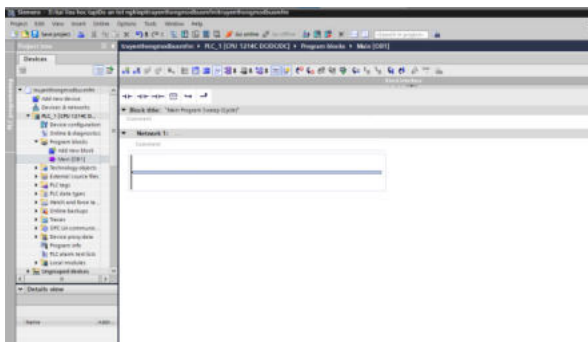
Vào chương trình chính Main OB1

Chọn communication -> Webserver -> WWW và cài đặt như hình

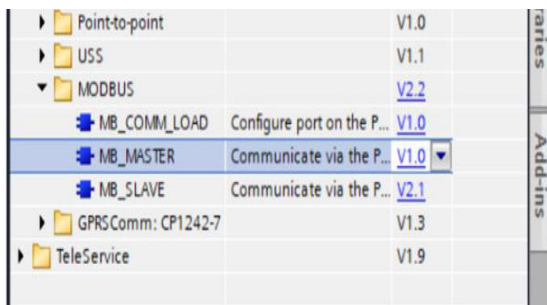


Bước 3: vào Main OB1 để viết chương trình

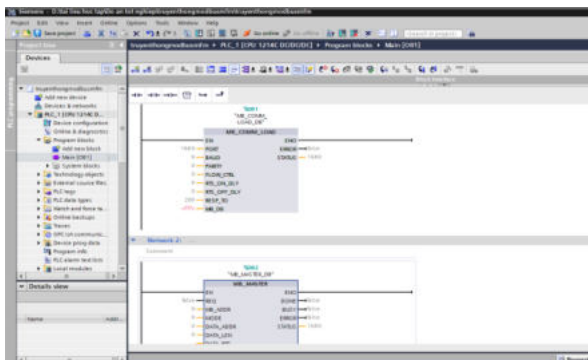
Kết quả giao diện trên Web server



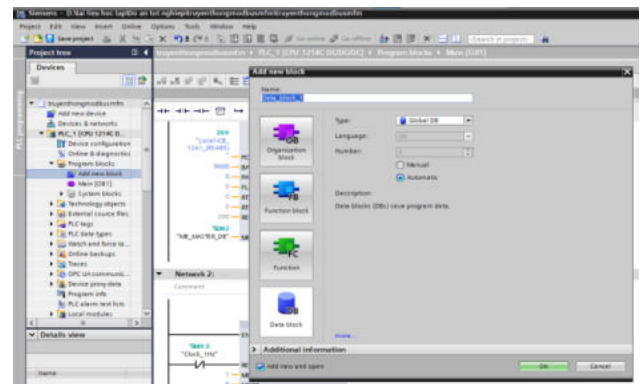
Bước 4: Trong phần Instructions chọn vào mục Communication -> Communication Processor -> MODBUS



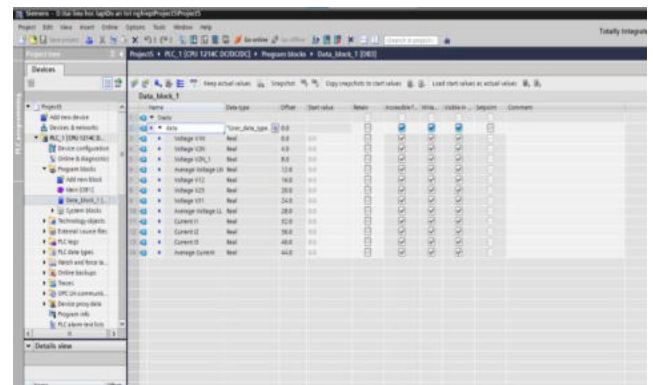
Bước 5: kéo 2 khối MB_COMM_LOAD và MB_MASTER vào chương trình



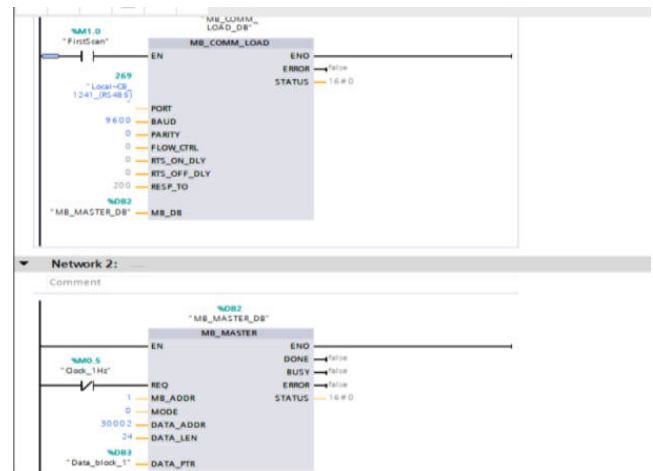
Bước 6: Chọn vào Add new block chọn Data block ấn OK



Bước 7: Trong phần Data block, tạo các địa chỉ để truyền thông như hình



Bước 8: Trong Main OB1 nhập các thông số:



Bước 9: Download chương trình xuống PLC và bật Monitor all

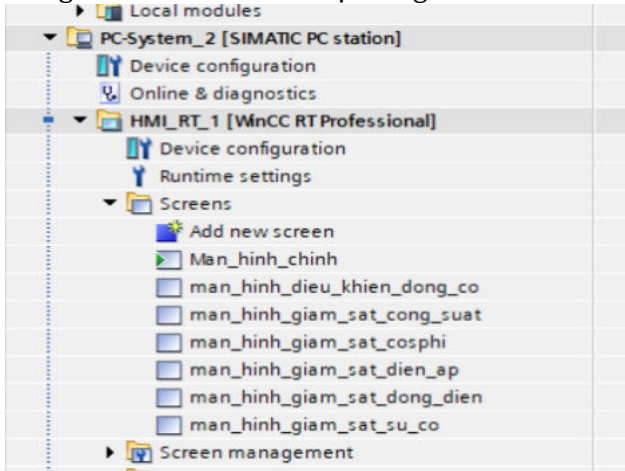
Kết quả các thông số đồng hồ đo đã được gửi về máy tính thông qua truyền thông Modbus.

Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Alarm	Accessible L	Visible in	Logpoint	Comment
Volt_V1	Real	0.0	0.0	232.96					
Volt_V2	Real	4.0	0.0	232.14					
Volt_V3	Real	8.0	0.0	232.89					
Average_Volt_LL	Real	12.0	0.0	232.28					
Volt_V12	Real	16.0	0.0	386.75					
Volt_V21	Real	20.0	0.0	386.96					
Volt_V31	Real	24.0	0.0	384.05					
Average_Volt_LL	Real	28.0	0.0	386.96					
Current_I1	Real	32.0	0.0	0.828212					
Current_I2	Real	36.0	0.0	0.8417187					
Current_I3	Real	40.0	0.0	0.85					
Average_Current	Real	44.0	0.0	0.8303728					
KW1	Real	48.0	0.0	0.04258793					
KW2	Real	52.0	0.0	0.04748328					
KW3	Real	56.0	0.0	0.04491927					
KW4	Real	60.0	0.0	0.0322098					
KW5	Real	64.0	0.0	0.082852					
KW6	Real	68.0	0.0	0.1896704					
KW61	Real	72.0	0.0	0.1809901					
KW62	Real	76.0	0.0	0.1822908					
KW63	Real	80.0	0.0	0.1789203					
Total kW	Real	84.0	0.0	0.1374618					
Total kWA	Real	88.0	0.0	0.3557271					
Total kW/h	Real	92.0	0.0	0.0395875					

Hình 10. Kết quả đo các thông số dòng điện, điện áp, công suất tác dụng, công suất biểu kiến được gửi về máy tính thông qua truyền thông Modbus.

4.2. Quản lý và giám sát điện năng trên mô hình a. Quản lý giám sát điện năng qua SCADA

Thiết kế hệ thống giám sát và điều khiển hệ thống SCADA bắt đầu bằng việc xác định số lượng trang màn hình và mối quan hệ giữa các trang để bắt đầu thiết kế hệ thống.



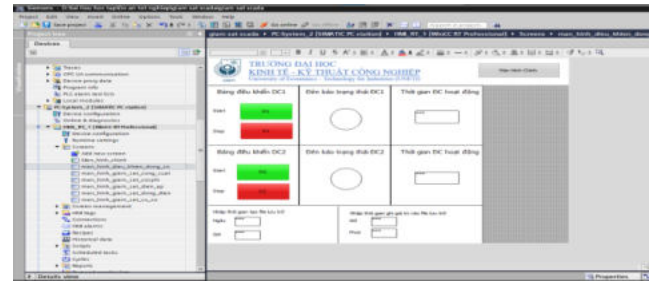
Hình 11. Thiết kế Giao diện giám sát qua SCADA - Thiết kế giao diện trang màn hình chính Introduction

Trang màn hình chính (Start Screen) thông thường được sử dụng cho người vận hành có một cách hình dung tổng quan về hệ thống đang thực hiện giám sát và điều khiển.

- Thiết kế giao diện trang màn hình phụ

Tùy chọn theo quy mô và yêu cầu của người sử dụng mà người thiết kế lựa chọn cách thiết kế giao diện cho phù hợp. Đôi khi cách để cho người

vận hành dễ dàng hiểu được lại là sơ đồ P&ID, đôi khi lại muốn thực tế hơn, màu sắc hơn...

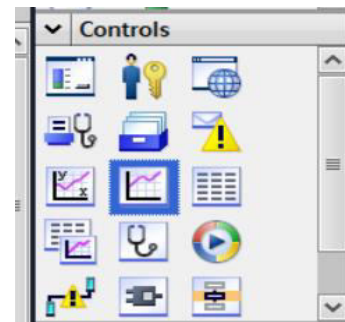


Hình 13. Thiết kế giao diện trang màn hình phụ

Quá trình thiết kế HMI/SCADA nên chia thành 2 giai đoạn: thiết kế giao diện và gắn tag quá trình. Tuy nhiên, tùy thuộc vào cách thức quản lý của mỗi người mà có thể thực hiện cùng một lúc 2 giai đoạn trên hay tách biệt.

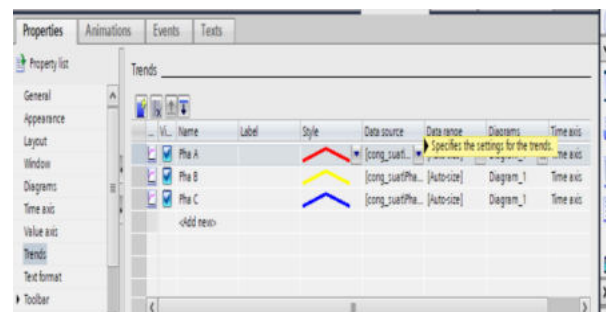
- Thiết kế biểu đồ Trend hiển thị thông số và Bảng hiển thị giá trị

Vào phần Toolbox -> Controls-> chọn f(t) trend view và Table view



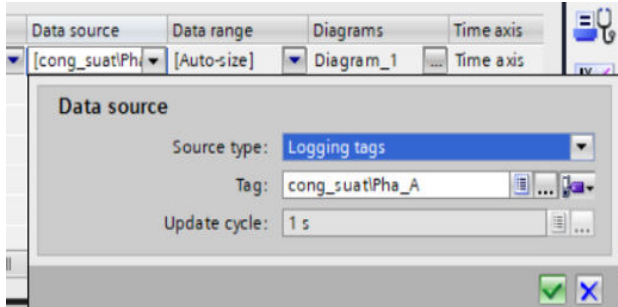
Hình 13. Thiết kế biểu đồ Trend hiển thị thông số và bảng hiển thị giá trị

Trong f(t) trend view chọn Properties->Trends->add news -> nhập các thông số cần theo dõi



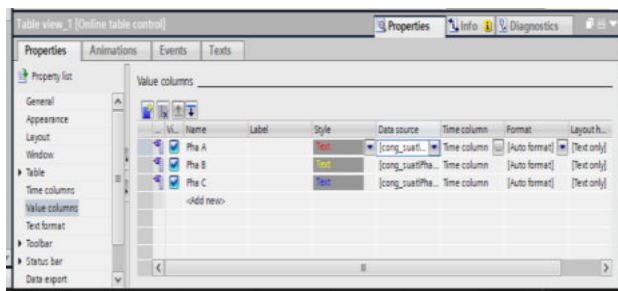
Hình 14. Bảng nhập thông số cần theo dõi

Trong phần Data source chọn Source type: Logging tabs. Tag: gán giá trị hiển thị tương ứng



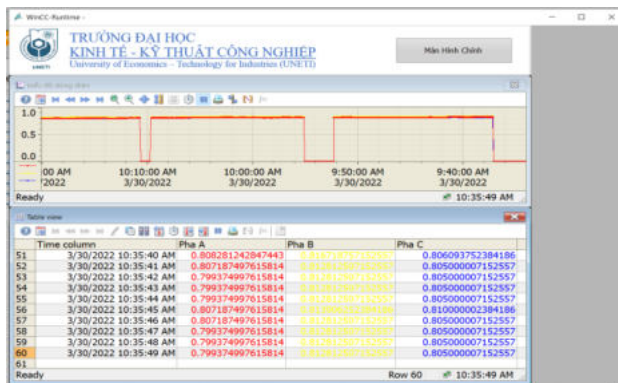
Hình 15. Bảng gán giá trị hiển thị tương ứng

Trong Table view chọn Properties -> Value Columns -> Data source -> source type: Logging tabs, Tag: Chọn giá trị tương ứng

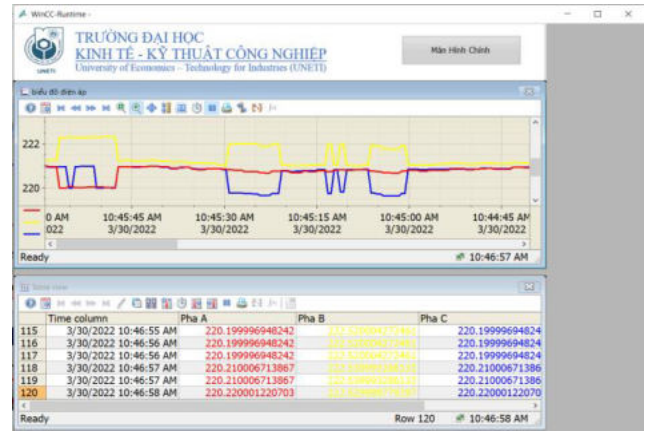


Hình 16. Bảng chọn giá trị tương ứng

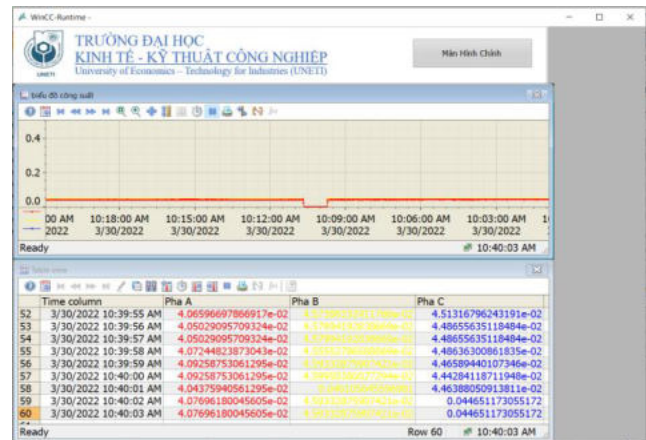
Sau khi gán Link và sắp xếp bố cục, giao diện giám sát sẽ được kết quả thực tế khi giám sát:



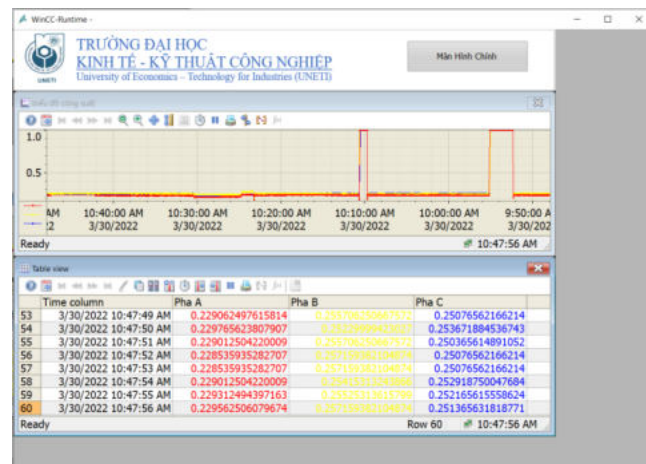
Hình 17. Biểu đồ dòng điện



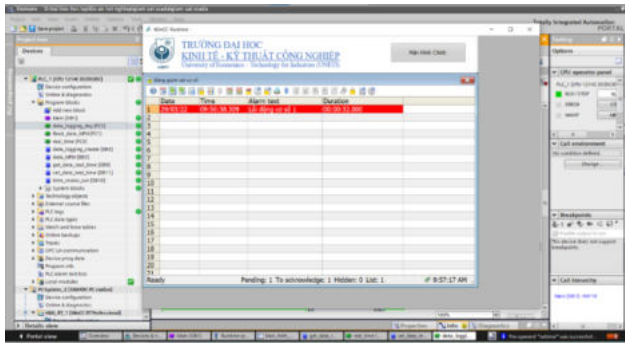
Hình 17. Biểu đồ điện áp



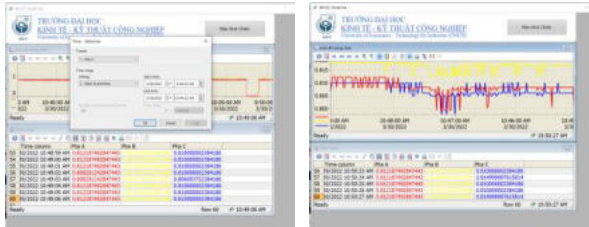
Hình 19. Biểu đồ công suất



Hình 20. Biểu đồ cos phi



Hình 21. Biểu đồ cảnh báo sự cố

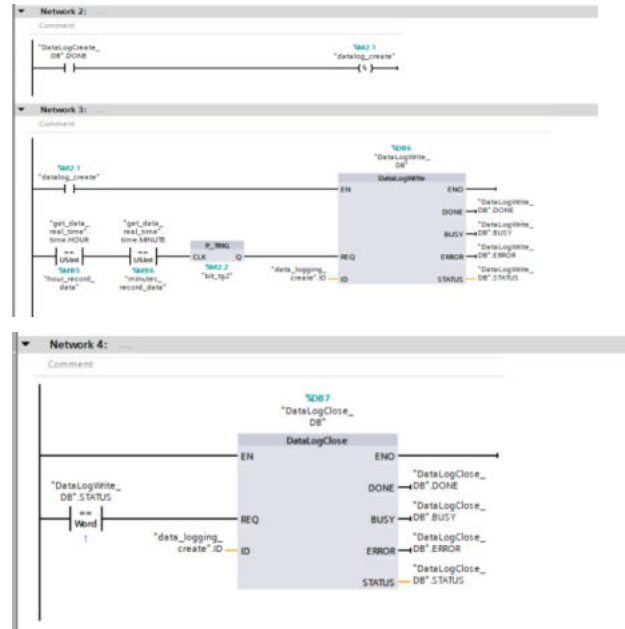
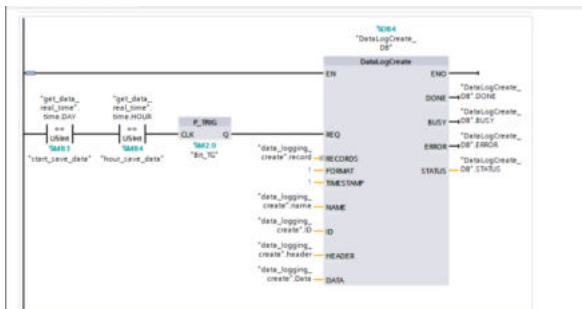


Hình 22. Xem lại lịch sử biểu đồ

Việc giám sát bằng SCADA thuận tiện cho việc theo dõi các thông số, giám sát các thông số điện theo thời gian thực tế, theo dõi các thông số điện năng qua việc dò lịch sử, phát hiện các sự cố điện, để đưa ra các giải pháp khắc phục phù hợp.

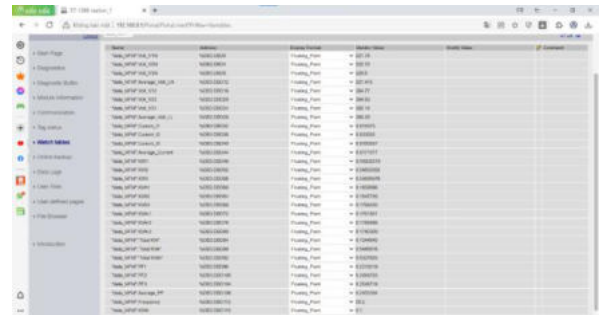
b. Quản lý giám sát điện năng qua Webserver

Với mục đích tự động gửi báo cáo dữ liệu thời gian hoạt động của các động cơ sử dụng trong mô hình máy đo 2620 ra file excel thuận tiện cho quá trình quản lý và giám sát thông số điện năng theo thời gian thực của mô hình. Nhóm tác giả đã đi nghiên cứu, thiết kế Webserver để ứng dụng cho quá trình quản lý và giám sát điện năng mà mô hình sử dụng. Trên TIA portal, viết chương trình điều khiển:



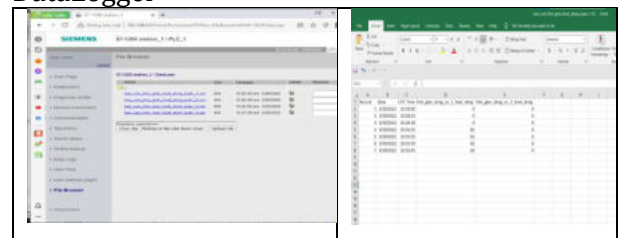
.....
Kết quả đạt được:

- Kết quả điện năng mà mô hình sử dụng được giám sát theo giá trị tức thời:



Hình 23. Điện năng mà mô hình sử dụng được giám sát theo giá trị tức thời

- Dữ liệu được ghi lại bằng file excel qua DataLogger



Việc ứng dụng Webserver để điều khiển và giám sát mô hình máy cắt gọt kim loại và công nghiệp dùng chung là cần thiết phục vụ cho nhu cầu học tập, nghiên cứu và cập nhật kiến thức

mới, công nghệ mới của sinh viên và giảng viên ngành CNKT Điện, Điện tử và CNKT ĐK và TĐH. Người học được từng bước tiếp cận với công nghệ sản xuất hiện đại trong thực tế, góp phần nâng cao chất lượng nguồn nhân lực đầu ra của chương trình đào tạo.

5. Kết luận

Nhóm tác giả đã ứng dụng Webserver kết hợp bộ điều khiển logic khả trình PLC thực hiện điều khiển từ xa mô hình mạch điện truyền động chính máy doa 2620 và giám sát các thông số điện năng trên mô hình. Chức năng điều khiển qua Webserver được thực hiện linh hoạt, chức năng giám sát các thông số điện năng qua Webserver trực quan phù hợp với xu hướng phát triển công nghiệp hiện nay.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Vũ Quang Hồi, Nguyễn Văn Chất, Nguyễn Thị Liên Anh, (2012). “Trang bị điện – điện tử máy công nghiệp dùng chung”, *NXB Giáo dục*.
- [2]. Vũ Quang Hồi, (2015). “Trang bị điện – điện tử các máy công nghiệp, Tập 1,2”, *NXB Giáo dục*.
- [3]. Phạm Văn Chới, Bùi Tín Hữu, Nguyễn Tiến Tôn, (2008). “Khí cụ điện”, *Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật*.
- [4]. Trần Văn Hiếu, (2019). “Tự động hóa PLC S7-1200 với TIA PORTAL”, *Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật*.
- [5]. Trần Văn Hiếu, (2018). “Thiết kế hệ thống mạng Truyền thông công nghiệp với TIA PORTAL”, *NXB Khoa học và kỹ thuật*.
- [6]. Trần Văn Hiếu, (2019). “Thiết kế hệ thống HMI/SCADA với TIA PORTAL”, *NXB Khoa học và kỹ thuật*.

ỨNG DỤNG MẠCH VI ĐIỀU KHIỂN ARDUINO GIAO TIẾP VỚI MATLAB GUI CHO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN VÀ GIÁM SÁT NHIỆT ĐỘ

Đặng Văn Chí^{1,*}, Nguyễn Thế Lực², Phan Thị Mai Phương³

mail: dangvanchi@h Umg.edu.vn

Trường Đại học Mở – Địa chất, Hà Nội

TÓM TẮT

Card đo lường điều khiển và giao tiếp với giao diện trên Matlab đang được sử dụng rất phổ biến trong các Trường Đại học và các Viện nghiên cứu trên Thế giới. Với chức năng kết nối các thiết bị ngoại vi và máy tính, đặc biệt được ứng dụng phổ biến trong các lĩnh vực đo lường giám sát, mô phỏng các hệ điều khiển robot, các hệ cơ điện tử... Tuy nhiên việc nghiên cứu, phát triển và ứng dụng các loại Card này ở Việt Nam còn chưa được phát triển do giá thành rất đắt và phần mềm Matlab yêu cầu phải có bản quyền. Bài báo đề xuất giải pháp sử dụng vi điều khiển Arduino để thay thế, được cho là phù hợp trong công tác nghiên cứu thiết kế, phát triển cho các bài toán đo lường và điều khiển giao tiếp với Matlab GUI. Kết quả nghiên cứu cho phép ứng dụng Arduino để thay thế cho một số loại Card Matlab cơ bản hiện nay trong các bài toán về đo lường, giám sát và điều khiển đối tượng nhiệt

Từ khóa: phần mềm Matlab, Vi điều khiển Arduino, Matlab GUI

1. Mở đầu

Matlab là tên viết tắt của từ Matrix laboratory, đây là một phần mềm cung cấp môi trường để tính toán số và lập trình, được thiết kế bởi công ty MathWorks. Matlab Online sẽ cho phép tính toán số với ma trận, cũng như vẽ đồ thị hàm số hay là biểu đồ thông tin, việc thực hiện thuật toán, tạo ra các giao diện người dùng và đồng thời liên kết với những chương trình máy tính viết dựa trên nhiều ngôn ngữ lập trình khác.

Matlab được dùng để giải quyết các bài toán về giải tích số, hay là xử lý tín hiệu số, xử lý đồ họa mà sẽ không phải lập trình cổ điển nữa. Hiện nay, Matlab Online có đến hàng ngàn lệnh và nhiều hàm tiện ích. Ngoài các hàm cài sẵn ở trong chính ngôn ngữ, Matlab Online sẽ còn có các lệnh và hàm ứng dụng chuyên biệt ở trong các Toolbox để có thể mở rộng môi trường Matlab, nhằm giải quyết được các bài toán thuộc vào các phạm trù riêng. Các Toolbox này khá quan trọng và còn có các tiện ích cho người dùng như là toán sơ cấp, hay là xử lý tín hiệu số, xử lý ảnh và xử lý âm thanh, toán ma trận, các thuật toán về logic mờ, các thuật toán về AI và mạng nơ ron nhân tạo...

Matlab là ngôn ngữ lập trình bậc cao (Script) với các lệnh điều khiển, các hàm, hay là cấu trúc dữ liệu, đầu vào/đầu ra và cũng như là các đặc điểm của lập trình hướng đối tượng. Nó cho phép việc “lập trình quy mô nhỏ” nhanh chóng bằng cách tạo ra phần mềm, cũng như là việc “lập trình quy mô lớn” để tạo các chương trình lớn, phức tạp... (<https://www.mathworks.com>)

Các chức năng của Matlab bao gồm:

- Matlab là một ngôn ngữ lập trình cao cấp để tính toán số và phát triển ứng dụng.
- Cung cấp một môi trường tương tác để điều tra, thiết kế và giải quyết các vấn đề.
- Nó cung cấp một thư viện lớn các hàm toán học để giải các hàm số tuyến tính, thống kê, phân tích Fourier, lọc, tối ưu hóa, tích phân và phương trình vi phân bình thường.
- Matlab cung cấp các biểu đồ tích hợp để trực quan hóa dữ liệu và các công cụ để tạo biểu đồ tùy chỉnh.
- Cung cấp các công cụ phát triển để tăng khả năng bảo trì chất lượng mã và tối đa hóa hiệu suất.
- Cung cấp các công cụ để xây dựng ứng dụng bằng giao diện đồ họa tùy chỉnh.

- Các chức năng để tích hợp các thuật toán dựa trên Matlab với các ứng dụng bên ngoài và các ngôn ngữ khác như C, Java, NET và Microsoft Excel...

Matlab được sử dụng hầu hết trong các việc như:

- Xử lý tín hiệu và truyền thông.
- Xử lý chất lượng hình ảnh, video.
- Ứng dụng tính toán tài chính, sinh học.
- Ứng dụng trong kiểm tra, tính toán và đo lường.
- Xây dựng hệ thống điều khiển ...

Như vậy việc ứng dụng của Matlab khá rộng rãi, được sử dụng như công cụ tính toán trong lĩnh vực khoa học và kỹ thuật: công nghệ, toán học, hóa học, vật lý... Tuy nhiên công tác đào tạo ở các trường Đại học ở nước ta hiện nay mới chỉ hạn chế ở mức độ mô hình hóa các đối tượng ảo và mô phỏng các phương trình toán, các thuật toán trên cơ sở lý thuyết. Việc giao tiếp với các thiết bị ngoại vi như các cảm biến, thiết bị đo lường hay với các cơ cấu chấp hành còn hạn chế. Một phần nguyên nhân là những Card giao tiếp chuyên dụng của Matlab có giá thành rất cao, chưa được đầu tư đồng bộ. Mặt khác phần mềm Matlab có bản quyền có giá thành cũng rất đắt. Trong khi đó công tác giảng dạy và đào tạo ở các Trường kể cả giảng viên và sinh viên vẫn có thói quen dùng các phần mềm miễn phí, phần mềm crack và không có bản quyền...

Những bất cập trên sẽ không còn là vấn đề nan giải với đề xuất ứng dụng VĐK Arduino để thay thế. Việc ứng dụng vi điều khiển Arduino để giao tiếp truyền thông với Matlab GUI để thực hiện các bài toán về đo lường và điều khiển bằng máy tính sẽ khắc phục được những khó khăn trên và đặc biệt rất nhanh chóng và thuận lợi khi xây dựng, triển khai những dự án.

Vi điều khiển Arduino hiện nay được cộng đồng nghiên cứu và sinh viên ở các Trường Đại học, cao đẳng sử dụng khá phổ biến do nhiều ưu điểm. Với đặc điểm là giá thành rất rẻ, phần mềm có bản quyền của hãng được cung cấp miễn phí, được cập nhật thường xuyên và ngôn ngữ lập trình đơn giản, dễ hiểu. Trong phần mềm được hãng phát triển nhiều ứng dụng thực tế rất cơ bản, dễ hiểu và có hướng dẫn tường minh, đặc biệt khả năng hỗ trợ người học tự nghiên cứu và phát triển các dự án, các ý tưởng thực tế. Một đặc điểm tiện ích khác cũng là ưu điểm khi dùng Arduino so với các dòng

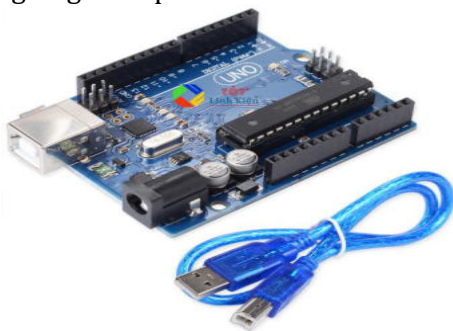
VĐK khác là người học không cần phải làm mạch. Bo mạch Arduino rất đa dạng đầy đủ các tính năng của người dùng VĐK cần có: như các cổng In/Out Digital/Analog, các cổng thu phát xung tốc độ cao, PWM, kết nối truyền thông với PC rất đơn giản qua cổng USB ... và một ưu điểm khác nữa là các phần mềm như Matlab, LabView hiện nay hỗ trợ miễn phí Driver cho tất cả các dòng VĐK Arduino này.

Vì vậy bài báo đề xuất nghiên cứu VĐK Arduino để giao tiếp với Matlab GUI, ứng dụng cho bài toán điều khiển và giám sát đối tượng nhiệt. Kết quả nghiên cứu khẳng định việc thay thế Card Matlab cho các ứng dụng đo lường điều khiển bằng máy tính là hoàn toàn khả thi. Đặc biệt thích hợp cho công tác giảng dạy, nghiên cứu trong các Viện, các Trường Đại học với chi phí thấp. Đồng thời cung cấp một giải pháp đơn giản, dễ thực hiện, đảm bảo các yêu cầu về công nghệ, kỹ thuật, tính hiện đại trong các bài toán đo lường, điều khiển giám sát bằng máy tính.

2. Vi điều khiển Arduino và truyền thông trong môi trường Matlab (P.Q.Huy, N.T. Hiếu, 2016)

2.1. Vi điều khiển Arduino

Hiện nay trên thị trường có nhiều phiên bản VĐK Arduino như Arduino Uno R3, Arduino Mega2560, Arduino Nano, Arduino Pro Mino, Arduino Lenadro, Arduino Industrial.... dưới đây giới thiệu phiên bản Arduino Uno R3(hình 1) được sử dụng để giao tiếp với Matlab.



Hình 1. Bo mạch Arduino và cáp giao tiếp USB
Một số thông số kỹ thuật của Arduino UNO R3:

- Chip ATMEGA328P-PU
- Nguồn Cấp: 7-12V
- 14 Chân Digital I/O (6 chân PWM)
- 6 Chân Analog Inputs
- 32k Flash Memory
- 16Mhz Clock Speed

- SRAM 2 KB
- EEPROM 1 KB (<http://Arduino.vn>)

Arduino Uno R3 là một board mạch vi điều khiển được phát triển bởi Arduino.cc, với nền tảng điện tử mã nguồn mở chủ yếu dựa trên vi điều khiển AVR Atmega328P. Phiên bản hiện tại của Arduino Uno R3 đi kèm với giao diện USB, 6 chân đầu vào analog, 14 cổng số I/O được sử dụng để kết nối với các thiết bị ngoại vi. Trong đó có 14 cổng I/O và 6 chân đầu ra PWM. Arduino Uno R3 được kết nối trực tiếp với PC thông qua USB để giao tiếp với phần mềm lập trình IDE, tương thích với Windows để sử dụng và thích hợp với các ngôn ngữ lập trình như C và C++ được sử dụng trong IDE. Ngoài USB, người dùng có thể dùng nguồn điện ngoài để cấp nguồn cho bo mạch.

2.2. Truyền thông giữa VĐK Arduino với Matlab

Gói hỗ trợ của MATLAB cho Arduino sẽ cho phép viết các chương trình trên MATLAB để thực hiện việc đọc và ghi dữ liệu vào Arduino và kết nối với các thiết bị ngoại vi. Các lợi ích chính của việc sử dụng MATLAB để lập trình Arduino là:

Đọc và ghi dữ liệu từ cảm biến mà không cần phải đợi biên dịch mã. Phân tích dữ liệu từ cảm biến bằng cách sử dụng hàng nghìn chức năng được xây dựng trước để tính toán, xử lý tín hiệu, mô hình toán học ...

Nhanh chóng và dễ dàng thực hiện việc xây dựng và phát triển một hệ thống đo lường – giám sát và điều khiển bằng giao diện trong môi trường Matlab

Gói hỗ trợ MATLAB cho phần cứng Arduino cho phép người dùng sử dụng MATLAB® để giao tiếp với Arduino® thông qua cáp USB. Gói này dựa trên một Server chạy chương trình trên Board. Chương trình này thực hiện các lệnh đi và đến qua cổng nối tiếp. Gói này hỗ trợ cho các loại Arduino Uno, Arduino Mega 2560 và Arduino Due. Hơn nữa, cách tiếp cận này giúp người dùng các tính năng sau:

- Bắt đầu lập trình ngay lập tức mà không cần bất kỳ hộp công cụ bổ sung nào.
- Làm việc trực tiếp trong môi trường MATLAB để phát triển các dự án.
- Phát triển các chương trình, giao diện để thu nhận tín hiệu tương tự và tín hiệu số. Đồng thời

thực hiện các thuật toán điều khiển đa dạng và phức tạp như điều khiển động cơ AC/DC, động cơ Servo và động cơ bước...

- Truy cập các thiết bị ngoại vi và cảm biến được kết nối qua I2C (Two-Wire Serial) hoặc SPI (Serial Peripheral Interface).

- Chạy các vòng điều khiển ở tần số lên đến 25 Hz (không phải thời gian thực).

- Thiết kế và xây dựng các hệ cơ điện tử, các hệ đo lường, giám sát, xử lý tín hiệu và cho các hệ thống thí nghiệm điện - điện tử ...

2.3. Các khối chức năng cơ bản trong thư viện Arduino I/O của Matlab, bảng 1 (Đặng Văn Chí & nnk, 2021).

Bảng 1. Các khối chức năng cơ bản của Matlab

	<p>Arduino Digital Read: Đọc giá trị digital từ pin được chọn, trả về giá trị 0 và 1.</p>
	<p>Arduino Analog Input: Đọc giá trị ADC trên các đầu vào analog của Arduino. Board Arduino UNO có thể biến đổi điện áp tương tự 0÷5V từ đầu vào tương tự A0÷A5 thành giá trị số 10bit nên khối này sẽ nhận được giá trị từ 0÷1023.</p>
	<p>Arduino Digital Output: Xuất giá trị digital (0 và 1) vào pin được chọn</p>
	<p>Arduino Analog Output: Xuất giá trị tới các đầu ra Analog của Arduino. Arduino sử dụng thanh ghi 8bit nên giá trị của khối Arduino Analog Write nhận được từ 0÷255</p>

	<p>Arduino IO Setup: Dùng để thiết lập Serial (COM) port của Arduino. Người sử dụng phải khai báo cho Matlab biết Arduino được kết nối vào cổng giao tiếp nào.</p>
	<p>Chức năng điều chế độ rộng xung (PWM), chân số 5</p>
	<p>Chức năng đọc dữ liệu truyền thông I2C</p>
	<p>Ultrasonic Sensor: Khối đọc tín hiệu từ cảm biến siêu âm</p>

3. Thiết kế xây dựng mô hình

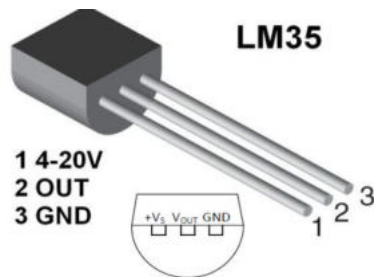
3.1. Tính chọn thiết bị

- Để thử nghiệm giao tiếp truyền thông với Matlab, đối tượng điều khiển được sử dụng là lò nhiệt điện trở được đúc kín bằng bê tông có khả năng giữ nhiệt tốt. Bên trong đặt Sensor nhiệt và thiết bị gia nhiệt, lò được thử nghiệm với mục đích ổn định nhiệt độ theo giá trị đặt, trên cơ sở thuật toán điều khiển PID. Trong bài báo này các tác giả không trình bày cụ thể về các công việc như: cơ sở lý thuyết về bộ điều khiển PID, hay nghiên cứu thực nghiệm lấy số liệu để xây dựng hàm truyền của đối tượng, hay thiết kế bộ điều khiển PID như thế nào mà chỉ tập trung vào mục tiêu của bài báo.

+ **Bo mạch Arduino:** như hình 1

+ **Sensor nhiệt độ:** loại LM35 – hình 2

- LM35 là bộ cảm biến nhiệt độ analog, Cảm biến đo được nhiệt độ từ 2-150°C cho ra tín hiệu dạng analog 0mV- 10mV/°C. (Lưu Thế Vinh, 2007)



Hình 2. Sensor nhiệt LM35

Thông số kỹ thuật:

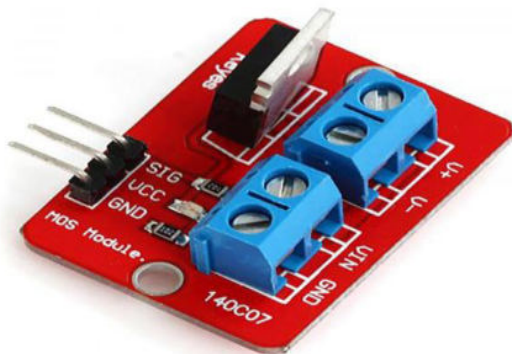
- Điện áp hoạt động: 4~20VDC
- Công suất tiêu thụ: khoảng 60uA
- Khoảng đo: -55°C đến 150°C
- Điện áp tuyến tính theo nhiệt độ: 10mV/°C
- Sai số: 0.25°C
- Kiểu chân: TO92
- Kích thước: 4.3 × 4.3mm

+ Thiết bị gia nhiệt:

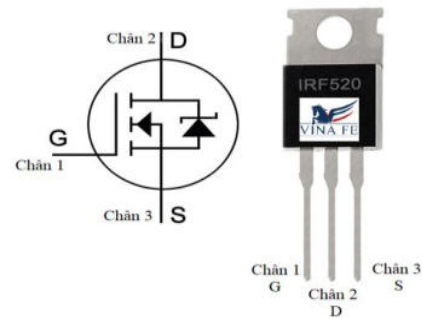
- Bài báo có tính chất nghiên cứu thử nghiệm truyền thông Matlab với Arduino, và nhiệt độ đặt cũng không cao, công suất nhiệt thấp. Nên để đơn giản thiết bị gia nhiệt được chọn là bóng đèn sợi đốt

+ Mạch công suất MOSFET IRF520: hình 3

- IRF520 là một MOSFET phù hợp với điều khiển đầu ra của IC hoặc từ Arduino. Tải tối đa mà transistor này có thể điều khiển là 9,2A với điện áp tải tối đa lên đến 100V.



Hình 3. Mạch công suất MOSFET IRF520

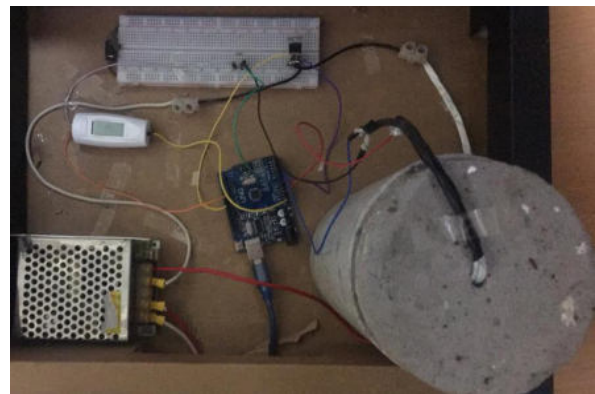


Hình 4. Sơ đồ chân IRF520

3.2. Xây dựng mô hình thử nghiệm

Mô hình thử nghiệm bộ điều khiển PID cho đối tượng nhiệt, trong đó ứng dụng VĐK Arduino làm Card đo lường và truyền thông với giao diện và lập trình PID trong Matlab như hình 5.

Thông số kỹ thuật lò: $P_{dm} = 300W$; $U_{dm} = 220V AC$; nhiệt độ làm việc 0°C – 150°C



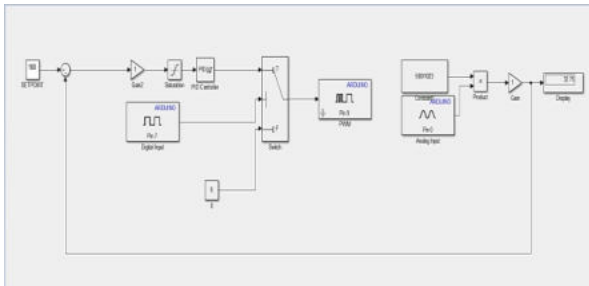
Hình 5. Mô hình điều khiển lò nhiệt

3.3. Thiết kế bộ điều khiển PID, lập trình điều khiển truyền thông và giao diện giám sát trên Matlab

+ Thiết kế bộ điều khiển PID:

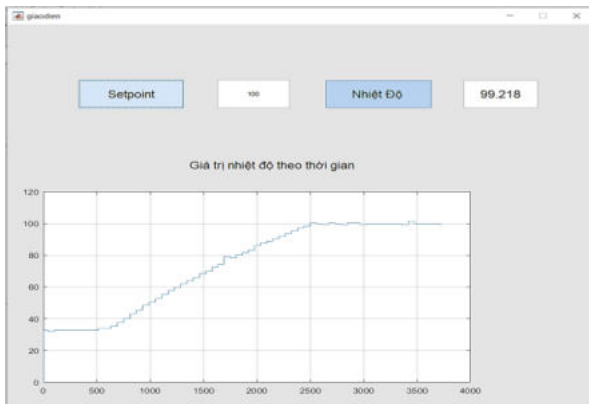
- Để thiết kế được bộ điều khiển PID cho đối tượng điều khiển lò nhiệt thì cần phải có mô hình toán học của đối tượng. Trên cơ sở mô hình cứng của thiết bị (hình 4), tiến hành thực nghiệm để xác định đường đặc tính cho đối tượng khảo sát. Thực hiện nhận dạng đặc tính của đối tượng sẽ xác định được hàm truyền của lò nhiệt. Hàm truyền lò nhiệt có dạng là một khâu quán tính bậc 1 có trễ.

+ Lập trình điều khiển và truyền thông bằng Simulink Matlab (hình 6)



Hình 6. Lập trình điều khiển PID và truyền thông trong Simulink – Matlab

+ Kết quả chạy thử trên giao diện GUI của Matlab: hình 7, hình 8.



Hình 7. Kết quả chạy thử tại điểm đặt 100°C



Hình 8. Kết quả chạy thử tại điểm đặt 80°C

Chất lượng của hệ thống điều khiển và kết quả chạy thử trên mô hình được đánh giá bởi các tiêu chuẩn sau:

- Sai lệch tĩnh: là sai lệch giữa tín hiệu setpoint và tín hiệu thực tế, với các điểm đặt khác nhau sai lệch dao động trong khoảng $\pm 1^\circ\text{C}$

- Độ quá điều chỉnh: là hiện tượng đáp ứng của hệ thống vượt qua giá trị xác lập của nó, với các điểm đặt khác nhau ta thấy tại các điểm gãy, lượng quá điều chỉnh gần như không đáng kể.

- Thời gian quá trình quá độ: là thời gian cần thiết để sai lệch giữa đáp ứng của hệ thống và giá trị xác lập của nó không vượt quá $\pm 2^\circ\text{C}$ ($\sim 2\%$).

- Thời gian lên: thời gian cần thiết để đáp ứng của hệ thống tăng từ 10% đến 90% giá trị xác lập của nó, do thiết kế lò có không gian hẹp nên thời gian lên này tương đối nhanh.

- Độ dự trữ ổn định: là khoảng cách giữa trục ảo đến nghiệm cực gần nhất, khi độ dự trữ càng lớn thì thời gian xác lập càng ngắn, hệ thống nhanh tiến tới giá trị xác lập.

4. Kết luận:

- Việc nghiên cứu ứng dụng vi điều khiển Arduino để giao tiếp với Matlab GUI cho bài toán điều khiển và giám sát đối tượng nhiệt đã đáp ứng được các yêu cầu về kỹ thuật và mục tiêu đặt ra.

- Các tác giả đã thực hiện việc khảo sát tính chọn thiết bị, xây dựng mô hình, thiết kế bộ điều khiển PID, lập trình truyền thông, xây dựng giao diện GUI và chạy thử kết nối điều khiển lò nhiệt điện trở. Bước đầu cho kết quả khả quan, hệ thống chạy ổn định với các điểm đặt khác nhau đều cho thấy đáp ứng các yêu cầu về chất lượng điều khiển như đánh giá trên.

- Mô hình thiết kế có tính chất thử nghiệm, sử dụng các sensor và thiết bị có giá thành thấp, độ chính xác và chất lượng còn hạn chế. Đề xuất tiếp tục đánh giá độ chính xác, tính ổn định và bền vững của hệ thống khi sử dụng các cảm biến chuyên dụng, có độ chính xác cao làm việc trong môi trường công nghiệp.

- Với kết quả nghiên cứu bước đầu này, thì việc ứng dụng các dòng VDK Arduino để thay thế các Card đo lường điều khiển chuyên dụng của Matlab để thực hiện các bài toán trong đo lường – điều khiển – giám sát bằng máy tính là hoàn toàn khả thi. Giải pháp có giá thành thấp, đảm bảo đầy đủ các yêu cầu về kỹ thuật và công nghệ cho các bài toán về đo lường – điều khiển – giám sát. Trong các Trường Đại học cách tiếp cận trên là phù hợp cho công tác giảng dạy và đào tạo lý thuyết với chi phí thấp. Ở

các Viện nghiên cứu phù hợp công tác nghiên cứu Khoa học và triển khai ứng dụng thực tế sản xuất.

Đóng góp của các tác giả:

Đặng Văn Chí: Nghiên cứu tổng quan cơ sở lý thuyết, đề xuất ý tưởng, xây dựng thuật toán và lập trình thu thập dữ liệu trên Matlab.

Nguyễn Thế Lực: Thiết kế, xây dựng và phát triển mô hình, thiết kế giao diện GUI trong Matlab, thực hiện chạy thử nghiệm.

Phan Thị Mai Phương: Đấu nối sơ đồ điện cho mô hình, soạn thảo, biên tập và hoàn thiện bài báo.

Tài liệu tham khảo

Sách tham khảo

Đặng Văn Chí, (2017). Kỹ thuật đo lường điện và các thuật toán đo phi điện. NXB Xây dựng, 298 trang.

Đặng Văn Chí & nnk, (2021). Đo lường điều khiển bằng máy tính, ứng dụng công nghệ IoT – Lora

Gateway để giám sát và điều khiển xa trên Web Server. NXB KHKT, 2021.

Phạm Quang Huy, Nguyễn Trọng Hiếu, (2016). Vi điều khiển và ứng dụng Arduino dành cho người tự học. NXB Bách Khoa Hà Nội, 407 trang.

Nguyễn Phùng Quang, (2004). Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động, NXB Khoa học & kỹ thuật, Hà Nội.

Lưu Thế Vinh, (2007). Giáo trình đo lường – cảm biến. NXB ĐH Quốc gia TP Hồ Chí Minh.

Wolfgang Georgi, Ergun Metin, (2006). Einfuehrung in LabVIEW. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag Muenchen.

Ernest O.Doebelin,(2003). Measurement System: “Application and design”, Mc Graw Hill.

Web tham khảo

<http://Arduino.vn>

<https://www.mathworks.com>

ẢNH HƯỞNG CỦA BỀ DÀY NAM CHÂM VĨNH CỬU ĐẾN ĐẶC TÍNH KHỞI ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ LSPMSM 3000 VÒNG/PHÚT

Trịnh Biên Thùy¹, Lê Anh Tuấn, Đỗ Như Ý^{2*}

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, trinhtuyvhan@gmail.com;

² Khoa Điện, trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, leanhtuan0985@gmail.com;

³ Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, donhuy@hmg.edu.vn

TÓM TẮT

Nguồn năng lượng hóa thạch ngày càng cạn kiệt, sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả là các yêu cầu cấp thiết của mỗi quốc gia. Ngày nay do sự phát triển nhanh chóng của công nghệ nam châm vĩnh cửu đất hiếm Neodymium (NdFeB) có tích số năng lượng lớn đã thúc đẩy chế tạo ra động cơ LSPMSM có hiệu suất cao thay thế các động cơ không đồng bộ (IM) truyền thống có hiệu suất thấp. Quá trình tính toán lựa chọn nam châm vĩnh cửu (NCVC) trong động cơ LSPMSM rất phức tạp nhất là với loại động cơ có tốc độ cao 3000 vòng/phút. Nội dung của bài báo đi phân tích ảnh hưởng của bề dày NCVC đến đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM -3000 vòng/phút. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để phân tích đánh giá đặc tính khởi động của động cơ. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để chế tạo hoàn thiện động cơ LSPMSM-3000 vòng/phút

Từ khóa: Nam châm vĩnh cửu, đặc tính khởi động, hiệu suất

1. Giới thiệu

Hiện nay, động cơ không đồng bộ (IM) vẫn đang được sử dụng phổ biến trong công nghiệp do có nhiều ưu điểm, như: cấu tạo đơn giản, giá thành thấp, tuổi thọ cao... Tuy nhiên các động cơ IM thường có hiệu suất thấp và khó cải thiện nâng cao hiệu suất của động cơ lên cao. Ngày nay, do sự phát triển nhanh chóng của công nghệ nam châm vĩnh cửu đất hiếm Neodymium (NdFeB) với mật độ từ trường cao, tích số năng lượng lớn đã thúc đẩy chế tạo ra các động cơ có hiệu suất cao. Trong đó, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp (LSPMSM) nổi lên như là một giải pháp thay thế cho IM [1][2].

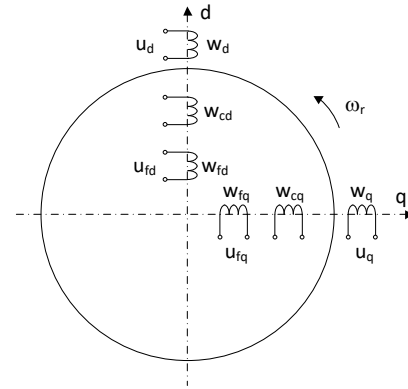
Động cơ LSPMSM là sự lai tạo giữa động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ bằng cách đặt các thanh nam châm vĩnh cửu vào rotor của IM. Do vậy, LSPMSM có khả năng tự khởi động trực tiếp, có hiệu suất và hệ số công suất cao. Trong động cơ LSPMSM, nam châm vĩnh cửu NdFeB đóng vai trò như một nguồn từ thông. Giá trị từ dư của nam châm vĩnh cửu này có nhiều ảnh hưởng đến hiệu suất làm việc của loại động cơ LSPMSM. Tuy nhiên việc tính toán thiết kế đối với động cơ LSPMSM rất phức tạp phụ thuộc nhiều vào kết cấu của nam châm vĩnh cửu trong động cơ LSPMSM [3].

Một số các nghiên cứu đã chỉ ra rằng sự phức tạp và ảnh hưởng của cấu trúc rotor trong động cơ LSPMSM 3000rpm. Trong tài liệu [4] phân tích hiệu suất của động cơ LSPMSM 2-pole với thiết kế kết cấu rotor có ba thanh nam châm, kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng với cấu trúc nam châm đề xuất động cơ có thể đạt được hiệu suất IE2. Trong nghiên cứu [5] nghiên cứu kết cấu khác nhau của nam châm điện trong rotor đến đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM – dựa trên động cơ nguyên mẫu IM 37kW-3000rpm.

Như vậy, cấu trúc của rotor ảnh hưởng nhiều đến đặc tính, hiệu quả làm việc của động cơ LSPMSM. Nội dung nghiên cứu của bài báo đi phân tích ảnh hưởng của bề dày nam châm tới đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM 3.000 vòng/phút thông qua phần mềm Ansys/Maxwell ứng dụng bởi phương pháp phần tử hữu hạn.

2. Mô hình toán động cơ LSPMSM

Sơ đồ tổng quát của máy điện đồng bộ được xác định [6]



Hình 1 Sơ đồ tổng quát của máy điện đồng bộ

Sơ đồ máy điện tổng quát được thể hiện ở hình 1, trong đó $\omega_r = \omega_{\text{đ}}$. Rôto có dây quấn kích từ và dây quấn cảm. Bỏ qua dòng điện phụ, phía rôto có hai dây quấn và stato có một dây quấn.

Trong đó: w_d, w_d - dây quấn phần ứng trục d, q; u_d, u_q - điện áp trên dây quấn w_d, w_q ; w_{cd}, w_{cd} - dây quấn cảm trục d, q; w_{fd}, w_{fq} - dây quấn kích từ; u_f - điện áp kích từ.

Từ mô hình toán máy điện đồng bộ tổng quát, Honsinger đề xuất mô hình toán cho LSPMSM [7]. Trong mô hình toán LSPMSM, Honsinger bổ sung sự có mặt lồng sóc thông qua các phương trình từ thông và điện áp rôto liên quan. Mô hình toán LSPMSM hiện nay đang được ứng dụng như sau [8]:

Phương trình điện áp:

Điện áp stato

$$\begin{cases} u_{ds} = r_1 i_{ds} + \frac{d\Psi_{ds}}{dt} - \omega_r \Psi_{qs} \\ u_{qs} = r_1 i_{qs} + \frac{d\Psi_{qs}}{dt} + \omega_r \Psi_{ds} \end{cases} \quad (1)$$

Điện áp rôto

$$\begin{cases} u'_{dr} = r'_{dr} i'_{dr} + \frac{d\Psi'_{dr}}{dt} = 0 \\ u'_{qr} = r'_{qr} i'_{qr} + \frac{d\Psi'_{qr}}{dt} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình từ thông:

Từ thông stato

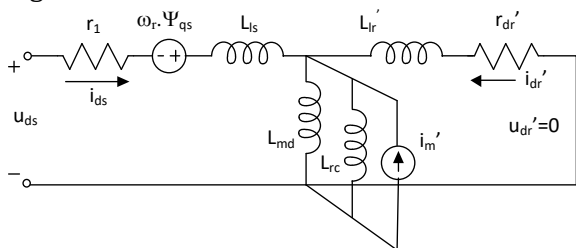
$$\begin{cases} \Psi_{ds} = (L_{ls} + L_{md})i_{ds} + L_{md}i'_{dr} + \Psi'_m \\ \Psi_{qs} = (L_{ls} + L_{mq})i_{qs} + L_{mq}i'_{qr} \end{cases} \quad (3)$$

Từ thông rôto

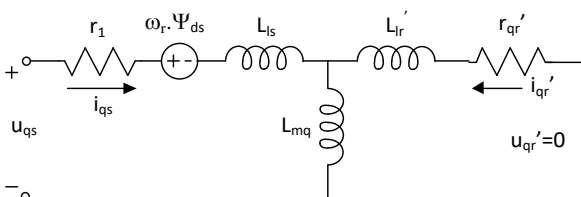
$$\begin{cases} \Psi'_{dr} = L'_{lr}i'_{dr} + L_{md}(i_{ds} + i'_{dr}) + \Psi'_m \\ \Psi'_{qr} = L'_{lr}i'_{qr} + L_{mq}(i_{qs} + i'_{qr}) \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó: ω_r - tốc độ góc rôto; Ψ'_m - từ thông móc vòng stato do NCVC sinh ra; L_{ls} - điện cảm tản dây quấn stato; L_{md} - điện cảm từ hóa đồng bộ dọc trục; L_{mq} - điện cảm từ hóa đồng bộ ngang trục; i_{ds} - thành phần dòng stato dọc trục; i_{qs} - thành phần dòng stato ngang trục; i'_{dr} - thành phần dòng rôto quy đổi dọc trục; i'_{qr} - thành phần dòng rôto quy đổi ngang trục.

Hình 2 và 3 là sơ đồ mạch điện thay thế dọc trục và ngang trục của LSPMSM thỏa mãn các phương trình điện áp và từ thông trong mô hình toán từ (1) đến (4), trong đó để mô hình hóa thay thế $\Psi'_m = L_{rc}i'_m$, L_{rc} là điện kháng giả tưởng NCVC, i'_m là dòng từ hóa tương đương quy đổi sang stato của NCVC:



Hình 2. Sơ đồ mạch điện thay thế trục d của LSPMSM



Hình 3. Sơ đồ mạch điện thay thế trục q của LSPMSM

Mômen điện từ của LSPMSM được xác định.

$$M_{dt} = \frac{3}{2} p \cdot \left[\underbrace{(L_{md}i'_{dr}i_{qs} - L_{mq}i'_{qr}i_{ds})}_{\text{thành phần mômen kháng từ đồng bộ}} + \underbrace{\Psi'_m i_{qs}}_{\text{thành phần mômen kích từ}} + \underbrace{(L_{md} - L_{mq})i_{ds}i_{qs}}_{\text{thành phần mômen từ trở}} \right]$$

(5)

Như vậy mômen điện từ của LSPMSM bao gồm ba thành phần: $M_{kđb}$ - thành phần mômen KĐB; M_{kt} - thành phần mômen kích từ; M_{ttr} - thành phần mômen từ trở.

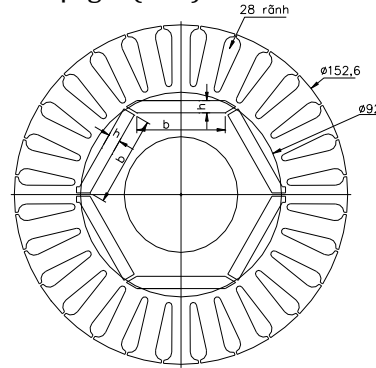
Mômen điện từ:

$$M_{dt} = M_{kđb} + M_{kt} + M_{ttr}$$

Từ (5) có thể nhận thấy, mômen điện từ của LSPMSM phức tạp hơn rất nhiều so với động cơ KĐB. Như vậy, các thành phần mômen kích từ, mômen từ trở sẽ tương đương với động cơ đồng bộ NCVC, LSPMSM chỉ khác là có thêm thành phần mômen KĐB và thành phần này đóng vai trò quyết định đến khả năng khởi động của động cơ.

3. Ảnh hưởng của bề dày nam châm tới đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM

Kết cấu của động cơ LSPMSM (15kW) điện áp 380/660V có dạng như hình 4, trong đó kích thước của NCVC có giá trị tương ứng độ dày h (mm) và bề rộng b (mm).



Hình 4. Kết cấu động cơ LSPMSM 15kW

Việc tính toán sơ bộ kích thước của nam châm vĩnh cửu trong động cơ LSPMSM thường được tính toán theo các bước sau [1]:

- Tính toán lựa chọn sơ bộ chiều rộng cực đại của nam châm W_m :

$$W_{max} = \sqrt{2}R_{1max}$$

Trong đó R_{1max} - là khoảng cách từ tâm đến đáy của rãnh rotor

- Tính toán thể tích tối thiểu nam châm được sử dụng

$$V_m = \frac{2 \cdot k_{ocf} \cdot k_{fd} \cdot (1 + k_{EC}) \cdot P_{đm}}{\pi^2 \cdot \xi \cdot 2 \cdot p \cdot f \cdot B_r \cdot H_c}$$

Trong đó: k_{fd} - Hệ số hình dáng từ hóa; k_{EC} - Hệ số sức điện động (0,6 ÷ 0,95); k_{ocf} - Hệ số quá tải; P_{dm} - Công suất định mức; P_{max} - Công suất lớn nhất; ξ -Hệ số sử dụng nam châm (0,3 ÷ 0,7). B_r - Mật độ từ dư; H_c - Cường độ từ trường cực đại.

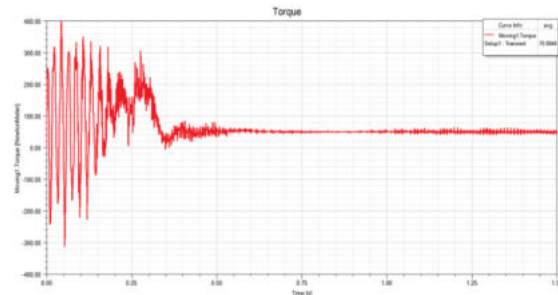
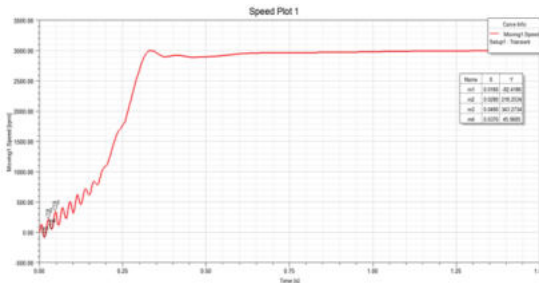
Từ thể tích nam châm V_m và chiều rộng cực đại b_{max} như trên tính được độ dày tối thiểu của nam châm h_{min} :

$$h_{min} = \frac{V_m}{H_m \cdot b_{max}}$$

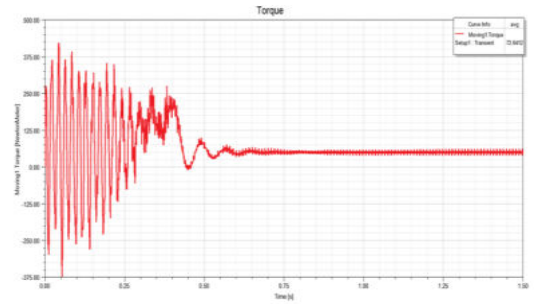
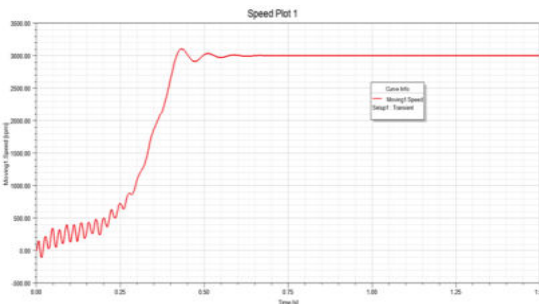
Như vậy thấy rằng tính toán độ dày của nam châm phụ thuộc rất nhiều vào các hệ số kinh nghiệm, độ dày của nam châm sẽ được tính toán thay đổi trong phạm vi rộng. Chính điều này ảnh hưởng nhiều tới đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM.

Sơ bộ tính toán đối với động cơ LSPMSM 15kW tính toán được chiều dày nam châm $h_{min}=7,3mm$, $b_{max}=35mm$. Khảo sát đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM - 3000vòng/phút, $P_{dm}=15kW$, $U_{dm}=380/660V$, sử dụng loại nam châm N=38SH với độ dày nam châm khác nhau là: $h_{1min}=7mm$; $h_{2min}=8mm$. Nhằm nghiên cứu các đặc tính của LSPMSM, bài báo sử dụng phần mềm ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method-FEM) để mô phỏng LSPMSM. Các kết quả mô phỏng nhằm mục đích nghiên cứu và đánh giá thiết kế của động cơ.

Kết quả đặc tính tốc độ và mômen của động cơ LSPMSM khi sử dụng nam châm N38SH có chiều dày $h_{1min}=7mm$, $b_{max}=35mm$ thu được như hình 5 và chiều dày $h_{2min}=8mm$, $b_{max}=35mm$ thu được trên hình 6.



Hình 5. Đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM $h_{1min}=7mm$, $b_{max}=35mm$



Hình 6. Đặc tính khởi động của động cơ LSPMSM $h_{1min}=8mm$, $b_{max}=35mm$

Kết quả đưa ra trên hình số 5 và số 6 nhận thấy rằng, với kích thước $h_{1min}=7mm$ động cơ tiến tới trạng thái đồng bộ nhanh hơn sau khoảng thời gian $t=0,38s$, tuy nhiên sau khi tiến tới trạng thái động cơ tốc độ động cơ bị dao động mạnh và rơi vào trạng thái mất đồng bộ và tới thời gian $t=0,73s$ động cơ mới tiến tới trạng thái ổn định, còn với kích thước chiều dày nam châm $h_{2min}=8mm$ động cơ vào trạng thái đồng bộ $t=0,42s$ và đạt trạng thái ổn định ở thời gian

$t=0,6s$. Ngoài ra đặc tính mô men ứng với chiều dày $h_{2min}=8mm$ có đặc tính ổn định ít dao động hơn trường hợp kích thước $h_{1min}=7mm$. Như vậy với kích thước $h_{2min}=8mm$ động cơ sẽ có đặc tính khởi động tốt hơn cả về tốc độ và mômen.

4. Kết luận

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày NVC đến khả năng khởi động và đặc tính mômen của động cơ của LSPMSM 3000 vòng/phút. Kết quả cho thấy, chiều dày của nam

châm vĩnh cửu ảnh hưởng mạnh tới đặc tính khởi động của động cơ. Như vậy thấy rằng để động cơ có đặc tính khởi động tốt nhất thì sau khi tính toán sơ bộ kích thước của nam châm thì phải kiểm nghiệm lại kích thước nam châm đã lựa chọn.

Tài liệu tham khảo

1. Nhu Y Do, Anh Tuan Do, Anh Tuan Le, Van Uy Luu. Design of high-performance explosion proof motor of 3,000 rpm for local exhaust ventilation in underground mining.
2. C. Mutize and R-J. Wang Performance comparison of an induction machine and line-start PM motor for cooling fan applications. Cephas Mutize, Rong-Jie Wang, Conference: 21st Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC), 2013).
3. V. Elistratova, "Optimal Design of Line-Start Internal Permanent Magnet Synchronous Motor of High Efficiency", HAL, 2016.
4. NY Do, TA Le, XC Ngo. Effect of Permanent Magnet Structure on The Performance of LSPMSM with a Power of 22 kW and 3000 rpm.
5. Donald Bo, Xia Bin. Recent Research of 2-pole Asynchronous Start Permanent Magnet Synchronous Motors.
6. Phạm Văn Bình (2011) *Máy điện tổng quát*. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
7. V. B. Honsinger (1980) *Permanent Magnet Machines: Asynchronous Operation*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 4.
8. M. H. Soreshjani, A. Sadoughi (2014) Conceptual Comparison of Line-Start Permanent Magnet Synchronous and Induction Machines for Line-Fed of Different Conditions. Journal of World's Electrical Engineering and Technology.

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KINH TẾ KỸ THUẬT CỦA CƠ CẤU NGHIÊNG CỐ ĐỊNH VÀ BỘ ĐỊNH HƯỚNG MẶT TRỜI ĐƠN TRỰC TỰ ĐỘNG CHO CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI MÁI NHÀ

Nguyễn Thị Hồng¹, Đỗ Như Ý², Ngô Xuân Cường^{3,*}

¹ Khoa Nhiệt lạnh, Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế, Việt Nam, email [nthong@hueic.edu.vn](mailto: nthong@hueic.edu.vn)

² Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, email [donhuy@humg.edu.vn](mailto: donhuy@humg.edu.vn)

^{3*} Khoa Kỹ thuật và Công nghệ - Đại học Huế, Việt Nam, email: [ngoxuancuong@hueuni.edu.vn](mailto: ngoxuancuong@hueuni.edu.vn)

TÓM TẮT

Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 của Việt Nam đã đặt mục tiêu phấn đấu đến năm 2030 có 50% các tòa nhà công sở và 50% nhà dân sử dụng điện mặt trời mái nhà tự sản, tự tiêu. Việt Nam có diện tích trải dài trên bán cầu Bắc, có khí hậu phân hóa rõ rệt từ Bắc vào Nam, có tiềm năng phát triển điện mặt trời rất lớn. Bài viết tập trung nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật của cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động cho các hệ thống điện mặt trời mái nhà tại thành phố Huế, miền trung Việt Nam. Đầu tiên, sản xuất điện của các cơ cấu được phân tích. Sau đó, các cơ cấu được so sánh về mặt kinh tế và được đánh giá theo chi phí điện năng quy đổi (LCoE), thời gian hoàn vốn chiết khấu (DPBP). Kết quả phân tích đã chỉ rõ hệ thống điện mặt trời mái nhà với bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động cho sản lượng điện cao hơn và có thời gian hoàn vốn chiết khấu nhỏ hơn so với cơ cấu nghiêng cố định.

Từ khóa: Cơ cấu nghiêng cố định, bộ định hướng mặt trời, hệ thống điện mặt trời mái nhà

1. Giới thiệu

Tiêu thụ điện tại các nước đang tăng nhanh do thu nhập, dân số tăng nhanh và nhu cầu về thiết bị điện tử và tiêu dùng. Sau khi giảm khoảng 1% vào năm 2020, nhu cầu điện toàn cầu dự kiến sẽ tăng gần 5% vào năm 2021 và 4% vào năm 2022. Phần lớn mức tăng này sẽ diễn ra ở khu vực Châu Á Thái Bình Dương [1].

Ở Việt Nam, thủy điện và nhiệt điện than vẫn là nguồn sản xuất điện chính [2]. Tuy nhiên, các dự án điện mặt trời đang phát triển mạnh mẽ dưới sự hỗ trợ của các chính sách. Nó được bắt đầu vào năm 2015 với mục tiêu sản xuất điện từ năng lượng mặt trời được quy hoạch đạt 1,4 tỷ kWh vào năm 2020, 35,4 tỷ kWh vào năm 2030 và 210 tỷ kWh vào năm 2050 [3]. Vào tháng 4 năm 2017, chính phủ đã công bố giá hỗ trợ (FiT) đầu tiên là 9,35 UScent / kWh theo Quyết định 11/2017 / QĐ-TTg đối với điện mặt trời, đặc biệt đối với các dự án điện mặt trời hòa lưới trên mái nhà, áp dụng cơ chế đo thực. Vào tháng 1 năm 2019, chính phủ đã cho phép các dự án điện mặt trời hòa lưới trên mái nhà bán điện theo FiT1 là 9,35 UScent / kWh thông qua đồng hồ đo điện 2 chiều. Theo đó, đến cuối năm 2019, tổng công suất lắp đặt của các hệ thống điện mặt trời sẽ tăng thêm khoảng 5 GWp, bao gồm khoảng 4,5 GWp của các nhà máy điện mặt trời điện mặt trời hòa lưới mới và khoảng 0,4 GWp của hệ thống điện mặt trời hòa lưới trên mái nhà [3]. Giá FiT2 là 8,38 UScent / kWh theo Quyết định 13/2020 của Chính phủ áp dụng từ ngày 30 tháng 6 năm 2019 đến ngày 31 tháng 12 năm 2020. Trong thời gian đó, Việt Nam đã đấu nối 101.029 dự án điện mặt trời hòa lưới trên mái nhà vào hệ thống điện với tổng công suất lắp đặt là 9.296 MWp [4]. Tổng công suất lắp đặt điện mặt trời khoảng 19.400 MWp (chiếm khoảng 25% tổng công suất đặt của hệ thống điện quốc gia) [4]. Cho đến nay, công suất lắp đặt của hệ thống điện mặt trời hòa lưới trên mái nhà đạt 9580 MWp [5]. Vì vậy, kể từ khi FiT2 kết thúc, việc xây dựng và lắp đặt hệ thống điện mặt trời hòa lưới đã bị dừng lại và họ đang chờ quyết định mới từ chính phủ. Trong thời gian này, các nhà nghiên cứu cần đánh giá và phân tích toàn diện về hiệu suất và tác động của hệ thống điện mặt trời hòa lưới trên mái nhà. Gần

đây nhất, chính phủ Việt Nam đã ban hành quyết định số 500/QĐ-TTg của Thủ tướng về phê duyệt quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (quy hoạch điện 8) [6]. Đáng chú ý, quy hoạch điện 8 ưu tiên phát triển mạnh các nguồn năng lượng tái tạo phục vụ sản xuất điện. Nguồn điện này sẽ đạt tỉ lệ khoảng 30,9 - 39,2% vào năm 2030. Bên cạnh đó, Việt Nam phấn đấu đến năm 2030 có 50% các tòa nhà công sở và 50% nhà dân sử dụng điện mặt trời mái nhà tự sản, tự tiêu (phục vụ tiêu thụ tại chỗ, không bán điện vào hệ thống điện quốc gia) [6].

Hệ thống điện mặt trời hòa lưới quy mô nhỏ mang lại hiệu quả cao ở các khu vực đô thị do không tiêu tốn đất, giảm hóa đơn tiền điện hàng tháng, chống nóng cho tòa nhà, tạo thu nhập cho các hộ gia đình và giảm chi phí truyền tải và phân phối. Ngoài ra, dưới ảnh hưởng của các chính sách của chính phủ, công suất lắp đặt của các hệ thống điện mặt trời hòa lưới trên mái nhà ngày càng tăng, và các nghiên cứu liên quan cũng ngày càng tăng trong các tài liệu [7-11].

Ở Việt Nam, hệ thống điện mặt trời hòa lưới đang phát triển nhanh chóng. Tuy nhiên, các ấn phẩm xuất bản còn hạn chế về phân tích hiệu suất hệ thống và giải pháp nâng cao hiệu suất của các hệ thống. Phân tích mô phỏng hệ thống PV 15 kWp được sử dụng trong mô hình tòa nhà không sử dụng năng lượng ở Hà Nội, Việt Nam đã được hiển thị với góc nghiêng tối ưu là 15° [12]. Một nghiên cứu thử nghiệm ở miền Trung Việt Nam đã chỉ ra rằng hiệu suất hệ thống điện mặt trời sử dụng bộ định hướng đơn trục tự động trung bình tăng 15,2% so với sử dụng hệ thống đứng yên [8]. Tỷ số hiệu suất lần lượt là 66,0% và 69,2% đối với hệ thống điện mặt trời hòa lưới không có và có thiết bị định hướng năng lượng mặt trời đơn trục [13]. Mô phỏng sản lượng năng lượng dự kiến của dự án điện mặt trời hòa lưới, dòng tiền và thu nhập năng lượng từ chương trình FiT cho thấy thời gian hoàn vốn là 8 năm so với 20 năm ở Gia Lai, Việt Nam [14]. Nghiên cứu về hệ thống điện mặt trời hòa lưới ở Tây Nguyên Việt Nam cho thấy, giá bán lẻ điện ảnh hưởng đến thời gian hoàn vốn, thời gian ngắn nhất là 4 năm đối với hệ thống lắp đặt tại hộ gia đình sử dụng giá cao nhất [15]. Một hệ thống điện mặt trời trên mái nhà có

công suất 8,36kWp đã được mô phỏng và phân tích kinh tế tại một gia đình ở Thành phố Thủ Dầu Một, Việt Nam [16].

Từ các phân tích cho thấy, chưa có các nghiên cứu phân tích đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật các hệ thống điện mặt trời mái nhà sử dụng các cơ cấu khác nhau. Bài báo tập trung xây dựng mô hình nghiên cứu hệ thống điện mặt trời mái nhà hòa lưới (ĐMTMNL) với các cơ cấu nghiêng cố định và tính toán cho bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động. Từ đó đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật của cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động cho các hệ thống điện mặt trời mái nhà theo chi phí điện năng quy đổi (LCoE), thời gian hoàn vốn có chiết khấu (DPBP).

2. Đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật

2.1. Hệ thống điện mặt trời mái nhà hòa lưới

Nghiên cứu đề xuất hệ thống điện mặt trời mái nhà hòa lưới bao gồm bốn tấm quang điện đa tinh thể thương mại SUN330-72P và bộ biến tần vi mô kết nối lưới Huayu HY-1200-Pro với bốn đầu vào độc lập MPPT (theo dõi điểm công suất tối đa). Mỗi tấm quang điện đã được kết nối trực tiếp với đầu vào độc lập MPPT của bộ chuyển đổi vi mô. Biến tần vi mô đã được kết nối với điện áp xoay chiều một pha điện áp thấp 220V, 50Hz. Các thông số kỹ thuật của tấm quang điện trong điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn (STC) và bộ biến tần vi mô (Microinverter) lần lượt được đưa ra trong Bảng 1, Bảng 2 [17].



Hình 1. Hệ thống điện mặt trời mái nhà hòa lưới.

Hệ thống điện mặt trời mái nhà hòa lưới thực nghiệm được đề xuất lắp đặt ở vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa tỉnh Thừa Thiên Huế, miền Trung Việt Nam (Thành phố Huế) ở vĩ độ 16,47°N, kinh

độ 107,60°E và độ cao 15m so với mặt đất. Thành phố Huế của Việt Nam nằm ở bán cầu bắc. Theo các tài liệu [8] góc nghiêng tối ưu bằng góc vĩ độ của nơi lắp đặt nên các tấm quang điện của hệ thống được lắp đặt với góc nghiêng tối ưu khoảng 17° và mặt hướng về phía Nam tương ứng với một phương vị là 0° (Hình 1).

Bảng 1. Thông số của tấm quang điện

Tấm quang điện	Thông số kỹ thuật
Loại	SUN330-72P
Loại tế bào	Đa tinh thể
Công suất đỉnh	330 Wp
Hiệu suất tấm	17,09%
Số tế bào	72
Điện áp tại công suất đỉnh	37,8 V
Dòng điện tại công suất đỉnh	8,73 A
Dòng ngắn mạch	9,22 A
Điện áp hở mạch	45,5 V
Hệ số nhiệt của P_{max}	-0,41 %/°C
Hệ số nhiệt của I_{sc}	0,06 %/°C
Hệ số nhiệt của V_{oc}	-0,33 %/°C
Kích thước	1950x990x40 mm
Trọng lượng	23 kg

Bảng 2. Thông số của bộ biến tần vi mô HY-1200-Pro

Bộ biến tần vi mô	Thông số kỹ thuật
Công suất AC định mức	1.200 W
Công suất đầu vào	4 × 210~400W
Điện áp DC lớn nhất	60V
Điện áp MPPT	25~55V
Hiệu suất đỉnh	96,5%
Số MPPT đầu vào	4
Bảo hành	25 năm

2.2. Phân tích kỹ thuật

Phân tích kỹ thuật tập vào 2 thông số là hệ số sử dụng công suất và hiệu suất hệ thống. Tỷ lệ giữa đầu ra sản lượng AC sinh ra do hệ thống ĐMTMNL với năng lượng mà hệ thống ĐMTMNL tạo ra nếu nó được vận hành ở công suất định mức đầy đủ trong một khoảng thời gian tính toán được gọi là hệ số sử dụng công suất (CUF: capacity utilization factor) [7]. CUF có thể

được biểu thị dưới dạng giá trị hàng năm và hàng tháng tùy thuộc vào giá trị của sản lượng năng lượng AC thực và khoảng thời gian tính toán và được tính theo công thức sau:

$$CUF = \frac{E_{out}}{P_0 \cdot T} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$= \frac{\sum_k P_{out,k} \cdot \tau_k}{P_0 \cdot \sum_k \tau_k} \cdot 100\%$$

Trong đó, E_{out} là sản lượng điện AC, kWh; $P_{out,k}$ là công suất điện AC của hệ thống, kW; P_0 là công suất đỉnh của hệ thống ĐMTMNL lắp đặt, kWp; T là chu kỳ tính toán, h; τ_k là thời gian lấy mẫu, h;

Hiệu suất hệ thống mô tả tỷ lệ giữa đầu ra sản lượng điện AC sinh ra thực tế của hệ thống ĐMTMNL với tổng năng lượng mặt trời thu được từ tổng diện tích của tấm quang điện [7]. Hiệu quả của hệ thống có thể được biểu thị bằng các giá trị hàng năm và hàng tháng tùy thuộc vào sản lượng điện AC và tổng lượng bức xạ mặt trời trong mặt phẳng. Hiệu suất hệ thống tổng thể hàng tháng hoặc hàng năm (AOSE: annual overall system efficiency) được tính theo công thức sau:

$$AOSE = \frac{E_{out}}{A_{pv} \cdot H_t} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$= \frac{\sum_k P_{out,k} \cdot \tau_k}{A_{pv} \sum_k G_{t,k} \cdot \tau_k} \cdot 100\%$$

Trong đó, E_{out} là sản lượng điện AC, kWh; $P_{out,k}$ là công suất điện AC của hệ thống, kW; τ_k là thời gian lấy mẫu, h; A_{pv} là tổng diện tích của các tấm quang điện, m²; H_t là tổng bức xạ mặt trời trong mặt phẳng, kWh/m².

Phụ thuộc vào công suất tiêu thụ của phụ tải, sản lượng điện sinh của hệ thống ĐMTMNL một phần đưa vào lưới điện (E_{GCPV} sản lượng điện mặt trời được hòa lưới) và một phần được tiêu thụ (E_{FrPV} sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ). Đối với trường hợp công suất phụ tải lớn hơn nhiều so với công suất của hệ thống ĐMTMNL, thì 100% sản lượng điện sinh ra được tiêu thụ hết. Đối với trường hợp công suất phụ tải bằng không thì 100% sản lượng điện sinh ra được hòa vào lưới và bán điện cho Công ty điện lực.

Trong các phân tích năng lượng, nghiên cứu này tập trung phân tích hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định với sản lượng điện sinh ra, sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ và sản lượng điện mặt trời được hòa lưới được đo lường thực tế. Đối với thốg ĐMTMNL sử dụng

cơ cấu nghiêng cố định, sản lượng điện của hệ được đo lường thực tế. Còn đối với hệ thống ĐMTMNL sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động, các số liệu trên được tính toán dựa theo hiệu suất cải thiện năng lượng 15,2% [8] và tỷ lệ điện mặt trời được tiêu thụ của hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định.

Thêm vào đó, đối với các hệ thống ĐMTMNL, tổn thất năng lượng đầu ra hàng năm chủ yếu là do sự suy giảm trên các tấm quang điện, vì vậy hệ số suy giảm được coi là 0,6% [18].

2.3. Phân tích kinh tế

Phân tích tài chính là nền tảng để thuyết phục mọi người đầu tư vào việc lắp đặt hệ thống ĐMTMNL. Các chỉ số như Chỉ số thời gian hoàn vốn chiết khấu (DPBP: Discounted Payback Period) và Giá điện quy dẫn (LCOE: Levelized cost of electricity) được xem xét để đánh giá khả năng tài chính của hệ thống ĐMTMNL. Trong phần này, các khái niệm về tỷ lệ lạm phát và tỷ lệ tăng giá bán lẻ điện được bỏ qua. Lãi suất chiết khấu được chọn bằng với lãi suất hiện tại (5.3% [19]).

LCOE cung cấp khả năng cạnh tranh tổng thể của các tùy chọn phát điện khác nhau. Chi phí hàng năm cho năm thứ n bao gồm chi phí vận hành, bảo trì, thay thế trong tương lai và bảo hiểm [18, 20]. Tuy nhiên, với hệ thống ĐMTMNL, chi phí hàng năm cho hệ thống chỉ bao gồm chi phí vận hành, chi phí bảo trì, các chi phí khác không được tính đến. Ngoài ra, sự suy giảm điện năng hàng năm của hệ thống ĐMTMNL cũng được xem xét, vì vậy các giá trị LCOE cho hệ thống ĐMTMNL được tính theo công thức sau [17, 20]:

$$LCOE = \frac{C_l + \sum_{n=1}^N \frac{C_{o\&m}}{(1+dr)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{E_{out,1} \cdot (1-D)^{n-1}}{(1+dr)^n}} \quad (3)$$

Trong đó, D là hệ số suy giảm của hệ thống ĐMTMNL, %; $C_{o\&m}$ là chi phí vận hành và bảo trì hàng năm, VNĐ; $E_{out,1}$ là sản lượng điện AC hàng năm từ hệ thống ĐMTMNL của năm đầu tiên, kWh.

DPBP đưa ra số năm cần thiết để thu hồi chi phí ban đầu của một dự án. DPBP càng dài thì rủi ro đầu tư không thu được lợi tức kỳ vọng càng

cao. Tuy nhiên, DPBP bỏ qua các dòng tiền xảy ra sau thời gian hoàn vốn và không cung cấp thông tin về tổng lợi nhuận. DPBP được tính như sau [21, 22]:

$$\sum_{n=1}^{DPBP} \frac{CES_n}{(1+i)^n} = C_I \quad (4)$$

Trong đó C_I là chi phí đầu tư ban đầu, VNĐ; i là lãi suất, %; CES_n là chi phí tiết kiệm năng lượng hàng năm từ hệ thống ĐMTMNHL hay dòng tiền ròng trong kỳ n .

Bảng 3. Biểu giá điện hỗ trợ FiT2.

TT	Loại công nghệ điện mặt trời	VNĐ/kWh	UScent/kWh
1	Dự án điện mặt trời mặt đất	1.644	7,09
2	Dự án điện mặt trời nổi	1.783	7,69
3	Dự án điện mặt trời áp mái	1.943	8,38

Chi phí tiết kiệm năng lượng hàng năm từ hệ thống ĐMTMNHL được tính bằng tổng năng lượng tiết kiệm hàng tháng, được tính là lợi ích hàng tháng từ việc bán điện mặt trời cho lưới điện và lợi ích hàng tháng từ việc giảm tiền điện tiêu thụ khi sử dụng hệ thống ĐMTMNHL, và trừ cho chi phí vận hành, chi phí bảo trì:

$$CES = \sum_{j=1}^{12} CES_j - C_{O\&M} = \sum_{j=1}^{12} [B_{PV_{GCj}} + B_{j_{user}}] - C_{O\&M} \quad (5)$$

Trong đó, CES_j là chi phí tiết kiệm năng lượng hàng tháng từ hệ thống ĐMTMNHL, VNĐ; $B_{PV_{GCj}}$ là lợi ích hàng tháng từ việc bán điện mặt trời cho lưới điện, VNĐ; $B_{j_{user}}$ là lợi ích hàng tháng từ việc giảm tiền điện tiêu thụ khi sử dụng hệ thống ĐMTMNHL, VNĐ; $C_{O\&M}$ là chi phí vận hành và bảo trì hàng năm, VNĐ.

Các dự án ĐMTMNHL lắp đặt và vận hành trước 30/12/2020 được áp dụng biểu giá được hỗ trợ FiT2 (thể hiện trên Bảng 3) theo Quyết định số 13/2020/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ chính thức có hiệu lực từ ngày 22 tháng 5 năm 2020 [15, 17]. Theo đó hệ thống ĐMTMNHL được nghiên cứu sẽ được áp dụng biểu giá FiT2 cho hệ thống ĐMTMNHL với mức giá 0,0838 USD/kWh tương đương 1.943 VNĐ/kWh. Lợi ích hàng tháng từ việc bán điện mặt trời cho lưới điện của các hệ thống ĐMTMNHL được tính theo công thức:

$$B_{PV_{GCj}} = E_{GCPV} \cdot FiT2 \quad (6)$$

Trong đó, $FiT2 = 1.943$ VNĐ/kWh; E_{GCPV} là sản lượng điện mặt trời được hòa lưới, kWh.

Bảng 4. Giá bán lẻ điện sinh hoạt [23].

Bậc i	Sản lượng điện tiêu thụ	Giá điện bán lẻ (VNĐ/kWh)	Giá bao gồm thuế giá trị gia tăng (VNĐ/kWh)
1	Bậc 1: 0-50 kWh	1.678	1.845,8
2	Bậc 2: 51-100 kWh	1.734	1.907,4
3	Bậc 3: 101-200 kWh	2.014	2.215,4
4	Bậc 4: 201-300 kWh	2.536	2.789,6
5	Bậc 5: 301-400 kWh	2.834	3.117,4
6	Bậc 6: lớn hơn 401 kWh	2.927	3.219,7

Bảng 5. Sản lượng điện tiêu thụ hàng tháng và sản lượng điện sinh ra từ hệ thống ĐMTMNL.

Tháng	Sản lượng điện tiêu thụ tổng E_{user} kWh	Sản lượng điện tiêu thụ từ lưới E_{FrGrid} kWh	Sản lượng điện mặt trời được hòa lưới E_{GCPV} , kWh	Sản lượng điện AC sinh ra từ hệ thống ĐMTMNL E_{out} , kWh	Sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ E_{FrPV} , kWh	Sản lượng điện DC từ hệ thống ĐMTMNL, E_{DC} , kWh	Tổng bức xạ mặt trời trong mặt phẳng H_t kWh/m ²
8/2020	781	610	0	171	171	178	172,7
9/2020	753	576	0	177	177	185	176,1
10/2020	635	556	1	80	79	84	75,6
11/2020	388	310	16	94	78	99	85,1
12/2020	417	362	9	64	55	67	57,8
1/2021	602	500	7	109	102	114	96,8
2/2021	458	347	52	163	111	163	155,1
3/2021	351	266	72	157	85	158	155,2
4/2021	438	320	60	178	118	179	177,9
5/2021	684	524	40	200	160	201	196,2
6/2021	951	794	16	173	157	180	169,9
7/2021	941	785	20	176	156	178	171,3
Tổng	7399	5950	293	1742	1449	1786	1689,7

Bảng 6. Sản lượng điện sinh ra từ hệ thống ĐMTMNL sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động tính toán.

Tháng	Sản lượng điện AC sinh ra từ hệ thống ĐMTMNL E_{out} , kWh	Sản lượng điện mặt trời được hòa lưới E_{GCPV} , kWh	Sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ E_{FrPV} , kWh
8/2020	197	33	164
9/2020	204	34	170
10/2020	92	15	77
11/2020	108	18	90
12/2020	74	12	62
1/2021	126	21	105
2/2021	188	32	156
3/2021	181	30	151
4/2021	205	34	171
5/2021	230	39	191
6/2021	199	33	166
7/2021	203	34	169
Tổng	2007	335	1672

Tại Việt Nam, giá điện sinh hoạt, thương mại và công nghiệp là khác nhau. Nghiên cứu này chỉ đề cập đến người sử dụng điện sinh hoạt. Tiền điện hàng tháng được tính theo sản lượng điện tiêu thụ và giá bán lẻ sinh hoạt theo bậc trong bảng 4, phù hợp cho các hộ gia đình từ năm 2020 đến nay [15]. Đối với hộ gia đình có lắp đặt hệ thống ĐMTMNL, tổng sản lượng điện mua từ Công ty điện lực sẽ thấp hơn tổng sản lượng điện tiêu thụ hàng tháng, và thấp hơn một lượng bằng với sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ (E_{FrPV}). Với giả định rằng, hàng tháng hộ gia đình có lắp đặt hệ thống ĐMTMNL vẫn phải thanh toán tiền điện cho Công ty điện lực với giá điện bậc 6 trong giá bán lẻ điện sinh hoạt, thì lợi ích hàng tháng từ việc giảm tiền điện tiêu thụ khi sử dụng hệ thống ĐMTMNL được tính:

$$B_{j_user} = E_{FrPV} \cdot Price_6 \quad (7)$$

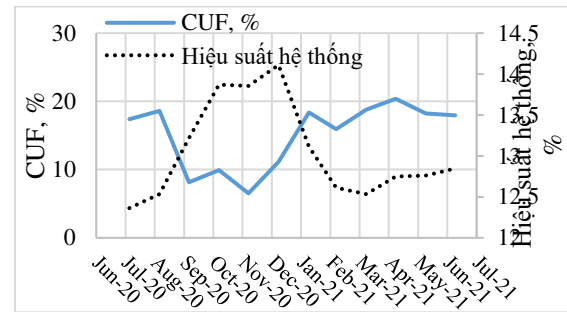
trong đó, $Price_6 = 3.219,7$ VNĐ/kWh; E_{FrPV} là sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ, kWh.

3. Kết quả và thảo luận

Phần này tập trung phân tích kinh tế kỹ thuật của hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động. Thời gian phân tích được tiến hành trong một năm lắp đặt từ 8/2020 đến 7/2021. Đối với hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định, nghiên cứu trình bày các dữ liệu đo lường được thực tế thu được từ bộ ghi dữ liệu năng lượng mặt trời tích hợp trong bộ biến tần vi mô, các kết quả đã được công bố tại [17].

3.1. Kết quả phân tích kỹ thuật

Sản lượng điện tiêu thụ hàng tháng và sản lượng điện sinh ra từ hệ thống ĐMTMNL được trình bày trong Bảng 5. Trong một năm nghiên cứu, sản lượng điện AC sinh ra từ hệ thống ĐMTMNL, sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ và sản lượng điện mặt trời được hòa lưới đạt lần lượt 1742 kWh, 1449 kWh, 293 kWh. Qua đó có thể tính tỷ lệ điện mặt trời được tiêu thụ của hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định đạt 83,18%, chỉ số này dùng để phân tích kinh tế cho hệ thống ĐMTMNL sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động



Hình 2. Hiệu suất hệ thống, CUF hàng tháng của hệ thống ĐMTMNL

Giá trị hàng tháng của CUF và hiệu suất hệ thống được thể hiện trong Hình 2. CUF hàng tháng của hệ thống ĐMTMNL được nghiên cứu dao động từ 6,5% (vào tháng 12 năm 2020) đến 20,3% (vào tháng 5 năm 2021), với CUF hàng năm là 15,07%. Hơn nữa, giá trị CUF tỷ lệ thuận với tổng bức xạ mặt trời trên bề mặt mô-đun, nghĩa là chúng phụ thuộc vào vị trí và điều kiện khí hậu. CUF hàng năm của hệ thống ĐMTMNL được nghiên cứu gần với giá trị CUF cho vùng khí hậu nhiệt đới (14,69% – 17,51% với giá trị trung bình là 15,70%) [17, 24].

Như được mô tả trong Hình 2, hiệu suất hệ thống của hệ thống ĐMTMNL được nghiên cứu tương đối ổn định, ít dao động trong suốt cả năm. Mức trung bình là 12,89%, thấp nhất vào tháng 8 năm 2020 (12,36%) và cao nhất vào tháng 1 năm 2021 (14,11%). Các mức này cao hơn hệ thống ĐMTMNL ở Malaysia là 10-11% [7] và 9,15% [24]. Điều này có thể thực hiện được vì hệ thống ĐMTMNL được nghiên cứu sử dụng bộ biến tần vi mô với 4 đầu vào MPPT độc lập cho 4 tấm quang điện, điều này làm giảm ảnh hưởng của từng tấm quang điện lên tổng thể hệ thống ĐMTMNL (nhất là hiện tượng che bóng làm giảm hiệu suất của từng tấm quang điện), khác với các hệ thống so sánh chỉ sử dụng 1 đầu vào MPPT cho mảng quang điện hoặc chuỗi quang điện.

3.2. Kết quả phân tích kinh tế

Phần này tập trung phân tích kinh tế cho hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động. Đối với hệ thống với hệ thống ĐMTMNL với bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động được tính toán theo cơ cấu nghiêng cố định với hiệu suất cải thiện năng lượng hằng năm là

15,2% [8], và tỷ lệ điện mặt trời được tiêu thụ của hệ thống ĐMTMNL là 83,18%, trình bày ở phần 3.1. Sản lượng điện sinh ra từ hệ thống ĐMTMNL sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động trong khoảng thời gian từ 08/2020 đến 7/2021 được tính toán và trình bày tại bảng 6.

Các Hệ thống ĐMTMNL áp dụng biểu giá FIT2 được ký hợp đồng với thời hạn là 20 năm, đây cũng được xem như là tuổi thọ trung bình của các hệ thống điện mặt trời. Để tính toán LCOE, DPBP có các yếu tố như tuổi thọ của hệ thống điện mặt trời (20 năm), lãi suất chiết khấu được chọn bằng với lãi suất hiện tại (5.3% [19]) hệ số suy giảm công suất của hệ thống ĐMTMNL là 0,6% [18].

Chi phí đầu tư ban đầu của hệ thống ĐMTMNL sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động và cơ cấu nghiêng cố định được trình bày tại bảng 7. Chi phí này bao gồm 04 tấm quang điện, bộ biến tần vi mô, chi phí cáp điện và linh kiện khác khác, vận chuyển, lắp đặt và chi phí cho cơ cấu chấp hành và bộ điều khiển bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động. Các thiết bị chính của hệ thống ĐMTMNL như bộ biến tần vi mô và các tấm quang điện được bảo hành hơn 20 năm, do đó nghiên cứu không tính đến các chi phí thay mới hay sửa chữa.

Hệ thống ĐMTMNL đã được vận hành và nghiên cứu trong điều kiện thời tiết thực tế nên hiệu suất của hệ thống này bị ảnh hưởng rất nhiều do bụi bẩn bám trên bề mặt tấm quang điện nên nhóm nghiên cứu đã tiến hành vệ sinh tấm pin 2 lần trong năm nghiên cứu tháng 10

Bảng 8. Sản lượng điện hằng năm và chi phí tiết kiệm của hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động trong suốt vòng đời dự án FIT2

Năm, n	Cơ cấu nghiêng cố định				Bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động			
	E _{out} , kWh	CES _n VNĐ	$\sum_n \frac{CES_n}{(1+i)^n}$ VNĐ	C _i (năm 0), C _{o&m} , VNĐ	E _{out} , kWh	CES _n VNĐ	$\sum_n \frac{CES_n}{(1+i)^n}$ VNĐ	C _i (năm 0), C _{o&m} , VNĐ
0	0	0	0	20.556.000	0	0	0	22.556.000
1	1742	4.574.644	4.344.392	660.000	2007	5.370.413	5.100.108	660.000
2	1732	4.545.001	8.443.385	660.000	1995	5.334.330	9.910.972	660.000
3	1722	4.514.080	12.309.584	660.000	1984	5.301.467	14.451.548	660.000
4	1711	4.481.217	15.954.457	660.000	1971	5.262.164	18.731.619	660.000
5	1700	4.448.354	19.390.492	660.000	1958	5.224.138	22.766.891	660.000

năm 2020 và tháng 4 năm 2021. Như vậy chi phí vận hành và bảo trì (làm sạch bề mặt hai lần mỗi năm) khoản 660.000 VNĐ/năm. Hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định có suất đầu tư 15.573.000 VNĐ/kWp và hệ thống ĐMTMNL sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động có suất đầu tư 17.088.000 VNĐ/kWp.

Bảng 7. Chi phí đầu tư ban đầu của hệ thống ĐMTMNL sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động và cơ cấu nghiêng cố định.

Thành phần	Giá trị (triệu VNĐ)
Bộ biến tần vi mô	6
04 tấm quang điện 330Wp	7,92
Chi phí cáp điện và linh kiện khác	3,786
Giá vận chuyển	0,85
Chi phí lắp đặt	2
Chi phí cho cơ cấu chấp hành và bộ điều khiển bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động	2
Tổng chi phí ban đầu của cơ cấu nghiêng cố định	20,556
Tổng chi phí ban đầu của bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động	22,556

Trong Bảng 8 trình bày các sản lượng điện, chi phí tiết kiệm và hằng năm của hệ thống ĐMTMNL sử dụng cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động trong suốt vòng đời dự án FIT2 (20 năm).

