

THIẾT KẾ, ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN DỰ PHÒNG SIEMENS SIMATIC S7-300 SWR CHO KHÂU LỌC LÁ A11 PHÂN XƯỞNG KẾT TINH TẠI NHÀ MÁY ALUMIN NHÂN CƠ

*ThS. Nguyễn Quốc Tính, KS. Nguyễn Hùng Sơn, KS. Lê Văn Quyền
Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin*

Tóm tắt: Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam hiện đang có hai tổ hợp nhà máy nhôm bauxite Tân Rai và Nhân Cơ với dây chuyền sản xuất tương đối hiện đại, hầu hết đã được tự động hóa. Dưới áp lực về an toàn lao động và sản lượng nên các tổ hợp này luôn phải đòi hỏi độ sẵn sàng, ổn định cao của các khâu sản xuất, trong đó có hệ thống điều khiển (HTĐK). Tại khu vực A11, Phân xưởng Kết tinh, Nhà máy Alumin Nhân Cơ, cụm máy lọc lá đang được vận hành từ một tủ điều khiển A-11PLC0001 với nhiều bất cập. Các sự cố trong thời gian qua liên quan đến HTĐK dẫn đến dừng cụm máy lọc, gây ảnh hưởng đến hoạt động của toàn bộ dây chuyền nhà máy. Nhằm hạn chế tối đa việc dừng sản xuất do sự cố của HTĐK ở khu vực này, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu và áp dụng mô hình HTĐK dự phòng Siemens SIMATIC S7-300 SWR. Các sự cố dừng máy, bất cập trong vận hành đã được tính đến và đưa ra giải pháp khắc phục. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu và áp dụng, cho thấy những hiệu quả tích cực trong thực tế.

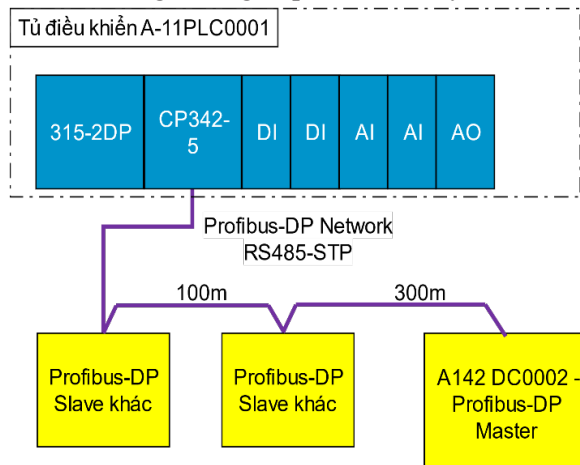
Từ khóa: Điều khiển dự phòng, mạng truyền thông công nghiệp, nhà máy Alumin Nhân Cơ, S7-300 Software Redundancy.

1 Đặt vấn đề

Khu A11, Phân xưởng Kết tinh, Nhà máy Alumin Nhân Cơ là khu tiếp nhận dung dịch thô từ khu A08 và sửa vôi cấp từ khu tôi vôi A02, Phân xưởng Nguyên liệu hòa tách, gồm có các thiết bị chính là 4 máy lọc lá kiểu đứng (3 máy chạy, 1 máy dự phòng). Cụm máy lọc lá sử dụng chung một HTĐK PLC S7-300 (tủ điều khiển A-11PLC0001). Khi có sự cố xảy ra trong HTĐK của khu vực này thì cụm lọc lá (gồm cả 4 máy) dừng hoạt động, ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất chung của toàn bộ nhà máy [1-2].