6	1691	4.421.930	22.634.199	660.000	1948	5.193.218	26.576.376	660.000
7	1681	4.391.010	25.693.102	660.000	1937	5.160.355	30.171.228	660.000
8	1672	4.364.586	28.580.563	660.000	1926	5.127.491	33.563.401	660.000
9	1662	4.333.665	31.303.264	660.000	1915	5.094.628	36.764.191	660.000
10	1651	4.300.802	33.869.318	660.000	1902	5.055.325	39.780.427	660.000
11	1641	4.271.159	36.289.420	660.000	1890	5.019.242	42.624.404	660.000
12	1632	4.243.458	38.572.806	660.000	1880	4.989.599	45.309.286	660.000
13	1621	4.210.595	40.724.471	660.000	1867	4.950.296	47.838.947	660.000
14	1612	4.184.171	42.755.014	660.000	1857	4.920.653	50.226.899	660.000
15	1602	4.154.527	44.669.693	660.000	1846	4.887.789	52.479.513	660.000
16	1592	4.123.607	46.474.469	660.000	1834	4.851.706	54.602.956	660.000
17	1583	4.097.183	48.177.424	660.000	1824	4.820.786	56.606.669	660.000
18	1573	4.066.263	49.782.460	660.000	1812	4.784.703	58.495.288	660.000
19	1562	4.033.399	51.294.391	660.000	1799	4.745.400	60.274.115	660.000
20	1553	4.006.975	52.720.817	660.000	1789	4.715.757	61.952.857	660.000

Dựa trên phương trình (3) và dữ liệu trong Bảng 8, LCOE cho hệ thống ĐMTMNLH sử dụng cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động lần lượt là 1414 VNĐ/kWh và 1313 VNĐ/kWh, tương đương 0,062 USD/kWh và 0,058 USD/kWh (theo tỷ giá VNĐ/USD = 22,660 [Vietcombank exchange rates, 12/8/2021]), thấp hơn đáng kể so với LCOE là 0,095 USD/kWh [24] và cao hơn 0,042-0,05 USD/kWh [7].

Dựa trên phương trình (4) và dữ liệu chi phí tiết kiệm và hằng năm của hệ thống ĐMTMNLH trong Bảng 8 các giá trị DPBP của hệ thống được tính toán. DPBP của hệ thống ĐMTMNLH sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động là từ 4 đến 5 năm, nếu các dòng tiền được trả đều trong vòng một năm, thì DPBP ước tính là 4,73 năm. DPBP của hệ thống ĐMTMNLH sử dụng cơ cấu nghiêng cố định là từ 5 đến 6 năm, nếu các dòng tiền được trả đều trong vòng một năm, thì DPBP ước tính là 5,26 năm. Rõ ràng rằng, các hệ thống ĐMTMNLH với dự án FiT2 có thời gian hoàn vốn chiết khấu chỉ bằng một phần tư vòng đời của hệ thống, thời hạn của hợp đồng.

4. Kết luận

Trong một năm nghiên cứu đối với hệ thống ĐMTMNLH sử dụng cơ cấu nghiêng cố định, sản lượng điện AC sinh ra, sản lượng điện mặt trời được tiêu thụ và sản lượng điện mặt trời được hòa lưới đạt lần lượt 1742 kWh, 1449 kWh, 293 kWh. Qua đó có thể tính tỷ lệ điện mặt trời được tiêu thụ của hệ thống ĐMTMNLH sử dụng cơ cấu nghiêng cố định đạt 83,18%. CUF hàng năm và AOSE của hệ thống ĐMTMNLH trong thời gian nghiên cứu lần lượt là 15,07% và 12,89%.

LCOE cho hệ thống ĐMTMNLH sử dụng cơ cấu nghiêng cố định và bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động lần lượt là 1414 VNĐ/kWh và 1313 VNĐ/kWh. DPBP của hệ thống ĐMTMNLH sử dụng bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động ước tính là 4,73 năm. DPBP của hệ thống ĐMTMNLH sử dụng cơ cấu nghiêng cố định ước tính là 5,26 năm

Kết quả phân tích đã chỉ rõ hệ thống điện mặt trời mái nhà với bộ định hướng mặt trời đơn trục tự động cho sản lượng điện cao hơn và có thời gian hoàn vốn gần với cơ cấu nghiêng cố định. Việc nâng cao sản lượng và giảm thời gian hoàn vốn cho các hệ thống với công suất cố định đã được lắp đặt là một nhu cầu đặt ra cho các hộ gia đình sử dụng điện mặt trời. Thông qua bộ

định hướng mặt trời đơn trục tự động điều này hoàn toàn có thể thực hiện.

Tài liệu tham khảo

- [1] IEA. (2021). *Electricity Market Report - July 2021*, IEA, Paris. Available: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-july-2021>
- [2] EVN. (12/8/2021). *Electricity Annual Report 2018*. Available: <https://en.evn.com.vn/d6/news/-Annual-Report-2018-6-13-2118.aspx>
- [3] E. Riva Sanseverino, H. Le Thi Thuy, M.-H. Pham, M. L. Di Silvestre, N. Nguyen Quang, and S. Favuzza, (2020). Review of potential and actual penetration of solar power in Vietnam, *Energies*, vol. 13, no. 10, p. 2529. <https://doi.org/10.3390/en13102529>
- [4] EVN. (12/8/2021). *Rooftop solar power boom is underway with a total installed capacity reaching nearly 9,300 MWp*. Available: <https://en.evn.com.vn/d6/news/Rooftop-solar-power-boom-is-underway-with-a-total-installed-capacity-reaching-nearly-9300-MWp-66-142-2169.aspx>
- [5] EVN. (22/10/2021). *Solar*. Available: <https://solar.evn.com.vn/#/>
- [6] M. Ha-Duong, (2023). Vietnam's Power Development Plan 8 (PDP8): A bold step towards a net-zero future, Available: <https://ideas.repec.org/p/hal/journal/hal-04108991.html>
- [7] N. Anang, S. S. N. Azman, W. Muda, A. Dagang, and M. Z. Daud, (2021). Performance analysis of a grid-connected rooftop solar PV system in Kuala Terengganu, Malaysia, *Energy Buildings*, p. 111182. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111182>
- [8] X. C. Ngo *et al.*, (2020). Grid-connected photovoltaic systems with single-axis sun tracker: case study for Central Vietnam, *Energies*, vol. 13, no. 6, p. 1457. <https://doi.org/10.3390/en13061457>
- [9] J. Schardt and H. te Heesen, (2021). Performance of roof-top PV systems in selected European countries from 2012 to 2019, *Solar Energy*, vol. 217, pp. 235-244.
- [10] I. H. Ibrik, (2020). Techno-economic assessment of on-grid solar PV system in Palestine, *Cogent Engineering*, vol. 7, no. 1, p. 1727131. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1727131>
- [11] N. X. Cuong, (2018). Voltage Quality Analysis of Small-Capacity Grid-Connected Photovoltaic Systems in Low Voltage Distribution Networks, *European Journal of Technology Design*, no. 6, pp. 3-10.
- [12] X.-T. Nguyen, V.-D. Nguyen, D.-Q. Nguyen, L.-T. Nguyen, and D.-Q. Nguyen, (2017). Performance comparison between tracking and fixed photovoltaic system: A case study of Hoa Lac Hi-tech Park, Hanoi, *2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, pp. 128-133: IEEE.
- [13] N. X. Cuong, N. T. Hong, D. A. Tuan, and Y. D. Nhu, (2021). Performance Ratio Analysis Using Experimental Combining Historical Weather Data for Grid-Connected PV Systems, in *Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 178, K. Sattler, D. C. Nguyen, N. P. Vu, B. T. Long, and H. Puta, Eds.: Springer, Cham.
- [14] C. T. Huyen, V. M. Phap, and N. T. Nga, (2021). Study on Performance and Economic Efficiency of Solar Power on Agricultural Land: A case study in Central Region, Vietnam, *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 11, no. 2, pp. 842-850.
- [15] T. T. Lan, S. Jirakiattikul, M. Chowdhury, D. Ali, L. D. Niem, and K. Techato, (2020). The effect of retail electricity price levels on the FI values of smart-grid rooftop solar power systems: a case study in the central highlands of Vietnam, *Sustainability*, vol. 12, no. 21, p. 9209.
- [16] T. B. Nguyen and P. H. Van, (2021). Design, Simulation and Economic Analysis of A Rooftop Solar PV System in Vietnam, *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, p. e19. <https://doi.org/10.4108/eai.27-1-2021.168504>

- [17] X. C. Ngo, T. H. Nguyen, and N. Y. Do, (2022). A Comprehensive Assessment of a Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System: A Case Study for Central Vietnam, *International Energy Journal*, vol. 22, no. 1,
- [18] K. Branker, M. Pathak, and J. M. Pearce, (2011). A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity, *Renewable sustainable energy reviews*, vol. 15, no. 9, pp. 4470-4482.
- [19] Vietcombank. (12/08/2021). *Interest rates for individual accounts*. Available: <https://portal.vietcombank.com.vn/en-US/ir/Pages/interest-rate.aspx?devicechannel=vcb>
- [20] J. Hernández-Moro and J. M. Martínez-Duart, (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 119-132.
- [21] A. C. Duman and Ö. Güler, (2020). Economic analysis of grid-connected residential rooftop PV systems in Turkey, *Renewable Energy*, vol. 148, pp. 697-711.
- [22] S. Yoomak, T. Patcharoen, and A. Ngaopitakkul, (2019). Performance and economic evaluation of solar rooftop systems in different regions of Thailand, *Sustainability*, vol. 11, no. 23, p. 6647.
- [23] EVN. (4/6/2022). *Biểu giá bán lẻ điện*. Available: <https://www.evn.com.vn/c3/evn-va-khach-hang/Bieu-gia-ban-le-dien-9-79.aspx>
- [24] M. Z. Saleheen, A. A. Salema, S. M. M. Islam, C. R. Sarimuthu, and M. Z. Hasan, (2021). A target-oriented performance assessment and model development of a grid-connected solar PV (GCPV) system for a commercial building in Malaysia, *Renewable Energy*, vol. 171, pp. 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.108>

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA SUY GIẢM TỪ ĐẾN ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC Ở CHẾ ĐỘ XÁC LẬP CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU KHỞI ĐỘNG TRỰC TIẾP 2P, 15KW

Lê Anh Tuấn¹, Trịnh Biên Thùy², Bùi Đức Hùng³, Đỗ Như Ý⁴

¹ Khoa Điện, trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, leanhtuan0985@gmail.com;

² Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, trinhthuyvhqn@gmail.com;

³ Khoa Điện, trường Điện-Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội, hung.buiduc@hust.edu.vn;

⁴ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, donhuy@hmg.edu.vn

TÓM TẮT

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp với hiệu suất và hệ số công suất cao là một giải pháp thay thế từng phần cho động cơ không đồng bộ lồng sóc. Về cấu tạo, động cơ có sử dụng nam châm vĩnh cửu, các thanh nam châm này được gắn trên bề mặt hoặc gắn chìm trong lõi thép rôto. Hiện nay, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp được sản xuất thương mại và chứng minh được ưu điểm về hiệu suất, hệ số công suất cao, mật độ năng lượng lớn nhưng động cơ có sử dụng nam châm vĩnh cửu. Tuy nhiên, do sử dụng nam châm vĩnh cửu, nên trong quá trình sử dụng từ dư của nam châm có thể bị suy giảm do thời gian, do khử từ. Suy giảm từ này sẽ dẫn đến đặc tính của động cơ thay đổi. Vì vậy, bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của suy giảm từ nam châm vĩnh cửu đến đặc tính làm việc của động cơ trên. Đối tượng áp dụng nghiên cứu là động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu 3 pha, 2p, 15 kW. Từ kết quả, bài báo rút ra một số nhận xét về ảnh hưởng suy giảm từ này nhằm phát hiện, cảnh báo và khắc phục.

Từ khóa: Động cơ, động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp, nam châm vĩnh cửu, suy giảm từ, đặc tính làm việc.

1. Giới thiệu chung

Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu đã được chứng minh có những ưu điểm vượt trội trong quá trình vận hành xác lập, ví dụ như có hiệu suất biến đổi điện cơ lớn, hệ số công suất gần bằng 1, mật độ mômen lớn [1], [2]. Do sự phát triển nhanh chóng của công nghệ nam châm vĩnh cửu đất hiếm với mật độ từ trường cao, tích số năng lượng lớn, như chủng loại nam châm Neodimium... nên trong hai thập kỷ gần đây đã thúc đẩy việc ứng dụng các chủng loại nam châm này trong lĩnh vực máy điện để cho ra các động cơ có hiệu suất năng lượng cao. Trong các loại động cơ sử dụng nam châm vĩnh cửu, LSPMSM nổi lên như là một giải pháp thay thế từng phần cho SCIM trong các lĩnh vực công, nông nghiệp. Động cơ LSPMSM bản chất là sự cải tiến từ động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu và động cơ không đồng bộ. Nói cách khác nó là sự lai tạp giữa động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ bằng cách đặt các thanh nam châm vĩnh cửu vào rôto của SCIM. Do vậy, LSPMSM ngoài sở hữu ưu điểm của động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, nó còn có ưu điểm của SCIM là khả năng tự khởi động trực tiếp.

Đối với LSPMSM mặc dù được khẳng định là động cơ có hiệu suất, hệ số công suất cao, nhưng nếu thiết kế không tốt thì các thông số vận hành sẽ không đảm bảo, thậm chí có thể còn không đạt được các tiêu chuẩn của SCIM [3], [4]. Trong quá trình vận hành, nếu lựa chọn NCVC không tốt như chất lượng NCVC không đảm bảo về chủng loại, về nạp từ và đặc biệt là quá trình khử từ trong khi vận hành sẽ ảnh hưởng đến từ trường của NCVC, cụ thể là suy giảm từ [6]. Hiện có rất ít bài báo nghiên cứu về ảnh hưởng của sự suy giảm từ này, vì vậy trong nghiên cứu bài báo sẽ tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của suy giảm từ đối với quá trình vận hành của LSPMSM. Vấn đề dẫn đến khử từ đã được nghiên cứu ở một số bài báo khác, tuy nhiên vấn đề khử từ của LSPMSM này sẽ được đề cập đến ở các nghiên cứu tiếp theo.

Trong nội dung nghiên cứu, bài báo khảo sát đối tượng thực nghiệm là LSPMSM 3 pha, 2p, công suất 15kW. LSPMSM này đều được hiệu chỉnh từ

động cơ không đồng bộ của Công ty Cổ phần Chế tạo động cơ Hà Nội (HEM). Trong nghiên cứu, các kết cấu răng, rãnh, mạch từ, dây quấn, lồng sóc stato và rôto giữ nguyên, các thanh NCVC NdFeN40, mật độ từ dư Br của NVC sẽ xét trong một số trường hợp khi suy giảm từ. Từ kết quả đạt được, bài báo sẽ đánh giá và rút ra một số kết luận trong thiết kế cũng như vận hành để đảm bảo hiệu suất, hệ số công suất của động cơ.

2. Mô phỏng động cơ bằng phương pháp số

Có nhiều phương pháp số ứng dụng trong tính toán các bài toán liên quan đến trường điện từ của máy điện. Các phương pháp phổ biến nhất hiện nay là phương pháp sai phân hữu hạn (FDM-Finite Difference Method), phương pháp thành phần biên (BEM-Boundary Element Method), phương pháp phần tử hữu hạn (FEM-Finite Difference Method), phương pháp rời rạc (Discrete Element Method). Các phương pháp này cho phép giải gần đúng các bài toán phương trình vi phân riêng, ví dụ như bốn phương trình Maxwell mô tả các định luật điện từ trường [5].

Định luật Faraday về cảm ứng điện từ:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

Định luật Ampere về dòng điện chạy trong dây dẫn:

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2)$$

Định luật Gauss cho từ trường:

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

Định luật Gauss cho điện trường:

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (4)$$

Trong các phương pháp số, phương pháp FDM và FEM được sử dụng rất phổ biến hơn cả khi phân tích kết cấu điện từ của máy điện. Các phương pháp này thực hiện các bài toán liên quan đến các hiện tượng vật lý cơ, nhiệt, từ và điện. Nói chung, hai phương pháp này dựa trên sự rời rạc

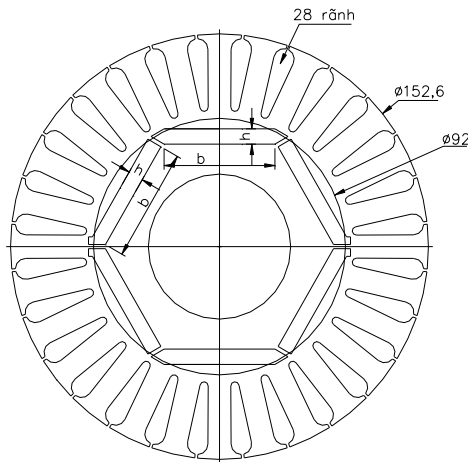
hóa không gian của một kết cấu thành các bề mặt vuông hoặc tam giác nhỏ hay thành các thể tích khối tứ diện, lục diện. Trong đó, đỉnh của các hình khối được gọi là các nút biểu diễn giá trị các biến của hệ. Độ chính xác của các phương pháp vì thế sẽ liên quan trực tiếp đến độ mịn của các mắt lưới.

Trong các phương pháp số, phương pháp phần tử hữu hạn FEM đã được khẳng định có độ chính xác cao khi ứng dụng giải gần đúng các phương trình vi tích phân trong các bài toán liên quan đến điện từ trường [6]. Vì vậy, trong nghiên cứu bài báo sử dụng phần mềm ứng dụng FEM mô phỏng khảo sát các đặc tính của LSPMSM khi có sự suy giảm từ của NCVC.

3. Mô phỏng LSPMSM với phương pháp số

3.1 Cấu hình và mô hình mô phỏng số của LSPMSM 3pha, 15kW, 2p

Cấu hình của động cơ 3 pha LSPMSM (15kW) điện áp 380/660V thực nghiệm có dạng như hình 1, trong đó kích thước của NCVC có giá trị tương ứng độ dày h (mm) và bề rộng b (mm) [7], [8].



Hình 1. Cấu hình động cơ LSPMSM 15kW

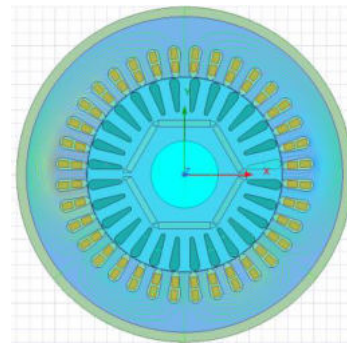
Thông số của LSPSM thực nghiệm như ở bảng 1 bên dưới

Bảng 1. Các thông số cơ bản của LSPMSM 15kW

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Đường kính ngoài stato	D_n	245	mm

Đường kính trong stato	D	152	mm
Đường kính ngoài rôto	D'	151	mm
Đường kính trục rôto	D_t	52	mm
Vật liệu thép stato	Steel 1008		
Số rãnh stato	Z_1	36	Rãnh
Số rãnh rôto	Z_2	28	Rãnh
Chiều dài khe hở không khí	g	0,5	mm
Điện áp nguồn cấp	U_{dm}	380/660	V
Tần số nguồn cấp	f	50	Hz

Từ cấu hình của LSPMSM 3pha, 15kW, 2p ta dựng được mô hình mô phỏng số của động cơ với phần mềm Ansys/Maxwell như hình 2 bên dưới

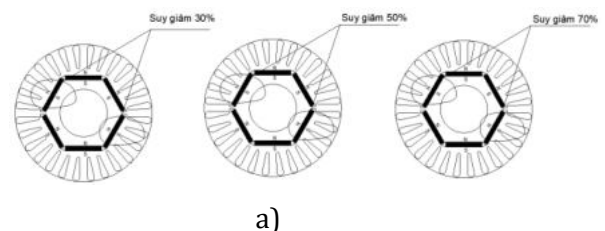


Hình 2. Mô hình mô phỏng số động cơ LSPMSM 15kW với Ansys/Maxwell

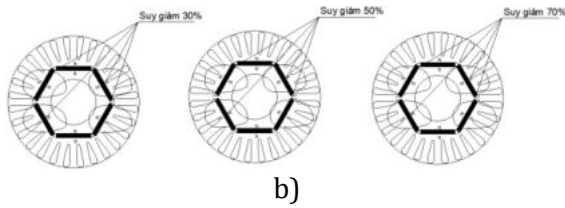
Trong nghiên cứu, bài báo ứng dụng mô hình mô phỏng này để khảo sát ảnh hưởng của một số trường hợp suy giảm từ của NCVC đến vận hành của LSPMSM.

3.2 Mô phỏng số để khảo sát ảnh hưởng suy giảm từ của NCVC đến vận hành của LSPMSM 3pha, 15kW, 2p

Trong thực tế, suy giảm từ của NCVC do chất lượng nam châm không tốt bị khử từ trong quá trình vận hành. Bài báo sẽ nghiên cứu một số kịch bản NCVC bị khử từ trong một số trường hợp sau:



a)



Hình 3. Một số kích bản suy giảm từ của NCVC

- a) Suy giảm từ ở một cặp NCVC đối xứng
- b) Giảm giảm từ ở hai cặp NCVC đối xứng

Do quá trình khử từ thông thường tác động lên NCVC là đối xứng nhau về mặt kết cấu, nên ta xét suy giảm từ của NCVC trong 2 dạng cơ bản sau đây:

- Suy giảm từ ở 1 cặp NCVC đối xứng nhau
- Suy giảm từ ở 2 cặp NCVC đối xứng nhau

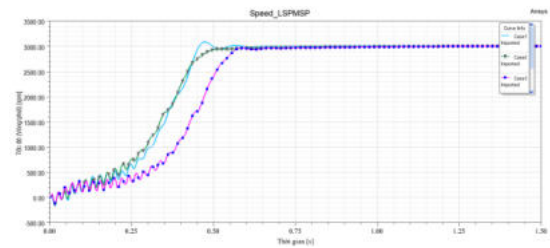
Ta cũng xét độ suy giảm của từ của NCVC ở mức độ từ 30% đến 70%. Mức độ suy giảm từ này phản ánh tổng quan ảnh hưởng của suy giảm từ của NCVC. Nếu mức độ suy giảm nhỏ hơn hoặc lớn hơn nữa qua nghiên cứu này cũng có thể suy ra để đánh giá được.

Từ đó, ta có 06 kích bản được xét đến như sau:

Bảng 2. Vị trí và mức độ suy giảm từ

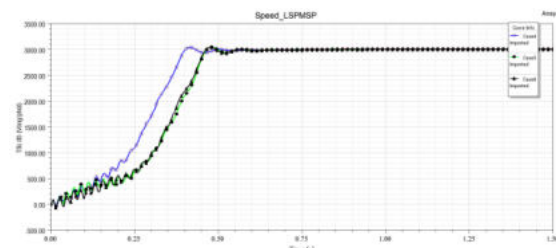
STT	Vị trí suy giảm từ	Mức độ suy giảm
Trường hợp 1	1 cặp NCVC đối xứng nhau	70% Br
Trường hợp 2	1 cặp NCVC đối xứng nhau	50% Br
Trường hợp 3	1 cặp NCVC đối xứng nhau	30% Br
Trường hợp 4	2 cặp NCVC đối xứng nhau	70% Br
Trường hợp 5	2 cặp NCVC đối xứng nhau	50% Br
Trường hợp 6	2 cặp NCVC đối xứng nhau	30% Br

Khi mô phỏng đối với 1 cặp NCVC bị suy giảm từ ở trường hợp 1÷3, kết quả mô phỏng đối với đường đặc tính tốc độ khi khởi động như sau:



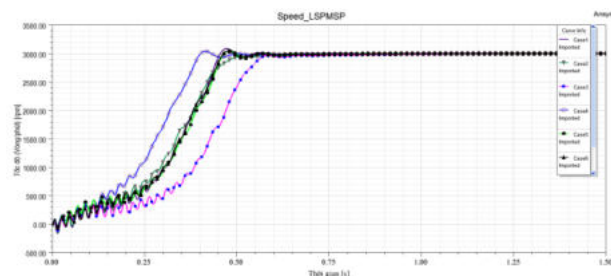
Hình 4. Đặc tính tốc độ của LSPMSM ở dạng suy giảm từ ở một cặp NCVC đối xứng nhau

Như vậy, từ hình 4 cho thấy đối với mức độ suy giảm từ thì ở trường hợp 1 cho đặc tính khởi động tốt nhất, thời gian đi vào tốc độ đồng bộ ổn định nhanh hơn 2 trường hợp còn lại. Nguyên nhân có thể giải thích do một khối NCV lúc khởi động gần như không còn tác dụng, do đó mômen kéo của NCVC (*breaking torque*) trong khởi động giảm xuống nên đặc tính khởi động sẽ tốt hơn.



Hình 5. Đặc tính tốc độ của LSPMSM ở dạng suy giảm từ ở hai cặp NCVC đối xứng nhau

Tương tự, đối với trường hợp suy giảm từ ở hai cặp NCVC đối xứng nhau. Nhận thấy trường hợp 4 cho đặc tính khởi động tốt nhất, thời gian đi vào tốc độ đồng bộ ổn định nhanh hơn 2 trường hợp còn lại.

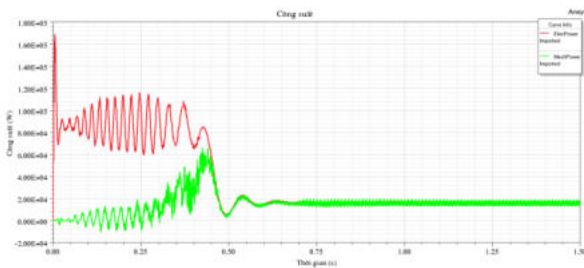


Hình 6. Đặc tính tốc độ của LSPMSM khi suy giảm từ của NCVC ở hai dạng một và hai cặp NCVC đối xứng nhau

Từ hình 6 nhận thấy rằng, đối với suy giảm từ trong 2 dạng một và hai cặp NCVC đối xứng nhau thì chất lượng khởi động ở dạng hai cặp NCVC đối

xứng cho chất lượng khởi động cao hơn, thời gian đi vào đồng bộ hoá và ổn định tốc độ nhanh hơn. Nguyên nhân có thể giải thích tương tự như đã giải thích ở trên, lúc này mômen kéo của NCVC (*breaking torque*) trong quá trình khởi động của hai cặp đối xứng giảm so với một khối, dẫn đến chất lượng khởi động tốt hơn.

Bên cạnh đó, để nghiên cứu suy giảm từ đến hiệu suất LSPMSM trong quá trình vận hành xác lập, bài báo cũng mô phỏng để tính toán hiệu suất đối với từng trường hợp đã nêu. Như hình 7 bên dưới là đặc tính về công suất điện từ và công suất cơ để tính toán hiệu suất động cơ trong quá trình mô phỏng.



Hình 6. Công suất điện từ và công suất cơ trong quá trình mô phỏng LSPMSM trong trường hợp 1

Sau khi mô phỏng đối với từng trường hợp cụ thể, tổng hợp lại hiệu suất mô phỏng trong 6 trường hợp xét đến được thể hiện trong bảng 3 bên dưới.

Bảng 3. Hiệu suất của LSPMSM khi suy giảm từ ở một cặp NCVC đối xứng

STT	Hiệu suất LSPMSM (%)
Trường hợp 1	91,2
Trường hợp 2	93,0
Trường hợp 3	93,3
Trường hợp 4	90,2
Trường hợp 5	92,5
Trường hợp 6	93,0

Từ bảng 3 ta nhận thấy rằng, trường hợp 3 ở đây sẽ cho hiệu suất cao nhất (93,3%) nhưng đặc tính khởi động kém nhất. Ngược lại đối với trường hợp 4 có đặc tính khởi động tốt nhất nhưng hiệu suất lại thấp nhất (90,2%). Nguyên nhân có thể hiểu là ở trường hợp 4 do khởi từ mạnh nhất nên đặc tính khởi động của LSPMSM và hiệu suất gần

như trở về trạng thái của động cơ không đồng bộ (89% theo công bố của nhà sản xuất). Bên cạnh đó cũng thấy rằng, đối với hiệu suất thì mức độ khử từ ở hai dạng một và hai cặp NCVC dưới 30% là đáng kể.

4. Kết luận

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của suy giảm từ đến vận hành của LSPMSM cụ thể là quá trình khởi động thể hiện qua đường đặc tính tốc độ và hiệu suất làm việc ở quá trình làm việc ổn định. Kết quả cho thấy, suy giảm từ ảnh hưởng rất nhiều đến quá trình vận hành của LSPMSM. Như vậy, nếu thiết kế, lựa chọn không đúng chủng loại động cơ, hoặc trong quá trình làm việc không đảm bảo dẫn đến NCVC bị khử từ thì hiệu suất làm việc động cơ sẽ bị giảm đi đáng kể. Trong các điều kiện xét ở trên có thể thấy ở trường hợp 4, bảng 3, hiệu suất động cơ giảm rất lớn. Từ đó có thể suy ra ở trường hợp động cơ bị khử từ hoàn toàn thì lúc đấy LSPMSM sẽ trở về làm việc như một động cơ không đồng bộ bình thường.

Tài liệu tham khảo

- [1] H. Isfahani, S. V. Zadeh, M. A. Rahman, 2011, *Evaluation of Synchronization Capability in Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors*, IEEE International Electric Machines&Drives Conference, pp. 1346-1350.
- [2] R. Sadoughi, M. Zare and M. Aziz, 2015, *Comparison Between Line Start PM Synchronous Motor and Induction Motor With Same Nominal Power and Same Pole Pairs When Fed by VF Control Drive*, International Journal Electronics Communication and Computer Engineering, Vol. 6, Iss. 2.
- [3] A. Vagati, G. Franceschini, I. Marongiu, G. P. Troglia, 1992, *Design Criteria of High Performance Synchronous Reluctance Motors*, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting.
- [4] Abdolamir Nekoubin, 2011, *Design a Line Start Synchronous Motor and Analysis Effect of the Rotor Structure on the Efficiency*, World Academy of Science, Engineering and Technology 57

- [5] J.F.Gieras, M. Wing, 2002, *Permanent Magnet Motor Technology Design and Applications*, Marcel Dekker, Inc.
- [6] V. Elistatova, 2016, *Optimal Design of Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors of High Efficiency*, Doctoral Thesis, Université Lille-de-France.
- [7] Nhu Y Do, Anh Tuan Do, Anh Tuan Le, Van Uy Luu, *Design of high-performance explosion proof motor of 3,000 rpm for local exhaust ventilation in underground mining*, Tạp chí "Khoa học và Công nghệ Việt Nam", Tập 64, số 10ĐB, 2022, trang 43-45.
- [8] Nhu Y Do, Le Anh Tuan, Ngo Xuan Cuong, *Effect of Permanent Magnet Structure on The Performance of LSPMSM with a Power of 22 kW and 3000 rpm*, The 3rd International Symposium of Earth, Energy, Environmental Science, and Sustainable Development.

MÔ HÌNH MẠNG ĐIỆN MỎ HỖN HỢP VỀ PHƯƠNG DIỆN AN TOÀN ĐIỆN GIẬT

Nguyễn Trường Giang^{1,*}, Nguyễn Thạc Khánh¹, Kim Thị Cẩm Ánh¹

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, E-mails (nguyentruonggiang@humg.edu.vn)

TÓM TẮT

Nghiên cứu về điều kiện an toàn điện giật trong các mạng điện đơn xoay chiều mỏ hầm lò (AC-IT) điện áp 380V, 660V và 1140V, nhiều tác giả trong và ngoài nước đã đề xuất mô hình mạch về phương diện an toàn điện giật để tính dòng điện rò qua người. Trong thời gian gần đây, các bộ biến đổi bán dẫn như các bộ chỉnh lưu điều khiển và không điều khiển, các bộ khởi động mềm, các bộ biến tần v.v... đã được sử dụng nhiều trong các mạng điện mỏ hầm lò. Mạng điện này chứa cả hai loại dòng điện là dòng xoay chiều và dòng một chiều nên được gọi là mạng điện hỗn hợp (mạng đôi hay mạng kép). Trong mỏ hầm lò thường sử dụng các mạng điện hỗn hợp được cách ly với đất (AC/DC-IT). Báo cáo trình bày một số kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình mạng điện mỏ hỗn hợp về phương diện an toàn điện giật. Mô hình đã phản ánh khá đầy đủ các hiện tượng vật lý xảy ra trong thực tế của mạng điện mỏ hỗn hợp và có thể sử dụng để giải nhiều bài toán về an toàn điện giật trong cung cấp điện cho các mỏ than hầm lò.

Từ khóa: Mô hình; mạng điện đơn; mạng điện hỗn hợp; an toàn điện giật; biến tần

1. Đặt vấn đề

Các mạng điện đơn xoay chiều và một chiều không nối đất (AC-IT và DC-IT) điện áp thấp đã được áp dụng từ lâu để cung cấp điện trong công nghiệp mỏ, giao thông vận tải, các bệnh viện, trong tàu ngầm, tàu thủy, dàn khoan dầu khí v.v... So với các mạng điện một chiều và xoay chiều nối đất, các mạng điện không nối đất (cách ly) có những ưu điểm nổi bật như: có độ an toàn và độ tin cậy cung cấp điện cao hơn; nguy cơ cháy nổ ít hơn; trị số dòng điện rò và điện áp tiếp xúc thấp hơn; mạch tiếp đất có cấu tạo đơn giản hơn.

Trong những thập kỷ gần đây, với sự ra đời và phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật biến đổi dựa trên các thiết bị điện tử bán dẫn công suất, một loại mạng điện mới được gọi là mạng điện hỗn hợp (mạng đôi hay mạng kép) chứa cả dòng một chiều và xoay chiều không nối đất (mạng AC/DC-IT) đã, đang và ngày càng được sử dụng rộng rãi. Một mạng điện được gọi là mạng hỗn hợp nếu trong đó chứa cả phần mạng xoay chiều và một chiều có nối liên hệ trực tiếp với nhau về điện. Mạng AC/DC-IT có thể gặp trong các mạng điện mỏ hầm lò được cơ giới hoá, mạng điện trên dàn khoan dầu khí, trong các nhà máy điện năng lượng mặt trời, trong các bệnh viện v.v...

Tương tự như các hệ thống điện AC-IT và DC-IT, nghiên cứu về điều kiện an toàn điện giật trong các hệ thống AC/DC-IT cần thiết phải xây dựng được mô hình mạch tương đương về phương diện an toàn điện giật. Vấn đề này cho đến nay còn ít được nghiên cứu.

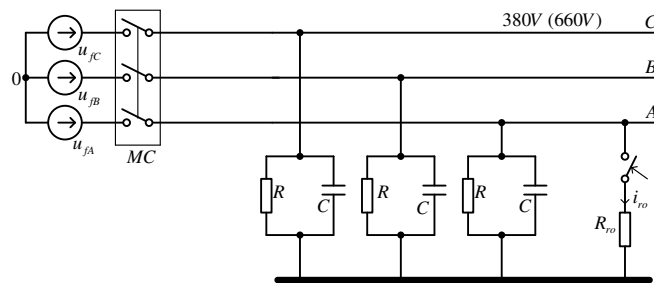
2. Kết quả nghiên cứu

2.1. Tổng quan các mô hình mạng điện đơn xoay chiều mô phỏng về phương diện an toàn điện giật

Nghiên cứu về điều kiện an toàn điện giật mạng điện đơn xoay chiều mô phỏng (AC-IT) điện áp 380V và 660V, nhiều tác giả trong và ngoài nước đã đề xuất mô hình mạch về phương diện an toàn điện giật để tính dòng điện rò qua người.

Trên cơ sở lý luận: Mỗi một đơn vị chiều dài của mạng điện tồn tại một giá điện trở nào đó giữa

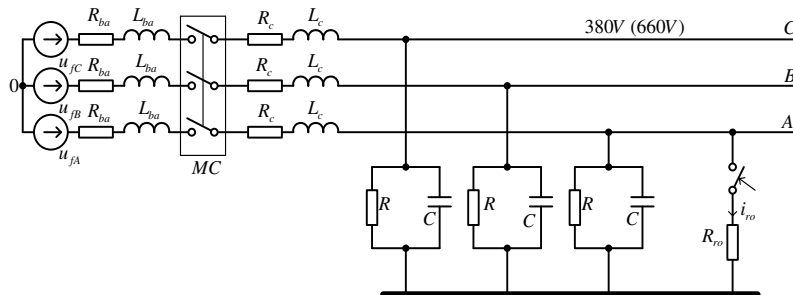
các pha và giữa mỗi pha với đất. Khi mạng điện có điện áp thì qua các điện trở này sẽ có các dòng điện chảy được gọi là các dòng điện rò. Như vậy, có thể coi mỗi đơn vị chiều dài của mạng có các điện trở nối giữa các pha và giữa pha và đất. Mặt khác, giữa các dây dẫn với nhau và giữa mỗi dây dẫn và đất cùng tồn tại các điện dung. Do đó, mỗi một mạch điện hay mỗi bộ phận của nó có thể coi là nối tiếp các đơn vị dài, và mỗi đơn vị dài lại được coi như một điện trở và điện dung mắc song song. Nếu coi điện trở và điện dung phân bố đều và chú ý rằng, đối với dòng điện qua cơ thể người khi chạm phải một pha điện trở và điện dung giữa các pha ảnh hưởng không đáng kể, trong [Đdiuban V. X. và nnk, 1983; Iagudaev B. M. và nnk, 1982; Suski V. I., Akhliuxtin V. K., 1979], đã sử dụng mô hình như sơ đồ hình 1.



Hình 1. Mô hình đơn giản tính dòng điện rò qua người

Trong sơ đồ ký hiệu R và C là điện trở cách điện và điện dung của mạng so với đất, R_{ro} là điện trở của người. Mô hình này chỉ xét đến ảnh hưởng thông số cách điện của mạng so với đất đến dòng điện rò qua người.

Trong [Nguyễn Hanh Tiến, 2005], kể đến ảnh hưởng của trở kháng biến áp, trở kháng cáp đến dòng điện rò đã sử dụng mô hình như hình 2. Trong đó R_{ba} , L_{ba} là điện trở và điện cảm của biến áp, R_c và L_c là điện trở và điện cảm của cáp.

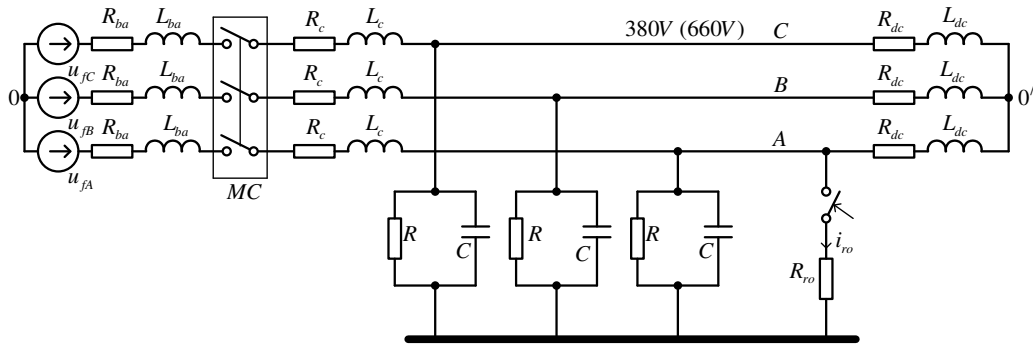


Hình 2. Mô hình kể đến ảnh hưởng của trở kháng biến áp, cáp

Trong [Kim Ngọc Linh, 2006], kể đến ảnh hưởng của trở kháng biến áp, trở kháng cáp và trở kháng tải đến dòng điện rò đã sử dụng mô hình

như hình 3. Trong đó R_{ba} , L_{ba} là điện trở và điện cảm của biến áp, R_c và L_c là điện trở và điện cảm

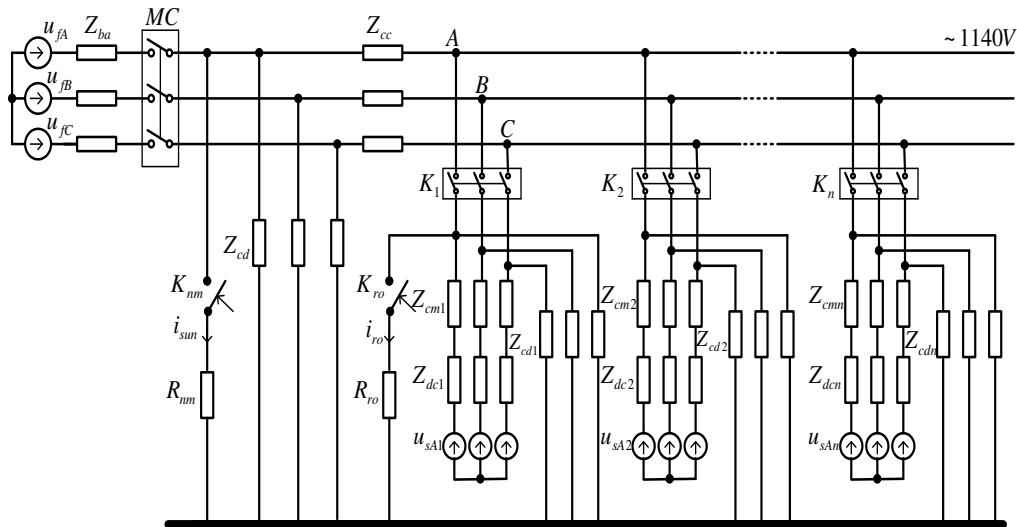
của cáp, R_{dc} và L_{dc} là điện trở và điện cảm của động cơ.



Hình 3. Mô hình kể đến ảnh hưởng của trở kháng biến áp, cáp và trở kháng tải

Trong [Nguyễn Văn Quân, 2015], kể đến ảnh hưởng của sức điện động ngược của động cơ khi cắt nguồn đến dòng điện rò đã xây dựng sơ đồ

mạng 1140V về phương diện an toàn điện giật như hình 4.



Hình 4. Mô hình mạng điện mở hàm lò 1140V về an toàn điện giật

Trong sơ đồ ký hiệu u_{fA} , u_{fB} , u_{fC} là điện áp pha thứ cấp của máy biến áp; Z_{ba} , Z_{cc} , Z_{cmi} tương ứng là trở kháng của máy biến áp, cáp chính và các đoạn cáp nhánh; Z_{cd} , Z_{cdi} là trở kháng cách điện của cáp chính và các cáp nhánh; Z_{dci} là trở kháng của các động cơ; u_{sAi} là điện áp stato của các động cơ khi ngắt khỏi lưới; R_{nm} là điện trở nối ngắn mạch của thiết bị tự động nối ngắn mạch pha; R_{ro} là điện trở người.

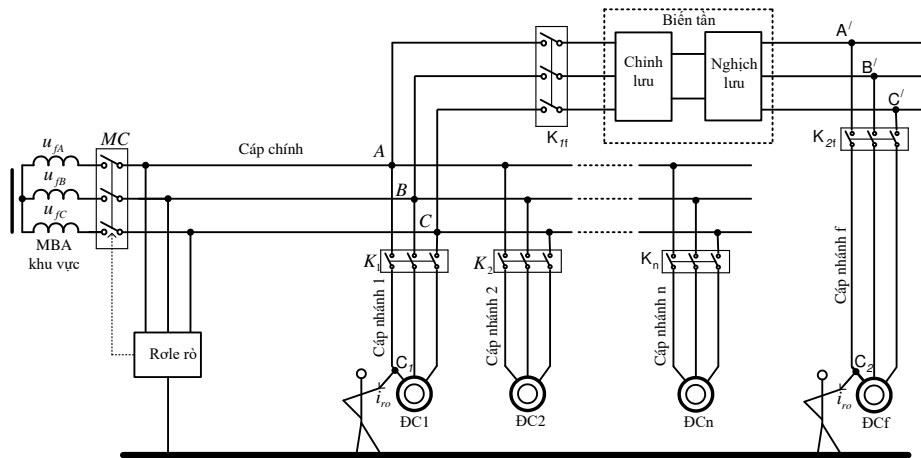
trực tiếp từ lưới và bỏ qua ảnh hưởng của sự bão hòa từ trong động cơ.

Các mô hình trên chỉ phù hợp với các mạng điện đơn xoay chiều cách ly (AC-IT) và không phù hợp để áp dụng cho các mạng điện mở hỗn hợp (AC/DC-IT). Vì vậy, cần nghiên cứu xây dựng một mô hình mới, phù hợp với đặc điểm của các mạng AC/DC-IT.

Mô hình được xây dựng với các giả thiết: coi nguồn cung cấp cho máy biến áp có công suất là vô hạn, mạch có thông số tập trung, tải là động cơ không đồng bộ ba pha roto lồng sóc được cung cấp

2.2. Xây dựng mô hình mạng điện mở hỗn hợp về phương diện an toàn điện giật

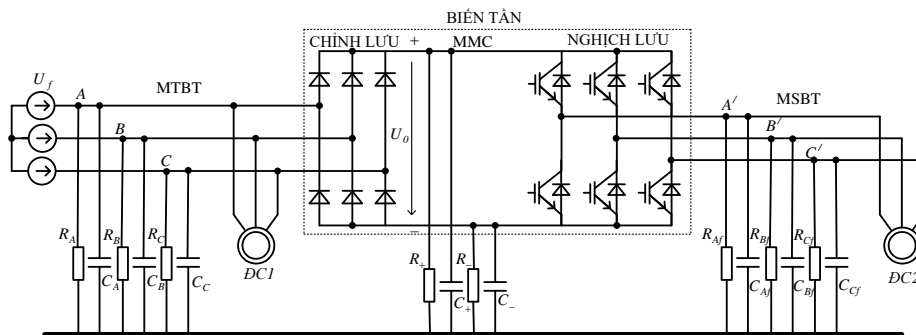
Xét sơ đồ nguyên lý cung cấp điện mạng điện mở hỗn hợp như hình 5.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý cung cấp điện mạng điện mở hỗn hợp

Trong [Petrichenco A.A., 2017; Kim Ngọc Linh, 2018], khi khảo sát về dòng điện rò trong các mạng điện mở hỗn hợp, đã sử dụng sơ đồ tương

đương về phương diện an toàn điện giạt như hình 6.



Hình 6. Mô hình mạng điện mở hỗn hợp về an toàn điện giạt

Trong sơ đồ ký hiệu $R_A, R_B, R_C, C_A, C_B, C_C$ là điện trở cách điện và điện dung các pha so với đất của phần mạng trước biến tần (MTBT); $R_{Af}, R_{Bf}, R_{Cf}, C_{Af}, C_{Bf}, C_{Cf}$ là điện trở cách điện và điện dung các pha so với đất của phần mạng sau biến tần (MSBT); R_+, R, C_+, C_- là điện trở cách điện và điện dung giữa cực dương (+) và cực âm (-) so với đất của phần mạng một chiều (MMC); U_f là điện áp pha cuộn thứ cấp của máy biến áp khu vực; U_0 là trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu cầu ba pha. Mô hình này chưa kể đến ảnh hưởng do sức điện động ngược của động cơ khi ngắt đến dòng điện rò. Để xây dựng mô hình tính dòng rò và điện lượng qua người khi chạm vào một pha của mạng điện mở hỗn hợp nhóm tác giả sử dụng các giả thiết sau: Coi công suất nguồn cung cấp cho máy biến áp khu vực là vô hạn; mạch có thông số tập trung; không tính đến ảnh hưởng của điện trở và điện

dung cách điện giữa các pha; bộ chỉnh lưu được mắc trực tiếp vào lưới không qua biến áp; xét tải là động cơ ba pha rôto lồng sóc được cung cấp trực tiếp từ lưới và từ biến tần độc lập.

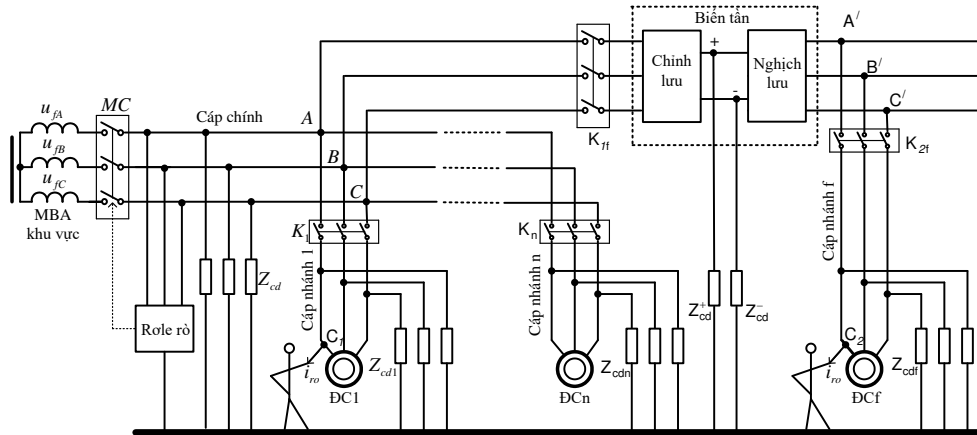
Về phương diện an toàn điện giạt, sơ đồ mạng điện mở hỗn hợp hình 5 tương đương với sơ đồ hình 7.

Tính đến ảnh hưởng do sức điện động ngược của động cơ khi ngắt đến dòng điện rò và kể đến trở kháng của biến áp và cáp, mô hình để tính dòng điện rò qua người khi chạm vào một pha của mạng điện mở hỗn hợp được đề xuất như hình 8.

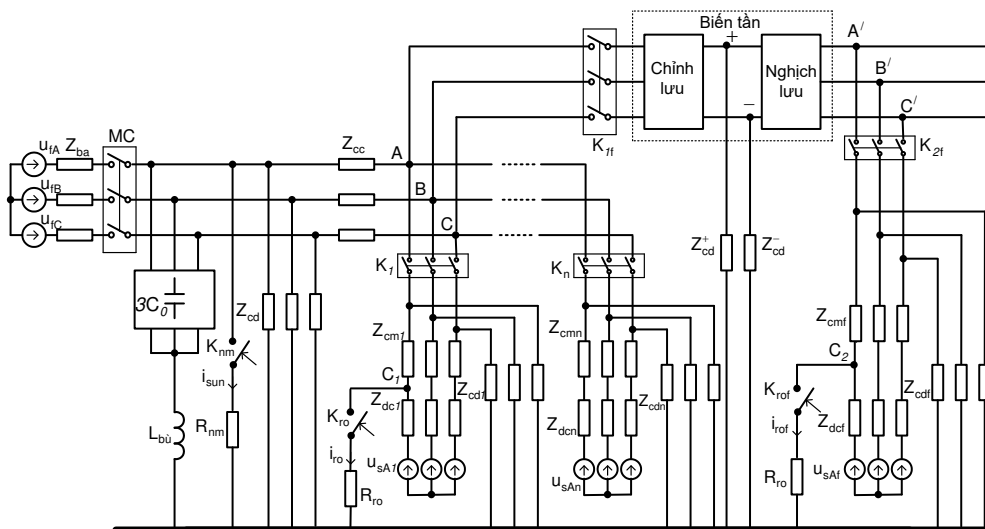
Trong sơ đồ hình 8 ký hiệu: u_{fA}, u_{fB}, u_{fC} là điện áp pha thứ cấp của máy biến áp; Z_{ba}, Z_{cc}, Z_{cmi} tương ứng là trở kháng của máy biến áp, cáp chính và các đoạn cáp nhánh; Z_{cd}, Z_{cdi} là trở kháng cách điện của cáp chính và các cáp nhánh; Z_{cd}^+, Z_{cd}^- là trở kháng cách điện giữa cực dương và cực âm của phần

mạng một chiều so với đất; Z_{dci} là trở kháng của các động cơ; $u_{sA'}$ là điện áp stato của các động cơ khi ngắt khỏi lưới; R_{nm} là điện trở nối ngắn mạch của thiết bị tự động nối ngắn mạch pha; R_{ro} là điện trở người; MC là tiếp điểm của máy cắt; K_1 đến K_n

là tiếp điểm của các khởi động từ điều khiển các động cơ phần mạng trước biến tần; K_{1f} là tiếp điểm của aptomat trước biến tần và K_{2f} là tiếp điểm của khởi động từ điều khiển động cơ phần mạng sau biến tần.



Hình 7. Sơ đồ tương đương mạng điện mở hỗn hợp về phương diện an toàn điện giật



Hình 8. Mô hình để tính dòng điện rò qua người khi chạm vào 1 pha mạng điện mở hỗn hợp

Các thông số của mô hình được tính:

Điện áp nguồn:

$$u_{fA} = U_{fm} \sin(\omega t + \phi) = \sqrt{2} U_f \sin(\omega t + \phi); \quad \omega = 2\pi f \quad (1)$$

Thông số máy biến áp:

$$R_{ba} = 10^3 P_n U_{2dm}^2 / S_{dm}^2; \quad (P_n : kW; U_{2dm} : kV; S_{dm} : kVA)$$

$$L_{ba} = x_{ba} / 2\pi f; \quad x_{ba} = \sqrt{z_{ba}^2 - R_{ba}^2}; \quad z_{ba} = 10 u_n \% U_{2dm}^2 / S_{dm} \quad (U_{2dm} : kV; S_{dm} : kVA.) \quad (2)$$

Thông số của cáp chính và cáp nhánh:

$$R_c = r_0 \cdot l; L_c = x_0 / 2\pi f \quad (3)$$

(r_0, x_0 tương ứng là điện trở, điện kháng trên một đơn vị chiều dài, l là chiều dài của mạng cáp).
Thông số của động cơ:

$$R_{dc} = z_{dc} \cos \phi_{dc}; z_{dc} = U_{fdc} / I_{dc}; I_{dc} = 10^3 P_{dc} / (\sqrt{3} U_{dc} \eta_{dc} \cos \phi_{dc}); (P_{dc} : kW);$$

$$L_{dc} = x_{dc} / 2\pi f; x_{dc} = \sqrt{z_{dc}^2 - R_{dc}^2}, \quad (4)$$

($R_{dc}, x_{dc}, z_{dc}, \cos \phi_{dc}, P_{dc}, U_{dc}, \eta_{dc}$ là các thông số của động cơ).

Chọn gốc thời gian là thời điểm con người chạm vào một pha của mạng. Ký hiệu: t_c là thời điểm ngắt của tiếp điểm máy cắt MC; t_1 là thời điểm ngắt của tiếp điểm công tắc tơ K1; t_{end} là thời điểm sức điện động ngược của động cơ tắt hoàn toàn; T_{nDC} là hằng số tắt tương đương sức điện động ngược của nhóm n các động cơ và T_{DC} là hằng số tắt của động cơ nhánh con người chạm phải.

Theo [Covach K. P., Ratx I., 1963; Vaxiletx X. V., 2013], điện áp stato động cơ khi ngắt khỏi lưới có dạng:

$$u_x(t) = k U_m(t) \sin[\omega(t)t + \Psi_x] \quad (5)$$

Giá trị gần đúng của hệ số k lấy bằng 0,83 khi tải định mức và bằng 0,95 khi động cơ không tải $k = 0,83 \div 0,96$ [Covach K. P., Ratx I., 1963].

$$U_m(t) = \begin{cases} U_{ms}, & \text{khi } 0 \leq t < t_c; \\ U_{ms} e^{-(t-t_c)/T_{nDC}}, & \text{khi } t_c \leq t < t_1; \\ U_{ms} e^{-(t_1-t_c)/T_{nDC}} \cdot e^{-(t-t_1)/T_{DC}}, & \text{khi } t_1 \leq t < t_{end} \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Ở đây } U_{ms} = \sqrt{2} U_{dc}; T_{nDC} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i / T_{DCi})}, s;$$

Hằng số thời gian tắt s.d.đ ngược của động cơ TDCi có thể tra bảng 1 [Kim Ngọc Linh và nnk, 2023].

Bảng 1. Hằng số thời gian điện từ của động cơ không đồng bộ

P, kW	22	30	37	45	55	75
T _{DC} , s	0,439	0,60	0,738	0,899	1,098	1,503
P, kW	90	110	132	160	200	250
T _{DC} , s	1,797	2,20	2,649	3,207	3,994	5,0

$$\omega(t) = \begin{cases} \omega_s, & \text{khi } 0 \leq t < t_{sw0}; \\ \omega_s - k_1(t - t_c), & \text{khi } t_c \leq t < t_1; \\ \omega_s - k_1(t_1 - t_c) - k_2(t - t_1), & \text{khi } t_1 \leq t < t_{end} \end{cases} \quad (7)$$

Ở đây $\omega_s = (1-s)\omega$; $s=0,03$; $k_1=120\text{rad/s}^2$;
 $t_c=0,12\text{s}$ (mạng 1140V) và $t_c=0,2\text{s}$ (mạng 660V và
380V); $t_1=0,4\text{s}$ (thời gian để điện áp stato động cơ
giảm còn 0,5 giá trị định mức [Vaxilet X. V., 2013]
Điện dung cách điện của cáp chính và cáp nhánh:

$$C_{ci} = 1,05.C_{oi}.l_i;$$

Ở đây C_{oi} – là điện dung riêng trung bình của đoạn
cáp thứ i , $\mu\text{F}/\text{m}$; l_i – chiều dài đoạn cáp thứ i , m ;
Điện dung riêng trung bình của cáp tra bảng 2 [Kim
Ngọc Linh và nnk, 2023].

Bảng 2. Điện dung riêng cách điện của cáp

Loại cáp	C_0 ($\mu\text{F}/\text{km}$) với tiết diện cáp, mm^2							
	6	10	16	25	35	50	70	95
Cáp bọc thép đến 1kV	0,12	0,17	0,18	0,19	0,24	0,34	0,35	0,36
Cáp mềm không bọc đến 1 kV	0,17	0,18	0,19	0,2	0,23	0,24	-	-
Cáp mềm có màng bọc đến 1 kV	0,32	0,37	0,43	0,63	0,66	0,7	-	-

Điện trở cách điện của mạng so với đất phụ
thuộc vào số lượng và loại thiết bị điện được tính
theo biểu thức [Kim Ngọc Linh và nnk, 2023].

$$R = \frac{10^3}{n_{dc} / R_{dc} + n_{tb} / R_{tb} + n_{ba} / R_{ba} + n_c / R_c}, k\Omega$$

Ở đây: n_{dc} là số lượng động cơ trong mạng; R_{dc}
- điện trở cách điện động cơ, $\text{M}\Omega$; n_{tb} – số lượng
thiết bị điện, bao gồm cả các thiết bị được tích hợp
sẵn trong trạm biến áp di động; R_{tb} – điện trở cách
điện của thiết bị điện, $\text{M}\Omega$; n_{ba} – số máy biến áp lực
trong mạng; R_{ba} là điện trở cách điện của máy biến
áp, $\text{M}\Omega$; n_c – số lượng cáp trong mạng (cáp bọc
thép và cáp mềm); R_c – điện trở cách điện của cáp,
 $\text{M}\Omega$.

3. Thảo luận

Mô hình để tính dòng điện rò qua người khi
chạm vào một pha của mạng điện mở hỗn hợp hình
8 có kể khá đầy đủ đến ảnh hưởng của các yếu tố
như: điện trở và điện dung cách điện của phần
mạng một chiều và phần mạng xoay chiều trước và
sau biến tần, điện trở và điện kháng của máy biến
áp và cáp, sức điện động ngược của động cơ khi
ngắt khỏi nguồn cung cấp, vị trí chạm của người.
Điểm mới của mô hình là đã kể đến sự thay đổi của
tần số điện áp stato động cơ khi ngắt khỏi lưới. Điều
này cho phép khảo sát chính xác hơn hiệu quả của
mạch bù thành phần điện dung của dòng điện rò
sau khi bảo vệ rò tác động.

Mô hình có thể sử dụng để giải nhiều bài toán
về an toàn điện giật trong cung cấp điện cho các mỏ
than hầm lò như: Ảnh hưởng của thông số cách
điện phần mạng một chiều, mạng xoay chiều trước
và sau biến tần đến dòng điện rò; Ảnh hưởng do trở

kháng trong của biến áp và trở kháng của cáp đến
dòng điện rò; Ảnh hưởng của trở kháng tải và sức
điện động ngược động cơ đến dòng điện rò; Khảo
sát hiệu quả các giải pháp giảm dòng rò khoảng
khắc như bù điện dung, nối ngắn mạch pha con
người chạm phải với đất; Khảo sát ảnh hưởng của
điện trở nối đất trong mạch nối ngắn mạch pha đến
dòng điện rò v.v...

4. Kết luận

Khi nghiên cứu về dòng điện rò qua người khi
chạm vào một pha của mạng điện mở hỗn hợp có
thể sử dụng mô hình hình 8. Ưu điểm của mô hình
là đã kể đến hầu hết các yếu tố ảnh hưởng đến dòng
điện rò qua người khi chạm vào một pha của mạng
điện mở hỗn hợp. Việc giải mô hình có thể sử dụng
phần mềm mô phỏng Matlab Simulink. Kết quả
khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến dòng điện rò
qua người khi chạm vào một pha của mạng điện mở
hỗn hợp sẽ được chúng tôi trình bày trong các bài
báo tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

1. Covach K. P., Ratx I., (1963). Quá trình quá độ
trong máy điện xoay chiều, “Nhà xuất bản năng
lượng quốc gia”, Matxcova và Lenigrad. (bản
tiếng Nga)
2. Đdiuban V. X. và nnk, (1983). Sổ tay năng lượng
các mỏ than, “Hạt nhân”. Matxcova. (bản tiếng
Nga)
3. Iagudaev B. M., Silikin N. Ph., Nadarov V. V.,
(1982). Bảo vệ khỏi điện giật trong công nghiệp
mỏ, “Hạt nhân”. Matxcova. (bản tiếng Nga)

4. Kim Ngọc Linh, (2006). Nghiên cứu hình thức bảo vệ rò điện phù hợp với mạng điện hạ áp mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh. Luận án Tiến sĩ, Đại học Mỏ-Địa chất. Hà Nội.
5. Kim Ngọc Linh, (2018). Nghiên cứu xác định dòng điện rò trong mạng điện mỏ hầm lò có sử dụng các bộ biến đổi. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 3-2018, 15-19.
6. Kim Ngọc Linh và nnk, (2023). Phương pháp tính toán kiểm tra điều kiện an toàn điện giật khi thiết kế các mạng điện khu vực mỏ hầm lò. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 3-2023, 47-53.
7. Petrichencô A.A., (2017). Các phương pháp và phương tiện hạn chế dòng điện rò xuống đất trong các hệ thống cung cấp điện cho các mỏ quặng sắt. Luận án Tiến sĩ, Krivôi, 197. (bản tiếng Nga).
8. Nguyễn Văn Quân, (2015). Nghiên cứu đảm bảo điều kiện an toàn điện giật trong các mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V vùng Quảng Ninh. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Mỏ-Địa chất. Hà Nội, 128.
9. Suski V. I., Akhliuxtin V. K., (1979). An toàn điện trong các xí nghiệp tuyển khoáng, "Hạt nhân". Matxcova. (bản tiếng Nga)
10. Nguyễn Hanh Tiến, (2005). Nghiên cứu phòng ngừa nổ khí mỏ do dòng điện của các mạng điện xoay chiều ở các mỏ than hầm lò Quảng Ninh. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Mỏ-Địa chất. Hà Nội.
11. Vaxilet X. V., (2013). Mô hình toán của mạng điện mỏ khi có dòng điện rò qua điện trở người, Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Випуск 1/2013 (21), 117-122. (bản tiếng Ucraina)

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO MẠCH KIỂM TRA ĐIỆN TRỞ CÁCH ĐIỆN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Nguyễn Trường Giang^{1,*}, Kim Cẩm Ánh², Nguyễn Tiến Sỹ³

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam, nguyentruonggiang@humg.edu.vn;

² Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam, kimcamanh@humg.edu.vn;

³ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam; nguyentiansi@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả thiết kế, chế tạo mạch kiểm tra cách điện trước khi đóng điện cho động cơ không đồng bộ ba pha. Đặc điểm chính của mạch điện là khả năng kiểm tra liên tục điện trở cách điện trước khi đóng điện và trong quá trình làm việc của động cơ. Sản phẩm chế tạo này có thể tích hợp trong thiết kế chế tạo các thiết bị đóng cắt, bảo vệ động cơ không đồng bộ ba pha dùng trong các mỏ hầm lò, thay thế các sản phẩm nhập ngoại.

Từ khóa: Động cơ không đồng bộ ba pha, mạch kiểm tra điện trở cách điện, thiết bị đóng cắt, bảo vệ, role

1. Đặt vấn đề

Để đảm bảo điều kiện an toàn, các mạng điện khu vực hầm lò chỉ sử dụng mạng điện ba pha có trung tính cách ly. Các thiết bị điện thực hiện việc khai thác, thông gió, bơm nước trong mỏ thường làm việc trong điều kiện nặng nhọc hơn so với các thiết

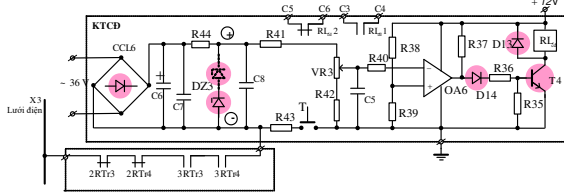
bị trên mặt đất. Vì vậy, để đảm bảo an toàn điện giật bắt buộc các thiết bị đóng cắt phải được trang bị role kiểm tra cách điện nhằm mục đích khóa liên động rò điện ngăn không cho phép đóng điện khởi động từ vào nhánh cấp bị rò.

2. Kết quả thiết kế và chế tạo

Để kiểm tra cách điện mạng trung tính cách ly có thể sử dụng các loại sơ đồ sau [1]: các sơ đồ làm việc với dòng hoặc điện áp thử tự không; các sơ đồ làm việc với dòng chính lưu từ mạng cần kiểm tra; các sơ đồ làm việc với nguồn kiểm tra một chiều độc lập; các sơ đồ làm việc với dòng xoay chiều khác với tần số công nghiệp 50Hz.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã thiết kế, chế tạo một mô hình rơ le kiểm tra cách điện trước khi đóng điện cho động cơ có sơ đồ nguyên lý như hình 1.

Trước khi khởi động, sau khi rơ le 3RTr được cấp điện nó đóng các tiếp điểm thường mở 3RTr3 và 3RTr4 làm kín mạch kiểm tra điện trở cách điện.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý mạch kiểm tra điện trở cách điện trước khi đóng điện

Dòng kiểm tra điện trở cách điện đi theo đường: Cực dương của nguồn kiểm tra điện trở cách điện, điện trở R44, R41, chiết áp VR3, điện trở R42, mass của sơ đồ, cực tiếp đất, điện trở cách điện của mạng, động cơ và cáp nối, các tiếp điểm 2RTr3, 2RTr4, 3RTr3, 3RTr4, cực âm nguồn kiểm tra điện trở cách điện.

Khi điện trở cách điện so với đất cao hơn 22kΩ thì rơ le kiểm tra cách điện RL_{cd} có điện. Tiếp điểm thường mở RL_{cd1} trong mạch sơ cấp biến áp điều khiển BAĐK đóng mạch cho biến áp điều khiển BAĐK nên có thể khởi động động cơ.

Khi điện trở cách điện so với đất thấp hơn 22kΩ thì rơ le kiểm tra cách điện RL_{cd} mất điện. Tiếp điểm thường mở RL_{cd1} trong mạch sơ cấp biến áp điều khiển BAĐK hở mạch. Do máy biến áp điều khiển BAĐK bị mất nguồn cung cấp nên mạch điều khiển không có tác dụng và vì thế bộ khởi động từ không thể khởi động được. Đồng thời, tiếp điểm thường đóng RL_{cd2} đang ở trạng thái mở lập tức đóng lại làm cho đèn cảnh báo rò điện L₃ sáng báo hiệu sự cố.

Nếu như điện trở cách điện được hồi phục lại bình thường, rơ le kiểm tra cách điện RL_{cd} tự động được cấp điện nên điểm tiếp điểm thường mở RL_{cd1} đóng lại cấp điện cho máy biến áp điều khiển (BAĐK), đồng thời đèn cảnh báo rò điện L₃ tắt do tiếp điểm thường đóng mở ra. Lúc này có thể khởi động tiếp.

Để kiểm tra khả năng sẵn sàng làm việc của mạch kiểm tra điện trở cách điện ấn nút thử T, đèn cảnh báo rò điện L₃ phải sáng.

Từ sơ đồ nguyên lý mạch kiểm tra điện trở cách điện trước khi khởi động động cơ được cho ở hình 1 ta có:

Chọn nguồn nuôi EC=12V, rơ le điện từ RL_{cd} chọn loại có U_{dm}=12VDC, tiếp điểm 5A/250VAC

Khuếch đại thuật toán OA6 chọn loại chuyên làm mạch so sánh, kiểu đầu ra cực góp hở mạch

Chọn các phần tử thừa hành

Từ dòng cực góp bão hòa của tranzito T4 chọn tranzito T4 loại NPN

Tính dòng cực gốc bão hòa của tranzito theo công thức

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta}$$

Chọn dự trữ 2 lần $I_B = 2I_{BS}$

Tổng điện trở được tính theo công thức:

$$(R_{36} + R_{37}) = \frac{E_C - U_{BE}}{3I_B}$$

Chọn R₃₇ = 2,7kΩ do OA6 là khuếch đại thuật toán có đầu ra cực góp hở mạch

Tính chọn điện trở R₃₆ theo công thức

$$R_{36} = (R_{36} + R_{37}) - R_{37}$$

Chọn diode D13, D14 loại dòng 1A điện áp 50V

Tính chọn các phần tử lấy và xử lý tín hiệu kiểm tra điện trở cách điện

Tính điện áp sau cầu chỉnh lưu CCL6

$$U_{d0} = 0,9U_2 = 0,9.36 = 32,4V$$

Chọn nguồn kiểm tra điện trở cách điện U_{do}=4x5,1=20,5V

Chọn dòng kiểm tra điện trở cách điện lớn nhất (ứng với điện trở cách điện bằng 22kΩ) khoảng 1mA.

Với dòng làm việc của diốt ổn áp $I_z = 5\text{mA}$
 Tính được theo công thức: $I_{R44} = I_z + I_d$

Tính chọn R44 theo công thức:

$$R_{44} = \frac{U_{R44}}{I_{R44}} = \frac{U_{d0} - U_{d0}}{I_{R44}}$$

Tính chọn cầu chỉnh lưu CCL5:

Điện áp ngược cực đại đặt lên diốt trong nửa chu kỳ không dẫn điện $U_{im} = 1,41U_2$

Dòng điện trung bình qua diốt: $I_D = I_{R44}/2$

Với điện trở cách điện giới hạn bằng $22\text{k}\Omega$, điện áp đưa tới đầu vào đảo của OA6 lớn nhất và nhỏ nhất được xác định theo công thức:

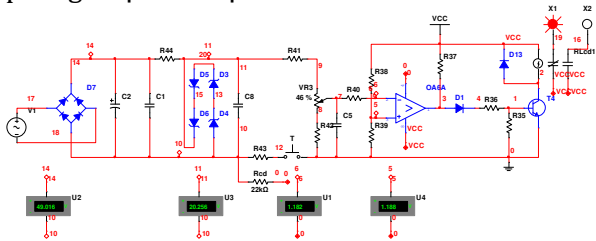
$$U_{OA6\text{max}}^- = \frac{U_{d0}}{R_{cd} + R_{41} + VR_4 + R_{42}} (VR_4 + R_{42})$$

$$U_{OA6\text{min}}^- = \frac{U_{d0}}{R_{cd} + R_{41} + VR_4 + R_{42}} R_{42}$$

3. Kết quả thử nghiệm

Mô hình mạch kiểm tra cách điện theo sơ đồ hình 1 được nhóm tác giả mô phỏng kiểm tra trên máy tính, thu được kết quả mô phỏng như sau: [2]

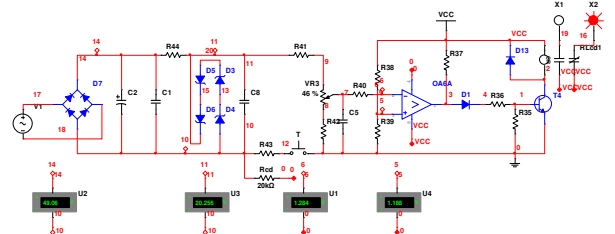
Khi điện trở cách điện so với đất cao hơn $22\text{k}\Omega$ thì role kiểm tra cách điện RL_{cd} có điện. Tiếp điểm thường mở của role đóng lại (tiếp điểm này được gài liên động với mạch điện của biến áp điều khiển) (đèn X1 sáng) đóng mạch cho biến áp điều khiển (BAĐK) nên có thể khởi động động cơ. Kết quả mô phỏng được thể hiện ở hình 2



Hình 2 Kết quả mô phỏng khi điện trở cách điện $R_{cd} \geq 22\text{k}\Omega$

Khi điện trở cách điện so với đất thấp hơn $22\text{k}\Omega$ thì role kiểm tra cách điện RL_{cd} mất điện. Tiếp điểm thường mở của role hở ra (đèn X1 tắt) BAĐK bị mất điện nên mạch điều khiển không hoạt động vì vậy bộ khởi động từ không thể hoạt động được. Đồng thời tiếp điểm thường đóng của role đang ở trạng thái mở lập tức đóng lại làm cho đèn cảnh báo rò

điện X2 sáng báo hiệu sự cố. Kết quả mô phỏng được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. Kết quả mô phỏng khi điện trở cách điện $R_{cd} < 22\text{k}\Omega$

Khi điện trở cách điện được phục hồi lại bình thường, role kiểm tra cách điện RL_{cd} tự động được cấp điện nên tiếp điểm thường đóng RL_{cd1} đóng lại cấp điện cho BAĐK, đồng thời đèn cảnh báo rò điện X2 tắt (do tiếp điểm thường đóng mở ra). Lúc này người vận hành có thể khởi động tiếp.

Để kiểm tra khả năng làm việc của mạch kiểm tra điện trở cách điện nhấn nút thử T, đèn cảnh báo rò điện X2 sáng.

Sau khi mô phỏng thử nghiệm trên máy tính, nhóm tác giả đã tiến hành lắp ráp thử nghiệm tại phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện-điện tử trường Đại học Mỏ - Địa chất. Hình ảnh sản phẩm được cho ở hình 4.



Hình 4. Hình ảnh sản phẩm mạch kiểm tra điện trở cách điện

Kết quả thử nghiệm tại PTN Kỹ thuật điện - Điện tử



Hình 5. Kết quả thử nghiệm khi điện trở cách điện $R_{cd} \geq 22\text{k}\Omega$

Khi điện trở cách điện so với đất cao hơn $22k\Omega$ thì role kiểm tra cách điện RL_{cd} có điện. Tiếp điểm thường mở của role đóng lại (tiếp điểm này được gài liên động với mạch điện của biến áp điều khiển) (đèn CD sáng) đóng mạch cho biến áp điều khiển (BAĐK) nên có thể khởi động động cơ. Kết quả được cho ở hình 5

Khi điện trở cách điện so với đất thấp hơn $22k\Omega$ thì role kiểm tra cách điện RL_{cd} mất điện. Tiếp điểm thường mở của role hở ra (đèn CD tắt) BAĐK bị mất điện nên mạch điều khiển không hoạt động vì vậy bộ khởi động từ không thể hoạt động được. Đồng thời tiếp điểm thường đóng của role đang ở trạng thái mở lập tức đóng lại làm cho đèn cảnh báo rò điện L3 sáng báo hiệu sự cố. Kết quả thử nghiệm được thể hiện ở hình 6.



Hình 6. Kết quả thử nghiệm khi điện trở cách điện $R_{cd} < 22k\Omega$

4. Kết luận

Từ các kết quả thử nghiệm cho thấy sản phẩm thiết kế hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu đặt ra cho một bộ role kiểm tra cách điện trước khi đóng điện. Sản phẩm có thể lắp đặt tích hợp trong các thiết bị bảo vệ đa năng, thiết bị đóng cắt dùng trong các mô hình, thay thế các sản phẩm nhập ngoại.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn bộ môn Kỹ thuật điện – Điện tử, khoa Cơ – Điện, ĐH Mở - Địa chất đã hỗ trợ về cơ sở vật chất để thực hiện thử nghiệm kết quả sản phẩm.

Tài liệu tham khảo

1. Kim Ngọc Linh, 2021. Điều kiện sử dụng an toàn thiết bị bảo vệ rò điện dùng dòng đo 1 chiều trong các mạng điện mở hỗn hợp. Tạp chí Công nghiệp Mở, số 4+5+6-2021, tr. 54-58.
2. Nguyễn Trường Giang, 2021. Xây dựng mô hình mô phỏng khảo sát mạch bảo vệ tổng hợp động cơ không đồng bộ ba pha. Kỷ yếu tóm tắt hội nghị toàn quốc ERSĐ 2022 tr.296

XÂY DỰNG CẤU HÌNH VẬN HÀNH LINH HOẠT CHO LƯỚI ĐIỆN NHỎ Ở CHẾ ĐỘ ĐỘC LẬP THEO MỤC TIÊU ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP VÀ TẦN SỐ

Phạm Văn Huy^{1,*}, Nguyễn Hồng Sơn¹, Vũ Đức Thiện¹, Trịnh Trọng Chương¹, Nguyễn Văn Hùng^{1,2}, Nguyễn Đức Huy²

¹ Khoa Điện, Trường Đại Học Công Nghiệp Hà Nội, Việt Nam,

² Trường Điện - Điện Tử, Đại Học Bách Khoa Hà Nội, Việt Nam,

phamhuy16616@gmail.com; hung_nv@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Xu hướng hình thành các lưới điện nhỏ dựa trên hệ thống điện mặt trời đang dần phổ biến do giúp gia tăng độ tin cậy cung cấp điện nói chung cho toàn hệ thống. Vai trò của hệ thống điện mặt trời thay đổi bám theo trạng thái nối lưới hay độc lập của lưới điện nhỏ. Trong chế độ độc lập, để đảm bảo vai trò giữ lưới hệ thống điện mặt trời thường được lai ghép với bộ lưu điện, tuy nhiên khi đó hệ thống điện mặt trời khó đạt được tiêu chí phát công suất cực đại. Bài báo đề xuất một cấu hình linh hoạt giúp hệ thống điện mặt trời có thể đạt được tiêu chí phát công suất cực đại, cũng như thể hiện được vai trò giữ lưới trong việc đảm bảo tần số và điện áp lưới điện trong chế độ độc lập. Bài báo đã sử dụng công cụ Matlab/Simulink để mô phỏng và kiểm nghiệm kết quả.

Từ khóa: Vận hành linh hoạt, lưới điện nhỏ, công suất cực đại, chế độ độc lập.

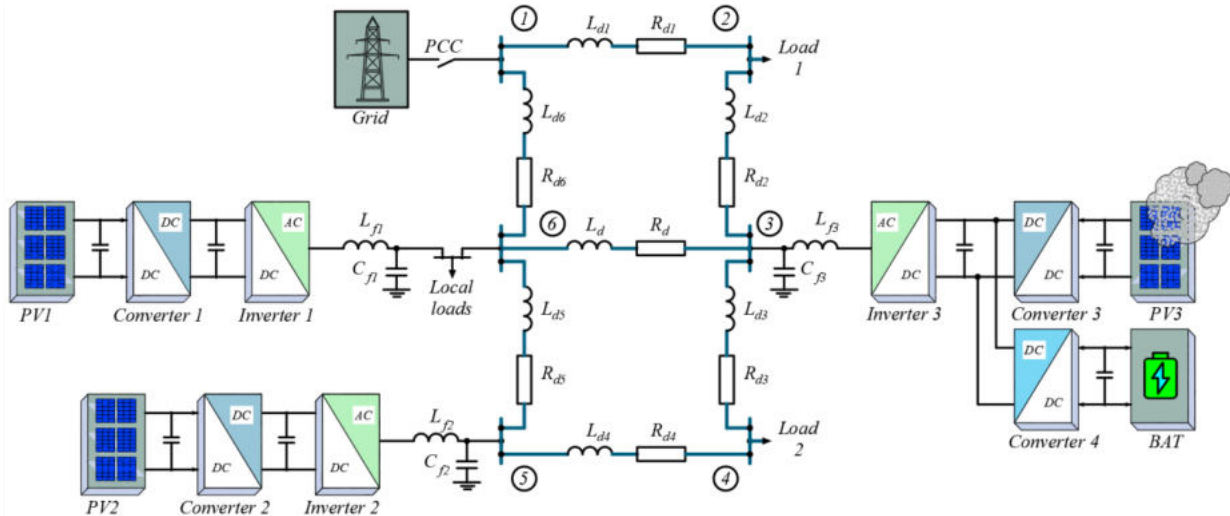
1. Giới thiệu

Hiện nay, sự phát triển mạnh mẽ của các nguồn phân tán trong hệ thống lưới điện kéo theo nhu cầu kết nối lưới cũng phải được nâng cao cả về mặt kinh tế và kĩ thuật. Trong thực tế, hầu hết các nguồn phân tán hiện nay đều thực hiện cung cấp toàn bộ công suất cực đại vào các phụ tải và phần công suất còn lại sẽ được phân bổ vào lưới điện lớn (Laaksonen, Parthasarathy, Hafezi, Shafie-khah, et al., 2020)

Tuy nhiên, cấu hình và cách vận hành này có một nhược điểm lớn, khi xảy ra sự cố hoặc mất điện ở lưới lớn, các nguồn phân tán sẽ hoạt động hoàn toàn ở chế độ giữ lưới, khi đó các tấm pin mặt trời sẽ không được hoạt động ở mức công suất tối đa, gây ra những tổn thất nhất định về mặt kinh tế trong quá trình vận hành (Laaksonen, Parthasarathy, Hafezi, Shafie-Khah, et al., 2020). Bên cạnh đó, trong những điều kiện không thuận lợi về mặt thời tiết cũng như không đủ bức xạ, công suất phát ra của các nguồn phân tán sẽ không đủ để

đáp ứng nhu cầu về năng lượng của các phụ tải (Baboli, n.d.).

Vì vậy, để đảm bảo chế độ vận hành của hệ thống điện mặt trời trong các điều kiện khác nhau đặc biệt trong lưới điện nhỏ ở chế độ tách lưới được hoạt động một cách linh hoạt, duy trì được các thông số như tần số và điện áp cũng như nâng cao hiệu quả về mặt kinh tế, bài báo đã đề xuất một phương pháp điều khiển bộ biến đổi công suất tác dụng linh hoạt có khả năng tối ưu hóa công suất cực đại của các nguồn cấp cho các phụ tải (Rodriguez et al., 2007). Bên cạnh đó, một nguồn phân tán sẽ đóng vai trò giữ lưới và phát ra công suất đủ để duy trì hệ thống hoạt động ổn định, bộ lưu trữ năng lượng cũng được tích hợp vào nguồn cấp này nhằm thực hiện nhiệm vụ dự trữ công suất dư thừa của nguồn phân tán cũng như giữ lưới hoạt động ổn định, góp phần vận hành lưới điện một cách hiệu quả ở chế độ độc lập (Rodriguez et al., 2018). Sơ đồ khối của hệ thống vận hành linh hoạt hệ thống pin mặt trời trong các chế độ nối lưới và tách đảo được thể hiện trong Hình 1.



Hình 7. Sơ đồ khối của hệ thống

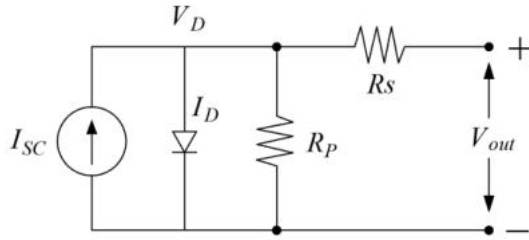
Bài báo đã tiến hành áp dụng mô hình điều khiển linh hoạt lên các kịch bản có sẵn khi hệ thống hoạt động ở chế độ tách lưới và tiến hành thực hiện mô phỏng, đánh giá, so sánh và đưa ra kết quả nghiên cứu bằng công cụ Matlab/Simulink để đảm bảo tính hiệu quả và khả năng ứng dụng của phương pháp điều khiển đã đề xuất.

2. Mô hình các phần tử

2.1 Mô hình toán học của Pin Mặt trời

Pin mặt trời hoạt động theo đặc tính phi tuyến I-V và P-V, thay đổi tuyến tính theo bức xạ mặt trời và nhiệt độ hoạt động của tế bào quang điện. Trong Hình 2 biểu diễn mạch điện tương đương của tế bào quang điện. Ở hình này, thành phần điện trở song song R_p đặc trưng cho dòng rò qua tế bào

quang điện, và điện trở R_s mắc nối tiếp đặc trưng cho một phần điện trở trong của tế bào quang điện (Assis & Mathew, 2007; Thị Việt Hồng et al., 2021).



Hình 8. Mạch tương đương của tế bào quang điện

Theo định luật Kirchoff 1, ta có

$$\begin{aligned} I_{SC} &= I + I_D + I_P \\ \Leftrightarrow I &= I_{SC} - I_D - I_P \\ \Leftrightarrow I &= I_{SC} - I_D - \frac{V_D}{R_P} \end{aligned} \quad (1)$$

Theo định luật Kirchoff 2, ta có

$$V_D = V_{out} + I.R_S \quad (2)$$

Theo phương trình diode Schokley, ta có:

$$\begin{aligned} I_D &= I_0 (e^{\frac{q.V_D}{kT}} - 1) \\ \Leftrightarrow I_D &= I_0 (e^{\frac{q.(V_{out} + I.R_S)}{kT}} - 1) \end{aligned} \quad (3)$$

Thay vào (1), ta có:

$$\begin{aligned} I &= I_{SC} - I_0 (e^{\frac{q.(V_{out} + I.R_S)}{kT}} - 1) \\ &\quad - \frac{V_{out} + I.R_S}{R_P} \end{aligned} \quad (4)$$

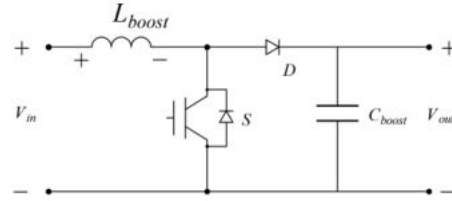
Tại nhiệt độ $T=25^\circ\text{C}$, khi đó phương trình đặc tính I-V của tế bào quang điện là:

$$I = I_{SC} - I_0 (e^{38.9V_{out}} - 1) - \frac{V_{out} + I.R_S}{R_p} \quad (5)$$

2.2. Mạch tăng áp một chiều DC/DC

Bộ biến đổi DC/DC là một mạch điện tử hoặc thiết bị cơ điện dùng để chuyển đổi nguồn dòng điện một chiều từ mức điện áp này sang mức điện áp khác. Nó là một loại bộ chuyển đổi năng lượng điện, nhằm thực hiện việc hấp thụ và cung cấp năng lượng từ bảng điều khiển năng lượng mặt trời đến bộ biến đổi. Quá trình hấp thụ và cung cấp năng lượng trong bộ chuyển đổi khuếch đại được thực

hiện bởi sự kết hợp của bốn thành phần là cuộn cảm, công tắc điện tử, diode và tụ điện đầu ra được cho trong Hình 3 (Mohan et al., n.d.).



Hình 9. Sơ đồ của mạch tăng áp một chiều

Khi van S dẫn:

$$L_{boost} \frac{di_L}{dt} = V_{in} \quad (6)$$

Khi van S khóa:

$$L_{boost} \frac{di_L}{dt} = V_{in} - V_{out} \quad (7)$$

Giả thiết tụ C có giá trị đủ lớn, ta có:

$$0 \leq t \leq t_x : i_{L_{boost}} = I_{min} + \frac{V_{in}}{L} t \quad (8)$$

$$t_x \leq t < T : i_L = I_{max} - \frac{E - U_t}{L} (t - t_x)$$

Giải hệ phương trình trên thu được:

$$V_{out} = \frac{T}{T - t_x} . V_{in} = \frac{1}{1 - k} V_{in} \quad (9)$$

Trong đó:

V_{out} là điện áp đầu ra;

V_{in} là dòng điện đầu vào;

k là chu kỳ nhiệm vụ;

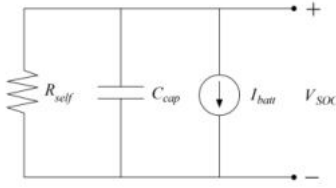
T là thời gian chuyển mạch;

Δ_1 là khoảng thời gian điện áp cuộn cảm âm.

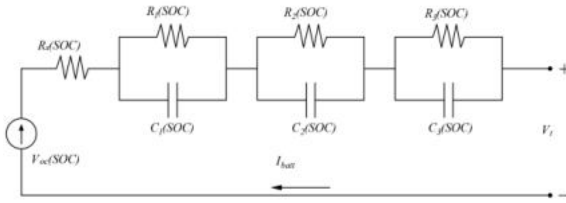
2.3. Bộ lưu điện truyền thống

Mô hình toán của bộ lưu điện bao gồm một mạch tương đương Thevenin để mô tả đặc tính điện áp-dòng của bộ lưu điện, và một mạch tương đương thời gian để mô tả tuổi thọ, dung lượng, trạng thái sạc (SOC) và thời gian hoạt động của bộ lưu điện. Mô hình toán có thể dự đoán hoạt động của bộ lưu điện trong các hệ thống điện đưa ra các giải pháp phù hợp để cải thiện hiệu suất và tuổi thọ của bộ lưu điện dựa trên các thông số mạch tương đương với các nguồn và các thành phần dẫn động, bao gồm các điện trở và điện dung. Mô hình, được mô tả theo cách tương đối trong Hình 4 và 5, bao gồm hai mạch tương đương. Mô hình đặc trưng cho

tuổi thọ pin, dung lượng, trạng thái sạc (SOC) và thời gian chạy của pin và mô hình đặc trưng cho đặc tính điện áp-dòng của pin (Kroeze & Krein, n.d.-a).



Hình 10. Mô hình xác định thời lượng pin



Hình 11. Mô hình đặc tính V-I của pin

Hình 4 biểu diễn mô hình toán học đặc trưng cho các thông số tuổi thọ, dung lượng, trạng thái sạc (SOC) và thời gian chạy của pin. Các thông số được thể hiện trên sơ đồ gồm điện trở gồm Rself đại diện cho năng lượng tự xả mất đi trong quá trình lưu trữ, nguồn dòng I_{bat} để sạc và xả, tụ điện C_{cap} thể hiện trạng thái sạc của pin (SOC). Giá trị C_{cap} được tính như công thức dưới đây (Hamidi et al., n.d.):

$$C_{cap} = 3600.C_n.f_1(T).f_2(n).f_3(i) \quad (10)$$

Trong đó:

C_n là dung lượng pin định mức (Ah).

f₁(T), f₂(n) và f₃(i) là các hệ số điều chỉnh phụ thuộc vào nhiệt độ, số chu kỳ và dòng điện tương ứng.

Mô hình đặc trưng cho đặc tính điện áp-dòng của pin được thông qua mạch tương đương được mô tả trong Hình 5. Trong trường hợp này, tất cả các yếu tố của mạch tương đương đều phụ thuộc vào SOC. Đặc tính không tuyến tính của điện áp-dòng điện được tích hợp thông qua nguồn điện phụ thuộc vào điện áp (V_o), và một điện trở (R_s) chịu trách nhiệm cho sự thay đổi điện áp. Một số mạch RC song song, gồm R_i và C_i, được kết nối nối tiếp nhau để cung cấp những hằng số thời gian khác nhau. Thông thường, ba mạch RC với các hằng số thời gian khác nhau được xem là đủ để đáp ứng các mục đích thực tế phổ biến nhất. Các tham số được xác định trong Hình 5 là một hàm của SOC, được thể hiện qua các phương trình sau đây, và chúng cũng bị ảnh hưởng bởi các đặc tính hoạt động khác như nhiệt độ (Kroeze & Krein, n.d.-b).

$$SOC(t) = SOC_0 - \frac{1}{C_{cap}} \int_0^t i(t).dt \quad (11)$$

$$V_t = V_{oc}(SOC, T) - i_{bat}(t).R_{bat}(SOC, T) + i_{bat}(t).R_t \quad (12)$$

$$R_t = (R_1(SOC))e^{\frac{-1}{R_1(SOC).C_1(SOC)}t} + (R_2(SOC))e^{\frac{-1}{R_2(SOC).C_2(SOC)}t} + (R_3(SOC))e^{\frac{-1}{R_3(SOC).C_3(SOC)}t} \quad (13)$$

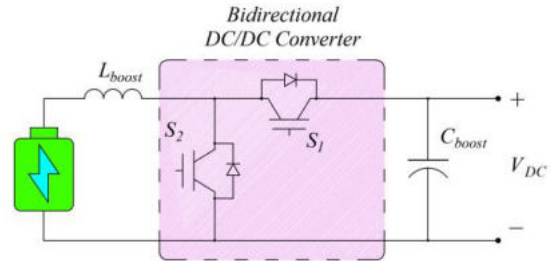
Trong đó:

V_{CL}, V_{C2} và V_{C3} là điện áp qua các tụ điện.

V_{RS} là sự giảm điện áp qua điện trở nội R_s.

2.4. Bộ biến đổi DC/DC hai chiều

Bộ biến đổi DC/DC hai chiều có vai trò biến đổi điện áp đầu vào, đồng thời là mạch sạc cho pin, Giúp ổn định điện áp một chiều trước khi đưa vào bộ nghịch lưu xoay chiều (Ruan et al., 2008; Tigerprints & Hazra, 2020).



Hình 12. Sơ đồ mạch sạc/xả hai chiều

Khi thực hiện xả, mạch hoạt động ở hai chế độ: chế độ liên tục và chế độ không liên tục. Khi ở chế độ dòng liên tục, năng lượng tích lũy trong cuộn cảm đủ để duy trì dòng điện đến chu kỳ đóng/cắt tiếp theo, điện áp đầu ra lớn hơn điện áp đầu vào, khi đó điện áp ra của bộ biến đổi là:

$$V_{out} = \frac{1}{1-k} V_{in} \quad (14)$$

Ở chế độ dòng không liên tục điện áp đầu ra của bộ biến đổi là:

$$V_{in}kT + (V_{in} - V_{out})\Delta_1 T = 0 \quad (15)$$

$$V_{out} = \frac{\Delta_1 + k}{\Delta_1} V_{in} \quad (16)$$

Trong đó:

V_{out} là điện áp đầu ra của bộ biến đổi

V_{in} là điện áp vào của bộ biến đổi

k là chu kỳ nhiệm vụ
 T là thời gian chuyển mạch
 Δt là khoảng thời gian điện áp cuộn cảm âm.

Quá trình sạc/xả của tụ điện được thể hiện bằng hệ phương trình (Tremblay & Dessaint, n.d.):

$$\frac{C}{2} \frac{dv_{dc}^2}{dt} = P_{BESS} - P_{AC} \quad (17)$$

$$P_{AC} = v_d i_d + v_q i_q \quad (18)$$

Chế độ xả:

$$V_{batt} = E_0 - R.i$$

$$-K \frac{Q}{Q-it} (it + i^*) + A.e^{(-B.it)} \quad (19)$$

Chế độ sạc:

$$V_{batt} = E_0 - R.i - K \frac{Q}{it - 0,1Q} i^*$$

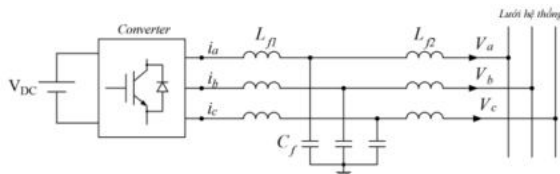
$$-K \frac{Q}{Q-it} it + e' \quad (20)$$

2.5. Bộ biến đổi DC/AC

Bộ biến đổi DC/AC chuyển đổi nguồn điện một chiều DC từ nguồn năng lượng tích lũy trong bộ pin và siêu tụ thành nguồn điện xoay chiều AC để cung cấp cho các phụ tải. Chúng có khả năng tạo ra một tín hiệu AC đầu ra với điện áp và tần số tùy chỉnh để phù hợp với các phụ tải khác nhau.

Trong cấu trúc điều khiển vòng kép, vòng ngoài chịu trách nhiệm điều chỉnh điện áp DC và công suất phản kháng. Vòng điều khiển bên trong chịu trách nhiệm điều chỉnh dòng điện. Bộ điều chỉnh PI trên trục dq được sử dụng để điều chỉnh điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi và mạch PLL khóa pha được sử dụng để duy trì sự đồng bộ hóa giữa tín hiệu đầu vào và đầu ra. Phương trình điện áp của bộ điều khiển PI được đề xuất như sau:

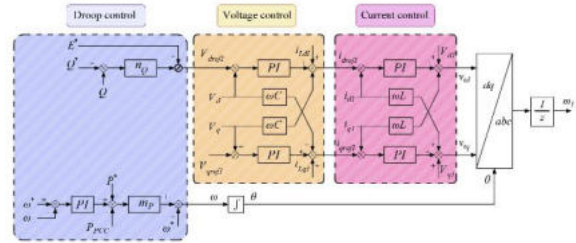
$$\begin{cases} u_d^* = e_d - \omega L i_q + (k_p + \frac{k_i}{s})(i_{dref} - i_d) \\ u_q^* = e_q + \omega L i_d + (k_p + \frac{k_i}{s})(i_{qref} - i_q) \end{cases} \quad (21)$$



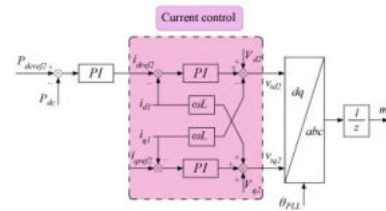
Hình 13. Sơ đồ mạch mạch động lực của bộ biến đổi DC/AC.

2.6. Cấu trúc điều khiển dựa trên bộ biến đổi dòng điện và điện áp

Bộ điều khiển của hệ thống được dựa trên hai bộ điều khiển chính là bộ điều khiển dòng điện và điện áp, được thiết kế nhằm mục đích đảm bảo các yêu cầu về tần số và điện áp. Hai bộ điều khiển tạo ra hai xung đặc trưng cho sự chuyển đổi nguồn điện một chiều DC từ nguồn năng lượng tích lũy trong bộ pin và các tấm pin mặt trời thành nguồn điện xoay chiều AC, được thể hiện trong Hình 8 và Hình 9.



Hình 14. Sơ đồ điều khiển bộ biến đổi chế độ giữ lưới



Hình 15. Sơ đồ điều khiển bộ biến đổi bám lưới

Trong đó bộ điều khiển trong Hình 8 sử dụng vòng lặp điều khiển dòng điện bên trong lấy các thông số đầu vào từ bộ điều khiển điện áp bên ngoài để đưa ra vector tín hiệu đầu ra cho bộ điều khiển:

$$i_{dref1} = i_{Ld1} + (V_{dref1} - V_d) \frac{k_{pd} + k_{id}}{s} - V_q \omega C \quad (22)$$

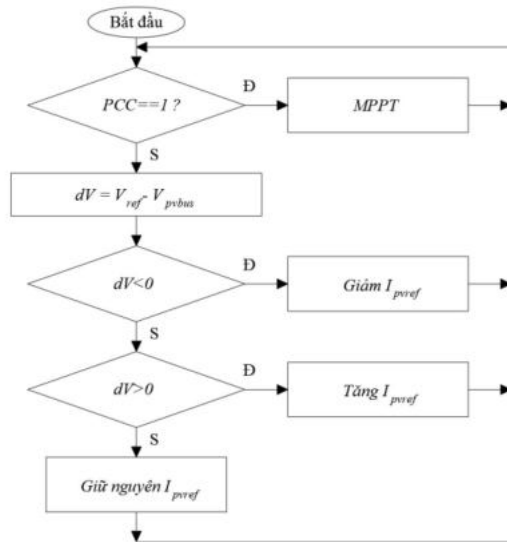
$$i_{qref1} = i_{Lq1} + (V_{dref1} - V_q) \frac{k_{pq} + k_{iq}}{s} - V_d \omega C \quad (23)$$

$$\theta = \int [\omega^* + (P^* - P) m_p] . dt \quad (24)$$

3. Thuật toán điều khiển vận hành linh hoạt cho bộ lưu điện và hệ thống điện mặt trời

3.1. Thuật toán điều khiển pin mặt trời trong các chế độ làm việc nối lưới và tách đảo

Chiến lược điều khiển của pin mặt trời được đề xuất thông qua thuật toán điều khiển của hệ thống, được thể hiện trong Hình 10.



Hình 16. Sơ đồ thuật toán điều khiển pin mặt trời trong các chế độ làm việc nối lưới và tách đảo

Trong đó:

MPPT: Theo dõi điểm công suất cực đại

PCC: Trạng thái đóng/ cắt lưới

V_{ref} : Điện áp tham chiếu

V_{pvbus} : Điện áp đo được

Khi đóng nguồn điện lưới ($PCC = 1$) cấp cho phụ tải và bộ lưu trữ năng lượng, trong khoảng thời gian đóng điện lưới, các tấm pin mặt trời sẽ hoạt động ở mức công suất tối đa để đáp ứng nhu cầu về năng lượng của các phụ tải. Khi ngắt nguồn điện lưới ($PCC = 0$), điện áp đầu ra của tấm pin mặt trời sẽ được điều chỉnh dựa theo giá trị I_{pvref} nhằm bám theo giá trị điện áp tham chiếu, bộ lưu trữ năng lượng cùng với các tấm pin lúc này sẽ đóng vai trò quan trọng để duy trì công suất cấp cho phụ tải, tránh những tổn thất về mặt kinh tế trong quá trình vận hành.

3.2. Điều khiển phân bố công suất của bộ lưu điện

Chiến lược điều khiển của quá trình sạc xả của pin được đề xuất thông qua thuật toán điều khiển của hệ thống, được thể hiện trong Hình 11.

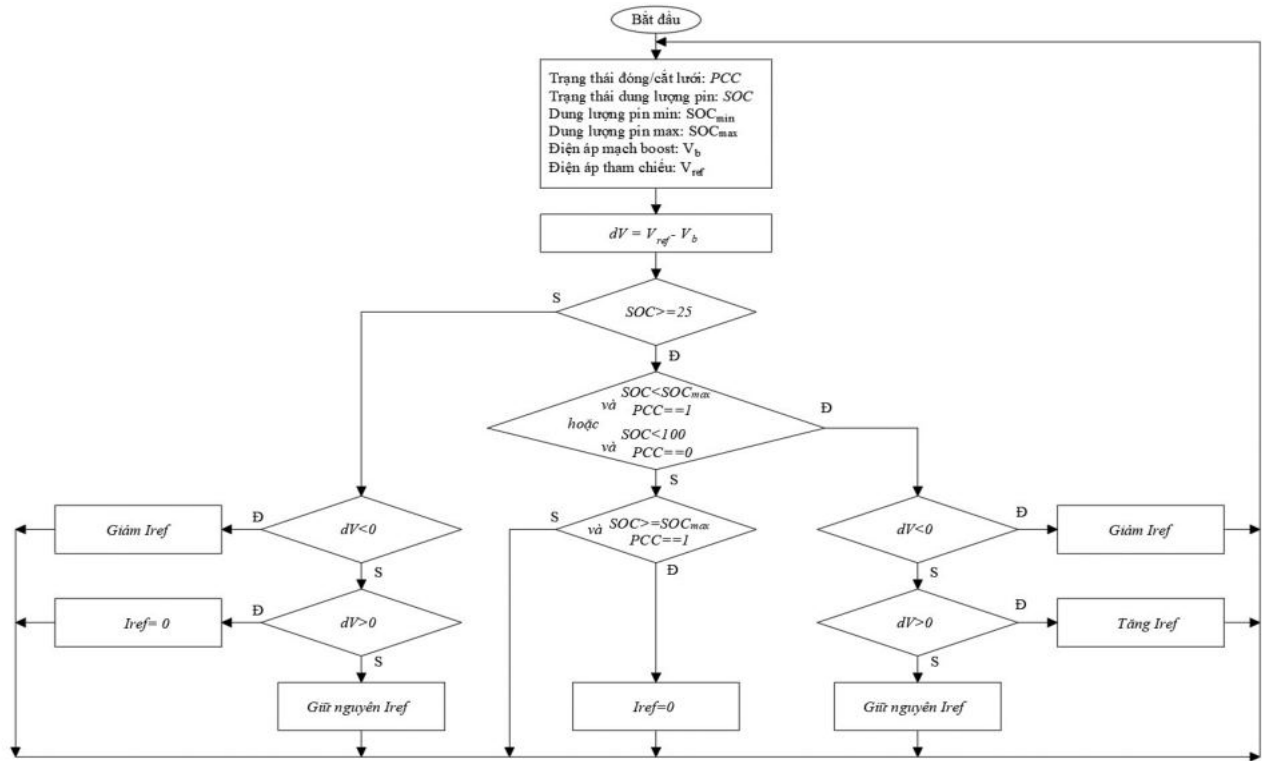
Trong đó:

SOC_{max} : Dung lượng max của bộ lưu điện

SOC_{min} : Dung lượng min của bộ lưu điện

PCC: Trạng thái đóng/ cắt lưới

Thuật toán điều khiển phân bố công suất của bộ lưu điện được chia thành các giai đoạn được tóm tắt trong Hình 11. Xét trường hợp dung lượng của bộ lưu điện ở trạng thái thiếu hụt (thấp hơn dung lượng tối thiểu cho phép), lúc này, nếu tải đã được đáp ứng đầy đủ lượng công suất cần thiết, pin sẽ thực hiện trạng thái sạc, trong trường hợp tải bị thiếu hụt công suất cần đáp ứng, hệ thống sẽ ngắt tải ra khỏi hệ thống và đồng thời không xả để tránh làm hỏng pin. Nếu điện áp đầu ra của pin bằng với điện áp tham chiếu, giá trị I_{ref} sẽ được giữ nguyên nhằm giữ trạng thái sạc hoặc xả của pin và duy trì công suất cấp cho phụ tải ở giá trị ổn định.



Hình 17. Sơ đồ thuật toán điều khiển phân bố công suất

Xét trường hợp đóng nguồn điện lưới (PCC=1) và dung lượng của bộ lưu điện ở trạng thái ổn định (thấp hơn dung lượng tối đa cho phép và lớn hơn dung lượng tối thiểu cho phép), nếu tải đã được đáp ứng đầy đủ lượng công suất cần thiết, pin sẽ thực hiện trạng thái sạc, ngược lại, nếu tải bị thiếu hụt công suất cần đáp ứng, do dung lượng pin nằm trong khoảng cho phép, lúc này pin sẽ có khả năng xả nhằm đáp ứng công suất cấp cho phụ tải. Nếu điện áp đầu ra của pin bằng với điện áp tham chiếu, giá trị I_{ref} sẽ được giữ nguyên nhằm giữ trạng thái sạc hoặc xả của pin và duy trì công suất cấp cho phụ tải ở giá trị ổn định. Với trường hợp ngắt nguồn điện lưới (PCC=0), và dung lượng pin nhỏ hơn 100%, chu kì sạc xả sẽ tương tự như trường hợp trên.

Xét trường hợp đóng nguồn điện lưới (PCC=1) và dung lượng của bộ lưu điện ở trạng thái dư thừa (lớn hơn dung lượng tối đa cho phép), pin sẽ không thực hiện sạc cũng như xả, đảm bảo tính ổn định của hệ thống lưới điện.

4. Kết quả mô phỏng

Ứng dụng mô hình vận hành linh hoạt hệ thống điện mặt trời trong các chế độ làm việc nối lưới và tách đảo dựa trên lưới điện thử nghiệm ở Hình 12. Thông số các phần tử trong sơ đồ được cho trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 2. Thông số lưới và phụ tải

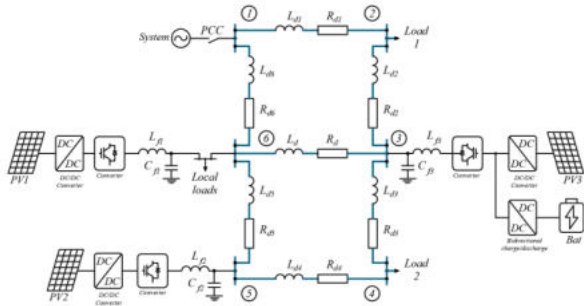
Thông số	Giá trị
Điện áp bộ lưu điện	525 V
Dung lượng bộ lưu điện	300 Ah
Điện áp PV1 (MPP)	319 V
Điện áp PV2 (MPP)	319 V
Điện áp PV3 (MPP)	580 V
Phụ tải 1	250+j25 kVA
Phụ tải 2	50+j5 kVA
Phụ tải địa phương	80+j8 kVA

Bảng 3. Thông số điều khiển

Thông số	Giá trị
L_{f1}	$6,89 \cdot 10^{-4}$ H
R_{f1}	0,0022 Ω
C_{f1}	$2,2 \cdot 10^{-4}$ F

k_p	20
k_i	200
T_s	$2,10^{-5}$ s
k_{pv}	1
k_{iv}	0,01
k_{pc1}	1
k_{ic1}	0,01
k_{pc}	2
k_{ic}	200
RL	0,003 Ω
LL	$1,15 \cdot 10^{-4}$ H

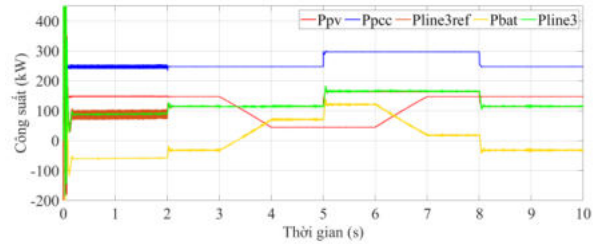
Quá trình mô phỏng diễn ra trong chế độ hệ thống nối lưới ở chế độ tách đảo. Ban đầu phụ tải 1 hoạt động với công suất tác dụng là 250kW và công suất phản kháng là 25 kVar. Tại thời điểm $t = 2$ s, hệ thống bắt đầu ngắt lưới lớn và có sự sụt giảm bức xạ của tấm pin mặt thứ 3 ở thời điểm 3s, khi có sự thay đổi công suất phát, bộ lưu điện sẽ đóng vai trò giữ cân bằng công suất trong lưới. Tại thời điểm $t = 5$ s, hệ thống được bơm thêm công suất của phụ tải 2 với các giá trị công suất tác dụng là 50 kW và công suất phản kháng là 5 kVar Ở thời điểm $t = 6$ s, tấm pin mặt trời thứ 3 được tăng bức xạ trở lại và thực hiện ngắt phụ tải thứ 2 ra khỏi hệ thống ở thời điểm $t = 8$ s, hoàn tất quá trình thực nghiệm.



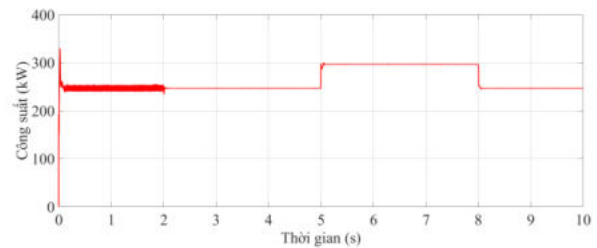
Hình 18. Sơ đồ lưới nghiên cứu

Quá trình mô phỏng diễn ra trong chế độ hệ thống nối lưới ở chế độ tách đảo, ngắt lưới lớn ở thời điểm 2s và có sự che khuất 1 phần của tấm pin mặt trời thứ 3 ở thời điểm 3s, lúc này công suất của bộ lưu điện được xả nhằm bù đắp cho công suất bị sụt giảm ở tấm pin mặt trời (PV3), khi phụ tải thay đổi tại thời điểm 5s, công suất bộ lưu điện cũng thay đổi nhằm cân bằng công suất trong lưới. Tại thời điểm 6s, bức xạ của tấm pin mặt trời (PV3) được tăng trở lại, công suất phát của bộ lưu điện sẽ có xu hướng giảm do nhu cầu năng lượng của lưới đã dần được đáp ứng đủ bởi các tấm pin mặt trời.

Thời điểm 8s, cắt phụ tải 2 ra khỏi hệ thống, bộ lưu điện sẽ được sạc do công suất phát cho các phụ tải đã dư thừa. Nhận thấy, khi áp dụng mô hình vận hành linh hoạt hệ thống điện mặt trời, công suất tác dụng và công suất phản kháng được ổn định nhanh chóng trong các trường hợp giá lập khác nhau.

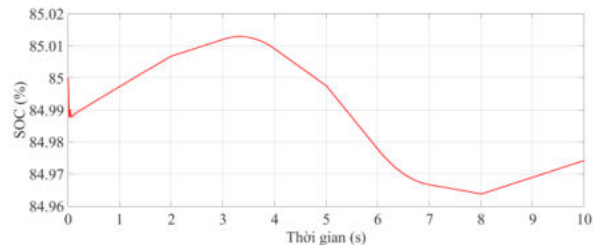


Hình 19. Công suất phát của pin mặt trời (PV3) và bộ lưu điện trong các kịch bản giá lập



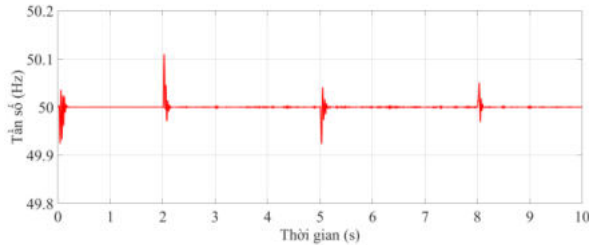
Hình 20. Công suất tác dụng tại nút PCC của lưới

Đặc tính của bộ lưu điện khi ngắt lưới hệ thống và thay đổi công suất phụ tải điện được thể hiện trực quan thông thông số SOC (%) trong Hình 15. Thời điểm lưới lớn chưa ngắt khỏi hệ thống, pin có xu hướng sạc, sau thời gian ngắt lưới lớn tại thời điểm 2s, pin bắt đầu xả, giữ vai trò quan trọng trong quá trình định hình lưới. Tại thời điểm 6s, bức xạ tăng, pin giữ nguyên trạng thái và khi ngắt tải ở thời điểm 8s, pin tiến hành sạc do công suất cấp cho các phụ tải đã dư thừa. Nhận thấy, chế độ sạc, xả của bộ lưu điện phù hợp và ổn định dựa trên thuật toán đã đề xuất.

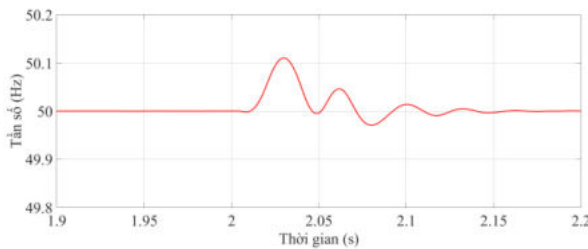


Hình 21. Đặc tính của pin khi ngắt lưới hệ thống và thay đổi công suất phụ tải.

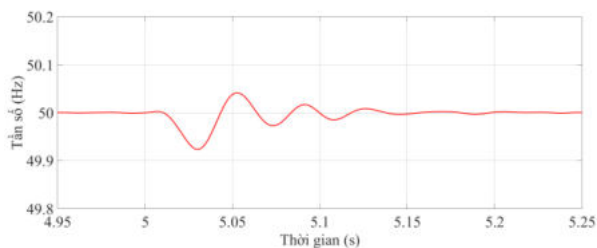
Kết quả mô phỏng tần số lưới điện được thể hiện trên Hình 16, mức độ dao động của tần số lưới điện khi ngắt lưới lớn ở thời điểm 2s và khi có sự thay đổi công suất ở thời điểm 5s và 8s được cải thiện một cách rõ rệt. Tần số lưới khi áp dụng thuật toán vận hành linh hoạt hệ thống pin mặt trời cùng với bộ điều khiển thứ cấp cho giá trị tần số ổn định hơn, cải thiện độ dao động của tần số và tốc độ thay tần số mang lại lợi ích cho lưới.



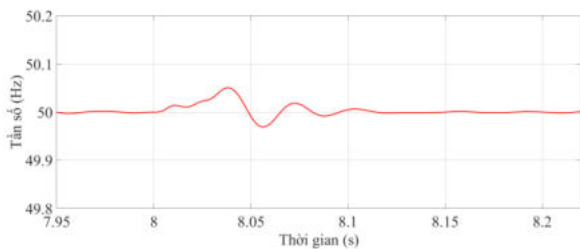
Hình 22. Tần số của lưới điện



Hình 23. Tần số của lưới điện tại thời điểm ngắt lưới



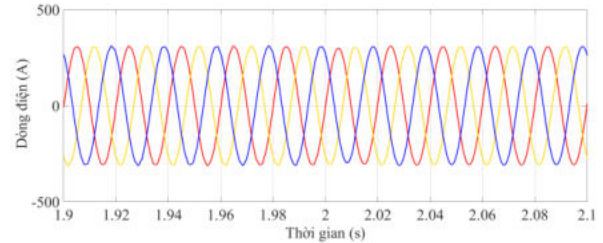
Hình 24. Tần số của lưới điện tại thời điểm đóng tải



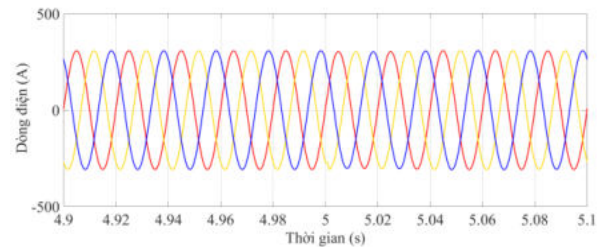
Hình 25. Tần số của lưới điện tại thời điểm ngắt tải

Hình 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 thể hiện quá trình thay đổi dòng điện, điện áp khi ngắt lưới lớn

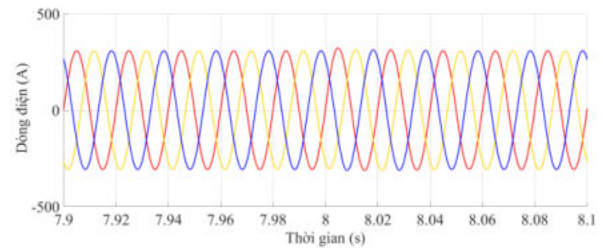
và có sự thay đổi công suất của phụ tải. Nhờ có sự tham gia của vòng lặp điều khiển điện áp, song song với đó là khối điều khiển vận hành linh hoạt và bộ điều khiển của bộ lưu điện, dòng điện và điện áp của lưới được giữ ổn định trong giới hạn trước khi có sự can thiệp của các cấp điều khiển tiếp theo.



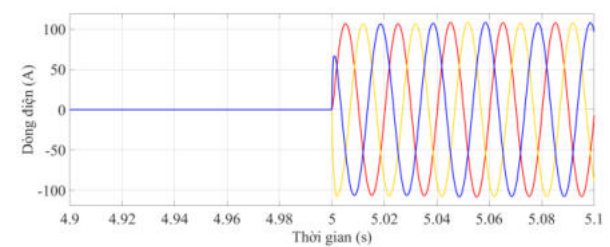
Hình 26. Dòng điện tại thời điểm ngắt lưới lớn



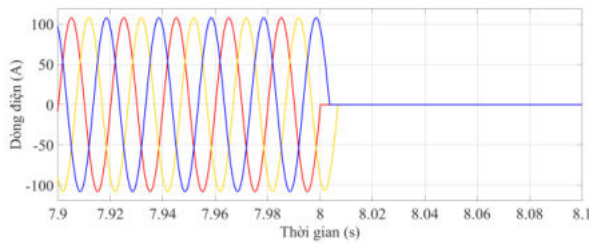
Hình 27. Dòng điện tải 1 khi thêm phụ tải 2



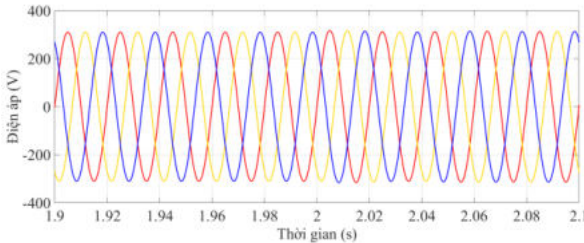
Hình 28. Dòng điện tải 1 khi ngắt phụ tải 2



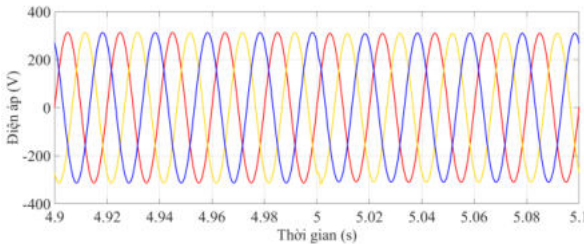
Hình 29. Dòng điện tại thời điểm đóng tải 2



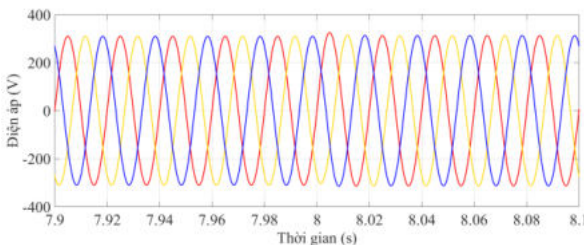
Hình 30. Dòng điện tại thời điểm ngắt tải 2



Hình 31. Điện áp tại thời điểm ngắt lưới lớn



Hình 32. Điện áp tại thời điểm đóng tải



Hình 33. Điện áp tại thời điểm ngắt tải

5. Kết luận

Giải pháp vận hành linh hoạt hệ thống điện mặt trời trong các chế độ làm việc nối lưới và tách đảo nhằm mang đến những lợi ích nhất định cho hệ thống lưới điện trong việc đáp ứng công suất cho các phụ tải trong các trường hợp giả lập sự cố. Khi xuất hiện các yếu tố gây mất cân bằng như thay đổi bức xạ, gây ra thay đổi tần số, giảm khả năng đáp ứng nhu cầu năng lượng của phụ tải, kết quả mô phỏng cho thấy, mô hình điều khiển đề xuất đưa ra các đáp ứng linh hoạt về quy trình sạc, xả của bộ lưu điện và khả năng đáp ứng năng lượng cho các phụ tải một cách hợp lý của các tấm pin mặt trời. Nhờ

đó, nhu cầu năng lượng của các phụ tải được đáp ứng nhanh chóng, biên độ và tốc độ thay đổi tần số cũng được cải thiện rõ rệt.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- Assis, A., & Mathew, S. (2007). Fundamentals and Modelling of A Solar PV System. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (An ISO, 3297)*.
- Baboli, P. T. (n.d.). *Flexible and Overall Reliability Analysis of Hybrid AC-DC Microgrid among Various Distributed Energy Resource Expansion Scenarios*.
- Hamidi, A., Weber, L., & Nasiri, A. (n.d.). *EV Charging Station Integrating Renewable Energy and Second-Life Battery*.
- Kroeze, R. C., & Krein, P. T. (n.d.-a). *Electrical Battery Model for Use in Dynamic Electric Vehicle Simulations*.
- Kroeze, R. C., & Krein, P. T. (n.d.-b). *Electrical Battery Model for Use in Dynamic Electric Vehicle Simulations*.
- Laaksonen, H., Parthasarathy, C., Hafezi, H., Shafie-Khah, M., & Khajeh, H. (2020). Control and management of distribution networks with flexible energy resources. *International Review of Electrical Engineering, 15(3)*, 213–223.
- Laaksonen, H., Parthasarathy, C., Hafezi, H., Shafie-khah, M., Khajeh, H., & Hatzigargyriou, N. (2020). Solutions to increase PV hosting capacity and provision of services from flexible energy resources. *Applied Sciences (Switzerland), 10(15)*.
- Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (n.d.). *Power electronics*.
- Rodriguez, P., Citro, C., Candela, J. I., Rocabert, J., & Luna, A. (2018). Flexible Grid Connection

- and Islanding of SPC-Based PV Power Converters. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(3), 2690–2702.
- Rodriguez, P., Timbus, A. V., Teodorescu, R., Liserre, M., & Blaabjerg, F. (2007). Flexible active power control of distributed power generation systems during grid faults. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54(5), 2583–2592.
- Ruan, X., Li, B., Chen, Q., Tan, S. C., & Tse, C. K. (2008). Fundamental considerations of three-level DC-DC converters: Topologies, analyses, and control. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 55(11), 3733–3743.
- Thị Việt Hồng, N., Văn Tân, N., Mạnh Tuấn, T., Quang Vinh, N., & Trọng Chương, T. (2021). Đánh giá hiệu quả của thuật toán P&O trong việc xác định điểm bám công suất cực đại của pin mặt trời khi điều kiện môi trường thay đổi. *Student Forum 2021-Sustainable Energy*, 1–7.
- Tigerprints, T., & Hazra, P. (2020). *Enhancement of Inertial Response of Inverter Based Energy Enhancement of Inertial Response of Inverter Based Energy System and Its Application for Dynamic Performance System and Its Application for Dynamic Performance Improvement of a Microgrid Improvement of a Microgrid*.
https://tigerprints.clemson.edu/all_theses
- Tremblay, O., & Dessaint, L.-A. (n.d.). *Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications*.

MỘT GIẢI PHÁP VỀ TIẾT KIỆM ĐƯỜNG TRUYỀN TRONG THÔNG TIN CẤP SỢI QUANG

Tống Ngọc Anh ^{1,*}, Hà Thị Chúc ¹

¹ Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, tongngocanh@humg.edu.vn;

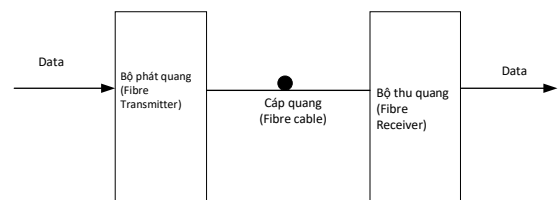
TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, nhu cầu trao đổi dữ liệu với tốc độ cao ngày càng phát triển. Truyền thông tin qua cáp sợi quang là một trong những giải pháp có thể đáp ứng nhu cầu đó. Tuy nhiên, nếu sử dụng đường truyền cáp quang không hiệu quả sẽ dẫn tới tình trạng lãng phí tài nguyên cáp quang này. Theo đó, số lượng các kết nối vật lý sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới hạ tầng cơ sở truyền dẫn. Để giải quyết vấn đề này, kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM – Wavelength Division Multiplexing) ra đời, góp phần tiết kiệm đường truyền đáng kể trong hệ thống thông tin cáp sợi quang.

Từ khóa: Kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng, WDM, thông tin cáp sợi quang

1. Giới thiệu về hệ thống thông tin cáp sợi quang

Hệ thống thông tin cáp sợi quang (hệ thống thông tin quang - HTTTQ) là hệ thống trao đổi, truyền dẫn tín hiệu sử dụng cáp quang là môi trường truyền dẫn. Cấu trúc của hệ thống thông tin quang được thể hiện như hình vẽ dưới đây:



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống thông tin cáp sợi quang

Cấu trúc hệ thống thông tin quang bao gồm: bộ phát quang, bộ thu quang và kênh truyền dẫn (ở đây là cáp quang).

Bộ phát quang có nhiệm vụ thực hiện biến đổi tín hiệu điện sang tín hiệu quang, và tạo ra các luồng quang theo các tín hiệu điện để đưa vào sợi quang. Linh kiện sử dụng làm nguồn quang là LED và diode LASER.

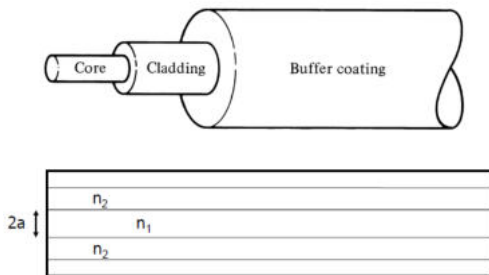
Bộ thu quang biến đổi tín hiệu quang thu được thành tín hiệu điện và khôi phục thành thông tin như ban đầu. Linh kiện sử dụng làm bộ thu quang là Diode PIN và Diode APD.

Sợi quang là nơi tín hiệu quang lan truyền và thông tin sợi quang là kỹ thuật sử dụng sóng ánh sáng để truyền thông tin. Trong một số trường hợp khi yêu cầu khoảng cách truyền dẫn của tuyến cáp quang đủ xa, có thể sẽ cần sử dụng thêm các bộ khuếch đại và bộ lặp tín hiệu quang để đáp ứng yêu cầu này.

Hệ thống thông tin cáp sợi quang hoạt động ở dải tần số sóng mang cao (187 THz ÷ 375 THz) trong vùng nhìn thấy hoặc hồng ngoại gần của phổ điện từ, tương ứng bước sóng làm việc từ 800nm tới 1600nm.

2. Đặc điểm sợi quang trong HTTTQ

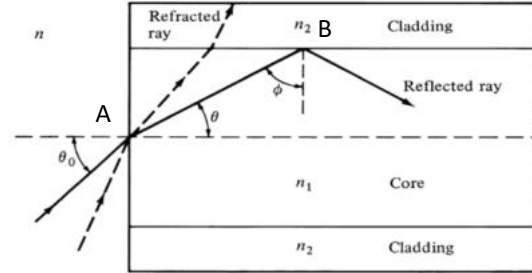
Sợi quang là ống dẫn sóng điện môi hình trụ, hoạt động tại tần số quang, dẫn ánh sáng theo hướng trục của nó. Sợi quang có cấu tạo bao gồm lõi (core) và vỏ (cladding).



Hình 2. Cấu tạo sợi quang

Lõi có chiết suất là n_1 , đường kính lõi là $2a$, vỏ có chiết suất là n_2 . Chiết suất của lõi lớn hơn chiết suất của vỏ. Sự lan truyền ánh sáng trong sợi quang tuân theo sự phản xạ toàn phần tại ranh giới giữa lõi và vỏ (điểm B trên hình 3). Đồng thời, việc bơm ánh sáng từ môi trường bên ngoài (có chiết suất là n) vào sợi quang phải đảm bảo điều kiện: nón ánh sáng nhỏ hơn 2 lần khẩu độ số NA (Numerical

Aperture). Nếu chúng ta hội tụ không tốt thì phần ánh sáng nằm ngoài 2NA sau khi vào sợi quang sẽ truyền ra ngoài vỏ làm giảm công suất thu (Govind, 2010; V.V.Yêm, 2016).



Hình 3. Sự lan truyền ánh sáng trong sợi quang

Sự phản xạ toàn phần chỉ xảy ra đối với những tia sáng có góc tới ở đầu sợi quang nhỏ hơn góc tới hạn θ_0 . Tại điểm A, theo định luật Snell:

$$n_0 \cdot \sin \theta_{\max} = n_1 \sin (90^\circ - \phi) \quad (1)$$

Tại điểm B xảy ra hiện tượng toàn phần:

$$\sin \phi = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

$$\rightarrow \sin (90^\circ - \phi) = \cos \phi = \sqrt{1 - \sin^2 \phi} = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

$$\rightarrow NA = n_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \cdot \sqrt{2\Delta}$$

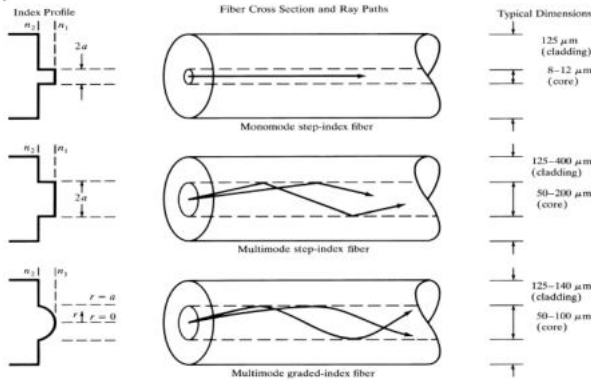
$$\text{Với } \Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3)$$

(Δ : độ lệch chiết suất tương đối)

Có 2 dạng phân bố chiết suất phổ biến trong sợi quang: sợi quang có chiết suất nhảy bậc (sợi SI – Step Index); sợi quang có chiết suất giảm dần (sợi GI – Graded Index). Trong sợi SI, các tia sáng từ nguồn quang phóng vào với góc tới khác nhau sẽ được truyền theo những đường đi khác nhau dẫn tới hiện tượng: khi ta đưa một xung ánh sáng hẹp vào đầu sợi sẽ nhận được một xung ánh sáng rộng hơn ở cuối sợi. Điều này gây ra hiện tượng tán sắc trong sợi quang và đây là nguyên nhân khiến cho việc không thể truyền tín hiệu data số có tốc độ cao qua cự ly dài được.

Trong sợi GI, chiết suất lõi thay đổi một cách liên tục nên tia sáng đi trong sợi quang bị uốn cong dần khiến cho đường đi của tia sáng không những không bằng nhau mà vận tốc truyền cũng sẽ thay

đổi theo. Các tia sáng xa trục sẽ có đường đi dài hơn, vận tốc lớn hơn còn các tia sáng gần trục có đường đi ngắn hơn và vận tốc truyền nhỏ hơn.



Hình 4. Các dạng phân bố chiết suất trong sợi quang

Sợi quang hiện nay được phân loại theo 2 hướng: dùng lý thuyết tia sáng và lý thuyết sóng ánh sáng, nhưng suy cho cùng, sợi quang được phân làm 2 loại chính: sợi đa mode (multimode) và sợi đơn mode (single mode, monomode). Sợi đơn mode là loại sợi quang chỉ có một mode sóng lan truyền trong sợi, còn sợi đa mode là loại sợi quang có nhiều hơn một mode sóng lan truyền trong sợi. Một mode sóng là một trạng thái truyền ổn định của ánh sáng trong sợi và phụ thuộc vào các thông số của sợi, trong đó có thông số tần số chuẩn hóa V:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a \cdot NA = k_0 \cdot a \cdot NA \quad (4)$$

$$N = \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+2}$$

a : bán kính lõi sợi

λ_0 : bước sóng ánh sáng truyền trong sợi quang

k_0 : thừa số sóng

NA : khẩu độ số

g : số mũ trong hàm phân bố chiết suất

$g = \infty$ trong sợi SI

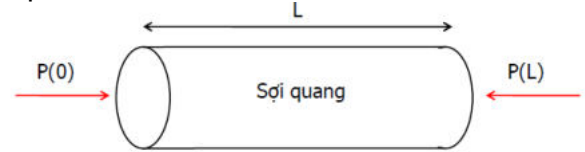
$g = 2$ trong sợi GI

3. Các yếu tố ảnh hưởng tới kênh truyền sợi quang

Khi lan truyền tín hiệu trong kênh truyền sợi quang, có 2 yếu tố ảnh hưởng tới kênh truyền là suy hao (attenuation) và tán sắc (dispersion).

3.1. Suy hao của sợi quang

Suy hao của sợi quang là hiện tượng công suất quang truyền trên sợi giảm dần theo cự ly với quy luật hàm số mũ:



Hình 5. Suy hao của sợi quang

$P(0)$: công suất quang tại khoảng cách $L=0$

$P(L)$: công suất quang tại khoảng cách L

$$P(L) = P(0) \cdot e^{-\alpha L} \quad (5)$$

Với α : hệ số suy hao sợi quang

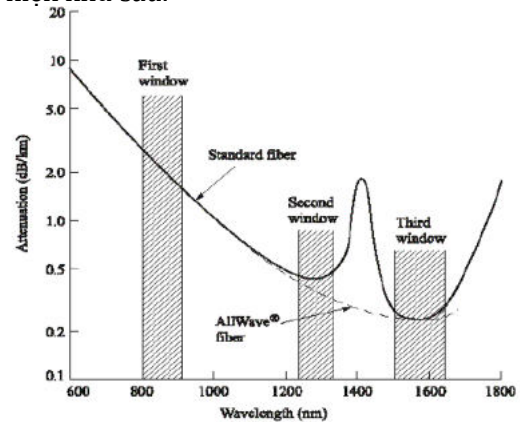
Nếu tính theo decibel (dB):

$$\begin{aligned} Loss(dB) &= P(0)[dBm] - P(L)[dBm] \\ &= P(0)[dB] - P(L)[dB] \end{aligned} \quad (6)$$

Hệ số suy hao trung bình của sợi quang:

$$\alpha(dB/km) = \frac{Loss(dB)}{L(km)} \quad (7)$$

Có 3 nguyên nhân chính gây ra suy hao trong sợi quang: suy hao do hấp thụ (của các tạp chất kim loại và ion OH), suy hao do tán xạ và suy hao do uốn cong. Đặc tuyến suy hao của sợi quang được thể hiện như sau:



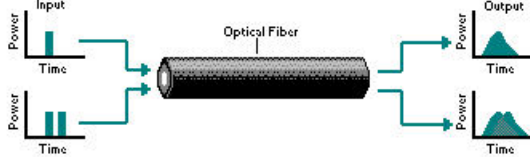
Hình 6. Đặc tuyến suy hao của sợi quang

Trên hình 6 có ba vùng bước sóng (ba cửa sổ bước sóng) có suy hao thấp: cửa sổ thứ nhất 850nm (hệ số suy hao $\alpha = 2 \div 3 dB/km$), cửa sổ thứ hai 1330nm ($\alpha = 0,4 \div 0,5 dB/km$), cửa sổ thứ ba 1550nm ($\alpha \leq 0,25 dB/km$). Trong điều kiện yêu cầu thiết kế hệ thống thông tin cáp sợi

quang ở khoảng cách xa, ta hay dùng cửa sổ bước sóng 1550nm để thỏa mãn yêu cầu này (Govind, 2010; V.V.Yêm, 2016).

3.2. Tán sắc của sợi quang

Hiện tượng tín hiệu quang truyền qua sợi quang bị biến dạng được gọi là hiện tượng tán sắc (sự tán sắc), việc này gây ra méo dạng tín hiệu tương tự và làm xung bị chõng lãn trong tín hiệu số và hạn chế dải thông của đường truyền dẫn quang.

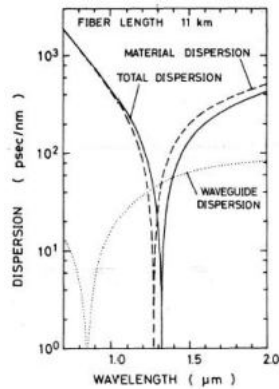


Hình 7. Hiện tượng tán sắc trong sợi quang

Đại lượng đặc trưng cho hiện tượng tán sắc trong sợi quang được gọi là độ tán sắc tổng cộng, ký hiệu là $D(s)$, được xác định bởi:

$$D = \sqrt{\tau_0^2 - \tau_1^2} \quad (8)$$

τ_1, τ_0 là độ rộng của xung vào và xung ra. Độ tán sắc qua mỗi km sợi quang được tính bằng đơn vị ns/km hoặc ps/km.



Hình 8. Đặc tuyến tán sắc của sợi quang

Có một số nguyên nhân gây ra tán sắc tùy theo loại sợi quang đơn mode hay đa mode. Trong sợi đơn mode có tán sắc chất liệu (chiết suất của lõi sợi quang thay đổi theo bước sóng nên vận tốc truyền của ánh sáng có bước sóng khác nhau cũng khác nhau), tán sắc ống dẫn sóng. Trong sợi đa mode có tán sắc mode, tán sắc sắc thể và tán sắc mặt cắt. Tuy nhiên thống kê lại thì tán sắc mode và tán sắc sắc thể là 2 nguyên nhân chủ yếu gây ra tán sắc trong sợi quang.

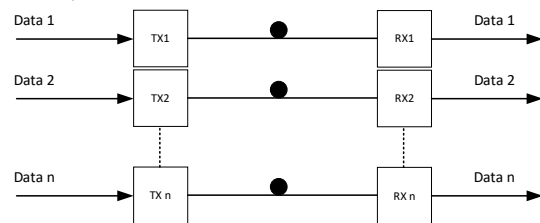
Trong đặc tuyến tán sắc của sợi quang cũng thể hiện 3 cửa sổ bước sóng. Cửa sổ 800nm có tán sắc cao nhất ($10^3 ps / nm$), cửa sổ bước sóng thứ hai có tán sắc thấp nhất, và cửa sổ bước sóng thứ ba có tán sắc trung bình.

Để khắc phục hiện tượng suy hao và tán sắc trong sợi quang, người ta cần tính toán cự ly thông tin phù hợp để đảm bảo tuyến hoạt động tốt bằng cách sử dụng các trạm lặp quang kèm theo tính năng bù tán sắc (Govind, 2010; V.V.Yêm, 2016).

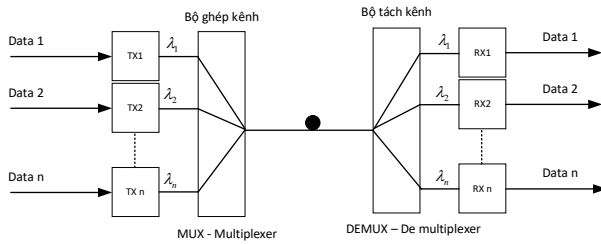
4. Kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM

Trong hệ thống thông tin cáp sợi quang, để đơn giản hóa cho mỗi tuyến thông tin quang, người ta có thể sử dụng một đường quang độc lập để thực hiện truyền dẫn tín hiệu như hình 1. Ưu điểm của HTTTQ theo kiểu này là có thể truyền dẫn băng tần rộng tạo ra khả năng truyền dẫn dung lượng lớn (<10 Gbps), ít chịu ảnh hưởng của can nhiễu, độ bảo mật tốt, chất lượng truyền thông tin tốt và chỉ truyền dẫn một chiều duy nhất. Khi tăng thêm kênh truyền mới có thể xây dựng đường truyền mới hoàn toàn độc lập. Nhưng khi số lượng kênh truyền tăng lên nhanh chóng thì hạ tầng không đáp ứng được. Bên cạnh đó không tận dụng hết được dải thông của đường truyền sẽ gây ra sự lãng phí khi xây dựng đường truyền (hình 9).

Để tận dụng tối đa dung lượng quang của hệ thống và tăng cự ly truyền dẫn, kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM ra đời. Kỹ thuật WDM cho phép truyền nhiều tín hiệu quang trên cùng một sợi quang để tạo thành hệ thống thông tin quang nhiều kênh (hệ thống thông tin đa kênh quang).

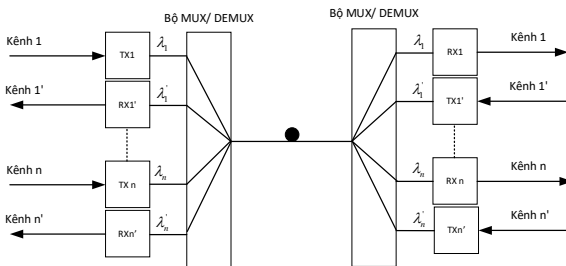


Hình 9. Sơ đồ HTTTQ thực hiện truyền dẫn n kênh quang



Hình 10. Sơ đồ HTTQ khi sử dụng WDM

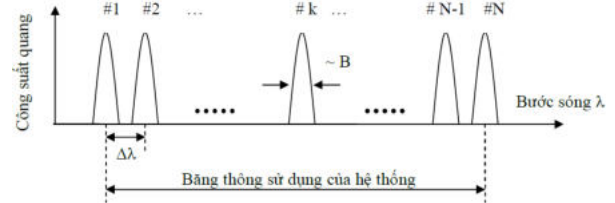
Thực chất, WDM là một cơ chế trong đó nhiều kênh sóng quang tại các bước sóng khác nhau được điều chế bởi các chuỗi bit độc lập được phát đi trên cùng một sợi quang sau khi đã ghép kênh bằng TDM hoặc FDM. Các tín hiệu quang tại đầu thu được giải ghép kênh quang (tách kênh quang) thành các kênh riêng rẽ. Hình 10 minh họa một tuyến thông tin quang WDM điểm - điểm dung lượng cao. Tại đây, giả sử hệ thống phía phát có các nguồn phát quang làm việc ở các bước sóng khác nhau $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Các tín hiệu quang này sẽ được ghép vào cùng một sợi quang nhờ bộ ghép kênh quang (bộ MUX, có suy hao nhỏ). Tín hiệu sau khi ghép sẽ được phóng vào một sợi quang để truyền tới đầu thu. Tại phía thu, bộ tách kênh quang (Demux, có suy hao nhỏ) để gửi tín hiệu quang tới mỗi máy thu riêng của nó. Có hai phương pháp cho hệ thống truyền dẫn sử dụng WDM: truyền dẫn ghép bước sóng quang theo một hướng (hình 10) - hệ thống này yêu cầu 2 sợi quang để thực hiện truyền thông tin cho chiều đi và chiều về, truyền dẫn hai hướng - hệ thống truyền thông tin cho 1 hướng đối với các bước sóng $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ và đồng thời cũng truyền thông tin theo hướng ngược lại tại các bước sóng $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n$ (hình 11).



Hình 11. Hệ thống ghép WDM song hướng

Các tham số để đánh giá hệ thống WDM bao gồm: số lượng kênh bước sóng N , khoảng cách giữa các kênh bước sóng $\Delta\lambda$, băng thông sử dụng của hệ thống $N \times \Delta\lambda$, tốc độ truyền tin trên mỗi kênh

bước sóng B , dung lượng của hệ thống $N \times B$, khoảng cách truyền dẫn L , dung lượng truyền dẫn của hệ thống $N \times B \times L$ và hiệu suất sử dụng kênh $B / \Delta\lambda$ (hình 12).



Hình 12. Các tham số của hệ thống WDM

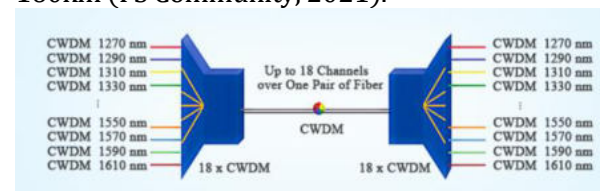
Các tham số cơ bản mô tả đặc tính của bộ ghép/tách kênh bao gồm: suy hao xen (lượng tổn hao công suất trên tuyến truyền dẫn do sự xuất hiện của các bộ ghép/ tách sóng), xuyên kênh (sự xuyên nhiễu tín hiệu từ kênh này sang kênh khác) và độ rộng kênh (dải bước sóng dành cho mỗi kênh) (Govind, 2010).

5. Phân loại hệ thống WDM

Có rất nhiều cách phân loại WDM, phổ biến nhất là phân loại theo khoảng cách các kênh bước sóng sử dụng trong hệ thống. Theo cách này, người ta phân làm 3 loại: hệ thống WDM băng tần rộng (BWDM - Broad passband WDM), hệ thống WDM ghép mật độ thấp (CWDM - Coarse WDM) và hệ thống WDM ghép mật độ cao (DWDM - Dense WDM).

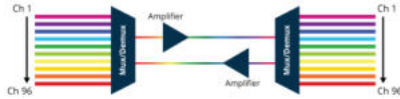
Hệ thống BWDM ra đời sớm nhất trong lịch sử phát triển của WDM, hệ thống này thực hiện truyền dẫn 2 kênh bước sóng trong đó mỗi kênh bước sóng thuộc một cửa sổ truyền dẫn (850nm, 1310nm hoặc 1550nm). Khoảng cách kênh của hệ thống này lên tới hàng trăm nm \rightarrow dung lượng của hệ thống bị giới hạn và hiện nay không còn được sử dụng.

Hệ thống CWDM cho phép ghép kênh quang với khoảng cách kênh là 20nm trong dải 1270 ÷ 1610nm và tối đa 18 kênh quang trên một sợi quang đơn mode. Hệ thống này thường được ứng dụng khi xây dựng hạ tầng mạng doanh nghiệp, mạng viễn thông với cự ly truyền dẫn ngắn dưới 160km (FS Community, 2021).



Hình 13. Sơ đồ hệ thống CWDM

Hệ thống DWDM cho phép rất nhiều bước sóng trên một sợi quang với khoảng cách kênh rất nhỏ, có thể đạt 0.4nm và được quy định theo ITU G.694.1. Hiện nay, số kênh quang tối đa được thực hiện ghép/ tách kênh quang trên hai sợi đơn mode có thể đạt 96 kênh (PacketLight Networks, 2020)



Hình 14. Sơ đồ hệ thống DWDM

Một trong những ưu điểm lớn nhất của hệ thống DWDM là sử dụng các bộ khuếch đại quang trên đường truyền, việc này cho phép khuếch đại toàn bộ phổ DWDM đồng thời khắc phục tình trạng suy hao và đảm bảo quỹ công suất trên toàn tuyến. Bên cạnh đó, các bộ khuếch đại trong DWDM được chế tạo theo công nghệ tự động thích ứng (tự động điều chỉnh hệ số khuếch đại theo mức tín hiệu công suất quang ngõ vào) cho phép hệ thống DWDM rất thích hợp trong các ứng dụng xây dựng hệ thống mạng lõi truyền dẫn ở khoảng cách cực lớn (ultra-long haul applications).

6. Kết luận

Giải pháp sử dụng kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng trong hệ thống thông tin cáp sợi quang ra đời thực sự là bước ngoặt lớn trong ngành công nghiệp truyền dẫn. Giải pháp cho phép tiết kiệm rất nhiều cơ sở vật chất, hạ tầng và công sức cho những nhà cung cấp đường truyền. Bên cạnh đó tăng cường hiệu quả sử dụng phổ trong mạng cáp quang.

Tài liệu tham khảo

- Govind P.Agrawal, 2010, *Fiber-optic communication systems*, The Institute of Optics University of Rochester, New York
- Vũ Văn Yên, 2017, *Giáo trình Hệ thống viễn thông*, NXB Bách khoa Hà Nội
- FS Community, 2021, *CWDM- Cost Effective Alternative to Expand Network Capacity*
- PacketLight Networks, *DWDM network Technology*

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO MẠCH ĐIỀU KHIỂN BỘ BẮM XUNG DÙNG IGBT CHO TÀU ĐIỆN ẮC QUY MỎ HẦM LÒ

Kim Ngọc Linh^{1,*}, Nguyễn Thạc Khánh¹, Nguyễn Tiến Sỹ¹,
Nguyễn Trường Giang¹, Kim Thị Cẩm Ánh¹

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, E-mails (kimngoclingh@humg.edu.vn)

TÓM TẮT

Hiện nay, để đảm bảo an toàn cháy nổ, các công ty than hầm lò trong Tập đoàn Than và Khoáng sản Việt Nam đã chuyển sang dùng tàu điện ắc quy thay thế tàu cần vệt phục vụ công tác vận tải. Một đặc điểm chung của các tàu điện ắc quy mỏ vùng Quảng Ninh là phần lớn đều do Trung Quốc sản xuất, dùng động cơ một chiều kích thích nối tiếp, cung cấp bởi ắc quy kiềm hoặc axit. Trước những năm 2000, hầu hết các tàu đều sử dụng phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ trong mạch phần ứng. Phương pháp điều khiển này có nhiều nhược điểm nên những năm gần đây các đầu tàu nhập khẩu từ Trung Quốc đã sử dụng bộ biến đổi băm xung áp một chiều để thay thế cho các bộ điều khiển điện trở. Tuy nhiên, bộ điều khiển của Trung Quốc có nhược điểm là không có khả năng sửa chữa khi bị hỏng do các linh kiện không có sẵn hoặc bị xóa ký hiệu nhằm giấu công nghệ. Vì vậy, việc nội địa hóa, làm chủ thiết kế và chế tạo mạch điều khiển nhằm thay thế thay thế cho bộ băm xung áp một chiều nhập khẩu có tính cấp thiết trong thực tế sản xuất của ngành than Việt Nam. Báo cáo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo mạch điều khiển theo phương pháp băm xung sử dụng IGBT dùng cho tàu điện ắc quy mỏ tải trọng đến 12 tấn.

Từ khóa: Tàu điện ắc quy; IGBT; băm xung áp một chiều; mỏ hầm lò; mạch điều khiển.

1. Đặt vấn đề

Tàu điện ắc quy là một trong những phương tiện chính để vận chuyển người và vật liệu trong các mỏ hầm lò, đặc biệt là các mỏ có khí bụi nổ. Trước đây điều chỉnh tốc độ tàu thường bằng mắc điện trở phụ trong mạch phản ứng của động cơ dẫn động. Phương pháp điều chỉnh bằng điện trở phụ có ưu điểm là đơn giản, dễ thực hiện nhưng lại có nhiều nhược điểm như: gây ra tổn thất điện năng trên điện trở, khi chuyển mạch theo cấp sẽ tạo ra xung lực làm giảm tuổi thọ của các kết cấu cơ khí, muốn có nhiều cấp tốc độ thì cần phải có nhiều chuyển mạch, làm cho bộ điều khiển công kênh v.v... Vào những năm cuối của thế kỷ XX, các mạch điện băm xung áp một chiều sử dụng thyristor đã được ứng dụng rộng rãi trong tàu điện nói chung và tàu điện ắc quy mỏ nói

riêng. Nhờ ứng dụng các mạch băm xung áp, hiệu suất và tuổi thọ của hệ thống truyền động tàu điện ắc quy mỏ đã tăng lên đáng kể. Tuy nhiên, các mạch băm xung dùng thyristor có nhược điểm là cần phải có mạch điện tử đặc biệt để khóa thyristor sau khi dẫn dòng, nên phức tạp, công kênh và tần số băm xung bị hạn chế. Từ đầu thế kỷ XXI đến nay, một loạt các linh kiện điện tử công suất mới được phát minh và nhanh chóng đưa vào ứng dụng thực tế nên tàu điện ắc quy trên thế giới đã có sự thay đổi cơ bản cả về lượng và chất.

2. Kết quả nghiên cứu

2.1 Sơ đồ mạch lực bộ băm xung điều khiển tàu điện ắc quy

Bảng 1 là thông số kỹ thuật tàu điện ắc quy dùng trong các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật tàu điện ắc quy dùng trong các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh

TT	Mã hiệu tàu	Trọng tải	Điện áp ắc quy (V)	Dung lượng ắc quy (Ah)	Công suất động cơ (kW)
1	CDXT-2.5	2,5 tấn	48	308/330	1x4,5
2	CDXT-5	5 tấn	88	330/385	2x7,5
3	CDXT-8	8 tấn	132	370/440	2x15
4	CDXT-12	12 tấn	192	520/560	2x22
5	XK-2.5	2.5 tấn	48	308/330	1x3,5
6	XK-5	5 tấn	88	330/385	2x7,5
7	XK-8	8 tấn	132	370/440	2x11, hoặc 2x15
8	XK-12	12 tấn	192	520/560	2x22 hoặc 2x30
9	TD8	8 tấn	132	370/440	2x15

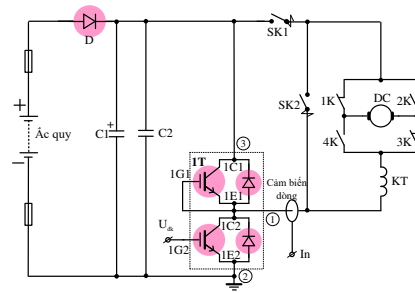
Van lực trong các bộ băm xung điều khiển tàu điện ắc quy mỏ được chọn là tranzito loại IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). IGBT kết hợp khả năng đóng cắt nhanh của MOSFET và khả năng chịu tải lớn của transistor lưỡng cực (BJT). Mặt khác IGBT cũng là phần tử điều khiển bằng điện áp, do đó công suất điều khiển yêu cầu sẽ nhỏ. IGBT cho các bộ băm xung điều khiển tàu điện ắc quy trong tải từ 2,5 tấn đến 12 tấn chọn loại SKM600GB12E4 Van này có dòng định mức bằng 600A, điện áp 1200V, điôt ngược có

dòng định mức bằng 623A. Hình dạng bên ngoài và sơ đồ nối dây của van như hình 1 [2].

Tàu điện ắc quy mỏ trọng tải 2.5T sử dụng 01 động cơ công suất 3.5kW (tàu XK2,5) hoặc 4.5kW (tàu CDXT – 2,5), điện áp 48V. Sơ đồ mạch lực bộ băm xung cho tàu 2,5T như hình 2.



Hình 1. Hình dạng bên ngoài và sơ đồ nối dây của IGBT SKM600GB12E4



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý mạch lực bộ băm xung điều khiển tàu điện ắc quy trọng tải 2,5T

Bảng trạng thái các chuyển mạch

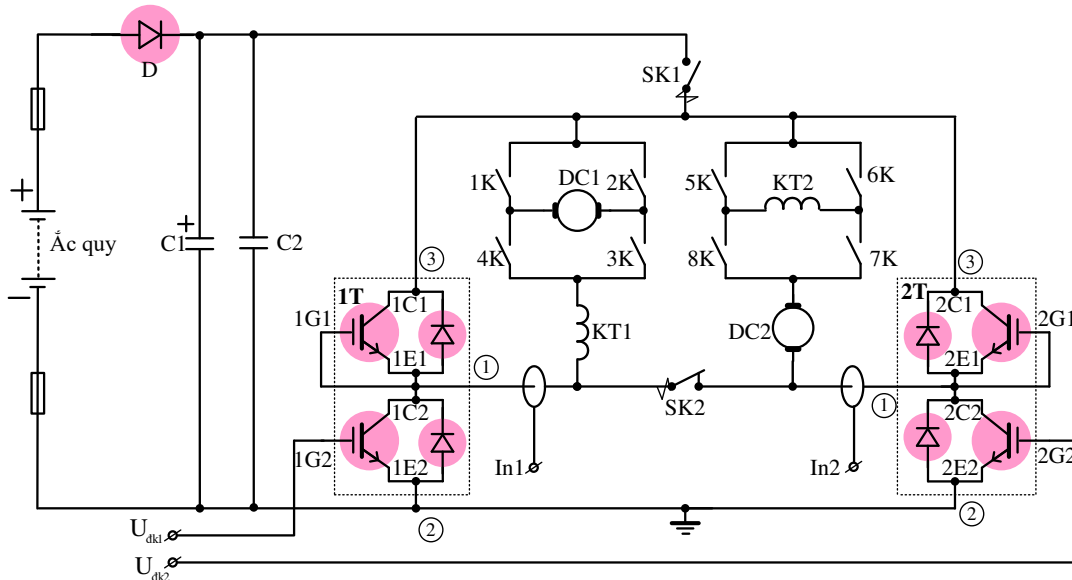
Vị trí núm điều khiển	0 ⁰	30 ⁰	35 ⁰130 ⁰	150 ⁰
SK1		X	X X	X
Tốc độ				
SK2	X			

Bảng trạng thái đảo chiều quay động cơ

Các chuyển mạch		Quay thuận (tiền)	Quay ngược (lùi)
1K	3K	X	
2K	4K		X

Tàu điện ắc quy 5T có hai động cơ công suất 7,5kW (tàu XK-5 và CDXT-5), điện áp 88V. Tàu 8T có hai động cơ công suất 11kW (tàu XK-8) hoặc 15kW

(tàu CDXT-8 và TD-8), điện áp 132V. Sơ đồ mạch lực bộ băm xung cho tàu 5T và 8T trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý mạch lực bộ băm xung điều khiển tàu điện ắc quy trọng tải 5T và 8T

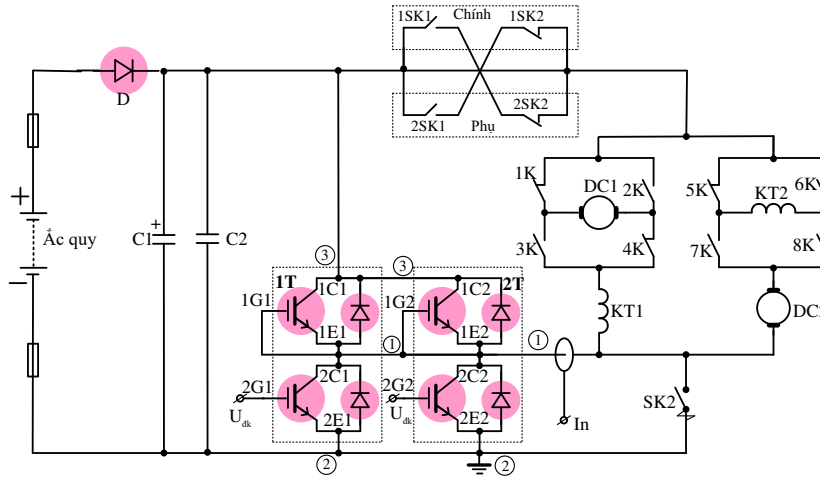
Bảng trạng thái các chuyển mạch

Vị trí núm điều khiển	0°	30°	35°.....130°	150°
SK1		X	X.....X	X
Tốc độ				
SK2	X			

Bảng trạng thái đảo chiều quay động cơ

Các chuyển mạch	Quay thuận (tiền)	Quay ngược (lùi)
1K 3K	X	
5K 7K	X	
2K 4K		X
6K 8K		X

Tàu 12T có hai động cơ công suất 22kW (tàu CDXT-12) hoặc 30kW (tàu XK-12), điện áp 192V. Sơ đồ mạch lực bộ băm xung cho tàu 12T trên hình 4.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý mạch lực bộ băm xung điều khiển tàu điện ắc quy trọng tải 12T

Bảng trạng thái các chuyển mạch

Vị trí núm điều khiển	0°	30°	35°.....130°	150°
1SK1(1SK2)		X	X.....X	X
Tốc độ				
SK2				X

Bảng trạng thái đảo chiều quay động cơ

Các chuyển mạch	Quay thuận (tiền)	Quay ngược (lùi)
1K 3K	X	
5K 7K	X	
2K 4K		X
6K 8K		X

2.2 Thiết kế mạch điều khiển bộ băm xung

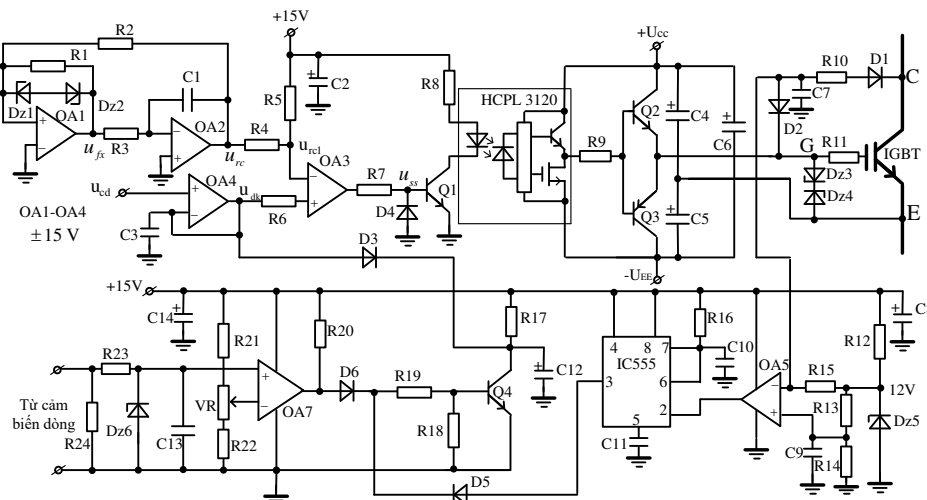
IGBT là loại van điều khiển bằng điện áp, khi dẫn bão hoà van cần đặt điện áp dương trên cực điều khiển 12 đến 15V, khi khoá điện áp trên nó cần âm từ -5 đến -8V. Như vậy ở trạng thái ổn định, dù là khoá hay dẫn, nó chỉ cần điện áp mà không đòi hỏi có dòng điều khiển, tức là công suất điều khiển ở trạng thái này là không đáng kể. Tuy nhiên để van chuyển trạng thái, từ khoá sang dẫn hay ngược lại, buộc phải cấp dòng cho cực điều khiển của van. Điều này do giữa hai cực GE tồn tại một điện dung ký sinh hay một tụ điện giữa hai cực này, dẫn đến: Khi van đang ở trạng thái khoá, điện áp điều khiển âm nên điện áp trên tụ điện này đang có giá trị âm. Để mở van, điện áp điều khiển buộc phải đảo dấu chuyển từ âm sang dương bằng cách đưa dòng điện vào nạp đảo ngược cực tính điện áp trên tụ điện. Điều tương tự cũng xảy ra khi van chuyển từ dẫn sang khoá.

Có ba phương pháp để điều khiển bộ băm xung một chiều là phương pháp điều chỉnh độ rộng xung, phương pháp điều chế tần số xung và phương pháp hỗn hợp. Ở đây chúng tôi lựa chọn điều khiển theo phương pháp điều chỉnh độ rộng xung (PWM). Đây là phương pháp được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực điện tử công suất, dễ dàng thực hiện và các mạch lọc

không đòi hỏi chất lượng cao do nó chỉ làm việc ở một tần số cố định.

Nguyên tắc chung của mạch điều khiển theo phương pháp PWM là so sánh một điện áp U_{dk} thay đổi được với một điện áp răng cưa U_{rc} có tần số cao. Điểm cân bằng giữa U_{rc} và U_{dk} sẽ là điểm phát xung điều khiển để mở các van bán dẫn. Bằng cách thay đổi U_{dk} ta sẽ thay đổi được độ rộng xung điều khiển trong khi vẫn giữ được tần số điều khiển không đổi. Các yêu cầu chung đối với mạch điều khiển bộ băm xung là: độ rộng xung điều khiển phải thay đổi được để đảm bảo phạm vi điều chỉnh D_{min} đến D_{max} tương ứng với phạm vi thay đổi điện áp ra tải của mạch lực; độ dốc sườn trước của xung phải cao để đảm bảo van lực mở tốt; cho phép động cơ làm việc với các chế độ đã tính toán như chế độ khởi động, chế độ hãm, đảo chiều quay; có khả năng chống nhiễu công nghiệp tốt; không được gây ra các nhiễu vô tuyến; độ tác động của mạch điều khiển nhanh; thực hiện các yêu cầu bảo vệ các van lực nếu cần như ngắt các xung điều khiển khi có sự cố, thông báo các hiện tượng không bình thường của nguồn và bản thân mạch điều khiển; có độ tin cậy cao.

Từ các yêu cầu trên, sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển 01 van IGBT không sử dụng vi mạch chức năng được thiết kế trên hình 5.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển bộ băm xung không dùng vi mạch chức năng

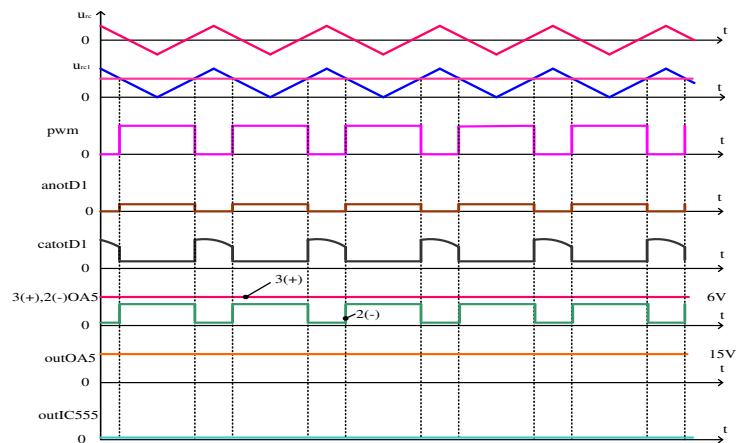
Trong sơ đồ hình 5: Khuếch đại thuật toán OA1 và OA2 là mạch dao động tạo điện áp răng cưa hai cực tính tần số 1kHz (u_{rc}). Điện áp này qua

mạch R4 và R5 để thành điện áp răng cưa cực tính dương u_{rc1} . OA3 là mạch so sánh kiểu hai cửa với tín hiệu vào là u_{rc1} và u_{dk} . Điện áp ra của OA3 u_{ss} là

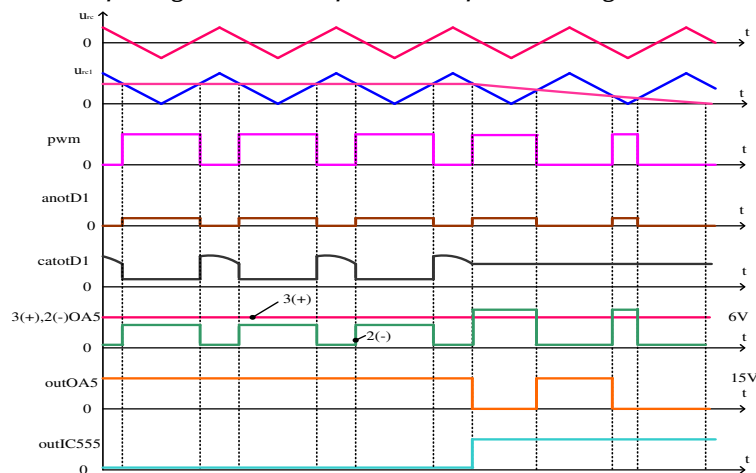
tín hiệu PWM được đưa tới đầu vào của vi mạch Driver cách ly quang loại HCPL3102. Hai tranzito Q2 và Q3 là tầng đệm để nâng công suất tín hiệu ra điều khiển van lực. OA5, IC555 và tranzito Q4 là mạch bảo vệ chống khoá bảo hoà của IGBT. OA7 làm mạch bảo vệ quá dòng cho van lực.

Nguyên lý làm việc của mạch bảo vệ chống khoá bảo hoà như sau: Bình thường Q4 khoá làm D3 khoá, $u_{dk}=u_{cd}$, mạch làm việc bình thường. Khi quá dòng, Q4 dẫn làm D3 dẫn, $u_{dk}=0$ làm mất xung PWM ($D=0$). Do có tụ C3 và C12 lên van được khoá mềm. Nếu U_g cao (mức On) mà IGBT dẫn thì U_c thấp, D1 dẫn, D2 khoá, OA5 có $U_{2(-)} < U_{3(+)} = 6V$, OA5 bảo hoà dương làm chân 3 của IC555 ở mức

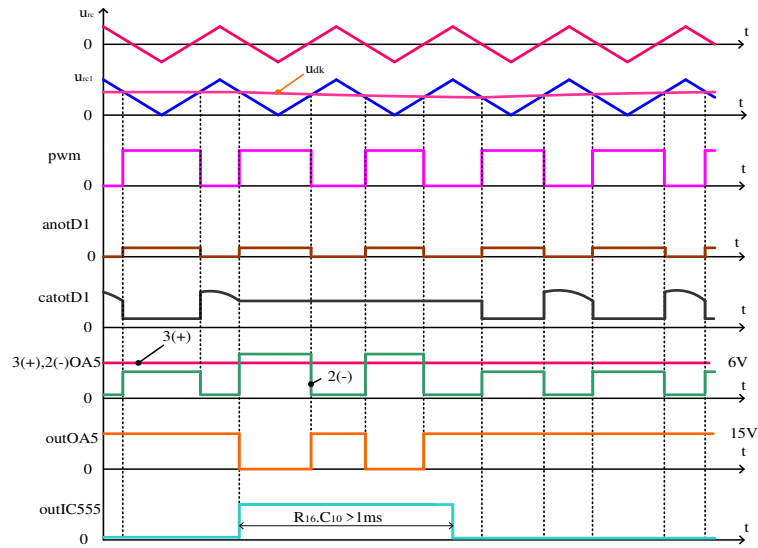
thấp, D5 khoá, Q4 khoá, mạch PWM làm việc bình thường. Nếu U_g thấp (mức Off) mà IGBT khoá, U_c cao, D1 khoá, D2 dẫn, OA5 có $U_{2(-)} < U_{3(+)} = 6V$, OA5 bảo hoà dương làm chân 3 của IC555 ở mức thấp, D5 khoá, Q4 khoá, mạch PWM làm việc bình thường. Trường hợp U_g cao (mức On) mà IGBT không dẫn thì U_c cao, cả D1 và D2 đều khoá, OA5 có $U_{2(-)} = 12V > U_{3(+)} = 6V$, OA5 bảo hoà âm làm chân 3 của IC555 ở mức cao, D5 dẫn làm Q4 dẫn làm D3 dẫn mạch PWM bị khoá Soft. Đồ thị thời gian dạng sóng các tín hiệu minh họa nguyên lý làm việc của mạch bảo vệ chống khoá bảo hoà của IGBT trên các hình 6, 7 và 8.



Hình 6. Đồ thị thời gian các tín hiệu khi van lực IGBT đóng mở bình thường

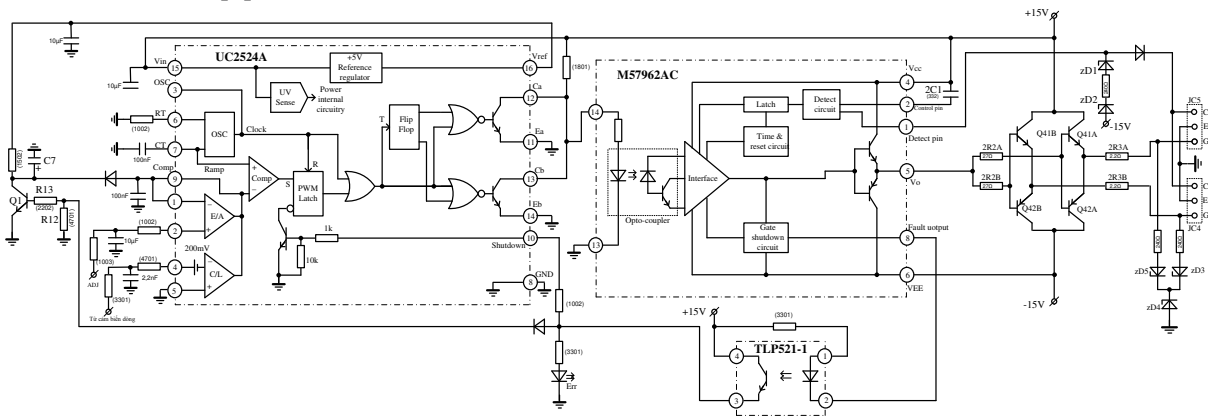


Hình 7. Đồ thị thời gian các tín hiệu khi van lực IGBT bị quá tải



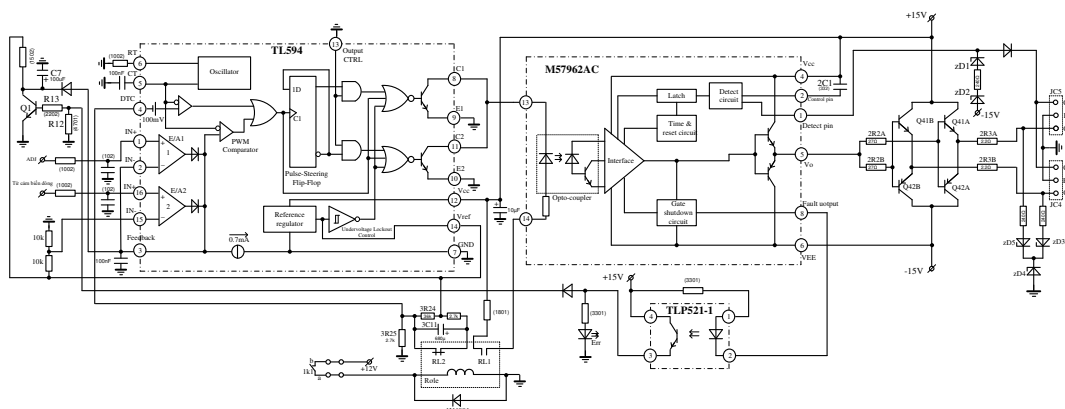
Hình 8. Đồ thị thời gian các tín hiệu mô tả quá trình tự phục hồi nếu van trở lại đóng cắt bình thường

Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển 01 van IGBT sử dụng vi mạch chức năng UC2524A và M57962A được thiết kế trên hình 9 [3].



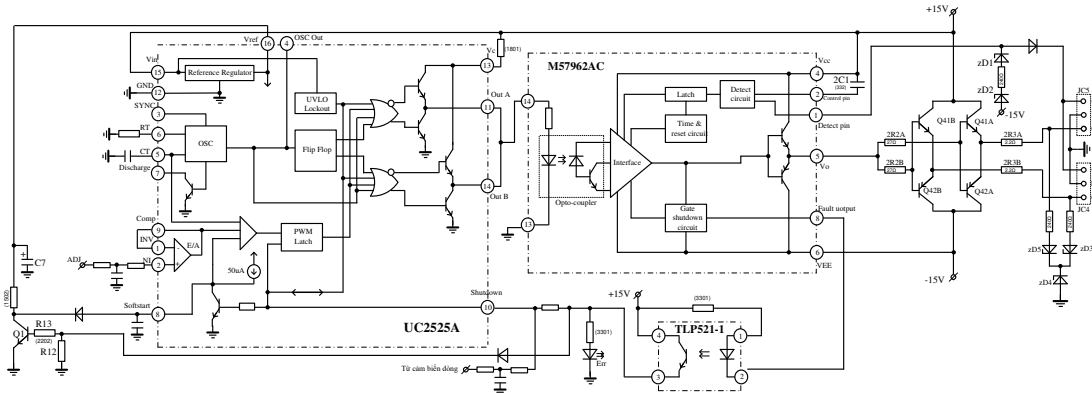
Hình 9. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển bộ băm xung dùng vi mạch UC2524A và M57962A

Hình 10 là sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển 01 van IGBT sử dụng vi mạch chức năng TL594 và M57962A [4].



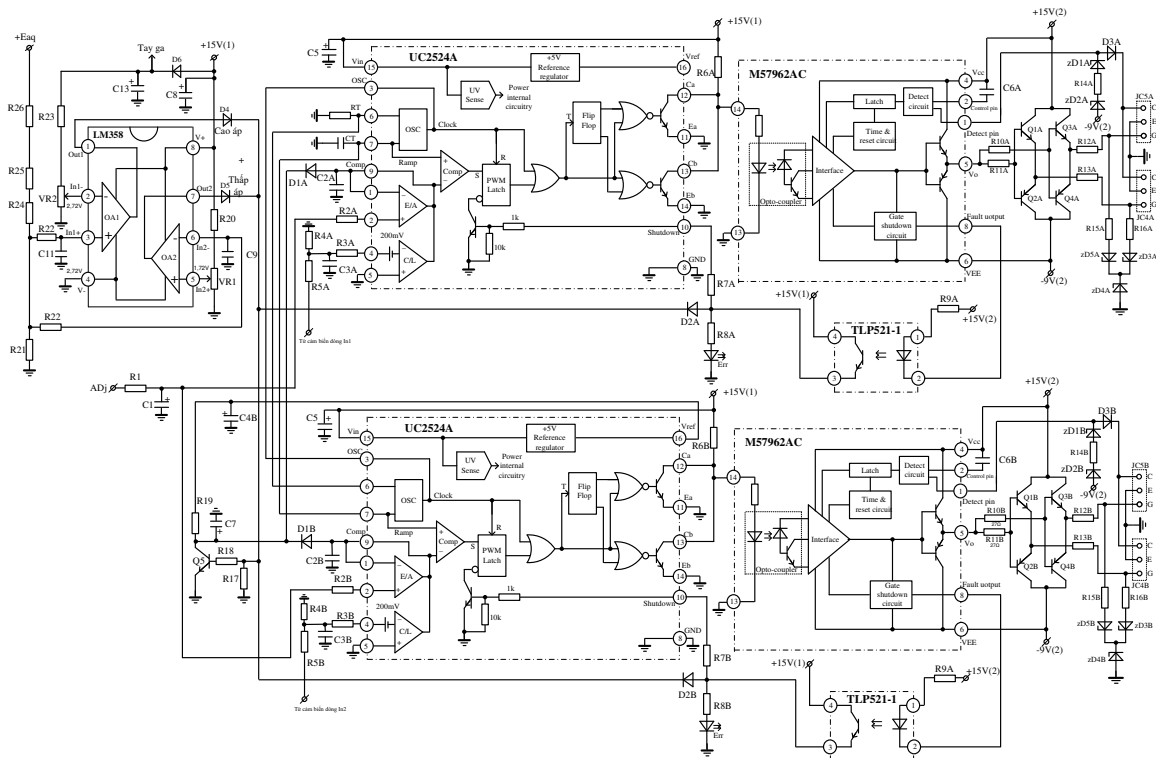
Hình 10. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển bộ băm xung dùng vi mạch TL594 và M57962A

Hình 11 là sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển 01 van IGBT sử dụng vi mạch chức năng UC2525A và M57962A [1].



Hình 11. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển bộ băm xung dùng vi mạch UC2525A và M57962A

Trên hình 12 là sơ đồ nguyên lý bộ băm xung dùng vi mạch UC2524A và M57962A có thể để điều khiển từ 1 đến 4 van IGBT được chúng tôi thiết kế.

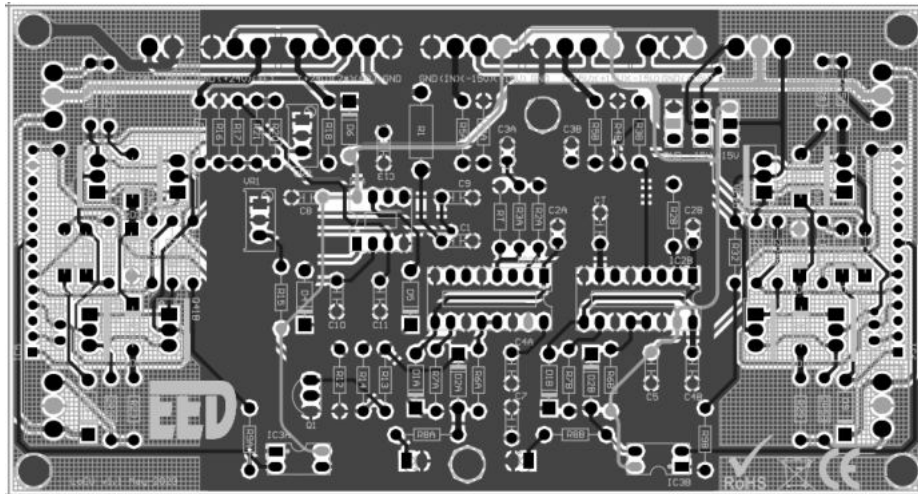


Hình 12. Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển bộ băm xung 4 van IGBT

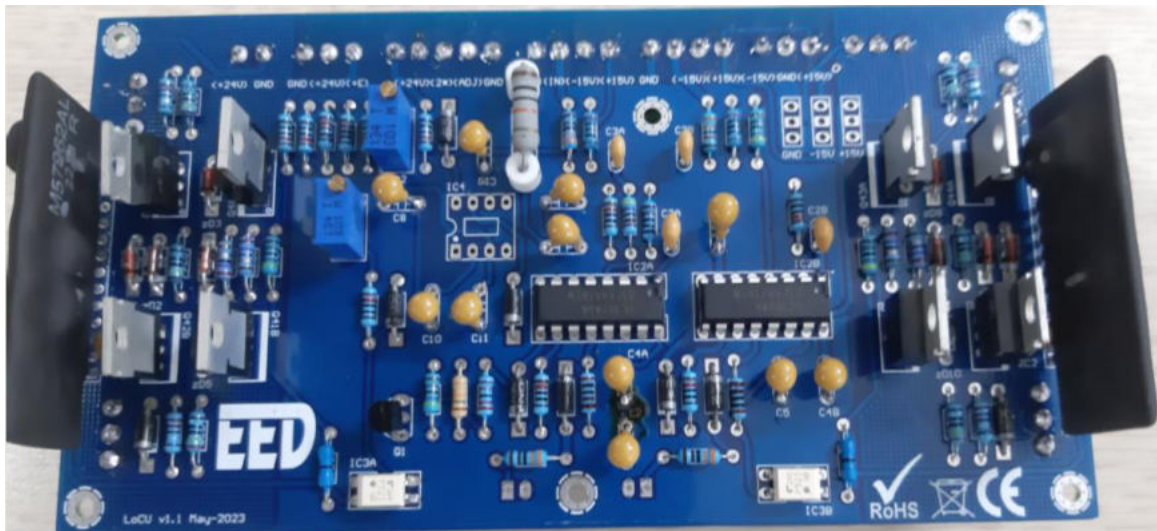
3. Kết quả và thảo luận

➢ Mạch điều khiển bộ băm xung dùng vi mạch chức năng UC2524A và M57962A với sơ đồ nguyên

lý hình 12 đã được chúng tôi thiết kế và chế tạo. Hình 13 là mạch in mạch điều khiển được thiết kế trên phần mềm Altium Designer 17.1. Hình 14 là bo mạch điều khiển đã chế tạo.



H.13. Sơ đồ mạch in mạch điều khiển bộ băm xung trong Altium Designer 17.1



H.14. Hình ảnh bo mạch điều khiển bộ băm xung đã chế tạo

➢ Mạch đã được thử nghiệm tại phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện - điện tử của trường Đại học Mở - Địa chất. Tải thử nghiệm của bộ băm xung là hai động cơ một chiều công suất mỗi động cơ 5kW, điện áp 220V.

➢ Kết quả thử nghiệm cho thấy các thông số kỹ thuật đạt được tương đương với bộ điều khiển loại ZBT - 2x150/140 của Trung Quốc. Khi điện áp đưa tới đầu Adj của bộ điều khiển thay đổi từ 0.5V

đến 4V, phạm vi điều khiển D thay đổi được từ 0 đến 90%. Kết quả này phù hợp với tay ga loại JDS-1 đang được sử dụng trong các tàu điện ắc quy của Trung Quốc. Đầu vào cảm biến dòng In được thiết kế với điện áp tối đa là 4V, tương thích với biến dòng CSK3-300A/4V.

➢ Với tầng đệm dùng cặp tranzito Q1(A,B), Q2(A,B) và Q3(A,B), Q4(A,B) loại MJE15032 và MJE15033 mạch có thể điều khiển van lực IGBT có

dòng định mức đến 800A. Vì vậy có thể sử dụng bo mạch đã chế tạo điều khiển bộ băm xung dùng cho tàu điện ắc quy trọng tải 12T.

➤ Có thể dùng vi mạch PWM loại SG2524A hoặc TL494 thay cho vi mạch UC2524A. Trường hợp sử dụng vi mạch TL494 cần bổ sung thêm mạch khoá dưới điện áp như sơ đồ hình 10. Vi mạch Driver M57962AC có thể thay bằng loại tương đương hoặc thiết kế mạch Driver không dùng vi mạch chức năng. Thiết kế mạch Driver không dùng vi mạch chức năng cần chú ý đến mạch bảo vệ khoá van IGBT qua vùng không bão hoà như sơ đồ hình 5.

➤ Mạch điều khiển đã chế tạo có thể thay thế các mạch điều khiển tàu điện ắc quy của Trung Quốc trọng tải từ 2.5T đến 12T.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm bộ băm xung áp một chiều được trình bày

trong bài báo có thể áp dụng trong việc thiết kế, chế tạo các bộ điều khiển không tiếp điểm tàu điện ắc quy mỏ. Hướng nghiên cứu tiếp theo là thiết kế, chế tạo bộ chuyển mạch phù hợp và vỏ phòng nổ cho thiết bị. Những kết quả nghiên cứu này sẽ được trình bày trong bài báo tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

1. Datasheets for electronics components UC1525A/27A, UC2525A/27A, UC3525A/27A
www.datasheetcatalog.com.
2. SEMIKRON_DataSheet_SKM600GB12E4_22892092(IGBT600)
3. UNITRODE CORPORATION, Advanced Regulating Pulse Width Modulators UC 2524A.
4. Unitrode, Applications handbook 1985-86.

PHÂN TÍCH SÓNG HÀI ĐIỆN ÁP TRONG LƯỚI ĐIỆN KHI HÒA LƯỚI HỆ THỐNG PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

Bùi Ngọc Hùng¹,

¹ Khoa Cơ Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, buingochung@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Ngày nay, các hệ thống pin năng lượng mặt trời là một trong những giải pháp tốt nhất thay thế và bổ sung nguồn năng lượng điện cho hệ thống lưới điện quốc gia và đáp ứng nhu cầu của xã hội. Tuy nhiên bên cạnh những ưu điểm, khi hòa lưới hệ thống pin năng lượng mặt trời cũng có những ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng điện năng của hệ thống. Để làm rõ nhược điểm này của hệ thống pin năng lượng mặt trời, trong nghiên cứu tập trung phân tích và đánh giá sóng hài điện áp thông qua chỉ số tổng độ biến dạng sóng hài điện áp và dòng điện (THD_v , THD_i) trong lưới điện khi có kết nối hệ thống pin năng lượng mặt trời trên phần mềm Matlab/Simulink. Từ các kết quả phân tích để đưa ra đề xuất giải pháp làm cho hệ thống pin năng lượng mặt trời trở nên đáng tin cậy và hiệu quả hơn.

Từ khóa: Pin năng lượng mặt trời; năng lượng tái tạo; chất lượng điện năng; sóng hài điện áp; Kỹ thuật điện- điện tử; Kỹ thuật điện; Điện tử;

1. Mở đầu

Với tiềm năng kỹ thuật khoảng 1677 GW [1], Việt Nam là một quốc gia có tiềm năng năng lượng mặt trời rất lớn. Các tỉnh và thành phố có nguồn năng lượng mặt trời tập trung phần lớn ở Nam Trung Bộ, Đông Nam Bộ và Tây Nguyên với số

ngày nắng trên 300 ngày/năm, cường độ bức xạ ngày khoảng 5 kWh/m². Trong thời gian vừa qua, Việt Nam mặc dù đã phải huy động tối đa các nguồn điện nhưng đang phải đối mặt với nguy cơ thiếu điện. Đặc biệt, trong năm 2022 và những tháng hè năm 2023, hệ thống đã thiếu hụt nghiêm

trọng điện năng, đây là lý do phải cắt điện luân phiên, thiếu điện diện rộng. Năm 2024 - 2025, nhu cầu điện tiếp tục tăng, đặt ra yêu cầu phải bổ sung nguồn điện. Theo tính toán, nguồn điện cần bổ sung là từ 4.000 - 5.000MW, song công suất bổ sung lại thấp hơn so với nhu cầu. Chính vì vậy, cần thiết phải phát triển các dự án nguồn điện, trong đó có điện mặt trời (PV), nhằm đáp ứng nhu cầu điện cho phát triển kinh tế, đảm bảo an ninh năng lượng Quốc gia.

Tuy nhiên, ứng dụng hệ thống PV trong việc cung cấp điện gặp những khó khăn và rào cản nhất định về mặt kỹ thuật. Một trong những vấn đề phát sinh đó là sóng hài. Khi hệ thống PV kết nối lưới điện sẽ có hai nguồn gây ra sóng hài: thứ nhất là do thiết bị phi tuyến của mạch kết nối (Diode, IGBT, Thyristor, ...) và thứ hai là do việc biến đổi từ dòng một chiều thành dòng xoay chiều thông qua các bộ DC/DC, DC/AC. Sự tồn tại sóng hài điều hòa bậc cao gây ảnh hưởng tới tất cả các thiết bị và lưới điện. Chúng gây ra quá áp, méo điện áp lưới, giảm chất lượng điện năng, làm tăng tổn thất và giảm tuổi thọ các thiết bị điện-điện tử [2].

Hiện nay, có rất nhiều nghiên cứu về sự ảnh hưởng của chất lượng điện năng trong hệ thống PV kết nối lưới điện. Các tác giả của [3] đã phân tích phát xạ sóng hài từ các bộ biến tần PV trong khi thay đổi mức bức xạ mặt trời và so sánh kết quả với các phép đo tại hiện trường; Elkholy [4] đã nghiên cứu các phép đo về các tham số chất lượng điện năng trên hệ thống PV 8 kWp được kết nối với lưới điện áp thấp và trình bày mối quan hệ giữa điện áp và sóng hài dòng điện trong hệ thống. Eltawil và đồng nghiệp [5] chỉ ra rằng lỗi biến tần là sự cố thường xuyên nhất trong các hệ thống PV nối lưới gây ảnh hưởng đến chất lượng điện năng.

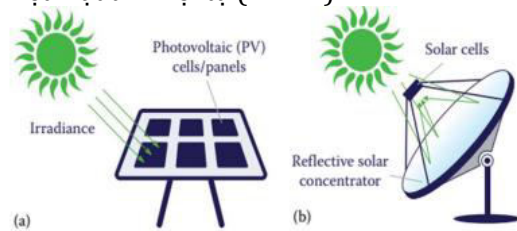
Trong nghiên cứu các tác giả đã trình bày ảnh hưởng của các nguồn điện năng mặt trời đến chỉ số sóng hài của lưới điện. Tuy nhiên, nghiên cứu chưa đề cập đến giải pháp giảm sóng hài. Trong [6-8] các tác giả nghiên cứu thiết kế các bộ lọc ứng dụng để lọc sóng hài do các bộ biến đổi điện tử công suất gây nên. Các nghiên cứu này không đề cập đến tính chất hệ thống khi kết nối PV vào lưới điện.

Trong nội dung bài báo này, tác giả nghiên cứu đánh giá chỉ số méo dạng sóng hài THD_v và

THD_i của lưới điện khi kết nối hệ thống PV có lọc và không có lọc. Mô hình hoá hệ thống được xây dựng trên phần mềm Matlab/simulink và kết quả mô phỏng với lưới điện đơn giản. Cuối cùng là kết luận và các định hướng nghiên cứu tiếp theo.

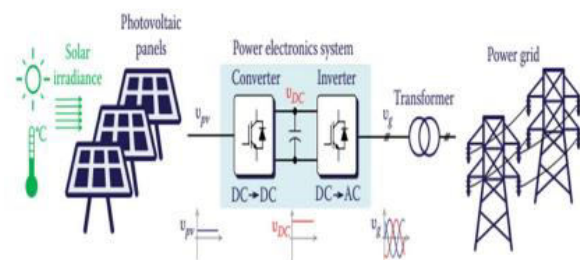
2. Công nghệ sử dụng năng lượng mặt trời

Năng lượng mặt trời là năng lượng được tạo ra từ các phản ứng nhiệt hạch hạt nhân trên mặt trời. Hiện nay có hai công nghệ chính sử dụng năng lượng mặt trời. Đó là công nghệ điện mặt trời dựa trên hiệu ứng quang điện; công nghệ nhiệt mặt trời dựa trên hiệu ứng nhà kính và công nghệ nhiệt mặt trời hội tụ (hình 1).



Hình 1. Hai phương thức sử dụng năng lượng mặt trời: a- Hệ thống tấm pin quang điện; b- Hệ thống nhiệt điện mặt trời tập trung.

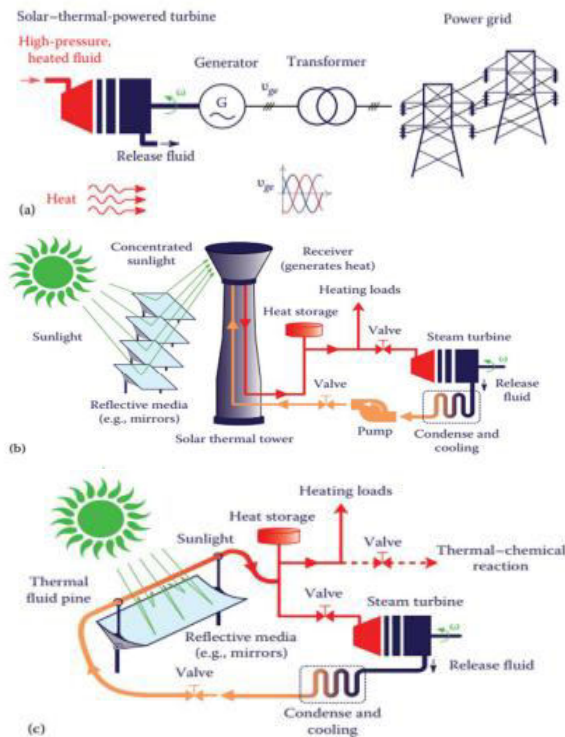
Các hệ thống pin quang điện hoạt động dựa trên cơ chế các tấm pin quang điện dưới tác động của ánh sáng mặt trời phát sinh ra dòng điện một chiều. Các tấm pin quang điện được kết nối lại với nhau nhằm gia tăng công suất của hệ thống. Dòng điện một chiều được đưa qua hệ thống biến đổi điện tử công suất nghịch lưu thành dòng xoay chiều và đưa lên lưới điện. Hình 2 miêu tả tổng quát cơ chế hoạt động của hệ thống quang điện mặt trời.



Hình 2. Mô hình tấm pin mặt trời nối lưới.

Với các hệ thống điện mặt trời tập trung (Concentrated Solar Power, viết tắt là CSP) sử dụng các công nghệ để biến nhiệt năng (bức xạ nhiệt) thành điện năng. Ở các hệ thống này, sử dụng gương hoặc thấu kính để tập trung ánh nắng

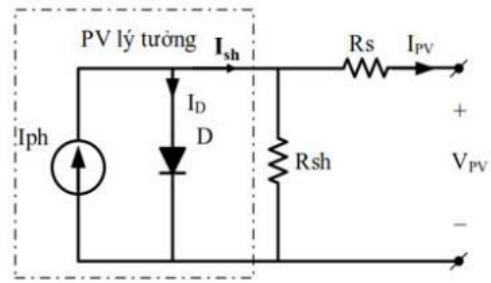
mặt trời tại một điểm và chuyển đổi thành nhiệt năng. Nhiệt sau đó được sử dụng để tạo ra hơi nước, làm quay tua-bin và sản xuất điện năng. Trong đó, hình 3a sử dụng hệ thống phát điện dựa trên tuabin solar-thermal-powered. Hình 3b tập trung năng lượng mặt trời trên một tháp và nước trong tháp được gia nhiệt rồi đưa vào chu trình hơi tương tự như nhà máy nhiệt điện. Hình 3c năng lượng mặt trời được tập trung trên các đường parabol và làm các môi chất trong này thay đổi trạng thái rồi đưa vào làm quay tuabin hơi.



Hình 3. Hệ thống điện mặt trời tập trung

3. Mô hình hệ thống điện mặt trời sử dụng pin quang điện

Pin mặt trời hay còn gọi là pin quang điện là thiết bị ứng dụng hiệu ứng quang điện trong lớp bán dẫn (thường gọi là hiện tượng quang dẫn) để tạo ra dòng điện một chiều khi được chiếu sáng [9, 10]. Pin mặt trời hoạt động theo đặc tính phi tuyến I-V và P-V, thay đổi tuyến tính theo bức xạ mặt trời và nhiệt độ hoạt động của pin quang điện. Phương trình toán học chung cho đặc tính đầu ra I-V của một tế bào quang điện PV đã được nghiên cứu trong suốt bốn thập kỷ [11]. Mô hình tổng quát của tế bào quang điện Hình 4 [12].



Hình4. Mạch tương đương của tế bào pin mặt trời

Phương trình điện áp - dòng điện của một tế bào quang điện được tính bằng công thức (1)[13]:

$$I_{PV} = I_{PH} - I_S \left[\exp \left(\frac{q(V_D + I_{PV}R_S)}{kT_c A} \right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

trong đó:

I_{PH} : Dòng quang điện

I_S : Dòng bão hòa qua diode (A);

q : Điện tích electron ($q = 1,602.10^{-19}(C)$);

k : Hằng số Boltzman, $k = 1,381.10^{-23}(K)$;

T_c : Nhiệt độ lớp tiếp xúc (K);

A : Hệ số lý tưởng của diode;

V_D : Điện áp nhiệt (V);

I_{PV} : Dòng điện ra của pin mặt trời (A);

V_{PV} : Điện áp ra của pin mặt trời (V);

R_{SH} : Điện trở shunt R_{SH} , đặc trưng cho dòng điện rò qua lớp tiếp xúc p - n;

R_S : Đặc trưng cho tổng các điện trở của các lớp bán dẫn.

Sử dụng các hệ số của thiết bị và các phương trình toán học trên, chúng ta có thể dễ dàng mô hình hoá các tế bào quang điện và xây dựng mô hình tấm PV phục vụ cho nghiên cứu đánh giá hoạt động của chúng. Điện áp một chiều của tấm PV có thể được nâng lên mức mong muốn xác định bằng cách sử dụng bộ tăng áp DC-DC. Ngoài ra, bộ MPPT được sử dụng kết hợp trong bộ chuyển đổi DC-DC để tối ưu công suất PV [9, 14].

Dòng điện I_{PH} là hàm số của cường độ ánh sáng trên mặt tế bào quang điện G và nhiệt độ T :

$$I_{PH} = I_{PHR} \frac{G}{G_R} [1 + \alpha_T (T - T_R)], \quad (2)$$

với I_{PHR} là dòng điện ngắn mạch tại cường độ ánh sáng G_R và nhiệt độ T_R quy chuẩn; α_T là hệ số nhiệt độ của dòng quang điện.

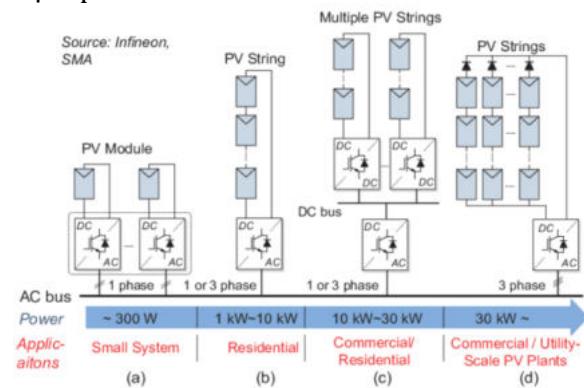
Xét tấm pin quang điện được xây dựng từ việc ghép nối tiếp N_s các tế bào pin mặt trời thành các module và ghép song song N_p các module lại,

thì phương trình đặc tính I – V tổng quát như sau [13]:

$$I_{PV} = N_p \cdot I_{PH} - N_p - I_{SH}$$

$$= N_p \cdot I_{PH} - N_p \cdot I_S \left[\exp\left(\frac{q(V_D + I_{PV}R_S)}{N_s \cdot A \cdot k \cdot T} - 1\right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_{SH}} \right], \quad (3)$$

Để hòa vào lưới điện xoay chiều, hệ thống điện một chiều của các tấm pin quang điện cần có sự tham gia của bộ biến đổi điện tử DC-AC. Ngoài ra nhằm đảm bảo sự hoạt động của các bộ biến đổi DC-AC, điện áp đưa vào các bộ biến đổi này cần được ổn định từ trước đó thông qua các bộ ổn định điện áp DC-DC.

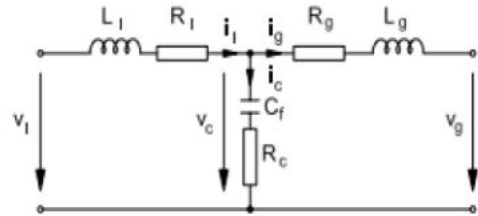


Hình 5. Các cấu hình kết nối lưới của hệ thống PV [15]

Việc nối lưới thực tế được thực hiện tùy theo công suất của hệ thống điện mặt trời. Có 4 cấu hình nối lưới của hệ thống PV được thể hiện qua hình 5, trong đó a- biến tần mô-đun (microinverter) sử dụng cho các hệ thống công suất nhỏ (<1kW); b- biến tần chuỗi (string inverter) sử dụng cho hệ thống công suất vừa (1-10kW); c- biến tần nhiều chuỗi (multi-string inverter) sử dụng cho các hệ thống có công suất trung bình (10-30kW); d- biến tần trung tâm (central inverter) sử dụng cho các hệ thống có công suất lớn (>30kW).

Để nâng cao chất lượng điện năng khi hòa lưới, các hệ thống điện mặt trời cần sử dụng các biện pháp giới hạn sóng hài trong tiêu chuẩn cho phép. Để thực hiện điều này, tác giả đề xuất sử dụng bộ lọc LCL để giảm sóng hài do hệ thống PV gây ra. Cấu trúc bộ lọc LCL bao gồm một cuộn cảm

nối tiếp với bộ nghịch lưu DC-AC, tụ điện lắp song song với bộ nghịch lưu và một cuộn cảm mắc nối tiếp vào lưới. Bộ lọc này chỉ cho phép sóng hài có tần số nhỏ hơn tần số cắt đi qua (Hình 6). Các thông số của mạch lọc được chọn trong bảng 1.