Để có giải pháp cải tạo, nâng cấp HTĐK khu A11 phù hợp, trước hết cần phân tích đặc điểm HTĐK cụm máy lọc lá nguyên bản của phân xưởng với sơ đồ cấu trúc như hình 1. Toàn bộ lưu trình công nghệ của cụm máy lọc được thực hiện bởi bộ điều khiển PLC Siemens SIMATIC S7-300 với CPU 315-2DP và các module I/O. Bộ điều khiển sử dụng một module truyền thông CP342-5 được cấu hình ở dạng Profibus-DP Slave. Module này liên tục cập nhật dữ liệu đầu vào từ Profibus-DP Master HTĐK DCS

Honeywell ở cấp cao hơn. Tham số đầu vào bao gồm các lệnh chạy chu trình, bộ thời gian của chu trình nạp, xả liệu tác động trực tiếp đến các bơm, van của cụm máy lọc. Nếu không tính đến sự hư hỏng của module I/O, cơ cấu chấp hành thì các tình huống dẫn đến hệ thống dừng làm việc được liệt kê như trong bảng 1, theo đó, cấu trúc HTĐK hiện tại không thể đáp ứng được nhu cầu sản xuất liên tục trong trường hợp có sự cố xảy ra.



Hình 1: Cấu trúc HTĐK cụm máy lọc lá trước khi cải tạo

Bảng 1: Các tình huống sự cố

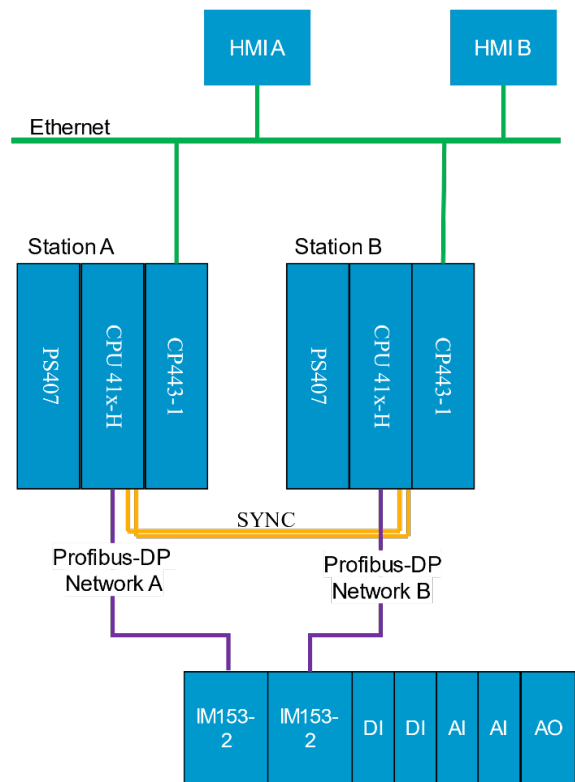
STT	Tình huống sự cố hoặc nhu cầu sản xuất	Hiện tượng xảy ra
1	Hư hỏng module CPU 315-2DP	HTĐK dừng hoạt động
2	Hư hỏng module CP342-5	- HTĐK dừng hoạt động, CPU ở trạng thái STOP; - Bộ tham số đặt (Setpoint) bị xóa, các chu trình lọc dừng hoạt động
3	Hư hỏng kết nối đến Profibus-DP Master	Bộ tham số đặt (Setpoint) bị xóa, các chu trình lọc dừng hoạt động
4	Vận hành tại chỗ đơn động để kiểm tra, bảo dưỡng thiết bị	Không vận hành tại chỗ hoặc thay đổi tham số công nghệ được
5	Sửa chữa, thay thế module CPU hoặc CP	HTĐK dừng hoạt động
6	Hư hỏng nguồn cấp DC24V cho HTĐK	HTĐK dừng hoạt động
7	Có chập chập tín hiệu analog điều khiển biến tần cho các bơm cấp liệu	Bơm dừng làm việc dẫn đến cụm máy lọc không còn tác dụng

Các tình huống 1-3, 5-7 đều dẫn đến cụm máy dừng hoạt động. Nhu cầu vận hành tại chỗ trong tình huống 4 cũng không thực hiện được.