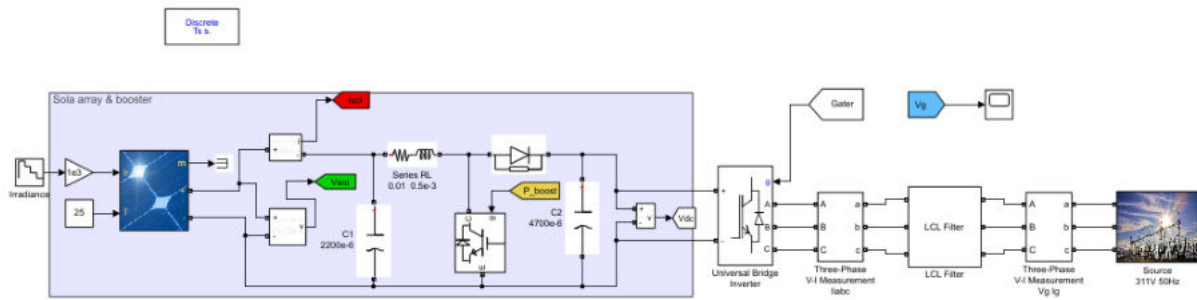
Hình 6. Mạch một pha tương đương của bộ lọc LCL

4. Mô phỏng hệ thống quang điện hòa lưới sử dụng pin quang điện bằng matlab/simulink

Mô hình hệ thống PV kết nối lưới trong phần mềm Matlab/Simulink được giới thiệu trong hình 7. Mô hình được thiết kế với công suất hệ thống PV nối lưới 3 pha là 20kW, điện áp đầu ra của bộ DC/DC 680V, của bộ DC-AC là 380V và các thông số cơ bản được nêu trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số mô hình mô phỏng

TT	Tên	Ký hiệu	Giá trị
1	Điện áp lưới	V_g	3*380 VAC
2	Tần số lưới điện	f_g	50 Hz
3	Điện trở lưới	R_s	0.1 Ω
4	Điện cảm lưới	L_s	0.1mH
5	Công suất HT PV	P_{sol}	20kW
6	Điện cảm bộ lọc LCL	L_i	0.75 mH
7	Điện trở bộ lọc LCL	R_i	0.01 Ω
8	Điện dung bộ lọc LCL	C_f	47 μF
9	Điện cảm	L_g	0.01mH
10	Điện trở bộ lọc LCL	R_g	0.01 Ω

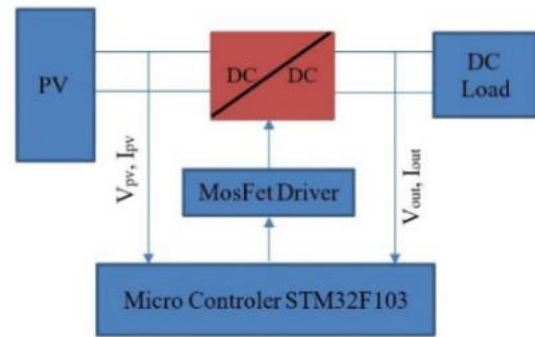


Hình 7. Mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink

4.1. Khối pin mặt trời và mạch tăng áp DC/DC

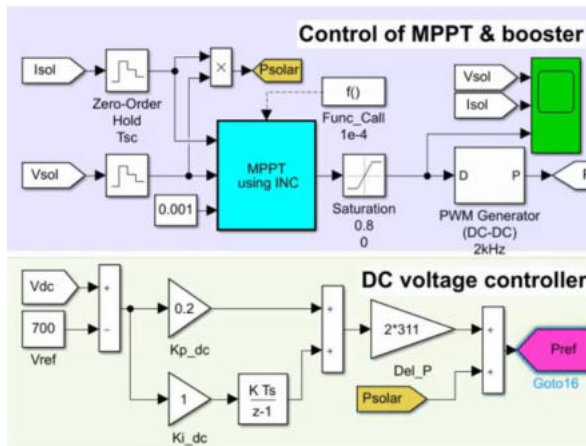
Hình 8 trình bày sơ đồ khối mô tả một bộ chuyển đổi tăng áp DC/DC (Boost converter). Boost converter tích hợp thuật toán và điều khiển bám điểm công suất cực đại (MPPT- Maximum Power Point Tracking), trong đó:

- Khối PV: Các tấm pin năng lượng mặt trời
- Khối DC/DC: Bộ chuyển đổi điện áp một chiều DC/DC
- Khối DC Load: Tải dùng điện áp một chiều.
- Khối MosFet Driver: là mạch đệm công suất để đóng cắt MosFet
- Khối Micro Controller STM32F103: là bộ vi điều khiển STM32F103 chứa chương trình điều khiển và thuật toán MPPT. Có nhiệm vụ thu thập các giá trị điện áp và dòng điện của tấm pin V_{pv} , I_{pv} ; điện áp và dòng điện ngõ ra của bộ biến đổi V_{out} , I_{out} . STM32F103 được lập trình với thuật toán MPPT và sử dụng chức năng điều chế độ rộng xung (PWM) gửi đến khối MosFet Driver để điều khiển đóng cắt mosfet.



Hình 8. Sơ đồ khối bộ chuyển đổi DC/DC tích hợp thuật toán MPPT.

Thuật toán bắt điểm công suất cực đại MPPT là phương pháp dò tìm họ điểm làm việc tối ưu của các hệ thống PV theo các điều kiện môi trường khác nhau. Ngày nay, để nâng cao công suất thu được từ PV hay tăng hiệu suất chuyển đổi năng lượng, phương pháp MPPT áp dụng thuật toán nhiễu loạn và quan sát P&O (Perturb and Observe), thuật toán Hill Climbing đang được sử dụng thịnh hành [16]. Phương pháp P&O dựa trên việc theo dõi sự biến thiên điện áp theo chu kỳ để tìm được điểm làm việc có công suất lớn nhất. Hình 9. là sơ đồ mô phỏng mạch tăng áp DC/DC.

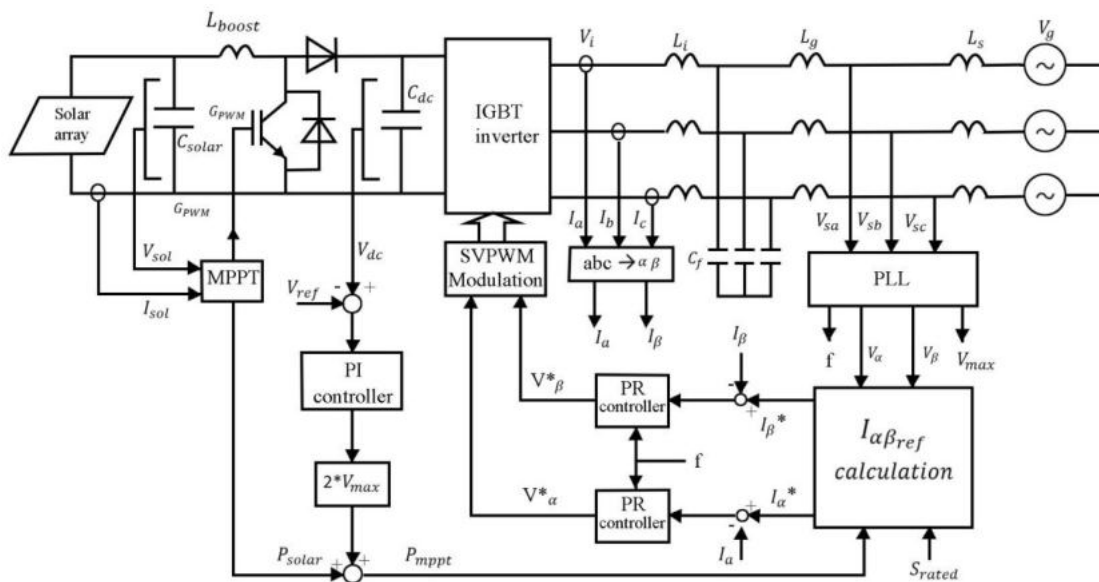


Hình 9. Sơ đồ mô phỏng bộ chuyển đổi DC/DC tích hợp thuật toán MPPT.

4.2. Mạch nghịch lưu có điều khiển nối lưới

Điện áp một chiều sau khi được tăng áp sẽ được đi vào bộ nghịch lưu Inverter để nối lưới với hệ thống điện. Trên hình 10 là sơ đồ nguyên

lý điều khiển của mạch nghịch lưu nối lưới trong hệ thống. Bộ điều khiển nghịch lưu sẽ thực hiện đo, kiểm tra các tham số của mạch như điện áp, dòng điện của pin quang điện, điện áp, dòng ra của nghịch lưu, điện áp lưới rồi đưa vào các vòng điều khiển để thực hiện chức năng điều khiển nối lưới. Điện áp lưới được đo chuyển về vòng khóa pha PLL (phase-locked loop) lấy tín hiệu biên độ, tần số, góc pha. Sau khi tính toán trong khối $I_{\alpha\beta ref}$ calculation đưa ra dòng điện đặt I_{α}^* và I_{β}^* để so sánh với dòng điện hiện thời sau bộ nghịch lưu DC-AC I_{α} , I_{β} và đưa tín hiệu về bộ điều khiển dòng điện cộng hưởng tỷ lệ PR để tạo điện áp U_{α}^* , U_{β}^* cho khâu điều khiển vec tơ không gian SVPWM Modulation, sau đó cung cấp xung điều khiển cho bộ nghịch lưu đưa ra điện áp xoay chiều đồng bộ và có công suất phù hợp với điều kiện nối lưới vào hệ thống.

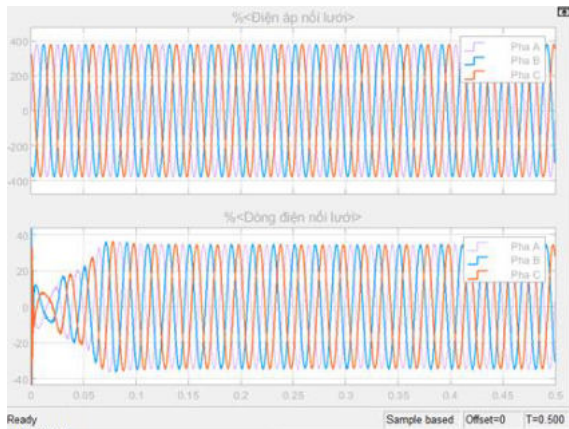


Hình 10. Sơ đồ nguyên lý điều khiển mạch nghịch lưu Inverter nối lưới trong hệ thống điện.

4.3. Kết quả mô phỏng

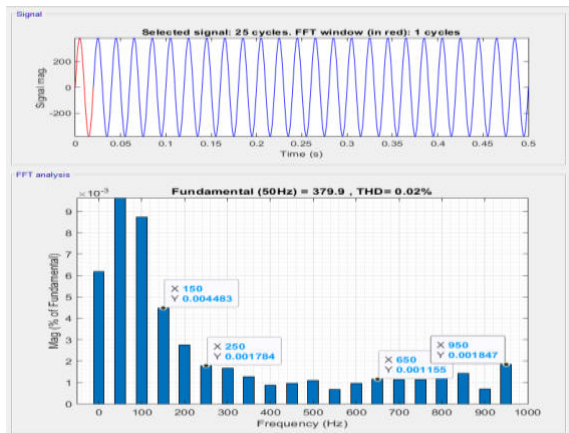
Để đánh giá ảnh hưởng sóng hài của hệ thống PV nối lưới, tác giả xem xét hai trường hợp. Trường hợp hệ thống PV nối lưới có sử dụng lọc thụ động và trường hợp hệ thống PV nối lưới

không sử dụng lọc sóng hài. Với mỗi trường hợp, tác giả tiến hành mô phỏng và so sánh chỉ số THDv, THDi. Kết quả thu được tín hiệu dòng và áp tại điểm nối lưới trong hai trường hợp được thể hiện trên hình 11 và hình 14.

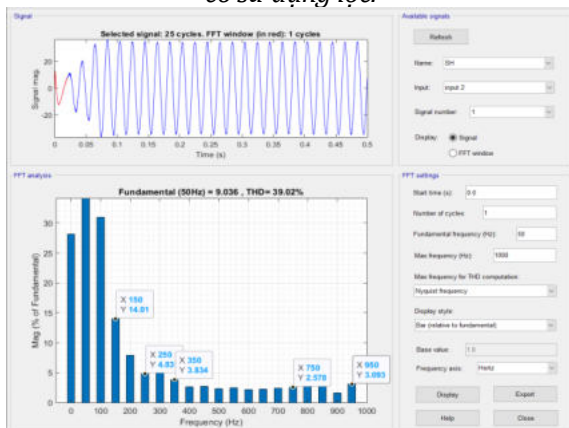


Hình 11. Tín hiệu điện áp và dòng điện tại điểm nối lưới khi hệ thống PV dùng lọc.

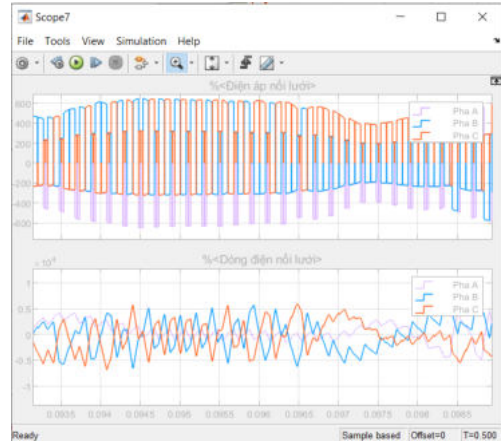
Với trường hợp sử dụng bộ lọc sóng hài LCL, do công suất của hệ thống PV nối lưới (20kW) nhỏ hơn nhiều so với hệ thống điện nên điện áp khi hòa lưới không có sự ảnh hưởng của sóng hài, chỉ số $THD_u = 0.02\%$ như hình 12 và hình 13.



Hình 12. Sóng hài điện áp khi hệ thống PV nối lưới có sử dụng lọc.

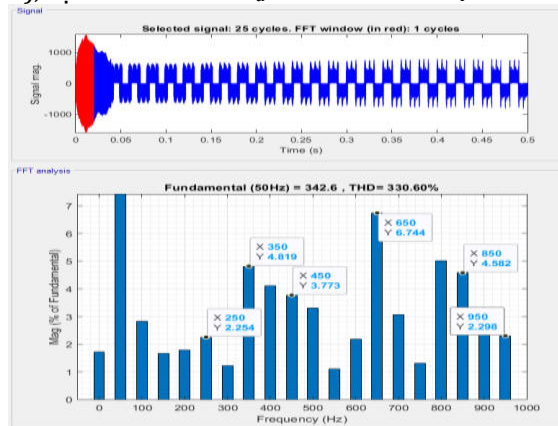


Hình 13. Sóng hài dòng điện khi hệ thống PV nối lưới có sử dụng lọc.

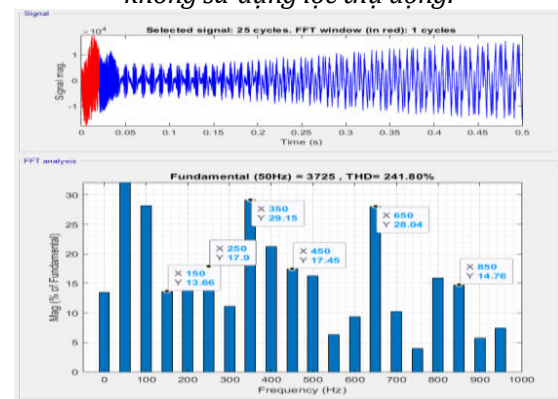


Hình 14. Tín hiệu điện áp và dòng điện tại điểm nối lưới khi hệ thống PV không dùng lọc.

Ngược lại, khi nối lưới hệ thống PV không sử dụng lọc thụ động, điện áp và dòng điện hòa lưới (hình 15) bị ảnh hưởng nghiêm trọng với cả sóng hài điện áp và sóng hài dòng điện (hình 15 và hình 16), cụ thể chỉ số $THD_u = 330\%$ và $THD_i = 241\%$.



Hình 15. Sóng hài điện áp khi hệ thống PV nối lưới không sử dụng lọc thụ động.



Hình 16. Sóng hài dòng điện khi hệ thống PV nối lưới không sử dụng lọc thụ động.

5. Kết luận

Một mô hình hệ thống PV kết nối lưới điện đã được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink và thực hiện nghiên cứu sóng hài khi nối lưới được bài báo mô tả. Các phần tử của hệ thống PV: tế bào quang điện, bộ biến đổi DC-DC, bộ tìm điểm công suất cực đại MPPT, bộ nghịch lưu và bộ lọc LCL được nghiên cứu và trình bày dưới mô hình toán học cụ thể.

Bài báo đã mô tả tác động gây nên sóng hài của hệ thống PV thông qua các chỉ số THD_v và THD_i của lưới điện khi kết nối các nguồn PV. Kết quả mô phỏng đã cho thấy sóng hài làm méo sóng dòng điện của lưới điện khi nối lưới hệ thống PV. Ngoài ra, bài báo cũng đã đề xuất sử dụng bộ lọc LCL và minh chứng được tác dụng và khả năng của nó. Phân tích, đánh giá ảnh hưởng sóng hài của lưới điện do hệ thống kết nối nhiều cấp điện áp khác nhau, nhiều điểm kết nối hơn và kết hợp các nguồn năng lượng tái tạo khác nhau (pin mặt trời, điện gió) sẽ tiếp tục được đầu tư nghiên cứu và phát triển các bộ lọc để nâng cao chất lượng điện năng.

Tài liệu tham khảo

1. Hoàng Công Tuấn. Đánh giá thực trạng và đề xuất giải pháp phát triển bền vững điện mặt trời tại Việt Nam. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi số 59 - 2020*.
2. IEEE Std 519-1992. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. *IEEE, New York, 1993*.
3. Chidurala, A.; Saha, T.K.; Mithulanathan, N.; Bansal, R.C. Harmonic emissions in grid connected PV systems: A case study on a large scale rooftop PV site. *In Proceedings of the 2014 IEEE PES General Meeting/Conference & Exposition, National Harbor, MD, USA, 27–31 July 2014*; pp. 1–5.
4. Elkholy, A. Harmonics assessment and mathematical modeling of power quality parameters for low voltage grid connected photovoltaic systems. *Sol. Energy* **2019**, *183*, 315–326.
5. Eltawil, M.A.; Zhao, Z. Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2010**, *14*, 112–129.
6. M. Azri and N. A. Rahim. Design analysis of low-pass passive filter in single-phase grid - connected transformerless inverter. *2011 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CET)*, Kuala Lumpur, 2011, pp. 348-353.
7. Hyosung Kim and Kyoung-Hwan Kim. Filter design for grid connected PV inverters. *2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies*, Singapore, (2008), pp. 1070-1075.
8. Wang, T.C.Y, Zhihong, Y., Sinha, G., and Yuan, X. Output Filter Design for a Grid-interconnected Three- Phase Inverter. *Power Electronics Specialist Conference (2003)*, pp. 779-784.
9. A. F. Abdul Kadir, A. Mohamed and H. Shareef. Harmonic impact of Different Distributed Generation Units on Low Voltage Distribution System. *IEEE International Electric Machines & Drives Conference*, (2011), pp.1201-1206;
10. F. Zheng, M. Ding and J. Zhang. Modelling and simulation of grid-connected PV system in DigSILENT/powerfactory. *2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013)*, Beijing, 2013, pp. 1-6.
11. S.W.Angrist, Direct Energy Conversion, Allyn and Bacon, Inc., 4th edition, pp. 177-227, 1982.; O. Wasynczuk. Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-102, no. 9, pp. 3031-3037, 1983.
12. J. M. Blance, F. J. Toledo, S. Montero, and A. Garrigós. In-site real-time photovoltaic I-V curves and maximum power point estimator. *IEEE Transaction Power Electron*, vol. 28, no.3, pp.1234-1240, 2013.
13. Claire Blaga, Gabriel Christmann, Mathieu Bocard, Christophe Ballif, Sylvain Nicolaya, Brett A. Kamino. Palliating the efficiency loss due to shunting in perovskite/silicon tandem solar cells through modifying the resistive properties of the recombination junction. From the journal *Sustainable Energy & Fuels*.

14. Farhoodnea, Masoud & Mohamed, Azah & Shareef, Hussain & Zayandehroodi, Hadi. Power quality impact of grid-connected photovoltaic generation system in distribution networks. *IEEE Student Conference on Research and Development* (2012), pp. 1-6.
15. F. Blaabjerg, Yongheng Yang, Xiongfei Wang (2015). Power electronics - the key technology for renewable energy system integration. *2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications*. DOI:10.1109/ICRERA.2015.7418680.
16. Aleksandar Prodic, Dragan Maksimovic and Robert W. Erickson, Design and Implementation of a Digital PWM Controller for a High-Frequency Switching DC-DC Power Converter, *IECON'01. IEEE, 2002*, pp. 893-898.

PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ TỔN HAO CÔNG SUẤT CỦA BỘ BIẾN ĐỔI CHUYỂN MẠCH HẠ ÁP (BUCK CONVERTER)

Nguyễn Tiến Sỹ^{1,*}, Nguyễn Thạc Khánh², Kim Ngọc Linh³

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, nguyentiamsi@humg.edu.vn;

^{2,3} Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, nguyenthackhanh@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Các bộ nguồn biến đổi sử dụng phương pháp chuyển mạch (SMPS) được sử dụng rất phổ biến trong thực tế vì có hiệu suất cao. Tuy nhiên khi công suất tăng và tần số chuyển mạch thay đổi, độ rộng xung điều khiển thay đổi, tổn hao công suất bộ biến đổi cũng thay đổi theo. Để đánh giá sự thay đổi tổn hao công suất, báo cáo đề xuất mô hình bộ biến đổi hạ áp kiểu xung sử dụng phần tử chuyển mạch IGBT; phân tích tổn hao công suất trên từng phần tử của mạch với các trường hợp điển hình khác nhau khi thay đổi tần số và độ rộng xung điều khiển. Các kết quả thu được là cơ sở để lựa chọn các thông số mạch điều khiển, lựa chọn tản nhiệt tối ưu giúp tiết kiệm chi phí chế tạo cho nhà sản xuất.

Từ khóa: Tổn hao công suất, SMPS, nguồn xung, hạ áp, buck converter

1. Mở đầu

Vấn đề gặp phải trong các bộ biến đổi công suất hiện nay là tổn hao công suất sinh nhiệt. Để thực hiện đánh giá hiệu suất của các bộ biến đổi công suất, hầu hết các nghiên cứu đều thực hiện trước tiên thông qua quá trình mô phỏng. Tuy nhiên hầu hết các nghiên cứu sử dụng mô phỏng hiện nay đều dừng ở mức mô phỏng hiệu suất của toàn bộ bộ biến đổi (tỉ số công suất đầu ra và công suất đầu vào bộ biến đổi) chứ không đưa ra phân bố tổn thất công suất trên từng phần tử như phần tử chuyển mạch Transistor, phần tử Diode (Shimeng Huang và nnk, 2017).

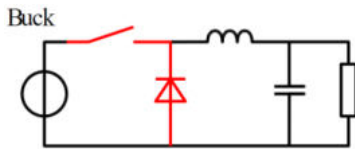
Trong báo cáo, nhóm tác giả sử dụng phương pháp mô hình hoá động (Dynamic Model) để tạo

ra mô hình phần tử chuyển mạch Transistor và Diode với các thông số điện và nhiệt được lấy từ datasheet của linh kiện trên trang chủ của hãng. Điều này giúp mô hình mô phỏng tái hiện được dạng sóng tại thời điểm chuyển mạch sát nhất với thực tế, đồng thời phân tích được tổn hao trên từng phần tử của bộ biến đổi công suất (Hocine Daou và nnk, 2016) (Hossein Hafezi và nnk, 2021).

Bộ nguồn biến đổi theo phương pháp chuyển mạch (SMPS) là bước phát triển so với các bộ nguồn tương tự vì có kích thước nhỏ gọn, hiệu suất cao, điều chỉnh linh hoạt được các cấp điện áp đầu ra.

Nhóm tác giả thực hiện mô phỏng mạch hạ áp DC-DC để đánh giá tổn hao công suất trên phần tử

chuyển mạch và Diode trong các trường hợp điển hình thay đổi độ rộng xung điều khiển, giữ nguyên tần số chuyển mạch.

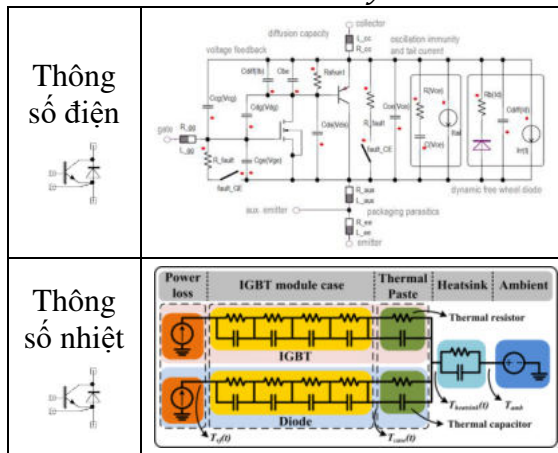


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý mạch hạ áp DC-DC

2. Xây dựng mô hình động IGBT và Diode

Phần tử chuyển mạch IGBT trong mạch hạ áp được thiết lập bao gồm cả các thông số ký sinh giữa các cực G, C, E (Zhuolin Duan và nnk, 2018). Trong báo cáo, nhóm tác giả xây dựng mô hình động của IGBT của hãng ABB với điện áp Uce = 1800V và Ic = 800A

Bảng 1. Sơ đồ tương đương mô hình động IGBT với các tham số ký sinh



Level	Name	Value	Description
State	THOM	125	Reference Temperature
State	VNOM	1800	Nominal Collector-Emitter Voltage
State	ICM	800	Nominal Collector Current
State	VP	7.15489	FET Peak-off Voltage @Half Temperature
State	K	14.522	FET Transfer Constant @Half Temperature
State	ALM	0	FET Channel Length Modulation Factor
State	AFET	1.72643	FET Saturation Factor
State	MFET	1.26787	FET Saturation Exponent
State	ALFET	1.88689	Exponent of FET Transfer Characteristics at FET
State	RCR	0.000218889	Small-signal bulk resistance @Half Temperature
State	ROD	1.68387	Large-signal bulk resistance @Half Temperature
State	RDV	0	Bulk resistance reflection voltage (%)
State	RD	18	BJT Current Gain @Half Temperature
State	MBJT	2.3733	BJT Ideality Factor
State	RBAT_BJT	8.44681e-09	BJT Saturation Current @Half Temperature
State	RB_BJT	0	BJT Bulk Resistance, set to 1e-12 ohm to DC circuit
State	RP_BJT	1e-10	BJT Base Resistor, set to 1e-10 ohm to DC circuit
State	VC	-6.33761	Temperature Coefficient of VPO
State	TC_V	0.217705	Temperature Coefficient of RPO
State	TC_MFET	3.7461	Temperature Coefficient of AFET
State	TC_MFET	0.00257026	Temperature Coefficient of MFET
State	TC_MFET	0.00004781	Temperature Coefficient of FN_FET
State	TC_RCR	0.194862	Temperature Coefficient of RCR
State	TC_RCR	0.1847	Temperature Coefficient of RCR
State	TC_RDV	0	Temperature Coefficient of RDV
State	TC_RBAT_BJT	-3.9601e-11	Temperature Coefficient of RBAT_BJT
State	TC_RB_BJT	0.0110193	Temperature Coefficient of RB_BJT
State	VBRKAK_GE	1000000	Output Voltage Breakdown
State	VBRKAK_GE	1000000	Input Voltage Breakdown
State	IBRKAKE	1000000	Output Current Breakdown
State	IBRKAKE	1000000	Input Current Breakdown

Hình 1. Thông số điện của IGBT hãng ABB

Parameter	Name	Value	Unit	Description
IC	IC	3.75e-09		Collector-Emitter Inductance
IC	IC	4.9825e-06		Collector-Emitter Inductance
IG	IG	1.02709		Gate-Collector Inductance
IG	IG	0		Gate-Collector Inductance
IE	IE	3.75e-09		Emitter-Collector Inductance
IE	IE	4.9825e-06		Emitter-Collector Inductance
IR	IR	0		Internal Emitter Inductance
IR	IR	0		Internal Emitter Inductance

Hình 2. Thông số ký sinh của IGBT hãng ABB

Các tham số ký sinh được tra cứu từ datasheet của linh kiện điện tử cung cấp bởi hãng sản xuất và được nhập trực tiếp vào phần mềm ANSYS Simplorer

Bằng việc tái hiện linh kiện điện tử IGBT với các thông số ký sinh, các quá trình chuyển mạch và dạng sóng mô phỏng có độ chính xác cao.

3. Mô phỏng tổn hao công suất mạch hạ áp DC-DC (Buck Converter)

Mạch hạ áp kiểu Buck cho động cơ 4.5kW mã hiệu CDXT-2.5 có tải trọng 2.5 tấn, điện áp vào được lấy từ ắc quy 48V với dung lượng 330Ah

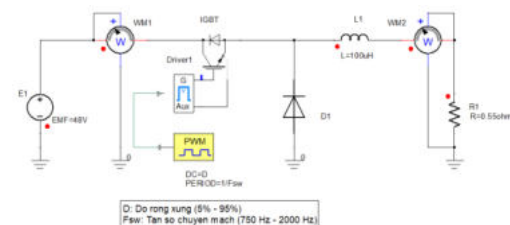
Bảng 2. Thông số phụ tải động cơ

TT	Mã hiệu	Trọng tải	Ắc quy (V, Ah)	Động cơ (kW)
1	CDXT-2.5	2,5 tấn	48V, 330Ah	1x4,5

$$U_{dm} = 48V; P = 4.5kW, R_a = \frac{U_{dm}^2}{P} = \frac{48^2}{4500} = 0.512W$$

$$I_{dm} = \frac{P}{U_{dm}} = \frac{4500}{48} = 93.75A$$

Nhóm tác giả thực hiện cố định tần số điều khiển Fsw = 750Hz và thay đổi độ rộng xung điều khiển tương ứng biến D (Duty Cycle) trong dải từ 5% đến 95%; thực hiện đo hiệu suất, công suất tổn hao trên phần tử IGBT và Diode

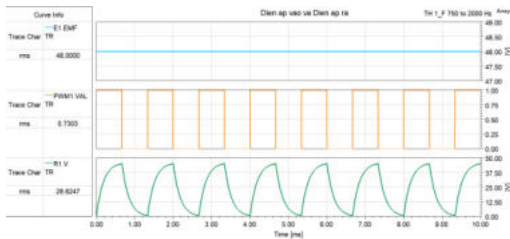


Hình 3. Sơ đồ mô phỏng mạch hạ áp

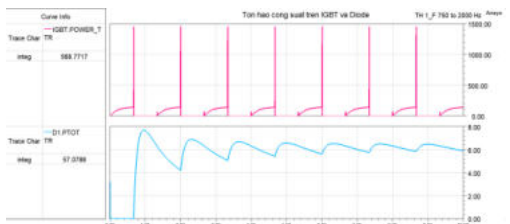
3.1. Các kết quả mô phỏng

Các kết quả mô phỏng ứng với các trường hợp $F_{sw} = 750\text{Hz}$, $D = 5\% - 95\%$ bao gồm dạng sóng điện áp trên tải, tổn hao công suất trên IGBT và Diode và được tổng hợp lại thành dạng bảng và đồ thị

- $F_{sw} = 750\text{Hz}$, $D = 50\%$

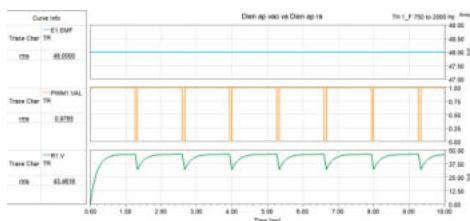


Hình 4. Dạng sóng điện áp vào và điện áp ra trên tải ứng với độ rộng xung 50%

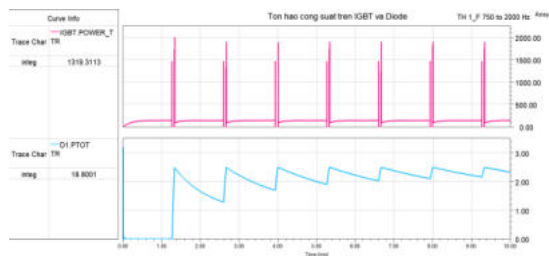


Hình 5. Dạng sóng tổn hao công suất trên IGBT và Diode ứng với độ rộng xung 50%

- $F_{sw} = 750\text{Hz}$, $D = 95\%$



Hình 6. Dạng sóng điện áp vào và điện áp ra trên tải ứng với độ rộng xung 95%



Hình 7. Dạng sóng tổn hao công suất trên IGBT và Diode ứng với độ rộng xung 95%

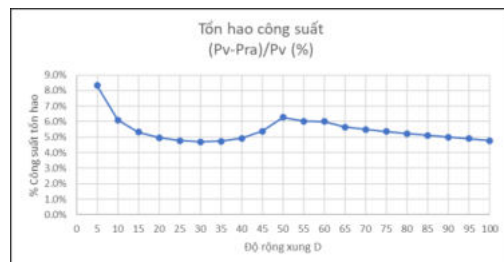
Các kết quả mô phỏng tổn hao công suất và hiệu suất bộ biến đổi được thể hiện tại bảng 3

Bảng 3. Tổng hợp các kết quả tổn hao công suất theo độ rộng xung điều khiển

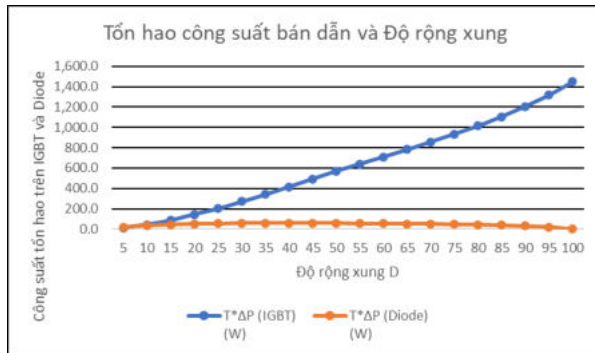
TT	D (%)	IGBT	Diode	Ura (V)	ΔP (W)
1	5	12.1	18.8	4.3	29.9
2	10	42.7	33.8	8.1	77.6
3	15	42.7	33.8	11.6	136.8
4	20	87.3	44.2	14.7	204.8
5	25	142.2	50.9	17.5	279.1
6	30	203.7	54.9	20.1	362.5
7	35	271.1	57.1	22.5	458.1
8	40	342.1	58.1	24.7	577.0
9	45	416.0	58.3	26.8	740.7
10	50	491.5	57.9	28.6	998.8
11	55	568.8	57.1	30.3	1073.1
12	60	638.3	56.0	32.0	1184.5
13	65	709.4	54.5	33.6	1225.3
14	70	781.4	52.8	35.1	1303.9
15	75	856.2	50.6	36.7	1384.9
16	80	934.4	47.7	38.3	1470.7
17	85	1,017.5	43.9	39.9	1560.9
18	90	1,106.2	38.6	41.6	1659.5
19	95	1,205.2	30.8	43.5	1769.5

3.2. Phân tích các kết quả mô phỏng

Trường hợp tần số chuyển mạch của xung điều khiển $F_{sw} = 750\text{Hz}$, có thể thấy khi thay đổi độ rộng xung, hiệu suất tổn hao công suất lớn nhất khi độ rộng D nhỏ, giá trị hiệu suất tổn hao từ 8.3% đến 4.9% tương ứng với hiệu suất của bộ nguồn hạ áp tăng từ 91.7% lên 95.1% khi độ rộng xung D tăng. Trong đó tại $D = 50\%$, hiệu suất tổn hao công suất cũng được ghi nhận có độ lớn bất thường. Điều này sẽ được nhóm tác giả điều tra trong các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 8. Đồ thị quan hệ tổn hao công suất và độ rộng xung tại $F_{sw} = 750\text{Hz}$



Hình 9. Đồ thị quan hệ tổn hao công suất trên IGBT và Diode theo độ rộng xung tại $F_{sw} = 750\text{Hz}$

Khi D tăng, tổn hao chuyển mạch trên IGBT tăng gần tuyến tính từ 12W đến 1200W, tổn hao trên Diode tăng từ 18.8W khi D = 5% đến đỉnh 57.1W khi D = 50% và giảm dần về 18.8W khi D = 95%

3.3. Kết luận

Báo cáo đề xuất phương pháp nâng cao độ chính xác của quá trình mô phỏng bằng việc mô hình hoá động IGBT và Diode từ việc thiết lập thêm các thông số điện và nhiệt theo như công bố của hãng chế tạo linh kiện bán dẫn. Từ mô hình đó, nhóm tác giả thực hiện mô phỏng mạch hạ áp kiểu chuyển mạch (Buck Converter) cho đối tượng động cơ DC 4.5kW, phân tích tổn hao trên IGBT và Diode trong trường hợp thay đổi độ rộng xung điều khiển.

Các kết quả mô phỏng chi tiết tổn hao cho phép các nhà thiết kế có thể tính toán được công suất nhiệt và hình dáng, kích thước cánh tản nhiệt phù

hợp cho từng linh kiện bán dẫn. Các linh kiện bán dẫn qua đó được làm mát và hoạt động ổn định trong thời gian dài, giúp tăng tuổi thọ của chúng nói riêng và toàn bộ nguồn xung nói chung.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn bộ môn Kỹ thuật điện – Điện tử, khoa Cơ – Điện, ĐH Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ về cơ sở vật chất; cảm ơn Công ty Advantech, JSC đã hỗ trợ cung cấp license bản quyền phần mềm ANSYS Q3D Extractor, ANSYS Simplorer.

Tài liệu tham khảo

- Shimeng Huang, (2017). Multi-scale and Multi-domain Simulation of Electrical Power System, *IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM)*.
- Hossein Hafezi, Roberto Faranda, (2021). A New Approach for Power Losses Evaluation of IGBT/Diode Module, *MDPI, Electronics 2021, 10, 280*.
- Hocine Daou, François Costa, (2016). Dynamic Electric Model for IGBT Power module based on Q3D and Simplorer: 3D Layout Design, Stray Inductance Estimation, Experimental Verifications, *2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), Toulouse, France, 2016, pp. 1-6*
- Zhuolin Duan, Tao Fan (2018). Improved SiC Power MOSFET Model Considering Nonlinear Junction Capacitances, *IEEE Trans. on Power Electron.*

MỘT PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG NHIỀU BỨC XẠ SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ

Hà Thị Chúc ^{1,*}, Nguyễn Tiến Sỹ ², Kim Ngọc Linh ³

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, hathichuc@humg.edu.vn;

^{2,3} Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam; nguyentiansi@humg.edu.vn;

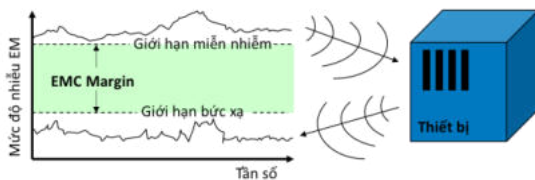
TÓM TẮT

Các thiết bị điện tử hoạt động với tần số cao phát ra sóng điện từ gây nhiễu tới các thiết bị xung quanh; đặc biệt khi tần số chuyển mạch của các bộ biến đổi công suất, tần số hoạt động của thiết bị di động ngày càng cao và dải rộng trong khoảng từ vài trăm kHz đến vài chục GHz. Vì vậy vấn đề chống nhiễu điện từ trở lên vô cùng quan trọng. Ngoài việc thiết kế điện tử đạt tiêu chuẩn tương thích điện từ (EMC), cần có phương pháp tính toán và mô phỏng tái hiện hiện tượng bức xạ điện từ. Từ đó giúp đánh giá sớm thiết kế điện tử có đạt tiêu chuẩn EMI/EMC không, cuối cùng thay đổi và tối ưu hoá thiết kế trước khi sản xuất. Báo cáo đề xuất phương pháp số sử dụng phần mềm ANSYS HFSS mô phỏng tái hiện quá trình bức xạ điện trường của một đối tượng gây nhiễu ra môi trường xung quanh và đánh giá kết quả mô phỏng với kết quả phân tích thực nghiệm để kiểm chứng mô hình mô phỏng đáng tin cậy và có thể áp dụng rộng rãi hơn.

Từ khóa: Nhiễu điện từ, phương pháp số, tương thích điện từ, nhiễu bức xạ

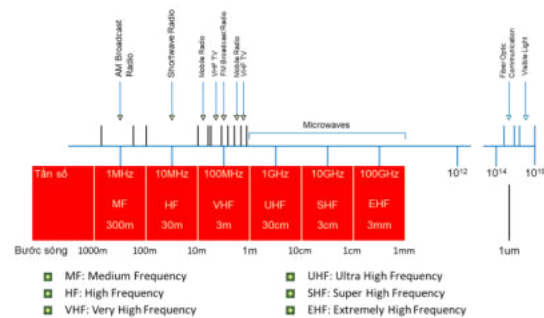
1. Mở đầu

Ngày nay với sự phát triển của công nghệ IoT và công nghệ di động thế hệ mới, các thiết bị điện tử có khả năng kết nối với nhau qua truyền thông không dây và tần số hoạt động của sóng điện từ ngày càng cao. Vấn đề tương thích điện từ (EMC) và nhiễu điện từ trở nên vô cùng quan trọng.



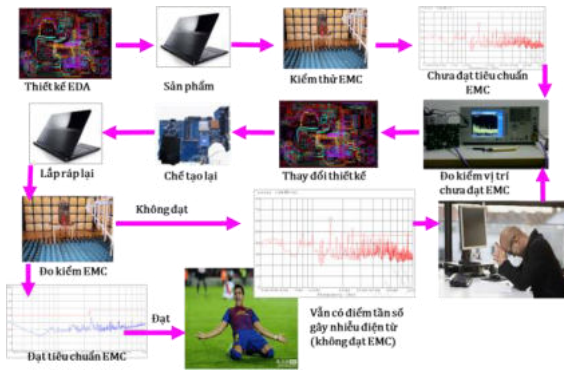
Hình 1. Phân loại tương thích điện từ

Tương thích điện từ bao gồm EMI (nhiễu điện từ) và EMS (miễn nhiễm điện từ), trong đó nhiễu bức xạ (Radiated Emission) là hiện tượng sóng điện từ lan truyền trong không gian làm giảm tính năng của cơ cấu, thiết bị hoặc hệ thống khác.



Hình 2. Phổ tần số và ứng dụng

Có thể thấy vấn đề EMI/EMC có trong mọi lĩnh vực của cuộc sống như năng lượng, truyền dẫn, thông tin. Việc đo nhiễu bức xạ từ một cơ cấu hay thiết bị hiện nay được thực hiện theo quy trình lập đi lập lại như hình 3. Trường hợp thiết kế và chế tạo xong thiết bị nhưng qua phòng kiểm thử EMC để đo mức độ bức xạ không đạt theo các tiêu chuẩn như CISPR, FCC, IEC hay TCVN 7909-4-3:2015 thì đều phải thiết kế và kiểm thử lại dẫn tới tốn chi phí, kéo dài thời gian sản phẩm bán ra thị trường.



Hình 3. Quy trình chế tạo và kiểm thử thiết bị đảm bảo tính tương thích điện từ

Để khắc phục vấn đề trên, nhóm tác giả đề xuất phương pháp mô phỏng số sử dụng công cụ hiện đại để tái hiện phòng đo nhiễu điện từ trong máy tính, thực hiện kiểm thử ảo đến khi thiết kế đạt tiêu chuẩn EMC mới tiến hành thiết kế và chế tạo.

2. Cơ sở lý thuyết EMI/EMC

Bức xạ điện từ trường tuân thủ theo hệ phương trình của Maxwell

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= \rho, & \vec{\nabla} \times \vec{E} + \partial_t \vec{B} &= 0, \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0, & \vec{\nabla} \times \vec{H} - \partial_t \vec{D} &= \vec{j}. \end{aligned} \quad (1)$$

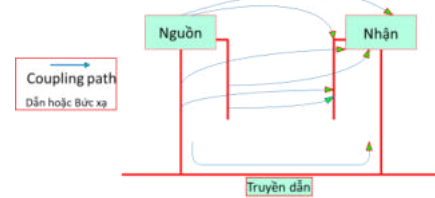
$$\begin{aligned} \vec{D} &= \epsilon \vec{E}, \\ \vec{H} &= \frac{1}{\mu} \vec{B}, \\ \vec{j} &= \sigma \vec{E}, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} dB\mu V/m &= 20 \log_{10} \left(\frac{[V/m]}{1\mu V/m} \right); & dBmV/m &= 20 \log_{10} \left(\frac{[V/m]}{1mV/m} \right) \\ dB\mu A/m &= 20 \log_{10} \left(\frac{[A/m]}{1\mu A/m} \right); & dBmA/m &= 20 \log_{10} \left(\frac{[A/m]}{1mA/m} \right) \end{aligned}$$

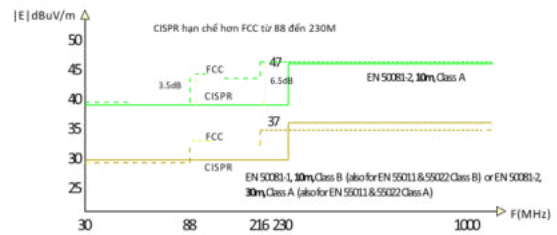
Một hệ thống truyền dẫn bao gồm ba phần: Nguồn nhiễu (thiết bị tạo ra năng lượng, tín hiệu), Truyền dẫn (môi trường truyền năng lượng, tín hiệu) và Bộ thu (nhận) (thiết bị tiếp nhận năng lượng, tín hiệu từ nguồn phát ra) (CISPR 25:2016, 2016)

Để đánh giá nhiễu bức xạ, tiến hành đưa thiết bị vào phòng đo không phản xạ (Anechoic chamber) bao gồm bàn để thiết bị DUT (Device Under Test) và anten thu là loại anten băng thông siêu rộng có dải thu tín hiệu từ 30MHz đến 1GHz; DUT cách anten thu khoảng 1m, 3m hoặc 10m phụ thuộc vào loại phòng đo và tiêu chuẩn EMC; tiến hành đo cường độ điện trường do DUT phát tới

anten (đơn vị dB μ V/m) và so sánh với các tiêu chuẩn để đánh giá thiết bị đạt tiêu chuẩn EMC hay không (Robert Loke và nnk, 2018) (ETS Lindgren, 2016) (IEC 61000 - 6 - 4 : 2018, 2018).s



Hình 4. Hệ thống truyền dẫn và nhiễu dẫn, nhiễu bức xạ

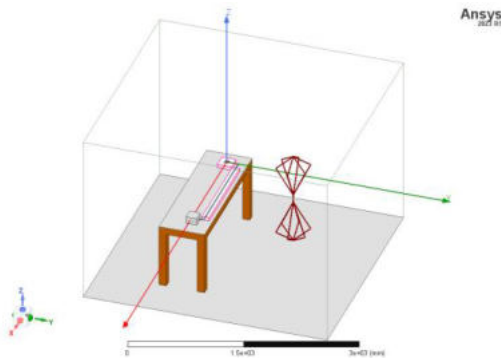


Hình 5. Phòng đo và Tiêu chuẩn EMC theo CISPR và FCC trong dải 30MHz - 1GHz

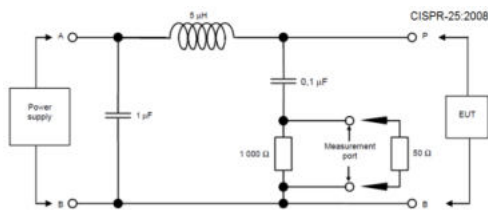
3. Thiết kế và mô phỏng phòng đo EMC ảo

Phòng đo EMC được thiết kế trong phần mềm ANSYS HFSS với kích thước 3.38m x 3.18m x 2.4m là loại phòng đo 3m với khoảng cách từ DUT (bo mạch điện tử) đến anten thu (loại Biconical Antenna) có dải đo từ 30MHz - 300 MHz.

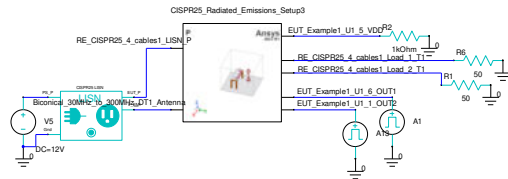
Cấp nguồn cho DUT là bo mạch điện tử trên ô tô từ mạch điện tử với điện áp nguồn 12V qua bộ LISN (Line Impedance Stabilization Networks) theo tiêu chuẩn CISPR25 cho các thiết bị vận tải để tạo trở kháng chuẩn hoá 50 Ω đến thiết bị đo.



Hình 6. Phòng đo ảo đo nhiễu bức xạ trong dải tần số từ 30MHz – 300MHz

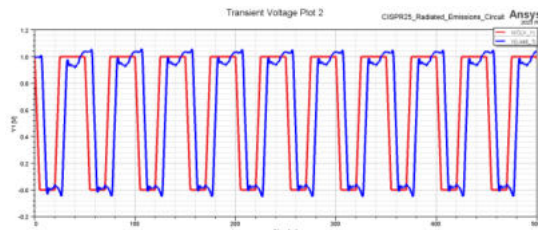


Hình 7. Sơ đồ mạch thiết bị LISN theo tiêu chuẩn CISPR25 (Automotive Component)



Hình 8. Sơ đồ mạch cấp nguồn và đo bức xạ điện từ

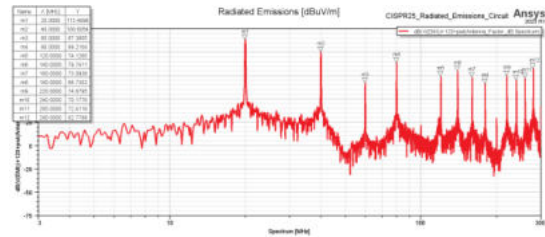
Đo cường độ điện trường E tại khoảng cách 3m từ thiết bị DUT đến anten và xuất đồ thị cường độ điện trường theo tần số.



Hình 9. Đồ thị dạng sóng xung nhịp đầu vào và dạng sóng trên tải

Xem xét đồ thị hình 9 có thể thấy với tín hiệu đầu vào dạng xung vuông (có kể đến thời gian tăng t_{rise} và thời gian giảm t_{fall}) nhưng dạng sóng trên tải bị méo dạng, gây biến thiên dU/dt và sinh ra điện

trường bức xạ ra môi trường xung quanh gây nhiễu.



Hình 10. Cường độ điện trường (dBμV/m và tần số) trong dải 3 – 300MHz

Đánh giá kết quả mô phỏng với tiêu chuẩn CISPR 25 class A và class B

Bảng 1: Đánh giá kết quả mô phỏng điện trường theo tần số với các tiêu chuẩn CISPR

Tần số (MHz)	Mô phỏng (dBμV/m)	Khoảng cách 3m		Đánh giá
		CISPR 25 class A	CISPR 25 class B	
20	113.5	49.6	40	KĐ
40	100.6			KĐ
60	67.4			KĐ
80	89.2			KĐ
120	74.1	54	43.5	KĐ
140	79.7			KĐ
160	73.1			KĐ
180	66.7			KĐ
220	74.9	56.9	46	KĐ
240	70.2			KĐ
260	72.4			KĐ
280	82.8			KĐ

Mạch DUT được kiểm tra trên phần mềm mô phỏng có các tần số gây nhiễu như hình 10. Tại các tần số này, giá trị điện trường E (dBμV/m) lớn đột ngột, điều này có thể giải thích do thiết kế mạch sinh ra các thành phần L và C ký sinh gây cộng hưởng. Do các đỉnh giá trị điện trường tại các tần số này nên DUT không đạt theo tiêu chuẩn CISPR. Vì vậy cần xem xét và thiết kế lại bo mạch bằng các

kỹ thuật chống nhiễu điện từ, hoặc thực hiện các biện pháp chống nhiễu bằng cách bọc vỏ chống nhiễu để giảm giá trị điện trường tại các tần số cộng hưởng (Robert Loke và nnk, 2018); sau đó tiến hành mô phỏng lại và xuất đồ thị giá trị điện trường để xem xét tác dụng của các biện pháp chống nhiễu điện từ (Takashi Masuzawa và nnk, 2015) (Wei Chen và nnk, 2006). Có thể thực hiện mô phỏng nhiều lần để đưa ra thiết kế tốt nhất về mặt tương thích điện từ.

4. Kết luận

Báo cáo đề xuất một phương pháp mô phỏng nhiễu điện từ mức hệ thống bằng cách mô hình hoá phòng đo EMI/EMC ảo trên máy tính với các thông số vật liệu và các thiết bị đo tương ứng với phòng đo thực tế để thực hiện thí nghiệm ảo, thay đổi thiết kế và mô phỏng, so sánh tiêu chuẩn EMC hoàn toàn thực hiện trên máy tính.

Trong xu thế phát triển của công nghệ Digital Twin (Bản sao số), tất cả các thiết bị điện, điện tử, hệ thống đều được xây dựng bản sao là mô hình ảo trên máy tính, phương pháp mô hình hoá phòng đo tương thích điện từ có ý nghĩa lớn đối với các công ty thiết kế và chế tạo thiết bị, giúp tiết kiệm tối đa thời gian, chi phí thiết kế lại sản phẩm trước khi đưa sản phẩm ra thị trường.

Kết quả mô phỏng đồ thị cường độ điện trường còn cho biết các tần số cộng hưởng của bo mạch, giúp các nhà thiết kế có định hướng tập trung thiết kế chống nhiễu tại các tần số đó thay vì trên toàn dải tần số của phát xạ bức xạ.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn bộ môn Kỹ thuật điện – Điện tử, khoa Cơ – Điện, ĐH Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ về cơ sở vật chất; cảm ơn Công ty Advantech, JSC đã hỗ trợ cung cấp license bản quyền phần mềm ANSYS HFSS.

Tài liệu tham khảo

- Robert Loke, Robert Blattner (2018). Automotive EMI reduction techniques, applications, and solutions. *TI training webinar, April 16*
- CISPR 25:2016 (2016). Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers. *CISPR, fourth edition*.
- ETS Lindgren, (2016). Automotive component EMC testing: CISPR 25, ISO 11452-2 and equivalent standards.
- IEC 61000 – 6 – 4 : 2018, (2018). Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments. *IEC, third edition*.
- Wei Chen, (2006). Near Field Coupling Effects on Conducted EMI in Power Converter, *IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference*.
- Takashi Masuzawa, (2015). Modeling Method of Stray Magnetic Couplings in an EMC Filter for Power Electronic Devices, *IEEE Journal of Industry Applications*.

KỸ THUẬT THIẾT KẾ TƯƠNG THÍCH ĐIỆN TỪ (EMC) CHO CÁC BỘ BIẾN ĐỔI SỬ DỤNG BÁN DẪN THỂ HỆ THỨ BA GAN VÀ SIC

Nguyễn Tiến Sỹ^{1,*}, Nguyễn Thạc Khánh², Hà Thị Chúc³

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam, nguyentienhsi@humg.edu.vn;

^{2,3} Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam;

TÓM TẮT

Các bộ biến đổi công suất sử dụng bán dẫn thể hệ thứ ba GaN và SiC có điện áp và nhiệt độ hoạt động trong dải rộng, tần số chuyển mạch cao giúp giảm tổn hao công suất nhưng ngược lại gây tăng nhiễu điện từ (EMI) đến các thiết bị điện tử xung quanh và vi phạm tiêu chuẩn tương thích điện từ (EMC), dẫn tới việc các bộ biến đổi đó không vượt qua kiểm định về tính tương thích điện từ trước khi đưa ra thị trường và yêu cầu

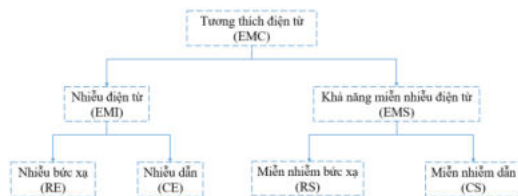
phải thiết kế lại. Để hạn chế vấn đề đó, báo cáo đề xuất các kỹ thuật thiết kế sơ đồ nguyên lý và sơ đồ mạch in tương thích điện từ cho các bộ biến đổi sử dụng phần tử bán dẫn chuyển mạch GaN và SiC. Đồng thời báo cáo đưa ra mô hình mô phỏng với các trường hợp khác nhau chứng minh kỹ thuật thiết kế đó có hiệu quả trong việc giảm nhiễu điện từ.

Từ khóa: Nhiễu điện từ, tương thích điện từ, bộ biến đổi, bán dẫn, GaN và SiC

1. Mở đầu

Vật liệu bán dẫn thế hệ đầu tiên là Silicon (Si) có độ rộng vùng cấm khoảng 1.17eV; Vật liệu thế hệ thứ hai là Gallium Arsenide (GaAs) là vật liệu được sử dụng trong hầu hết các thiết bị điện tử viễn thông ngày nay có độ rộng vùng cấm từ 2.3eV trở lên. Với sự phát triển của công nghệ bán dẫn cho ra đời bán dẫn thế hệ thứ 3 SiC (Silicon Carbide) có độ rộng vùng cấm 3.26eV và GaN (Gallium Nitride) có độ rộng vùng cấm là 3.5eV

Linh kiện điện tử được chế tạo từ bán dẫn GaN và SiC có khả năng chịu công suất lớn, nhiệt độ cao, điện áp, mật độ công suất trên thể tích lớn, đặc tính tần số cao; kích thước IC và bo mạch điện tử giảm đáng kể, đơn giản hoá thiết kế mạch, thiết kế hệ thống tản nhiệt; do đó mạch điện tử sử dụng linh kiện bán dẫn GaN và SiC trở lên dần phổ biến, trở thành các thành phần chính trong các hệ thống điện tử phức tạp như các bộ biến đổi công suất trong xe điện, bộ sạc không dây, hệ thống viễn thông di động 4G, 5G (José Millán và nnk., 2014). Khi điện áp và tần số hoạt động của thiết bị điện tử ngày càng được nâng cao, khả năng gây nhiễu điện từ (EMI) bao gồm nhiễu dẫn (Conducted Emission) và nhiễu bức xạ (Radiated Emission) đến các thiết bị xung quanh cũng tăng lên, từ đó gây rối loạn chức năng của các thiết bị đó. Do đó việc thiết kế điện tử đảm bảo tính tương thích điện từ (EMC) trở nên vô cùng quan trọng, đặc biệt trong thế hệ bán dẫn GaN và SiC.



Hình 1. Sơ đồ phân loại EMC

Hiện nay các tiêu chuẩn EMC được phân loại theo khu vực bao gồm US (tiêu chuẩn FCC) và EU

(tiêu chuẩn CISPR) được Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế (IEC) quy định với 2 tiêu chuẩn chính là IEC 61800-3-2 cho các hệ thống công suất và IEC 61000-2-4 cho phân loại trường điện từ (Ilknur Colak và nnk, 2021)

2. Cơ sở lý thuyết của giảm nhiễu điện từ

Các kỹ thuật thiết kế theo tiêu chuẩn EMC đảm bảo khả năng chống chịu các bức xạ nhiễu điện từ bên ngoài tác động; đảm bảo hạn chế tối đa các bức xạ nhiễu đến các thiết bị khác; đảm bảo các phần tử linh kiện trên bo mạch không tác động nhiễu qua lại lẫn nhau. Các nghiên cứu về EMI/EMC đều căn cứ theo công thức (Boyi Zhang et al., 2020).

$$E : f^2 \cdot \frac{1}{r} \cdot I \cdot A \quad (1)$$

Trong đó: E – điện trường (V/m); f – tần số gây nhiễu (Hz); r – khoảng cách từ nguồn nhiễu đến máy thu (m); I – dòng điện (A); A – diện tích vòng lặp của dòng điện (m²)

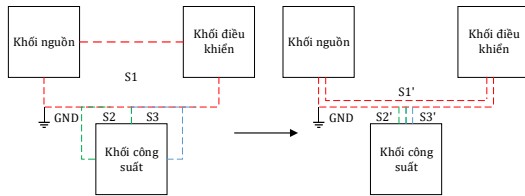
Từ công thức (1) có thể đưa ra các phương pháp giảm nhiễu điện từ bao gồm: giảm biến thiên dòng điện theo thời gian (giảm di/dt); giảm tần số chuyển mạch (giảm f); giảm diện tích vòng lặp của đường dẫn dòng điện tần số cao (giảm A). Trên cơ sở lý thuyết đó, nhóm tác giả đề xuất một số trường hợp cụ thể của thiết kế theo tiêu chuẩn EMI/EMC.

3. Các phương pháp thiết kế EMI/EMC

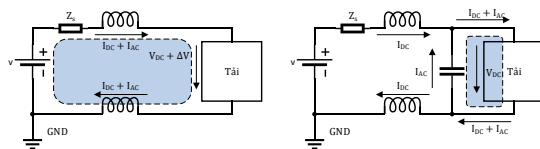
Các phương pháp đề xuất bao gồm: phương pháp giảm diện tích đường dẫn dòng điện tần số cao; phương pháp thiết kế nối đất; phương pháp thiết kế vỏ chắn điện từ (Todd H. và nnk, 2020).

3.1. Phương pháp giảm điện tích đường dẫn dòng điện tần số cao

Giảm điện tích đường dẫn dòng điện tần số cao có thể được thực hiện bằng cách bố trí lại các khối và linh kiện điện tử trong bo mạch và thiết kế thêm tụ điện để nối tắt thành phần dòng điện xoay chiều (thành phần tạo biến thiên di/dt gây nhiễu).



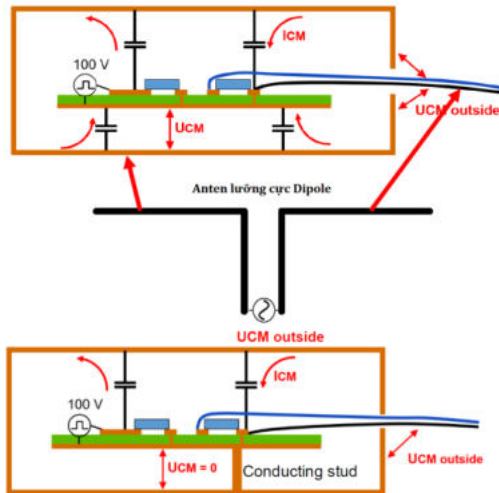
Hình 2. Thiết kế đi lại cáp tín hiệu và công suất



Hình 3. Thiết kế với tụ decoupling

Phương pháp ghép tụ decoupling, thực tế sử dụng tụ 100nF, phù hợp với mạch công suất có tần số dưới 50MHz.

3.2. Phương pháp nối đất (Grounding)



Hình 4. Kỹ thuật nối đất vỏ thiết bị

Trường hợp bo mạch được lắp đặt trong vỏ kim loại và được nối cáp ra ngoài trở thành mô hình anten lưỡng cực (Dipole) bức xạ sóng điện từ ra môi trường xung quanh. Vì vậy yêu cầu cần kết nối mặt phẳng đất của bo mạch điện tử với vỏ hộp

kim loại để triệt tiêu quá trình hình thành anten với 2 cực là vỏ và cáp.

Trường hợp linh kiện điện tử có gắn tản nhiệt thì yêu cầu nối tắt tản nhiệt với mặt phẳng GND của bo mạch điện tử, tránh trường hợp tản nhiệt trở thành anten gây bức xạ điện trường ảnh hưởng tới các linh kiện khác trong mạch.

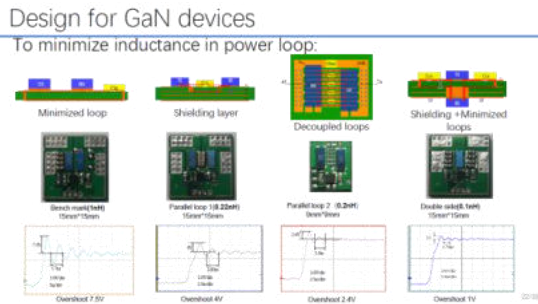
Ngoài các phương pháp chống nhiễu điện từ phổ biến đã nêu trên, đối với linh kiện điện tử nói chung và MOSFET nói riêng được chế tạo từ bán dẫn GaN hoặc SiC có đặc điểm thành phần ký sinh Cgs, Cgd, Ron nhỏ; tuy nhiên tần số chuyển mạch và khả năng chịu dòng điện, điện áp lại cao hơn nhiều các thế hệ trước nên vấn đề chống nhiễu EMI hầu như chỉ tập trung làm giảm điện tích vòng lặp đường dẫn điện tần số cao (giảm A trong (1)) (Han-Nien Lin và nnk, 2021) (Zhengyang Liu và nnk, 2014).

Bảng 1. So sánh tổn hao công suất, tần số chuyển mạch và điện áp vọt lố của bán dẫn Si, SiC

		Si IGBT	SiC Rg = 5Ω	SiC Rg = 1Ω
Tổn hao CS	Fsw = 15kHz	423W	450W	357W
	Fsw = 60kHz	1323W	828W	507W
Tốc độ chuyển mạch		10kV/μs	20kV/μs	30kV/μs
Quá điều chỉnh tối đa		N/A	100V	220V

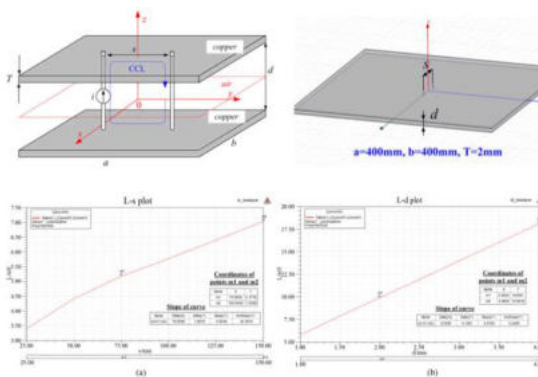
Mặc dù Rg giảm làm giảm tổn hao công suất nhưng lại làm tăng gấp 2 lần điện áp vọt lố tối đa (maximum overshoot voltage), từ đó tăng dV/dt và tăng biến thiên điện trường, gây nhiễu tăng.

Thực nghiệm cho thấy khi điện tích vòng dẫn điện giảm, điện cảm ký sinh giảm, biến thiên điện áp giảm (độ vọt lố hay độ quá điều chỉnh điện áp giảm).



Hình 5. Kỹ thuật giảm điện cảm vòng dẫn

3.3. Mô phỏng



Hình 6. Mô hình mô phỏng và quan hệ L-d, L-s

Mô hình mô phỏng được xây dựng trên phần mềm ANSYS Q3D Extractor gồm hai lớp đồng với khoảng cách giữa 2 lớp là d , khoảng cách giữa 2 vật dẫn nối 2 lớp là s (để tạo các vòng dẫn CCL có diện tích thay đổi $A = s \cdot d$) là tham số quét, kết quả tính toán giá trị điện cảm tương ứng với các giá trị d và s khác nhau.

Từ kết quả mô phỏng có thể thấy

- Tăng giá trị s 2 lần, giá trị điện cảm L tăng 30% (hình 6a)
- Tăng giá trị d 2 lần, giá trị điện cảm L tăng 80% (hình 6b)

3.3. Kết luận

Báo cáo mô tả tổng quan về bán dẫn thế hệ thứ 3 GaN, SiC và ưu, nhược điểm của thế hệ bán dẫn này trong bài toán chống nhiễu điện từ và đảm bảo tính tương thích điện từ.

Nhóm tác giả tổng hợp các phương pháp thiết kế thiết bị điện tử đảm bảo giảm nhiễu như thiết kế với tụ decoupling, thiết kế nối đất vỏ và tản nhiệt, thiết kế đi dây và sắp xếp linh kiện để giảm diện tích vòng dẫn dòng điện tần số cao để giảm biến thiên điện từ trường. Báo cáo cũng xây dựng mô hình trích xuất giá trị điện cảm quan hệ với diện tích vòng dẫn dòng điện qua tham số s và d .

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn bộ môn Kỹ thuật điện – Điện tử, khoa Cơ – Điện, ĐH Mở - Đà Nẵng đã hỗ trợ về cơ sở vật chất; cảm ơn Công ty Advantech, JSC đã hỗ trợ cung cấp license bản quyền phần mềm ANSYS Q3D Extractor.

Tài liệu tham khảo

José Millán, (2014). A Survey of Wide Band Gap Power Semiconductor Devices. *A Survey of Wide Band Gap Power Semiconductor Devices*, Volume: 29, Issue: 5

Ilknur Colak, (2021). EMC Design Issues for Power Electric Converter, *2021 EMC/PI Workshops*

Boyi Zhang, (2020). A Survey of EMI Research in Power Electronics Systems with Wide-Bandgap Semiconductor Devices. *IEEE J. of Emerg. and Sel. Topict in Power Electron.*, Vol. 8, No. 1.

Todd H., (2020). Ignore the App Notes! Here's How to Layout DC/DC Converters in Automotive Circuit Board. *2020 EMC/PI Workshops*

Han-Nien Lin, Ting-Hao Yeh (2021). EMC Compliance Techniques for Silicon Carbide (SiC) Power Converters, *2021 EMC/PI Workshops*.

Zhengyang Liu, Fred C. Lee, (2014). Package Parasitic Inductance Extraction and Simulation Model Development for the High-Voltage Cascode GaN HEMT, *IEEE Trans. on Power Electron.*, Vol. 29

BẢO MẬT DỮ LIỆU TẦNG VẬT LÝ KHÔNG SỬ DỤNG THUẬT TOÁN MẬT MÃ TRONG TRUYỀN TIN KHÔNG DÂY

Cung Quang Khang^{1,*}, Tống Ngọc Anh²

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, cungquangkhang@humg.edu.vn;

² Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, tongngocanh@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Bảo mật dữ liệu trong truyền tin đã được nghiên cứu ngay từ khi mạng internet ra đời, thông thường người ta sử dụng các thuật toán mật mã trên các tầng ứng dụng. Tuy nhiên, với tầng vật lý, dữ liệu có thể được bảo mật bằng các phương pháp không dùng mật mã nhằm giảm thiểu công suất phát, đơn giản trong xử lý dữ liệu và tăng tốc độ truyền tin. Báo cáo này tập trung giới thiệu về phương pháp bảo mật dữ liệu tầng vật lý, xu hướng phát triển và đưa ra phương pháp bảo mật không dùng mật mã nhằm có thể áp dụng tăng cường tính bảo mật cho các tầng trên hoặc dùng truyền các tham số bí mật trong các thuật toán mật mã trong truyền tin không dây.

Từ khóa: Bảo mật; tầng vật lý; truyền tin không dây; Mật mã hoá

1. Giới thiệu về phương pháp bảo mật tầng vật lý (Physical Layer Security- PLS)

Bảo mật dữ liệu trong các hệ truyền tin nói chung và mạng Internet nói riêng luôn được chú trọng nghiên cứu và phát triển. Các thuật toán về mã hóa bảo mật được cài đặt trên tầng ứng dụng trong mô hình TCP/IP. Xét mô hình truyền tin cơ bản như trên Hình 1

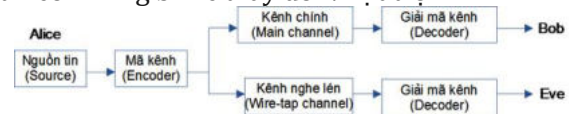


Hình 1: Mô hình hệ thống truyền tin với Alice là người gửi, Bob là người nhận hợp pháp và Eve là người nghe trộm (Eavesdropper).

Với yêu cầu người gửi Alice muốn gửi một thông báo cho người nhận là Bob mà sao cho Eve (Eavesdropper) - người nghe trộm, không thể biết được nội dung thông báo. Để đảm bảo yêu cầu trên, Alice sử dụng một hoặc nhiều thuật toán mã hóa bảo mật kết hợp với khóa mã để mã hóa bản thông báo. Bob biết về thuật toán mã hóa được sử dụng nên đã dùng khóa bí mật hợp lệ để giải mã bản thông báo. Còn Eve, có thể biết về thuật toán mã hóa được sử dụng, nhưng không biết về khóa

mã được sử dụng, nên sẽ rất khó có thể giải mã được thông báo do Alice gửi cho Bob.

Tuy nhiên, một xu hướng nghiên cứu về bảo mật cho các mạng không dây ở tầng vật lý (Physical Layer Security - PLS) đã được Aaron D. Wyner đề xuất khá sớm từ năm 1975 [1]. Wyner đã chứng minh rằng có thể truyền tin mật (confidential message) với tốc độ (secrecy rate) R_s ($R_s > 0$) trong hệ thống truyền tin có sự xuất hiện của người nghe trộm (Eavesdropper) như Hình 1. Giả thiết quan trọng áp dụng là kênh truyền giữa người gửi và người nghe trộm (wire-tap channel) cần có độ suy hao lớn hơn kênh truyền từ người gửi đến người nhận hợp pháp (main channel). Giả thiết này khó được đảm bảo và do hạn chế về công nghệ, kỹ thuật truyền tin nên ý tưởng của Wyner mới thực sự được quan tâm trong những năm gần đây khi kỹ thuật truyền tin có những bước thay đổi vượt trội.



Hình 2: Mô hình kênh nghe trộm tổng quát của Wyner

Theo lý thuyết thông tin, giá trị tốc độ truyền tin mật R_s được định nghĩa theo công thức sau [1, 4-5]:

$$R_s = C_d - C_e = \log(1+SNR_d) - \log(1+SNR_e)$$

Dung lượng truyền tin mật (Secrecy Capacity) C_s được định nghĩa là:

$$C_s = \max(R_s) = \max(\log(1+SNR_d) - \log(1+SNR_e))$$

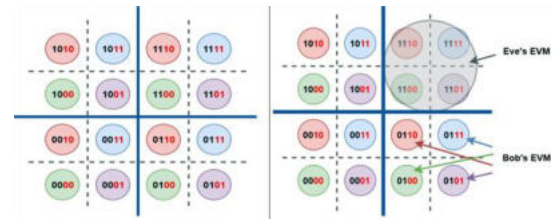
Trong đó: C_d và C_e là dung lượng kênh chính và dung lượng kênh nghe trộm; SNR_d và SNR_e là giá trị tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm (Signal to Noise Ratio) tại trạm thu hợp pháp và tại trạm nghe trộm.

Giá trị R_s có đơn vị là bits/symbol, tùy theo phương pháp điều chế và kỹ thuật truyền tin mà mỗi đơn vị tín hiệu (symbol) sẽ có các đặc trưng vật lý khác nhau. Trong thực tế thì một symbol sẽ chứa số bit nhiều hơn giá trị R_s , trong đó có các bit đóng vai trò điều khiển, phát hiện/sửa sai... Như vậy tốc độ truyền tin mật trong PLS được định nghĩa trên độ chênh lệch giữa dung lượng kênh hợp pháp và dung lượng kênh nghe trộm. Hay nói cách khác là nếu kênh hợp pháp tốt hơn kênh nghe trộm thì sẽ tồn tại một phương pháp mã kênh để có thể truyền được R_s bit thông tin mật trên một symbol. Theo đó, độ bất định hay độ mập mờ của người nghe trộm về R_s bit mật là bằng với độ bất định của nguồn tin mật mà không cần sử dụng thuật toán mật mã.

Trong lý thuyết truyền tin, các kỹ thuật truyền tin và phương pháp điều chế tín hiệu luôn được quan tâm để nâng cao chất lượng kênh truyền. Với PLS, các kỹ thuật và phương pháp này còn được nghiên cứu, ứng dụng vào bảo mật thông tin.

Bằng kỹ thuật truyền tin phù hợp để chất lượng kênh chính tốt hơn kênh thu trộm ($SNR_d > SNR_e$). Cụ thể, kênh chính cho phép sử dụng phương pháp điều chế biên độ cầu phương 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) như Hình 3, dung lượng của kênh chính khi này là $C_d = 4 \text{ bits/symbol}$.

Trong khi đó, do chất lượng kênh nghe trộm kém hơn, chỉ hỗ trợ phương pháp điều chế QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) với dung lượng kênh là $C_e = 2 \text{ bits/symbol}$.



Hình 3: Giản đồ sao và độ dài vector lỗi [3]

Dựa theo giá trị EVM (Error Vector Magnitude) – độ dài của vector lỗi như trên Hình 4, EVM của người nghe trộm (Eve's EVM) là độ rộng của cả góc phần tư nên giá trị SNR_e chỉ đủ để có thể giải điều chế cho phương pháp QPSK mà không thể giải điều chế cho phương pháp 16-QAM. EVM của người thu hợp pháp (Bob's EVM) là một góc nhỏ của góc phần tư nên giá trị SNR_d đủ lớn để giải điều chế 16-QAM.

Như vậy, dung lượng kênh chính là $C_d = 4 \text{ bits/symbol}$, tốc độ truyền tin mật là: $R_s = 2 \text{ bits/symbol}$. Trong đó, 02 bit thấp (bên phải) là các bit mang tin mật, 02 bit cao (bên trái) được thêm vào để bảo mật các bit mang tin. Độ bất định của người nghe trộm đối với 02 bit tin mật trong trường hợp trên là bằng với độ bất định của nguồn tin mật, do đó, theo quan điểm của Shannon đây là phương pháp bảo mật hoàn thiện (perfect secrecy).

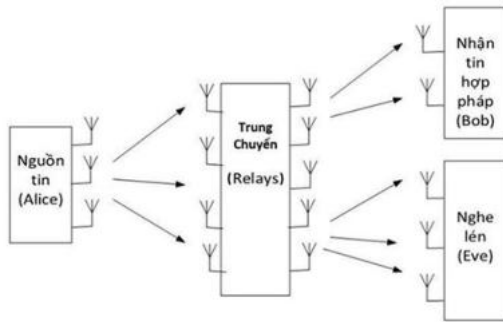
Tương tự, trong trường hợp kênh nghe trộm chỉ cho phép điều chế QPSK ($C_e = 2 \text{ bits/symbol}$) trong khi kênh chính cho phép điều chế 32-QAM ($C_d = 5 \text{ bits/symbol}$) thì $R_s = 3 \text{ bits/symbol}$.

2. Phương pháp bảo mật dữ liệu tầng vật lý không sử dụng thuật toán mật mã trong truyền tin không dây

2.1. Các xu hướng bảo mật tầng vật lý

Vấn đề bảo mật truyền tin tại tầng vật lý trong mạng không dây đang được nghiên cứu hiện nay tập trung trên kênh fading có sự hỗ trợ của các trạm trung chuyển (relays). Nói cách khác là ý tưởng của A. D. Wyner ngày càng trở nên hiện thực khi có sự hỗ trợ của hai phương pháp truyền tin chủ yếu là Relay và Cooperative. Khi đó vấn đề bảo mật theo lý thuyết thông tin vẫn được đảm bảo ngay cả khi kênh nghe trộm tốt hơn kênh chính. Các bài toán bảo mật truyền tin tầng vật lý được

nghiên cứu trong thời gian gần đây tập trung trên các mô hình hệ thống truyền tin sau.



Hình 4: Mô hình truyền tin Multiple-Input Multiple-Output Multiple-Eavesdropper

- Theo số lượng ăng ten phát (nguồn phát) và số lượng ăng ten thu của hệ thống truyền tin không dây thì các bài toán bảo mật truyền tin tăng vật lý được nghiên cứu trên các hệ thống như: Hệ thống truyền tin một đầu phát, một đầu thu – SISO (Single-Input Single-Output); Hệ thống truyền tin một đầu phát, nhiều đầu thu – SIMO (Single-Input Multiple-Output); và hệ thống truyền tin nhiều đầu phát, nhiều đầu thu - MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).

- Theo số lượng ăng ten thu trộm (số lượng người nghe trộm) trong hệ thống truyền tin không dây sẽ có các mô hình được nghiên cứu như: Hệ thống nhiều đầu phát, nhiều đầu thu có sự xuất hiện của một đầu nghe trộm - MIMOSE (MIMO Single-Eavesdropper) và hệ thống nhiều đầu phát, nhiều đầu thu có sự xuất hiện của nhiều đầu nghe trộm - MIMOME (MIMO Multiple-Eavesdropper), như Hình 4.

Các bài toán bảo mật truyền tin tăng vật lý ở trên đều đưa về các dạng bài toán tối ưu theo lý thuyết thông tin (information theory), với hai dạng hàm mục tiêu (objective function) và ràng buộc (constraint) chủ yếu là: (i) Tối đa hóa tốc độ truyền tin an toàn (secrecyrate) với ràng buộc về công suất phát (power). (ii) Tối thiểu hóa công suất phát với ràng buộc về tốc độ truyền tin an toàn.

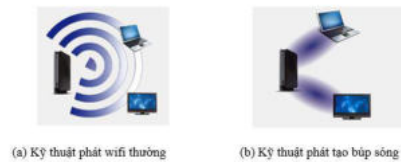
2.2. Đề xuất giải pháp ứng dụng bảo mật tầng vật lý trong truyền tin không dây

Để tăng cường bảo mật dữ liệu tăng vật lý, trong truyền tin không dây có thể đề xuất giải

pháp thay đổi tốc độ R_s giữ kênh thu hợp pháp và nghe trộm bằng kỹ thuật truyền theo búp sóng (beamforming) dựa trên kỹ thuật đa ăng ten như MISO (Multiple Input Single Output), SIMO (Single Input Multiple Output) hoặc MIMO (Multiple Input Multiple Output) đã hỗ trợ khả năng tăng khoảng cách về chất lượng kênh chính và kênh nghe trộm.

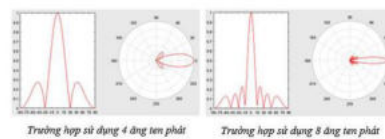
Kỹ thuật truyền búp sóng

Chuẩn phát sóng không dây WiFi thế hệ 802.11ac đã áp dụng kỹ thuật tạo búp sóng. Trên thực tế đó là một khái niệm, ý tưởng hết sức đơn giản, thay vì phát các tín hiệu sóng ra cả một khu vực rộng lớn với hy vọng rằng thiết bị nhận nằm trong khu vực đó và sẽ nhận được thì người ta đã thiết kế để các chùm sóng phát thẳng đến đích nhận



Hình 5: Truyền tin thông thường và truyền tin theo búp sóng

Kỹ thuật tạo búp sóng cho phép truyền búp sóng đến mục tiêu với hiệu suất tốt nhất, qua đó tiết kiệm được năng lượng và băng thông. Một ví dụ về đồ thị dạng búp sóng phát (beam pattern) ở góc không độ và biên độ chuẩn hoá với trường hợp sử dụng 4 ăng ten và 8 ăng ten như Hình 6. Theo đó, số lượng ăng ten càng lớn thì búp sóng càng hẹp, tương ứng là hiệu suất truyền tin càng cao.



Hình 6: Dạng búp sóng trong kỹ thuật truyền tin đa ăng ten

Bằng kỹ thuật truyền búp sóng, bên phát tính toán hướng búp sóng đến trạm thu hợp pháp sao cho sự chênh lệch về độ lợi kênh giữa kênh chính và kênh nghe trộm là cao nhất, qua đó sẽ nâng cao giá trị R_s .

3. Một số đặc điểm của PLS so với bảo mật dùng thuật toán mật mã

Một số đặc điểm khác nhau giữa bảo mật tầng vật lý và phương pháp bảo mật sử dụng mật mã được các tác giả D. Wang, B. Bai, W. Zhao, and Z. Han [2] tổng hợp như trong Bảng 1. Mặc dù các công nghệ bảo mật tầng vật lý chưa được hoàn thiện và chưa được ứng dụng nhiều trong thực tế, nhưng các đặc điểm được so sánh này mở ra xu hướng nghiên cứu cần được quan tâm.

Bảng 1. Bảo mật tầng vật lý so với bảo mật dùng thuật toán mã

Chỉ tiêu so sánh	Bảo mật dùng thuật toán mã hóa (mật mã - Cryptographic Encrytion)	Bảo mật tầng vật lý (Physical Layer Security)
Cơ sở lý thuyết	Dựa trên các thuật toán mật mã hóa	Theo lý thuyết truyền tin
Mức độ bảo mật	Có thể bị phá bởi thuật toán vét cạn khóa	Đạt mức độ hoàn thiện, không có giới hạn tính toán đối với trạm nghe trộm
Yêu cầu khả năng tính toán	Phụ thuộc khả năng tính toán (tốc độ xử lý)	Không phụ thuộc
Vấn đề quản lý khoa bảo mật	Chi phí cho tạo lập khoa, quản lý và phân phối khóa	Không cần khoa nên không có chi phí quản lý khóa
Tiêu chí đánh giá	Không thể đánh giá chính xác thông tin bị rò rỉ	Mức độ bí mật bằng độ mập mờ của nguồn tin thu trộm, không ước lượng chính xác trong thực tế
Khả năng thích ứng theo thay đổi kênh truyền	Ít có khả năng thích ứng	Điều chỉnh tham số và chiến lược truyền tin để

		thích ứng thay đổi kênh
Áp dụng thực tế	Được sử dụng rộng rãi và ngày càng phát triển hoàn thiện	Áp dụng cho mạng không dây ở giai đoạn đầu

4. Kết luận

Để bảo mật dữ liệu truyền tin người ta luôn ứng dụng các thuật toán mật mã ở tầng trên (tầng ứng dụng và trình diễn dữ liệu trong mô hình OSI), với các thuật ngữ thông dụng như hệ mật khóa đối xứng (khóa bí mật), hệ mật khóa bất đối xứng (khóa công khai); các thuật toán mật mã như 3DES, AES, GOST,... bên cạnh đó là các thuật toán sinh khóa và trao đổi khóa (thỏa thuận khóa). Mặc dù hiện nay phương pháp mã hóa bảo mật ở trên vẫn đang đáp ứng tốt nhu cầu bảo mật thông tin, nhưng vẫn có những rủi ro nhất định, vì độ bảo mật được dựa trên độ phức tạp tính toán của bài toán giải mã khi không có khóa hay độ phức tạp tính toán của các phương pháp tấn công.

Khả năng bảo mật của hệ mật mã có thể bị phá vỡ khi máy tính lượng tử thực sự được đưa vào ứng dụng. Do vậy, giải quyết bài toán bảo mật truyền tin tại tầng vật lý là hướng đi cần được quan tâm trong thời điểm hiện nay cũng như trong thời gian tới. Bảo mật dữ liệu tầng vật lý không sử dụng thuật toán mã trong truyền tin không dây có thể được ứng dụng trong một hệ thống tin an toàn độc lập mà không cần có giải pháp mật mã truyền thống, khi đó các thông báo bí mật sẽ được truyền với tốc độ bảo mật Rs. Bảo mật tầng vật lý cũng có thể được dùng kết hợp với các phương pháp bảo mật bằng mật mã truyền thống, khi đó bảo mật tầng vật lý có thể sử dụng để truyền khóa bí mật cho các thuật toán mật mã. Cũng có thể thiết lập song song cả bảo mật tầng vật lý với mật mã truyền thống để tăng mức độ bảo mật.

Tài liệu tham khảo

- A. D. Wyner (1975), The Wire-Tap Channel, *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 54, no. 8, pp. 1355–1387, Oct. 1975, doi: 10.1002/j.1538-7305.1975.tb02040.x

D. Wang, B. Bai, W. Zhao, and Z. Han (2019), A Survey of Optimization Approaches for Wireless Physical Layer Security, *ArXiv190107955 Cs Math, Jan. 2019, Accessed: Feb. 15, 2020. [Online]*

A. Mukherjee, S. A. A. Fakoorian, J. Huang, and A. L. Swindlehurst (2014), Principles of Physical Layer Security in Multiuser Wireless Networks: A Survey, *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 16, no. 3, pp. 1550–1573, 2014, doi: 10.1109/SURV.2014.012314.00178.

CẦN TRỰC XẾP KHO TỰ ĐỘNG - NHỮNG KHÁC BIỆT VÀ LƯU Ý TRONG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

Nguyễn Văn Tịnh *

*Khoa Cơ khí, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội;
Email: tinhnv@huce.edu.vn*

TÓM TẮT

Cần trục xếp kho tự động là thiết bị không thể thiếu trong hệ thống logistics kho bãi. Cần trục đã được nghiên cứu phát triển khá lâu trên thế giới. Tuy nhiên, trong nước mới chỉ quan tâm đến nó trong ít năm gần đây. Các tài liệu kỹ thuật hướng dẫn tính toán thiết kế cần trục xếp kho tự động chưa đầy đủ. Bài viết này nêu rõ các đặc tính, hướng dẫn các tính toán và phân tích các điểm khác biệt (so với cần trục thông thường) cần lưu ý trong quá trình tính toán thiết kế cần trục xếp kho. Đây sẽ là cơ sở khoa học trong việc tính toán thiết kế, kiểm định an toàn và chế tạo cần trục xếp kho, hướng tới nội địa hóa tối đa sản phẩm cơ khí trong hệ thống kho bãi tự động. Miên thông số làm việc của cần trục xếp kho thông dụng, các sai lệch cho phép và giới hạn chuyển vị các vị trí quan trọng của kết cấu thép cần trục đã được đưa ra. Dựa trên nghiên cứu này, một cần trục xếp kho với tải trọng nâng 200 kg đã được tính toán thiết kế.

Từ khóa: Cần trục xếp kho; Cơ cấu nâng; Cơ cấu di chuyển; Hệ thống logistics; Hệ thống kho bãi tự động.

1. Mở đầu

Vai trò quan trọng của ngành dịch vụ logistics trong nền kinh tế quốc dân đã được khẳng định thông qua Quyết định số 200/QĐ-TTg, ngày 14 tháng 02 năm 2017 của Thủ tướng Chính phủ về việc phê duyệt Kế hoạch hành động nâng cao năng lực cạnh tranh và phát triển dịch vụ logistics Việt Nam đến năm 2025. Quyết định này tiếp tục được sửa đổi, bổ sung bằng Quyết định số 221/QĐ-TTg, ngày 22 tháng 02 năm 2021 của Thủ tướng Chính phủ ở các điểm như chỉ tiêu cụ thể về tỷ trọng đóng góp của dịch vụ logistics vào GDP, tốc độ tăng trưởng dịch vụ logistics, ...; lộ trình thực hiện và 6 nhóm nhiệm vụ chính mà các Bộ, ngành, địa phương, Hiệp hội cần thực hiện để đạt được mục tiêu đề ra. Như vậy, có thể thấy ngành logistics

đang rất được Nhà nước quan tâm để phát triển toàn diện, đồng bộ và bền vững.

Việc phát triển ngành logistics đi đôi với sự phát triển mạnh mẽ của các hệ thống kho bãi để lưu trữ trung chuyển. Cần trục xếp kho là thiết bị quan trọng, không thể thiếu, phục vụ trong hệ thống kho bãi tự động. Thiết bị làm việc hoàn toàn tự động, an toàn, tin cậy và hiệu quả, giúp quá trình xếp dỡ, vận chuyển luôn đảm bảo đúng kế hoạch, giảm rủi ro do các yếu tố liên quan đến con người gây ra trong quá trình vận hành. Từ đó, năng suất lao động được nâng cao, giảm giá thành sản phẩm và tạo năng lực cạnh tranh tốt. Cần trục xếp kho được phát triển ở CHLB Đức vào đầu những năm 1960. Đến giữa những năm 1970, cần trục xếp kho tự động được triển khai trên khắp thế giới và được chế tạo bởi nhiều nhà sản xuất thiết

bị (Dambach, 2021). Ngày nay, cần trục xếp kho được phát triển với nhiều loại khác nhau. Các nghiên cứu trên thế giới tập trung vào việc thiết lập mô hình động lực học chính xác để khảo sát rung động (Hajdu và nnk., 2016.a), làm giảm rung động thông qua thay thế vật liệu mới cho cột bằng loại composite có hệ số giảm chấn cao (Zhakov, 2016), điều khiển để giảm thiểu rung động (Rams và nnk., 2017; Sasaki và nnk., 2007; Sasaki và nnk., 2009, Hajdu và nnk., 2016.b) và xem xét đến yếu tố tiết kiệm năng lượng cung cấp như nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hoạt động cần trục đến năng lượng để từ đó tối ưu nguồn năng lượng (Schulz và nnk., 2012), tiết kiệm năng lượng bằng cách thu hồi năng lượng dư thừa (Siemens, 2023). Tuy nhiên, ở trong nước thiết bị này mới chỉ được quan tâm trong một số năm gần đây. Tài liệu phục vụ tính toán thiết kế thiết bị này rất hạn chế và mới chỉ dừng lại ở mức giới thiệu chung. Bài viết này trình bày cơ sở khoa học cho việc tính toán thiết kế cần trục xếp kho tự động và những lưu ý đặc biệt liên quan đến vấn đề an toàn, phân tích những điểm khác biệt so với các loại cần trục thông thường. Đây sẽ là tài liệu tham khảo bổ ích cho kỹ sư thiết kế để làm chủ về thiết kế, công nghệ chế tạo, vận hành cần trục xếp kho tự động nói riêng, cũng như hệ thống xếp kho tự động nói chung.

2. Đặc điểm làm việc

2.1. Chế độ làm việc

Chế độ làm việc của cần trục xếp kho được phân loại dựa theo thời gian vận hành và phổ tải (FEM9.512, 1997). Thời gian vận hành gồm năm cấp độ như trong Bảng 1. Hệ số tải trọng trung bình k của cơ cấu nâng xác định theo công thức (1) đặc trưng cho phổ tải. Tùy thuộc vào giá trị của k mà phổ tải phân thành ba cấp như trong Bảng 2.

Bảng 1. Phân cấp thời gian hoạt động

Cấp	Số giờ làm việc/ngày	Tổng thời gian vận hành tính toán (giờ)
V1	≤ 2	3200
V2	≤ 4	6300
V3	≤ 8	12500
V4	≤ 16	25000
V5	> 16	50000

Hệ số tải trung bình trong quá trình làm việc của cơ cấu nâng (FEM9.512, 1997)

$$k = \sqrt[3]{\sum ((\beta_i + \gamma)^3 t_i + \gamma^3 t_\Delta)} \quad (1)$$

Trong đó: β_i là tỷ số giữa tải trọng nâng và tổng của tải trọng nâng và bàn nâng, γ là tỷ số giữa tải trọng bàn nâng và tổng của tải trọng nâng và bàn nâng, t_i là tỷ số giữa thời gian hoạt động có tải và tổng thời gian hoạt động, t_Δ là tỷ số giữa thời gian hoạt động không tải và tổng thời gian hoạt động.

Bảng 2. Cấp phổ tải

Cấp phổ tải	k
L2 (trung bình)	$0,5 < k \leq 0,63$
L3 (nặng)	$0,63 < k \leq 0,8$
L4 (rất nặng)	$0,8 < k \leq 1$

Bảng 3. Phân cấp của cơ cấu nâng và di chuyển

Phổ tải	Giá trị k	Cấp thời gian hoạt động				
		V1	V2	V3	V4	V5
		Thời gian hoạt động trong ngày (h)				
		≤ 2	≤ 4	≤ 8	≤ 16	> 16
L2	$0,5 < k \leq 0,63$			3_m	4_m	5_m
L3	$0,63 < k \leq 0,8$		3_m	4_m	5_m	
L4	$0,8 < k \leq 1$	3_m	4_m	5_m		

Hệ số tải trung bình trong quá trình làm việc của cơ cấu di chuyển (FEM9.512, 1997)

$$k = k_1 \cdot k_2 \quad (2)$$

với

$$k_1 = \sqrt[3]{\sum ((\beta_{Fi} + \gamma_F)^3 t_{Fi} + \gamma_F^3 t_{F\Delta})} \quad (3)$$

và

$$k_2 = \sqrt[3]{\alpha_1^3 t_b + \alpha_2^3 t_{F\Delta 2}} \quad (4)$$

Trong đó: β_{Fi} là tỷ số giữa tải trọng nâng và tổng của tải trọng nâng và tải trọng bản thân máy, γ_F là tỷ số giữa tải trọng bản thân của máy và tổng của tải trọng nâng và tải trọng bản thân máy, t_{Fi} là tỷ số giữa thời gian hoạt động có tải và tổng thời gian hoạt động, $t_{F\Delta}$ là tỷ số giữa thời gian hoạt động không tải và tổng thời gian hoạt động, α_1 là tỷ số giữa tải trọng trong quá trình gia tốc và tổng của tải trọng trong quá trình gia tốc và tải trọng quá trình

chuyển động ổn định, α_2 là tỷ số giữa tải trong quá trình chuyển động ổn định và tổng của tải trong quá trình gia tốc và tải trong quá trình chuyển động ổn định, t_b là tỷ số giữa thời gian chuyển động không ổn định với tổng thời gian chuyển động, $t_{F\Delta 2}$ là tỷ số giữa thời gian chuyển động ổn định với tổng thời gian chuyển động.

Kết hợp cấp thời gian hoạt động và cấp phổ tải, chế độ của cơ cấu được phân cấp như trong Bảng 3.

2.2. Thông số chính của cần trục xếp kho

Thông số chính của cần trục xếp kho thông thường được liệt kê theo sau đây (giá trị trong ngoặc đơn là giá trị giới hạn có thể đạt đến):

Tải trọng nâng: 0,2 tấn ÷ 10 tấn (có loại tải nâng chỉ khoảng vài chục kg và lớn đến 40 tấn);

Chiều cao nâng: 4 m ÷ 50 m;

Chiều rộng lối đi: 0,9 m ÷ 1,8 m (3,5 m);

Tốc độ nâng: 16 m/ph ÷ 80 m/ph (240 m/ph);

Tốc độ di chuyển cần trục: 30 m/ph ÷ 180 m/ph (360 m/ph);

Gia tốc lớn nhất cho cả cơ cấu nâng và cơ cấu di chuyển: 2 m/s² (4 m/s²);

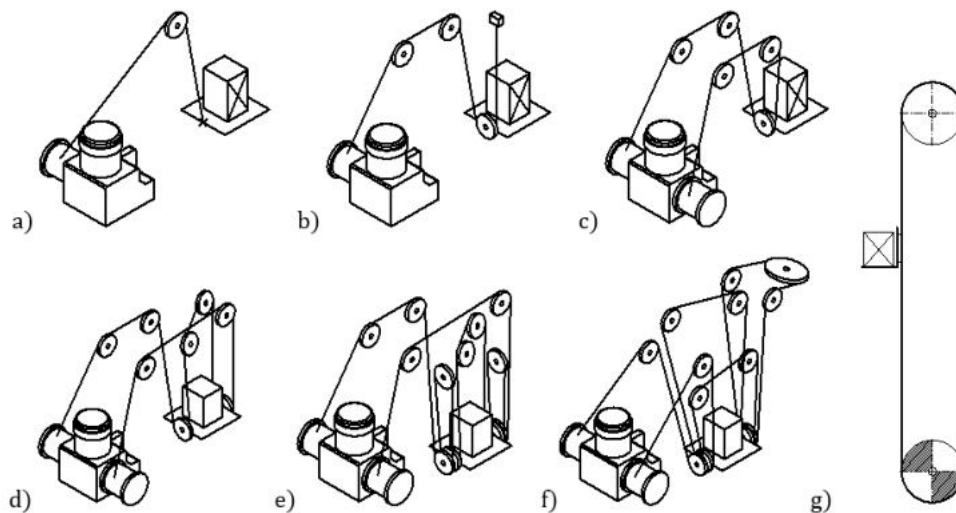
Sai lệch vị trí đối với cơ cấu di chuyển: ± 5 mm, đối với cơ cấu nâng và dẫn động càn: ± 3 mm, đối với kệ/giá đỡ hàng: ± 2 mm.

3. Tính toán thiết kế các cơ cấu

3.1 Cơ cấu nâng

Bàn nâng được dẫn động thông qua truyền động cáp hoặc dây đai. Trên Hình 1 là sơ đồ các phương án dẫn động nâng hạ bàn nâng. Các phương án dẫn động bằng cáp thép cuốn lên tang và các puly cân bằng, puly đối hướng như trong các Hình 1.a-f. Phương án Hình 1.a-c phù hợp với loại cần trục xếp kho một cột, Hình 1.d-f phù hợp với loại cần trục xếp kho hai cột. Trong Hình 1.g, bàn nâng được dẫn động nhờ truyền động ma sát giữa cáp thép hoặc dây đai với tang/bánh ma sát ở phía chân cột. Phương án này thường sử dụng cho loại cần trục xếp kho một cột và tải nâng nhỏ.

Tính toán thiết kế cơ cấu nâng cho loại cần trục này theo hướng dẫn trong các tài liệu chuyên ngành và tài liệu (TCVN 4244-2005, 2005). Ngoài ra, cần lưu ý các vấn đề liên quan đến tốc độ, gia tốc nâng hạ lớn và sự làm việc đồng đều của các nhánh cáp treo bàn nâng để giảm lực cản ma sát, tránh kẹt bàn nâng với ray và tăng tuổi thọ của cáp thép cũng như cơ cấu.



Hình 1. Sơ đồ các phương án dẫn động bàn nâng

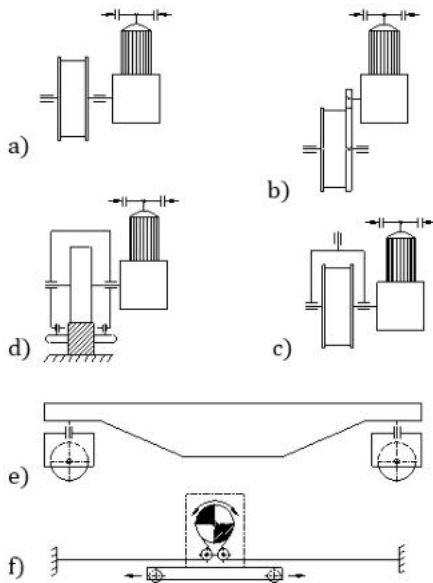
Tính công suất động cơ dẫn động cơ cấu cần lưu ý kể đến ảnh hưởng lớn của lực quán tính, cụ thể như sau:

$$N_H = \frac{(Q + q + \sum F_{ms} + F_{qtn})v_H}{1000\eta}, kW \quad (5)$$

Trong đó: Q là trọng lượng của hàng, (N); q là trọng lượng bản nâng, (N); $\sum F_{ms}$ là tổng lực ma sát cản theo phương chuyển động, (N); F_{qtn} là lực quán tính nâng, (N); η là hiệu suất truyền động; v_H là vận tốc nâng hàng, (m/s).