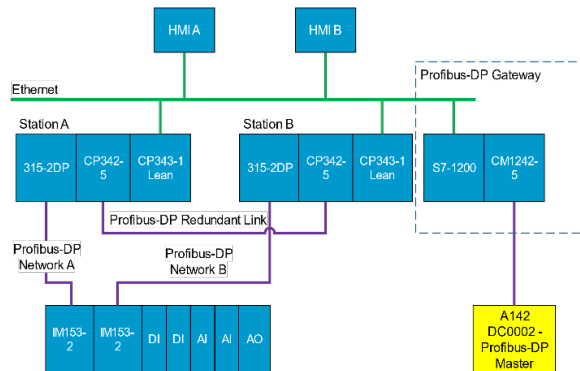
2 Chọn lựa cấu trúc HTĐK có tính năng dự phòng phù hợp

Xuất phát từ những hạn chế của HTĐK đang sử dụng của cụm máy lọc lá, cần thiết phải tính toán, lựa chọn một HTĐK có cấu trúc dự phòng nhằm đảm bảo khả năng sẵn sàng, vận hành liên tục của dây chuyền. Việc sử dụng HTĐK có cấu trúc dự phòng cho phép hệ thống vẫn có thể vận hành khi xảy ra một hoặc một vài lỗi tại cùng một thời điểm. Tiêu chí lựa chọn dựa trên nền tảng phân cứng sẵn có, đảm bảo cân bằng về kỹ thuật và chi phí đầu tư.

Nghiên cứu các cấu hình HTĐK có tính dự phòng của Siemens SIMATIC PLC S7-300/S7-400H, nhận định có 2 giải pháp khả thi: Giải pháp thứ nhất (hình 2) sử dụng phần cứng S7-400H [3]; và giải pháp thứ hai (hình 3) sử dụng phần cứng S7-300 [4]. Các cấu trúc HTĐK dự phòng dựa trên cấu hình tiêu chuẩn do Siemens đề xuất và đều giải quyết được hạn chế của HTĐK A11 hiện tại. Tuy nhiên, chúng có những đặc điểm kỹ thuật và chi phí đầu tư khác nhau.



Hình 2: Cấu trúc HTĐK dự phòng S7-400H



Hình 3: Cấu trúc HTĐK dự phòng S7-300

Bảng 2: So sánh đặc điểm của các cấu trúc HTĐK dự phòng S7-400H và S7-300

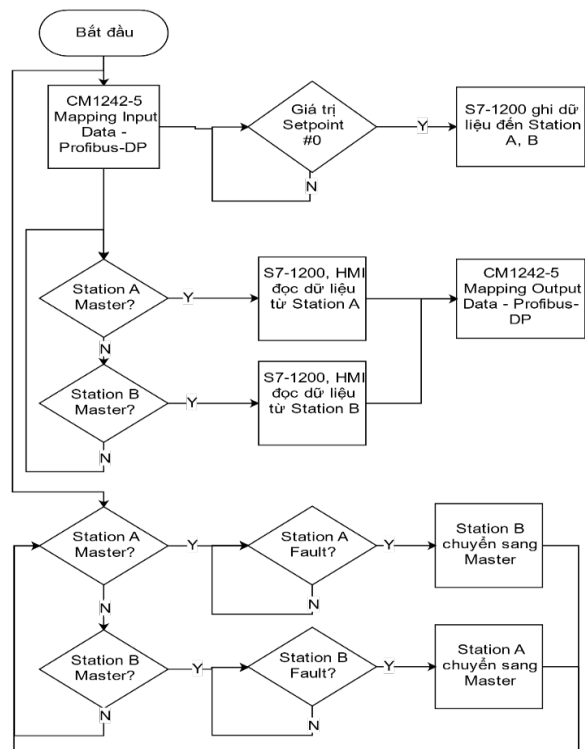
STT	Đặc điểm so sánh cấu trúc HTĐK	S7-400H	S7-300
1	Thời gian chuyển mạch khi có sự cố	Nhanh	Trung bình
2	Chi phí đầu tư và bảo trì	Rất cao	Thấp
3	Độ phức tạp khi lập trình	Đơn giản	Phức tạp
4	Tận dụng được phần cứng hiện có	Không	Có
5	Khả năng cung cấp vật tư nhanh chóng	Không	Có

Về cơ bản, HTĐK dự phòng S7-400H sử dụng các module đồng bộ (phần cứng) để đồng bộ dữ liệu giữa 2 CPU, kết nối với nhau bởi cặp dây quang (Fiber-Optic Cables), cho phép thời gian chuyển mạch khi có sự cố nhanh nhất. Công tác lập trình cũng khá đơn giản do phần mềm sẽ là duy nhất trên cả 2 CPU. Các tình huống chuyển đổi, đồng bộ dữ liệu do phần cứng lõi của CPU đảm nhiệm. Khác với cấu trúc này, các CPU trong cấu trúc S7-300 được đồng bộ với nhau bằng phần mềm thực thi trong chương trình của nó, thông qua Redundant Link (Profibus-DP, Ethernet hoặc MPI). Bởi vậy, cấu trúc này có tên là S7-300 Software Redundancy (SWR). Nhược điểm đáng lưu ý nhất của cấu trúc S7-300 SWR là thời gian chuyển mạch khi có sự cố, tương đương với vòng quét của khối thực thi OB1, nhỏ hơn 150 ms. Thời gian này là đủ nhanh và trong thời gian chuyển mạch, các trạng thái đầu ra được giữ nguyên nên hoàn toàn không ảnh hưởng đến hoạt động của dây chuyền sản xuất. Cân nhắc trên các ưu, nhược điểm của 2 cấu trúc HTĐK dự phòng đề xuất, nhóm tác giả lựa chọn cấu hình HTĐK dự phòng sử dụng S7-300 SWR.

Quan sát hình 1 và 3, nhận thấy hầu hết các phần cứng hiện tại của HTĐK A11 đều được tận dụng. Để giúp các CPU 315-2DP (Station A) và CPU 315-2DP (Station B) giao tiếp với Profibus-DP Master (thuộc HTĐK cấp trên), một PLC S7-1200 được sử dụng đóng vai trò như S7/Profibus-DP Gateway. Ngoài ra, 2 thiết bị giao diện (HMI) A và B cũng được thiết kế và lập trình để tự động kết nối đến Station A hoặc Station B tùy thuộc Station nào đang ở chế độ vận hành (Master). Lưu đồ thuật toán của các hoạt động chuyển trạng thái này được thể hiện như hình 4. Các bước thiết kế phần cứng và phần mềm cho HTĐK dự phòng đã chọn được trình bày ở phần kế tiếp.

3 Thiết kế phần cứng và phần mềm cho HTĐK được lựa chọn

Phần cứng chính của HTĐK được liệt kê như bảng 3. Toàn bộ các module hiện có đều được sử dụng, giảm tối đa chi phí đầu tư.



Hình 4: Lưu đồ thuật toán chuyển trạng thái của HTĐK dự phòng S7-300 SWR

Bảng 3: Danh mục phần cứng chính trong HTĐK dự phòng S7-300 SWR

STT	Phần cứng	Số lượng
Station A		
1	CPU 315-2DP 6ES7 315-2AH14-0AB0 v3.3	01
2	CP342-5 6GK7 342-5DA03-0XE0 v6.0	01
3	CP343-1 Lean 6GK7 343-1CX10-0XE0 v3.0	01
Station B		
1	CPU 315-2DP 6ES7 315-2AH14-0AB0 v3.3	01
2	CP342-5 6GK7 342-5DA03-0XE0 v6.0	01
3	CP343-1 Lean 6GK7 343-1CX10-0XE0 v3.0	01
Remote I/O		
1	SIMATIC DP, ET 200M Red. Bundle Consisting of: 2x IM 153-2HF (6ES7153-2BA10-0XB0), 1x bus module in/in (6ES7195-7HD10-0XA0)	01
2	SIMATIC DP, Bus module for ET 200M 6ES7195-7HB00-0XA0	03
3	DI32 x 2, DO32 x 1, AI8 x 2, AO4 x 1	
S7-1200 Profibus-DP Gateway		
1	SIMATIC S7-1200, CPU 1211C 6ES7211-1AE40-0XB0	01
2	Communication module CM 1242-5 6GK7242-5DX30-0XE0	01
Thiết bị giao diện (HMI)		
	Weintek MT809xXE	02