3.2 Cơ cấu di chuyển

Cơ cấu di chuyển của cần trục xếp kho là loại bánh xe bằng thép di chuyển trên ray cố định. Trên Hình 2 là các phương án dẫn động cơ cấu di chuyển. Mỗi động cơ liền hộp giảm tốc (có phanh ở đuôi động cơ) dẫn động một cụm bánh xe di chuyển (thường là dẫn động riêng khi vận tốc và gia tốc lớn), bánh xe có thể có gờ (Hình 2.a-c) hoặc không có gờ kết hợp với các bánh tỳ bên (Hình 2.d).



Hình 2. Các phương án dẫn động cơ cấu di chuyển

Tùy theo yêu cầu cụ thể mà có thể bố trí thêm cả các bánh tỳ bên dưới chống lật cần trục. Với phương án sử dụng bánh xe có gờ, thường có khe hở giữa gờ bánh xe và ray nên chỉ sử dụng khi tốc độ di chuyển chậm và không yêu cầu cao về độ chính xác. Đối với loại cần trục xếp kho phục vụ

cho nhiều dãy hàng nên cần di chuyển trên các đoạn ray cong để chuyển sang các dãy hàng khác nhau thì cụm bánh xe phải có khả năng quay vòng trong mặt phẳng ngang. Các cụm bánh xe liên kết với dầm ngang di chuyển thông qua một khớp bản lề hoặc gối quay (Hình 2.c,e).

Vấn đề về vận tốc, gia tốc và chiều cao cột lớn cũng cần được lưu ý trong tính toán thiết kế cơ cấu di chuyển. Ngoài các tính toán như tính toán các cơ cấu cần trục thông thường đã được chỉ dẫn trong các tài liệu chuyên ngành, ở cần trục này phải kiểm tra thêm điều kiện chống quay trơn đối với bánh xe có áp lực lên ray nhỏ hơn như sau:

$$F_{pd} \leq \mu R_{min} \quad (6)$$

Trong đó: F_{pd} là lực phát động từ động cơ, (N); R_{min} là phản lực nhỏ nhất của ray lên bánh xe (khi tính toán R_{min} cần kể đến cả ảnh hưởng của hệ số động ngang S_W), (N) và μ là hệ số ma sát. Giá trị lớn nhất của hệ số ma sát ở đây lấy theo (FEM9.311, 1978), $\mu_{max} = 0,2$.

Để đảm bảo điều kiện (6) cũng như các điều kiện về bám khác, các kích thước như chiều cao cột, khoảng cách các bánh xe; các thông số về vận tốc và gia tốc; bố trí thiết bị trên cần trục hợp lý và tăng cường khối lượng ở dầm ngang di chuyển cần được xem xét điều chỉnh thích hợp. Thực tế, giải pháp khắc phục được nhược điểm do vấn đề không thỏa mãn điều kiện bám đó là phương án dẫn động trong Hình 2.f. Sử dụng truyền động bằng ma sát dây đai với tang ma sát. Tuy nhiên, giải pháp này chỉ thích hợp với loại cần trục xếp kho, di chuyển trên một ray để phục vụ cho hai dãy hàng hai bên ray.

4. Tính toán thiết kế kết cấu thép

4.1. Tải trọng và tổ hợp tải trọng

Các tải trọng chính gồm trọng lượng bản thân G , tải trọng nâng Q , lực quán tính (theo phương đứng, phương ngang F_{qt} , quán tính ly tâm khi cần trục đi vào đoạn ray cong F_Z) và lực sinh ra trong quá trình chuyển/nhận tải F_L . Các tải bổ sung khác gồm tải sinh ra do sự xô lệch giữa ray và các cụm bánh xe F_S , tải do nhiệt độ, các tải trên sàn thao tác, tay vịn,... (nếu có). Với sự thay đổi nhiệt độ môi trường như ở nước ta thì tải sinh ra do nhiệt độ có thể bỏ qua khi tính toán cho loại cần

trục xếp kho thông thường. Các tải trọng đặc biệt gồm tải sinh ra do va đập với giảm chấn ở cuối hành trình F_p , thử tải F_{Pr} và tải sinh ra do phanh dừng khẩn cấp.

Khi tâm đường ray tạo với tâm của hai bánh xe di chuyển một góc α thì trong quá trình chuyển động, một bánh tỳ bên hoặc gờ bánh xe sẽ chịu một lực ngang F_S được xác định bằng công thức sau đây (FEM9.311, 1978).

$$F_S = f \cdot R \quad (7)$$

với

$$f = 0,3(1 - e^{-0,25\alpha}) \quad (8)$$

Trong đó: R là phản lực thẳng đứng lên bánh xe di chuyển do trọng lượng bản thân của cần trục và tải nâng gây ra tại vị trí xô lệch, (N) và α là góc lệch, ($^{\circ}/_{00}$).

Các tổ hợp tải trọng sau cần xem xét khi tính toán thiết kế kết cấu thép (DIN 15350, 1992):

$$\varphi G + \psi(Q + q) + F_{qt}S_W + F_Z S_W \quad (9)$$

$$\varphi G + \psi(Q + q) + F_L S_W \quad (10)$$

$$\varphi G + \psi(Q + q) + F_S \quad (11)$$

$$G + Q + F_p S_p \quad (12)$$

$$\varphi G + F_{qt} S_W + \frac{1 + \psi}{2} F_{Pr} \quad (13)$$

$$G + F_{qt} + F_Z + \psi_{Fa}(Q + q) \quad (14)$$

Hệ số φ phụ thuộc vào vận tốc di chuyển và đường ray được tra theo Bảng 4. Hệ số ψ phụ thuộc vào thông số tốc độ và gia tốc của cơ cấu nâng được xác định theo Bảng 5. Hệ số động ngang S_W , hệ số động do va đập giảm chấn S_p , hệ số động do phanh dừng khẩn cấp ψ_{Fa} có thể tìm thấy trong (DIN 15350, 1992).

Bảng 4. Xác định hệ số φ

Vận tốc di chuyển cần trục v_f (m/ph), với đường chạy:		Hệ số φ
Có các mối nối	Không có mối nối	
Đến 63	Đến 100	1,1
Trên 63 ÷ 125	Trên 100 ÷ 200	1,2
Trên 125	Trên 200	1,3

Bảng 5. Xác định hệ số ψ

Cấp nâng	Hệ số ψ (với v_H , m/ph)	Gia tốc nâng trung bình ¹ $\pm a_m$
H1	$1,1 + 0,0022v_H$	$\leq 0,6 \text{ m/s}^2$
H2	$1,2 + 0,0044v_H$	$\leq 1,3 \text{ m/s}^2$
H3	$1,3 + 0,0066v_H$	$> 1,3 \text{ m/s}^2$

¹⁾ Gia tốc lớn nhất bằng $1,3 \text{ m/s}^2$ nếu có người trên bàn nâng trong quá trình nâng hạ.

4.2. Kiểm tra bền, ổn định và chuyển vị

Tính toán kiểm tra bền tương tự như tính toán kiểm tra các cần trục thông thường.

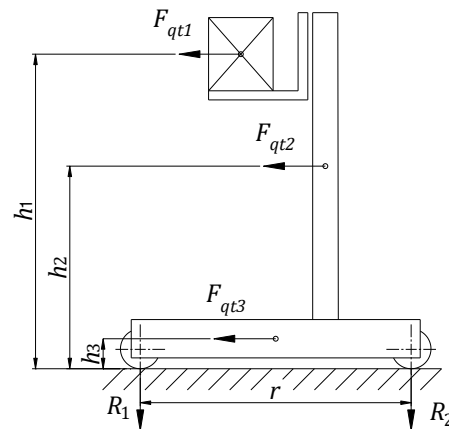
Kiểm tra ổn định thông qua hệ số ổn định k_{od} ứng với trường hợp bất lợi nhất (FEM9.311, 1978; EN 528:2021, 2021)

$$k_{od} = \frac{M_{od}}{M_{lat}} \quad (15)$$

Trong đó: M_{od} là mô men ổn định, (Nm) và M_{lat} là mô men gây lật (Nm).

Trên Hình 3 thể hiện các thông số để xác định hệ số ổn định. Công thức (15) được chi tiết hóa thành

$$k_{od} = \frac{R \cdot r}{2F_{qt1}h_1 + 2F_{qt2}h_2 + F_{qt3}h_3} \quad (16)$$

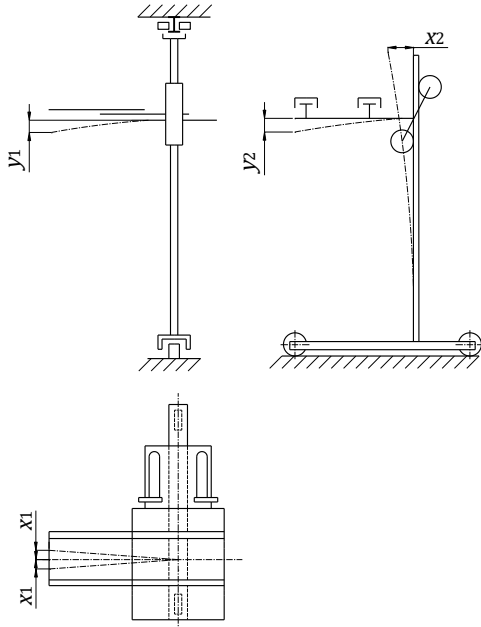


Hình 3. Các thông số xác định hệ số ổn định

Trong đó: F_{qt1} , F_{qt2} , F_{qt3} là lực quán tính tương ứng của hàng và giá nâng, cột và dầm ngang di chuyển (bao gồm cả cơ cấu di chuyển và các bộ phận lắp trên nó), (N); h_1 , h_2 , h_3 là các cánh tay đòn tương ứng với các lực quán tính

trên, (N); R là phản lực trên một bánh xe do trọng lượng bản thân của cần trục và tải nâng gây ra, (N); r là khoảng cách hai bánh xe, (m).

Điều kiện ổn định khi cần trục làm việc thông thường là $k_{od} \geq 1,5$ và trường hợp khẩn cấp (dừng khẩn cấp hoặc mất điện) là $k_{od} \geq 1,1$.



Hình 4. Các vị trí cần xem xét độ lệch của cần trục xếp kho

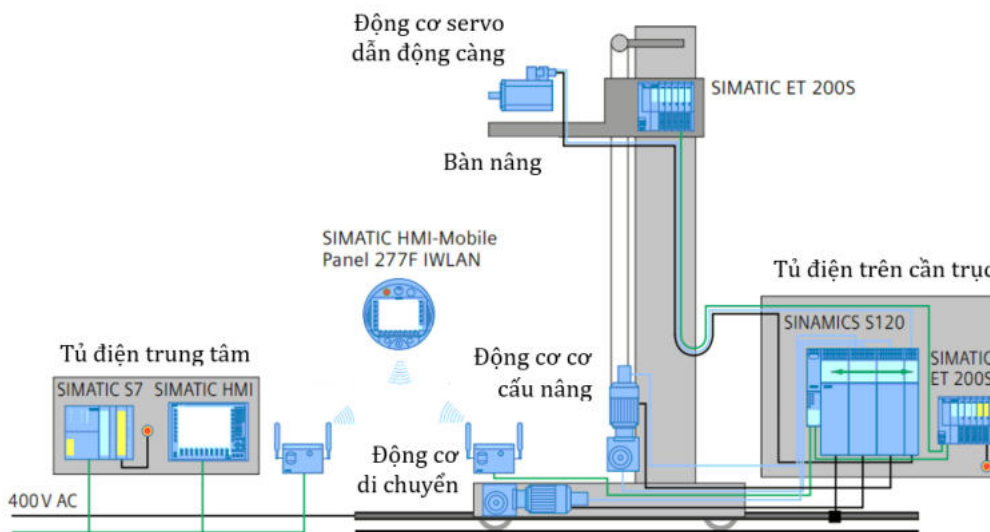
Trường hợp điều kiện ổn định trên không đảm bảo hoặc cần tăng cường an toàn chống lật cho cần trục thì có thể bố trí các con lăn tỳ bên dưới ray.

Các chuyển vị lớn trên cần trục xếp kho thể hiện trong Hình 4, gồm: chuyển vị ngang của càng nâng sang hai bên x_1 , chuyển vị ngang của đỉnh cột x_2 , chuyển vị đứng ứng với càng mở rộng y_1 , chuyển vị đứng ứng với càng rút lại y_2 . Giá trị các chuyển vị cần đảm bảo như sau:

$$\begin{aligned} x_1 &< 5 \text{ mm}, \\ y_{1\max} &= 30 \div 40 \text{ mm (khi } y_2 = 10 \text{ mm)}, \\ y_2 &< 10 \text{ mm}. \end{aligned}$$

5. Hệ thống điện và điều khiển

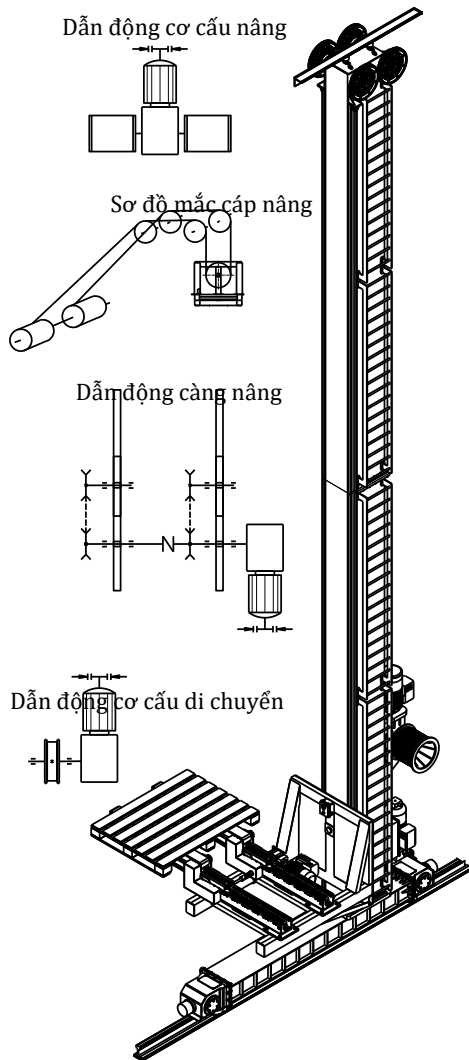
Hệ thống điện và điều khiển có nguyên lý làm việc như trên Hình 5. Khác biệt với các cần trục thông thường, hệ thống điều khiển của cần trục xếp kho cần phải đảm bảo điều khiển để mang hàng đến các vị trí định trước một cách chính xác. Để có thể biết được vị trí của bàn nâng, trên các thanh đỡ hàng ngang và thanh đứng của kho hàng có in các mã vạch xác định vị trí chính xác của từng điểm mã đó, các cảm biến đọc mã vạch trên bàn nâng và cần trục phải đọc được các mã vạch trong quá trình nâng hạ, di chuyển.



Hình 5. Nguyên lý hệ thống điện và điều khiển (Siemens, 2023)

Cần trục và bàn nâng cần phải dừng chính xác đến vị trí mong muốn, đây không chỉ là yêu cầu đối với hệ thống điện và điều khiển mà hệ thống cơ khí, kết cấu thép của cần trục xếp kho cũng phải đáp ứng theo. Tùy theo, yêu cầu hàm mục tiêu mà thuật toán điều khiển có thể hướng tới xuất và nhập hàng vào kho theo thời gian lưu trữ hàng, theo thứ tự vị trí cao - thấp, gần - xa, ...

6. Kết luận



Hình 6. Hình chung cần trục xếp kho thiết kế

Phát triển ngành logistics đi đôi với phát triển hệ thống kho bãi. Cần trục xếp kho tự động là thiết bị không thể thiếu phục vụ cho quá trình logistics trong kho. Để giảm nhập khẩu và nội địa hóa tối đa thiết bị cơ khí trong hệ thống, cần trục xếp kho tự

động hoàn toàn có thể thiết kế, chế tạo và thương mại hóa trong nước. Bài viết này tổng hợp các tính toán cần thiết phải xem xét trong quá trình thiết kế cần trục xếp kho. Các lưu ý và điểm khác biệt trong tính toán thiết kế, đặc điểm vận hành và các yêu cầu cần đảm bảo đối với cần trục xếp kho tự động cũng đã được trình bày. Các vấn đề liên quan cần lưu ý xem xét gồm:

- Vận tốc và gia tốc di chuyển, nâng hạ lớn;
- Ổn định lật đổ và độ cứng vững của kết cấu;
- Điều khiển chính xác vị trí;
- Tích hợp nhiều tính năng tự động hóa và lưu trữ dữ liệu.

Ngoài ra, các yêu cầu an toàn khác cũng cần đáp ứng theo EN 528:2021. Áp dụng nghiên cứu này, một cần trục xếp kho với tải nâng 200 kg đã được thiết kế như trong Hình 6. Các hướng nghiên cứu tiếp theo là nghiên cứu công nghệ chế tạo phù hợp với điều kiện trong nước, nghiên cứu làm giảm rung động, tiết kiệm năng lượng và điều khiển tối ưu thời gian xuất và nhập kho.

Tài liệu tham khảo

- Zhakov A, Schmidt T, Dannemann M, Modler N (2016). Vibration damping of lift masts of rack service cranes using composite materials with fibrous or textile reinforcement. *Logistics Journal : Proceedings*, Vol. 2016.
- Dambach Lagersysteme GmbH & Co. KG (2021). Why stacker crane replacement could be the right choice. <https://www.dambach-lagersysteme.de/en/company/news/detail/why-stacker-crane-replacement-could-be-the-right-choice>.
- DIN 15350:1992. Regalbediengeräte - Grundsätze für Stahltragwerke - Berechnungen.
- EN 528:2021 (2021). Rail dependent storage and retrieval equipment – Safety requirements for S/R machines.
- FEM9.512 (1997). Rules for the Design of Storage and Retrieval Machines Mechanisms.
- FEM9.311 (1978). Rules for the Design of Storage and Retrieval Machines Structures.
- Sándor Hajdu, Péter Gáspár (2016.a). Multi-body modelling of single-mast stacker cranes. *Int. J. Engineering Systems Modelling and Simulation*, 8(3):218-226.

- Sándor Hajdu, Péter Gáspár (2016.b). Reducing the mast vibration of single-mast stacker cranes by gain-scheduled control. *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 26(4):791-802.
- Hubert Rams, Markus Schöberl, Kurt Schlacher (2017). Optimal Motion Planning and Energy-Based Control of a Single Mast Stacker Crane. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1-9.
- Minoru Sasaki, Toshimi Shimizu, Koji Ikai, and Satoshi Ito (2007). Stabilized Controller Design for a Flexible Stacker Crane. *SICE Annual Conference 2007*, Kagawa University, Japan.
- Minoru Sasaki, Takahiro Murota, Jun Usui, and Satoshi Ito (2009). Identification and Feed Forward Control of a Flexible Stacker Crane. *Proc. of SPIE*, Gwangju, Korea.
- Siemens Aktiengesellschaft (2023). Storage and retrieval machines. <https://www.siemens.com/global/en/industries/intralogistics/storage-and-retrieval-machine.html>.
- Robert Schulz, Jörg Monecke, Hartmut Zadek (2012). The Influence of Kinematic Parameters on the Energy Need of a Storage and Retrieval Vehicle. *Logistics Journal: Proceedings*, Vol. 2012.
- TCVN 4244-2005 (2005). Thiết bị nâng. Thiết kế, chế tạo và kiểm tra kỹ thuật.

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐÚC LY TÂM CHẾ TẠO QUẠT HƯỚNG TRỰC VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CHẾ TẠO ĐẾN ĐẶC TÍNH KHÍ ĐỘNG LỰC HỌC QUẠT THU ĐƯỢC

Đặng Vũ Đình*

Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Công nghệ đúc ly tâm được phát triển từ những năm 1950 và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Hiện nay, có hai phương pháp chế tạo bởi phương pháp này: Phương pháp đúc ly tâm thông thường và phương pháp đúc ly tâm phản ứng. Trong nghiên cứu này trình bày phương pháp chế tạo cánh quạt hướng trục bằng phương pháp đúc ly tâm thông thường để tạo ra các cánh quạt dày và rỗng. Quạt này được ứng dụng trong lĩnh vực quạt làm mát ô tô. Với phương pháp này có thể giảm chi phí và sản xuất tương đối dễ dàng. Ngoài ra, các đặc tính rỗng của cánh quạt mang lại cho quạt nhiều lợi thế, đặc biệt là trong điều khiển chủ động dòng tổn thất tại vị trí biên cánh quạt với vỏ hộp và khả năng hấp thụ âm thanh. Các thông số của quá trình chế tạo được đề cập trong nghiên cứu bao gồm khối lượng ban đầu của bột polyetylen, nhiệt độ và thời gian gia nhiệt trong lò. Ta thấy rằng chất lượng trạng thái bề mặt, thông số kích thước cánh quạt nhận được, cơ tính (tính chất lý hóa) có ảnh hưởng đến chất lượng và hiệu suất quạt thu được. Trong nghiên cứu này, vật liệu được sử dụng đại diện cho một loại polyetylen tuyến tính mật độ thấp (LLDPE-3200). Phương pháp scan 3D được sử dụng để xác định thông số kích thước hình học của các quạt thu được. Hiệu suất khí động lực học được xác định trên bệ thử nghiệm theo tiêu chuẩn ISO 5801. Kết quả cho thấy cần phải có sự lựa chọn phù hợp các thông số trong quá trình chế tạo để đạt được chất lượng và hiệu suất cơ khí mong muốn.

Từ khóa: Đúc ly tâm, quạt cánh rỗng, động lực học, polyetylen (LLDPE)

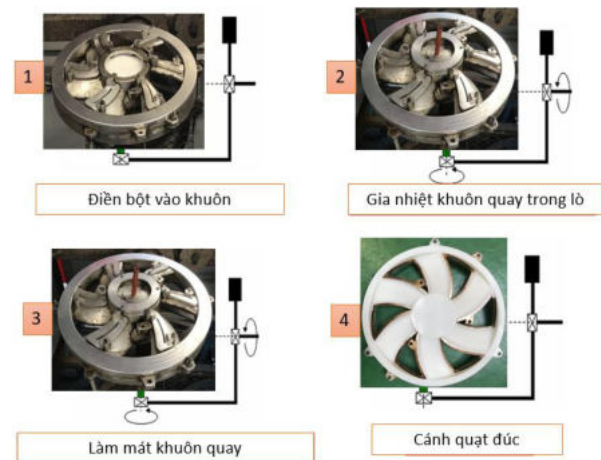
1. Mở đầu

Hiện nay, ngày càng có nhiều nghiên cứu, ứng dụng, cải tiến công nghệ: nghiên cứu thiết kế, cải thiện hiệu suất của cánh quạt rỗng đạt được bằng cách đúc ly tâm [1] và tối ưu hóa quy trình đúc này đã được xem xét [2]. Crawford và cộng sự [3,4] đã nghiên cứu phương pháp làm nguội và điều chỉnh áp suất bên trong khuôn để giảm sự co ngót của sản phẩm đúc, tăng độ láng mịn bề mặt sản phẩm. Về cơ bản, công nghệ đúc ly tâm thông thường chỉ phù hợp với các chi tiết đơn giản, không có nhiều góc cạnh, không gian bên trong khuôn lớn... Tuy nhiên, với các chi tiết có cấu trúc phức tạp là một thách thức, hạn chế. Các nghiên cứu ứng dụng liên quan đến lĩnh vực ô tô, đặc biệt là quạt làm mát ô tô trong thời gian gần đây [5,6]. Thông thường, quạt hướng trục cho phép dùng các cánh quạt mỏng, được chế tạo bởi phương pháp ép phun. Nhưng để có thể chế tạo quạt bằng phương pháp đúc ly tâm, độ dày của cánh quạt phải tương đối lớn. Việc tăng độ dày của cánh quạt cũng là một yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất và áp suất của quạt [7, 8]. Các nghiên cứu sử dụng công nghệ đúc ly tâm để tạo ra các phiên bản quạt hướng trục, ứng dụng trong lĩnh vực quạt làm mát ô tô để cải thiện hiệu suất, tiếng ồn [9,10]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chưa đề cập sâu đến vấn đề ảnh hưởng các thông số chế tạo đến chất lượng và hiệu quả làm việc của quạt nhận được. Trong quá trình đúc ly tâm có rất nhiều yếu tố quan trọng có thể ảnh hưởng đến chất lượng của sản phẩm đúc: loại vật liệu, khối lượng vật liệu sử dụng, thời gian gia nhiệt, nhiệt độ, phương pháp làm mát, thời gian làm mát, tốc độ của trục dẫn động quay khuôn đúc...[11,12]. Trong nội dung nghiên cứu này sẽ tập trung trong ba yếu tố chính là: khối lượng bột sử dụng, thời gian và nhiệt độ gia nhiệt. Thông số kích thước hình học của cánh quạt được kiểm tra bởi phương pháp scan 3D bao gồm: chiều dài dây cung, độ dày tương đối, và góc hạ cánh [13]. Một bộ thử nghiệm theo tiêu chuẩn ISO5801 [14] được sử dụng để kiểm tra thông số động lực học của các cánh quạt thu được. Thông qua kết quả phân tích các quạt thu được: cơ tính, kích thước hình học, thông số động lực học của quạt hướng trục, cho phép xác định được các thông số tối ưu nhất trong quá trình chế tạo quạt.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Giới thiệu công nghệ đúc ly tâm

Công nghệ đúc ly tâm thông thường gồm 4 bước chính (Hình 1): 1 - Điền bột vào khuôn; 2 - Gia nhiệt khuôn quay trong lò; 3 - Làm mát khuôn quay; 4 - Cánh quạt đúc. Khuôn được đặt trên hai trục quay vuông góc, tốc độ quay của hai trục là độc lập và có thể tùy chỉnh. Điều này cho phép tính linh hoạt khi sản xuất các bộ phận đúc có hình dạng phức tạp hoặc các sản phẩm yêu cầu chất lượng cao. Thông thường, tốc độ quay được giữ không đổi trong quá trình gia nhiệt trong lò và quá trình làm mát [12]



Hình 1. Các bước của quá trình đúc cánh quạt

Đặc điểm của công nghệ đúc này cho phép chế tạo các cánh quạt dày và rỗng. Đặc tính này của các cánh mang lại cho cánh quạt những lợi thế hữu ích mà không thể chế tạo được bởi các phương pháp thông thường khác (Hình 2).



Hình 2. Mặt cắt của quạt (quạt rỗng ở giữa)

2.2. Đặc tính vật liệu chế tạo cánh quạt

Hiện nay, khoảng 90% cánh quạt được sản xuất bằng phương pháp đúc ly tâm được làm từ polyetylen (PE), thích hợp cho các ứng dụng phi kỹ thuật (bảng chỉ dẫn đường cao tốc, đồ chơi, thùng chứa...) [11]. Ngoài ra, đây là loại vật liệu rất phổ biến và giá thành sản xuất, giá thành của vật liệu PE không đắt so với vật liệu sử dụng trong khuôn đúc chi tiết thông thường. Vì vậy, việc sản xuất quạt bằng công nghệ đúc ly tâm rất có triển vọng và có cơ hội để phát triển. Trong nội dung nghiên cứu này, bột polyetylen mật độ thấp được sử dụng để chế tạo quạt (PE). Loại bột này có khối lượng nóng chảy theo thời gian 3,3g/10 min, khối lượng riêng 938 kg/m³ và kích thước hạt khoảng 125-250 μm

2.3. Lựa chọn một số thông số của quá trình đúc.

Các yếu tố trong quá trình đúc ly tâm được nghiên cứu là: khối lượng bột, nhiệt độ và thời gian gia nhiệt trong lò. Trong quá trình chế tạo cánh quạt, nếu thời gian gia nhiệt hoặc nhiệt độ không đủ, sự nóng chảy của polymer không hoàn toàn hoặc bột khí không được hòa tan tạo ra các khuyết tật trên cánh quạt thu được. Điều này làm giảm cơ tính của cánh quạt nhận được. Mặt khác, nếu thời gian gia nhiệt hoặc nhiệt độ quá cao, vật liệu sẽ xuống cấp, thay đổi màu sắc và cánh quạt trở nên giòn, dễ vỡ. Bên cạnh đó, khối lượng bột cũng ảnh hưởng đến chất lượng của cánh quạt: như độ dày, độ bền,... Ngoài ra, nếu ta đổ quá nhiều bột vào khuôn có thể dẫn đến bột không di chuyển được trong khuôn (do bị chèn ép hoặc khoảng trống quá ít), biên dạng của cánh quạt không đều do thiếu bột... Do vậy, trong nghiên cứu này chúng ta sẽ xem xét các yếu tố (khối lượng bột, nhiệt độ lò, thời gian trong lò...):

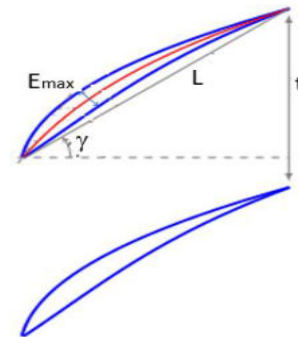
Ta có mã chế tạo cánh quạt như sau:

PEL - m - T₀ - Δt₀

- PEL - Vật liệu sử dụng là Polyetylen tỷ trọng thấp.
- Khối lượng vật liệu m = (300; 400; 500), g
- Nhiệt độ của lò : T₀ = (250; 285; 330), °C
- Thời gian gia nhiệt: Δt₀ = (12; 15; 20), phút
- Phương pháp làm mát khuôn đúc: làm mát bằng quạt gió trong 20 phút.

2.4. Cơ sở lý thuyết xác định các thông số hình học của quạt.

Thông số hình học của cánh quạt đóng một vai trò quan trọng trong hiệu suất tổng thể của quạt. Đặc biệt, cấu trúc và hình dạng của các cánh quạt có ảnh hưởng lớn đến cấu trúc dòng chảy giữa các cánh quạt. Các thông số hình học quan trọng của quạt được xem xét trong nghiên cứu này là: chiều dài dây cung L(mm), chiều dày tương đối E_{max}(%), góc hạ cánh γ(°) (Hình 3):



Hình 3. Mối quan hệ của cánh thông số hình học trên biên dạng cánh.

- Chiều dài dây cung L (mm)

$$L = \sqrt{Z^2 + \left(\frac{\pi \cdot r \cdot \varphi_r}{180}\right)^2} \quad (1)$$

- Chiều dày tương đối E_{max}(%)

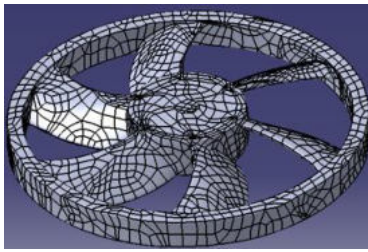
$$E(\%) = \frac{E_{max}}{L} \quad (2)$$

- Góc hạ cánh γ (độ)

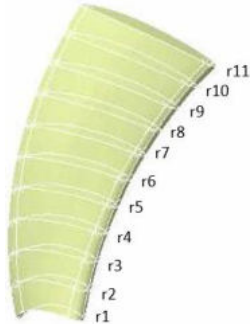
$$\gamma = \arccos\left(\frac{Z}{L}\right) \quad (3)$$

Gới thiệu phương pháp scan 3D

Để xác định biên dạng của cánh quạt ta sử dụng phương pháp scan 3D. Máy scan được sử dụng là loại Comet L3D 5M (kích thước của vật thể đo được là 45 mm x 38 mm x 30 mm) dựa trên ánh sáng có cấu trúc (đèn LED màu xanh) với cảm biến 5 megapixel. Thiết bị này đạt độ chính xác và độ tin cậy cao (độ phân giải 18 μm). Trong quá trình scan cánh quạt, dữ liệu được thu nhận dưới dạng tọa độ đám mây (không gian 3 chiều x,y,z) trên toàn bộ kích thước hình học của quạt (Hình 4)



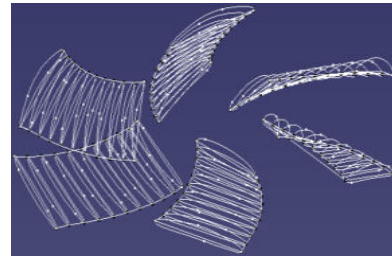
Hình 4. Biện dạng cánh quạt



Hình 5. Cánh quạt được chia thành 11 mặt cắt từ r_1 đến r_{11} .

Từ cơ sở dữ liệu máy scan 3D của quạt, ta xử lý trên phần mềm Paraview. Mỗi cánh quạt được chia thành 11 phần (từ r_1 đến r_{11}) Hình 5. Mỗi biên dạng tại một mặt cắt được xác định bởi 4000 điểm (mỗi điểm được xác định tương ứng

với tọa độ x,y,z). Hình 6 cho thấy các biên dạng thu được cho toàn bộ quạt.



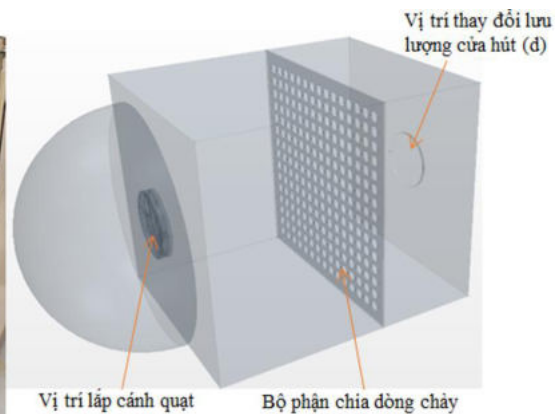
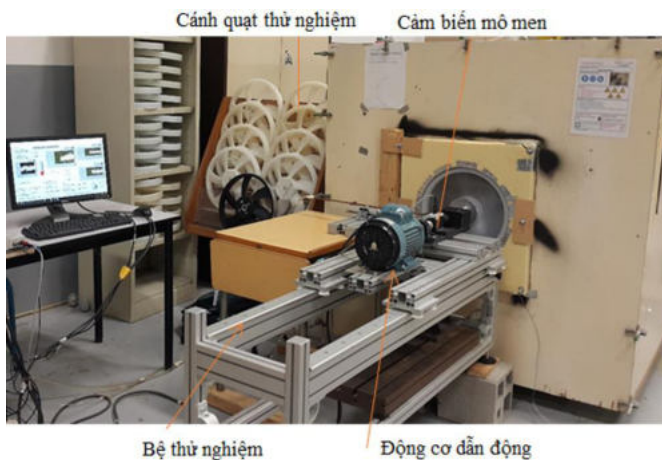
Hình 6. Biên dạng thu được của 06 cánh quạt tương ứng tại 11 mặt cắt từ r_1 đến r_{11}

2.5. Bảng thử nghiệm đặc tính khí động lực học cánh quạt

Bộ thử nghiệm này được chế tạo theo tiêu chuẩn ISO 5801 [14], Hình 7. Đặc tính động lực học của quạt được xác định bằng cách thay đổi lưu lượng tại cửa hút (đường đặc tính được xác định bằng 11 điểm tương đương 11 đường kính khác nhau), Bảng 1.

Bảng 1 - Đường kính cửa hút

d (mm)										
1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4
2	3	6	9	2	3	6	0	3	7	7
1	5	9	0	0	8	7	0	6	5	5



Hình 7. Bộ thử đặc tính khí động lực học cánh quạt (ISO 5801)

Áp suất tĩnh Δp được đo tại 4 lỗ xung quanh hộp với độ chính xác tuyệt đối $\pm 0.1 Pa$. Một tấm đục lỗ với đường kính 50mm được đặt bên trong hộp để tránh hiện tượng xoáy của dòng chất khí. Lưu lượng dòng khí Q_v được xác định theo công thức (4):

$$Q_v = \frac{\alpha \varepsilon \pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (4)$$

Trong đó: α và ε là hằng số ($\alpha \cdot \varepsilon = 0,6$); d - đường kính cửa hút, mm; Δp - áp suất tĩnh, Pa; ρ - mật độ không khí, kg/m³. Giá trị mô-men xoắn C trên trục lắp quạt được xác định bởi cảm biến HBM T20WN với độ sai bằng 0,1% giá trị tối đa. Máy đo vận tốc góc ω với độ chính xác $\pm 0,2\%$. Hiệu suất tĩnh η_s , được xác định công thức (5):

$$\eta_s = \frac{\Delta p \cdot Q_v}{C \cdot \omega} \quad (5)$$

Hệ số lưu lượng (ϕ) và hệ số áp suất tĩnh (ψ) được xác định với độ sai số tương ứng bằng $\pm 0,5\%$ và $\pm 0,3\%$.

$$\phi = \frac{Q_v}{\pi \cdot \omega \cdot R_{max}^3} \quad (6)$$

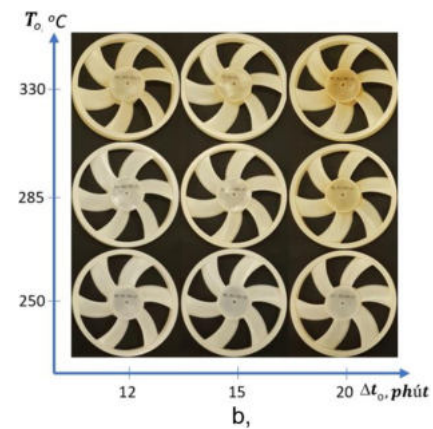
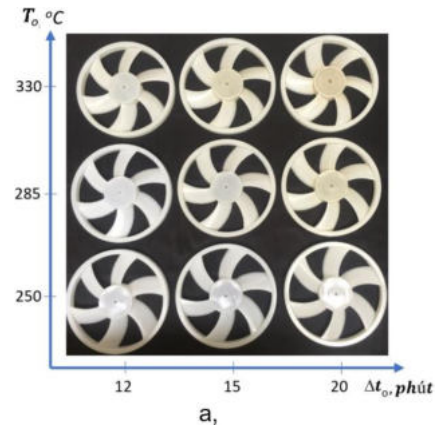
$$\psi = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_{max}^2} \quad (7)$$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Cánh quạt được chế tạo theo mã:

PEL - m - T_o - Δt_o

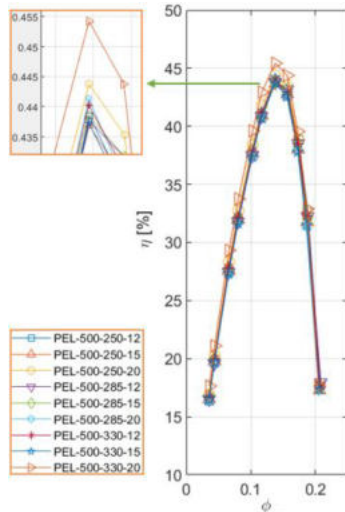
(Hình 8) ta thấy, hình ảnh của các cánh quạt thu được và đặc biệt đối với khối lượng $m = 300 g$ (Hình 8b), màu của quạt bị thay đổi và chuyển thành màu vàng khi T_o và/hoặc Δt_o tăng. Do đó, có thể thấy các điều kiện nhiệt độ và thời gian gia nhiệt trong lò có ảnh hưởng đến các tính chất cơ học của quạt. Khi nhiệt độ trong lò lớn hơn 285 °C và thời gian gia nhiệt trong lò 15 phút, chúng ta có thể quan sát thấy sự thay đổi rõ rệt về màu sắc của quạt. Điều này có thể được giải thích bởi quá trình oxy hóa của vật liệu. Quá trình oxy hóa dẫn đến mất tính dẻo và tăng độ cứng, và cuối cùng polyme trở nên giòn hơn.



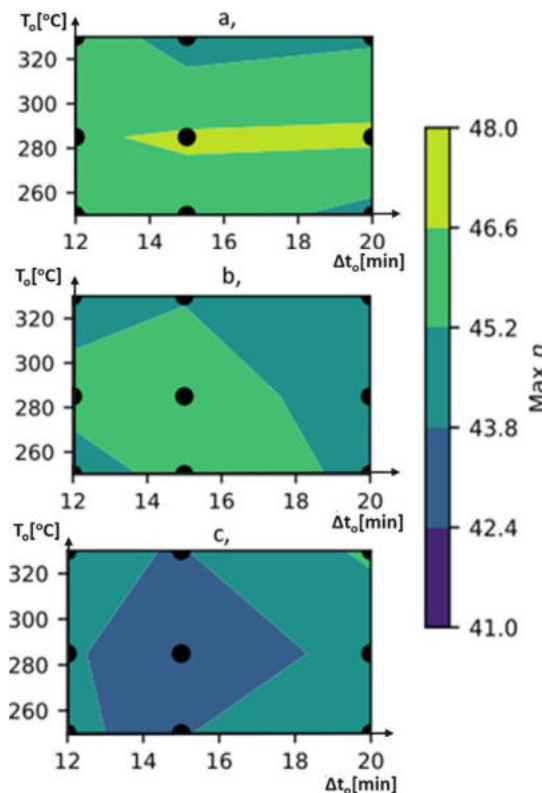
Hình 8. Hình ảnh quạt được chế tạo: (a) 500 g và (b) 300 g bột PE và các nhiệt độ trong lò (T_o) và thời gian lò khác nhau (Δt_o).

3.2 Ảnh hưởng của quá trình đúc quay đến hiệu suất khí động học

Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các tham số được sử dụng trong quy trình đúc ly tâm, các phiên bản cánh quạt đã được thử nghiệm trên băng thử nghiệm tiêu chuẩn ISO 5801. Do các cánh quạt thu được bởi công nghệ đúc này rộng ở giữa, nên để đảm bảo cánh quạt không bị biến dạng khi quay, tốc độ quay được giới hạn ở 2000 vòng/phút. Hình 9, trình bày hiệu suất của 09 quạt với $m = 500 g$, hiệu suất tĩnh $\eta(\%)$ được biểu diễn theo hệ số lưu lượng ϕ .



Hình 9. Hiệu suất η là một hàm của hệ số lưu lượng ϕ (khối lượng $m = 500g$)



Hình 10. Hiệu suất lớn nhất ở tốc độ quay 2000 vòng/phút là hàm của nhiệt độ T_0 và thời gian Δt_0 tương ứng với khối lượng: (a)- 300g, (b)- 400g, (c)- 500g

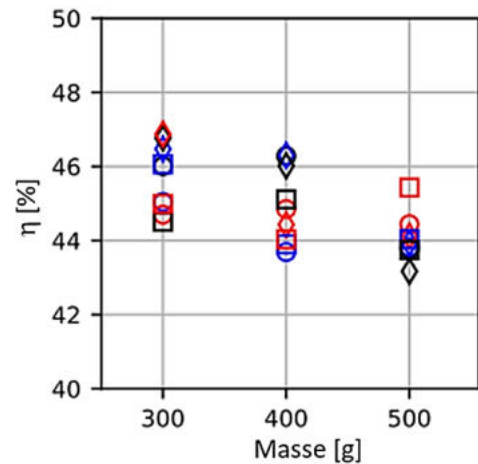
Kết quả cho thấy, đường cong thu được của các cánh quạt rất tương đồng. Ngoài ra kết quả thử nghiệm cũng cho thấy sự khác biệt đáng kể

về hiệu suất giữa các quạt thu được. Tại điểm thiết kế ($\phi \approx 0,13$), giá trị hiệu suất nhỏ nhất tương ứng với quạt PEL-500-285-15 là $43,17 \pm 0,5\%$ và quạt có hiệu suất lớn nhất là $45,4 \pm 0,5\%$ đối với quạt PEL-500-330-20.

Hình 10, biểu diễn sự phân bố giá trị hiệu suất tương ứng với các khối lượng m (g). Cụ thể, giá trị hiệu suất tốt nhất thường phân bố xung quanh nhiệt độ khoảng $285\text{ }^\circ\text{C}$, với khối lượng 300g và 400g. Tuy nhiên, với khối lượng 500g thì hiệu suất đạt giá trị lớn nhất ở nhiệt độ $330\text{ }^\circ\text{C}$ và thời gian gia nhiệt 20 phút. Mặt khác, hiệu suất giữa các quạt có cùng khối lượng bột sử dụng $m = (300g, 400g, 500g)$ thì hiệu suất chênh lệch lớn nhất giữa các quạt trung bình khoảng 2,4% (Bảng 2). Sự chênh lệch này là đáng kể trong giới hạn sai số của thiết bị đo.

Bảng 2. Giá trị hiệu suất lớn nhất, nhỏ nhất và khoảng cách lớn nhất với từng khối lượng bột chế tạo cánh quạt

m (g)	η_{min} (%)	η_{max} (%)	Khoảng cách (%)
300	44.51 ± 0.5	46.93 ± 0.5	2.42
400	43.69 ± 0.5	46.30 ± 0.5	2.61
500	43.17 ± 0.5	45.43 ± 0.5	2.26

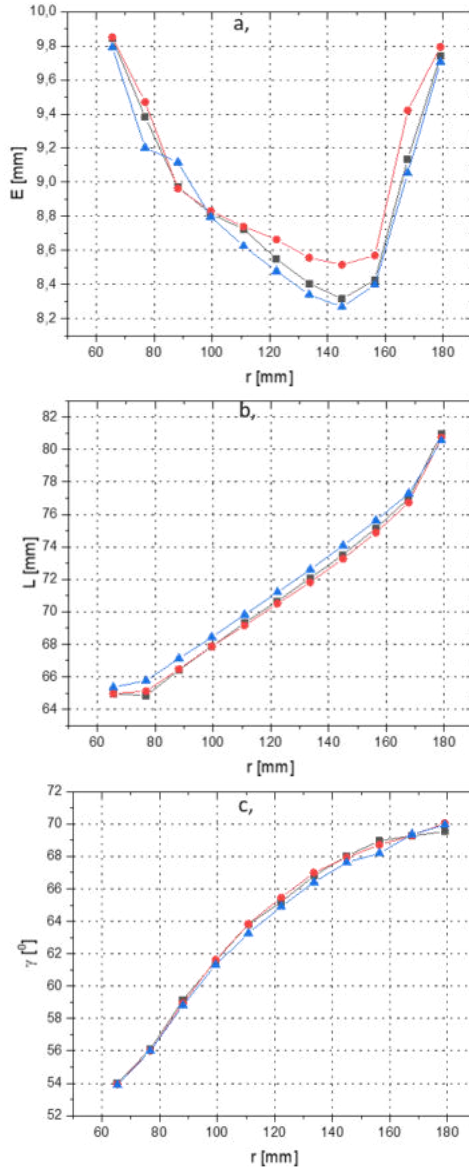


Hình 11. Giá trị hiệu suất của các quạt thu được tương ứng với khối lượng 300g, 400g, 500g

Ở một khía cạnh khác, Hình 11 cho thấy một xu hướng giảm dần của giá trị hiệu suất khi khối lượng bột sử dụng tăng dần. Điều này có thể được giải thích bởi sự phân bố đều của vật liệu trong cánh quạt. Khi khối lượng bột càng tăng thì khả năng phân bố đều trên các cánh quạt giảm. Khả

năng bột hoặc bột nóng chảy bị kẹt khi di chuyển từ tâm khuôn đúc ra các cánh và biên của quạt.

3.3 Ảnh hưởng của quá trình đúc quay đến thông số kích thước hình học quạt.



Hình 12. (a)-Độ dày trung bình của cánh quạt E (mm), (b)-chiều dài dây cung L (mm), (c)-góc hạ cánh γ (°C) là hàm của bán kính r (mm) tương ứng 3 quạt: PEL-300-285-20 (-▲-), PEL-400-285-12 (-■-) và PEL-500-250-12 (-●-)

Trong quá trình chế tạo, khi bột (PE) tan chảy, vật liệu tạo ra sự chuyển đổi giữa các pha: pha lỏng trong quá trình gia nhiệt và pha rắn trong quá trình làm mát. Trong quá trình chế tạo, cánh quạt có thể xuất hiện các hiện tượng khác nhau như co ngót quạt hoặc oxy hóa vật liệu [11]. Điều này có thể dẫn đến những thay đổi đặc tính khí động học của quạt thu được.

Theo kết quả thực nghiệm khí động học thu được của 27 quạt (Hình 10 và Bảng 2), ảnh hưởng của điều kiện chế tạo khuôn quay: khối lượng, nhiệt độ, thời gian trong lò đến các thông số hình học của quạt là rất cần thiết. Thật vậy, sự thay đổi kích thước hình học của các cánh quạt có thể gây ra sự khác biệt về mặt khí động học của các quạt được tạo ra. Bằng phương pháp quét 3D có thể xác định được các thông số hình học của quạt, từ đó có thể giải thích được sự khác biệt về khí động học. Hình 12 là kết quả so sánh của 03 quạt có hiệu suất lớn nhất η_{max} tương ứng với khối lượng 300g, 400g, 500g với mã hiệu PEL-300-285-20, PEL-400-285-12 và PEL-500-250-12. Đường cong được hiển thị của mỗi quạt được lấy theo giá trị trung bình của 6 cánh quạt. Xu hướng các đường cong thu được đối với chiều dài dây cung L (mm), độ dày tương đối cánh E (%) và góc hạ cánh γ (°C) tại 11 mặt cắt gần như tương tự nhau. Tuy nhiên, cũng có những khác biệt đáng chú ý:

Hình 12a, chúng ta thấy rằng sự thay đổi khối lượng trong quá trình đúc quạt ảnh hưởng đến độ dày của quạt thu được. Cụ thể trong trường hợp này, độ dày của quạt thu được bị ảnh hưởng bởi hai yếu tố: khối lượng bột và độ co của vật liệu. Theo kết quả quét 3D cho thấy với khối lượng bột 500g thì độ dày trung bình của 6 cánh quạt thu được là lớn nhất là 8,65 mm; tương ứng với độ co ngót cánh quạt nhỏ nhất là 1,35 mm ở vị trí r_8 . Ngoài ra, với khối lượng bột là 300g và 400g, độ dày trung bình cánh quạt lần lượt là 8,24mm và 8,35mm. Độ co ngót tối đa tương ứng là 1,76 mm và 1,65 mm. Trong Hình 12b, giá trị độ dài dây cung được biểu diễn dưới dạng hàm của bán kính r (mm). Độ co ngót của cánh quạt (theo chiều dài dây cung) (300g) PEL-300-285-20 nhỏ hơn so với các loại cánh (400g) PEL-400-285-12 và PEL-500-250-12 (500g). Cụ thể, độ co ngót tối đa của cánh quạt so với khuôn CAD là

2,81mm đối với khối lượng bột 300g; 3,52 mm cho khối lượng 400g và 3,58 mm cho 500g ở vị trí r_8 . Điều này có thể được giải thích bởi một số yếu tố:

- Với khối bánh xe PEL-300-285-20 (khối lượng 300g), bột có thể được phân phối dễ dàng bên trong khuôn và trên bề mặt khuôn. Đặc biệt là ở những nơi chật hẹp như mép trước và mép sau của cánh quạt.

- Với khối lượng 300g, thời gian ngắn hơn đủ để làm tan hoàn toàn bột. Do đó, vật liệu nóng chảy có thể dễ dàng phân bố đều trên bề mặt bên trong của khuôn hơn.

Trong Hình 12c, do ảnh hưởng của độ co ngót cánh quạt nên cũng ảnh hưởng đến góc hạ cánh γ tuy nhiên ảnh hưởng do yếu tố này là không lớn đến thông số kết cấu hình học của quạt.

Qua kết quả phân tích kích thước hình học của cánh quạt bằng phương pháp scan 3D ta thấy rằng: Độ co ngót cánh quạt có ảnh hưởng đến kích thước hình học của cánh quạt thu được. Tùy thuộc theo từng vị trí trên cánh có giá trị co ngót khác nhau.

4. Kết luận

► Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã đánh giá ảnh hưởng của một số cài đặt quy trình đúc quay đối với hiệu suất khí động học của quạt hướng trục. Ba yếu tố được xem xét trong nghiên cứu: khối lượng bột, nhiệt độ lò và thời gian gia nhiệt. Việc thay đổi cài đặt quy trình sẽ làm thay đổi các thuộc tính cơ khí của quạt. Đối với khối lượng hạn chế của polyme (300g và 400g), lợi thế của việc không vượt quá 285 °C, trong quá trình chế tạo quạt, được làm nổi bật. Tuy nhiên, đối với lượng vật liệu lớn hơn như đối với $m = 500g$, hiệu suất tối ưu vẫn chưa đạt được ở nhiệt độ như vậy. Cần áp dụng nhiệt độ cao hơn, chẳng hạn như 330 °C, mà không gây nguy cơ oxy hóa. Ảnh hưởng của thời gian gia nhiệt trong lò dường như ít đáng kể hơn. Trên quy mô, số lượng quạt đã nghiên cứu, hiệu suất tốt nhất được ghi nhận trong thời gian làm nóng là 15 phút. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự thích ứng tốt của cánh quạt được chế tạo bởi công nghệ đúc ly tâm. Điều này cho phép mở rộng phương pháp chế tạo cánh quạt ở quy mô công nghiệp do chi phí sản xuất

thấp hơn, quá trình này thuận lợi hơn và có thể đạt được hiệu suất tương tự so với các phương pháp chế tạo truyền thống.

► Về mặt triển vọng, các thử nghiệm khác sẽ được tiến hành để kiểm tra: độ biến dạng của cánh quạt polymer khi quay ở tốc độ cao, sự mất cân bằng của quạt, sự phân bố vận tốc dòng khí, độ co ngót của cánh quạt... Các đặc tính hóa lý của quạt cũng sẽ được phân tích để kiểm soát tốt hơn các đặc tính khí động học □

Tài liệu tham khảo

- [1] Pellicer Sifres V. (2008), Design and qualification of rotomoulding cooling fans, Project final dissertation, Ensam.
- [2] Pérot E. (2006), Optimization and modelling of rotational moulding process, PhD Thesis, Arts et Métiers.
- [3] Crawford R et al. (2004), Mould pressure control in rotational moulding, Proc. Instn Mech. Engrs 218 Part B: J. Eng. Manufacture, 1683-1693.
- [4] Spence AG et al. (1996), The Effect of Processing Variables on the Formation and Removal of Bubbles in Rotationally Molded Products, Polymer eng. and science, 36, 993-1009.
- [5] Azzam T et al. (2017), Experimental investigation of an actively controlled automotive cooling fan using steady air injection in the leakage gap. Proc Inst Mech Eng Part A - J Power Energy, 231, 59-67.
- [6] Tarik Azzam. (2018), Aérodynamique et contrôle de l'écoulement de jeu dans un ventilateur axial obtenu par rotomoulage. Thèse Doctorat (PhD).
- [7] Sarraf C et al. (2011), Experimental study of blade thickness effects on the overall and local performances of a controlled vortex designed axial-flow fan. Experimental Thermal and Fluid Science, 35 684-693.
- [8] Marrero Md et al. (2014), Rotational molding applied to the manufacturing of blades of small wind turbine. ASME 2014 12th Bienn Conf Eng Syst Des Anal 3
- [9] Albert Lucas et al. (2019), Conventional rotational molding process and aerodynamic characteristics of an axial-flow hollow blades

- rotor. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 104(1):1183–1194.
- [10] Michaël Pereira et al. (2021), Improved Aerodynamics of a Hollow-Blade Axial Flow Fan by Controlling the Leakage Flow Rate by Air Injection at the Rotating Shroud. Entropy 2021, 23, 877. <https://doi.org/10.3390/e23070877>
- [11] Mark Kearns and RJ Crawford. (2003), Practical guide to rotational moulding.
- [12] Roy J Crawford. (2012), Practical guide to rotational moulding. Smithers Rapra.
- [13] Vu-Dinh DANG. (2021), Étude de l'influence des paramètres du procédé de rotomoulage sur les caractéristiques aérodynamiques de fonctionnement d'un ventilateur axial. Thèse Doctorat (PhD).
- [14] ISO, "Norme internationale ISO 5801. (2007), Ventilateurs industriels - Essais aérauliques sur circuits normalisés.", fr, p. 248.

QUY LUẬT ẢNH HƯỞNG CỦA THAM SỐ KẾT CẤU VI MÔ DẠNG ĐẶC BIỆT ĐẾN HIỆU SUẤT MA SÁT CỦA CẶP MA SÁT GỐI TRƯỢT-ĐĨA NGHIÊNG BƠM PISTON HƯỚNG TRỰC VÀ THIẾT KẾ TỐI ƯU HÓA THAM SỐ VI MÔ

Lê Văn Lợi^{1,*}, XuPing¹, Yu YingHua¹, Nguyễn Duy Trung¹, Đỗ Trung Hiếu², Nguyễn Thanh Tuấn³

¹Đại học Kỹ thuật Công nghệ Liêu Ninh, Liêu Ninh, Trung Quốc;

²Viện Cơ khí Năng lượng và Mô-Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam;

³Khoa Dầu khí, Trường Đại học Mỏ-Địa Chất, Hà Nội, Việt Nam;

TÓM TẮT

Để nghiên cứu ảnh hưởng của kết cấu vi mô, nâng cao hiệu suất ma sát của bơm piston hướng trục kiểu đĩa nghiêng, lựa chọn cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng làm đối tượng nghiên cứu. Nghiên cứu này giới thiệu lý thuyết phân tích bề mặt đáp ứng và sử dụng phân tích lý thuyết bề mặt đáp ứng để thiết kế thực nghiệm 5 cặp 6 yếu tố và tiến hành 40 bộ thử nghiệm mô phỏng và thu được kết quả mô phỏng của từng nhóm về khả năng chịu tải, hệ số ma sát, nhiệt độ trung bình. Nghiên cứu quy luật và mức độ ảnh hưởng của các tham số kết cấu EOPT đặc trưng đối với khả năng chịu tải, hiệu suất ma sát và mòn, mức độ gia tăng nhiệt độ của cặp ma sát. Kết quả nghiên cứu cho thấy: thứ tự ảnh hưởng đối với khả năng chịu tải màng dầu: bán kính ngắn(B) > bán kính dài(A) > góc phân bố(F) > độ sâu(D) > khoảng cách kết cấu(E) > độ lệch(C); hệ số ma sát: bán kính ngắn(B) > bán kính dài(A) > độ sâu(D) > góc phân bố(F) > độ lệch(C) > khoảng cách kết cấu(E); nhiệt độ màng dầu: bán kính ngắn(B) > bán kính dài(A) > độ sâu(D) > góc phân bố(F) > độ lệch(C) > khoảng cách kết cấu(E); Với sự kết hợp tối ưu của các tham số EOPT đặc trưng: bán kính dài: 400,25 μ m, bán kính ngắn: 209,85 μ m, độ sâu: 75,25 μ m, độ lệch: 49,15 μ m và khoảng cách hai hàng kết cấu: 1086,75 μ m và góc phân bố: 5,6°; So với cặp ma sát nguyên mẫu, hệ số ma sát của cặp ma sát có kết cấu vi mô và tối ưu hóa giảm 12,63% và 16,3%, khả năng chịu tải của màng dầu cặp ma sát có kết cấu vi mô và tối ưu hóa tăng 15,23% và 19,93%, mức độ gia tăng nhiệt độ của màng dầu có kết cấu vi mô và tối ưu hóa giảm 7,85% và 9,46%.

Từ khóa: bơm piston hướng trục, gối trượt-đĩa nghiêng, kết cấu vi mô, ma sát, mặt phản hồi, nhiệt độ, tải trọng, tối ưu hóa...

1. Mở đầu

Trong hơn nửa thế kỷ qua, các nghiên cứu về kết cấu vi mô bề mặt (vân bề mặt-surface texture) đã đạt được những bước tiến dài trong vấn đề cải thiện khả năng chống mài mòn của dụng cụ gia công, cải thiện khả năng chống mài mòn và cải thiện tính năng bôi trơn và làm kín của các cặp ma sát trong các thiết bị cơ khí. Đây cũng là một trong những phương pháp hiệu quả để nâng cao khả năng chịu lực bề mặt, cải thiện đặc tính ma sát bề mặt, giảm thiểu quá trình gia tăng nhiệt độ và kéo dài thời gian sử dụng của cặp ma sát. Trong quá trình gia công kết cấu vi mô bề mặt, các thông số hình học của kết cấu như đường kính, độ lệch, độ sâu, khoảng cách và góc phân bố là những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng chịu tải và đặc tính chống ma sát mòn. Do đó phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến khả năng chịu tải, hệ số ma sát và nhiệt độ của màng dầu khe hở giữa các cặp ma sát là vô cùng cần thiết hiện nay.

Phương pháp bề mặt đáp ứng dựa trên phương trình hồi quy để thiết lập dạng phương trình toán học phù hợp giữa hàm mục tiêu và các biến độc lập, đồng thời phân tích giá trị dự đoán và giá trị thực của phương trình hồi quy đã thiết lập và sự tương tác giữa các yếu tố khác nhau thông qua mặt phản hồi, sau đó có thể nhận được các tham số kết hợp khác nhau của các biến khi mục tiêu là tối ưu.

Xuất phát từ những phân tích trên, nghiên cứu này nhóm tác giả đưa ra hướng nghiên cứu nhằm tìm ra quy luật ảnh hưởng của các tham số kết cấu EOOPT tác động đến khả năng chịu lực, hệ số ma sát và nhiệt độ của màng dầu cặp ma sát. Dựa trên phương pháp bề mặt đáp ứng kết hợp với phương trình hồi quy và thuật toán tối ưu hóa cá voi để thiết lập mô hình thử nghiệm ứng dụng trong phân tích ảnh hưởng của các tham số hình học kết cấu vi mô đến tính năng cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng của bơm piston hướng trục.

2. Nội dung nghiên cứu

Phương pháp tối ưu hóa bề mặt đáp ứng (RSM) có thể bao gồm lỗi ngẫu nhiên của hệ thống thử nghiệm và các phương trình toán học phức tạp có thể được đưa vào dạng đa thức thuận tiện hơn cho

việc tính toán thông qua phương pháp phân tích bề mặt đáp ứng, nhanh chóng và hiệu quả trong việc giải quyết thực tế. Đồng thời, phương pháp phân tích bề mặt đáp ứng có thể phân tích liên tục từng cấp độ thử nghiệm trong quá trình giải quyết tối ưu hóa, để đảm bảo tính liên tục của tối ưu hóa. Nó thường bao gồm các bước như thiết kế thử nghiệm, thiết lập mô hình mục tiêu, dự đoán giá trị mục tiêu và đánh giá mô hình.

2.1. Lý thuyết bề mặt đáp ứng (RSM)

Phương pháp bề mặt đáp ứng [ZhaoYali, ZhangSiqi, LuWenqian, ChenChong, WeiLi, (2021); Xing Lei, Li Jinyu, Zhao Lixin, et al, (2021); WeiXin, WangLeigang, WangZhao, PanShuhua, (2021); YangXu, ZhouDejian, ZhuangGongwei, Song Wei, LiuXiaolong, SheYulai, (2021); HuYanfeng, Du Yanbin, XuLei, ZhouZhijie, ShuLinsen, (2021); Mahanthesh B, Mackolil Joby, Mallikarjunaiah S.M, (2021)] (Response Surface Methodology, RSM) là một phương pháp thu thập dữ liệu trước tiên bằng cách thiết kế một kế hoạch thử nghiệm để tiến hành thử nghiệm, sau đó thiết lập mô hình mục tiêu và kết hợp dữ liệu thử nghiệm với nhiều phương trình hồi quy bậc hai để điều chỉnh tính toán phù hợp, cuối cùng, mối quan hệ tương ứng giữa các yếu tố khác nhau được thể hiện dưới dạng bề mặt phản hồi, để thu được kết quả tối ưu, được sử dụng để giải quyết vấn đề ảnh hưởng của nhiều yếu tố cùng tác động đến giá trị mục tiêu. Ưu điểm chính của nó là có thể kết hợp hiệu quả với mô phỏng ngẫu nhiên và mô phỏng xác định, sắp xếp một cách khoa học tổ hợp các phép thử và kết quả theo yêu cầu, vừa đạt được kết quả nghiên cứu khoa học tốt nhất, tối ưu nhất, vừa tiết kiệm thời gian, công sức, do đó phương pháp này phù hợp khi các yếu tố liên tục, số lượng lớn; Quá trình tìm kiếm tối ưu hóa của bề mặt phản ứng là liên tục, trong khi thí nghiệm trực giao tiến hành phân tích các điểm rời rạc và biệt lập, dẫn đến quá trình phân tích thêm chính xác hơn. Phương pháp tối ưu hóa đáp ứng bề mặt (RSM) lần đầu tiên được đề xuất và ứng dụng trong công nghiệp hóa chất vào những năm 1950, đến năm 1966, Hill và Hunte đã áp dụng lý thuyết bề mặt đáp ứng vào quá trình hóa học để thiết kế tối ưu hóa đa mục tiêu; Năm 1975, Mead và Pike áp dụng lý thuyết đáp ứng bề mặt vào lĩnh vực sinh học; Tiếp theo Myers, Khuri, và Carter đã giới thiệu quá

trình phát triển và hướng của lý thuyết bề mặt đáp ứng. Do tính ưu việt và độ dẻo của nó, lý thuyết bề mặt đáp ứng đã được ứng dụng rộng rãi trong các ngành khác nhau, đồng thời nó cũng được quan tâm và ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực cơ học.

Trong số các mô-đun tối ưu hóa bề mặt đáp ứng, mô-đun được sử dụng rộng rãi nhất là thiết kế Box-Behnken (BBD) và thiết kế tổng hợp trung tâm (CCD), bề mặt một thiết kế có độ chính xác bằng nhau hoặc trực giao, do đó có thể tìm vị trí của hệ số tối ưu và giá trị mục tiêu tốt hơn và chính xác hơn [YangYubing, ZhangChunguang, LiuGuangheng, LiShangqing, ZhangJunfeng, AnLei, ChuShuai, (2021)]; Mỗi nhân tố của BBD chỉ có 3 mức, khi số nhân tố là 3 thì kiểm định rất hiệu quả, nhưng lại không áp dụng được khi số nhân tố lớn hơn 5. Do đó, bài báo này chọn thiết kế phức hợp trung tâm (CCD).

Qua thực tế, người ta đã chứng minh rằng đường cong lý tưởng có thể phù hợp với số hạng bậc hai. Biểu thức của phương trình bề mặt đáp ứng [HuYanfeng, DuYanbin, XuLei, ZhouZhijie, ShuLinsen, (2021)] được thể hiện trong công thức sau:

$$y = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k(1)x_k^2 + \sum_{k=n+1}^{2n} \beta_k(2)x_k^2 + \sum_{l=1}^{n-1} \sum_{k=l+1}^n \beta_k(l)x_k x_l + \Delta \quad (1)$$

trong đó: x_k : phạm vi của tham số:

$$x_k \in [x_k^1, x_k^u], x_k^1, x_k^u;$$

$\beta_0, \beta_k(1), \beta_k(2), \beta_k(l)$: hệ số của phương trình hồi quy đa thức bậc hai.

Kết hợp các biến trong công thức (1) với tích của hai cặp và đơn giản hóa kết quả ta có:

$$y_k = \beta_0 + \beta_1 x_k(1) + \dots + \beta_k x_k(m) + \Delta_k \quad (2)$$

$$y_k = \beta_0 + \sum_{l=1}^k \beta_l x_k(l) + \Delta; \quad k=1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Thông qua nhiều lần thử nghiệm thu được ma trận như sau:

$$Y = X\beta + \Delta \quad (4)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_1(1) & x_1(2) & x_1(k) \\ 1 & x_2(1) & x_2(2) & x_2(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_m(1) & x_m(2) & x_m(k) \end{bmatrix},$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \Delta = \begin{bmatrix} \Delta_0 \\ \Delta_1 \\ \vdots \\ \Delta_k \end{bmatrix}$$

Biểu thức phương sai tối thiểu C như sau:

$$C = \sum_{k=1}^m \Delta_k^2 = \Delta' \Delta = (Y - X\beta)' (Y - X\beta) \quad (5)$$

Khi giá trị C nhỏ nhất, thu được giá trị hiệu quả mô hình gần nhất với kết quả thực tế và biểu thức của nó như sau:

$$\frac{\partial C}{\partial \beta} \Big|_{\hat{\beta}} = -2X'Y + 2X'X \hat{\beta} = 0 \quad (6)$$

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y \quad (7)$$

Thu được phương trình bề mặt đáp ứng sau đây:

$$\hat{Y} = X \hat{\beta} \quad (8)$$

Sau khi thiết lập mô hình bề mặt đáp ứng đa thức bậc hai, cần kiểm tra xem mô hình có đáp ứng các yêu cầu về độ chính xác hay không. Các tiêu chuẩn kiểm tra độ chính xác chủ yếu bao gồm R^2 (hệ số xác định), MSE (sai số bình phương trung bình) và RMSE (sai số bình phương trung bình gốc), các biểu thức như sau:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N [y_{RS}(k) - y(k)]^2}{\sum_{k=1}^N [y(k) - \bar{y}]^2} \quad (9)$$

$$MES = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y_{RS}(k) - y(k)]^2 \quad (10)$$

$$RMSE = \frac{1}{N_y} \sqrt{\sum_{k=1}^N [y(k) - y_{RS}(k)]^2} \quad (11)$$

Trong đó:

y_{RS} : kết quả thu được từ việc tính bề mặt đáp ứng đa thức bậc hai;

y : kết quả tính toán mô phỏng phần tử hữu hạn;

N : số lượng điểm kiểm tra cần thiết để thiết kế bề mặt đáp ứng;

\bar{y} : giá trị trung bình của kết quả tính toán mô phỏng phần tử hữu hạn.

Khi R^2 được sử dụng để đánh giá độ chính xác, phạm vi giá trị của R^2 là (0, 1), giá trị của R^2 càng lớn thì mô hình bề mặt phản ứng càng chính xác và càng gần với tình hình thực tế. $R^2 > 0,95$, mô hình có thể được xem xét cho hoạt động tối ưu hóa tiếp theo; nếu độ chính xác được đánh giá bởi MSE và RMSE, giá trị càng nhỏ, mô hình bề mặt phản hồi càng chính xác. Trong bài báo này, R^2 được sử dụng làm cơ sở phán đoán để đánh giá độ chính xác của mô hình bề mặt đáp ứng.

2.2. Phân tích tính năng cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng nguyên mẫu

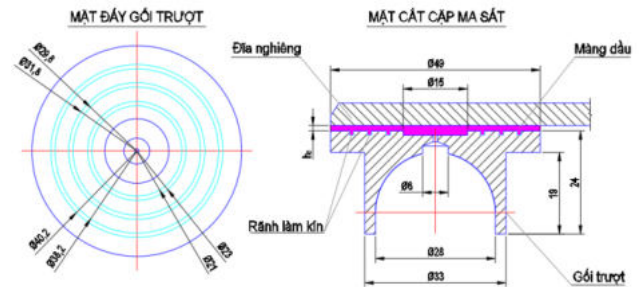
Các thông số chính, kết cấu chủ yếu của cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng của mẫu nghiên cứu thể hiện trong bảng 1 và hình 1. Để nâng cao hiệu quả tính toán và đảm bảo độ chính xác của kết quả mô phỏng cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng bơm piston hướng trục loại (250CY14-1B) được tiến hành chia nhỏ, và lựa chọn 1 trong số 7 gối trượt đại diện cho nhóm gối trượt (hình 1) để tiến hành phân tích và thiết lập điều kiện biên tuần hoàn tại bề mặt phân chia.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật cơ bản của bơm piston hướng trục 250SCY14

TT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị	Ghi chú
1	Áp suất làm việc	MPa	31,5	
2	Tốc độ quay trục chính	vg/ph	1500	
3	Bán kính phân chia piston	mm	58	
4	Đường kính đầu tròn piston	mm	35	
5	Số lượng piston	-	7	
6	Góc lệch đĩa nghiêng	độ	18	
7	Đường kính lỗ cấp dầu bôi trơn trong piston	mm	1,5	

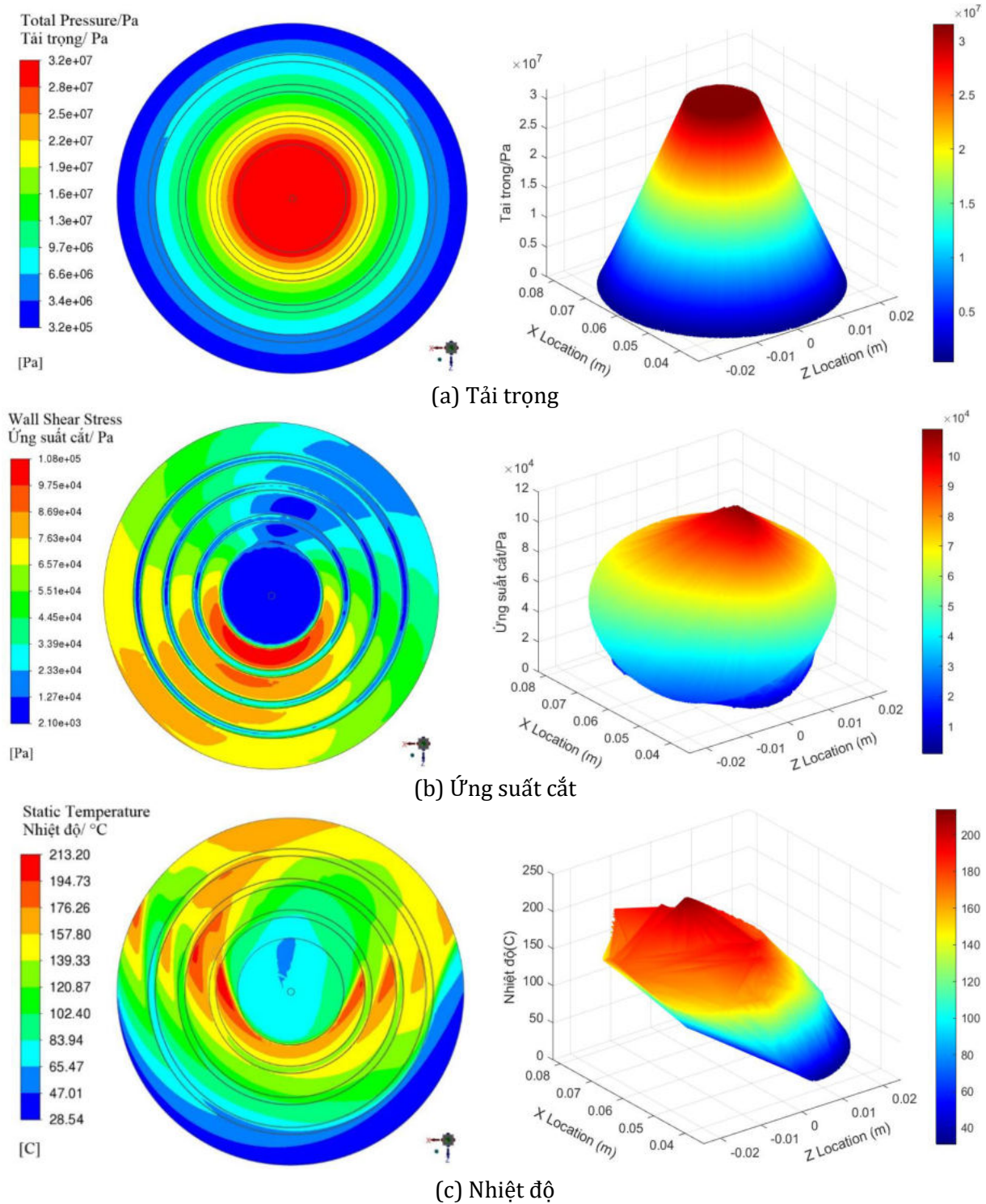
8	Chiều dài lỗ cấp dầu bôi trơn trong piston	mm	35,55	
9	Khối lượng riêng dầu thủy lực	kg/m ³	872,5	
10	Độ nhớt	m ² /s (40°C)	115.10 ⁻⁶	
11	Độ nhớt động học	Pa.s	0,155	
12	Nhiệt độ làm việc	°C	50	

Sử dụng Fluent Meshing trong Fluent để tiến hành chia lưới đa diện phân chia mô hình, tổng số phần tử lưới trong mô hình hữu hạn khoảng 134487, số nút khoảng 167238, trong đó trên 98% chất lượng lưới trên 0.5 μ m, nhỏ nhất là 0.35 μ m. Nhập các thông số phân tích trong Bảng 1 vào Ansys Fluent để tiến hành phân tích, sau cùng thu được biểu đồ mô phỏng áp suất màng dầu phân bố trên khe hở của cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng nguyên mẫu như trong hình 2.



Hình 1. Kết cấu hình học cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng bơm piston

Thông qua mô phỏng và phương trình tính toán áp suất đơn vị bề mặt, hệ số ma sát [Nguyễn Đăng Bình, (2006); (Nguyễn Anh Tuấn, (2006); Lê Văn Lợi and nnk, (2022)] và nhiệt độ trung bình của màng dầu khe hở cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng trong bơm piston hướng trục kiểu đĩa nghiêng loại 250SCY14-1B, trong điều kiện tải trọng làm việc áp suất cao 31.5 MPa, kết hợp biểu đồ đám mây (hình 2) về khả năng chịu lực, hệ số ma sát, nhiệt độ TB và nhiệt độ cao nhất của màng dầu khe hở của cặp ma sát, lần lượt là: 10824542.3 Pa; 0,00423, 120,32°C và 213,2°C.



Hình 2. Biểu đồ phân tích hiệu suất ma sát của cặp ma sát nguyên mẫu

2.3. Mô hình thiết kế thử nghiệm bề mặt đáp ứng phản hồi

Căn cứ vào một số nghiên cứu và quá trình nghiên cứu kiểm tra khảo sát một số đơn

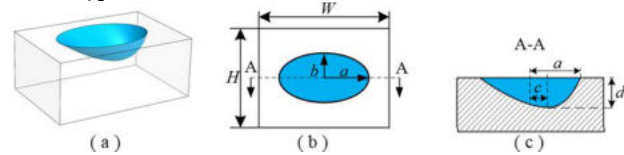
nguyên vi mô dạng parabol không đối xứng, bán nguyệt, tam giác, trụ tròn có cửa mở hình elip, tròn... (những nghiên cứu liên quan) [Ezhilmaran V. et al (2018); Fiaschi. G et al

(2019); Jonathon, et al (2016); Lê Văn Lợi và nnk, (2022), Lê Văn Lợi và nnk, (2022); Lê Văn Lợi và nnk, (2023); Yu Yinghua, Yang Shuaibin, Cao Maolin, Shen Jiaying, Nguyễn Văn Tân, (2022)], nhận thấy đơn nguyên kết cấu vi mô dạng parabol không đối xứng với cửa mở hình elip có hệ số ma sát và khả năng chịu tải tốt hơn, do đó trong nghiên cứu này tác giả đi sâu vào giải quyết bài toán tối ưu với đơn nguyên vi mô dạng parabol không đối xứng có cửa mở hình elip (gọi tắt là EOOPT). Theo phân tích hình dạng và kích thước trong quá trình xây dựng kết cấu trong nghiên cứu trước [Lê Văn Lợi và nnk, (2022)], 6 tham số ảnh hưởng của cấu trúc kết cấu đã được chọn lần lượt: bán kính dài, bán kính ngắn, độ lệch, độ sâu và khoảng cách giữa hai hàng kết cấu liền kề theo hướng chu vi và góc phân bố kết cấu. Mục đích của việc tối ưu hóa trong nghiên cứu này là chứng minh bề mặt gối trượt có kết cấu vi mô tốt hơn so với gối trượt không có kết cấu về hiệu suất chịu lực, hiệu suất ma sát và mài mòn và tăng nhiệt độ của màng dầu bôi trơn, do đó, áp suất chịu lực của màng dầu của cặp gối trượt có kết cấu vi mô cao hơn so với cặp gối trượt không có kết cấu, đồng thời hệ số ma sát và độ tăng nhiệt độ của màng dầu của cặp ma sát có kết cấu vi mô nhỏ hơn hệ số ma sát và sự gia tăng nhiệt độ của cặp ma sát không có kết cấu.

2.3.1. Xây dựng và tối ưu đơn nguyên kết cấu vi mô

Đơn nguyên kết cấu vi mô được xây dựng có dạng parabol không đối xứng có cửa mở hình elip (EOOPT- hình 3) và có các thông số hình học chủ yếu bao gồm: a, b- lần lượt là bán kính dài, bán kính ngắn của hình elip; c- độ dịch chuyển (khoảng lệch hay khoảng cách từ đường thẳng nối điểm thấp nhất của parabol tương ứng với độ sâu mặt cắt đường thẳng nối điểm tâm của hình elip), d- chiều sâu cắt lớn nhất. Vì elip dị hướng nên có thể biến đổi thành hình tròn, và parabol không đối xứng có thể biến đổi thành parabol đối xứng, hình tam giác và hình bán nguyệt (những hình cắt này có được trong những nội dung nghiên cứu liên quan), đây có thể tăng không gian tối ưu hóa cho các thông số kết cấu vi mô, và sau đó thu được các thông số

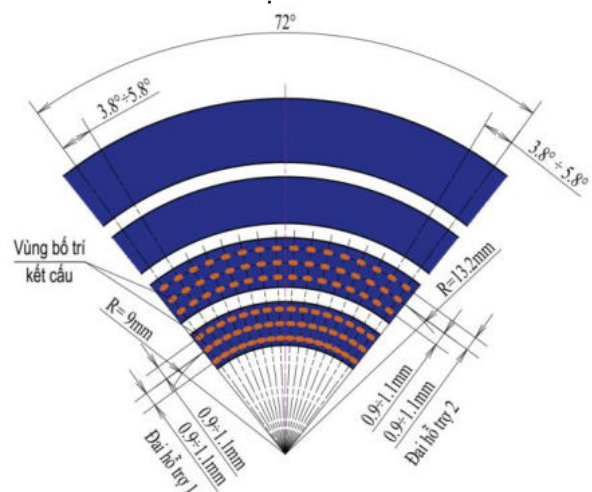
kết cấu vi mô tối ưu nhất liên quan đến hiệu suất của cặp ma sát.



Hình 3. Hình dạng đơn nguyên kết cấu vi mô dạng parabol không đối xứng

a- hình 3D; b- hình chiếu bằng; c- mặt cắt

Căn cứ vào nghiên cứu trước [Lê Văn Lợi và nnk, (2022)], tiến hành nhiều thử nghiệm mô phỏng kiểm tra và kết quả cho thấy, với việc bố trí các vùng kết cấu với mật độ góc 72° phân bố cân đối trên 2 đai hỗ trợ phía trong mặt đáy gối trượt cho màng dầu cặp ma sát có khả năng chịu tải cao nhất, hệ số ma sát và mức tăng nhiệt thấp nhất. Do vậy, trong nghiên cứu này, tác giả chỉ tiến hành mô phỏng theo sơ đồ bố trí kết cấu vi mô trên bề mặt cặp ma sát (hình 4- thể hiện $\frac{1}{4}$ gối trượt), tức gia công trên bề mặt đáy của gối trượt. Để tìm ra các tham số tối ưu tốt hơn, các kích thước khác nhau và phương pháp kết hợp của 6 yếu tố này được nghiên cứu để xác định khả năng chịu tải tối ưu của bề mặt dưới của gối trượt có kết cấu vi mô và mức tăng nhiệt độ của bề mặt đáy của gối trượt có kết cấu EOOPT, 6 biến tham số được đặt thành 5 cấp độ, tiến hành thiết lập mức độ thực nghiệm giá trị (hình 4 và bảng 2) thể hiện bằng mức độ thực nghiệm số với 6 nhân tố và 5 mức độ.



Hình 4. Sơ đồ bố trí kết cấu EOOPT trên 2 đai làm kín

Bảng 2. Mức độ kiểm tra thử nghiệm các tham số kết cấu EOOPT tối ưu

Tham số	Mức độ				
	-2	-1	0	1	2
A-Bán kính dài/ μm	200	250	300	350	400
B-Bán kính ngắn/ μm	90	120	150	180	210
C-Độ lệch / μm	30	35	40	45	50
D-Độ sâu/ μm	35	45	55	65	75
E-Khoảng cách/ μm	900	950	1000	1050	1100
F-Góc phân bố/°	3.8	4.3	4.8	5.3	5.8

Chọn thiết kế thí nghiệm tổ hợp trung tâm (CCD) trong phần mềm Design-Expert để thiết lập và xây dựng phương án thí nghiệm cho bộ dữ liệu mô hình kết cấu 3 chiều từ bảng thí nghiệm 5 mức 6 tham số trên, lựa chọn 40 bộ

tham số thông qua chương trình thiết kế và nhập 40 mô hình với các tham số trên tiến hành từng bước thực hiện phân tích mô phỏng Ansys Flunet và kết quả thu được thông qua phân tích mô phỏng được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả mô phỏng phân tích ảnh hưởng tham số kết cấu tối ưu đến tính năng cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng

TT	Tham số kết cấu						Kết quả		
	A (μm)	B (μm)	C (μm)	D (μm)	E (μm)	F (°)	Tải trọng (Pa)	Nhiệt độ TB (°C)	Hệ số ma sát
1	300	150	35	55	1000	4,8	12473571	111,869	0,00369
2	200	90	30	75	900	3,8	12206524	112,786	0,00377
3	200	90	30	35	1100	3,8	12155073	112,997	0,00378
4	400	210	50	35	1100	3,8	12906554	110,624	0,00357
5	300	150	40	55	1000	4,8	12473571	111,869	0,00369
6	200	210	30	35	1100	5,8	12370312	112,529	0,00373
7	200	210	30	75	1100	3,8	12747572	111,580	0,00362
8	400	210	50	35	900	5,8	12669095	111,573	0,00364
9	300	150	40	65	1000	4,8	12492899	111,970	0,00369
10	300	150	40	55	1000	4,8	12473571	111,869	0,00369
11	300	150	40	55	1000	4,8	12473571	111,869	0,00369
12	200	210	30	75	900	5,8	12531518	112,125	0,00368
13	300	120	40	55	1000	4,8	12340201	112,390	0,00373
14	200	90	30	35	900	5,8	12112711	113,113	0,00379
15	400	90	30	75	1100	3,8	12348812	112,648	0,00374
16	300	150	40	45	1000	4,8	12440969	112,165	0,003706
17	400	210	30	35	900	3,8	12950691	110,437	0,00356
18	200	210	50	75	1100	5,8	12511025	112,256	0,00368
19	200	210	50	35	900	3,8	12554034	112,035	0,00367
20	300	150	40	55	950	4,8	12479246	112,040	0,00369
21	400	90	50	75	1100	5,8	12222855	112,604	0,00376
22	300	150	40	55	1000	4,8	12473571	111,869	0,00369
23	400	210	50	75	900	3,8	13167150	109,510	0,0035
24	350	150	40	55	1000	4,8	12673571	111,870	0,00363
25	300	150	45	55	1000	4,8	12467068	112,090	0,00369

26	300	150	40	55	1000	4,8	12473571	111,869	0,00369
27	400	90	50	35	900	3,8	12310859	112,993	0,00386
28	400	210	50	75	1100	5,8	12972571	109,930	0,00356
29	250	150	40	55	1000	4,8	12408834	112,320	0,00371
30	300	180	40	55	1000	4,8	12619466	111,700	0,00365
31	300	150	40	55	1000	5,3	12444064	112,160	0,0037
32	300	150	40	55	1000	4,3	12520486	111,900	0,00368
33	400	210	50	35	900	3,8	12936467	110,559	0,00356
34	200	90	50	75	900	5,8	12134029	113,063	0,00379
35	300	150	40	55	1050	4,8	12468155	112,070	0,00369
36	200	90	50	75	1100	3,8	12188842	112,864	0,00377
37	400	90	30	35	1100	5,8	12193769	112,789	0,00377
38	300	150	40	55	1000	4,8	12473571	111,869	0,00369
39	400	90	30	75	900	5,8	12240893	112,554	0,00375
40	200	90	50	35	1100	5,8	12100618	113,164	0,0038

2.4. Nghiên cứu quy luật ảnh hưởng của các tham số kết cấu đến hiệu suất của cặp ma sát

Từ bảng 2 cho thấy, số liệu tham số đặc trưng của kết cấu bề mặt EOOPT tối ưu đối với tải trọng, nhiệt độ và hệ số ma sát. Để xác định quy luật ảnh hưởng của các tham số đặc trưng khác nhau đến nhiệt độ, khả năng chịu tải và hệ số ma sát, xây dựng đồ thị quan hệ các tham số đặc trưng của kết cấu vi mô đối với tính năng ma sát. Nhận thấy, tồn tại rất nhiều quan hệ giữa các tham số, trong đó sự biến đổi của bán kính dài, bán kính ngắn, độ lệch và độ sâu, mật độ kết cấu

$$\begin{aligned}
 R1 = & 6.731 \times 10^6 - 12855.354A + 4510.074B - 51340.23C + 20746.10D + \\
 & + 9875.18E + 1.960 \times 10^5 F + 9.6517AB - 1.6128AC + 4.0752AD - \\
 & - 0.089796AE - 125.38736AF - 9.822BC + 33.61466BD + 0.46146BE - \\
 & - 598.4288BF + 24.2756CD - 0.76492CE + 87.0805CF - 1.915DE - \\
 & - 428.954DF + 15.50969EF + 22.0212 A^2 - 7.01779B^2 - 633.2C^2 - \\
 & - 192.155D^2 - 4.9796E^2 - 15498.038F^2
 \end{aligned} \tag{13}$$

Sơ đồ phân tích độ tin cậy của mô hình hồi quy đa thức bậc hai tải trọng thu được bằng mô-đun thiết kế được thể hiện trong (hình 5), đường thẳng màu đen là giá trị dự đoán và các hình vuông màu là giá trị thực tế thu được từ thử nghiệm, có thể nhận thấy giá trị dự đoán của hệ thống và giá trị thực tế thu được từ thử nghiệm về cơ bản trùng nhau trên một đường thẳng, từ đó có thể cho biết độ chính xác, mức

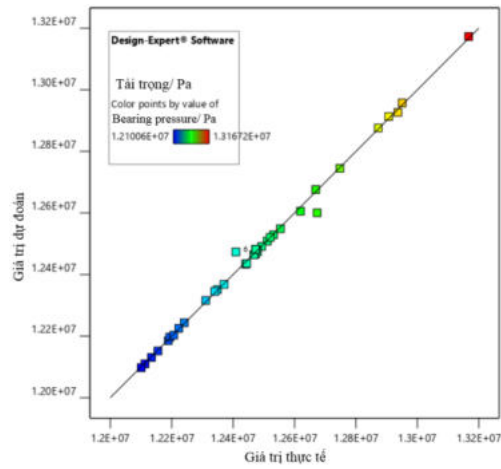
có xu hướng tác động như thế nào, có xuất hiện giao thoa hay không, tức sự tương tác giữa các yếu tố trên đến các mục tiêu như thế nào sẽ được phân tích cụ thể dưới đây.

2.4.1 Quy luật ảnh hưởng của các tham số đến khả năng chịu tải của màng dầu

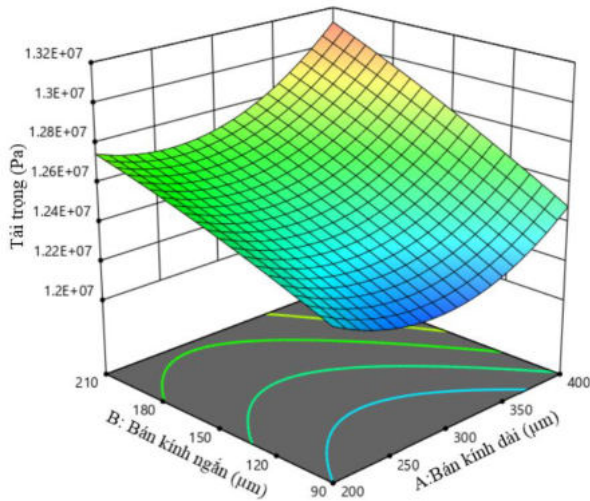
Theo số liệu ở bảng 3, thông qua quá trình phân tích thực nghiệm kết quả trên phần mềm Design-Expert, xây dựng được phương trình hồi quy đa thức bậc hai về sự ảnh hưởng của các tham số khác nhau đối với tải trọng màng dầu cặp gối trượt của bơm piston:

độ phù hợp cao và mô hình xây dựng có độ tin cậy cao.

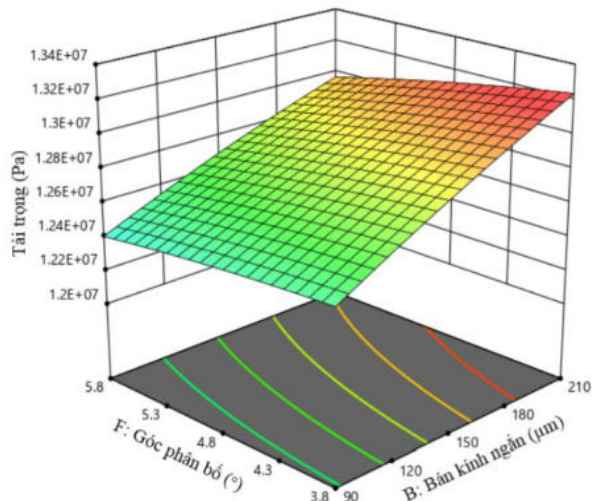
Biểu đồ bề mặt đáp ứng 3D về ảnh hưởng của sự tương tác giữa 6 tham số đến khả năng chịu lực của màng dầu được phân tích trên phần mềm Design Expert, như trong (hình 6).



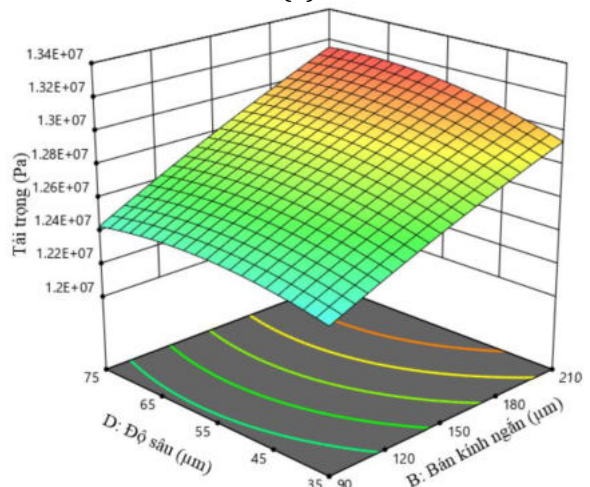
Hình 5. Mối quan hệ so sánh giữa giá trị dự đoán và thực tế của tải trọng



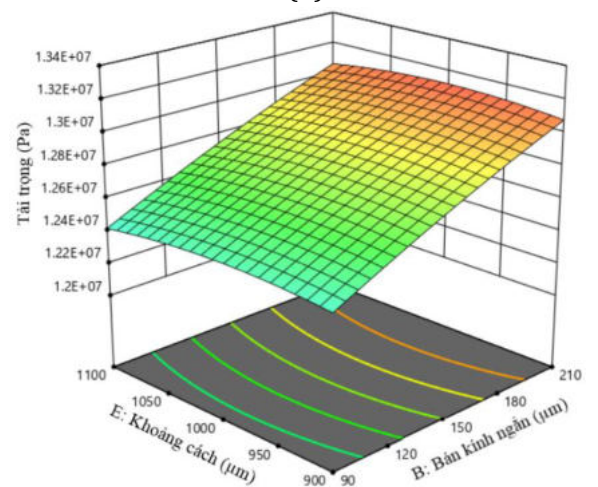
(a)



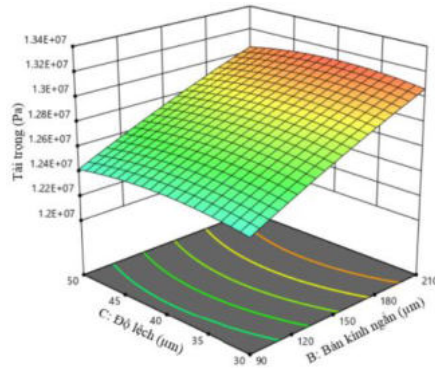
(b)



(c)



(d)



(e)

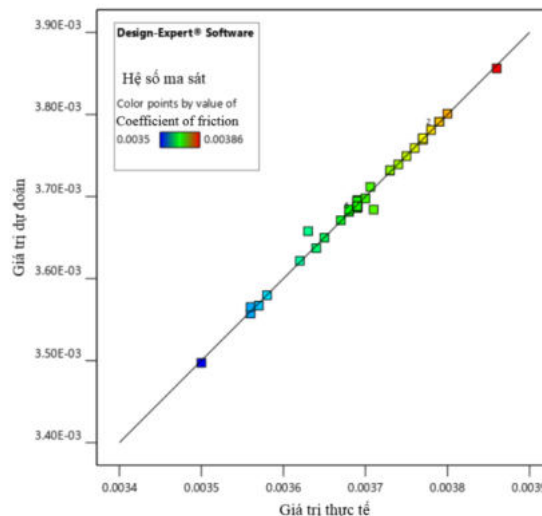
Hình 6. Bề mặt đáp ứng của các tham số kết cấu đối với tải trọng màng dầu

Thông qua mô phỏng và kết quả phân tích mức độ bề mặt đáp ứng trên phần mềm thấy được thứ tự ảnh hưởng của 6 tham số kết cấu đến khả năng chịu tải của màng dầu là: Bán kính ngắn (B) > bán kính dài (A) > góc phân bố kết cấu (F) > độ sâu (D) > khoảng cách kết cấu (E) > độ lệch (C).

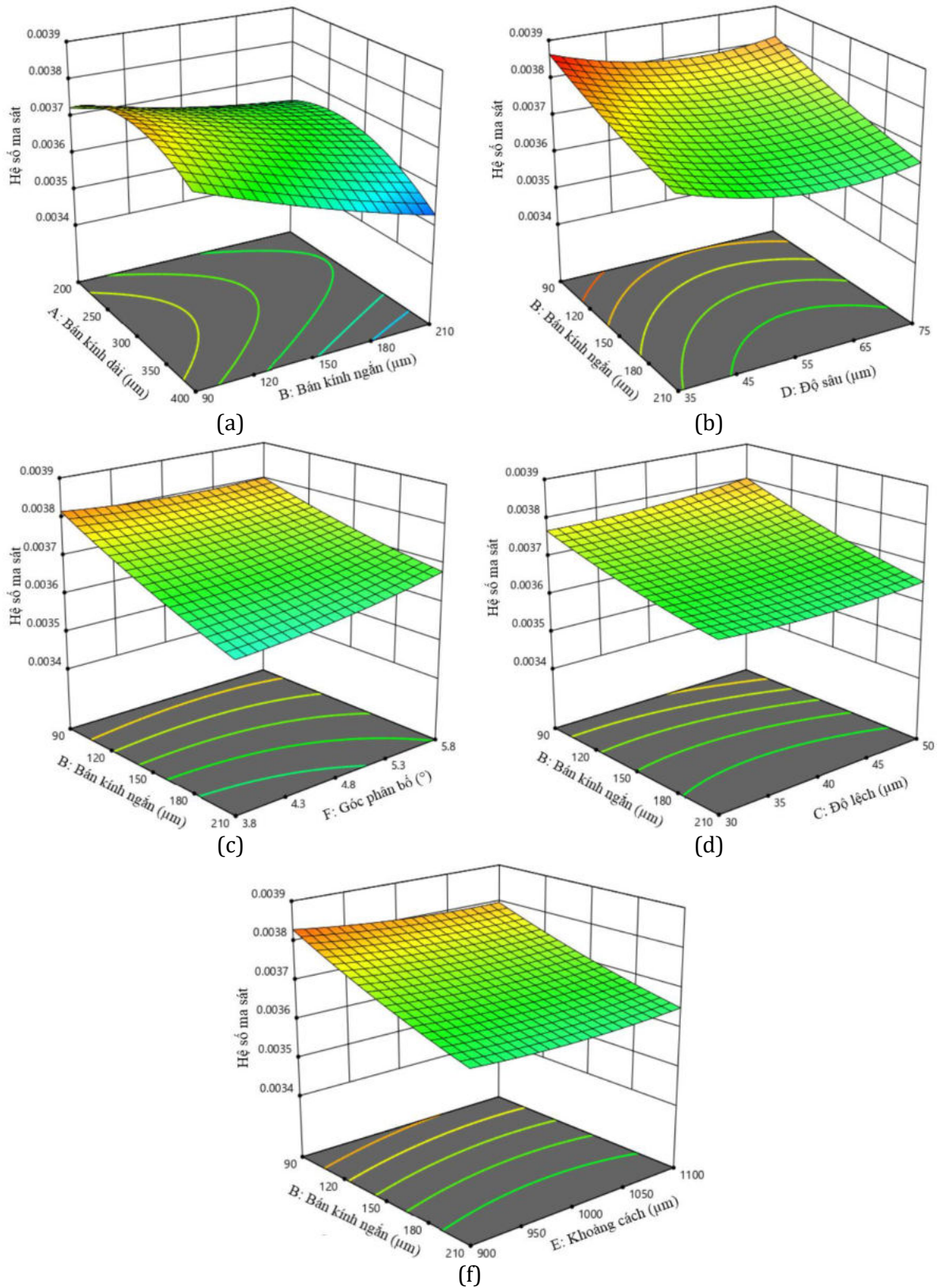
2.4.2 Quy luật ảnh hưởng của các tham số đến hệ số ma sát của màng dầu

Tương tự như trên, phương trình hồi quy đa thức bậc hai về sự ảnh hưởng của các tham số khác nhau đối với hệ số ma sát màng dầu cặp gối trượt của bơm piston:

$$\begin{aligned}
 R2 = & +0.00538 + 4.446 \times 10^{-6} A - 3.261 \times 10^{-6} B - 3.633 \times 10^{-6} C + 12 \times 10^{-6} D - \\
 & - 2.38 \times 10^{-6} E - 149 \times 10^{-6} F - 4.486 \times 10^{-9} AB + 5.392 \times 10^{-10} AC - \\
 & - 1.103 \times 10^{-9} AD + 1.116 \times 10^{-10} AE + 1.116 \times 10^{-8} AF - 1.544 \times 10^{-8} BC - \\
 & - 2.0006 \times 10^{-9} BD + 1.404 \times 10^{-9} BE + 3.486 \times 10^{-7} BF - 1.179 \times 10^{-8} CD - \\
 & - 1.535 \times 10^{-9} CE + 9.6408 \times 10^{-8} CF + 3.5157 \times 10^{-10} DE + 3.515 \times 10^{-8} DF - \\
 & - 1.1949 \times 10^{-9} EF - 6.938 \times 10^{-9} A^2 + 2.948 \times 10^{-9} B^2 + 1.0611 \times 10^{-7} C^2 + \\
 & + 1.0652 \times 10^{-7} D^2 + 1.0611 \times 10^{-9} E^2 + 0.000011F^2
 \end{aligned}
 \tag{14}$$



Hình 7. Mối quan hệ so sánh giữa giá trị dự đoán và thực tế của hệ số ma sát



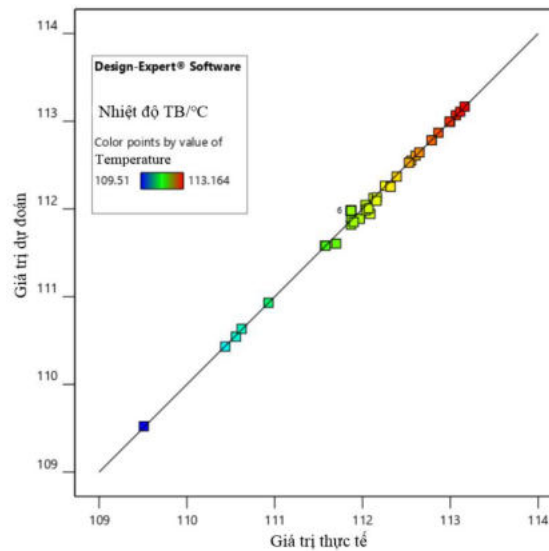
Hình 8. Bề mặt đáp ứng của các tham số kết cấu đối với hệ số ma sát màng dầu

Thông qua mô phỏng và kết quả phân tích mức độ bề mặt đáp ứng trên phần mềm thực nghiệm cho thấy, thứ tự ảnh hưởng của 6 tham số kết cấu đến hệ số ma sát của màng dầu là: Bán kính ngắn (B) > bán kính dài (A) > độ sâu (D) > góc phân bố (F) > độ lệch (C) > khoảng cách kết cấu (E).

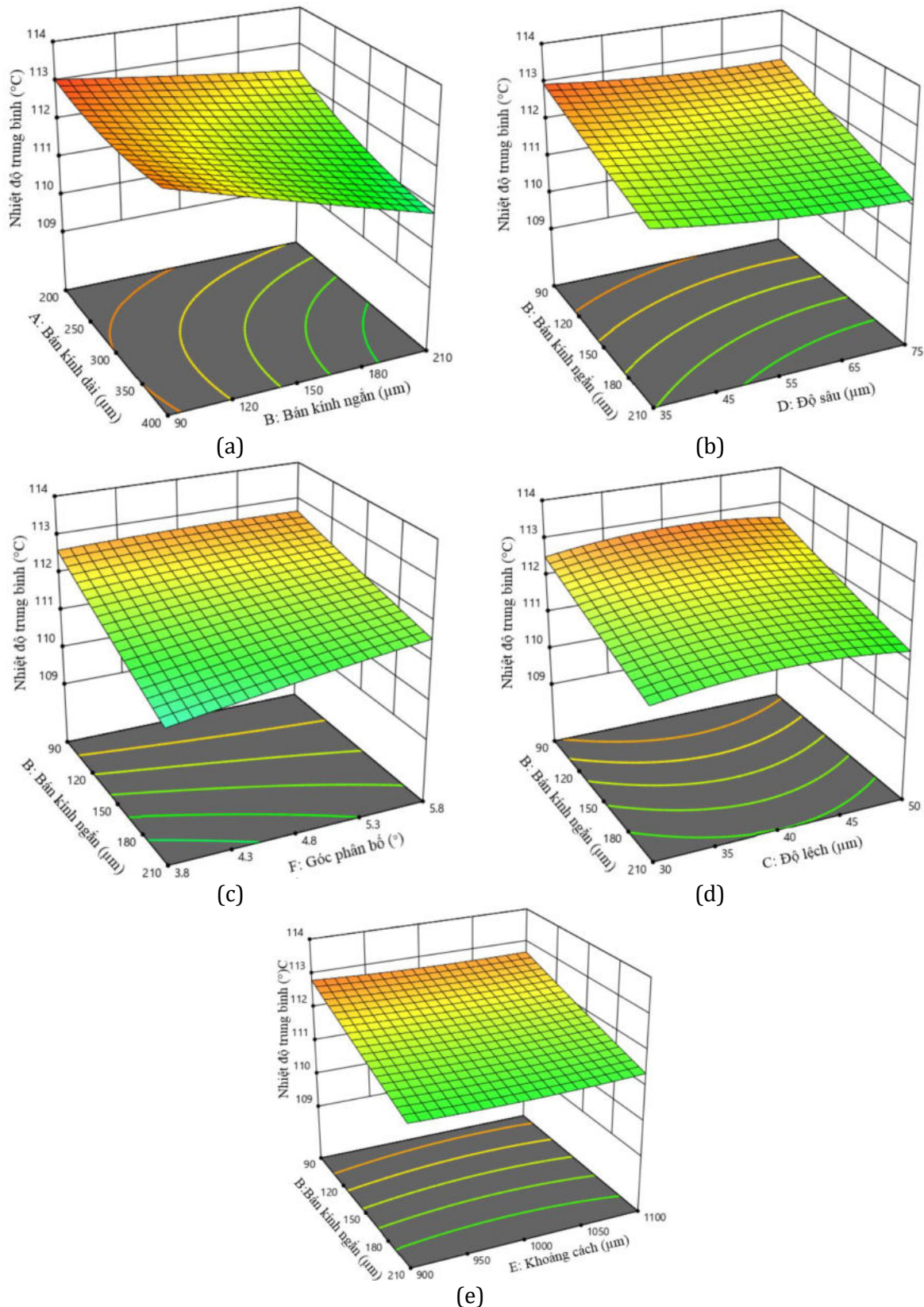
2.4.3 Quy luật ảnh hưởng của các tham số đến nhiệt độ của màng dầu

Tương tự như trên, phương trình hồi quy đa thức bậc hai về sự ảnh hưởng của các tham số khác nhau đối với mức độ gia tăng nhiệt độ màng dầu cặp gối trượt của bơm piston:

$$\begin{aligned}
 R3 = & 118.357 - 0.0123A - 0.0182B + 0.2386C - 0.0508D - 0.0123E + 0.3305F \\
 & - 47 \times 10^{-6} AB - 27 \times 10^{-6} AC - 21 \times 10^{-6} AD + 3 \times 10^{-6} AE + 22 \times 10^{-5} AF - \\
 & - 3 \times 10^{-5} BC - 6 \times 10^{-5} BD + 6.898 \times 10^{-6} BE + 0.003BF - 338 \times 10^{-6} CD - \\
 & - 29 \times 10^{-6} CE + 0.0036CF + 32 \times 10^{-6} DE + 0.001DF - 46 \times 10^{-6} EF + \\
 & + 22 \times 10^{-6} A^2 + 5.799 \times 10^{-6} B^2 - 0.00239C^2 + 0.000277D^2 + 6.087 \times 10^{-4} E^2 \\
 & - 0.039F^2
 \end{aligned} \tag{15}$$



Hình 9. Mối quan hệ so sánh giữa giá trị dự đoán và thực tế của nhiệt độ TB



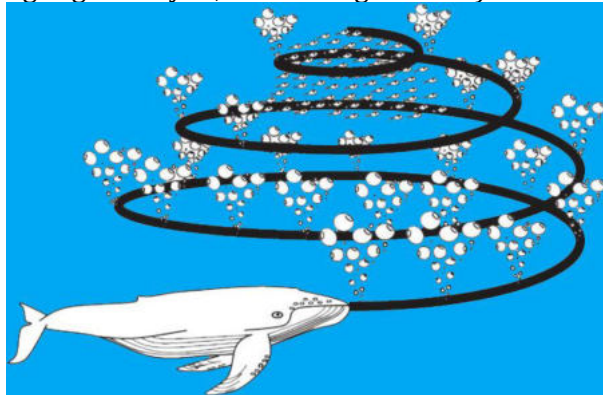
Hình 10. Bề mặt đáp ứng của các tham số kết cấu đối với nhiệt độ màng dầu

Thông qua mô phỏng và kết quả phân tích mức độ bề mặt đáp ứng trên phần mềm thấy được thứ tự ảnh hưởng của 6 tham số kết cấu đến mức độ gia tăng nhiệt độ màng dầu là: bán kính ngắn (B) > bán kính dài (A) > độ sâu (D) > góc phân bố (F) > độ lệch (C) > khoảng cách kết cấu (E).

3. Tối ưu hóa tham số kết cấu dựa trên thuật toán cá voi

3.1. Nguyên lý tối ưu hóa thuật toán cá voi

Năm 2016, Giáo sư Seyedali Mirjalili căn cứ vào quá trình săn mồi của cá voi lưng gù, đã đề xuất một thuật toán tối ưu hóa toàn cục cá voi (WOA) [Mirjalili, S, Lewis, A, 2016], và thể hiện hành vi săn mồi này bằng một phương pháp mô hình toán học bao vây con mồi, kiếm ăn bằng lưới bong bóng xoắn ốc và tìm kiếm con mồi (hình 12). Các hành vi săn mồi của cá voi cũng là yếu tố chính trong giải thuật này, bao gồm: (1-Theo dõi và tiếp cận con mồi; 2-Truy đuổi, bao vây và quấy nhiễu con mồi cho đến khi con mồi ngừng di chuyển; 3-Tấn công con mồi).



Hình 12. Sơ đồ săn mồi bằng lưới bong bóng xoắn ốc của cá voi lưng gù

- **Giai đoạn bao vây con mồi:** sau khi xác định được cá thể tìm kiếm tốt nhất, các cá thể khác sẽ cập nhật vị trí của mình theo cá thể tìm kiếm tốt nhất đó. Hành vi này được thể hiện bởi các biểu thức sau:

$$\bar{D} = |\bar{C} \cdot \bar{X}^*(t) - \bar{X}(t)| \quad (16)$$

$$\bar{X}^*(t+1) = \bar{X}^*(t) - \bar{A} \cdot \bar{D} \quad (17)$$

Với t là vòng lặp hiện tại; \bar{A} và \bar{C} là các

vector hệ số; $\bar{X}^*(t)$ là vector vị trí tốt nhất đạt được; $\bar{X}(t)$ là vector vị trí. Quan trọng ở đây là \bar{X}^* cần được cập nhật trong mỗi $(t+1)$ lần lặp nếu có kết quả tối ưu hơn. Vector \bar{A} và \bar{C} được tính như sau:

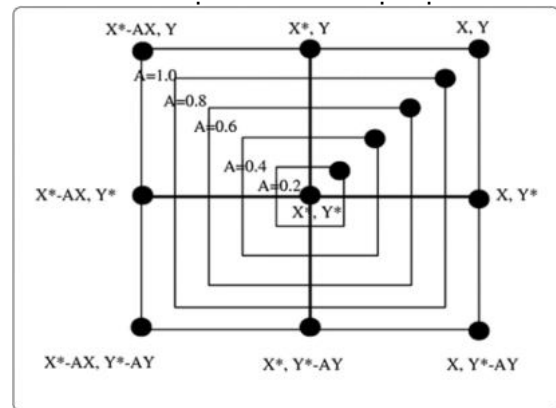
$$\bar{A} = 2a \cdot \bar{r} - a \quad (18)$$

$$\bar{C} = 2\bar{r} \quad (19)$$

trong đó: \bar{r} là một vector ngẫu nhiên trong khoảng $[0,1]$ và a là hệ số chỉ định có độ dài modul giảm tuyến tính từ 2 về 0 trong quá trình tính toán.

- **Giai đoạn săn mồi:** quá trình săn mồi của cá voi lưng gù được thể hiện bằng 2 cơ chế chính:

Cơ chế thu hẹp vòng vây: hành vi này có thể đạt được bằng cách giảm giá trị của a trong phương trình (18). Giá trị của a giảm từ 2 xuống 0 trong quá trình lặp, do đó A sẽ nhận giá trị trong khoảng $[-a; a]$. Chính vì vậy, vị trí mới có thể được định nghĩa bất cứ nơi nào giữa vị trí ban đầu và các vị trí tốt nhất hiện tại.



Hình 13. Vị trí tối ưu trong không gian 2D

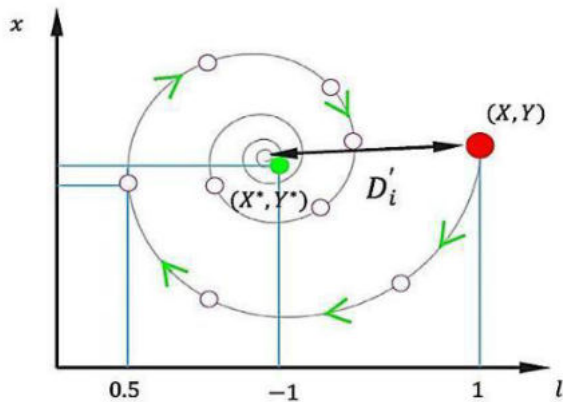
Cơ chế cập nhật vị trí theo hình xoắn ốc: ngoài việc cập nhật vị trí so với con mồi theo quỹ đạo hình tròn, cá voi lưng gù còn tiếp cận con mồi theo quỹ đạo hình xoắn ốc. Phương trình hình xoắn ốc như sau:

$$\bar{X}(t+1) = D' \cdot e^{bi} \cdot \cos(2\pi l) + \bar{X}^*(t) \quad (20)$$

$$D' = |\bar{X}^*(t) - \bar{X}(t)| \quad (21)$$

trong đó: D' chỉ ra khoảng cách của con cá voi thứ i tới con mồi; b là hằng số xác định

hình dạng của đường xoắn ốc lô-ga-rít; l là một số ngẫu nhiên nằm trong đoạn $[-1, 1]$.



Hình 14. Cập nhật vị trí theo hình xoắn ốc
Giả định rằng có xác suất 50% cá voi lưng gù sẽ lựa chọn một trong hai cơ chế chuyển động

trình bày ở các biểu thức (16), (17), (20), (21) ta có được:

Phương trình cập nhật vị trí của cá voi lưng gù:

$$\bar{X}(t+1) = \begin{cases} \bar{X}^*(t) - \bar{A}.D & p \leq 0,5 \\ D'.e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \bar{X}^*(t) & p > 0,5 \end{cases} \quad (22)$$

Với p là số ngẫu nhiên nằm trong khoảng $[0; 1]$

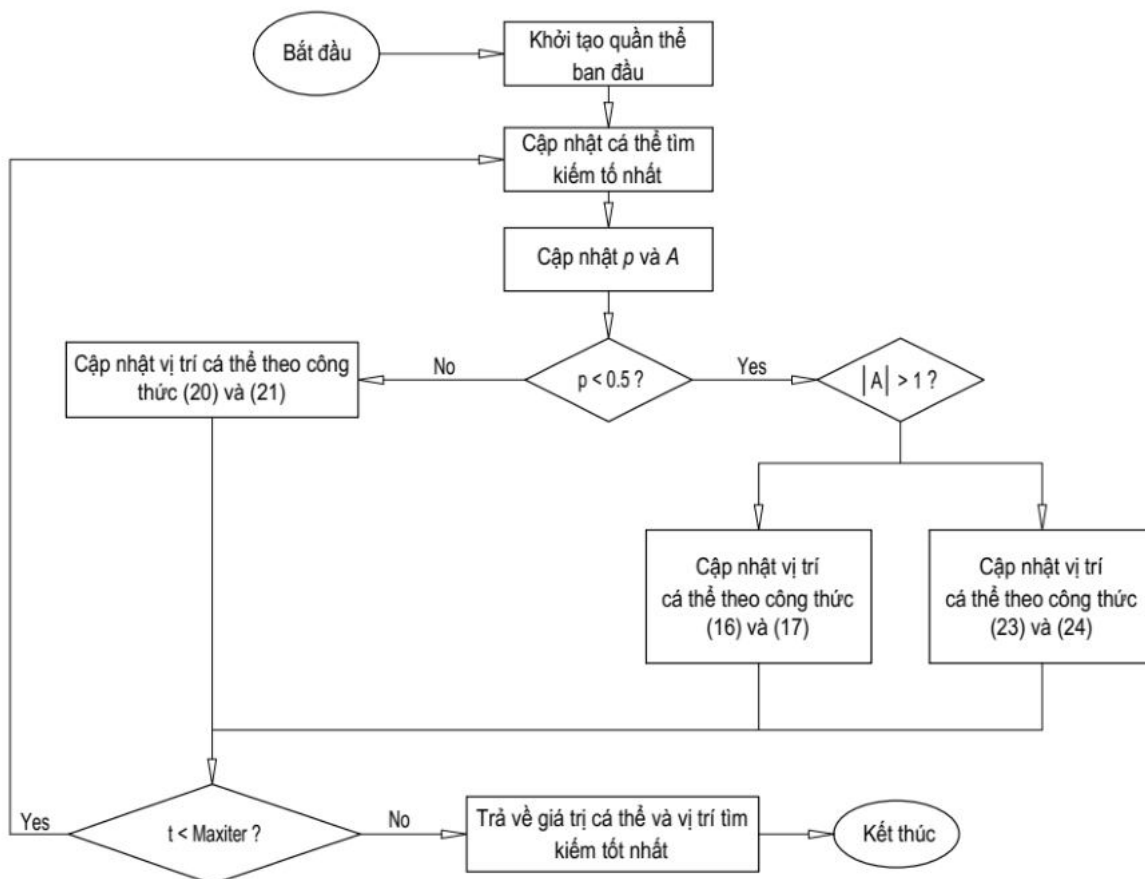
Giai đoạn tấn công con mồi: khi tấn công con mồi, mô hình toán học được thể hiện như sau:

$$\bar{E} = |\bar{C} \cdot \bar{X}_{rand} - \bar{X}| \quad (23)$$

$$\bar{X}(t+1) = \bar{X}_{rand} - \bar{A} \cdot \bar{D} \quad (24)$$

trong đó: \bar{X}_{rand} là một vectơ ngẫu nhiên (cá voi ngẫu nhiên) trong quần thể.

Lưu đồ thuật giải của thuật toán được thể hiện trên hình 15.



Hình 15. Lưu đồ giải thuật của thuật toán tối ưu WOA

3.2. Thiết lập mô hình tối ưu hóa tham số kết cấu

Như phân tích ở trên, chúng ta biết mức độ ảnh hưởng của các tham số đặc trưng của kết cấu vi mô đến khả năng chịu lực, hiệu suất ma sát và sự gia tăng nhiệt độ của cặp ma sát, nhận thấy có sự khác biệt rõ ràng về mức độ ảnh hưởng của 6 tham số đặc trưng đối với 3 chỉ tiêu ảnh hưởng. Mục đích của nghiên cứu này là giải quyết bài toán các tham số kết cấu tối ưu, sau khi tối ưu các tham số thu được tính năng của màng dầu cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng của bơm piston hướng trục như khả năng chịu tải, hệ số ma sát và sự gia tăng nhiệt độ là tốt nhất. Do đó, lấy khả năng chịu tải màng dầu là tối đa, hệ số ma sát tối thiểu, độ tăng nhiệt độ tối thiểu của màng dầu cặp gối trượt bơm piston hướng trục có kết cấu vi mô làm hàm mục tiêu; bán kính dài, bán kính ngắn, độ sâu và độ lệch của kết cấu EOOPT, khoảng cách giữa hai hàng kết cấu liền kề và góc phân bố là các biến tham số. Khả năng chịu tải của màng dầu trên bề mặt đáy của gối trượt có kết cấu vi mô tối ưu cao hơn so với bề mặt đáy của gối trượt không kết cấu; hệ số ma sát và mức tăng nhiệt độ của màng dầu cặp ma sát có kết cấu EOOPT tối ưu đều nhỏ hơn so với bề mặt không kết cấu, tiến hành thiết kế tối ưu hóa đa mục tiêu các tham số, thu được các tham số đặc trưng của kết cấu vi mô EOOPT tối ưu. Do đó, mô hình toán học của bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu được thiết lập:

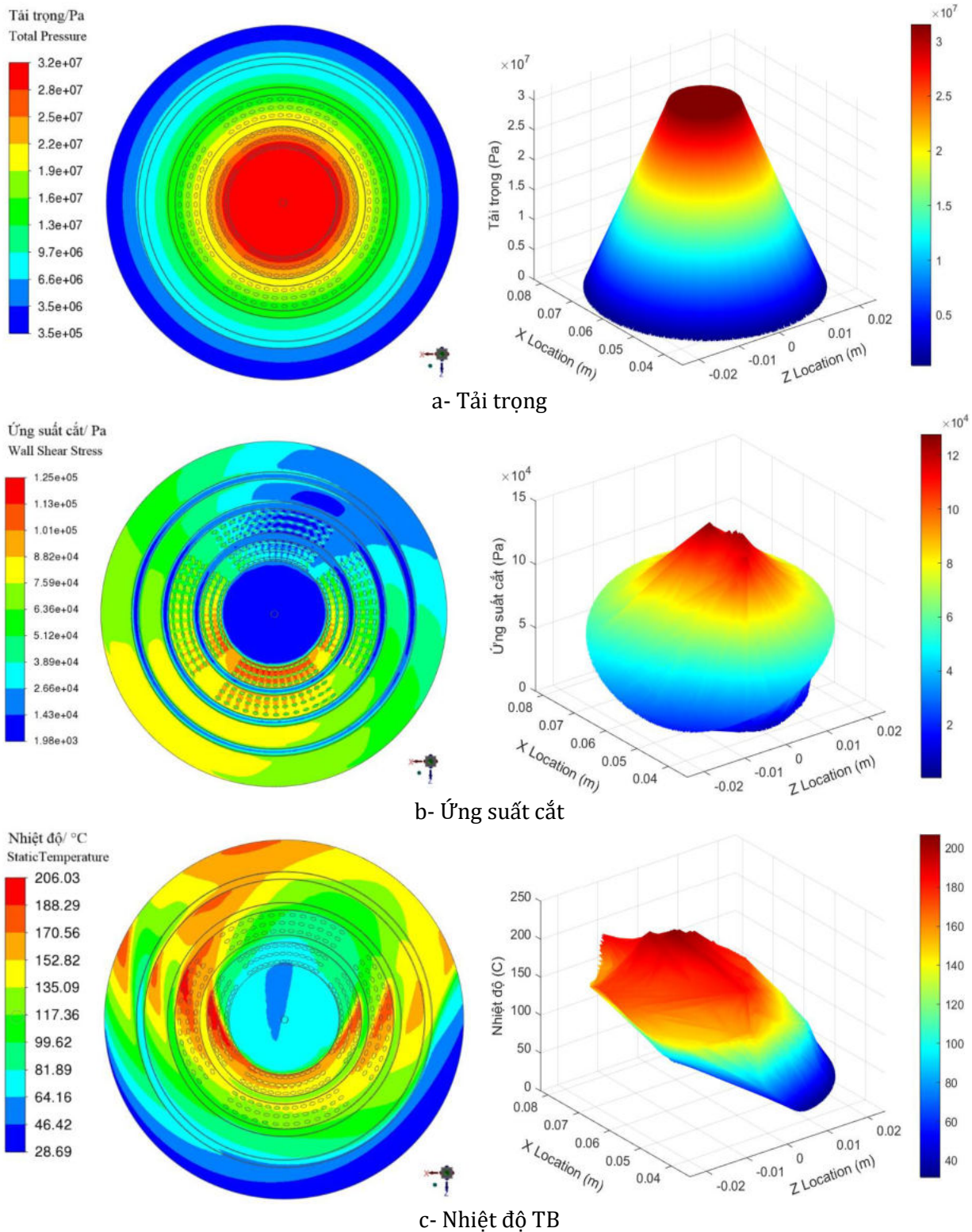
$$\begin{aligned} \min F(P) &= [-f_1(P), f_2(P), f_3(P)]^T \\ S.T \quad &\begin{cases} f_1(P) \geq 10824542,3 \\ f_2(P) \leq 120,83 \\ f_3(P) \leq 0,00423 \\ P = [P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6] \\ 200\mu m \leq P_1 \leq 400\mu m \\ 90\mu m \leq P_2 \leq 210\mu m \\ 30\mu m \leq P_3 \leq 50\mu m \\ 35\mu m \leq P_4 \leq 75\mu m \\ 900\mu m \leq P_5 \leq 1100\mu m \\ 3,8^\circ \leq P_6 \leq 5,8^\circ \end{cases} \end{aligned} \quad (25)$$

Trong đó: $f_1(P)$: hàm mục tiêu khả năng chịu lực của màng dầu mặt đáy của gối trượt có kết cấu vi mô, Pa; $f_2(P)$: hàm mục tiêu nhiệt độ TB của màng dầu cặp gối trượt có kết cấu vi mô, °C; $f_3(P)$: hàm mục tiêu hệ số ma sát của màng dầu mặt đáy của gối trượt có kết cấu vi mô; $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$: lần lượt là bán kính dài, bán kính ngắn, độ lệch, độ sâu, khoảng cách giữa hai hàng kết cấu, và góc phân bố của kết cấu EOOPT.

Mô hình toán học tối ưu hóa đã được thiết lập thông qua thuật toán tối ưu hóa cá voi, cuối cùng thu được giá trị các tham số kết cấu vi mô EOOPT tối ưu. Căn cứ theo các điều kiện tối ưu hóa ở trên, bài toán tối ưu 6 tham số đặc trưng của kết cấu EOOPT được giải quyết, tiến hành đưa vào phương trình thuật toán tối ưu, thu được giá trị các tham số tối ưu như sau: bán kính dài là 400,253 μm , bán kính ngắn là 209,836 μm , độ sâu là 75,247 μm , độ lệch là 49,148 μm , khoảng cách hai hàng kết cấu liền kề là 1086,739 μm và góc phân bố là 5,636°. Tiến hành làm tròn các tham số đặc trưng để thuận lợi cho quá trình mô phỏng phân tích và gia công ta thu được: bán kính dài là 400,25 μm , bán kính ngắn là 209,83 μm , độ sâu là 75,25 μm , độ lệch là 49,15 μm , khoảng cách hai hàng kết cấu liền kề là 1086,75 μm và góc phân bố là 5,6°.

3.3. Kết quả và thảo luận

Căn cứ các tham số đặc trưng tối ưu thu được sau khi tối ưu hóa trong phần trước, tiến hành xây dựng lại mô hình của cặp gối trượt với kết cấu EOOPT tối ưu, và tiến hành phân tích mô phỏng, việc xây dựng điều kiện biên và phân chia lưới trong quá trình mô phỏng giống như cài đặt của cặp ma sát nguyên mẫu. Khả năng chịu lực, hệ số ma sát và nhiệt độ trung bình của màng dầu cặp ma sát thu được bằng mô phỏng và tính toán lại theo các công thức liên quan với các tham số đặc trưng EOOPT tối ưu lần lượt là 12981635,42 Pa; 0,00354 và 109,39°C. Biểu đồ thể hiện tính năng của cặp ma sát gối trượt với kết cấu EOOPT tối ưu được thể hiện trên hình 16.



Hình 16. Kết quả mô phỏng tính năng cặp ma sát với kết cấu EOPT tối ưu

Từ hình 16(a) có thể nhận thấy rằng khả năng chịu lực của khu vực bố trí kết cấu vi mô trong biểu đồ đám mây áp suất có sự gia tăng mạnh, do đó cải thiện khả năng chịu lực của toàn bộ cặp ma sát gối trượt của bơm piston hướng trục; Từ hình 16(b) có thể thấy ứng suất cắt giảm đáng kể tại bề mặt cặp ma sát với vùng kết cấu trên biểu đồ mây ứng suất cắt, căn cứ theo công thức tính hệ số ma sát có thể biết khi khả năng chịu lực gia tăng và ứng suất cắt ứng suất giảm, hệ số ma sát sẽ giảm, do đó có thể giảm ma sát và mài mòn giữa gối trượt và đĩa nghiêng một cách hiệu quả, đồng thời nâng cao hiệu quả và tuổi thọ của cặp ma sát; Từ hình 16(c) có thể thấy rằng mức tăng nhiệt độ ở khu vực có kết cấu vi mô dọc theo hướng chuyển động của chất lỏng trong biểu đồ đám mây nhiệt độ thấp hơn so với ở khu vực không có kết cấu, cho thấy sự bố trí kết cấu vi mô tối ưu làm giảm nhiệt độ ở vùng làm việc của cặp ma sát.

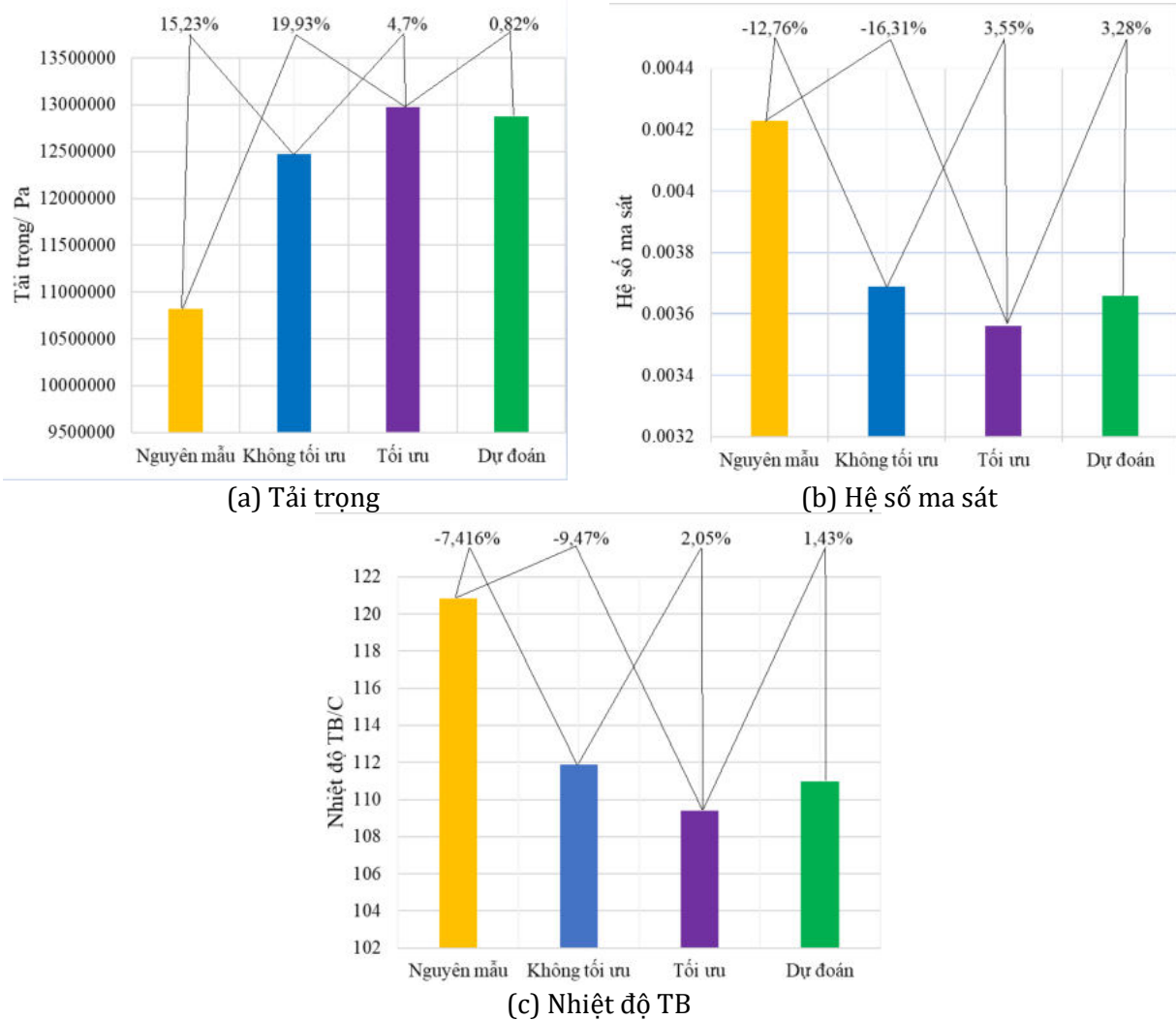
Từ các hình 16.a đến 16.c, có thể thấy rằng cặp ma sát được bố trí kết cấu EOOPT tối ưu nhất thông qua quá trình phân tích mô phỏng, thu được khả năng chịu lực của màng dầu tốt nhất, ứng suất cắt giảm và nhiệt độ trung bình cũng giảm, dẫn tới làm tăng độ dày của màng dầu giữa cặp ma sát. Do màng dầu tăng lên giữa các khe hở của các cặp ma sát nên hình thành nêm dầu dẫn đến độ dày của màng dầu tăng lên và hệ số ma sát giảm mạnh, điều này hoàn toàn

đúng theo nguyên lý làm việc thực tế của máy bơm và cặp ma sát giữa gối trượt-đĩa nghiêng. Nhưng ngược lại, do áp suất màng dầu tăng, nhiệt độ giảm, hệ số ma sát của cặp ma sát giảm, khe hở màng dầu giữa gối trượt và đĩa nghiêng tăng lên, dẫn đến hiện tượng tăng mạnh áp suất dầu trong quá trình hút và xả dầu, đây là điều sẽ dẫn đến làm gia tăng lượng rò lọt cặp ma sát so với cặp ma sát trước khi tối ưu hóa. Điều này hoàn toàn hợp lý khi cặp ma sát được gia tăng khả năng chịu tải màng dầu, giảm thiểu ứng suất cắt, giảm ma sát mòn, giảm nhiệt độ, cặp ma sát đã được cải thiện hiệu suất ma sát, tăng tuổi thọ màng dầu so với cặp ma sát nguyên mẫu, tuy nhiên tỷ lệ rò lọt là tương đối thấp. Tóm lại, bố trí kết cấu vi mô tối ưu có tác động tích cực đến việc cải thiện hiệu suất chịu tải, ma sát và chống mài mòn, cũng như giảm sự gia tăng nhiệt độ của màng dầu bôi trơn.

Để so sánh ảnh hưởng của kết cấu vi mô đối với việc cải thiện hiệu suất của cặp gối trượt bơm piston hướng trục và nghiệm chứng tính chính xác của mô hình, kết quả mô phỏng các tham số đặc trưng tối ưu của cặp ma sát với EOOPT tối ưu được so sánh với kết quả tối ưu dự đoán, kết quả mô phỏng của cặp ma sát nguyên mẫu và cặp ma sát với kết cấu EOOPT chưa tối ưu, chi tiết được liệt kê trong bảng 5 và hình 17.

Bảng 5 So sánh hiệu suất của cặp gối trượt bơm piston hướng trục kiểu đĩa nghiêng

		Nguyên mẫu	Cặp ma sát gối trượt-đĩa nghiêng có kết cấu vi mô				
			Không tối ưu	Tối ưu	Tỷ lệ	Dự đoán	Sai số
Hệ số ma sát	Tỷ lệ	0,00423	0,00369	0,00354	3,55%	0,00366	3,28%
			-12,76%	-16,31%			
Tải trọng/Pa	Tỷ lệ	10824542,3	12473571,23	12981635,42	4,70%	12876620,38	0,82%
			15,23%	19,93%			
Nhiệt độ TB/°C	Tỷ lệ	120,83	111,87°C	109,39	2,05%	110,98	1,43%
			-7,416%	-9,47%			



Hình 17. Biểu đồ so sánh hiệu suất ma sát của cặp gổ trượt

Từ hình 17 có thể thấy, khả năng chịu tải, hệ số ma sát và nhiệt độ trung bình của màng dầu cặp ma sát bố trí kết cấu EOOPT với các thông số đặc trưng tối ưu nhất lần lượt là 12981635,42 Pa, 0,00354 và 109,39°C; So với cặp ma sát gổ trượt nguyên mẫu, khả năng chịu tải, hệ số ma sát và nhiệt độ trung bình lần lượt là 10824542,3 Pa, 0,00423 và 120,83°C, lần lượt tăng 19,93% và giảm 16,31% và 9,46%; Sai số giữa các giá trị dự đoán của mô hình với các tính năng 12876620,38Pa, 0,00368 và 110,98°C lần lượt là 0,82%, 3,28% và 1,43%; So với khả năng chịu tải, hệ số ma sát và nhiệt độ trung bình của cặp ma sát với kết cấu EOOPT chưa tối ưu lần lượt là 12473571,23 Pa, 0,00369 và 111,87°C, nó đã tăng 15,23% và giảm 12,62% và 7,416%.

Có thể thấy rằng, sử dụng lý thuyết thiết kế tối ưu hóa các tham số kết cấu EOOPT có hiệu quả trong việc cải thiện hơn nữa các hiệu suất của cặp gổ trượt bơm piston hướng trục. Thiết lập mô hình dự đoán dựa trên các tham số kết cấu EOOPT đặc trưng cho các tính năng làm việc của cặp gổ trượt bơm piston hướng trục có đủ độ chính xác, có thể dự đoán các tính năng ma sát của cặp gổ trượt bơm piston hướng trục dưới các thông số kết cấu tùy ý. Điều này cho thấy rằng các thông số kết cấu vi mô thích hợp và sự bố trí hợp lý của chúng trên bề mặt cặp gổ trượt bơm piston hướng trục, có thể cải thiện đáng kể hiệu suất của cặp ma sát gổ trượt nói riêng và hiệu suất làm việc của bơm nói chung.

3. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu lý thuyết phân tích bề mặt đáp ứng và sử dụng phân tích lý thuyết bề mặt đáp ứng để thiết kế thực nghiệm 5 cấp độ 6 yếu tố cho kết cấu EOOPT và tiến hành 40 bộ thử nghiệm mô phỏng và thu được kết quả mô phỏng của từng nhóm về khả năng chịu tải, hệ số ma sát và nhiệt độ trung bình. Sau đó, đã nghiên cứu quy luật và mức độ ảnh hưởng của các tham số kết cấu EOOPT đặc trưng đối với hiệu suất chịu tải, hiệu suất ma sát và mòn và mức độ gia tăng nhiệt độ. Trong mô hình tối ưu hóa, khả năng chịu tải của màng dầu cặp gối trượt bơm piston hướng trục 250SCY14 sau tối ưu hóa là lớn nhất, hệ số ma sát nhỏ nhất, lượng rò lọt nhỏ nhất và mức độ gia tăng nhiệt độ được xem xét để tiến hành tối ưu hóa mục tiêu và đưa ra kết luận sau:

(1) Thứ tự ảnh hưởng đối với khả năng chịu tải màng dầu: bán kính ngắn (B) > bán kính dài (A) > góc phân bố (F) > độ sâu (D) > khoảng cách vị cấu trúc (E) > độ lệch (C);

(2) Thứ tự ảnh hưởng đối với hệ số ma sát màng dầu: bán kính ngắn (B) > bán kính dài (A) > độ sâu (D) > góc phân bố (F) > độ lệch (C) > khoảng cách kết cấu (E);

(3) Thứ tự ảnh hưởng đối với nhiệt độ màng dầu: bán kính trục nhỏ (B) > bán kính trục lớn (A) > độ sâu (D) > góc phân bố (F) > độ lệch (C) > khoảng cách kết cấu (E);

(4) Sự kết hợp tối ưu của các tham số EOOPT đặc trưng: bán kính dài: 400,25 μm , bán kính ngắn: 209,85 μm , độ sâu: 75,25 μm , độ lệch: 49,15 μm và khoảng cách hai hàng kết cấu liền kề: 1086,75 μm và góc phân bố: 5,6°;

(5) Áp suất chịu lực của cặp gối trượt bơm piston hướng trục có tham số kết cấu EOOPT đặc trưng tối ưu nhất là 12981635,42Pa, cao hơn 19,93% so với cặp ma sát nguyên mẫu là 10824542,3Pa; hệ số ma sát là 0,00354 so với cặp ma sát nguyên mẫu là 0,00423, thấp hơn 16,31%; nhiệt độ trung bình cặp ma sát kết cấu tối ưu là 109,39°C, thấp hơn 9,46% so với nhiệt độ trung bình của cặp ma sát nguyên mẫu là 120,83°C;

Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc sử dụng lý thuyết thiết kế tối ưu hóa đa mục tiêu các tham số kết cấu EOOPT có hiệu quả trong việc cải thiện hơn nữa hiệu suất của cặp ma sát bơm

piston hướng trục và bố trí kết cấu EOOPT với các tham số hợp lý trên bề mặt của cặp ma sát có tác động tích cực nhất định đến việc cải thiện hiệu suất làm việc của nó. Thực nghiệm kết quả thực tế nhằm đánh giá kết quả phân tích mô phỏng và tính toán lý thuyết thực nghiệm là bước tiếp theo của nghiên cứu này.

Đóng góp của các tác giả

Lê Văn Lợi - lên ý tưởng tính toán thiết kế và viết phần phương pháp và hoàn thiện bản thảo; XuPing - kiểm tra xây dựng chương trình tính toán, mô phỏng và phân tích đánh giá; Yu Yinghua - kiểm tra xây dựng chương trình tính toán, mô phỏng và phân tích đánh giá; Nguyễn Duy Trung- lọc và kiểm tra dữ liệu bắt lỗi chương trình; Đỗ Trung Hiếu - lọc và kiểm tra dữ liệu bắt lỗi chương trình, biên tập và rà soát bản thảo; Nguyễn Thanh Tuấn- biên tập và rà soát nội dung bản thảo.

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Đăng Bình, Phan Quang Thế, (2006). Ma sát, mòn và bôi trơn trong kỹ thuật. Tập 1, 2. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật. Hà Nội, 210 trang
- Nguyễn Anh Tuấn, Bùi Văn Gòn, (2006) . Lý thuyết bôi trơn ướt. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội, 88 trang.
- Ezhilmaran V. et al (2018) . Investigation on generation of laser assisted dimples on piston ring surface and influence of dimple parameters on friction[J]. *Surface and coatings technology*, 2018, 335:314-326.
- Fiaschi. G et al (2019), Tribological response of laser-textured steel pins with low-dimensional micrometric patterns[J]. *Tribology International*, 149(5): 105548
- Lê Văn Lợi, XuPing, Yu YingHua, (2022). Tình hình nghiên cứu kết cấu bề mặt trong bôi trơn và giảm ma sát của hệ thống ma sát [J]. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, (5):40-48.
- Lê Văn Lợi, XuPing, Yu YingHua, Trần Văn Hiệp, (2022). Ứng dụng phương pháp taguchi xác định tối ưu hóa phân tích ảnh hưởng của kết cấu vi mô bề mặt đối với đặc tính ma sát-mòn cặp gối trượt-đĩa nghiêng trong bơm piston hướng trục [J]. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, (6):38-49.

- Lê Văn Lợi, Zhu HuaJie, Yu YingHua, (2023). Tối ưu hóa thiết kế và phân tích tính năng kết cấu vi mô đặc biệt của bề mặt cặp ma sát lót xy lanh-xéc măng động cơ [J]. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, (1):30-38.
- Jonathon K. Schuh, Randy H. Ewoldt (2016), Asymmetric surface textures decrease friction with Newtonian fluids in full film lubricated sliding contact[J], *Tribology International*, (19): 490 - 498.
- Zhao Yali, Zhang Siqi, Lu Wenqian, Chen Chong, Wei Li, (2021). Optimizing the extraction process of Ruyi Jinhuang Powder Compound Based on Multi-index Weight Analysis and Orthogonal Design [J]. *Chinese Journal of New Drugs*, 30(15):1428-1434 .
- Yu Yinghua, Yang Shuaibin, Cao Maolin, Shen Jiaying, Nguyen Van Tan, (2022), Research on elliptical offset parabolic micro-texture of sliding bearing surface[J/OL]. *Surface Technology*, 051(009): 131-167
- Xing Lei, Li Jinyu, Zhao Lixin, et al, (2021). Structural Optimization of Downhole Cyclone Separator Based on Response Surface Method [J]. *China Mechanical Engineering*, 32(15): 1818-1826.
- Wei Xin, Wang Leigang, Wang Zhao, Pan Shuhua, (2021). Optimization of Process Parameters of Automobile Rear Wheel Cover Based on Response Surface Method [J]. *Forging Technology*, 46(10): 70-77.
- Yang Xu, Zhou Dejian, Zhuang Gongwei, Song Wei, Liu Xiaolong, She Yulai, (2021). Optimizing the Embedded Position of Cable-Carbon Fiber Reinforced Composite Integrated Component Cable Based on Improved Response Surface Method[J]. *China Mechanical Engineering*, 32(16): 2008-2015.
- Hu Yanfeng, Du Yanbin, Xu Lei, Zhou Zhijie, Shu Linsen, (2021). Laser cladding process parameter optimization method integrated with response surface method and particle swarm optimization algorithm [J/OL]. *Mechanical Science and Technology*, 1-9.
- Mahanthesh B, Mackolil Joby, Mallikarjunaiah S.M, (2021). Response surface optimization of heat transfer rate in Falkner-Skan flow of ZnO-EG nanoliquid over a moving wedge: Sensitivity analysis[J]. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 125:150348
- Yang Yubing, Zhang Chunguang, Liu Guangheng, Li Shangqing, Zhang Junfeng, An Lei, Chu Shuai, (2021). Optimal Design of Piston Pump Labyrinth Seal Based on Response Surface Method [J]. *Fluid Machinery*, 49(06): 44-49+93.
- MIRJALILI. S, LEWIS. A, (2016). The whale optimization algorithm[J]. *Advances in Engineering Software*, 95(5):51-67.

NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN ĐỂ XÂY DỰNG PHẦN MỀM TÍNH TOÁN CƠ CẤU NÂNG

Nguyễn Văn Tịnh^{1,*}, Phạm Quang Dũng¹

¹ Khoa Cơ khí, Trường Đại học xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội

TÓM TẮT

Cơ cấu nâng được sử dụng trong nhiều loại máy xây dựng, đặc biệt là máy nâng. Việc tính toán thiết kế cơ cấu nâng hiện nay chủ yếu thực hiện thủ công, thời gian tính lâu, chưa lựa chọn được phương án và thiết bị hợp lý, khả năng dẫn đến sai sót rất cao. Trên cơ sở các tiêu chuẩn và tài liệu chuyên ngành, nhóm nghiên cứu xây dựng thuật toán tính toán thiết kế cơ cấu nâng theo hướng khả thi trong điều kiện vật tư thiết bị trong nước. Dựa trên thuật toán đã xây dựng, bước đầu lập trình tính toán loại cơ cấu nâng thông dụng trên máy tính. Kết quả tính toán với một số yêu cầu thiết kế khác nhau cho thấy, thời gian tính chưa đầy 1 s tương ứng với khối lượng công việc mà một kỹ sư thiết kế phải thực hiện trong một khoảng thời gian dài (khoảng 3 ngày). Phần mềm có thể ứng dụng xây dựng các nhiệm vụ thiết kế đồ án cho sinh viên hoặc áp dụng tính toán thiết kế cơ cấu nâng mới, tính toán kiểm tra, thẩm định thiết kế tại các cơ sở thiết kế, chế tạo, viện nghiên cứu một cách nhanh chóng với số liệu hợp lý.

Từ khóa: Cơ cấu nâng; Cần trục; Thuật toán; Chương trình tính toán; Phần mềm tính toán.

1. Mở đầu

Cơ cấu nâng là cơ cấu không thể thiếu trong các loại máy và thiết bị nâng hạ, như các loại cần trục tự hành, cầu trục, cổng trục,... Trong Hình 1 là một cơ cấu nâng điển hình đang được chế tạo và lắp đặt thử nghiệm tại một xưởng sản xuất cơ khí trong nước. Cơ cấu gồm động cơ điện, phanh, hộp giảm tốc, cụm tang cuốn cáp, cụm móc treo và các trục truyền, khớp nối, gối đỡ.

Việc nghiên cứu thuật toán và xây dựng phần mềm tính toán cơ cấu nâng giúp cho người thiết kế có được kết quả tính toán chính xác, nhanh gọn và dễ tìm ra phương án thiết kế hợp lý tùy theo khả năng cung ứng vật tư thiết bị trong thực tế. Thuật toán và phần mềm tính toán còn là cơ sở để tiến tới tự động hoá tính toán và thiết kế tối ưu cơ cấu nâng.

Ở Việt Nam hiện nay, nhu cầu tính toán thiết kế cơ cấu nâng nói riêng, các loại máy nâng nói chung là rất lớn, song thực tế thường phải tính bằng tay hoặc một số đơn vị thiết kế tự lập ra các bảng tính sẵn trong Excel để thao tác lựa chọn một số thông số cũng như thiết bị mà chủ yếu dựa theo kinh nghiệm và thiết bị có sẵn của đơn vị mình. Nghiên cứu ứng dụng tin học trong việc tính toán lựa chọn thiết bị của cơ cấu nâng cầu trục đã thiết lập các

thuật toán và xây dựng phần mềm tính (Năng và nnk., 2022). Tuy nhiên, chương trình tính toán này phù hợp với việc lựa chọn nhanh thiết bị đơn vị cung cấp có sẵn để tính toán nhanh giá thành. Ngoài ra, một số công ty có mua phần mềm tính toán cơ cấu nâng từ nước ngoài. Việc sử dụng phần mềm này vừa đắt vừa phụ thuộc vào tiêu chuẩn và cách tính của họ (không can thiệp được vào chương trình). Vì vậy việc nghiên cứu thuật toán xây dựng phần mềm tính toán cơ cấu nâng để tìm ra phương án thiết kế, thông số và thiết bị hợp lý nhất có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Cơ cấu nâng trên các loại cần trục nói chung rất đa dạng, song hiện nay cơ cấu nâng với phương án sử dụng động cơ điện ba pha dẫn động tang cuốn cáp thông qua hộp giảm tốc như cơ cấu nâng trên cầu trục là phổ biến nhất. Đây cũng là đối tượng để nghiên cứu thuật toán tính toán và xây dựng phần mềm tính toán thiết kế cơ cấu nâng theo hướng khả thi trong điều kiện vật tư thiết bị hiện nay.

Trong nghiên cứu này, một thuật toán tính toán thiết kế cơ cấu nâng được giới thiệu với các nguyên tắc tính toán, lựa chọn và tối ưu thông số dựa trên cơ sở lý thuyết tính toán thiết kế cơ cấu nâng là tiêu chuẩn (TCVN 4244-2005, 2005) và các tài liệu chuyên ngành (Chính và nnk., 2002; Giang, 2019;

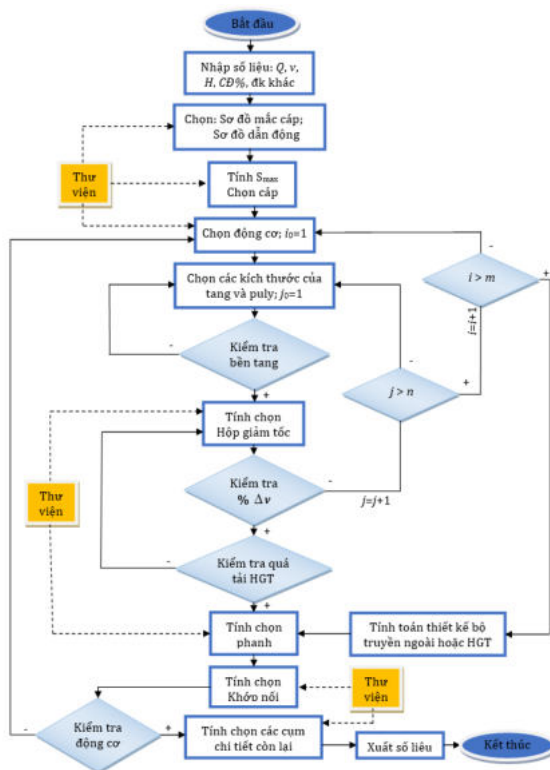
Scheffler, 1994). Từ thuật toán đề xuất, nhóm bước đầu thực hiện lập trình xây dựng phần mềm tính toán và tính toán thử nghiệm, so sánh và đánh giá hiệu quả.



Hình 1. Cơ cấu nâng đang được chế tạo tại xưởng.

2. Thuật toán tính toán cơ cấu nâng

2.1. Giới thiệu chung thuật toán tính toán cơ cấu nâng



Hình 2. Thuật toán tính toán thiết kế cơ cấu nâng.

Sơ đồ thuật toán tính toán cơ cấu nâng đề xuất được thể hiện trên Hình 2. Thuật toán được chia thành bốn khối chức năng: Nhập số liệu, thư viện, khối tính toán và xuất số liệu.

Khối chức năng tính toán được sắp xếp thành từng nhóm: Nhóm có vòng lặp được đặt riêng và nhóm có thông số ít bị ảnh hưởng trong quá trình

tính toán được đặt sau cùng do đó sẽ giảm thiểu được số lần tính toán và thời gian tính sẽ nhanh hơn.

Bước tính trong thuật toán là hữu hạn cho nên sẽ cho kết quả phù hợp nhất sau mỗi lần tính toán thiết kế.

Để thuật toán cho kết quả nhanh, đa dạng các loại thiết bị, phương án và kinh tế thì cần xây dựng một thư viện các phương án dẫn động, mắc cáp, thông số các loại thiết bị lựa chọn. Thư viện sẽ được cập nhật thường xuyên.

2.2. Các thông số cho trước

Các thông số cần biết trước khi tính toán thiết kế cơ cấu nâng:

- Tải trọng nâng Q (tấn);
- Vận tốc nâng v (m/ph);
- Chiều cao nâng H (m);
- Chế độ làm việc CD (%);

- Các điều kiện đặc biệt khác: Nhiệt độ cao, ẩm ướt, ăn mòn,...

2.3. Nguyên tắc tính toán trong thuật toán

Những thiết bị trong cơ cấu được tính toán, kiểm tra thỏa mãn các điều kiện theo (Chính và nnk., 2002; Giang, 2019; Scheffler, 1994; TCVN 4244-2005, 2005). Nguyên tắc chung là thông số và thiết bị lựa chọn là nhỏ nhất có thể. Ngoài ra, đối với các thiết bị cụ thể, thuật toán tính toán lựa chọn theo nguyên tắc sau đây.

2.3.1. Chọn sơ đồ mắc cáp, sơ đồ dẫn động và cáp

Căn cứ vào tải trọng nâng Q để lựa chọn bội suất palăng tương ứng với loại palăng và sơ đồ dẫn động. Tuy nhiên, nếu muốn sử dụng sơ đồ dẫn động và loại palăng khác người thiết kế có thể lựa chọn trong thư viện của chương trình. Trên cơ sở sơ đồ mắc cáp đã chọn và tải trọng nâng, thuật toán tính lực căng cáp lớn nhất và lựa chọn cáp thép. Loại cáp thép sử dụng lựa chọn là loại cáp thép có sẵn trên thị trường hiện nay và đã được liệt kê trong thư viện.

2.3.2. Tính chọn động cơ

Sau khi tính công suất động cơ, tiến hành lựa chọn động cơ với những ưu tiên sau:

- Kiểu động cơ: Kiểu roto dây cuốn.

- Công suất động cơ chọn lớn hơn và gần với giá trị tính toán nhất.

- Tốc độ quay lớn nhất.

2.3.3. Tính chọn các kích thước của tang và puly

Kích thước sơ bộ của tang và puly được lựa chọn với các ưu tiên:

- Giá trị nhỏ nhất theo tính toán và được làm tròn lên.

- Các kích thước về chiều dài, đường kính: Chữ số hàng đơn vị ưu tiên số 0 và 5.

- Kích thước về chiều dày tang: Giá trị làm tròn lên đến mm.

2.3.4. Kiểm tra bền tang

Kiểm tra bền tang với kết cấu và điều kiện:

- Tang và trục đỡ tang là một dầm đơn giản.

- Khi $Q < 100$ t, khoảng cách giữa hai gối của tang trong đơn vị mm chọn là

$$L_d = L_t + 200 \quad (1)$$

Trong đó: L_t - chiều dài tang (mm).

- Cấp ở vị trí gần với điểm giữa của tang nhất.

Nếu tang không thỏa mãn điều kiện bền, chương trình sẽ quay lại bước chọn kích thước và chiều dày tang lúc này được cộng thêm 1 mm so với lần tính trước. Cứ như vậy cho đến khi tang đủ bền thì chương trình chuyển sang bước tính chọn hộp giảm tốc (HGT).

2.3.5. Tính chọn HGT

- Chọn HGT thỏa mãn đồng thời cả bốn điều kiện sau:

+ Tỷ số truyền HGT gần với tỷ số truyền tính toán nhất.

+ Công suất cho phép của HGT lớn hơn và gần với công suất động cơ nhất.

+ Tốc độ cho phép của trục vào HGT lớn hơn và gần với tốc độ động cơ nhất.

+ Lực tác dụng theo phương hướng kính của trục ra HGT nhỏ hơn lực hướng kính cho phép.

2.3.6. Kiểm tra HGT về sai số % Δv và quá tải

- Kiểm tra sai số tốc độ nâng theo điều kiện

$$\frac{|v - v_{tt}|}{v} \cdot 100\% \leq 5\% \quad (2)$$

Trong đó: v_{tt} là vận tốc nâng thực tế, được xác định nhờ vào các thông số của các thiết bị đã chọn.

Nếu không thỏa mãn điều kiện này, thuật toán sẽ chuyển qua bước thay đổi kích thước đường kính của tang trong đơn vị mm

$$D_t = D_t + 10 \quad (3)$$

tương ứng với số lần chọn kích thước đường kính

$$j = j + 1 \quad (4)$$

Tiếp tục như vậy đến khi

$$j > n \quad (5)$$

với

$$n = \frac{(k - 1) \cdot D_{t0}}{10} \quad (6)$$

Trong đó: D_{t0} - Đường kính tang chọn ban đầu (mm) và k - số lần đường kính lớn hơn đường kính tang chọn ban đầu giới hạn. Thông thường giá trị k có thể chọn bằng 1,5 và hoàn toàn có thể điều chỉnh được nếu có yêu cầu đặc biệt.

Khi điều kiện (5) thỏa mãn thì thuật toán chuyển sang thay đổi cấp tốc độ của động cơ (m là số cấp tốc độ) và lại bắt đầu chọn đường kính tang như ban đầu.

Thay đổi hết các loại tốc độ của động cơ mà vẫn không thỏa mãn, thuật toán sẽ chuyển sang bước thông báo phải tính toán thiết kế HGT hoặc thiết kế thêm bộ truyền ngoài để có tỷ số truyền phù hợp yêu cầu.

- Kiểm tra HGT quá tải theo (Giang, 2019) và trên cơ sở động cơ đã chọn ở trên.

2.3.7. Tính chọn phanh

Trong thư viện chương trình sẽ có nhiều loại phanh của các hãng khác nhau và chương trình sẽ ưu tiên lựa chọn loại phanh điện thủy lực, có mô men phanh lớn nhất lớn hơn và gần với mô men phanh tính toán nhất.

2.3.8. Tính chọn khớp nối

Chọn khớp nối chủ yếu dựa vào điều kiện mô men xoắn: Chọn khớp có mô men có thể truyền được lớn hơn và gần giá trị mô men xoắn lớn nhất cần truyền nhất. Ngoài ra, khớp còn được chọn theo các ưu tiên:

- Khớp nối giữa động cơ và HGT có bánh phanh ưu tiên loại khớp răng và đàn hồi.

- Khớp giữa HGT và tang cuốn cáp ưu tiên loại khớp răng.

2.3.9. Kiểm tra động cơ

Động cơ được kiểm tra quá tải, kiểm tra điều kiện phát nhiệt. Nếu các điều kiện không thỏa mãn thì buộc phải quay lại bước chọn động cơ và chọn lại động cơ có công suất lớn hơn một cấp.

2.3.10. Tính toán các chi tiết còn lại của cơ cấu

Các cụm chi tiết còn lại như: Cụm móc treo, tính kẹp cáp, gối và trục tang do không bị ảnh hưởng nhiều trong quá trình tính toán của các thiết bị kể trên nên được tính toán sau cùng theo (Giang, 2019, Chính và nnk.,2002) và (Hiệp và nnk.,1999).

2.4. Xuất số liệu

Kết quả tính nhận được tùy theo lựa chọn: có thể được quan sát trực tiếp trên giao diện, đồng thời có thể xuất sang file dạng text hoặc có thể in ra trên giấy.

Kết quả tính xuất ra theo từng thiết bị: Thông số động cơ, phanh, khớp nối, hộp giảm tốc, tang, cáp thép,...

3. Chương trình tính toán cơ cấu nâng

3.1. Giới thiệu chung

Chương trình tính toán cơ cấu nâng được lập trình trên cơ sở thuật toán đã được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình Visual Basic 6.0 có những đặc điểm sau:

- Chạy trong môi trường WINDOWS, không xung đột với chương trình khác.
- Giao diện thân thiện, Việt hóa tối đa, dễ sử dụng, cài đặt và chuyển giao.
- Giải được bài toán thuận là tính toán thiết kế mới và bài toán kiểm tra khi thay thế một số thiết bị, vật tư có sẵn.
- Có thể trao đổi số liệu với một số phần mềm khác và có thể xuất kết quả tính ra file dạng TEXT hoặc đồ họa.
- Các số liệu nhập và xuất phù hợp với các quy định trong tiêu chuẩn tính toán thiết kế.
- Chương trình có thư viện vật tư, thiết bị cho cơ cấu nâng phổ biến trên thị trường hiện nay, có thể dễ dàng cập nhật mới, thay thế, sửa chữa theo yêu cầu riêng của người thiết kế.

3.2. Sử dụng chương trình trong tính toán

Giao diện chính của chương trình tính toán thiết kế cơ cấu nâng được thể hiện trong Hình 3.

- Nhập số liệu đầu vào: Gồm năm thông số: Q , v , H , $CD\%$ và điều kiện khác. Tương ứng với mỗi thông số, chương trình đã đưa ra những dãy thông số thông dụng để người thiết kế có thể tham khảo như đối với $Q(t)$: 1; 2; 2,5; 5; 7,5; 10;... đối với chiều cao nâng $H(m)$: 6; 9;...

- Kiểm tra thông số đầu vào: Khi nhập số đầu vào quá lớn, sai hoặc thiếu, chương trình sẽ đưa ra thông báo để người thiết kế kịp thời sửa lại. Trên Hình 4, hộp thoại xuất hiện thông báo kiểm tra "Xem lại có điều kiện khác không?" khi người dùng chưa nhập thông tin về Điều kiện khác.

- Tính toán tự động: Chương trình tự động tính toán và lựa chọn các thiết bị có sẵn trong thư viện của chương trình theo hướng ưu tiên như đã trình bày ở Mục 2.

- Kết quả tính toán: Kết quả có thể quan sát trực tiếp trên giao diện chính với những thông số chính của thiết bị hoặc có thể xem chi tiết tất cả các thông số của thiết bị trong cơ cấu khi nhấn nút xem chi tiết và kết quả nhận được có thể dài đến vài trang giấy khổ A4.

- Tính toán kiểm tra: Khi thay thế thông số một trong những thiết bị, chương trình sẽ tính toán kiểm tra theo thiết bị đã thay thế.

- Chương trình có thể mở rộng thêm khảo sát động lực học cơ cấu thiết kế trong quá trình nâng hạ.

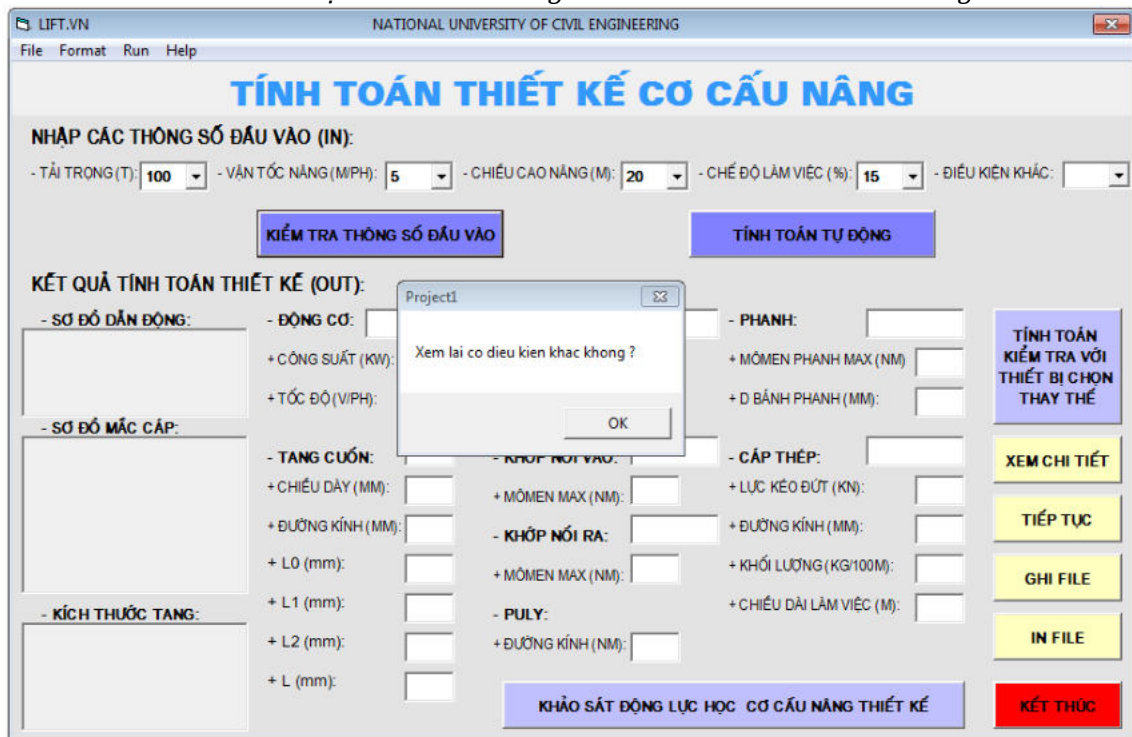
Ví dụ tính toán thiết kế cơ cấu nâng của cầu trục hai dầm tải trọng nâng 20 tấn, vận tốc nâng 8 m/ph, chiều cao nâng 9 m, chế độ làm việc trung bình ($CD=25\%$) bằng phần mềm. Kết quả tính toán được chương trình đưa ra trong Hình 5 với nguồn dữ liệu nhập vào thư viện chương trình là các loại động cơ, hộp giảm tốc của (Flender, (2023); Nord Group, 2023) và các thiết bị nâng của (VNID, 2023). So sánh với cấu hình của cơ cấu nâng có thông số tương đương có sẵn trên thực tế, kết quả từ phần mềm tính toán thu được nhỏ gọn hơn. Thực hiện tính toán thử nghiệm với nhiều ví dụ khác nhau, thời gian tính toán đều nhỏ hơn 1 s. Trong khi đó, cũng với khối lượng công việc tương đương thì một kỹ sư thiết kế phải mất không ít hơn ba ngày làm việc để hoàn thành tính toán và trình bày báo cáo.



The screenshot shows the main window of the 'TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CƠ CẤU NÂNG' (Lift Structure Design Calculation) software. The title bar indicates it is from the National University of Civil Engineering (LIFT.VN). The interface is divided into several sections:

- NHẬP CÁC THÔNG SỐ ĐẦU VÀO (IN):** This section contains five dropdown menus for inputting parameters: 'TẢI TRỌNG (T)', 'VẬN TỐC NÂNG (MIPH)', 'CHIỀU CAO NÂNG (M)', 'CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC (%)', and 'ĐIỀU KIỆN KHÁC'.
- Buttons:** There are two main buttons: 'KIỂM TRA THÔNG SỐ ĐẦU VÀO' (Check input parameters) and 'TÍNH TOÁN TỰ ĐỘNG' (Automatic calculation).
- KẾT QUẢ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ (OUT):** This section is currently empty, with several sub-sections for output data:
 - SƠ ĐỒ DẪN ĐỘNG:** (Empty)
 - SƠ ĐỒ MẮC CÁP:** (Empty)
 - KÍCH THƯỚC TANG:** (Empty)
- Output Parameters:** A grid of input fields for various calculated values, including motor power, speed, torque, braking, and structural dimensions.
- Right Panel:** A vertical stack of buttons: 'TÍNH TOÁN KIỂM TRA VỚI THIẾT BỊ CHỌN THAY THẾ', 'XEM CHI TIẾT', 'TIẾP TỤC', 'GHI FILE', 'IN FILE', and 'KẾT THÚC'.
- Bottom Panel:** A large blue button labeled 'KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC CƠ CẤU NÂNG THIẾT KẾ' and a red 'KẾT THÚC' button.

Hình 3. Giao diện chính của chương trình tính toán thiết kế cơ cấu nâng.



This screenshot shows the same software interface as Figure 3, but with a dialog box open over the 'KIỂM TRA THÔNG SỐ ĐẦU VÀO' button. The dialog box, titled 'Project1', contains the text 'Xem lại cơ điều kiện khác không?' (Check other conditions again?) and an 'OK' button. The background interface shows the input fields filled with values: 'TẢI TRỌNG (T): 100', 'VẬN TỐC NÂNG (MIPH): 5', 'CHIỀU CAO NÂNG (M): 20', 'CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC (%): 15', and 'ĐIỀU KIỆN KHÁC'.

Hình 4. Hộp thoại thông báo kiểm tra thông số đầu vào.

Hình 5. Kết quả tính toán cơ cấu nâng cho ví dụ $Q=20\text{ t}$, $v=8\text{ m/ph}$, $H=9\text{ m}$ và $CD=25\%$.

4. Kết luận

Xuất phát từ yêu cầu tính toán thiết kế cơ cấu nâng trong thực tế và phục vụ công tác đào tạo, bài báo đã trình bày:

- Xây dựng thuật toán tính toán cơ cấu nâng hợp lý với thiết bị lựa chọn sẵn có và khả năng chế tạo trong nước làm cơ sở để tiến tới tự động hoá tính toán và thiết kế tối ưu cơ cấu nâng.

- Phần mềm tính toán cơ cấu nâng được lập trình dựa trên thuật toán đã nghiên cứu bằng ngôn ngữ lập trình Visual Basic 6.0.

Trên cơ sở thuật toán và phần mềm ta có thể xây dựng các nhiệm vụ thiết kế đồ án môn học cho sinh viên hoặc áp dụng tính toán thiết kế cơ cấu nâng, tính toán kiểm tra, thẩm định thiết kế tại các cơ sở thiết kế, chế tạo, viện nghiên cứu một cách nhanh chóng, chính xác với các thông số thiết bị lựa chọn hợp lý.

Tài liệu tham khảo

Vũ Liêm Chính, Phạm Quang Dũng, Trương Quốc Thành (2002). Cơ sở thiết kế Máy xây dựng. Nhà xuất bản xây dựng. Hà Nội, 355 trang.

Flender (2023), Catalog các loại động cơ và hộp giảm tốc. <https://www.flender.com/en/>

Dương Trường Giang (2019). Hướng dẫn thuyết minh tính toán đồ án môn học Máy và Thiết bị nâng. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội, 151 trang.

Nguyễn Trọng Hiệp, Nguyễn Văn Lãm (1999). Thiết kế chi tiết máy. Nhà xuất bản giáo dục. Hà Nội, 380 trang.

Tống Đức Năng, Ngô Thanh Long, Nguyễn Trung Kiên (2022). Ứng dụng tin học trong việc tính toán lựa chọn thiết bị của cơ cấu nâng cầu trục. Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (TCKHCN XD) - ĐHXDHN, 16(5V), 34-45. [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(5V\)-04](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-04)

Nord Group (2023), Catalog các loại động cơ và hộp giảm tốc, https://www.nord.com/en/_home-de.jsp

Nguyễn Thị Ngọc Mai (2004). Microsoft Visual Basic 6.0 và Lập trình Cơ sở dữ liệu. Nhà xuất bản Lao động – Xã hội. Hà Nội, 1073 trang.

Scheffler, M. (1994). Grundlagen der Fördertechnik - Elemente und Triebwerke. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 340 pages

TCVN 4244-2005 (2005). Thiết bị nâng. Thiết kế, chế tạo và kiểm tra kỹ thuật.

VNID (2023), Catalog các loại thiết bị nâng. <http://vnid.vn/catalog-download.php>

MỘT SỐ VẤN ĐỀ TRONG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MÁY TÁCH NƯỚC LY TÂM

Nguyễn Văn Xô^{1,*} Phạm Anh Tuấn²

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất

² Công ty Cổ phần cơ khí Hòn Gai - Vinacomin

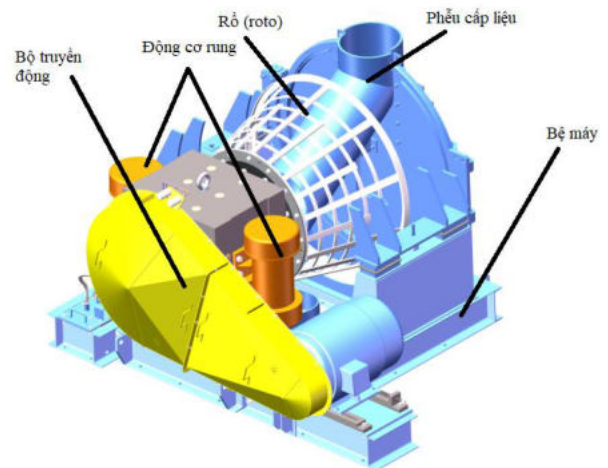
TÓM TẮT

Máy tách nước ly tâm là giải pháp tốt nhất để tách cơ học chất rắn khỏi chất lỏng bởi vì nó có thể khử nước liên tục với năng suất cao đến độ ẩm đầu ra thấp, trong khi cần ít không gian, năng lượng hoặc thời gian. Máy tách nước ly tâm được sử dụng nhiều trong công nghệ tuyển khoáng, máy làm nhiệm vụ tách (vắt) nước lẫn trong sản phẩm ra để làm giảm bớt độ ẩm của sản phẩm. Độ ẩm của sản phẩm đầu vào từ 18% - 28%, sau khi qua thiết bị vắt tách nước, độ ẩm đầu ra của sản phẩm còn $\leq 13\%$. Hiện tại loại máy này được sử dụng nhiều cho ngành than, tuy nhiên thiết bị nhập khẩu từ nước ngoài với chi phí cao và chúng ta không làm chủ được công nghệ. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả trình bày một số vấn đề trong tính toán thiết kế máy tách nước, đây là cơ sở cho các nhà khoa học tham khảo trong quá trình thiết kế máy.

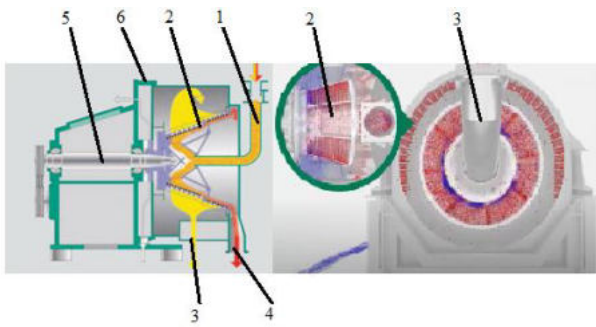
Từ khóa: Máy tách nước; tính toán thiết kế; ly tâm

1. Đặt vấn đề

Trong công nghệ tuyển khoáng đa phần các khoáng sản cần phải được nghiền nhỏ với mục đích tách các hợp chất ra khỏi nhau rồi dựa vào các tính chất vật lý, hóa học ... để phân loại và làm giàu. Các chất phụ gia trong quá trình tuyển được sử dụng phổ biến nhất ở dưới dạng lỏng. Vì vậy kết thúc quá trình tuyển sản phẩm cần được sấy khô bằng các phương pháp khác nhau để phục vụ cho các công đoạn tiếp theo. Máy tách nước ly tâm được sử dụng nhiều trong công nghệ tuyển khoáng, máy làm nhiệm vụ tách (vắt) nước lẫn trong sản phẩm ra để làm giảm bớt độ ẩm của sản phẩm. Độ ẩm của sản phẩm đầu vào từ 18% - 28%, sau khi qua thiết bị vắt tách nước, độ ẩm đầu ra của sản phẩm còn $\leq 13\%$. Máy tách nước ly tâm có cấu tạo như hình 1 và nguyên lý hoạt động như hình 2



Hình 1. Cấu tạo của máy tách nước ly tâm



Hình 2. Nguyên lý hoạt động máy tách nước ly tâm
1-Phễu cấp liệu; 2- Rổ (roto); 3-Đường xả nước; 4- Đường xả liệu; 5-Cụm truyền động; 6-Thân máy

Nguyên liệu đầu vào là sản phẩm của quá trình tuyển ướt được rót qua phễu cấp liệu 1 vào rổ 2, khi máy làm việc dưới tác dụng của lực ly tâm sinh ra từ động cơ dẫn động qua cụm truyền động 5 các phân tử nước và hạt vật liệu có xu hướng văng ra ngoài, các hạt vật liệu được chặn lại còn các phân tử nước lọt qua khe của rổ văng ra ngoài và được tháo qua đường xả 3 còn vật liệu được thoát qua đường xả 4. Để tăng khả năng đẩy trượt vật liệu ra khỏi rổ, thân máy 6 bố trí động cơ gây rung làm nhiệm vụ rung đẩy sản phẩm trên mặt rổ lưới và đẩy hạt vật liệu ra ngoài cửa xả 4.

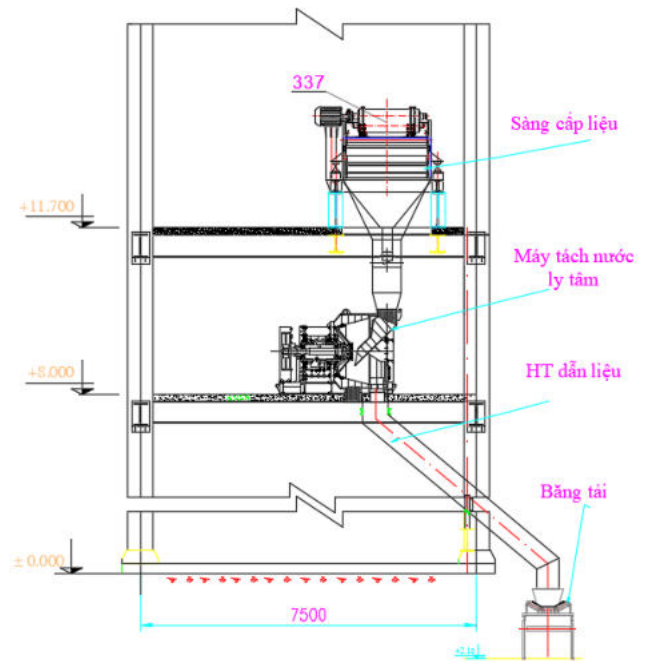
Thiết bị trong các nhà máy sàng tuyển ở TKV sử dụng rất nhiều, tuy nhiên hiện tại trong nước chưa có những nghiên cứu lý thuyết về thiết bị này và cũng chưa có đơn vị nào chế tạo thiết bị này, mà hoàn toàn nhập khẩu từ nước ngoài, giá thành cao, gây nhiều khó khăn cho các doanh nghiệp trong quá trình sửa chữa thay thế, dẫn đến không làm chủ được kế hoạch sản xuất mà phải lệ thuộc vào nước ngoài. Trong bài viết này tác giả tập trung đi sâu vào nghiên cứu lý thuyết đặc biệt các yếu tố ảnh hưởng đến máy trong quá trình làm việc, kết quả này sẽ là cơ sở cho các nhà thiết kế máy tách nước ly tâm tham khảo.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1 Phân loại máy tách nước ly tâm

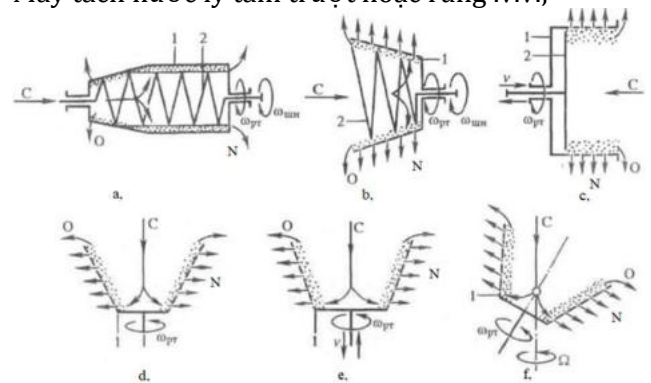
Máy tách nước ly tâm là một thiết bị trung gian trong dây chuyền sàng tuyển than, như hình 3 là một trường hợp: Trong dây chuyền này, than sau khi qua sàng cấp liệu thông qua hệ thống dẫn liệu sẽ được cấp đầu vào của máy tách nước, sau đó máy tách nước ly tâm sẽ làm việc để làm khô

than, sau đó than khô sẽ được chuyển đến băng tải và vận chuyển than đến kho chứa



Hình 3. Sơ đồ dây chuyền sàng tuyển than có máy tách nước ly tâm

Trong thực tế máy tách nước ly tâm có nhiều kiểu khác nhau: Máy tách nước ly tâm trực đứng (hình 4 d, e) và máy ly tâm trục ngang (hình 4 a, b, c), hoặc máy tách nước ly tâm trục xiên (hình 4 f); Máy tách nước ly tâm rổ có gân xoắn (hình 4.a,b), rổ vừa quay vừa tịnh tiến (hình 4 c, e); Máy tách nước ly tâm trượt hoặc rung .v.v.;



Hình 4 Một số kiểu máy tách nước ly tâm

Theo nghiên cứu của các nhà khoa học và các máy trong thực tế về máy tách nước ly tâm trục ngang và máy tách nước ly tâm trục đứng ta thấy rằng:

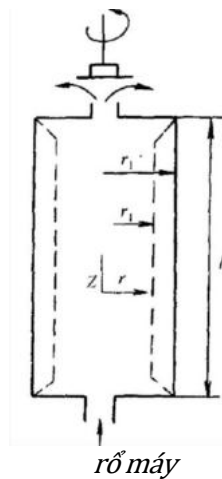
- Máy ly tâm trục ngang có khối lượng nhỏ hơn 40% so với máy ly tâm đứng cùng kích thước với cùng chi phí năng lượng.

- Máy tách nước ly tâm trục ngang dễ bảo trì hơn so với máy ly tâm thẳng đứng, vì thiết kế nằm ngang không yêu cầu tháo rời toàn bộ máy.

2.2 Một số vấn đề lý thuyết trong tính toán thiết kế máy tách nước ly tâm (施震荣, 2003; 本社, 1974; 编委会, 1979)

Giả sử máy ly tâm có rỗng chuyển động quanh trục z với vận tốc góc ω như hình 5, sau khi huyền phù đi vào từ đáy của rỗng, các hạt vật liệu di chuyển đồng thời theo hướng dọc trục và hướng tâm của ống.

Hình 5. Mô hình của hạt vật liệu chuyển động trong



l- Chiều dài của rỗng máy tách nước; r_1 bán kính của lớp vật liệu nhỏ nhất bên trong cùng rỗng; $m; r_1$ bán kính rỗng; $m; \omega$ vận tốc góc của rỗng, rad/s

Giả sử tại thời điểm t hạt vật liệu cách trục Z một khoảng bằng bán kính r; bỏ qua ảnh hưởng của lực trọng trường ta có phương trình vận tốc chuyển động của hạt vật liệu theo phương z là (GS.TSKH Nguyễn Văn Khang, 2012):

$$\frac{dz}{dt} = \frac{V}{\pi(r_1^2 - r^2)} \quad (1)$$

Trong đó: V - Lưu lượng huyền phù, m^3/s
Vận tốc chuyển động của hạt theo phương r là:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{d_s^2(p_s - p)}{18\mu} \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2)$$

Trong đó: d_s - Kích thước hạt vật liệu, m; p_s : Trọng lượng riêng của hạt vật liệu, kg/m^3 ; p :

Trọng lượng riêng của chất lỏng; μ : Độ nhớt của chất lỏng, Pa.s.

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dz} &= \frac{dr/dt}{dz/dt} \\ &= \frac{d_s^2(p_s - p)}{18\mu} \cdot r \cdot \omega^2 \frac{\pi(r_1^2 - r^2)}{V} \quad (3) \end{aligned}$$

Tích phân phương trình (3) với r từ $r_1 \rightarrow r$, Z từ $0 \rightarrow l$ ta có

$$V = \frac{\pi(r_1^2 - r^2)}{\ln(r_1/r)} \cdot \frac{d_s^2(p_s - p)\omega^2}{18\mu} \quad (4)$$

Lực ly tâm mà vật liệu nhận được khi máy làm việc là:

$$F_p = \frac{m}{g} \cdot \frac{V_T^2}{r} \quad (5)$$

Trong đó: F_p lực ly tâm tác dụng lên vật liệu, N; m khối lượng vật liệu, kg; g gia tốc trọng trường, m/s^2 ; V_T vận tốc dài, m/s, $V_T = \frac{2\pi r \omega}{60}$

Công thức (5) có thể viết lại thành

$$F_p = \frac{m\pi^2 r \omega^2}{900g} = \frac{mr\omega^2}{900} \quad (6)$$

Hệ số tách ly tâm f

$$f = \frac{F_p}{m} = \frac{r\omega^2}{900} = \frac{V_t^2}{gt} \quad (7)$$

Hệ số tách ly tâm phản ánh khả năng khả năng tách của máy, f càng lớn thì khả năng phân tách của máy càng lớn, tuy nhiên khi hệ số tách ly tâm càng lớn thì r càng lớn sẽ có ảnh hưởng đến nhiều yếu tố của thiết bị, đây là vấn đề cần quan tâm khi thiết kế máy:

- Đối với máy tách ly tâm bình thường thì $f < 3000$, thường thì $f = 600-1200$; đường kính rỗng lớn, tốc độ quay nhỏ, có thể tách được hạt có cỡ từ 0.01 đến 1mm;

- Đối với máy tách ly tâm tốc độ cao: $f = 3000-5000$, đường kính rỗng nhỏ, có thể dùng để tách nhũ tương;

- Đối với máy tách ly tâm tốc độ rất cao $f > 5000$ càng thích hợp cho việc tách nhũ tương.

Năng suất của máy tách nước ly tâm được tính theo công thức sau

$$Q = v_{vl} \cdot A, m^3/s \quad (8)$$

Trong đó: v_{vl} Tốc độ di chuyển của dòng vật liệu trong rỗng, m/s;

A Diện tích mặt cắt dòng vật liệu trong rỗng, m^2 ;

$$A = \frac{\pi}{4} (D_l^2 - D_1^2)$$

D_1 đường kính của lớp vật liệu nhỏ nhất bên trong cùng rổ, m; D_l đường kính rổ, m

2.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến máy tách nước ly tâm trong quá trình làm việc (全国化工设备设计技术中心站机泵技术委员会, 2014)

Máy tách nước ly tâm khi làm việc chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố, sau đây là một số yếu tố chính ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả làm việc của máy:

- Tốc độ quay của máy ly tâm: Tốc độ quay của máy ly tâm là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến lực ly tâm tác động lên hạt than và nước. Nếu tốc độ quay quá thấp, lực ly tâm không đủ mạnh để tách nước và các tạp chất khỏi than. Ngược lại, nếu tốc độ quay quá cao, hạt than có thể bị phá vỡ và làm giảm chất lượng sản phẩm.

- Bán kính của rổ máy ly tâm: Bán kính của rổ máy ly tâm cũng là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến lực ly tâm. Khi bán kính của rổ máy ly tâm tăng lên, lực ly tâm do máy ly tâm tạo ra cũng sẽ tăng lên và hiệu quả ly tâm sẽ tốt hơn.

- Nhiệt độ: Nhiệt độ ảnh hưởng đến độ nhớt của nước và các tạp chất. Sự thay đổi nhiệt độ có thể ảnh hưởng đến độ hòa tan và tốc độ phản ứng của các chất trong mẫu, từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả tách. Thông thường, việc giữ nhiệt độ ly tâm trong phạm vi phù hợp có thể cải thiện hiệu quả ly tâm, nếu nhiệt độ quá thấp, nước và các tạp chất có thể không được tách ra khỏi than. Ngược lại, nếu nhiệt độ quá cao, nước có thể bốc hơi và làm giảm hiệu quả của quá trình tách.

- Độ pH: Độ pH của nước ảnh hưởng đến tính ion của các tạp chất. Nếu độ pH quá cao hoặc quá thấp, các tạp chất có thể không được tách ra khỏi than.

- Kích thước hạt than: Kích thước hạt than ảnh hưởng đến khả năng tách nước và các tạp chất. Nếu kích thước hạt quá nhỏ, chúng có thể không được tách ra khỏi nước. Ngược lại, nếu kích thước hạt quá lớn, chúng có thể không được tách ra khỏi các tạp chất.

- Lượng nước và tạp chất: Lượng nước và tạp chất trong tuyển than ảnh hưởng đến hiệu

quả của quá trình tách. Nếu lượng nước và tạp chất quá nhiều, quá trình tách có thể không đạt hiệu quả cao.

- Trọng lượng riêng của vật liệu: Trọng lượng riêng của vật liệu cũng là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của máy ly tâm. Nếu vật liệu có trọng lượng riêng càng lớn thì đòi hỏi lực ly tâm càng cao

- Cấu trúc và hình dạng vật liệu: Cấu trúc và hình dạng vật liệu khác nhau sẽ có tác động khác nhau đến hiệu ứng ly tâm. Cấu trúc và hình dạng của vật liệu khác nhau thì yêu cầu về lực ly tâm cũng sẽ khác nhau.

- Độ tinh khiết của vật liệu: Độ tinh khiết của vật liệu cũng sẽ ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của máy ly tâm. Nếu độ tinh khiết của vật liệu không cao thì khả năng làm việc của máy ly tâm cũng sẽ bị ảnh hưởng.

- Độ nhớt của huyền phù: Khi độ nhớt của huyền phù cao hơn, tốc độ lắng của các hạt sẽ chậm hơn, điều này có thể cần lực ly tâm cao hơn và thời gian ly tâm lâu hơn.

- Hình dáng của rổ máy (roto): Hình dáng của rổ máy khác nhau thì hiệu quả làm việc của máy cũng khác nhau. Một rổ máy có thiết kế đặc biệt có thể cải thiện hiệu suất của máy và tách các mẫu có trọng lượng khác nhau.

- Thời gian ly tâm: Thời gian ly tâm là thời gian mẫu quay trong máy ly tâm. Độ dài của thời gian ly tâm sẽ ảnh hưởng đến mức độ lắng của các hạt, độ dài của thời gian ly tâm thường cần được xác định dựa trên đặc tính của mẫu và hiệu quả tách mong muốn. Các hạt lớn hơn có thể cần thời gian ly tâm lâu hơn để lắng hoàn toàn.

3. Kết luận

Bài viết đã nêu ra được nguyên lý hoạt động của máy tách nước ly tâm, và phân loại các loại máy và đã phân tích được khả năng làm việc của từng loại. Sau đó bài viết đã nêu ra được một số cơ sở lý thuyết để tính toán thiết kế máy; Cuối cùng tác giả đã nêu ra các yếu tố ảnh hưởng đến máy trong quá trình làm việc. Đây là những cơ sở quan trọng để tính toán thiết kế máy tách nước ly tâm, có thể làm tài liệu tham khảo cho các nhà khoa học trong tính toán thiết kế máy tách nước ly tâm.

Lời cảm ơn

Nội dung của bài viết là một trong những định hướng nghiên cứu của 2 tác giả trong chương trình phối hợp thực hiện một số nhiệm vụ khoa học giữa Trường Đại học Mở - Địa chất, Công ty Cổ phần cơ khí Hòn Gai - Vinacomin, qua đây các tác giả cũng xin cảm ơn 02 Đơn vị đã tạo điều kiện tốt nhất để các tác giả có thể phối hợp thực hiện các công việc một cách thuận lợi nhất.

Đóng góp của các tác giả

Tác giả chính Nguyễn Văn Xô chủ trì và thực hiện các phần công việc viết chính, tác giả Phạm Anh Tuấn cùng phối hợp thực hiện trong quá trình đi khảo sát thực tiễn tại các cơ sở sản xuất và đưa ra một số kinh nghiệm thực tế ảnh hưởng đến máy trong quá trình làm việc.

Tài liệu tham khảo

- GS.TSKH Nguyễn Văn Khang, 2012. Cơ học kỹ thuật. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
施震荣, (2003). 工业离心机选用手册. 化学工业出版社.
本社, (1974). 离心机标准. 出版社: 技术.
编委会, (1979). 机械工程手册第78篇离心机阀门试用本. 出版社: 机械工业.
张宇亭 著, (2019). TK-C500土工离心机实验室的建设与应用. 出版社: 人民交通出版社股份有限公司.
全国化工设备设计技术中心站机泵技术委员会, (2014). 工业离心机和过滤机选用手册. 化学工业出版社

MỘT SỐ VẤN ĐỀ TRONG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MÁY RÓT THAN XUỐNG TÀU CẢNG

Nguyễn Văn Xô^{1,*} Nguyễn Minh Tiến² Lê Quang Lâm³

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất

² Công ty Cổ phần công nghiệp ô tô - Vinacomin

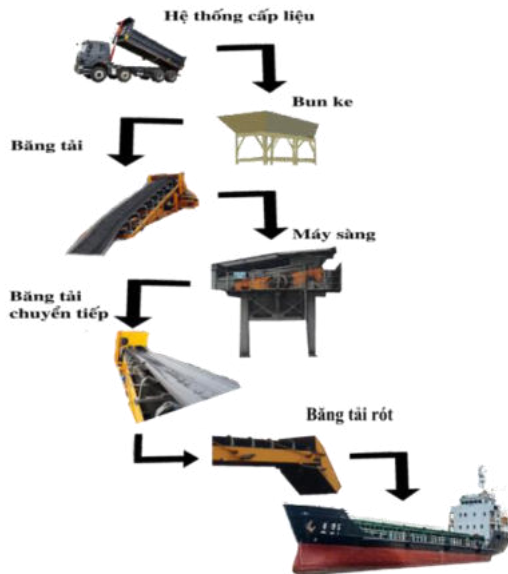
³ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Máy rót vật liệu rời từ bãi chứa xuống phương tiện vận tải thủy tại các cảng trên thế giới đã được chú trọng, nghiên cứu và ứng dụng trên thực tế rất nhiều. Tuy nhiên, các hệ thống đó đòi hỏi chi phí đầu tư rất lớn và phù hợp những cảng có quy mô hiện đại tương xứng với chủng loại vật liệu vận chuyển qua cảng. Than được vận chuyển từ bãi chứa đến tàu có thể bằng hệ gàu xúc gắn trên cầu trục hoặc kết hợp hệ thống băng tải với cầu trục để rót than xuống tàu (hệ thống rót), sự kết hợp cầu trục và hệ thống băng tải cho phép việc chất tải lên tàu nhịp nhàng và linh hoạt. Ở Việt Nam việc nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị này còn hạn chế, trong bài viết này tác giả sẽ đi vào nghiên cứu và đưa ra cơ sở lý thuyết để tính toán thiết kế hệ thống rót than phục vụ tàu tại các cảng xuất. Kết quả này làm cơ sở để cho các nhà khoa học tham khảo trong quá trình tính toán thiết kế máy rót than phục vụ sản xuất.

Từ khóa: Máy rót than (hệ thống rót than); tính toán thiết kế; băng tải

1. Mở đầu



Hình 1. Sơ đồ của hệ thống rớt than di động xuống tàu cảng

Vận tải bằng đường thủy vẫn đóng vai trò quan trọng, loại hình vận tải này có ưu điểm như chi phí thấp, an toàn, tin cậy, lượng hàng hóa lớn vận chuyển.v.v. Vì vậy, nhu cầu công việc bốc xếp hàng hóa từ cảng xuống tàu và ngược lại là rất lớn, nâng cao khả năng bốc, xếp, giúp giảm thời gian tàu thuyền neo đậu trong cảng nhằm tăng năng suất và giảm chi phí là yếu tố quyết định tính cạnh tranh và sự phát triển của cảng. Trên hình 1 là một sơ đồ điển hình của hệ thống rớt than xuống tàu biển: Than được cấp từ hệ thống cấp liệu của bến bãi, sau đó qua bun ke sẽ cấp liệu cho băng tải, băng tải sẽ chuyển than đến máy sàng để phân loại, sau đó sẽ được chuyển đến băng tải chuyển tiếp, than từ băng tải chuyển tiếp sẽ cấp cho băng tải rớt, than từ băng tải rớt sẽ được rớt cho tàu chở than.

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu và đã thiết kế chế tạo được nhiều hệ thống rớt than, mỗi hệ thống có những ưu nhược điểm, ở Việt Nam nhu cầu sử dụng cũng nhiều, tuy nhiên những thiết bị này chúng ta thường nhập khẩu từ nước ngoài hoặc chế tạo theo mẫu, vì thế gây nhiều khó khăn trong quá trình sử dụng. Trong bài viết này, tác giả sẽ giới thiệu một số hệ thống rớt trên thế giới, nêu ra một số vấn đề tồn tại trong việc thiết kế chế tạo

thiết bị này ở Việt Nam, sau đó đi vào thiết kế 01 hệ thống rớt. Đây có thể là tài liệu tham khảo cho các nhà thiết kế trong quá trình tính toán thiết kế hệ thống rớt than xuống tàu.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1 Tình hình nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống rớt than trên thế giới

Nhìn chung hệ thống rớt tải của các nước trên thế giới đang chế tạo đa phần giống nhau về nguyên lý làm việc cũng như kết cấu. Đầu sử dụng các băng tải ngắn liên tiếp và hệ thống chuyển tải than đặc biệt từ thiết bị vận tải cố định (băng tải cố định dọc cảng) lên máy rớt tải di động giúp máy vẫn làm việc khi di chuyển hoặc không cần các bước chuẩn bị khi hệ thống di chuyển từ vị trí này đến vị trí khác.

Vật liệu rời từ nơi tập kết được vận tải dọc bến tàu nhờ băng tải cố định 1 đi qua một hệ chuyển tải đặc biệt 2 chất tải lên băng tải trung gian 3 nằm trên máy rớt tải (hình 2) sau đó chuyển tải lên băng tải nằm trên cần chất tải 4 đi qua ống rớt 5 rơi xuống khoang chứa của tàu. Trong đó máy chất tải có thể di chuyển dọc cảng nhờ có hệ thống di chuyển bằng đường ray dẫn hướng 6 được đặt dọc cảng, cần chất tải 6 có thể di chuyển ra hoặc vào vuông góc với hướng chuyển động của máy, mục đích đưa ống rớt tải đến vị trí cần đổ tải, đảm bảo từng lớp than chất tải một cách đều đặn vào khoang tàu.



Hình 2. Hệ thống rớt than di động xuống tàu tại cảng

Qua tìm hiểu một số cảng trên thế giới ta thấy hệ thống rớt thường có ba dạng chính: Thứ nhất là loại di chuyển dọc cảng, cần máy có thể ra vào. Thứ 2 là loại thân máy cố định cần máy có thể quay để đổ tải ở các vị trí khác nhau. Thứ 3 là loại kết hợp vừa di chuyển dọc

cảng vừa quay. Tùy vào kết cấu của cảng mà người ta áp dụng các kiểu máy rót khác nhau. Ví dụ như những cảng có không gian hẹp thì thường dùng loại máy rót có than cố định cần máy quay, tuy nhiên kết cấu này làm giảm đi

sự linh hoạt của máy. Dưới đây là một số kết cấu của hệ thống rót than điển hình trên thế giới



Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Năng suất	t/h	1000
Khối lượng riêng của vật liệu	t/m ³	0.5-2.5
Kích thước tối đa của vật liệu	Mm	0-300
Bán kính quay	m	25

Hình 3 Máy chất tải đứng cố định, năng suất chất tải 1000 t/h, được sử dụng ở Cảng Chile



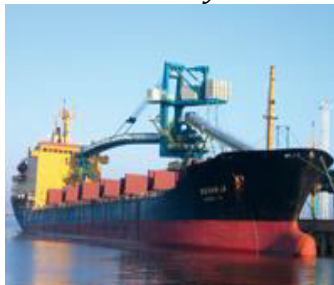
Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Năng suất	t/h	3000
Khối lượng riêng của vật liệu	t/m ³	0.5-2.5
Kích thước tối đa của vật liệu	mm	0-300
Hành trình di chuyển dọc cảng	m	65
Tải trọng bánh tối đa	KN	500

Hình 4 Máy chất tải di chuyển, năng suất chất tải 3000 t/h, được sử dụng ở Cảng Mozambique



Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Năng suất	t/h	330
Khối lượng riêng của vật liệu	t/m ³	0.5-2.5
Kích thước tối đa của vật liệu	mm	0-100
Hành trình di chuyển dọc cảng	m	50
Tải trọng bánh tối đa	KN	300

Hình 5. Máy rót tải đứng cố định, năng suất rót xỉ than 330 t/h, dùng ở cảng Hà Lan



Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Năng suất	t/ h	330
Khối lượng riêng của vật liệu	t/m ³	0.5-2.5
Kích thước tối đa của vật liệu	mm	0-150
Bán kính quay	m	20

Hình 6. Máy chất tải di chuyển, năng suất chất tải 3000 t/h, được sử dụng ở Cảng Latvia



Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Năng suất	t/h	1750
Chiều rộng của băng tải	mm	1400
Tốc độ của băng tải	m/s	3.5
Chiều dài mở rộng máng	m	19,5
Tốc độ mở rộng chiều dài máng	m/ph	3.6

Hình 7. Máy chất tải di chuyển được sử dụng cho nhà chất tải hạt Sulphur ở cảng Các tiểu vương quốc Ả rập thống nhất

Hiện nay, có nhiều công trình nghiên cứu, thiết kế hệ thống cấp và dỡ tải từ bãi chứa lên tàu và ngược lại. Các nghiên cứu này tập trung chủ yếu vào nâng cao độ ổn định, cứng vững của hệ thống, độ chính xác di chuyển của cầu trục, giảm độ mài mòn của băng, tránh va đập các thiết bị trong hệ thống cũng như nâng cao vận tốc, gia tốc và hành trình chuyển động của cầu trục. Tải trọng của cầu trục có thể từ 3 đến 50 tấn, vận tốc di chuyển của cầu trục từ 10 đến 63 m/phút. Hệ thống băng tải có vận tốc từ 3 đến 6 m/s, bề rộng tấm băng có thể đến 3,2 m và năng suất băng đến 20.000 t/h (Rudolf Griemert, Peter Römisch, 2018). Ưu điểm của máy rót than là năng suất chất tải lớn, tuy nhiên nhược điểm là kết cấu phức tạp, giá thành chế tạo cao. Một xu hướng tiếp theo là tối ưu hóa kết cấu hệ thống nhằm giảm trọng lượng hệ thống để tiết kiệm chi phí vật liệu chế tạo thông qua các phần mềm ứng dụng Topology (Peter Köhler, 2016; Jan Meeth, Michael Schuth, 2008; Ronald List, 2017).

Từ phân tích công nghệ và các tài liệu nghiên cứu trên thế giới ta nhận thấy hướng nghiên cứu phát triển của hệ thống này như sau:

- 1) Nâng cao khả năng tối ưu hóa, độ ổn định và độ tin cậy của hệ thống điều khiển: bao gồm khả năng phát triển chương trình PLC đảm bảo các phương pháp điều khiển được tối ưu hóa.
- 2) Nâng cao tính ổn định của hệ thống chuyển tải từ băng tải cố định sang máy rót tải.
- 3) Nâng cao hiệu suất, giảm chi phí tiêu thụ năng lượng và giảm tác động đến môi trường của hệ thống.

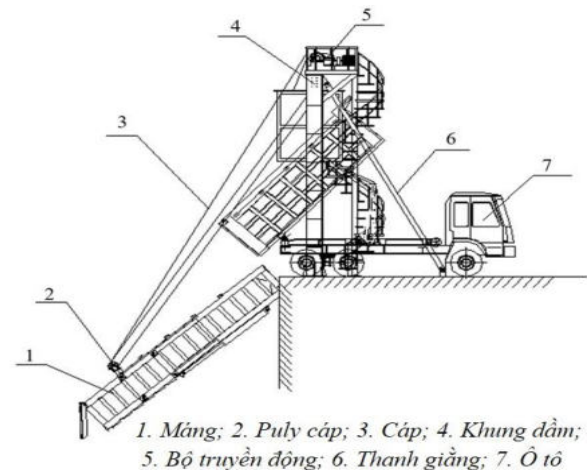
4) Nâng cao phạm vi hoạt động như nâng cao khả năng kéo dài, nâng lên hạ xuống, xoay của cần đỡ tải và tăng tính linh hoạt của ống rót tải.

5) Giảm thiểu hỏng hóc do tác động của môi trường bằng cách nâng cao các đặc tính chống mài mòn và bụi cho các chi tiết và hệ thống.

6) Nâng cao công nghệ truyền động thủy lực và đảm bảo hệ thống bôi trơn hiệu quả giảm thiểu thời gian bảo trì hệ thống cơ khí. v.v.

2.2 Tình hình nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống rót than ở Việt Nam

Hiện tại hệ thống rót than này đang được sử dụng ở Việt Nam cũng tương đối nhiều, tuy nhiên việc nghiên cứu thiết kế về hệ thống này còn hạn chế, điển hình chỉ có thể kể đến hệ thống rót than tại cầu cảng do Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin thực hiện như hình 8

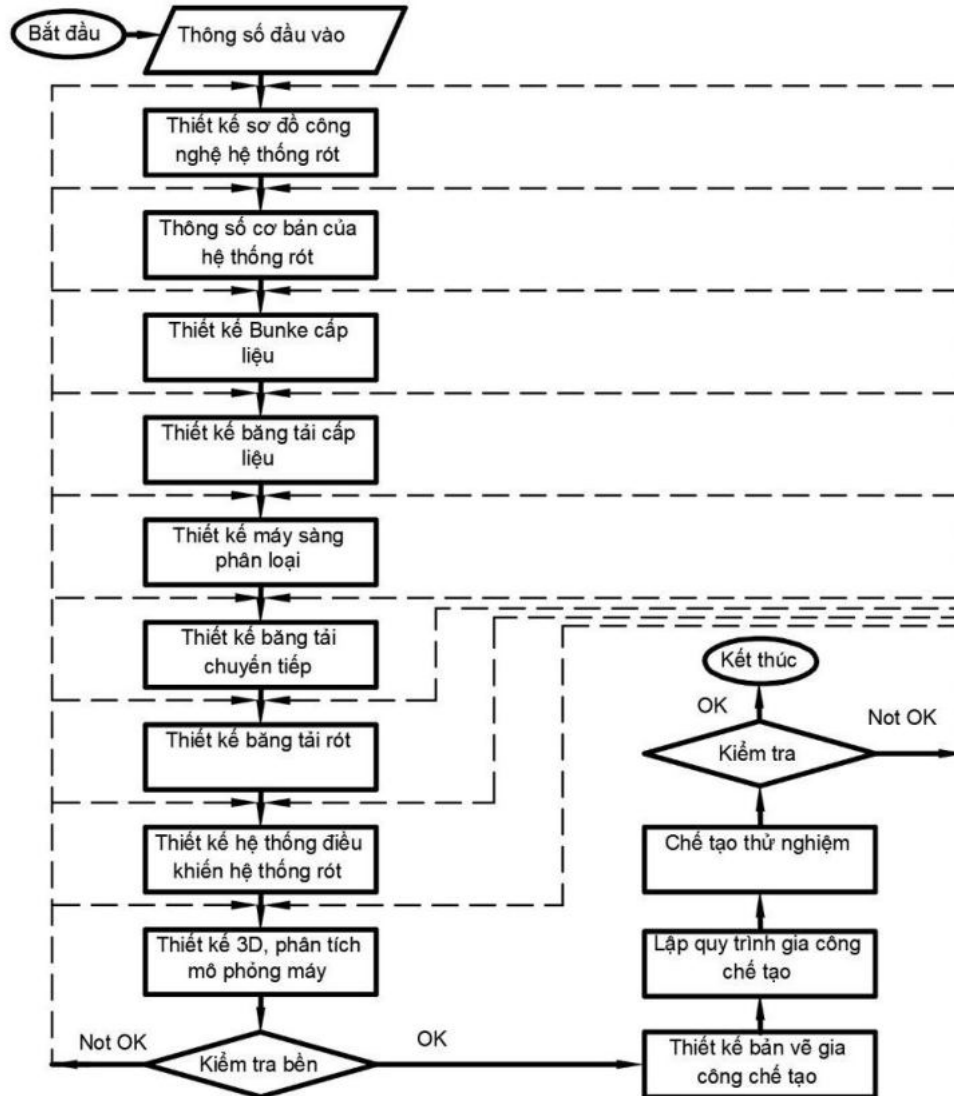


Hình 1. Sơ đồ, cấu tạo hệ thống rót than tại cầu cảng

2.3 Phương pháp tính toán thiết kế hệ thống rót than di động

Hệ thống rót than di động là một hệ thống phức tạp và rất nhiều vấn đề cần phải

thực hiện, về cơ bản lưu trình thực hiện quá trình tính toán thiết kế gia công chế tạo hệ thống như hình 9 (Nguyễn Văn Kháng, 2005; Trần Doãn Trường, Vũ Thế Sự, 2000; Nguyễn Văn Xô, Nguyễn Văn Kháng, 2019)



Hình 9. Lưu trình thực hiện tính toán thiết kế hệ thống rót

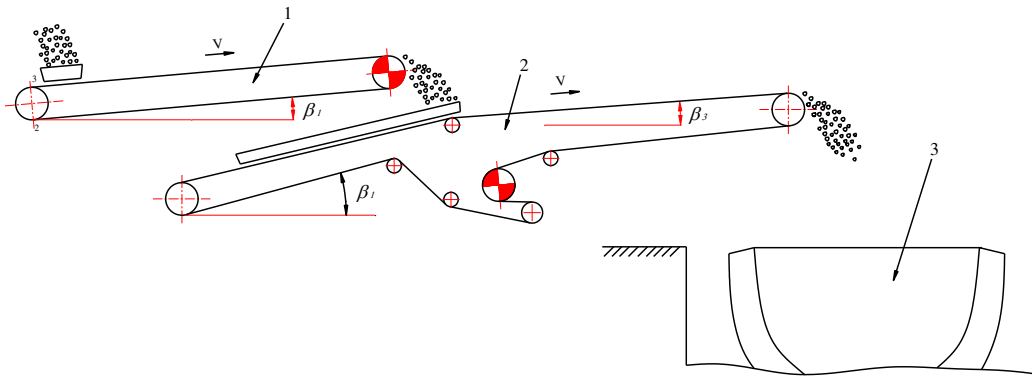
2.4 Tính toán thiết kế hệ thống rót than tự động

Ứng dụng lưu trình như hình 9, tác giả đi vào tính toán thiết kế được hệ thống rót than tự động có năng suất 800 t/h để phục vụ cho

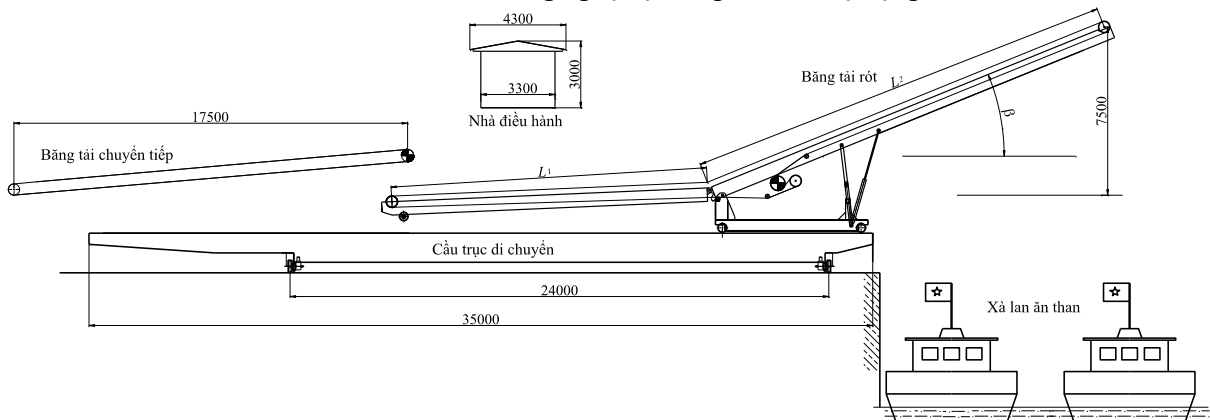
một cảng tại vùng than Quảng Ninh, các kết quả chính như sau (Nguyễn Văn Kháng, 2005; Trần Doãn Trường, Vũ Thế Sự, 2000; Nguyễn Văn Xô, Nguyễn Văn Kháng, 2019)

Bảng 1. Thông số cơ bản của hệ thống rót than

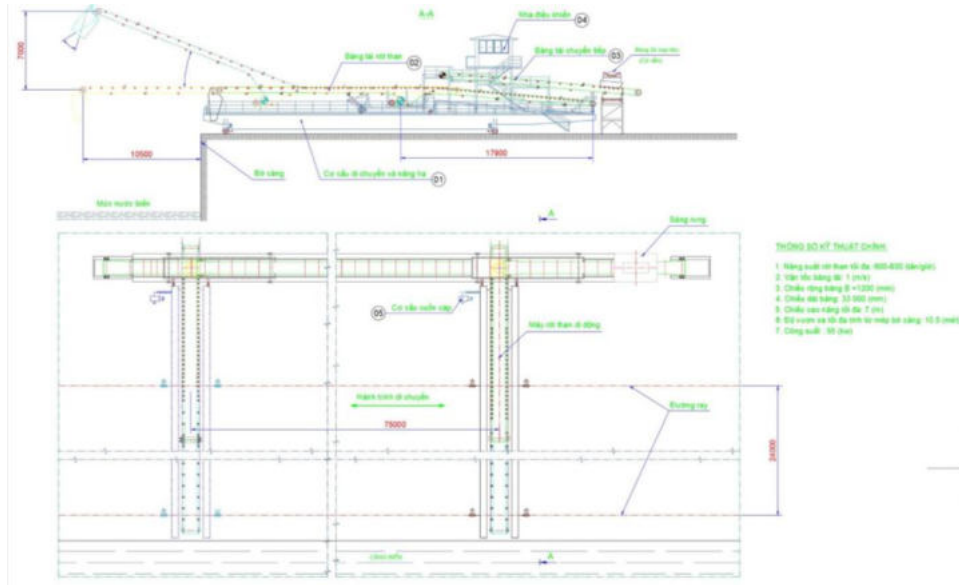
TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Năng suất máy rót than	Q_m	t/h	800
2	Chiều dài băng tải chuyển tiếp	L_{ct}	m	17,5
3	Chiều dài băng tải rót than	L_{rt}	m	34
4	Chiều dài cầu trục	L_{ct}	m	35
5	Chiều cao thay đổi cần chất tải	h_{ct}	m	7,5
6	Vận tốc xe con	V_{xc}	m/ph	20
7	Vận tốc di chuyển cầu trục	V_{ct}	m/ph	24



Hình 10. Sơ đồ công nghệ hệ thống rót than tự động



Hình 10. Các thông số cơ bản của máy rót than



Hình 11. Hệ thống rót than tự động có năng suất 800 t/h

3. Kết luận

Bài viết đã nêu ra sơ đồ nguyên lý của hệ thống rót than xuống tàu biển, nêu và phân tích tình hình nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống rót than trên thế giới và ở Việt Nam. Sau đó đưa ra lưu trình thực hiện tính toán thiết kế hệ thống rót. Áp dụng lưu trình đó tác giả đi vào tính toán thiết kế một hệ thống rót than điển hình có năng suất 800 t/h. Kết quả nghiên cứu này có thể làm tài liệu tham khảo cho các nhà khoa học trong tính toán thiết kế hệ thống rót than tự động.

Lời cảm ơn

Nội dung của bài viết là một phần trong kết quả nghiên cứu của đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy rót than di động xuống tàu tại các cảng xuất than vùng Quảng Ninh” mã số ĐTKHCN.CNKK.169/20. Qua đây các tác giả cũng xin cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất và Công ty cổ phần Công nghiệp ô tô - Vinacomin, Đại học Công nghiệp Hà Nội, Bộ Công Thương đã tạo điều kiện tốt nhất để các tác giả có thể thực hiện các công việc một cách thuận lợi nhất.

Đóng góp của các tác giả

Tác giả chính Nguyễn Văn Xô chủ trì và thực hiện các phần công việc viết chính, tác giả Nguyễn Minh Tiến, Lê Quang Lâm cùng phối hợp thực hiện trong quá trình đi khảo sát thực tiễn tại các cơ sở sản xuất và đưa ra một số kinh

nghiệm thực tế ảnh hưởng đến máy trong quá trình làm việc để lưu ý trong quá trình tính toán thiết kế máy.

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Văn Kháng, (2005). *Máy và tổ hợp thiết bị vận tải mỏ*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật
- Nguyễn Văn Xô, Nguyễn Văn Kháng, (2019). *Máy nâng – Máy xếp dỡ*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải.
- Trần Doãn Trường, Vũ Thế Sự, (2000). *Trục tải mỏ*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải.
- Jan Meeth, Michael Schuth, (2008). *Bewegungssimulation mit CATIA V5*, Carl Hanser Verlag München Wien.
- Rudolf Griemert, Peter Römisch, (2018). *Fördertechnik*. Springer Vieweg.
- Ronald List, (2017). *CATIA V5-Grundkurs für Maschinenbauer*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
- Peter Köhler, (2016). *CAD-Praktikum für den Maschinen- und Anlagenbau mit PTC Creo*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG ĐỘNG LỰC HỌC CỦA MÁY CẤP LIỆU RUNG

Nguyễn Văn Xô ^{1,*}, Trần Viết Linh ¹

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

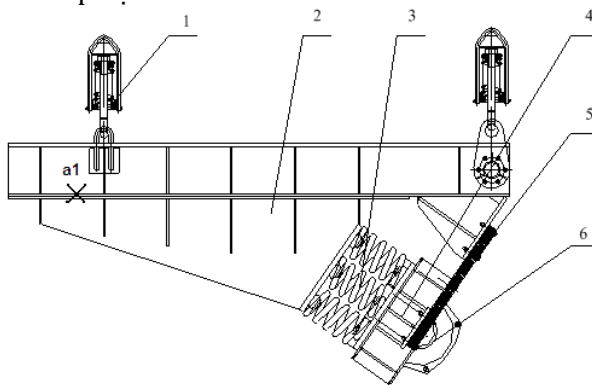
TÓM TẮT

Máy cấp liệu rung hiện đang sử dụng rộng rãi trên thế giới trong nhiều lĩnh vực (khai thác mỏ, sàng tuyển, xây dựng,...). Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về nó để tính toán thiết kế tối ưu máy, tuy nhiên ở Việt Nam việc tính toán thiết kế loại máy này chủ yếu dựa vào kinh nghiệm và thường chép mẫu theo mô hình sẵn có của nước ngoài, có ít công trình nghiên cứu lý thuyết của loại máy này, mà dao động của máy quyết định năng suất, độ bền, độ ổn định của máy, dao động của máy rất phức tạp vì nó chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố (gối đàn hồi, thông số công nghệ, vận tốc, gia tốc, vật liệu đầu vào,...). Trong bài báo này tác giả xây dựng phương trình dao động của máy cấp liệu rung, sau đó nêu ra phương pháp tích hợp các phần mềm thiết kế hiện đại để phân tích và mô phỏng máy. Trên cơ sở đó tính toán thiết kế và mô phỏng động lực học của máy cấp liệu rung. Kết quả này có thể làm tài liệu cho các nhà khoa học tham khảo trong quá trình tính toán thiết kế máy cấp liệu rung nâng cao hiệu quả làm việc của máy.

Từ khóa: Máy cấp liệu rung; động lực học; năng suất

1. Mở đầu

Máy cấp liệu rung hiện nay đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực [3] kết cấu và nguyên lý làm việc của nó như hình 1: bộ gá động cơ (4) và động cơ rung (6) tổ hợp thành bộ phận kích dao động (hộp gậy rung) tạo ra lực kích dao động không đổi, thông qua lò xo chủ động (3) truyền đến thuyền cấp liệu (2), làm cho thuyền cấp liệu dao động để thực hiện quá trình cấp liệu.



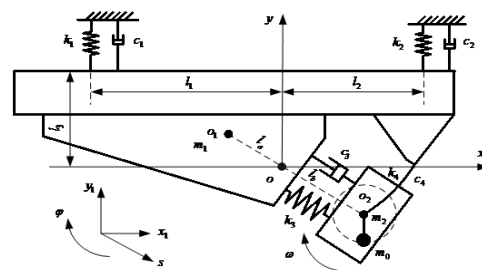
Hình 1. Kết cấu của máy cấp liệu rung

1 - Gối đàn hồi (dạng treo); 2 - Thuyền cấp liệu; 3 - Lò xo chủ động; 4 - Bộ gá động cơ điện; 5 - Liên kết (lớp cao su nhiều lớp); 6 - Động cơ rung

Nghiên cứu của WangNanNan [4] đề cập đến tần số cố hữu của máy cấp liệu rung hai chất thể. Động học, động lực học là những yếu tố ảnh hưởng rất nhiều đến khả năng làm việc, tuổi thọ của máy cấp liệu rung, trong bài viết này tác giả sẽ đi thiết kế và mô phỏng động lực học của máy cấp liệu rung, đây cũng là cơ sở lý thuyết để.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Xây dựng mô hình lực học của máy cấp liệu



Hình 2. Mô hình lực học của máy cấp liệu rung

Trên cơ sở sơ đồ kết cấu, nguyên lý làm việc của máy và một số quy tắc giản hóa (khối lượng tập trung, độ cứng tập trung, giảm chấn tập trung) tác giả tiến hành xây dựng mô hình mô hình lực học của máy như hình 2 (闻邦椿 và nkk, 1989; 闻邦椿 và nkk, 2001)

Trong đó:

- x_1, y_1, s - Hệ tọa độ mở rộng;
- m_1 - Khối lượng của máng cấp liệu; m_2 - Khối lượng của bộ phận kích dao động; m_0 - Khối lượng của tấm lệch tâm;
- k_1 - Độ cứng của lò xo treo 1; k_2 - Độ cứng của lò xo treo lò xo treo 2; k_3 - Độ cứng của lò xo treo lò xo chủ động; k_0 - Độ cứng của bản cao su nhiều lớp.
- c_1 - Giảm chấn của lò xo treo 1; c_2 - Giảm chấn của lò xo treo 2; c_3 - Giảm chấn của lò xo chủ động; c_0 - Giảm chấn của bản cao su nhiều lớp.
- l_a - Khoảng cách giữa o_1 và o ; l_1, l_2 - Khoảng cách giữa lò xo treo 1 và 2 đến điểm o ; l_3 - Khoảng cách từ điểm dưới của lò xo treo 1, và 2 đến trục x .

2.2. Xây dựng phương trình dao động của máy cấp liệu

- Có 2 cách để xây dựng phương trình dao động của máy: phương pháp véc tơ lực và phương pháp phân tích lực; ở đây tác giả

$$M = \begin{bmatrix} m_0 + m_1 + m_2 & 0 & (m_0 + m_2)\cos\beta \\ 0 & m_0 + m_1 + m_2 & - (m_0 + m_2)\sin\beta \\ (m_0 + m_2)\cos\beta & - (m_0 + m_2)\sin\beta & m_0 + m_2 \\ [m_1 l_a - (m_0 + m_2)l_b]\sin\theta & [m_1 l_a - (m_0 + m_2)l_b]\cos\theta & (m_0 + m_2)l_b \sin(\beta - \theta) \\ [m_1 l_a - (m_0 + m_2)l_b]\sin\theta & [m_1 l_a - (m_0 + m_2)l_b]\cos\theta & \\ [m_1 l_a - (m_0 + m_2)l_b]\cos\theta & & \\ (m_0 + m_2)l_b \sin(\beta - \theta) & & \\ J_1 + J_2 + m_1 l_a^2 + (m_0 + m_2)l_b^2 & & \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & 0 & 0 & (c_1 + c_2)l_3 \\ 0 & c_1 + c_2 & 0 & c_1 l_1 - c_2 l_2 \\ 0 & 0 & c_3 + c_4 & 0 \\ (c_1 + c_2)l_3 & c_1 l_1 - c_2 l_2 & 0 & c_1 l_1^2 + c_2 l_2^2 + (c_1 + c_2)l_3^2 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_{1x} + k_{2x} & 0 & 0 & (k_{1x} + k_{2x})l_3 \\ 0 & k_{1y} + k_{2y} & 0 & k_{1y}l_1 - k_{2y}l_2 \\ 0 & 0 & k_3 + k_4 & 0 \\ (k_{1x} + k_{2x})l_3 & k_{1y}l_1 - k_{2y}l_2 & 0 & k_{1x}l_3^2 + k_{1y}l_1^2 + k_{2x}l_3^2 + k_{2y}l_2^2 \end{bmatrix}$$

sử dụng phương pháp phân tích lực; theo phương pháp này phương trình dao động của máy sử dụng phương trình Lagrange để biểu diễn như sau (Nguyễn Văn Khang, 2012):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = 0 \quad (1)$$

Trong đó:

- q_i - vị trí tương đối mở rộng; \dot{q}_i - vận tốc mở rộng;
- T tổng động năng; U tổng thế năng; D tổng tổn thất năng lượng;
 $T = T_1 + T_2 + T_3$; $U = U_1 + U_2 + U_3$;

$$D = D_1 + D_2 + D_3 \quad (2)$$

Với T_1, T_2, T_3 - Động năng của máng cấp liệu, bộ phận kích dao động, tấm lệch tâm; U_1, U_2, U_3 - Thế năng của lò xo chủ động, lò xo treo, bản cao su nhiều lớp; D_1, D_2, D_3 - Tổn thất năng lượng của lò xo chủ động, lò xo treo, bản cao su nhiều lớp.

- Trên cơ sở hình 2, và qua quá trình tính toán ta xây dựng được phương trình dao động của máy cấp liệu như sau:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F \quad (3)$$

Trong đó:

- M - Ma trận khối lượng;
- C - Ma trận giảm chấn;
- K - Ma trận độ cứng

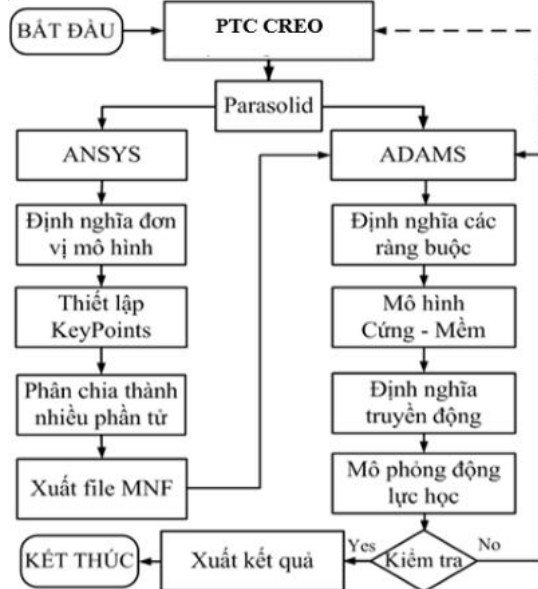
\ddot{X} - Ma trận gia tốc; \dot{X} - Ma trận vận tốc, X - Ma trận vị trí tương đối; F - Ma trận lực kích dao động danh nghĩa

$$\ddot{X} = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{s} \\ \ddot{\phi} \end{Bmatrix}; \dot{X} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{s} \\ \dot{\phi} \end{Bmatrix}; X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ s \\ \phi \end{Bmatrix}; F = \begin{Bmatrix} -m_0 r \omega^2 \sin \omega t \\ -m_0 r \omega^2 \cos \omega t \\ m_0 r \omega^2 \sin(\beta - \omega t) \\ m_0 r \omega^2 l_b \cos(\theta - \omega t) \end{Bmatrix}$$

2.3 Thiết kế 3D và mô phỏng động lực học của máy cấp liệu rung

2.3.1 Phương pháp tích hợp các phần mềm Creo, Adams, Ansys để thiết kế và mô phỏng động lực học của máy

Mỗi phần mềm có những ưu nhược điểm riêng, bài toán thiết kế và mô phỏng động lực học của máy cấp liệu vô cùng phức tạp, nếu chỉ dùng một phần mềm không thể giải quyết được được, trong bài viết này tác giả sẽ phải tích hợp các phần mềm lại với nhau để xử lý, sơ đồ tích hợp các phần mềm để thiết kế và mô phỏng như hình 3 (Manfred Vogel nkk, 2011)



Hình 3: Lưu trình tích hợp các phần mềm để phân tích mô phỏng động lực học

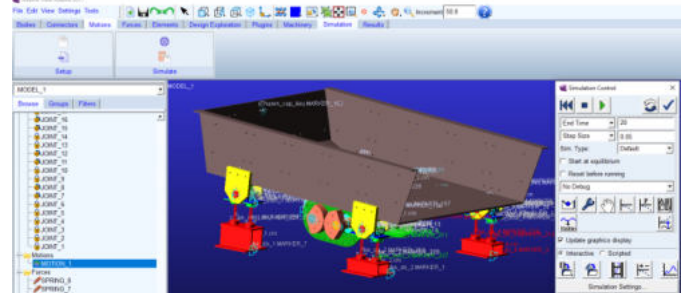
2.3.2 Tính toán thiết kế và mô phỏng động lực học của máy cấp liệu rung

Trong bài viết này, tác giả sẽ tính toán thiết kế máy cấp liệu rung có các thông số như bảng 1, sau đó thiết kế 3D và mô phỏng động lực học của máy (Nguyễn Văn Xô, 2023)

Bảng 1: Các thông số cơ bản của máy cấp liệu rung

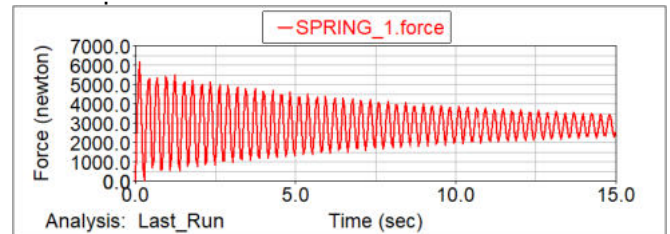
Thông số kỹ thuật	Giá trị	Đơn vị
Năng suất cấp liệu	550	t/h
Cỡ hạt đầu vào	≤ 50	mm
Độ ẩm của vật liệu	≤ 10	%
Chiều dài máng cấp liệu	2000	mm
Chiều rộng máng cấp liệu	1470	mm
Chiều cao máng cấp liệu	250	mm

Sau khi ứng dụng các phần mềm Creo để thiết kế 3D sau đó tích hợp với các phần mềm Ansys và Adams tiến hành thiết kế và mô phỏng động lực học của máy cấp liệu rung, ta có kết quả như hình 4

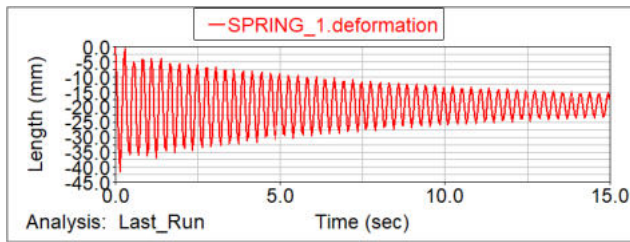


Hình 4. Mô hình máy cấp liệu rung được thiết kế 3D và mô phỏng trong Adams

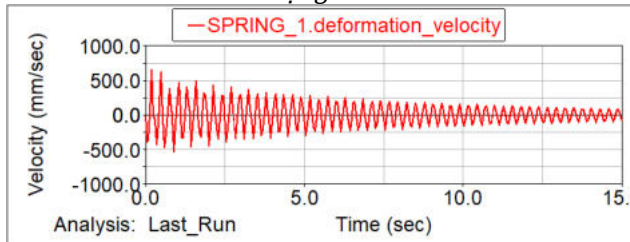
Sau khi mô phỏng động lực học của máy, ta có tất cả các thông số động lực học của máy, ở đây tác giả chỉ nêu ra một số kết quả chính để thảo luận như các hình 5 đến hình 16



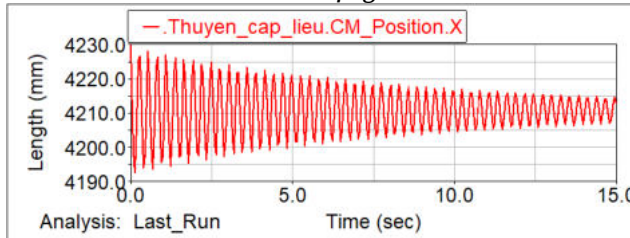
Hình 5 Lực tác dụng lên lò xo đỡ



Hình 6 Biến dạng của lò xo đỡ



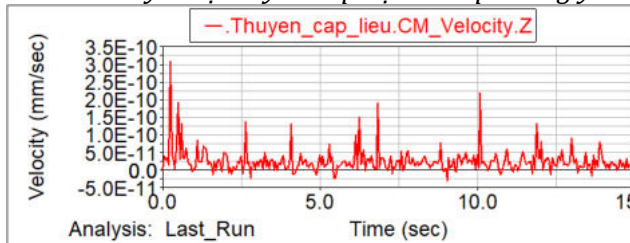
Hình 7 Vận tốc biến dạng của lò xo đỡ



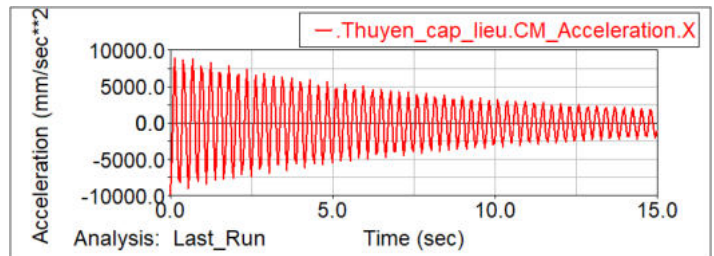
Hình 8 Chuyển vị của thuyền cấp liệu theo phương x



Hình 9 Chuyển vị thuyền cấp liệu theo phương y



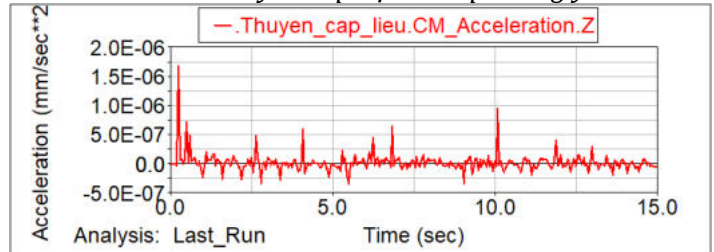
Hình 10 Chuyển vị của thuyền cấp liệu theo phương z



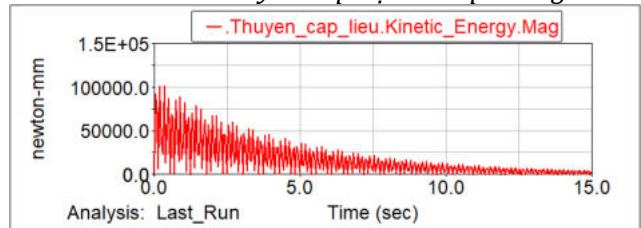
Hình 11 Gia tốc thuyền cấp liệu theo phương x



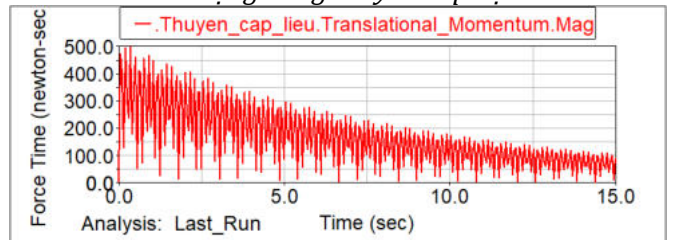
Hình 12 Gia tốc thuyền cấp liệu theo phương y



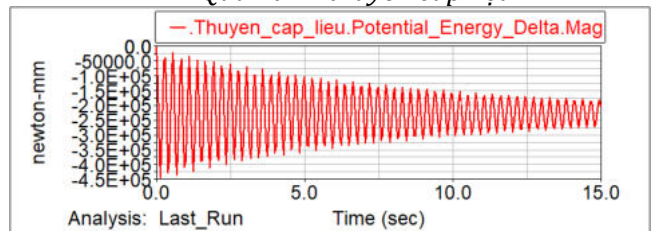
Hình 13 Gia tốc thuyền cấp liệu theo phương z



Hình 14 Động năng thuyền cấp liệu



Hình 15 Quán tính thuyền cấp liệu



Hình 16 Động năng tích lũy thuyền cấp liệu

3. Kết quả và thảo luận

Bài báo nêu ra nguyên lý hoạt động của máy cấp liệu rung. Trên cơ sở đó đã xây dựng được phương trình dao động của máy, đây là cơ sở cho việc tính toán thiết kế máy cấp liệu rung

Tiếp theo bài báo đã đưa ra phương pháp tích hợp các phần mềm hiện đại để thiết kế 3D và mô phỏng động lực học của máy. Trên cơ sở đó, tác giả đi vào tính toán thiết kế và tiến hành mô phỏng động lực học máy cấp liệu rung có năng suất cấp liệu 550t/h. Kết quả mô phỏng cho ta các thông số động lực học của máy, tác giả lấy ra một số kết quả điển hình để thảo luận:

Từ hình 5 lực tác dụng lên lò xo có giá trị max 6000 N khi máy bắt đầu làm việc, sau một khoảng thời gian 10s máy làm việc ổn định và lực tác dụng lên lò xo là ổn định và thay đổi theo chu kỳ quanh vị trí cân bằng 2900kN, có biên độ 2500N điều này chứng tỏ khi làm việc lò xo luôn ở trạng thái bị nén nếu lò xo có bị hỏng thì lúc bắt đầu làm việc (do quá tải) hoặc trong quá trình làm việc do mỏi.

Từ hình 6 biến dạng của lò xo cho thấy lò xo luôn bị nén, lúc đầu máy bắt đầu làm việc thì lò xo biến dạng nhiều nhất, sau khoảng 10s máy sẽ làm việc ổn định biến dạng của lò xo cũng thay đổi theo quy luật hình sin quanh vị trí cân bằng có biên độ 6,2 mm

Từ hình 7 ta thấy khi bắt đầu máy làm việc thì lò xo biến dạng với tốc độ lớn, sau khoảng 10s máy sẽ ổn định và vận tốc biến dạng của lò xo sẽ ổn định và thay đổi theo quy luật hình sin quanh vị trí cân bằng 0 có biên độ khoảng 250mm/s

Từ hình 8 ta thấy chuyển vị của thuyền cấp liệu khi bắt đầu làm việc là lớn, sau một thời gian máy sẽ làm việc ổn định, và biên độ dao động khoảng 6,2 mm

Từ hình 9, 10, 12, 13 thì thấy chuyển vị theo phương y, z rất nhỏ chứng tỏ máy làm việc sẽ ổn định không bị lắc

Từ hình 11 ta thấy máy cấp liệu sẽ dao động ổn định và biến đổi theo có quy luật với biên độ gia tốc của thuyền cấp liệu 2500 mm/s²

Từ hình 14, 15, 16 ta thấy khi bắt đầu máy làm việc thì động năng và quán tính có thay đổi lớn, sau khoảng thời gian 10s thì những thông số này sẽ ổn định, chứng tỏ khi bắt đầu làm việc

thì khả năng cấp liệu của máy chưa ổn định, máy sẽ cấp liệu ổn định sau 10s khi máy hoạt động ổn định.

Kết quả nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo cho các nhà khoa học trong nghiên cứu tính toán thiết kế về máy cấp liệu rung.

Lời cảm ơn

Trong bài viết này có một số số liệu tham khảo trong đề tài cấp nhà nước mã số ĐTKHCN.CNKK.155/20 do tác giả làm chủ nhiệm. Tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Công Thương, Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã tạo điều kiện để tác giả thực hiện đề tài và có những số liệu cung cấp cho bài viết này.

Đóng góp của các tác giả

Trong bài viết này tác giả chính Nguyễn Văn Xô thực hiện các phần nghiên cứu tính toán thiết kế và mô phỏng máy, tác giả Trần Việt Linh thực hiện phần thiết kế mô hình 3D của máy trong phần mềm Creo

Tài liệu tham khảo

- 闻邦椿, 刘风, 刘杰, (1989). 振动筛 振动给料机 振动输送机的设计与调式. 化学工业出版社, 北京.
- 闻邦椿, 刘树英, (2001). 何勍. 振动机械的理论 与动态设计方法. 机械工业出版社 · 北京.
- 王运池, (2003). 国内振动给料设备的现状与发展. 中国煤质技术. 29-31.
- 王囡囡, 何景润, 田组织, 黄桂, (2009). 基于 ANSYS的双质体振动给料机模态分析. 起重 运输机械, 64-66.
- Manfred Vogel, Thomas Ebel, (2011). Creo Parametric Creo Simulate – Einstieg in die Konstruktion und Simulation mit Creo 1. Carl Hanser Verlag München.
- GS.TSKH Nguyễn Văn Khang, (2012). Cơ học kỹ thuật. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
- PGS.TS Nguyễn Văn Xô, (2023). Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy cấp liệu rung có năng suất đến 550 t/h dùng trong hệ thống sàng tuyển, vận chuyển than tại Việt Nam. Đề tài KHCN cấp quốc gia “ mã số ĐTKHCN.CNKK.155/20.

KHẢ NĂNG HẤP THỤ RUNG ĐỘNG CỦA TẤM BA LỚP DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG KHÔNG TĨNH HÌNH TRỤ

Nguyễn Dương Phụng^{1,*}, Phạm Ngọc Bình²,

¹ Phòng Công nghệ Súng- Pháo, Viện Công nghệ, Việt Nam, E-mail: nguyenduongphung1993@gmail.com;

² Phòng Công nghệ Súng- Pháo, Viện Công nghệ, Việt Nam,

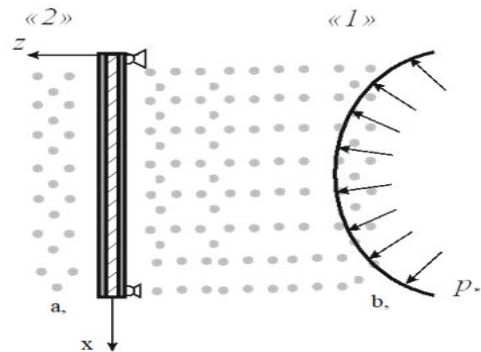
TÓM TẮT

Việc xây dựng cơ sở hạ tầng mới vào môi trường đô thị hiện tại đặt ra vấn đề thiết yếu về việc bảo vệ cả người dân cũng như các tòa nhà và công trình khỏi những tác động tiêu cực của hoạt động kỹ thuật. Phương pháp lắp đặt rào chắn hấp thụ rung động tỏ ra rất hiệu quả. Nghiên cứu này giải bài toán về tương tác của sóng trụ không tĩnh với một hàng rào hấp thụ rung động được mô hình hóa dưới dạng tấm ba lớp trong môi trường đàn hồi. Công trình xét đến các thông số động học, động lực học của môi trường, sóng trụ tắt dần, xác định hàm ảnh hưởng bề mặt của nửa không gian đàn hồi khi có sự xuất hiện của trường chuyển vị ở biên. Để giải quyết vấn đề về sự tương tác không tĩnh của môi trường đàn hồi và tấm ba lớp, ta sử dụng điều kiện tiếp xúc giữa môi trường và vật cản. Kết quả, xác định được chuyển vị trong lòng đất sau khi sóng vượt qua chướng ngại vật và hệ số hấp thụ rung động. Dựa trên kết quả ta đánh giá đặc tính hấp thụ rung của tấm ba lớp làm cơ sở để thiết kế và lắp đặt các rào chắn với thông số hấp thụ rung động được chỉ định, tránh tăng cường kết cấu của các tòa nhà và công trình.

Từ khóa: Tấm 3 lớp Paimushin V.N., sóng không tĩnh, sóng hình trụ, biến đổi Laplace, chuỗi Fourier

1. Mở đầu

Xét tấm ba lớp bị bao quanh bởi đất – được mô hình hóa bằng các phương trình lý thuyết đàn hồi cho môi trường đẳng hướng. Tấm ba lớp chia môi trường đàn hồi thành hai vùng “1” và “2”. Môi trường đàn hồi đẳng hướng “1” có mật độ ρ_1 , với tốc độ truyền sóng dọc là c_1 , môi trường “2” có mật độ ρ_2 và tốc độ truyền sóng ngang là c_2 . Coi sự truyền sóng trong môi trường “1” và “2” sẽ giống nhau, phương pháp được đề xuất ngụ ý xem xét các môi trường khác nhau ở hai phía của rào cản. Tấm ba lớp được mô tả bằng hệ phương trình chuyển động Paimushin V.N. [8]. Bài toán được xét trong hệ tọa độ De-cas Oxyz. Tấm được bố trí sao cho mặt phẳng Oxy là mặt phẳng giữa của tấm và trục Oz hướng vào độ sâu của môi trường “2” (Hình 1). Ảnh hưởng bên ngoài sẽ là sóng trụ tắt dần lan truyền từ môi trường “1”.



Hình 1. Mô hình tương tác sóng với rào cản.

Bài toán đã nêu ra được coi là phẳng và được giải dưới dạng không thứ nguyên, không phụ thuộc tọa độ y.

Trong đó: a- tấm ba lớp Paimushin V.N., b – sóng tắt dần hình cầu. Tác động lên tấm là sóng động (thay đổi theo thời gian) có biên độ áp suất p_0 ở phía trước. Điều kiện biên và điều kiện ban đầu của bài toán, hệ số hấp thụ được viết như sau:

$$w|_{x=0,l} = 0, w''|_{x=0,l} = 0; w|_{l=0} = 0; \dot{w}|_{l=0} = 0$$

$$\sigma_{33}|_{\tau=0, z=0} = \sigma_{33*} = p_*$$

$w, l, \sigma_{33}, \sigma_{33*}$ - lần lượt là chuyển vị, chiều cao của tấm, ứng suất pháp và ứng suất pháp của sóng tới. Rào cản tương tác với môi trường "1" và "2" sinh ra các áp lực với biên độ tương ứng lần lượt là P_1, P_2 , trong đó P_2 là biên độ sóng qua và P_1 được xác định như sau: $P_1 = P_* + P_{1w}$, (1)

P_{1w} - là biên độ sóng phản xạ. Để đánh giá khả năng hấp thụ rung động của tấm chắn, ta sử dụng hệ số giảm rung:

$$k_r = \left| \frac{w_{\max}^{(2)}}{w_*} \right| \quad (2)$$

$w_*, w_{\max}^{(2)}$ - lần lượt là chuyển vị pháp của sóng tới và giá trị lớn nhất của chuyển vị pháp của sóng sau khi đi qua rào cản tại vị trí biên giữa môi trường "2" và tấm. Để giải bài toán hấp thụ rung động của tấm dưới tác động của sóng không tĩnh cần xác định được một cách tối ưu các tham số hình học cũng như vật liệu sản xuất tấm.

2. Phương trình chuyển động của đất dưới dạng không thứ nguyên

Mô hình đất là một môi trường đẳng hướng, chuyển động của nó được mô tả bởi các phương trình của lý thuyết đàn hồi. Hệ phương trình động, mô tả chuyển động của nó, bao gồm các phương trình chuyển động, hệ thức Cau-chy, định luật vật lý, phương trình tương đương của chuyển động của đất trong chuyển vị. Một phương án khác của hệ phương trình tương đương trong mối tương quan với thế năng vô hướng ϕ và các thành phần ψ của thế năng vectơ chuyển vị [7,9]. Ta ký hiệu các giá trị không thứ nguyên sau:

$$\bar{u} = \frac{u}{h}, \bar{w} = \frac{w}{h}, \bar{x} = \frac{x}{h}, \bar{z} = \frac{z}{h}, \bar{\tau} = \frac{c \cdot t}{h}, \bar{\psi} = \frac{\psi}{h^2}, \bar{\phi} = \frac{\phi}{h^2},$$

$$\bar{\sigma}_{11} = \frac{h(1-v^2)\sigma_{11}}{t_1 E_{II}}, \bar{\sigma}_{13} = \frac{h(1-v^2)\sigma_{13}}{t_1 E_{II}}, \bar{\sigma}_{33} = \frac{h(1-v^2)\sigma_{33}}{t_1 E_{II}}.$$

$u, x, \sigma_{11}, w, z, \sigma_{33}, \sigma_{13}, h, 2t_1, E_{II}, t$ - lần lượt là chuyển vị, tọa độ, ứng suất pháp theo trục x, z ; ứng suất thành phần xz , độ dày lớp lót, độ dày lớp ngoài, modul đàn hồi của vật liệu lớp ngoài của tấm và thời gian.

Tiếp theo, chúng ta sẽ bỏ qua dấu gạch phía trên biểu thị số lượng không thứ nguyên. Tất cả các hàm có trong phương trình chuyển động của đất được biểu diễn bằng chuỗi lượng giác.

$$R = \sum_{n=1}^{\infty} R_n \sin \lambda_n \bar{x}, R = \left(\bar{w}, \bar{\phi}, \bar{\epsilon}_{11}^{(i)}, \bar{\epsilon}_{33}^{(i)}, \bar{\sigma}_{11}^{(i)}, \bar{\sigma}_{33}^{(i)} \right)^T,$$

$$R_n = \left(\bar{w}_n, \bar{\phi}_n, \bar{\epsilon}_{11n}^{(i)}, \bar{\epsilon}_{33n}^{(i)}, \bar{\sigma}_{11n}^{(i)}, \bar{\sigma}_{33n}^{(i)} \right)^T \quad (3)$$

$$K = \sum_{n=0}^{\infty} K_n \cos \lambda_n \bar{x}, K = \left(\bar{u}, \bar{\psi}, \bar{\epsilon}_{13}^{(i)}, \bar{\theta}^{(i)}, \bar{\sigma}_{13}^{(i)} \right)^T,$$

$$K_n = \left(\bar{u}_n, \bar{\psi}_n, \bar{\epsilon}_{13n}^{(i)}, \bar{\theta}_n^{(i)}, \bar{\sigma}_{13n}^{(i)} \right)^T, i = 1, 2$$

Xét biểu diễn chuỗi lượng giác thỏa mãn điều kiện biên và thực hiện phép biến đổi Laplace, định luật vật lý và phương trình sóng dạng thế năng dưới dạng hệ số của chuỗi sẽ được viết như sau:

$$\sigma_{11n}^{(i)L} = -\lambda_n \gamma u_n^{(i)L} + \alpha \frac{\partial w_n^{(i)L}}{\partial z}, \sigma_{13n}^{(i)L} = \frac{\gamma - \alpha}{2} \left(\frac{\partial u_n^{(i)L}}{\partial z} + \lambda_n w_n^{(i)L} \right),$$

$$\sigma_{33n}^{(i)L} = -\alpha \lambda_n u_n^{(i)L} + \gamma \frac{\partial w_n^{(i)L}}{\partial z},$$

$$\gamma = \frac{(1-v_{gr})(1-v^2)hE_{gr}}{(1+v_{gr})(1-2v_{gr})t_1 E_{II}}, \alpha = \frac{v_{gr}(1-v^2)hE_{gr}}{(1+v_{gr})(1-2v_{gr})t_1 E_{II}}. \quad (4)$$

$$w_n^{(i)L} = \frac{\partial \phi_n^{(i)L}}{\partial z} - \lambda_n \psi_n^{(i)L}, u_n^{(i)L} = \lambda_n \phi_n^{(i)L} - \frac{\partial \psi_n^{(i)L}}{\partial z} \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \phi_n^{(i)L}}{\partial z^2} - \beta_{1n}^2 \phi_n^{(i)L} = 0, \frac{\partial^2 \psi_n^{(i)L}}{\partial z^2} - \beta_{2n}^2 \psi_n^{(i)L} = 0,$$

$$\text{где } \eta_j = \frac{c_j}{c}, \beta_{jn}^2 = \lambda_n^2 + \frac{s^2}{\eta_j^2}; i, j = 1, 2; \quad (6)$$

Điều kiện chặn ở vô cực:

- Đối với môi trường "1", khi $z \rightarrow -\infty$

$$\phi_n^{(1)L}(z, s) = O(1), \psi_n^{(1)L}(z, s) = O(1) \quad (7)$$

- Đối với môi trường "2", khi $z \rightarrow \infty$

$$\phi_n^{(2)L}(z, s) = O(1), \psi_n^{(2)L}(z, s) = O(1) \quad (8)$$

Nghiệm của (6) thỏa mãn điều kiện (7) và (8):

$$\phi_n^{(1)L}(z, s) = C^{(1)} e^{\beta_{1n} z}; \phi_n^{(2)L}(z, s) = C^{(2)} e^{-\beta_{1n} z};$$

$$\psi_n^{(1)L}(z, s) = D^{(1)} e^{\beta_{2n} z}; \psi_n^{(2)L}(z, s) = D^{(2)} e^{-\beta_{2n} z}. \quad (9)$$

Trong đó $C^{(1)}, C^{(2)}, D^{(1)}, D^{(2)}$ - hằng số tích phân. Chuyển vị trong môi trường "1" và "2":

$$\begin{aligned} w_n^{(i)L} &= \beta_{1n} C^{(i)} \cdot e^{\beta_{1n}z} - \lambda_n D^{(i)} \cdot e^{\beta_{2n}z}; \\ u_n^{(i)L} &= \lambda_n C^{(i)} \cdot e^{\beta_{1n}z} - \beta_{2n} D^{(i)} \cdot e^{\beta_{2n}z}. \end{aligned} \quad (10)$$

Ứng suất trong môi trường “1” và “2”

$$\begin{aligned} \sigma_{33n}^{(i)L} &= (-\alpha\lambda_n^2 + \gamma\beta_{1n}^2) C^{(i)} \cdot e^{\beta_{1n}z} + (\alpha - \gamma)\lambda_n\beta_{2n} D^{(i)} \cdot e^{\beta_{2n}z}; \\ \sigma_{13n}^{(i)L} &= (\gamma - \alpha)\lambda_n\beta_{1n} C^{(i)} e^{\beta_{1n}z} + \frac{\alpha - \gamma}{2} (\lambda_n^2 + \beta_{2n}^2) D^{(i)} e^{\beta_{2n}z}. \end{aligned} \quad (11)$$

3. Xác định chuyển vị và ứng suất trong sóng tới tắt dần

$$\begin{aligned} w_{*n}^L &= 2 \frac{r_{100}^2 P_*}{NL_1} \frac{1}{s+1} \int_0^{L_1} \frac{d}{r_{10}} K_1(r_{10}) \sin\left(\frac{\lambda_n x}{L_1}\right) dx, \\ u_{*n}^L &= 2 \frac{r_{100}^2 P_*}{NL_1} \frac{1}{s+1} \int_0^{L_1} \frac{x-x_1}{r_{10}} K_1(r_{10}) \cos\left(\frac{\lambda_n x}{L_1}\right) dx; \\ r_{10} &= \sqrt{(x-x_1)^2 + d^2}; r_{100} = \sqrt{x_1^2 + d^2}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$r_{330} = \sqrt{\alpha(x-x_1)^2 + \gamma d^2}; r_{3300} = \sqrt{\alpha x_1^2 + \gamma d^2};$$

$$N = (\alpha + \gamma)r_{100}K_1(r_{100}) - r_{3300}^2 K_2(r_{100}).$$

$$\begin{aligned} \sigma_{13*n}^L &= \frac{-2(\gamma - \alpha)r_{100}^2 dp_*}{NL_1} \times \\ &\times \frac{1}{s+1} \int_0^{L_1} \frac{(x-x_1)}{r_{10}^2} K_2(r_{10}) \cos\left(\frac{\lambda_n x}{L_1}\right) dx, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{33*n}^L &= \frac{2r_{100}^2 P_*}{L_1 N} \frac{1}{s+1} \int_0^{L_1} \frac{1}{r_{10}^2} \left[(\alpha + \gamma)r_{10}K_1(r_{10}) - \right. \\ &\left. - r_{330}^2 K_2(r_{10}) \right] \sin\left(\frac{\lambda_n x}{L_1}\right) dx. \end{aligned}$$

4. Mô hình tấm ba lớp Paimushin V.N

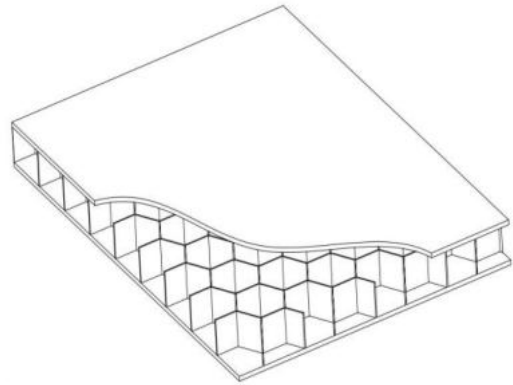
4.1. Hệ phương trình chuyển động và cấu trúc của tấm

Đối tượng nghiên cứu là tấm ba lớp có cấu trúc đối xứng, gồm hai lớp ngoài chịu lực và lớp đệm giữa chúng. Các lớp chịu lực của tấm là đàn hồi và đẳng hướng, có mô đun đàn hồi loại I E và tỷ số Poisson ν , có độ dày $2t_1$. Lớp đệm trục hướng, có hình tổ ong, có mô đun đàn hồi E_z và tỷ số Poisson ν_z , có chiều dày $2h$. Lớp lót có mô đun nén E_3 và mô đun cắt ngang G_1 và G_2 lần lượt theo các phương của trục O_x, O_y . Ký hiệu $u_1^{(k)}, u_2^{(k)}$ - lần lượt

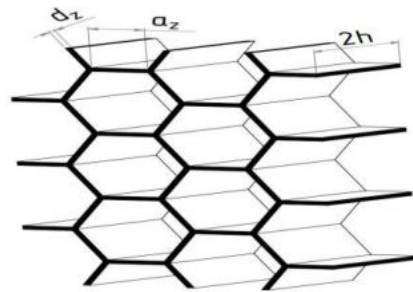
là chuyển vị tiếp tuyến theo trục O_x, O_y và $w^{(k)}$ - chuyển vị pháp của lớp thứ k ; q^1, q^2 - biên độ của ứng suất tiếp không đổi theo bề dày của lớp lót theo hướng O_x, O_y . Ta đưa vào các giá trị không thứ nguyên sau:

$$\bar{w} = \frac{w}{h}, \bar{u} = \frac{u}{h}, \bar{\tau} = \frac{c \cdot t}{h}, \bar{x} = \frac{x}{h}, \bar{q}_1 = \frac{h(1-\nu^2)}{Et_1} q_1, \quad (14)$$

$$\bar{p}_1 = \frac{h(1-\nu^2)}{Et_1} p_1, \bar{p}_2 = \frac{h(1-\nu^2)}{Et_1} p_2$$



Hình 2. Cấu tạo tấm ba lớp



Hình 3. Cấu trúc của lớp lót

Xét bài toán phẳng, do đó hệ phương trình chuyển động của tấm Paimushin V.N. có dạng sau:

$$\begin{aligned} Bu_{1,xx}^a(x,t) - \rho_a \ddot{u}_1^a(x,t) + 2q_1(x,t) &= 0, \\ -Dw_{c,xxxx}(x,t) - \rho_c \ddot{w}_c(x,t) + 2k_1 q_{1,x}(x,t) + p_1 - p_2 &= 0, \\ -Dw_{a,xxxx}(x,t) - \rho_{aw} \ddot{w}_a(x,t) - 2c_3 w_a(x,t) + p_1 + p_2 &= 0, \\ u_1^a(x,t) - k_1 w_{c,x}(x,t) - k_2 q_{1,xx}(x,t) + k_{31} q_1(x,t) &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Trong đó:

$$B = \frac{2Et_1}{1-\nu^2}, D = \frac{Bt_1^2}{3}, k_1 = t_1 + h, k_2 = \frac{h^2}{3c_3}, k_{3i} = \frac{2h}{G_i}, (i=1,2),$$

$$c_3 = \frac{E_3}{2h}, \rho_a = 2\rho_b t_1, \rho_c = \rho_a + \rho h, \rho_{av} = \rho_a + \frac{\rho h}{3} p \quad (16)$$

$$\rho = \frac{4d\rho_z}{3a \sin(\varphi)}, \rho_{q1} = \rho_{q2} = \rho_q = \frac{2\rho_{wq}}{G}, k_{31} = k_{32} = k_3 = \frac{2h}{G};$$

$$u_i^a = u_i^{(1)} - u_i^{(2)} (i=1,2), w_c = w^{(1)} + w^{(2)}, w_a = w^{(1)} - w^{(2)}$$

Sau khi áp dụng biến đổi Laplace, hệ phương trình chuyển động theo hệ số chuỗi Fourier được viết lại như sau:

$$2\lambda_n^2 u_{1n}^{(2)L} + 2m_6 s^2 u_{1n}^{(2)L} + q_{1n}^L = 0,$$

$$-m_1 \lambda_n^4 w_{cn}^L - (2+m_2)m_6 s^2 w_{cn}^L - 2m_3 \lambda_n q_{1n}^L + p_{1n}^L - p_{2n}^L = 0,$$

$$-m_1 \lambda_n^4 w_{an}^L - (2 + \frac{m_2}{3})m_6 s^2 w_{an}^L - \frac{4}{3m_5} w_{an}^L + p_{1n}^L + p_{2n}^L = 0,$$

$$-2u_{1n}^{(2)L} - m_3 \lambda_n w_{cn}^L + (\lambda_n^2 m_4 + m_7)m_5 q_{1n}^L = 0,$$

$$m_1 = \frac{2t_1^2}{3l^2}, m_2 = \frac{\rho h}{\rho_b t_1}, m_3 = \frac{t_1 + h}{h}, m_4 = \frac{1}{2},$$

$$m_7 = \frac{6}{(1-\nu_z)(1+\cos^2(\varphi))}, \quad (18)$$

$$m_5 = \frac{E(1-\nu_z^2)}{E_z(1-\nu^2)} \frac{at_1 \sin(\varphi)}{dh}, m_6 = (1-\nu^2);$$

$$w_{cn}^L = w_{0n}^{L(1)} + w_{0n}^{L(2)}, w_{an}^L = w_{0n}^{L(1)} - w_{0n}^{L(2)}.$$

4.2. Xác định chuyển vị tại biên của tấm và môi trường

Chuyển vị pháp tại biên của môi trường và các lớp ngoài của tấm

$$w_{0n}^{(1)L} = \frac{1}{2} \frac{-(p_{2n}^L - p_{1n}^L)I_1(s^2, \lambda_n^4)}{I_2(s^2, \lambda_n^2)I_3(s^2, \lambda_n^6) + I_4(s^2, \lambda_n^4)} + \frac{1}{2} \frac{3m_5(p_{1n}^L + p_{2n}^L)}{I_5(s^2, \lambda_n^4)},$$

$$w_{0n}^{(2)L} = \frac{1}{2} \frac{-(p_{2n}^L - p_{1n}^L)I_1(s^2, \lambda_n^4)}{I_2(s^2, \lambda_n^2)I_3(s^2, \lambda_n^6) + I_4(s^2, \lambda_n^4)} - \frac{1}{2} \frac{3m_5(p_{1n}^L + p_{2n}^L)}{I_5(s^2, \lambda_n^4)}, \quad (19)$$

$$u_n^{(2)L} = \frac{m_3 \lambda_n (p_{2n}^L - p_{1n}^L)}{U_1(\lambda_n^8, s^2) + U_2(\lambda_n^4, s^2) + U_3(\lambda_n^2, s^4) + U_4(\lambda_n^4, s^4)},$$

Trong đó:

$$U_1(\lambda_n^8, s^2) = 2m_1 m_4 m_3 \lambda_n^8 + 2m_1 m_5 (s^2 m_4 m_6 + m_7) \lambda_n^6,$$

$$U_2(\lambda_n^4, s^2) = \lambda_n^4 (2s^2 ((2+m_2)m_4 + m_1 m_7) m_6 m_5 + 4m_3^2 + 2m_1), \quad (20)$$

$$U_3(\lambda_n^2, s^4) = 2s^2 m_6 (s^2 m_4 m_5 (2+m_2) m_6 + m_7 (2+m_2) m_5 + 2m_3^2) \lambda_n^2,$$

$$U_4(\lambda_n^4, s^4) = 2s^2 m_6 (m_5 m_6 m_7 s^2 + 1) (2+m_2).$$

4.2.1. Điều kiện tiếp xúc giữa tấm và môi trường

Áp lực và ứng suất tại biên với môi trường

$$p_{1n}^L(z, s) = \left(\sigma_{33n}^{(1)L}(z, s) - P_{*n}(z, s) \right) \Big|_{z=0},$$

$$\sigma_{33n}^{(1)L}(z, s) \Big|_{z=0} = P_{*n}(z, s) \Big|_{z=0}, \quad (21)$$

$$p_{2n}^L(z, s) = -\sigma_{33n}^{(2)L}(z, s) \Big|_{z=0};$$

$$w_{0n}^{(1)L}(z, s) = \left(-w_n^{(1)L}(z, s) + w_{n*}^L(z, s) \right) \Big|_{z=0},$$

$$w_{0n}^{(2)L}(z, s) = w_n^{(2)L}(z, s) \Big|_{z=0}, \quad (22)$$

$$u_{0n}^{(1)L}(z, s) = \left(-u_n^{(1)L}(z, s) + u_*(z, s) \right) \Big|_{z=0}.$$

4.2.2. Hằng số tích phân

Các hằng số tích phân được tính toán trong phần mềm Maple có dạng tổng quát như sau:

$$C^{(1)} = \frac{R_1(s^8, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_2(s^{11}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}, D^{(1)} = \frac{R_3(s^7, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_4(s^{11}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}, \quad (23)$$

$$C^{(2)} = \frac{R_5(s^{24}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_6(s^{25}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}, D^{(2)} = \frac{R_7(s^{13}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_8(s^{14}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}.$$

Từ đó ta có chuyển vị pháp và tiếp trong môi trường "2"

$$w_n^{(2)L} = -\beta_{1n} \frac{R_5(s^{24}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_6(s^{25}, \beta_{1n}, \beta_{2n})} \cdot e^{-\beta_{1n}z} -$$

$$-\lambda_n \frac{R_7(s^{13}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_8(s^{14}, \beta_{1n}, \beta_{2n})} \cdot e^{-\beta_{2n}z}, \quad (24)$$

$$u_n^{(2)L} = \lambda_n \frac{R_5(s^{24}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_6(s^{25}, \beta_{1n}, \beta_{2n})} \cdot e^{-\beta_{1n}z} +$$

$$+\beta_{2n} \frac{R_7(s^{13}, \beta_{1n}, \beta_{2n})}{R_8(s^{14}, \beta_{1n}, \beta_{2n})} \cdot e^{-\beta_{2n}z}.$$

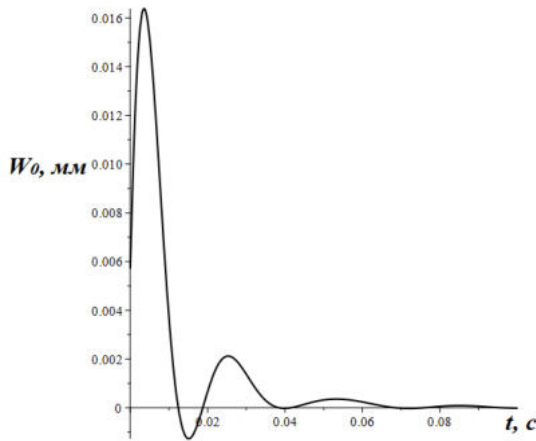
5. Tính toán chuyển vị đối với tấm có kết cấu và vật liệu khác nhau

5.1. Tấm bê-tông cốt thép

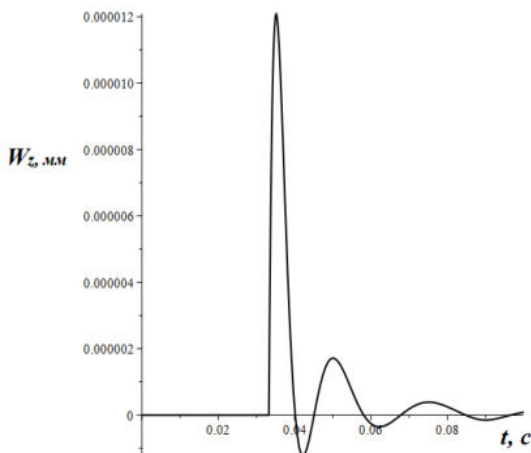
Tấm có độ dài $L=12m$, bề dày lớp bê tông $2t_1=0,2m$, độ dày lớp lót là $2h=0,4m$. Vật liệu bê-tông có $E=2.75 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$, $\rho_b=2340 \text{ kg/m}^3$ và mật độ $\nu=0.2$. Lớp lót - thép 12X18H10T:

$E_z = 1.8 \cdot 10^{10} \text{ kg/m}^2$, $\rho_z = 7900 \text{ kg/m}^3$, $\nu_z = 0.29$,
 $a = 0.2\text{m}$; $d = 0.003\text{m}$ - độ dài và độ dày mắt lưới
cốt thép; $\varphi = 90^\circ$; Đất sét đóng vai trò là môi trường
đàn hồi: $E_{gr} = 7.6 \cdot 10^8 \text{ kg/m}^2$, $\nu = 0.4$, mật độ
 $\rho_{gr} = 2000 \text{ kg/m}^3$.

Thực hiện tính toán và vẽ đồ thị trên phần
mềm Maple 2021, ta được đồ thị biểu diễn sự phụ
thuộc của chuyển vị theo thời gian tại biên của tấm
cản với môi trường và tại khoảng cách 2m trong
môi trường đàn hồi "2" (sau khi đã biến đổi về
dạng thứ nguyên) như sau:



Hình 4. Chuyển vị tại vị trí biên



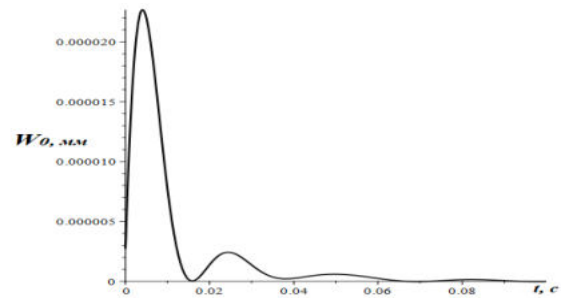
Hình 5. Chuyển vị tại khoảng cách 2m

5.2. Tấm bê-tông cốt thép có modul đàn hồi tương đương cao su

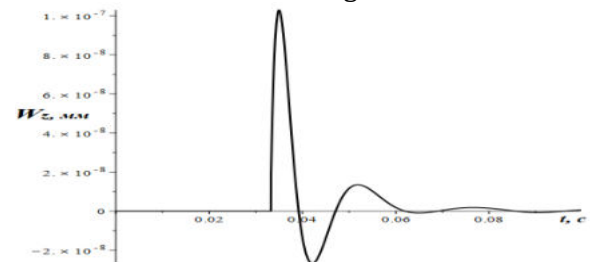
Để đánh giá sự ảnh hưởng của vật liệu làm lớp lót đến khả năng hấp thụ rung động của tấm ta xét

tấm bê-tông cốt thép có độ dày thành mắt lưới mà modul đàn hồi của nó bằng với mô dul đàn hồi của cao su với các thông số sau: $E_{cs} = 10^6 \text{ kg/m}^2$;
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $d = \frac{3E_{cs}(1-\nu_z^2)az \cos^2(\varphi)}{4E_z}$, $\nu = 0,45$

Ta thu được đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của chuyển vị theo thời gian tại biên và ở khoảng cách 2m trong môi trường đàn hồi "2" như sau:



Hình 6. Chuyển vị tại biên của tấm cốt thép tương đương



Hình 7. Chuyển vị tại khoảng cách 2m của tấm cốt thép tương đương

Từ đồ thị nhận thấy khả năng hấp thụ rung động của tấm với lớp lót là cao su tốt hơn nhiều so với cốt thép.

5.3. Nội dung và kết quả đạt được

- Công trình đã xây dựng được mô hình tương tác của sóng không tĩnh hình trụ với vật cản là tấm 3 lớp có cấu trúc phức tạp trong môi trường đàn hồi

- Từ kết quả của bài toán ta đánh giá được khả năng hấp thụ rung động của tấm, làm cơ sở để thiết kế, chế tạo vật cản hấp thụ rung động theo yêu cầu.

5.4. Kết luận

Công trình thể hiện một cách tiếp cận chung cho phép giải quyết các vấn đề liên quan đến sự tương tác trong môi trường đàn hồi của các sóng không

tính hình trụ và các cản hấp thụ rung động. Với mục đích này, các bài toán riêng lẻ về chuyển động của môi trường đàn hồi và tấm được xem xét. Bài toán xác định các thông số động học của môi trường mà sóng hình trụ gây ra.

Trong các ví dụ cụ thể về sự tương tác của các rào cản và sóng trong môi trường đàn hồi, so sánh khả năng hấp thụ rung động của tấm với vật liệu khác nhau. Sự tương đương của hai tấm được xác định trên cơ sở modulus đàn hồi, tuy không chính xác tuyệt đối nhưng vẫn cho phép chúng ta rút ra kết luận về ưu điểm của các loại vật liệu làm lớp lót. Việc đánh giá được thực hiện trong khoảng thời gian rất ngắn, do đó chúng không rõ ràng sự khác biệt về chất trong bản chất của sóng đi qua các chướng ngại vật khác nhau. đã xuất bản.

Đóng góp của các tác giả

Nguyễn Dương Phụng : 60%
Phạm Ngọc Bình: 40%

Tài liệu tham khảo

Bài báo đăng trên tạp chí

- Djeran-Maigre I., Kuznetsov S. V. A new principle for protection from seismic waves.
Kuznetsov S. V., (2011) Seismic waves and seismic barriers // *Acoustical Physics*. – T. 57. – №. 3. – C. 420-426.

- L. A. Igumnov, N. A. Lokteva, V. N. Paimushin, D. V. Tarlakovskii, (2014) Soundproof properties of a one-dimensional three-layer plate // *Journal of Mathematical Sciences*. — Vol. 203, no. 1. — P. 104–113

- Локтева Н. А., Сердюк Д. О., Тарлаковский Д. В., (2016) Исследование звукоизоляционных свойств трехслойной пластины при воздействии плоской волны // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. № 1. — С. 167–171

- Нетребко, С.В. Новотный, Ю.А. Созонов (1998) Некоторые задачи динамики цилиндрических оболочек – М.: Москва,— 89 с.

- Иванов В.А, Паймушин В.Н. (1995) Уточненная постановка динамических задач трехслойных оболочек с трансверсально-мягким наполнителем численно-аналитический метод их решения. - *Прикладная механика и техническая физика*, т. 36, №4, с. 147-151

Sách tham khảo

- Л.А. Строкова, (2018). Динамика грунтов: учебное пособие / сост.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 190 с.

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC ĐẾN HIỆU SUẤT LÀM VIỆC CỦA TUA BIN TRỰC GIAO

Bùi Minh Hoàng^{1,*}, Nguyễn Sơn Tùng²

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, E-mail: bui minhhoang@humg.edu.vn

² Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, E-mail: nguyensontung@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Nhu cầu sử dụng năng lượng của con người ngày một tăng cao cùng với sự phát triển của sản xuất, giao thông và nhu cầu sinh hoạt. Trong đó, phần lớn nguồn năng lượng được cung cấp dưới dạng điện năng và được cung cấp từ nguồn nhiên liệu hoá thạch, dầu mỏ. Việc sản xuất điện năng từ dầu mỏ, khí đốt hoặc than đá đang bộc lộ những bất cập về vấn đề môi trường và hơn nữa nguồn nhiên liệu này đang cạn kiệt dần. Những năm gần đây, trên thế giới đã nghiên cứu và ứng dụng phát triển loại tua bin trực giao để khai thác năng lượng dòng chảy ven biển, năng lượng thủy triều phục vụ phát điện. Loại tua bin này có ưu điểm là kết

cấu đơn giản, nguyên lý hoạt động chủ yếu dựa vào động năng của dòng chảy và không phụ thuộc vào chiều của dòng chảy. Do đó, nó rất phù hợp để khai thác năng lượng dòng chảy ven biển, tại các cửa sông, cửa biển và năng lượng thủy triều. Việt Nam là một quốc gia có bờ biển dài tới 3260 km, 3/4 diện tích đất liền là đồi núi với hệ thống sông suối có tiềm năng thủy điện lớn. Do vậy, việc nghiên cứu phát triển nguồn năng lượng thủy điện và khai thác năng lượng biển có ý nghĩa rất thiết thực. Khai thác năng lượng thủy điện Việt Nam đã đạt được những thành tựu nhất định. Gần đây, năng lượng biển, năng lượng điện gió và năng lượng điện mặt trời đang được nghiên cứu, phát triển. Với mong muốn đưa ra được mẫu tua bin trực giao phù hợp với điều kiện dòng chảy thực tế, phục vụ cho việc lựa chọn mẫu tua bin, thiết kế chế tạo bánh công tác tua bin, nhóm nghiên cứu đã đi sâu nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hình học (tỷ số hình học H/D , mật độ dây cánh l/t) đến hiệu suất làm việc của tua bin trực giao với phương pháp nghiên cứu phân tích lý thuyết và xây dựng mô hình mô phỏng trong môi trường Ansys Fluent. Kết quả mô phỏng khảo sát với biên dạng cánh NACA18, tỷ số hình học $H/D = 1$, dòng chảy có vận tốc tính toán 2,5 m/s cho thấy hiệu suất làm việc của tua bin không chỉ phụ thuộc vào thông số hình học mà còn phụ thuộc vào yếu tố động học (hệ số vận tốc). Hiệu suất đạt giá trị cực đại khi hệ số mật độ dây cánh đạt xấp xỉ 0,32 ứng với hệ số vận tốc đạt 2,37. Trong nghiên cứu này cũng phát hiện ra rằng, với mỗi một tỷ lệ mật độ dây cánh, tua bin có một vùng vận tốc làm việc nhất định cho hiệu suất cao. Đây là cơ sở quan trọng để tính toán thiết kế tua bin trực giao.

Từ khóa: Tua bin trực giao, thiết kế cánh tua bin, tua bin thủy triều, năng lượng tái tạo

1. Mở đầu

Nhu cầu sử dụng nguồn năng lượng của con người ngày một tăng cao do hoạt động sản xuất, giao thông và đời sống. Đặc biệt là điện năng – một nguồn năng lượng có nhiều tính năng ưu việt như truyền dẫn đơn giản, sạch và dễ dàng sử dụng, ... Theo số liệu thống kê trong năm 2021, tổng nhu cầu năng lượng điện của Việt Nam là 214 bn kWh. Các nguồn cung cấp năng lượng chính của Việt Nam là nhiệt điện (151,35 bn kWh), thủy điện (53,95 bn kWh) và một phần tới từ năng lượng điện gió (856,31 m kWh) và điện mặt trời (worlddata.info). Trong đó, năng lượng hoá thạch là dạng năng lượng không tái tạo và tiềm ẩn nguy cơ gây ô nhiễm môi trường, biến đổi khí hậu cần phải loại bỏ dần. Điều này đặt ra yêu cầu cần phải thay thế dần nguồn năng lượng hoá thạch bởi nguồn năng lượng tái tạo, năng lượng sạch hơn như thủy điện, năng lượng điện gió, năng lượng thủy triều và năng lượng điện mặt trời. Việt Nam là một đất nước nằm trong khu vực nhiệt đới với 3/4 diện tích đất nước là đồi núi với hệ thống sông ngòi khá dày đặc đem lại tiềm năng thủy điện rất lớn. Bên cạnh đó, Việt Nam có bờ biển trải dài từ Bắc vào Nam với tổng chiều dài lên tới 3260 km đem lại tiềm năng khai

thác năng lượng thủy triều, năng lượng biển rất lớn.

Trên thế giới, đã có khá nhiều nghiên cứu ứng dụng khai thác năng lượng sóng biển, năng lượng dòng hải lưu. Nhiều thiết bị đã được chuyển giao công nghệ và trở thành sản phẩm thương mại. Tuy vậy, cách đây khoảng 10 năm, tua bin thủy triều vẫn đang ở giai đoạn nghiên cứu và thử nghiệm (Dendy Satrio và nnk, 2016).

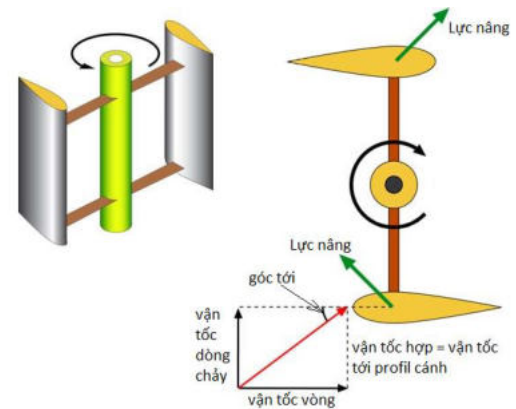
Tua bin trực giao chủ yếu dùng để khai thác năng lượng dòng chảy có vận tốc và lưu lượng nhỏ. Với đặc điểm các cánh có biên dạng giống nhau bố trí xung quanh một trục quay nên loại tua bin này có thể tiếp nhận dòng chảy từ mọi hướng và biến đổi động năng của dòng chảy thành cơ năng trên trục tua bin. Thêm vào đó, với kết cấu trục đứng, phần máy phát điện hoàn toàn có thể đặt cao hơn mặt nước, tua bin có thể được đỡ bằng phao nổi (Dendy Satrio và nnk, 2016). Vì vậy, tua bin trực giao rất phù hợp để khai thác năng lượng dòng chảy, dòng hải lưu hoặc gió quẩn (tua bin gió). Đây là đặc điểm vượt trội của loại tua bin này so với các loại tua bin còn lại. Với tiềm năng ứng dụng của loại tua bin này, đến nay đã có một số nghiên cứu phát triển tua bin trực giao với các quy mô khác nhau. Các thiết kế, thử nghiệm giúp nâng cao dần cơ sở lý thuyết tính toán thiết kế cũng như hiệu suất của

loại tua bin này. Nó trở thành dạng tua bin đặc biệt hiệu quả đối với các dòng chảy thủy triều, dòng chảy ven sông, ven biển. Mục đích để khai thác năng lượng của dòng chảy có vận tốc nhỏ và hướng dòng chảy biến đổi liên tục. Trên thế giới, các nhà nghiên cứu còn xây dựng ý tưởng khai thác năng lượng dòng chảy theo xuất hiện tại khu vực lân cận biên dạng của ô tô, xe buýt, tàu hỏa bằng cách đặt các tua bin trục giao (tua bin gió) tại đường cao tốc hoặc tại đường ray tàu hỏa.

Tua bin trục giao thuộc nhóm máy cánh dẫn vì vậy các thông số hình học, biên dạng của cánh là yếu tố cơ bản quyết định hiệu suất làm việc của tua bin. Với mỗi trường vận tốc tức, một dãy cánh nhất định thì cần có các thông số hình học tương ứng nhằm tối ưu về hiệu suất hoặc giảm ồn hoặc ổn định vận tốc (Farhan A. Khammas và nnk, 2015) và (Remi Gosselin và nnk, 2013). Vì vậy, việc nghiên cứu hoàn thiện lý thuyết tính toán loại tua bin này, từ đó đưa ra được mẫu bánh công tác phù hợp với điều kiện dòng chảy, có hiệu suất cao, là một nội dung cần thiết.

2 Cơ sở lý thuyết dòng chảy qua tua bin trục giao

Tua bin trục giao làm việc theo nguyên lý lực nâng do dòng chảy tác dụng lên một vật ngập. Một dòng chảy ổn định, đều đặn với vận tốc ở xa vô cùng khi chảy qua biên dạng cánh của tua bin sẽ xảy ra sự phân bố lại vận tốc và đường dòng, các đường dòng ở phía bụng cánh có xu hướng giảm tốc độ và tập trung, ngược lại đường dòng ở phía lưng cánh thưa hơn và vận tốc dòng chảy tăng lên, kết quả là hình thành hai vùng có áp suất chênh lệch. Từ đó, dẫn tới áp lực tác dụng lên bề mặt cánh bất đối xứng, kết quả hình thành một lực đẩy cánh. Lực này gọi là lực nâng, nếu cánh được gắn cố định với trục quay thì lực này sinh ra mô men làm cánh quay quanh trục (Lê Kinh Thanh, 2003) và (M. Khan và nnk, 2009). Lực nâng hay còn gọi là lực thủy khí động học phụ thuộc vào hình dạng khí động của cánh và rôto, với các kích thước đặc trưng: dạng profile cánh, chiều dài dây cung l , chiều dài sải cánh (với tua bin trục giao thì chính là chiều cao rô to H), bán kính rô to R , bước cánh t (số lá cánh Z). Sơ đồ nguyên làm việc của tua bin trục giao được trình bày trên Hình 1.



Hình 1 - Nguyên lý làm việc của tua bin trục giao (M. Khan và nnk, 2009)

Phương trình vận tốc tới profile cánh:

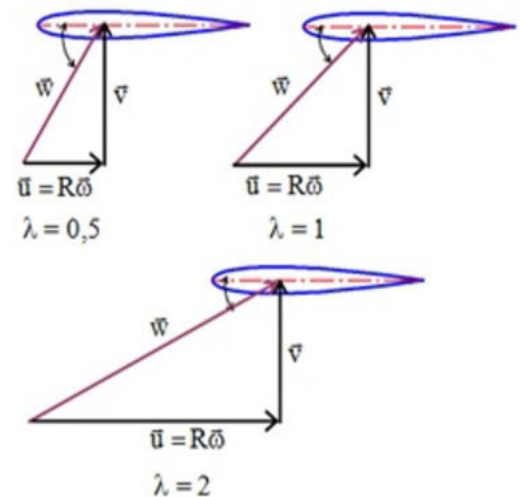
$$\vec{w} = \vec{v} + \vec{u} \quad (1)$$

Trong đó: \vec{w} - vận tốc tới profile cánh m/s; \vec{v} - vận tốc dòng chảy, m/s; \vec{u} - vận tốc vòng (vận tốc dài), m/s.

Hệ số vận tốc:

$$\lambda = \frac{R\omega}{v} \quad (2)$$

Trong đó: λ - hệ số vận tốc, R - bán kính rô to, m; ω - vận tốc góc, 1/s; v - vận tốc dòng chảy, m/s.



Hình 2 - Hệ số vận tốc dòng qua dây cánh tua bin trục giao (M. Khan và nnk, 2009)

Với tua bin trục giao trục đứng, hệ số vận tốc có ý nghĩa rất quan trọng, nó xác định các giá trị tối ưu của góc tới đối với các profile cánh. Hình 2 cho thấy, vận tốc tới \vec{w} thay đổi cả giá trị, phương và chiều khi hệ số vận tốc λ có các giá trị khác nhau.

Năng lượng của dòng chảy qua cánh tua bin (Lê Danh Liên và nnk, 2003), (Dendy Satrio và nnk, 2016):

$$E = \frac{\rho \cdot A \cdot V^3}{2} \quad (3)$$

Trong đó: E - năng lượng của dòng chảy; m, - khối lượng dòng chảy qua diện tích quét A của bánh công tác trong một đơn vị thời gian với vận tốc V; ρ - khối lượng riêng của chất lỏng công tác trong điều kiện thường.

Diện tích quét (Dendy Satrio và nnk, 2016):

$$A = H \cdot D \quad (4)$$

Trong đó: A - diện tích quét, m²; D - đường kính bánh công tác, m; H - chiều cao của bánh công tác (rô to), m.

Hiệu suất của tuabin trục giao:

$$\eta = C_p \cdot \eta_{TL} \cdot \eta_{CK} \quad (5)$$

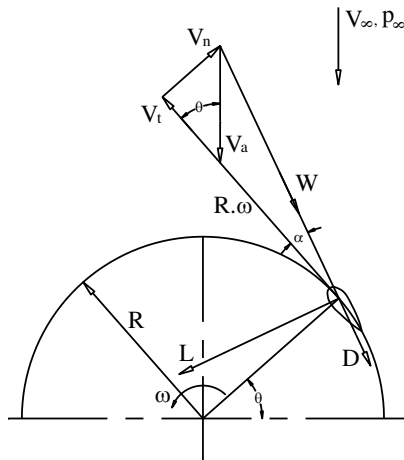
Trong đó: η - hiệu suất của tua bin; C_p - hệ số công suất; η_{TL} - hiệu suất thủy lực; η_{CK} - hiệu suất cơ khí.

Các thành phần vận tốc của dòng chảy qua bánh công tác của tua bin trục giao được xác định như Hình 3 (Lê Danh Liên và nnk, 2003) và (Li W. G., 1992).

Góc tới α của dòng chảy:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_n}{V_t} \quad (6)$$

Trong đó: V_n - thành phần vận tốc theo phương pháp tuyến với profile của cánh dẫn, m/s; V_t - thành phần vận tốc tiếp tuyến với profile của cánh dẫn, m/s.



Hình 3 - Các thành phần vận tốc dòng chảy qua cánh dẫn của tua bin trục giao

Lực cản tổng cộng cho toàn bộ vị trí thay đổi góc phương vị của cánh bánh công tác khi bánh quay một vòng ($0 \leq \theta \leq 2\pi$), với số cánh bánh công tác là Z, chiều dài dây cung là l, được xác định theo biểu thức (M. Khan và nnk, 2009):

$$F_D = \frac{Z \cdot l \cdot H}{2\pi} \int_0^{2\pi} q(C_n \sin \theta - C_t \cos \theta) d\theta \quad (7)$$

Hệ số lực cản:

$$C_D = \frac{Z \cdot l}{\pi \cdot 2R \cdot \rho \cdot V_\infty^2} \int_0^{2\pi} q(C_n \sin \theta - C_t \cos \theta) d\theta \quad (8)$$

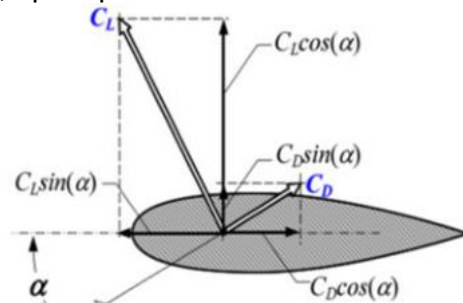
Công suất của tua bin:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega \cdot V_\infty^2 \cdot \pi D^2 \cdot \frac{l}{t} \cdot \frac{H}{D} \cdot R \cdot a \cdot b \quad (9)$$

$$a = (C_L \sin \alpha - C_D \cos \alpha) \quad (9)$$

$$b = [(\lambda + \cos \theta \cdot (1-a))^2 + (\sin \theta \cdot (1-a))^2]$$

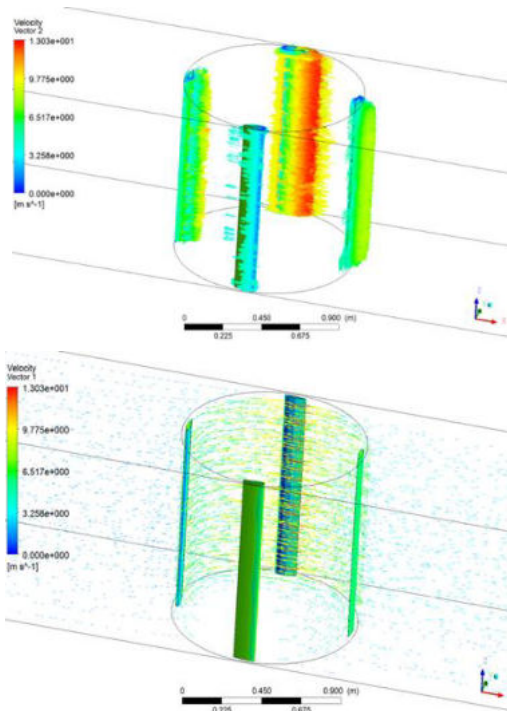
Theo biểu thức (8) cho thấy, các thông số ảnh hưởng đến công suất của tua bin trục giao gồm: số vòng quay n, tỷ số hình học H/D, mật độ dây cánh l/t, hệ số vận tốc λ .



Hình 4 - Các thành phần lực khí động tác dụng lên biên dạng cánh

3. Kết quả khảo sát mối quan hệ giữa thông số hình học tới đặc tính cánh

Sử dụng phần mềm Ansys Fluent để mô phỏng, đánh giá ảnh hưởng một số thông số hình học tới đặc tính năng lượng cho tuabin trục giao với các thông số như sau: Công suất tổ máy 3kW, đường kính bánh công tác D=1000mm; biên dạng cánh Naca18; Vận tốc dòng chảy tính toán $v = 2.5\text{m/s}$ (Nguyễn Quốc Tuấn và nnk, 2017):

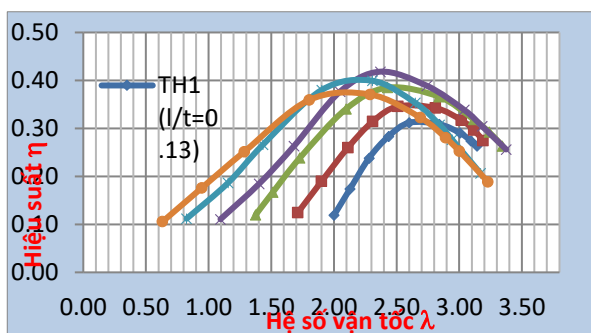


Hình 5 - Phân bố vận tốc dòng chảy qua bánh công tác có $l/t = 0.13$ với trường hợp hệ số mô men lớn nhất $C_m = 0.13$, hệ số vận tốc $\lambda = 2.6$

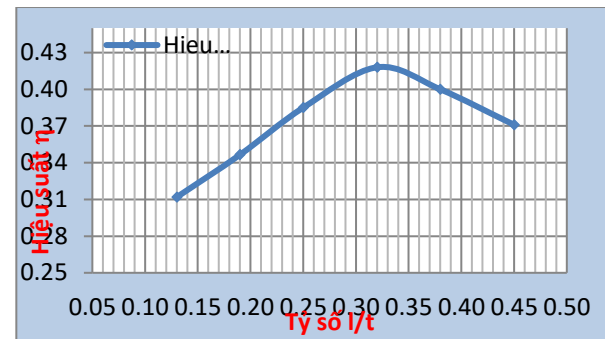
Kết quả cho thấy:

- Khi vận tốc dòng chảy tăng hay hệ số vận tốc λ tăng thì hiệu suất của các mô hình tua bin nghiên cứu tăng theo và đạt đến giá trị lớn nhất, sau đó giảm dần.

- Khi tăng tỷ lệ mật độ dây cánh l/t thì hiệu suất của tua bin cũng tăng theo, theo kết quả mô phỏng tính toán thì trường hợp $l/t = 0.32$ là trường hợp tua bin làm việc với hiệu suất cao nhất tại giá trị $\eta = 0.418$ ($C_p = 0.44$) ứng với $\lambda = 2.37$ so với các trường hợp còn lại.



Hình 6 - Đường quan hệ $\eta = f_1(\lambda)$ cho các trường hợp thay đổi tỷ số l/t với $H/D = 1$



Hình 7 - Đường quan hệ $\eta = f(l/t)$ cho các trường hợp thay đổi tỷ số l/t với $H/D = 1$

4. Thảo luận

Kết quả mô phỏng dòng chảy qua dây cánh của bánh công tác cho thấy phân bố dòng chảy qua biên dạng lá cánh bánh công tác có hiện tượng dòng rối, vận tốc dòng chảy tăng dần từ mép vào cho đến mép ra của profile cánh bánh công tác. Có chênh lệch vận tốc giữa mặt trước và mặt sau của biên dạng cánh, có thành phần vận tốc xoay tròn tại vùng giữa bánh công tác đảm bảo cho sự tạo mômen quay cho bánh công tác tua bin.

Kết quả phân tích lý thuyết và mô phỏng cho thấy hệ số vận tốc và tỷ lệ dây cánh là hai yếu tố ảnh hưởng trực tiếp tới hiệu suất làm việc của tua bin. Khi tăng tỷ lệ dây cánh đồng nghĩa với tăng diện tích làm việc của bánh công tác, năng lượng trao đổi giữa bánh công tác và dòng chảy tăng lên. Tuy nhiên, việc tăng dần tỷ lệ dây cánh lại gây ra bất lợi bởi dòng chảy bị nhiễu động sau khi chảy qua cánh. Như vậy, với một trường vận tốc nhất định nhờ mô hình mô phỏng ta có thể xác định được một tỷ lệ dây cánh hợp lý.

5. Kết luận

Trên cơ sở nguyên lý làm việc của tua bin trực giao, tính ưu việt của loại tua bin trực giao trực đứng và kết quả mô phỏng đặc tính làm việc của tua bin với một mẫu profile cánh tiêu chuẩn cho thấy hoàn toàn có thể xây dựng một bộ thông số hình học của bánh công tác tua bin trực giao trên cơ sở khảo sát đặc điểm dòng chảy, điều kiện thủy văn của một khu vực cụ thể.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin được gửi lời cảm ơn tới Ban tổ chức Hội nghị Cơ học toàn quốc về Cơ khí – Điện – Tự động hoá đã tạo điều kiện cũng như động viên, tạo nguồn lực giúp nhóm nghiên cứu thực hiện công trình nghiên cứu này. Đồng thời, xin trân thành cảm ơn Ban biên tập và Tập thể phản biện đã đóng góp ý kiến quý báu giúp chúng tôi hoàn thiện bài báo này.

Đóng góp của các tác giả

Bùi Minh Hoàng và Nguyễn Sơn Tùng đã nghiên cứu, tìm kiếm tài liệu thiết kế máy cánh dẫn, tua bin trục giao. Bùi Minh Hoàng phụ trách xây dựng mô hình và mô phỏng dòng chảy qua cánh tua bin nhằm khảo sát đặc tính hiệu suất làm việc của tua bin. Nguyễn Sơn Tùng biên soạn nội dung bài báo. Đồng thời, Bùi Minh Hoàng chịu trách nhiệm đọc và kiểm soát lỗi bản thảo.

Tài liệu tham khảo

Bài báo đăng trên tạp chí

- Dendy Satrio, I Ketut Aria Pria Utama, Mukhtasor, (2016). Vertical Axis Tidal Current Turbine: Advantage and Challenges Review. *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace – Science and Engineering, Vol. 3*. November 7th, 2016, Indonesia.
- Farhan A. Khammas, Mustaffa, M.T, Ryspek U, Kadhim H.Askar, Ahmed Y. Quasimr, Ghulam A. Quadir (2015), Investigate the effect of different design parameter on performance evaluation of

straight blade vertical axis wind turbine (SB-VAWT). *International Journal of engineering technologies and management research*.

- Lê Danh Liên, Nguyễn Văn Bày, Đỗ Huy Cương, (2003). Một số đặc điểm tính toán thiết kế bánh công tác và buồng xoắn bơm ly tâm vận chuyển hỗn hợp nước với hạt rắn kích thước lớn. *Hội nghị Cơ học thuỷ khí toàn quốc năm 2003*.
- Li W. G, (1992). Tính toán lý thuyết bơm ly tâm. *Hội nghị khoa học quốc tế về bơm cánh dẫn và hệ thống động lực, Singapore 1992*.
- M. Khan, G. Bhuyan, M. Iqbal and J. Quaicoe, (2009). Hệ thống chuyển đổi năng lượng thuỷ động – Khảo sát đánh giá khkai thác ứng dụng tua bin thuỷ triều dạng trục đứng và trục ngang. *Tạp chí nghiên cứu ứng dụng năng lượng*.
- Nguyen Quoc Tuan, Nguyen The Mich, Do Huy Cuong, (2017). The Effect of D/H Aspect Ratio Change on Energy Characteristics of H-type Darrieus Turbine. *Journal of Science & Technology (ISSN 2354-1083) No.122/2017 (page 48 – 51)*.
- Remi Gosselin, Guy Dumas, and Matthieu Boudreau (2013), Parametric study of H-Darrieus vertical-axis turbines using uRANS simulations. *The 21st Annual Conference of the CFD Society of Canada, Sherbrooke, Canada, May 6–9/2013*.
- Giáo trình
- Lê Kinh Thanh, (2003), Giáo trình Thuỷ động lực học kỹ thuật. Trường đại học Mỏ - Địa chất.

SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN PHỐI MÔMEN XÁC ĐỊNH NỘI LỰC TRONG CÁC TRỤC TRUYỀN ĐỘNG

Phạm Tuấn Long¹

¹ Khoa: Cơ – Điện, Trường: Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam, phamtuanlong@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Mục đích nghiên cứu của bài báo tập trung vào một số chi tiết máy có dạng thanh chắn hạn như các trục truyền động trong cơ khí và dùng phương pháp phân phối mômen để xác định nội lực trong các chi tiết này.

Từ khóa: Nội lực, mômen, trục, cơ khí

1. Mở đầu

Để kiểm tra điều kiện bền cho các chi tiết máy dạng trục, việc xác định nội lực bên trong các chi tiết này luôn được tính đến đầu tiên.

Đã có nhiều phương pháp xác định nội lực, tuy nhiên bài báo tập trung sử dụng phương pháp phân phối mômen để giải quyết vấn đề. Phương pháp này đặc biệt hiệu quả khi tính toán đối với hệ siêu tĩnh và có thể triển khai thành các chương trình tính toán trên máy tính

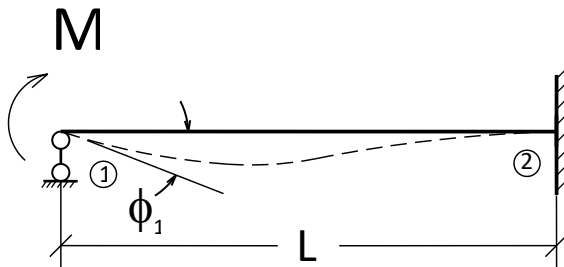
2. Nội dung của bài báo

2.1. Khái niệm

Phương pháp phân phối mômen được dùng để tính toán nội lực cho trục siêu tĩnh thông qua những phép tính toán đơn giản. Phương pháp này được thực hiện bằng cách giả định các khớp của hệ bị tạm thời bị khống chế chuyển vị (ngàm chặt). Như vậy, sẽ có trục chịu lực với các đoạn là độc lập với nhau. Khi đó, mômen phản lực liên kết tại các ngàm sẽ được xác định dựa trên kết quả của những mô hình đã biết. Để phù hợp với điều kiện cân bằng của khớp, người ta phải đặt tại một khớp (chỗ tạm thời bị khống chế chuyển vị) một mômen sao cho tổng giá trị các mômen tại khớp phải bằng không. Mômen này sẽ được chia thành các mômen thành phần về hai bên khớp và các mômen thành phần này lại tiếp tục phân phối một nửa của nó cho liên kết còn lại của đoạn trục. Với các khớp khác, người ta cũng làm tương tự và sự phân phối mômen sẽ được lặp lại. Quá trình phân phối kết thúc khi tổng giá trị của mômen nội lực tại đầu trái và phải của các khớp bằng không. Kết quả cuối cùng sẽ cho ta giá trị mômen nội lực tại các liên kết.

2.2. Phát triển phương pháp

Trước hết, ta hãy xét 1 thanh với các liên kết như hình 1



Hình 1. Thanh siêu tĩnh với liên kết ngàm - khớp

Nếu đặt một mômen M tại chỗ liên kết di động (vị trí 1), tại ngàm (vị trí 2) sẽ sinh ra một mômen. Khi đó ta có quan hệ toán học sau:

$$M_2 = C_{12}M_1$$

Trong đó:

M1: Giá trị mômen đặt tại vị trí 1 ($M_1 = M$)

C12: Được gọi là hệ số truyền của mômen từ vị trí 1 đến vị trí 2.

Từ quan hệ giữa nội lực và chuyển vị:

$$\begin{Bmatrix} M_1 \\ V_1 \\ M_2 \\ V_2 \end{Bmatrix} = \frac{2EJ}{L^3} \begin{bmatrix} 2L^2 & -3L & L^2 & 3L \\ -3L & 6 & -3L & -6 \\ L^2 & -3L & 2L^2 & 3L \\ 3L & -6 & 3L & 6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \eta_1 \\ \phi_2 \\ \eta_2 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Ta có: $M_1 = \frac{4EJ}{L} \phi_1$ và $M_2 = \frac{2EJ}{L} \phi_1$ (2)

Quy ước: Mômen được coi là dương khi làm thanh quay theo chiều kim đồng hồ và làm cho khớp quay ngược chiều kim đồng hồ.

Do đó, mômen sinh ra tại ngàm:

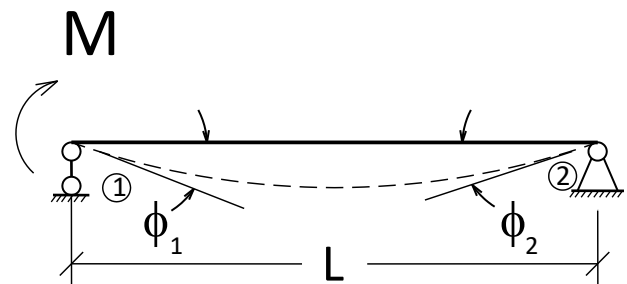
$$M_2 = \frac{1}{2} M_1 \quad (3)$$

Như vậy, hệ số truyền:

$$C_{12} = \frac{1}{2} \quad (4)$$

Tỷ số $\frac{J}{L} = K$ được gọi là hệ số độ cứng của thanh.

Nếu ta thay ngàm bằng liên kết gối cố định như hình 2



Hình 2. Trục 2 đầu liên kết khớp

Từ quan hệ giữa nội lực và chuyển vị ta có phương trình:

$$\begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{Bmatrix} = \frac{2EJ}{L} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

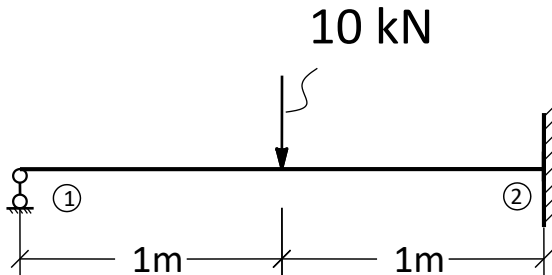
Vì $M_2 = 0 = \frac{2EJ}{L}(\phi_1 + 2\phi_2) \rightarrow \phi_2 = -\frac{\phi_1}{2} \rightarrow$

$$M_1 = \frac{2EJ}{L} \left[2\phi_1 - \frac{\phi_1}{2} \right] = \frac{3EJ}{L} \phi_1$$

Do đó: $\frac{M_1}{\phi_1} = \frac{3EJ}{L} = 4E \frac{3}{4} \left(\frac{J}{L} \right) = 4EK' \quad (6)$

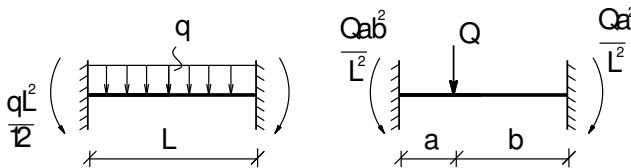
Ta nhận thấy giá trị của độ cứng của trường hợp này bằng 3/4 so với trường hợp trước. Hệ số độ cứng chuyển đổi ký hiệu bởi K' được biểu diễn dưới dạng: $K' = \frac{3}{4} K$

Với nội dung đã trình bày ở trên, ta xét thí dụ minh họa sau: Cho thanh chịu uốn như hình 3. Hãy xác định mômen phản lực liên kết tại ngàm.



Hình 3. Thanh chịu uốn 2 đầu khớp - ngàm

Trước hết ta coi như khớp tại vị trí 1 tạm thời bị khống chế chuyển vị. Như vậy Thanh sẽ coi như được ngàm chặt hai đầu và mômen phản lực liên kết tại ngàm được xác định dựa trên một số kết quả của những mô hình dầm chịu uốn với 2 đầu ngàm chặt hình 4.

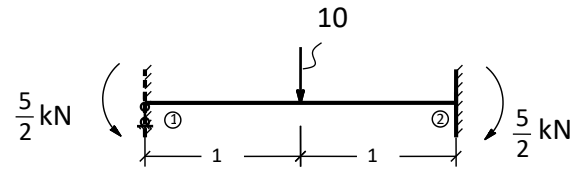


Hình 4. Một số sơ đồ mẫu

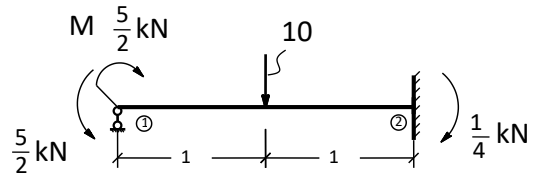
Phản lực liên kết tại ngàm với dầm chịu uốn của bài toán

Hình 5. Phản lực tại ngàm

Để phù hợp với điều kiện góc xoay tại vị trí 1, người ta phải đặt tại đó một mômen M cùng độ



lớn và ngược chiều với mômen phản lực liên kết tại ngàm 1.



Hình 6. Giải phóng khớp 1

Như vậy, ta có được mô hình bài toán giống như hình 1. Theo công thức (3) Mô men M ($M=M_1$) sẽ sinh ra tại ngàm một mômen

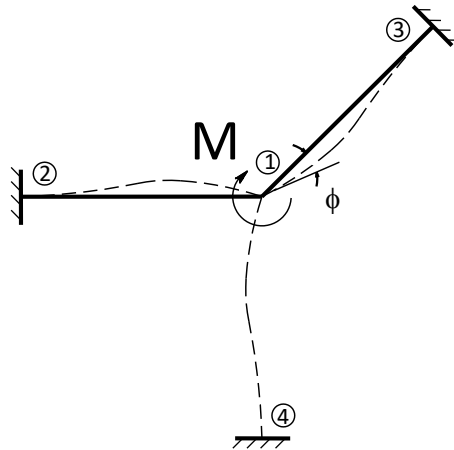
$$M_2 = \frac{M}{2} = \frac{5}{4} \text{ kNm}$$

Như vậy, mômen phản lực liên kết tại ngàm sẽ là:

$$\frac{5}{2} + \frac{5}{4} = \frac{15}{4} \text{ kNm}$$

So sánh phương pháp này với một số phương pháp khác ta cũng được kết quả tương tự.

Để mở rộng phương pháp này cho dầm siêu tĩnh nhiều nhịp chịu uốn, ta xét hệ thanh chịu lực như hình 7.



Hình 7. Hệ thanh chịu uốn

Hệ gồm 3 hoặc nhiều thanh liên kết với nhau tại khớp cứng 1. Liên kết còn lại của các thanh là ngàm. Mômen được đặt lên hệ ở khớp 1 và làm các thanh xoay góc ϕ .

Phương trình cân bằng của khớp 1:

$$M_{12} + M_{13} + M_{14} - M = 0$$

Theo (6)

$$M_{12} = 4EK_{12}\phi$$

$$M_{13} = 4EK_{13}\phi$$

$$M_{14} = 4EK_{14}\phi$$

Phương trình trên có thể viết như sau:

$$4E\phi(K_{12} + K_{13} + K_{14}) = M$$

Hay:

$$M = 4E\phi \sum K \text{ từ đó } \phi = \frac{M}{4E \sum K}$$

Thay vào trên ta được:

$$M_{12} = 4EK_{12} \frac{M}{4E \sum K} = \frac{K_{12}}{\sum K} M$$

$$M_{13} = 4EK_{13} \frac{M}{4E \sum K} = \frac{K_{13}}{\sum K} M \quad (7)$$

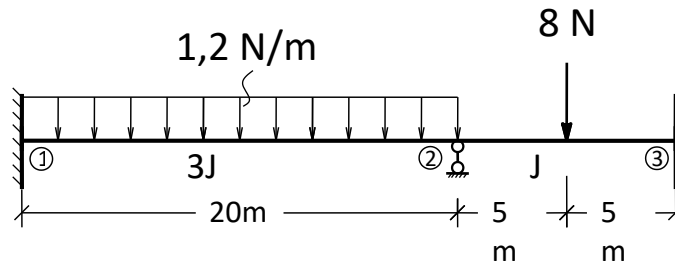
$$M_{14} = 4EK_{14} \frac{M}{4E \sum K} = \frac{K_{14}}{\sum K} M$$

Các tỷ số $\frac{K_{12}}{\sum K}$; $\frac{K_{13}}{\sum K}$; $\frac{K_{14}}{\sum K}$ được xem là các hệ số phân phối cho các thanh. Một cách tổng quát, các hệ số này được viết như sau:

$$DF = \frac{K_i}{\sum K} = \frac{J_i / L_i}{\sum (J / L)} \quad (8)$$

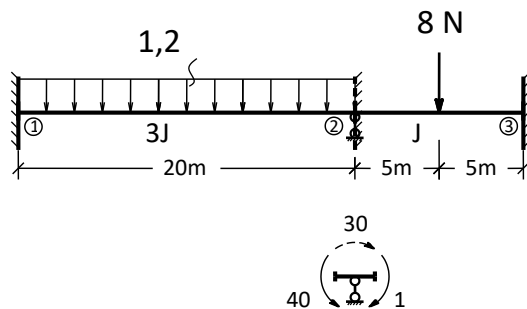
Thí dụ cho phương pháp

Cho thanh chịu lực như hình 8. Xác định mômen tại các liên kết



Hình 8. Thanh siêu tĩnh chịu uốn

Giả sử thanh bị hạn chế chuyển vị tại khớp 2 (hình 9), hai nhịp của dầm sẽ chịu lực độc lập với nhau, ta có mômen phản lực liên kết tại ngàm (FEM).



Hình 9. Ngàm tại khớp 2

$$FEM_{12} = -\frac{(1,2)(20)^2}{12} = -40Nm$$

$$FEM_{21} = 40Nm$$

$$FEM_{23} = -\frac{(8)(10)}{8} = -10Nm$$

$$FEM_{32} = 10Nm$$

Dấu của mômen tuân theo chiều quy ước. Xét riêng khớp 2.

Để phù hợp với điều kiện liên kết của khớp 2, ta phải đặt tại khớp 2 một mômen có độ lớn bằng -30 Nm như vậy khớp sẽ cân bằng

Các hệ số phân phối được xác định theo công thức (8)

$$DF_{21} = \frac{3J/20}{(3J/20) + (J/10)} = 0,6$$

$$DF_{23} = \frac{J/10}{(3J/20) + (J/10)} = 0,4$$

Như vậy, mômen đặt tại bên trái và bên phải của khớp tương ứng:

$$M_{21} = (0,6)(-30) = -18Nm$$

$$M_{23} = (0,4)(-30) = -12Nm$$

Một nửa giá trị của các mômen này được truyền cho ngàm 1 và 3:

$$M_{12} = -\frac{18}{2} = -9Nm$$

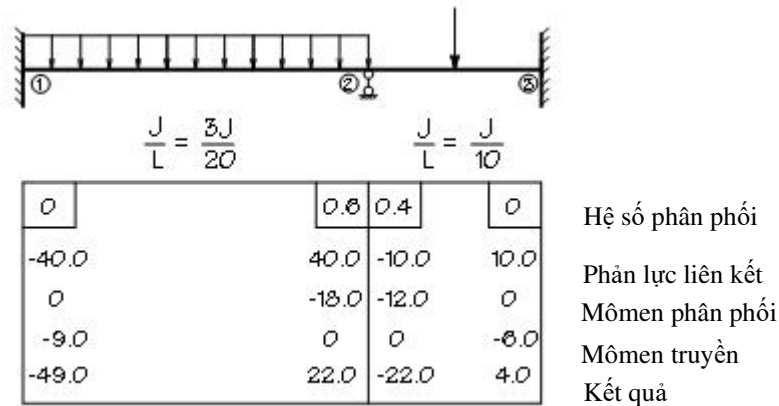
$$M_{32} = -\frac{12}{2} = -6Nm$$

Như vậy, mômen tổng tại ngàm 1 và 3 là:

$$M_{12} = -40 - 9 = -49Nm$$

$$M_{32} = 10 - 6 = 4Nm$$

Các kết quả của phương pháp phân phối mômen này có thể tóm tắt như trong hình 10.



Hình 10. Kết quả của phương pháp

2.3. Nội dung và kết quả đạt được

Dựa trên các lý thuyết về sức bền vật liệu, kết cấu, bài báo đưa ra được phương pháp xác định nội lực cho thanh siêu tĩnh bằng phương pháp phân phối mômen. Từ mô hình này có thể tính toán cho các chi tiết máy dạng trục

3. Kết luận

- Bài báo đã đưa ra được một số trường hợp mới tính toán nội lực so với các phương pháp đã dùng trước đây
- Phương pháp này đặc biệt hiệu quả khi tính toán đối với những chi tiết có kết cấu phức tạp chẳng hạn như các hệ siêu tĩnh.
- Có thể triển khai đơn giản trên máy tính

Tài liệu tham khảo

Sách tham khảo

1. Đặng Việt Cương, Nguyễn Nhật Thăng, Như Phương Mai, (2003). Sức bền vật liệu, tập 1, nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 30 trang.
2. Vũ Đình Lai, (2002). Sức bền vật liệu, nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội, 20 trang.
3. Bùi Trọng Lựu, Nguyễn Văn Vượng, (2003). Bài tập sức bền vật liệu, nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 10 trang
4. Nguyễn Trọng Hiệp, (2002). Chi tiết máy tập 1. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 40 trang
5. Nguyễn Hữu Lộc, (2000). Cơ sở thiết kế máy. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 25 trang

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM INVENTER PHÂN TÍCH, THIẾT KẾ KHUNG MÁY ÉP THỦY LỰC 4 TRỤ, LỰC ÉP 80 TẤN

Nguyễn Sơn Tùng^{1,*}, Ngô Quang Tú², Nguyễn Thanh Tuấn

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, E-mail: nguyensontung@humg.edu.vn

² Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Việt Nam, E-mail: tunq@hau.edu.vn;

³ Khoa Dầu khí và Năng lượng, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, Email: nguyenthanhtuan@humg.edu.vn.

TÓM TẮT

Máy ép thủy lực là một loại máy công cụ có ứng dụng rất rộng rãi trong công nghiệp. Máy làm việc theo nguyên lý truyền động thủy lực thể tích, dưới tác động của áp suất bên trong khoang làm việc, xy lanh thủy lực sinh ra lực nén ép tác dụng lên khuôn. Dưới tác dụng của lực ép, phôi kim loại được tạo hình theo kích thước và hình dạng mong muốn. Độ cứng vững của khung máy ép, xy lanh và liên kết giữa xy lanh và khung máy là yếu tố quan trọng nhất quyết định độ chính xác của máy và tuổi thọ làm việc của máy. Theo các nghiên cứu cho thấy kết cấu khung máy dạng hộp được lắp ghép theo phương pháp hàn có khả năng cứng vững cao, tiết kiệm vật liệu so với các phương án khác. Tuy nhiên, việc tính toán, thiết kế kết cấu hàn rất phức tạp. Nhiều bài toán trở nên quá phức tạp hoặc không thể giải được khi áp dụng lý thuyết sức bền vật liệu truyền thống. Phương pháp phần tử hữu hạn và công cụ máy tính là một giải pháp được đánh giá rất hiệu quả trong việc kiểm tra khả năng tải của khung máy, tối ưu hoá kết cấu khung máy nhằm giảm trọng lượng máy, tiết kiệm kim loại và giảm chi phí gia công chế tạo máy. Hiện nay, có nhiều phần mềm hỗ trợ thiết kế, khảo sát biến dạng chuyển vị của kết cấu siêu tinh như SAP, ANSYS, ABAQUAS, Autodesk Inventor, Solidwork ... Trong đó, Autodesk Inventor là một phần mềm cung cấp các công cụ hỗ trợ mạnh mẽ và đồng bộ trong việc phân tích, khảo sát, mô phỏng kết cấu. Bài báo này trình bày quá trình nghiên cứu, tính toán thiết kế máy ép thủy lực 4 trụ, lực ép 80 Tấn. Kết cấu khung máy được tính toán sơ bộ bằng lý thuyết sức bền vật liệu sau đó sử dụng phần mềm Inventor để phân tích, kiểm tra kết cấu khung máy nhằm đảm bảo khả năng làm việc và tiết kiệm chi phí gia công, chế tạo.

Từ khóa: Autodesk Inventor, Phương pháp phần tử hữu hạn, FEM, Máy ép thủy lực, Thiết kế máy

1. Mở đầu

Máy ép thủy lực là một máy công cụ được ứng dụng rộng rãi trong gia công biến dạng kim loại, nén ép phế liệu, vật liệu phi kim, kim loại màu hoặc phục vụ lắp ráp sửa chữa cơ khí. Với ứng dụng gia công biến dạng, tạo hình kim loại máy ép thủy lực còn mang các tên gọi như máy dập vuốt, máy ép song động, máy rèn thủy lực, máy chặt thủy lực, máy cắt thủy lực, máy đột lỗ thủy lực ... (Santoshkumar và nnk, 2014), (Asim và nnk, 2016), (Karishna et nnk, 2018), và (Ganesh nnk, 2018). Một số sản phẩm dạng tấm như vỏ ô tô, máy bay, tấm ốp xe máy, chi tiết dạng vỏ hộp được gia công chế tạo bởi máy ép cho năng suất cao, tiết

kiệm kim loại, gần như không phải thêm bước gia công nào sau dập (Mohamad, 1992). Nguyên lý làm việc cơ bản của máy ép thủy lực là nhờ lực nén ép do xy lanh thủy lực tạo ra. Dưới tác dụng của lực nén ép, thông qua khuôn ép hoặc dao cắt mà kim loại bị biến dạng trở thành hình dạng, kích thước như mong muốn. Xy lanh thủy lực được đỡ trên khung máy, thông thường là tại dầm ngang trên, trong một vài trường hợp xy lanh được đặt ở dầm ngang dưới như xy lanh đỡ chặn của máy ép song động, xy lanh ép chính của máy ép ngược. Phần lớn các máy ép làm việc có tính chu kỳ, lực tác động xuất hiện đột ngột (như máy chặt, máy đột) hoặc lực ép tăng vọt đột ngột rồi kéo dài trong một khoảng thời gian ngắn (máy dập vuốt, máy cắt). Khi

máy ép làm việc, bên trong các bộ phận của khung máy ép xuất hiện ứng suất kéo hoặc ứng suất nén và uốn (Karishna và nnk, 2018), và (Ganesh và nnk, 2018).

Các dạng kết cấu phổ biến của khung máy ép thủy lực bao gồm: khung máy ép dạng bốn trụ, khung máy ép dạng chữ H, dạng chữ C hoặc kết cấu khung giàn hình hộp.

Quy trình vòng lặp thiết kế máy ép thủy lực bắt đầu từ việc xác định yêu cầu chức năng của máy và thông số kích thước của khuôn hoặc chi tiết gia công để lựa chọn dạng kết cấu khung máy. Đồng thời, xác định các kích thước hình học cơ bản của máy bao gồm kích thước tấm lót khuôn, kích thước chiều rộng, chiều dài bàn máy và chiều cao làm việc của máy. Bên cạnh đó, kích thước khung máy còn phụ thuộc vào phương pháp dẫn hướng dầm ngang di động của máy. Tiếp đó là giai đoạn tính toán bền. Sử dụng các công thức tính toán phù hợp để xác định các thông số hình học (bề dày, chiều cao, đường kính) của dầm đỡ xy lanh, gân tăng cứng, dầm ngang di động, dầm ngang dưới (bàn máy), cột đỡ, vách hông, bu lông liên kết ... (Santoshkumar và nnk, 2014). Sau đó, dựa trên kết quả tính toán lý thuyết, các thông số hình học để xây dựng mô hình 3D. Mô hình 3D được sử dụng để mô phỏng khảo sát ứng suất, chuyển vị của khung máy. Trên cơ sở kết quả khảo sát sẽ điều chỉnh thông số của một số bộ phận hoặc một vài vị trí. Ở vòng lặp tiếp theo, tiếp tục kiểm tra ứng suất và chuyển vị của kết cấu để đưa ra kết luận phù hợp.

Độ cứng vững của khung máy ép, xy lanh thủy lực và liên kết giữa xy lanh thủy lực (xy lanh ép chính) với khung máy là yếu tố quyết định tới khả năng làm việc chính xác của máy ép, tuổi thọ làm việc của máy. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng kết cấu hàn, kết cấu hộp có độ cứng vững cao nhất và tiết kiệm vật liệu, giảm trọng lượng máy. Tuy nhiên, kết cấu hàn thường phức tạp, không thể tính toán kết cấu bằng lý thuyết sức bền vật liệu thuần túy. Để đơn giản hóa khung máy sẽ được tính toán sơ bộ bằng lý thuyết với các giả thiết nhằm đơn giản hóa kết cấu. Sau đó, sử dụng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn với sự trợ giúp của máy tính để kiểm tra ứng suất, biến dạng, chuyển vị và hệ số an toàn của kết quả tính toán lý thuyết. Từ đó, đưa ra sự điều chỉnh kết cấu sao cho tiết kiệm vật liệu, giảm trọng lượng máy mà vẫn giữ được hệ số an

toàn $n = 2 \div 3$ (Asim và nnk, 2016). Trong nghiên cứu của Santoshkumar và các cộng sự nhằm tối ưu kết cấu khung máy của một máy ép thủy lực khung dạng chữ H, lực ép 5 Tấn. Kết quả kiểm tra mô phỏng cho thấy hệ số an toàn thực tế của phương pháp tính toán lý thuyết là 4,88. Do vậy, nhóm nghiên cứu đã đề xuất giảm bề dày của thành vách từ 40mm xuống còn 12 mm, giảm bề dày của dầm ngang trên từ 45 mm xuống 15 mm. Từ đó giảm khối lượng khung máy từ 143 kg xuống còn 61 kg trong khi vẫn đảm bảo hệ số an toàn $n = 2,82$. Luận văn của tác giả Mohamd (Mohamad, 1992) đã chỉ ra rằng phương pháp phần tử hữu hạn được nghiên cứu phát triển từ những năm 1950, tới cuối thế kỷ XX phương pháp này đã có những bước phát triển vượt bậc, trên thế giới có tới hơn 40 phần mềm hỗ trợ phân tích thiết kế theo phương pháp phần tử hữu hạn - Finite Element Method (FEM). Phương pháp này đã được nhiều nhà khoa học vận dụng nghiên cứu mô phỏng và so sánh với kết quả thực nghiệm cho độ tin cậy cao. Phương pháp chia phần tử hữu hạn (chia lưới) hình hộp chữ nhật, khối tứ diện và việc xác định các điều kiện biên là yếu tố cơ bản nhất quyết định sự thành công của phép phân tích, mô phỏng kết cấu. Các phần mềm phổ biến hiện nay như SAP, ANSYS, Creo, ABAQUAS, Autodesk Inventor, Solidwork ... (Ganesh và nnk, 2018) và (Mohamad, 1992).

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng công cụ Inventor trong việc xây dựng mô hình và mô phỏng kết cấu khung máy ép thủy lực 4 trụ, lực ép 80 Tấn được sử dụng để ép tạo vân hoa văn trên bề mặt bạc và đồng chế tác đồ mỹ nghệ.

2. Thông số yêu cầu cơ bản và tính toán xác định kích thước khung máy theo phương pháp lý thuyết sức bền vật liệu

Máy ép thủy lực 4 trụ, lực ép 80 Tấn dùng để ép tạo vân hoa văn trên bạc, đồng chế tác đồ mỹ nghệ với yêu cầu cơ bản như sau:

- Lực ép lớn nhất: 80 Tấn;
- Khuôn ép: rộng 400 mm, dài 600 mm;
- Chiều cao lòng máy: 600 mm;
- Chuyển vị dầm ngang dưới 1 mm/m;
- Xy lanh ép từ trên xuống, dạng xy lanh mặt bích.

Với yêu cầu cơ bản như trên lựa chọn kết cấu khung máy 4 trụ để đảm bảo lực ép đúng tâm là

phương pháp hợp lý và tiết kiệm kim loại nhất. Bởi phôi và sản phẩm ép có kích thước nhỏ, gọn, phôi dạng miếng hoặc thanh. Việc đưa phôi vào khuôn và lấy sản phẩm ép ra dễ dàng, thuận lợi. Dầm ngang di động được dẫn hướng bởi 4 trụ, đảm bảo chuyển động và ăn khớp hai nửa khuôn chính xác, phôi được tạo hình chính xác, hoa văn sắc nét. Nửa khuôn dưới được cố định trên bàn máy nhờ cốc kẹp khuôn, cốc được kẹp chặt bởi vít lắp vào ren của tấm đệm, tấm đệm khuôn được kẹp chặt vào bàn máy nhờ 4 vít ở 4 góc. Nửa trên của khuôn được treo trên dầm ngang di động. Xy lanh được gá treo trên dầm ngang trên của khung máy. Kích thước cơ bản của khung máy như sau:

- Khoảng cách tâm ngang của các trụ dẫn hướng: 670 mm;
- Khoảng cách tâm dọc của các trụ dẫn hướng: 470 mm;

Tính toán xác định đường kính trụ dẫn hướng

Trụ dẫn hướng được chế tạo từ thép C45 hoặc tương đương, phôi thép tròn, cán nóng, đường kính dưới 100 mm, có giới hạn bền kéo và giới hạn chảy theo TCVN 1766-75:

- Giới hạn bền kéo: 630 ÷ 780 MPa;
- Giới hạn chảy: 360 ÷ 410 MPa;
- Độ giãn dài tương đối: > 16%.

Giả thiết rằng kết cấu khung máy đủ cứng vững, chuyển vị của dầm ngang nhỏ hơn 1 mm/m, lực ép đúng tâm thì lực kéo được chia đều cho 4 cột trụ đặt đối xứng với 4 góc khung máy. Bốn trụ liên kết với dầm ngang trên và dầm ngang dưới bằng mối ghép bu lông, đai ốc được siết chặt sơ bộ và được hàn dính vào dầm ngang để chống tự rơi lỏng dưới tác dụng của tải trọng đột ngột của máy ép. Bỏ qua lực siết chặt ban đầu. Giả thiết mô men xoắn do lực hãm bu lông ban đầu nhỏ, có thể bỏ qua.

Tải trọng kéo lớn nhất tác dụng lên mỗi cột trụ:

$$P = \frac{F}{4} = \frac{80 \cdot 10}{4} = 200kN \quad (1)$$

Đường kính của cột trụ (Nguyễn Trọng Hiệp, 2006):

$$d \geq \sqrt{\frac{n \cdot 4 \cdot P}{\pi \cdot [\sigma_k]}} \quad (2)$$

Trong đó: d – đường kính tiết diện nhỏ nhất của trụ máy, m; n – hệ số an toàn; P – tải trọng tác dụng lên một trụ máy, N; ứng suất kéo cho phép của vật liệu chế tạo bu lông, N/m².

- Chọn hệ số an toàn: n = 2,5;
 - Chọn giới hạn kéo cho phép $[\sigma_k] = 360$ MPa
- Thay vào (2) thu được:

$$d \geq \sqrt{\frac{n \cdot 4 \cdot P}{\pi \cdot [\sigma_k]}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 360 \cdot 10^6}} = 0,059mm$$

Chọn d = 60 mm. Căn cứ theo phôi trụ tròn, mạ phủ crom, đánh bóng tiêu chuẩn chọn phôi trụ d₀ = 70 mm, tiện hạ bậc 2 đầu, tiện ren M60×3.

Tính toán kết cấu bàn máy

Nhằm tiết kiệm vật liệu, bàn máy chỉ đỡ và định vị tấm lót khuôn nên chọn kết cấu hàn, bàn máy dạng hộp có vách tăng cứng. Mặt bàn và vách tăng cứng được gia công từ phôi thép tấm cán nguội Q345 theo tiêu chuẩn GB (Trung Quốc):

- Giới hạn bền kéo: 470 ÷ 630 MPa;
- Giới hạn chảy: 345 MPa;
- Độ giãn dài tương đối: 21%
- Bề dày: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30, 40 ...

Xác định bề dày tấm mặt bàn máy theo điều kiện bền cắt tại vị trí mối ghép bu lông – đai ốc. Giả thiết rằng vùng áp suất nén trên bề mặt tấm thép phát triển theo hình côn với góc $\alpha \approx 30^\circ$, vòng tròn đỉnh công xuất phát từ đường kính vành đai ốc (Nguyễn Trọng Hiệp, 2006).

$$\delta \geq \frac{P}{\pi \cdot d_1 \cdot [\tau]} \quad (3)$$

Trong đó: δ – bề dày của tấm lắp ghép, m; P – tải trọng nén lên mặt tấm, N; d₁ – đường kính vòng đỉnh côn áp suất nén, m; $[\tau]$ – giới hạn bền cắt cho phép, N/m².

Ứng suất cắt cho phép (Nguyễn Đình Đức và Đào Như Mai, 2011):

$$[\tau] = \frac{[\sigma_k]}{\sqrt{3}} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{3} \cdot n} \quad (4)$$

Trong đó: $[\tau]$ – ứng suất cắt cho phép, N/m²; $[\sigma_k]$ – ứng suất kéo cho phép, N/m²; σ_c – giới hạn chảy của vật liệu, N/m²; n – hệ số an toàn.

- Chọn hệ số an toàn: n = 2,5;
 - Giới hạn chảy của vật liệu: $\sigma_c = 345$ MPa
- Thay vào (4) thu được:

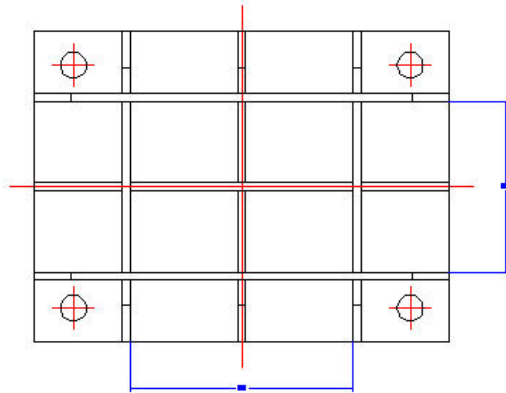
$$[\tau] = \frac{\sigma_c}{\sqrt{3} \cdot n} = \frac{345 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 2,5} = 80,23MPa$$

Bề dày của tấm bàn máy:

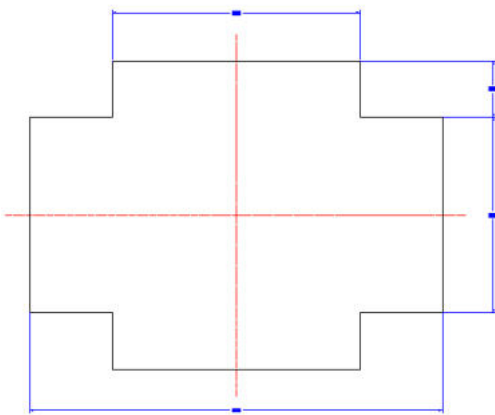
$$\delta \geq \frac{P}{\pi \cdot d_1 \cdot [\tau]} = \frac{200 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,09 \cdot 80,23 \cdot 10^6} = 0,009m$$

Để quá trình hàn đơn giản, hạn chế biến dạng cong vênh khi hàn tấm và định vị mỗi ghép cột trụ chọn bề dày tấm thép $\delta = 30$ mm (theo kinh nghiệm). Kết quả này cũng phù hợp với quan điểm tính theo điều kiện bền dập của mỗi ghép cố định, chịu tải tĩnh. Với thép chưa tôi cứng bề mặt ứng suất dập $[\sigma_d] = 100$ MPa (Nguyễn Trọng Hiệp, Nguyễn Văn Lắm, 2001).

Chọn vách tăng cứng có bề dày 16 mm, chiều cao 150 mm, hàn hai phía với mặt dưới của bàn máy. Sơ đồ hàn gân tăng cứng như sau:

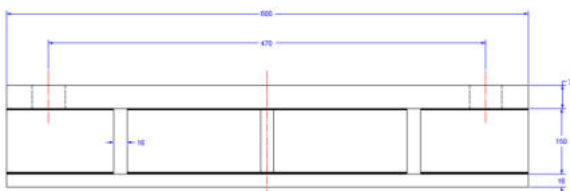


Hình 1 - Sơ đồ bố trí hàn vách tăng cứng
Chọn tấm để có bề dày 16 mm:

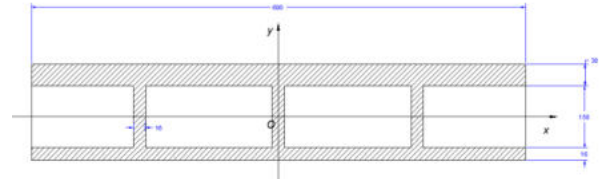


Hình 2 - Tấm đế bàn máy

Kết cấu mặt bàn máy ép sau khi hàn có dạng như sau:



Hình 3 - Mặt bàn máy ép



Hình 4 - Mặt cắt ngang bàn máy ép

Áp dụng các phép tính mô men tĩnh của tiết diện hình học (Nguyễn Đình Đức và Đào Như Mai, 2011):

$$S_x = \int_{\omega} y \cdot d\omega = \iint_{\omega} y \cdot dx \cdot dy = y_C \cdot \omega$$

$$S_y = \int_{\omega} x \cdot d\omega = \iint_{\omega} x \cdot dx \cdot dy = x_C \cdot \omega \quad (5)$$

Trong đó: S_x, S_y - lần lượt là mô men tĩnh của diện tích ω đối với trục Ox và trục Oy , m^3 ; x_C - hoành độ của trọng tâm C , m ; y_C - tung độ trọng tâm C , m ; ω - diện tích của hình phẳng, m^2 .

Khi hệ trục tọa độ đi qua trọng tâm hoặc trùng với trục đối xứng thì $S = 0$.

Mô men tĩnh của tiết diện bàn máy (Hình 4):

$$S_x = \sum_{i=1}^5 S_{x_i} = 1620 + (-796,8) = 823,2 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 0$$

Tọa độ trọng tâm C của diện tích tiết diện bàn máy (Hình 4):

$$x_C = 0$$

$$y_C = \frac{S_x}{\omega} = \frac{823,2}{180 + 72 + 96} = 2,365 \text{ cm}$$

Áp dụng các phép tính mô men quán tính của tiết diện hình học (Nguyễn Đình Đức và Đào Như Mai, 2011):

$$J_x = \int_{\omega} y^2 \cdot d\omega = \iint_{\omega} y^2 \cdot dx \cdot dy = J_{C_y} + y_C^2 \cdot \omega$$

$$J_y = \int_{\omega} x^2 \cdot d\omega = \iint_{\omega} x^2 \cdot dx \cdot dy = J_{C_x} + x_C^2 \cdot \omega \quad (6)$$

Trong đó: J_x, J_y - lần lượt là mô men quán tính của tiết diện đối với trục Ox và Oy , m^4 ; J_{C_x}, J_{C_y} - mô men quán tính đối với hệ trục vuông góc đi qua trọng tâm C , m^4 ; x_C - hoành độ của trọng tâm C , m ; y_C - tung độ trọng tâm C , m ; ω - diện tích của hình phẳng, m^2 .

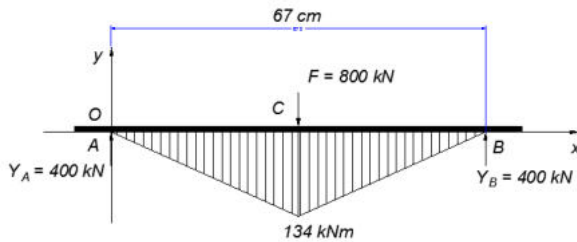
Mô men quán tính của tiết diện mặt bàn đối với trục Ox nằm ngang (Hình 4):

$$J_x = \int_{\omega} y^2 \cdot d\omega = \sum_{i=1}^5 \int_{\omega_i} y^2 \cdot d\omega = 22699 \text{ cm}^4$$

Mô men quán tính của tiết diện mặt bàn quy đổi về trục nằm ngang đi qua trọng tâm C của tiết diện:

$$J_{Cx} = J_x - y_c^2 \cdot \omega = 22699 - 2,36^2 \cdot 348 = 2076,77 \text{ cm}^4$$

Xét theo phương chịu lực bất lợi là phương có nhịp lớn. Giả thiết sơ đồ chịu lực đơn giản hoá và biểu đồ mô men uốn như sau:



Hình 5 - Sơ đồ xác định nội lực mô men uốn trên bàn máy

Ứng suất pháp trên mặt cắt tiết diện nguy hiểm nhất do nội lực mô men uốn gây ra (Nguyễn Đình Đức, Đào Như Mai, 2011):

$$\sigma = \frac{M_u}{J_{Cx}} \cdot y \quad (7)$$

Trong đó: σ - ứng suất pháp trên mặt cắt tiết diện, N/m^2 ; M_u - nội lực mô men uốn, N.m ; J_{Cx} - mô men quán tính đối với trục trung tâm của tiết diện, m^4 ; y - khoảng cách từ tiết diện trung hoà tới vị trí gây ứng suất pháp, m .

Ứng suất kéo lớn nhất tại mép dưới của dầm và ứng suất nén lớn nhất xuất hiện tại mép trên của dầm:

$$\sigma_{kmax} = \frac{M_{umax}}{J_{Cx}} \cdot y_{max} = \frac{134 \cdot 10^3}{2076,77 \cdot 10^{-8}} \cdot 10,665 \cdot 10^{-2} = 0,0688 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 = 68,8 \text{ MPa}$$

Hệ số an toàn tính toán:

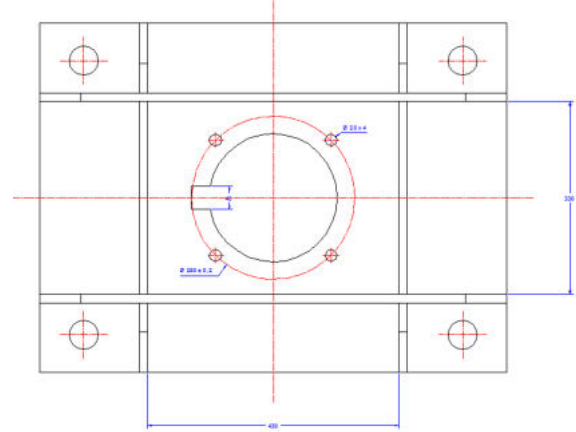
$$n_t = \frac{\sigma_c}{\sigma_{kmax}} = \frac{345}{68,8} = 5 > (2 \div 3)$$

Hệ số an toàn tương đối lớn, ta có thể giảm bề dày của tấm vách và tấm đế. Tuy nhiên để dễ dàng trong việc hàn lắp ghép, bề dày các tấm không nên chênh lệch nhau quá lớn. Mặt khác, với tấm đế chỉ hàn được quanh chu vi. Điều này cũng góp phần giảm khả năng chịu lực của kết cấu.

Tính toán kết cấu dầm ngang trên

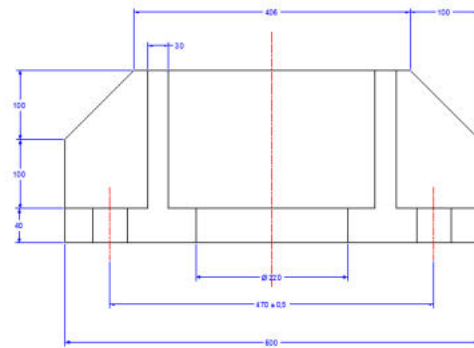
Dầm ngang trên có nhiệm vụ liên kết với trụ máy thành khung vững chắc và đỡ xy lanh. Để đảm bảo kết cấu vững chắc, xy lanh được treo trên dầm ngang trên, vai bích xy lanh tỳ vào mặt dưới của

dầm. Do đó, phải khoét lỗ hoặc dầm dạng khung. Chọn kết cấu dầm được tổ hợp từ tấm và gân tăng cứng có kết cấu như Hình 6:

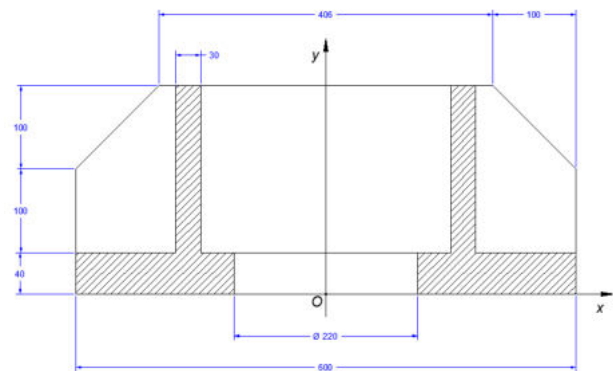


Hình 6 - Kết cấu dầm ngang trên

Do khoét lỗ đúng tâm (vị trí mặt cắt nguy hiểm) nên chọn bề dày tấm 40 mm, gân tăng cứng có bề dày 30 mm, chiều cao 200 mm (Hình 7). Khi tính toán chịu lực, ta xác định các thông số hình học và mô men quán tính tại tiết diện nguy hiểm, phần còn lại chỉ mang tính liên kết và góp phần tăng khả năng chịu lực. Tiết diện tính toán như Hình 8.



Hình 7 - Kết cấu dầm ngang trên máy ép



Hình 8 - Mặt cắt ngang dầm ngang trên máy ép

Mô men quán tính đối với trục Ox :

$$S'_x = 1984 \text{ cm}^3$$

Tung độ trọng tâm C_1 của miền diện tích mặt cắt dầm ngang trên của máy ép:

$$y'_{C_1} = \frac{S'_x}{\omega} = \frac{1984}{272} = 7,29 \text{ cm}$$

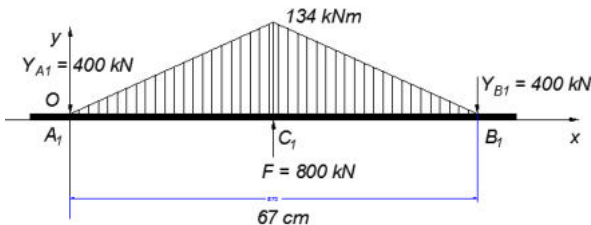
Mô men quán tính của tiết diện dầm ngang trên với trục Ox (Hình 8):

$$J'_x = \int_{\omega} y^2 \cdot d\omega = \sum_{j=1}^4 \int_{\omega_j} y^2 \cdot d\omega = 28330,667 \text{ cm}^4$$

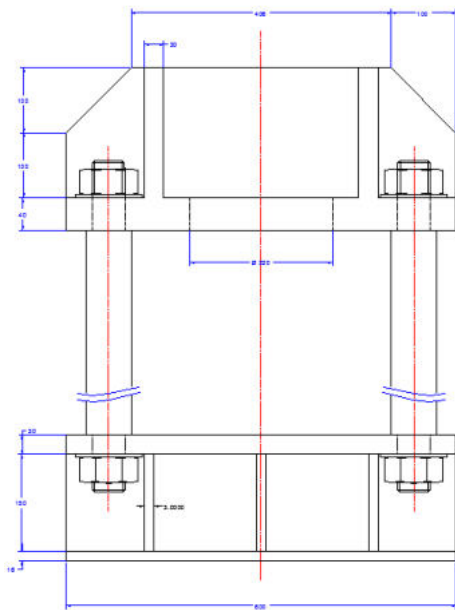
Mô men quán tính của tiết diện dầm ngang trên với trục nằm ngang qua trọng tâm C_1 :

$$J_{C_1x} = J_x - y_{C_1}^2 \cdot \omega = 28330,667 - 7,29^2 \cdot 272 = 13875,47 \text{ cm}^4$$

Giải thiết rằng phản lực trên vành bích xy lạnh phân bố đều và kết quả là cho lực tập trung tương đương đặt ở giữa. Sơ đồ xác định nội lực mô men uốn tại dầm ngang trên như sau:



Hình 9 – Sơ đồ xác định nội lực mô men uốn trên dầm ngang trên



Hình 10 – Kết cấu khung máy ép thủy lực 4 trụ, lực ép 80 Tấn

Ứng suất kéo lớn nhất xuất hiện trên mép trên của tiết diện nguy hiểm:

$$\sigma'_{kmax} = \frac{M'_{umax}}{J_{C_1x}} \cdot y'_{max} = \frac{134 \cdot 10^3}{13875,47 \cdot 10^{-8}} \cdot 12,71 \cdot 10^{-2} = 0,12274 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 = 122,74 \text{ MPa}$$

Hệ số an toàn tính toán:

$$n'_t = \frac{\sigma_c}{\sigma'_{kmax}} = \frac{345}{122,74} = 2,81$$

Kết cấu đảm bảo an toàn và có hệ số an toàn nhỏ nhất là 2,5.

3. Kết quả mô phỏng và kiểm tra ứng suất, chuyển vị của kết cấu khung máy ép 4 trụ, lực ép 80 Tấn

Sử dụng phần mềm Inventor xây dựng mô hình 3D máy ép thủy lực 4 trụ, lực ép thiết kế 80 Tấn với thông số được xác định trong phần tính toán thiết kế nêu trên.

Bảng 1. Thông số mô hình

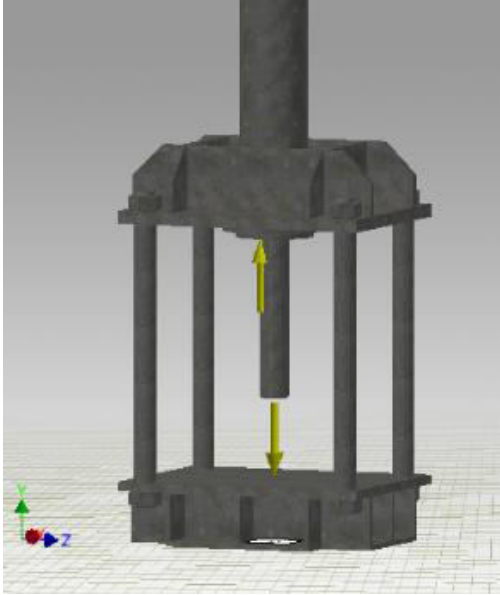
Khối lượng	1089 kg
Diện tích bề mặt	6894590 mm ²
Thể tích	138689000 mm ³
Số phần tử lưới	29705
Số nút	53746

Bảng 2. Khai báo vật liệu

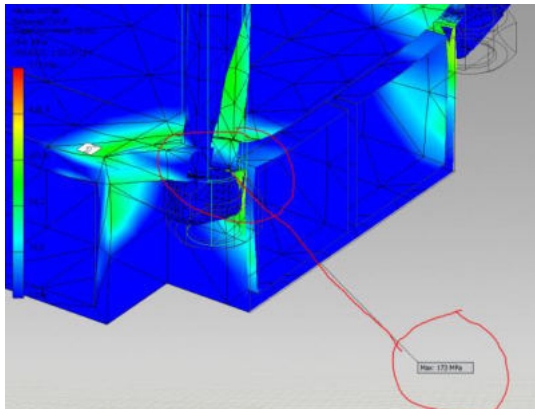
Vật liệu	Q345
Giới hạn bền kéo	600 MPa
Giới hạn chảy	345 MPa
Ứng suất cắt	80 MPa
Độ thắt tương đối	30%
Khối lượng riêng	7850 kg/m ³
Mô đun đàn hồi	210 GPa

Biến dạng chuyển vị của khung máy được đánh giá theo chỉ tiêu bóp méo cực đại, ten xo ứng suất dựa theo thuyết bền thứ nhất (ứng suất Von Mises) – chỉ tiêu ứng suất được sử dụng phổ biến trong mô phỏng phân tích kết cấu CAE. Kết quả mô phỏng kiểm tra ứng suất, hệ số an toàn và biến dạng của khung máy cho thấy: ứng suất nén có giá trị lớn nhất đạt 173 MPa tại vị trí mối ghép đai ốc và đầu cột trụ và cũng tại vị trí này hệ số an toàn đạt giá trị nhỏ nhất, các vị trí còn lại hệ số an toàn trung bình đạt 3,5. Cá biệt, có những vị trí hệ số an toàn đạt 8. Kết quả phân tích chuyển vị của kết cấu khung máy

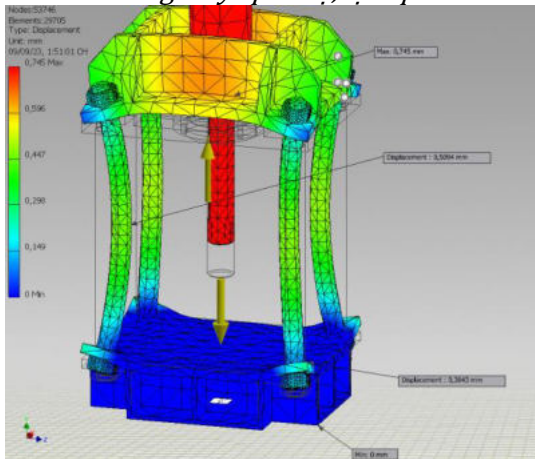
có thấy vị trí có chuyển vị lớn nhất tại chính giữa dầm ngang trên với giá trị chuyển vị đạt 0,745 mm.



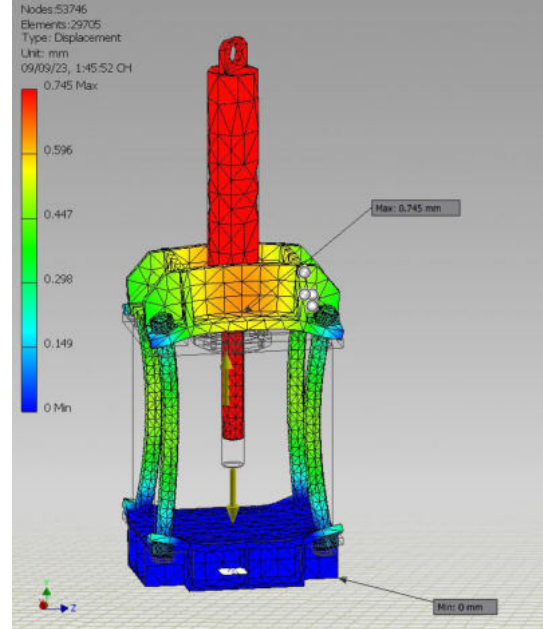
Hình 11 - Mô hình kết cấu máy ép 4 trụ, lực ép 80 Tấn



Hình 12 - Vị trí xuất hiện ứng suất nén lớn nhất trên khung máy ép 4 trụ, lực ép 80 Tấn



Hình 13 - Biến dạng chuyển vị của các bộ phận trên khung máy ép 4 trụ, lực ép 80 Tấn



Hình 14 - Vị trí có biến dạng chuyển vị lớn nhất trên khung máy ép 4 trụ, lực ép 80 Tấn

4. Thảo luận

Kết quả phân tích mô phỏng và kết quả tính toán lý thuyết có nhiều điểm thống nhất với nhau. Phần tính toán lý thuyết đã khẳng định để đơn giản và thuận tiện trong gia công chế tạo tấm mặt bàn được chọn với bề dày như nhau từ ngoài vào tới bên trong. Do vậy, khu vực chính giữa bàn có ứng suất nén nhỏ nhất (khu vực màu xanh trên các Hình 12, 13 và 14). Mặt cắt chính giữa dầm ngang trên là khu vực nguy hiểm, mép trên của gân tăng cứng là nơi có ứng suất lớn nhất điều này đã được khẳng định trong mô hình tính toán lý thuyết và kết quả mô phỏng cho thấy khu vực ứng suất kéo với cường độ lớn có màu cam cũng tập trung ở giữa dầm ngang trên (Hình 13 và Hình 14).

Tuy nhiên, kết quả phân tích mô phỏng cũng cho thấy kết cấu bàn máy còn dư thừa về về vật liệu. Ứng suất nén xuất hiện gần như trên toàn bộ mặt bàn và mang giá trị nhỏ. Điều này đã được giải thích ở phần tính toán lý thuyết, trên thực tế các vách tăng cứng chỉ được hàn một phía (hàn liên kết với mặt bàn), tấm đế chỉ được hàn xung quanh điều này làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu. Nhưng

phần mềm lại mặc định là toàn bộ thể tích thân máy là vật liệu liền khối và đồng nhất.

Ngoài những lực trên lý thuyết các chi tiết đang chịu những lực uốn do sự chuyển vị của các chi tiết. Từ kết quả mô phỏng chuyển vị (Hình 13) và ứng suất (Hình 12) có thể cải tiến thiết kế nhằm nâng cao chất lượng máy cũng như giảm giá thành, tăng tuổi thọ bằng các phương pháp sau:

- Dàn đều ứng suất: Thay vì để ứng suất tập trung tại các vị trí như vùng liên kết giữa dầm khung máy và trụ cột của máy ép, bao gồm cả gân tăng cứng ở các vị trí lân cận (Hình 12), có thể khảo sát và tăng bền tại các vị trí này bằng cách tăng hoặc thậm chí giảm bớt bề dày tấm hoặc gân tăng cứng đến một giá trị phù hợp nhằm dàn đều ứng suất, giảm sự tập trung ứng suất bởi phương pháp mô phỏng tối ưu (*analysis parametric dimensions*).
- Tối ưu lại khối lượng của máy ở chu kỳ vòng lặp tính toán thiết kế tiếp theo bằng công cụ thiết kế (ví dụ: Shape Generator) sau khi thay đổi kích thước tại một số vị trí tại bước thiết kế tham số, mô phỏng tối ưu.

5. Kết luận

Khung máy ép thủy lực 4 trụ là một kết cấu tương đối đơn giản so với khung máy ép chữ C hoặc khung máy dạng hình hộp. Mô hình tính toán lý thuyết của khung máy khá gần với thực tế. Căn cứ theo kết quả tính toán lý thuyết và mô phỏng kiểm tra biến dạng chuyển vị, ứng suất trong kết cấu khung máy dưới sự trợ giúp của công cụ máy tính cho thấy có nhiều điểm trùng hợp, thống nhất. Kết quả tính toán lý thuyết có độ tin cậy cao, có thể vận dụng trong thực tế.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi mới dừng lại ở việc mô phỏng kiểm tra ứng suất, chuyển vị và hệ số an toàn của khung máy. Việc tối ưu các vị trí dư vật liệu được thực hiện trong thời gian tới.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin được gửi lời cảm ơn tới Ban tổ chức Hội nghị Cơ học toàn quốc về Cơ khí – Điện – Tự động hoá đã tạo điều kiện cũng như đồng viên, tạo nguồn lực giúp nhóm nghiên cứu thực hiện công trình nghiên cứu này. Đồng thời, xin trân thành cảm ơn Ban biên tập và Tập thể phản biện đã

đóng góp ý kiến quý báu giúp chúng tôi hoàn thiện bài báo này.

Đóng góp của các tác giả

Nguyễn Sơn Tùng đã nghiên cứu các tài liệu về tính toán thiết kế máy ép thủy lực và xây dựng ý tưởng cũng như thực hiện tính toán thiết kế lý thuyết. Ngô Văn Tú chịu trách nhiệm xây dựng kịch bản mô phỏng và hướng dẫn Nguyễn Thanh Tuấn thực hiện mô phỏng kết cấu khung máy trong môi trường Inventor của phần mềm Autodesk. Đồng thời, Ngô Văn Tú chịu trách nhiệm đọc và kiểm soát lỗi bản thảo.

Tài liệu tham khảo

Bài báo đăng trên tạp chí

- Asim M. Kamate, J.S. Bagi, (2016). Design, Development and Analysis of a 20 Ton Hydraulic Press. *International Journal of Innovative Technology and Research (IJITR)*, January, 2016, India. Volume 4, Issue 1.
- Ganesh M Mudennavar, Giressha Chalageri Prashant A Patil, (2018). Design and Analysis of 12 Ton Hydraulic Press Machine. *International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR)*, August, 2018, India.
- Krishna Kr. Verma, M. S. Pardhmi, (2018). A Review on Hydraulic Press Design and Its Optimization. *International Journal for Research Publication & Seminar (IJRPS)*, January - March, 2018, India.
- Santoshkumar S. Malipatil, Yogita N. Potdar, A. C. Mattikalli, (2014). Analysis and Structure Optimization of 5 Ton H - Frame Hydraulic Press. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET)*, July, 2014. Volume 1, Issue 5.
- Umesh S. Badakundri, Santosh Kullur, A. A. Kulkarni, (2013). Finite Element Analysis of Hydraulic Press Machine. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering (IJRMEE)*, ISSN 2349-7947, Volume 2, Issue 5, page: 18 - 24.
- Luận văn Thạc sĩ, Luận án Tiến sĩ
- Mohamad M. Saleh, (1992). *Design Study of a Heavy Duty Hydraulic Machine Using Finite Element Techniques*. Doctor of Philosophy Thesis, The

School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Damascus University, Syria.
Giáo trình
Nguyễn Đình Đức và Đào Như Mai, (2011). *Sức bền vật liệu và Kết cấu*. Nhà xuất bản KHKT.

Nguyễn Trọng Hiệp, Nguyễn Văn Lãm, (2001). *Thiết kế chi tiết máy*. Nhà xuất bản Giáo dục.
Nguyễn Trọng Hiệp, (2006). *Giáo trình Chi tiết máy – Tập 1*. Nhà xuất bản Giáo dục.

USING LUGRE FRICTION MODEL TO SIMULATE THE DYNAMIC MOTION OF HYDRAULIC CYLINDERS

Son Tung Nguyen^{*1}, Thuy Thi Pham¹, Minh Hoang Bui¹
¹Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

ABSTRACT

Hydraulic cylinders are widely used in industry. Simply, hydraulic equipment is used as hydraulic jack or lifting machine. For more complex systems, hydraulic cylinders are equipped on machinery, mining machines or rudder control system, hydraulic governors, aerospace and autonomous vehicles. Friction force strongly affects to dynamic motion control. In some cases, friction force may cause control errors or poor performance. Therefore, friction can not be ignored. Researchers have paid a lot of effort to deal with dynamic motion of hydraulic cylinder for 100 years. All researchers tried to illustrate the behavior of friction by mathematical model. Classical friction model is based on Coulomb friction. This model has been used for a long time. However, Coulomb friction couldn't fully capture the behavior of friction. Several efficient friction models such as steady – state friction model, Stribeck friction, LuGre friction model or Dahl model, Modified LuGre friction model. The researchers always try to complete the previous models. Using the more complex model for control system the better performance of cylinder is. In contrast, the full and complex mathematical friction models are so difficult to solve. Besides, experiments also show that each model is only adequate to several application. LuGre friction model has been widely used for modeling and predicting of dynamic motion of hydraulic cylinders. This paper represents the use of LuGre friction model to predict the performance of a hydraulic cylinder operating as a piston pump. The experiment is carried out by 70 mm bore, 30 mm diameter of rod, 300 mm length of stroke hydraulic cylinder. The cylinder is placed bottom up. Piston compresses and pushes hydraulic liquid by gravity. The motion behavior of piston then will be compared to experimental result to ensure the accuracy of LuGre model.

Keywords: LuGre friction model, friction model, dynamic motion, Matlab, predictive motion, mathematical friction model

1. Introduction

Hydraulic cylinders have been widely used in industry. For simple applications, hydraulic cylinder is used like a jack equipment or a lifting machine. Hydraulic cylinders also play an important role on mining machines, construction machines or machine tools, etc. Nowadays, hydraulic cylinders are widely used across vehicles and industrial applications such as rudder steering, flap control, autonomous

vehicles, hydraulic governor system, robotic arms, CNC machines, etc. For high quality of control, friction force may cause of errors or poor performance of the system. It is evident that friction force can not be ignored. Friction always present in hydraulic cylinders and mechanism. It significantly affects the performance of the system. However, friction is a critical problem. Although friction has been studied from 16th century, researchers have focused at friction in

hydraulic cylinders or pneumatic cylinders for 100 years (Yanada et al., 2014; Nguyen, 2021). Mathematical models is used to describe the characteristics of friction which represents the influence of normal force, deformation and speed of motion, etc. One of the well-known models are steady - state model, LuGre friction model, Modified LuGre friction model or Stribeck curve. LuGre friction model is the widest used for modeling the performance of hydraulic cylinders and predicting the dynamic motion of the system. Because LuGre model can simulate important nonlinear phenomena such as stiction, Stribeck effect, pre-sliding displacement and frictional lag (Ahmad et al., 2022; Tran, 2019). Nevertheless, LuGre model can not simulate well the dynamic behaviors of a hydraulic cylinder in the sliding regime (Yanada et al., 2014; Tran et al., 2014). This paper briefly presents the use of LuGre friction model for simulating the performance of hydraulic cylinder which counters a constant load. Matlab/Simulink is used to simulate the performance of cylinder to get predicted result of dynamic motion. Then the results will be compared to the experiment to ensure that the mathematical model is accurate enough. The paper is divided into 5 sections. The introduction recapitulates the hydraulic cylinder application and friction. The second section briefly illustrates the LuGre friction model and hydraulic dynamic model which includes friction force, compressible of hydraulic fluid. Those models are used to simulate by using Matlab/Simulink software. The simulink block diagram and the result of simulation are represented in section 3. The section 4 briefly depicts the experiment of a hydraulic cylinder which works as a displacement piston pump. The piston is pulled by gravity of steel plates. The counter MC-964 is used to measure the average velocity. The result of experiment is showed in section 4. Finally, the comparison between simulation results and experiment as a strong proof to propose LuGre friction model for predicting accurately the hydraulic cylinder's behaviors.

2. LuGre friction model, mathematical friction model of hydraulic cylinders

2.1. LuGre friction model

For hydraulic cylinders, friction force is critical problems. Friction force is result of normal force between moving parts and stationary parts which is known as Coulomb friction. Firstly, the assembly dimensions causes of primary deformation of sealant parts. Therefore, seal rings apply normal forces to cylinder bore and piston rod (*called F_1*). So, F_1 friction force is influenced by mechanical wear. F_1 nearly is constant. Therefore, it's considered as static friction. Then, high pressure leads to secondary deformation of sealant parts. Consequently, it is necessary to add friction force F_2 . Different from static friction force, F_2 is strongly influenced by pressure and moving speed, elastic. The higher pressure is, the greater deformation is, the greater value of F_2 . It is evident that the pressure in the cylinder chambers is not a constant value. In additions, there is hydraulic oil film between the seal ring - cylinder bore, seal ring - piston rod and guiding rings - cylinder bore, piston rod. Shear stress and viscosity of the hydraulic oil issues dynamic viscosity friction (Yanada, et al., 2014). Dynamic friction behavior is confusing and complex. There are several well-known models to describe friction behavior. However, it is very difficult to depict fully friction behavior. LuGre model was proposed by Canudas de Wit and his partners in 1995 (Nguyen, 2021; Ahmad et al., 2022). Canudas de Wit et al. combined Dahl model and Stribeck effect, Coulomb friction, also elastic bristles to simulate friction behavior.

It is assumed that two matting surfaces contact at several asperities through elastic bristles as shown in Figure 1. When a tangential force is applied to a surface, the bristles will deflect like springs; and when the force is sufficiently large, some of the bristles will break and then slip. The mean deflection of the elastic bristle is denoted as z and is defined as (Tran et al., 2019):

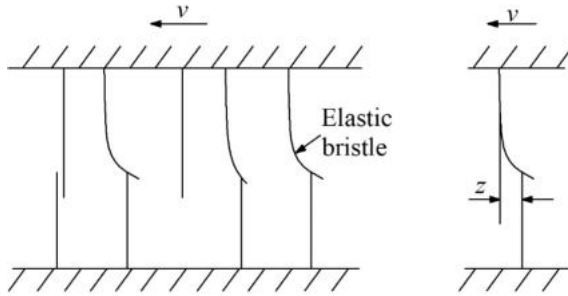


Figure 1 - Elastic bristles model (Tran et al., 2019)

$$\frac{dz}{dt} = v - \frac{\sigma_0 z}{g(v)} v \quad (1)$$

Where: σ_0 is the stiffness of the elastic bristle, N/m; z is the deflection of the elastic bristles, m; v is the velocity, m/s; t is time, s; $g(v)$ is the Stribeck function, N. $g(v)$ is defined as:

$$g(v) = F_c + (F_s - F_c) e^{-(v/v_s)^n} \quad (2)$$

Where: F_c is Coulomb friction force, N; F_s is maximum static friction force, N; v_s is the Stribeck velocity, m/s; n is an appropriate exponent; v is the velocity, m/s.

The dynamic behavior of friction is depicted as Figure 2:

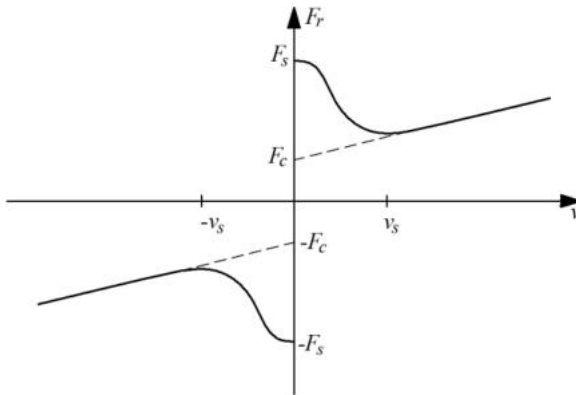


Figure 2 - Steady-state friction model (Tran et al., 2019)

The friction force is given by:

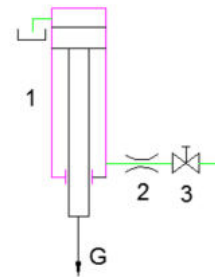
$$F_r = \sigma_0 z + \sigma_1 \frac{dz}{dt} + \sigma_2 v \quad (3)$$

Where: σ_0 is the stiffness of the elastic bristle, N/m; σ_1 is micro-viscous friction coefficient, N×s/m; σ_2 is the viscous friction coefficient, N×s/m; z is the deflection of the elastic bristles, m; t is the time, s; v is the velocity, m/s.

2.2. Mathematical friction model of hydraulic cylinders

In this study, LuGre friction model is chosen for simulating the dynamic motion of hydraulic cylinders. The mathematical model is based on LuGre friction model which is defined in section 2.1.

The cylinder bore $D = 70$ mm, the diameter of piston rod $d = 30$ mm, two piston seal rings are labeled USH 60 - 70 - 6 (NOK corporation, Japan), two rod seal rings are labeled USH 30 - 40 - 6 and one dust wiper ring is labeled LBH 30 - 40 - 8. The cylinder is mounted at the top of a frame, the piston chamber is upside. The piston chamber is vented. Therefore, the pressure p_1 in the piston chamber is always atmospheric. A constant load is apply to piston rod end by holding square steel plates. Figure 3 briefly illustrates it's schematic diagram. The motion of piston is caused by gravity (positive *action*) and back pressure of oil in rod end chamber (*negative action*). The piston rod chamber is filled with hydraulic oil (*viscosity 46 cSt*). By weight of load and piston - rod weight (*tare weight*) the pressure in piston rod chamber p_2 raises up. So, the hydraulic oil can flow through a throttling valve to the tank. The bottom up cylinder operates as a displacement pump (Figure 4).



1 - Hydraulic cylinder, 2 - Throttling valve, 3 - Ball valve

Figure 3 - Schematic diagram of source cylinder



Figure 4 – A bottom up hydraulic cylinder plays as a displacement pump (source cylinder)

$$G_0 + G - F_{ms} - p_2 \cdot A_2 = (m_0 + m) \cdot a \quad (4)$$

Where: G_0 is the tare weight of piston and piston rod, N; G is the total weight of steel plates, N; F_{ms} is the friction force, N; p_2 is the liquid pressure in rod chamber, Pa; A_2 is the cross section of rod chamber, m^2 ; m_0 is the tare mass of piston and rod, kg; m is the total mass of steel plates, kg; a is the acceleration of piston, m/s^2 .

The flow rate Q supplied by hydraulic fluid source. Q is defined by two equations below. The first equation represents the relationship between the flow rate Q and the movement of piston when hydraulic fluid is considered as compressible liquid. The other shows the flow rate goes through an orifice.

$$A_2 \cdot v - Q = \frac{V}{E} \cdot \frac{dp_2}{dt} \quad (5)$$

Where: A_2 is the cross section of rod chamber m^2 ; v is the velocity of piston motion m/s ; Q is the flow rate of hydraulic fluid, m^3/s ; V is volume of the hydraulic fluid in the rod chamber, m^3 ; E is the bulk module of hydraulic fluid, Pa; p_2 is liquid pressure in the rod chamber, Pa; t is the running time, s.

The flow rate of fluid:

$$Q = C_v \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (6)$$

Where: Q is the flow rate of hydraulic fluid, m^3/s ; C_v is the discharge coefficient; A is the cross section m^2 ; Δp is the differential pressure

between up stream and down stream, Pa; ρ is the density of hydraulic fluid, kg/m^3 .

However, for the flow returns to the tank ($p_T \approx 0$), the friction loss of the downstream line and the throttling valve is considered as C . The flow seems to be the function of upstream pressure. The simplified formulation as below:

$$Q = C \cdot \sqrt{p_2} \quad (7)$$

Where: Q is the flow rate of hydraulic fluid, m^3/s ; C is the equivalent discharge coefficient; p_2 is the upstream pressure (it is also rod chamber pressure), Pa.

3. Predictive dynamic motion of piston

Matlab is an useful software for researchers and engineers to model and simulate the machinery, dynamic motion and behavior. Matlab helps researchers and engineers to analyse the system behavior by using virtual models. Therefore, the time consumption is reduced as well as the cost is lower. As mentioned, Matlab is chosen as a dedicated tool to model the dynamic motion of piston. The result of modeling as predictive behavior. Figure 5 shows the block diagram model of hydraulic cylinder plays as a displacement pump which supplies a stability flow of hydraulic oil to hydraulic system.

All parameters of mathematical friction model is showed by Table 1.

Table 1: Model parameters

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
F_s (N)	180	0	5×10^6	A_2 (m^2)	31.416×10^{-4}
F_c (N)	56	1	0.1	m (kg)	82
v_s (m/s)	0.0 125	2	30	m_0 (kg)	3
n	0.0 5	E (Pa)	10^8	V_0 (m^3)	628.32×10^{-6}
		C	0.337×10^{-6}		

Note: Regarding the drawback of Matlab language, those number 0, 1 and 2 denote the σ_0 , σ_1 and σ_2 respectively. C is defined by experiment.

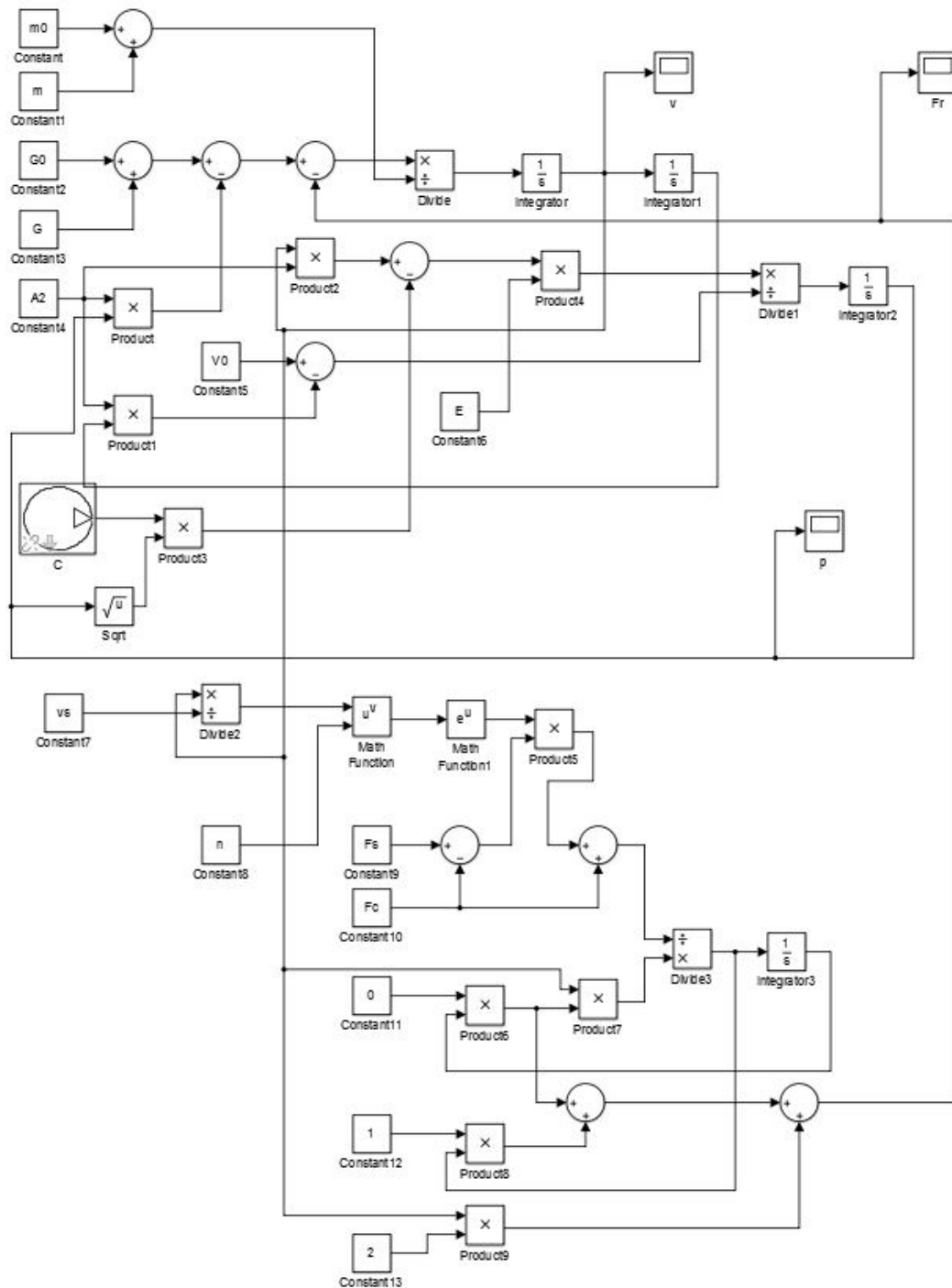


Figure 5 - Matlab block diagram of friction model

The acceleration curve and velocity curve above represent the predictive motion of piston. Firstly, piston begins to move by gravity

of load. The motion is caused by the difference between gravity and friction. Currently, the pressure in the rod chamber hasn't been built up

yet. The character of friction in pre-sliding phase strongly influences to the motion. Therefore, the acceleration has a positive value and the velocity rises quickly. Then the acceleration starts to go down to negative value because of the higher back pressure. The greater velocity is, the greater flow rate is. The equation 6 shows that the drop pressure is proportion to the flow rate flows through the throttling valve. That means the back pressure is built up (equation 7). Back

pressure acts like a brake. Consequently, the velocity can not keep going up. Finally, the velocity almost doesn't change when the gravity balance to friction and counter force (*back pressure*). The Figure 6 depicts the fluctuation of acceleration curve, the amplitude of oscillation is approximately 0.05 m/s^2 . The velocity curve seems to be plateau. The constant velocity is about 0.061 m/s (*Figure 7*).

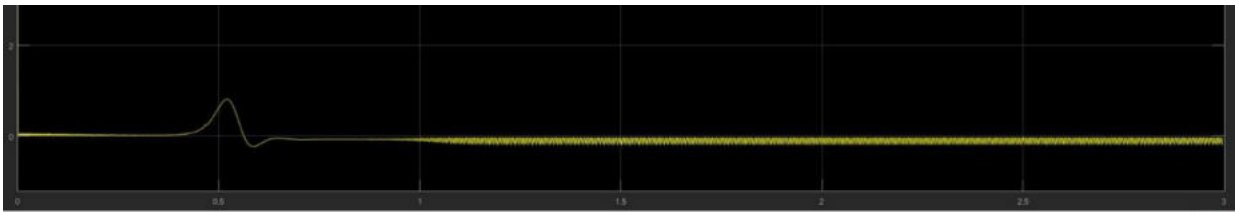


Figure 6 – The predictive acceleration curve



Figure 7 – The predictive velocity curve

4. Experiment

An experiment has been carried out to approve the simulation results. The cylinder is mentioned in section 2.2. To measure the velocity of piston, we used a Digital Multipurpose Counter MC-964 (*Figure 8*). For measuring the linear velocity, operator needs to select A to B mode. The average velocity is defined the

distance traveled per time. The distance traveled is distance between the two fiber transducer gates. When the indicator object reaches the first gate (*point A*) the time-counter is activated then it is stopped when the indicator object reaches the second gate (*point B*). These two gates are placed at 60 mm distance. The experiments are carried out at three positions. For each position,

the gates are consequently placed at beginning, the middle and the end of stroke. For each position, the experiment was carried out at least 5 times. The first gate was put 50 mm far from the upper dead point. The Figure 9 shows the real bottom up hydraulic cylinder operates as a piston pump and the principle working of fiber transducer gates is represented by figure 10. The obtained time consumption and average linear velocities are shown below (Table 2, Table 3 and Table 4).



Figure 8 – Digital counter MC-964



Figure 9 – The real hydraulic cylinder

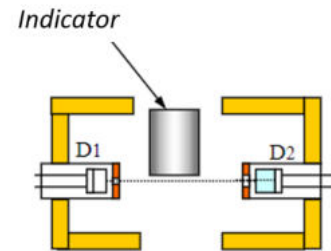


Figure 10 – Principle working of fiber transducer gate

Table 2: The beginning of stroke

Experiment	Time consumption, s	Velocity, mm/s
1	1.040	57.692
2	1.125	53.333
3	1.070	56.074
4	1.062	56.497
5	1.088	55.147

Table 3: The middle of the stroke

Experiment	Time consumption, s	Velocity, mm/s
1	0.982	61.100
2	0.963	62.305
3	0.975	61.538
4	0.946	63.425
5	0.955	62.827

Table 4: The end of stroke

Experiment	Time consumption, s	Velocity, mm/s
1	0.960	62.500
2	0.952	62.025
3	0.966	62.112
4	0.986	60.852
5	0.967	62.047

5. Conclusions

The three tables above show the obtained average velocities of each experiment. They are similar at all three positions. For the beginning of stroke the velocity is smallest. It can be illustrated by the appearance of static friction at early phase. At rest where the velocity is zero, the higher friction force is also called static friction (Figure 2). Both simulation results and experiment results show the average velocity

approximately 0,057 mm/s at the first stage of cylinder's stroke.

The experimental velocity is homogeneous to predictive velocity curve form. It is a proof to strongly approve the LuGre friction model to predict the hydraulic cylinder's behavior. LuGre friction model can represent almost features of dynamic friction of hydraulic cylinder. The result is consistent with previous studies of other researchers.

Acknowledgments

Behalf of authors, I would like to say thank to MEAE organization who encouraged us to research and complete this paper. I would like to pay gratitude to Mr. Thang who suggested to use hydraulic drives for smooth low pressure air flow. I also would like to thank the supervisors who have already read and checked our paper then gave us precious comment for completing this research.

Contributions of authors

The manuscript is written by Tung Son Nguyen. The experiment was take placed by both of three authors. Thuy Thi Pham has commented and edited the original manuscript and provided a precious reference. Minh Hoang Bui has commented and edited the original manuscript.

References

Ahmad Mashayekhi, Saeed Behbahani, Ali Nahvi, Mehdi Keshmiri and Mehdi Shakeri (2022),

Analytical Describing Function of LuGre Friction Model, International Journal of Intelligent Robotics and Applications. <https://doi.org/10.1007/s41315-021-00220-0>

Brian E. Suisse (2005), *Research for Dynamic Seal Friction Modeling in Linear Motion Hydraulic Piston Applications*, University of Texas

Nguyen Van Lai (2021), *Thesis of Using Friction Model Identification for Dynamic Modeling and controlling of pneumatic cylinders*, Hanoi University of Science and Technology

Tran Xuan Bo, Do Viet Long, Tran Khanh Duong (2014), *Mathematical Model of Friction in Pneumatic Cylinder*, Journal of Science and Technology

Xuan Bo Tran, Van Lai Nguyen, Khanh Duong Tran (2019), *Effects of Friction Models on Simulation Pneumatic Cylinder*, International Journal of Mechanical Sciences. <https://doi.org/10.5194/ms-10-517-2019>

Yanada Hideki, Khaing War Htun and Tran ,Xuan Bo (2014), *Effect of Friction Model on Simulation of Hydraulic Actuator*, The 3rd International Conference on Design Engineering and Science – ICDES 2014, Pilsen Czech. <http://doi.org/10.1177/0959651814539476>

POSITION CONTROL FOR A RODLESS PNEUMATIC CYLINDER WITH FOUR ON – OFF VALVES

Lai Nguyen Van ^{1,*}, Son Tung Nguyen ², Kim Binh Doan ³

¹ Electromechanics faculty, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam, e-mail: nguyenvanlai@humg.edu.vn

² Electromechanics faculty, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam, e-mail: nguyensontung@humg.edu.vn

³ Electromechanics faculty, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam, e-mail: doankimbinh@humg.edu.vn

ABSTRACT

This paper examines the position control ability of a rodless pneumatic cylinder using on – off valves. A pneumatic system including a rodless pneumatic cylinder and 04 on – off valves is firstly proposed. The system is then modeled by dynamic equations with consideration of the valve characteristics and of friction in the

rodless pneumatic cylinder. Logic Control Method is applied to control the cylinder position. Effects of the external load and the transient times to the control ability of the Logic Control Method are considered. Simulation results show that the Logic Control Method gives good control performances under different operating conditions.

Keywords: Pneumatic Cylinder, Logic Control Method, On – off valves, Position control, High – precision control

1. Introduction

Pneumatic systems are widely applied in many industrial applications because they are cheap, lightweight, clean, easy to assemble and create a good force/weight ratio. However, it is very difficult to achieve high-precision position control using pneumatic cylinders due to the compressive properties of the air, the nonlinearity of the servo valve or proportional valve and nonlinear friction properties existing between the contact surfaces in the pneumatic cylinders (Nguyen Van Lai et al., 2019).

Electro-pneumatic control valves are used as interfaces to electronic controls to allow the infinitely variable electrical remote adjustment of fluid flow of the valve output driving a pneumatic actuator. There are two types of electro-pneumatic valves used in the realizing control of fluid flow of the pneumatic actuator. These are servovalves and on-off valves (Elif Erzan Topcu et al., 2006).

The servovalves are used to achieve high linear control accuracy in pneumatic actuators, but they have complex structures and they are very costly. On the other hand, owing to low cost, high flow rate gain, small size and simple structure, the fast-switching on-off valves that are used to control the pneumatic actuators have received considerable attention (Robert B. V. et al., 1997, Angelo Gentile et al., 2002). They are also known (Belforte G. et al., 2004), (Massimo Sorli and Stefano Pastorelli, 2000) as digital valves. The on-off switching valves are inherently nonlinear discrete electro-pneumatic converters. To obtain similar linear characteristics of the servovalves with simple on-off switching valves, pulse width modulation technique is used. To reach a large modulated linear area, the valve switching times must be very rapid during the short cycle time. The

limits of the modulation depend on the valve switching times and the modulation frequency. Solving this problem allows pneumatics to conquer new areas applications, successfully competing with hydraulics and electromechanics. So the solution is, in particular, pneumatic positioning systems rodless pneumatic cylinder using discrete valves (Fig. 1). It consists of the following parts:

- Rodless pneumatic cylinder (made from special profiled pipe with an opening through the entire length of the sleeve. Through this opening the piston is directly connected to the outer carriage);
- Four on-off valves, of which two valves regulate the flow air in the cavity of the pneumatic cylinder, and the other two discharge air into atmosphere. All valves have the same nominal flow;
- A potentiometer which is used as feedback, with which measures the displacement of the pneumatic cylinder piston.

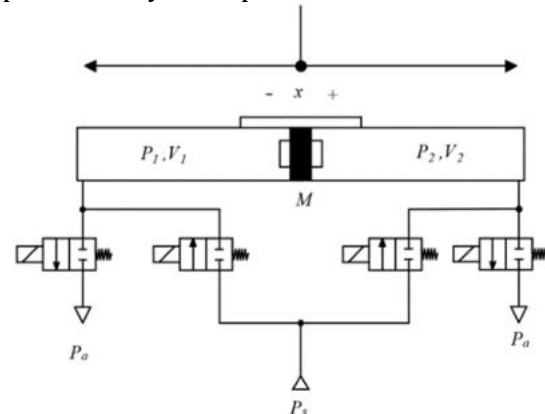


Figure 1. Pneumatic diagram of the position control system

2. Mathematical model of the pneumatic system

This section develops mathematical equations of the system. In order to obtain the air flow

dynamics in a cylinder, the following assumptions are used (Nguyen Van Lai et al., 2019):

- The used air is an ideal gas and its kinetic energy is negligible in the chamber.
- The leakages of the cylinder are negligible.
- The temperature variation in cylinder chambers is negligible with respect to the supply temperature.
- The pressure and the temperature in the cylinder chamber are homogeneous.
- The evolution of the gas in each chamber is polytropic.
- The supply and exhaust pressures are constant.

The equation of motion of the piston of a rodless pneumatic cylinder has the form:

$$M\ddot{x} + \beta\dot{x} + F_{fr} = (p_1 - p_2)S \quad (1)$$

In which: M – the total mass of the piston and payload, (kg); x – the displacement of the piston (m); \dot{x} – the position derivatives of a time/velocity of piston, (m/s); \ddot{x} – the acceleration of piston, (m/s²); β – the coefficient of viscous friction; p_1 and p_2 – the pressure in the chambers of pneumatic cylinder, (Pa); S – the cross-sectional area of the piston (m²); F_{fr} – the friction force (N).

For a gas volume V with a density ρ at a temperature T and pressure p , the equation of state for an ideal gas is:

$$p = \rho RT \quad (2)$$

In which: p – the absolute pressure of gas, (Pa); ρ – the density of gas at particular condition, (kg/m³); T – the temperature of gas, (K); R – the universal gas constant (J/(kg.K)).

Using the continuity equation, one can find an expression for the mass air flow:

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \dot{\rho}V + \rho\dot{V} \quad (3)$$

In which: \dot{m}_{in} , \dot{m}_{out} – the mass flows of air entering and exiting the chamber, respectively, (kg/s); $\dot{\rho}$ – the density derivatives of a time, (kg/(m³.s)); ρ – the density of gas at particular condition, (kg/m³); V – the volume of the control volume, (m³); \dot{V} – the volume derivatives of a time, (m³/s).

The law of conservation of energy can be written in the following form:

$$q_{in} - q_{out} = \dot{u} - \gamma C_v (\dot{m}_{in} T_{in} - \dot{m}_{out} T_{out}) + \dot{W} \quad (4)$$

In which: q_{in} and q_{out} – the amount of heat supplied from the environment and released into

the environment, (J); C_v – the specific heat capacity of the gas at constant volume, (J/(kg.k)); γ – the adiabatic index; $W = pV$ is work on account gas expansion (J); u – the change in internal energy (J); T_{in} and T_{out} – the temperature of air entering and exiting the chamber, respectively, (K); \dot{m}_{in} , \dot{m}_{out} – the mass flows of air entering and exiting the chamber, respectively, (kg/s).

On the other side, the change in internal energy is equal to the form:

$$\dot{u} = \frac{d}{dt}(C_v m T) = \frac{1}{\gamma - 1}(V\dot{p} + p\dot{V}) \quad (5)$$

In which: u – the change in internal energy derivatives of a time, (J/s); C_v – the specific heat capacity of the gas at constant volume, (J/(kg.k)); γ – the adiabatic index; m – the mass of the air, (kg); T – the temperature of gas, (K); V – the volume of the control volume, (m³); \dot{V} – the volume derivatives of a time, (m³/s).

The specific heat capacity of the gas at constant volume:

$$C_v = \frac{R}{\gamma - 1} \quad (6)$$

In which: C_v – the specific heat capacity of the gas at constant volume, (J/(kg.k)); R – the universal gas constant (J/(kg.K)); γ – the adiabatic index.

Joint consideration of equations (4) and (5) and taking into account the nature of the thermodynamic process we obtain:

$$\dot{p} = \frac{RT}{V} (\alpha_{in} \dot{m}_{in} - \alpha_{out} \dot{m}_{out}) - \alpha \frac{p\dot{V}}{V} \quad (7)$$

In which: α_{in} and α_{out} take a value from 1 to $\gamma = 1.4$ depending on the nature thermodynamic processes. Since the process of filling the cavity air is close to adiabatic, and the process of air outflow into the atmosphere is to isothermal, then α_{in} is taken equal to γ , and α_{out} equal to 1. Process gas compression/expansion due to piston movement is best described when $\alpha = 1, 2$.

If we assume that the zero carriage offset corresponds to the middle pneumatic cylinder, then the volumes of the cavities can be represented as:

$$V_i = V_{0i} + S(0.5L \pm x) \quad (8)$$

In which: $i = 1, 2$ - indices of the left and right chambers; V_{0i} - dead volumes at the ends pneumatic cylinder, (m³); L - the length of the pneumatic cylinder, (m); x - piston position/ the

displacement of the piston (m); S - the cross-sectional area of the piston (m²).

Eventually expression (7) will be written in the form:

$$\dot{p} = \frac{RT}{V_{0i} + S(0.5L \pm x)} (\gamma \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}) - \alpha \frac{pS}{V_{0i} + S(0.5L \pm x)} \dot{x} \quad (9)$$

In which: \dot{p} - the pressure derivatives of a time, (Pa/s); p - the pressure of the gas, (Pa); T - the temperature of gas, (K); R - the universal gas constant (J/(kg.K)); \dot{m}_{in} , \dot{m}_{out} - the mass flows of air entering and exiting the chamber, respectively, (kg/s); γ - the adiabatic index; V_{0i} - dead volumes at the ends pneumatic cylinder, (m³); L - the length of the pneumatic cylinder, (m); x - piston position/ the displacement of the piston (m) \dot{x} - the velocity of piston, (m/s); S - the cross-sectional area of the piston (m²).

Next, consider the expression for determining the mass air flow through a valve with a cross section A_v . Since the pressure difference across valves is quite large, the flow must be considered as compressible and turbulent. If the pressure ratio before and after the valve is greater critical, then the mass flow depends linearly on the pressure up to valves. Otherwise, the dependence is non-linear. Expression for mass air flow has the following form:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_v = C_f A_v C_1 \frac{p_u}{\sqrt{T}} \\ \text{if } \frac{p_d}{p_u} \leq \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \\ \dot{m}_v = C_f A_v C_1 \frac{p_u}{\sqrt{T}} \left(\frac{p_d}{p_u} \right)^{1/\gamma} \sqrt{1 - \left(\frac{p_d}{p_u} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}} \\ \text{if } \frac{p_d}{p_u} > \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \end{array} \right. \quad (10)$$

Where C_f is the dimensionless flow coefficient; p_u - pressure to the hole; p_d - pressure after the valve. Constant values C_1 and C_2 determined by expressions:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = \sqrt{\frac{\gamma}{R} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \\ C_2 = \sqrt{\frac{2\gamma}{R(\gamma-1)}} \end{array} \right. \quad (11)$$

Considering that for the process of filling the chamber $p_u = p_s$ và $p_d = p_b$ and for air release process $p_u = p_i$ và $p_d = p_a$ where p_s - pressure supply, p_a - atmospheric pressure, p_i - pressure in the cavities of the pneumatic cylinder, we can rewrite equation (9) in the form:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_{in} = C_f A_{in} \frac{p_s}{\sqrt{T}} \dot{m}_r(p_s, p_i) \\ \dot{m}_{out} = C_f A_{out} \frac{p_i}{\sqrt{T}} \dot{m}_r(p_i, p_a) \end{array} \right. \quad (12)$$

Where:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_r(p_u, p_d) = C_1 \text{ if } \frac{p_d}{p_u} \leq \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \\ \dot{m}_r = C_2 \left(\frac{p_d}{p_u} \right)^{1/\gamma} \sqrt{1 - \left(\frac{p_d}{p_u} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}} \\ \text{if } \frac{p_d}{p_u} > \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \end{array} \right. \quad (13)$$

Substituting these expressions into equation (9), we finally get:

$$\dot{p}_1 = \frac{C_f R \sqrt{T}}{V_{01} + S(0.5L + x)} [A - B] - \alpha \frac{p_1 S}{V_{01} + S(0.5L + x)} \dot{x} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} A &= \gamma p_s A_{in} u_{1in} \dot{m}_r(p_s, p_1) \\ B &= p_1 A_{out} u_{1out} \dot{m}_r(p_1, p_a) \end{aligned}$$

$$\dot{p}_2 = \frac{C_f R \sqrt{T}}{V_{02} + S(0.5L - x)} [C - D] - \alpha \frac{p_2 S}{V_{02} + S(0.5L - x)} \dot{x} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} C &= \gamma p_s A_{in} u_{2in} \dot{m}_r(p_s, p_2) \\ D &= p_2 A_{out} u_{2out} \dot{m}_r(p_2, p_a) \end{aligned}$$

In equations (14) and (15), four quantities were introduced $u_{1,2(in, out)}$ which are control actions and

can take values equal to 0 (corresponding to a closed valve) or 1 (corresponding to an open valve). When considering a system, valve dynamics are not taken into account.

The considered equations completely describe the behavior of the system position control of a rodless pneumatic cylinder.

3. Controlling algorithm

In the considered position control system based on the rodless pneumatic cylinder using control valves is required to provide speed about 1m/s and position accuracy $\varepsilon = 0.1\text{mm}$. Were considered two possible control logics: "passive" and "active", allowing implement sliding mode and provide the required speed and position control accuracy.

When equating $\sigma(x - x_0) = 0$ will take place the following passive control logic algorithm:

If $\sigma(x - x_0) > 0$ and $x - x_0 < -\varepsilon$, then $u_{1in} = u_{2out} = 1$ and $u_{2in} = u_{1out} = 0$. Thus, air enters the left chamber and is discharged from the right;

If $\sigma(x - x_0) > 0$ and $x - x_0 > +\varepsilon$ then $u_{1in} = u_{2out} = 0$ and $u_{2in} = u_{1out} = 1$. Thus, air enters the right chamber and is discharged from the left;

In all other cases $u_{1in} = u_{1out} = u_{2in} = u_{2out} = 1$.

The active control logic algorithm is as follows:

If $\sigma < -\varepsilon$, then $u_{1in} = u_{2out} = 1$ and $u_{2in} = u_{1out} = 0$. Thus, air enters the left chamber and is discharged from the right;

If $\sigma > +\varepsilon$, then $u_{1in} = u_{2out} = 0$ and $u_{2in} = u_{1out} = 1$. Thus, air enters the right chamber and is discharged from the left;

In all other cases $u_{1in} = u_{1out} = u_{2in} = u_{2out} = 1$.

Table 1: System parameters

Parameter (unit)	Value	Parameter (unit)	Value
M , (kg)	4; 8; 12	S , (m ²)	4.9×10^{-4}
p_a , (Pa)	1×10^5	A_v , (m ²)	7.1×10^{-5}
R , (J/(kgK))	287	L , (m)	0.3
T , (K)	295	V_{01} , (m ³)	4.9×10^{-7}
γ	1.4	V_{02} , (m ³)	4.9×10^{-7}

4. Results and discussion

To review the results of mathematical modeling of the pneumatic system, transient graphs were built and phase portraits of the position control process for various masses.

On Fig.2 shows transient graphs and phase portraits results of mathematical modeling of position control from position $x = 0$ m to position $x = 0.25$ m for three different masses. Controlling the system carried out with a resolution of 2 ms.

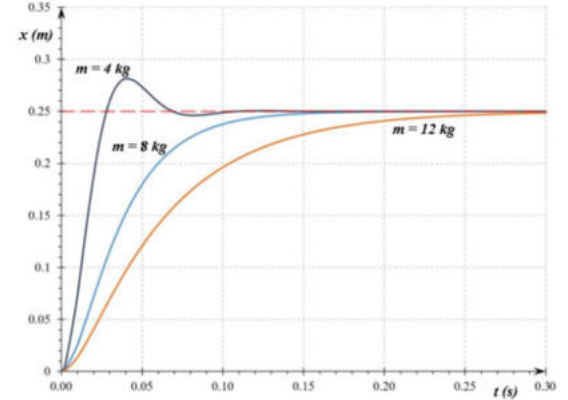


Figure 2. Position transients for different masses according to "passive" algorithm

As can be seen from the graphs of transient processes, despite the spread in mass, for all options, the position control error did not exceed 0.1 mm. In this case, the use of "passive" logic is more beneficial, since for "passive" logic is characterized by a shorter positioning time than with use of "active" logic. From Fig.2 and Fig.3 shows that the best result of all masses obtained at a nominal mass of 8 kg. Position control time at this mass was 0.15 s.

A similar indicator for "active" logic at the same nominal weight, as can be seen from Fig. 4 and 5 is 0.15 s. In addition, the application "passive" logic is more preferable than "active" logic in terms of valve actuation. So, with the same nominal weight of 8 kg each pneumatic system valve switched 46 times with "passive" logic and 175 times with "active" logic.

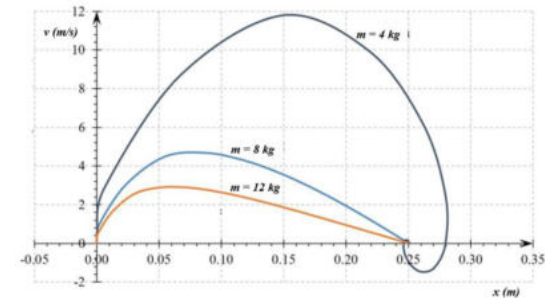


Figure 3. Phase portraits of the position control process for various masses according to the "passive" algorithm

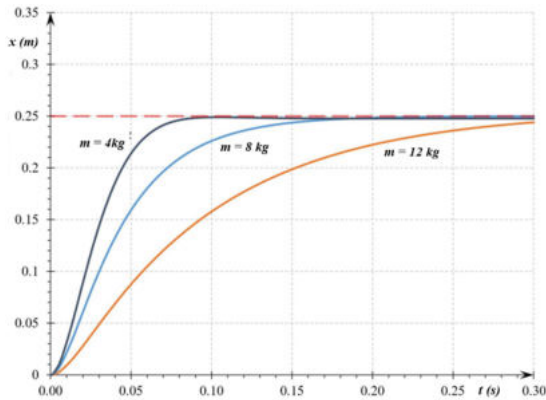


Figure 4. Position control transients for different masses according to "active" algorithm

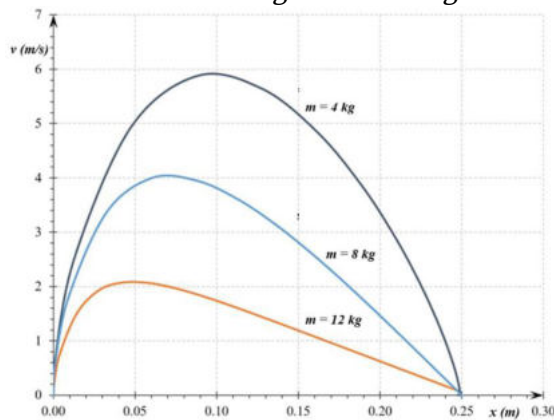


Figure 5. Phase portraits of the position control process for various masses according to the "active" algorithm

5. Conclusion

Position control of a pneumatic cylinder is a critical problems because of compressible of the air, friction. For using the servo valve or proportional valve, it is necessary to deal with nonlinearity, friction compensation. However, the results of simulation strongly shows that the high quality performances of the rodless pneumatic cylinder under various external load is achieved by applying logic control of on/off valve.

Logic Control Method can be used for accurate and robust position control of pneumatic cylinder. Especially, the passive logic control is proposed.

Acknowledgments

Behalf of authors, I would like to say thank to MEAE organization who encouraged us to research and complete this paper. I also would like to pay gratitude to supervisors who have already read and checked our paper then gave us precious comment for completing this research.

Contribution of authors

The manuscript is written by Son Tung Nguyen. The modeling and simulating is carried out by Lai Nguyen Van. Both of us have tried to collect the precious references. Kim Binh Doan has commented and edited the original manuscript.

References

- Angelo Gentile, Nicola Ivan Giannoccaro, Giulio Reina, (2002). Experimental tests on position control of a pneumatic actuator using on/off solenoid valves. *Industrial Technology, IEEE ICIT '02, vol. 1, Bangkok, Thailand, December 2002*
<http://doi.org/10.1109/ICIT.2002.1189959>
- Elif Erzan Topcu, Ibrahim Yuksel, Zeliha Kamis, (2006). Development of electro-pneumatic fast switching valve and investigation of its characteristics. *A journal of IFAC, the International Federation of Automatic Control*.
<https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2006.01.005>
- G. Belforte, Stefano Mauro, G. Mattiazzo, (2004). A method for increasing the dynamic performance of pneumatic servosystems with digital valves. *Department of Mechanics, Technical University, Torino, Italy*
<https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2004.06.006>
- Massimo Sorli, Stefano Pastorelli, (2000). Performance of a pneumatic force controlling servosystem: influence of valves conductance. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*
[http://doi.org/10.1016/S0921-8890\(99\)00093-7](http://doi.org/10.1016/S0921-8890(99)00093-7)
- Nguyen Van Lai, Tran Xuan Bo, Tran Khanh Duong, (2019). Sliding Mode Control for a Pneumatic Servo System with Friction Compensation. *Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2019*.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-37497-6_75
- Robert B.van Varseveld, Gary M.Bone, (1997). Accurate position control of a pneumatic actuator using on/off solenoid valves. *IEEE/ASME Trans Mech 1997*