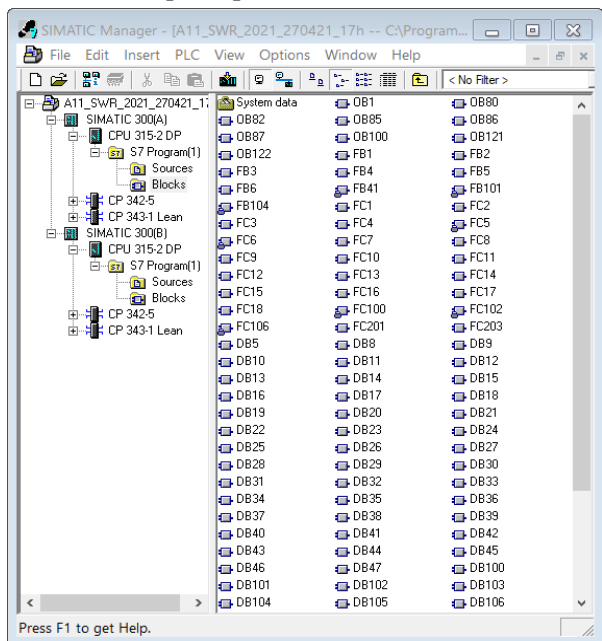
Phần mềm thực thi và cấu hình hệ thống được thực hiện trên phần mềm lập trình Siemens SIMATIC Step7 Manager v5.6 (với cụm S7-300 SWR) như hình 5a và TIA portal v16 (với S7-1200), cụ thể như mô tả bên dưới. Ban đầu, tiến hành cấu hình Network cho hệ thống như hình 5b:

- Thiết lập Redundant Link sử dụng Profibus-DP qua cặp module CP342-5 với địa chỉ

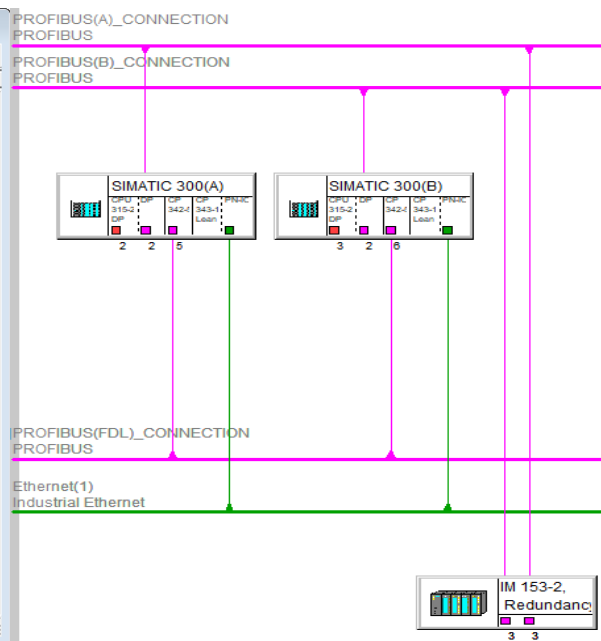
tương ứng là 5,6. Tốc độ đồng bộ 1.5 Mbps;

- Thiết lập mạng Profibus-DP A, B kết nối từ Station A, B đến trạm Remote I/O sử dụng cặp module ET200M IM153-2. Đồng thời khai báo các module tín hiệu trên trạm Remote I/O này;

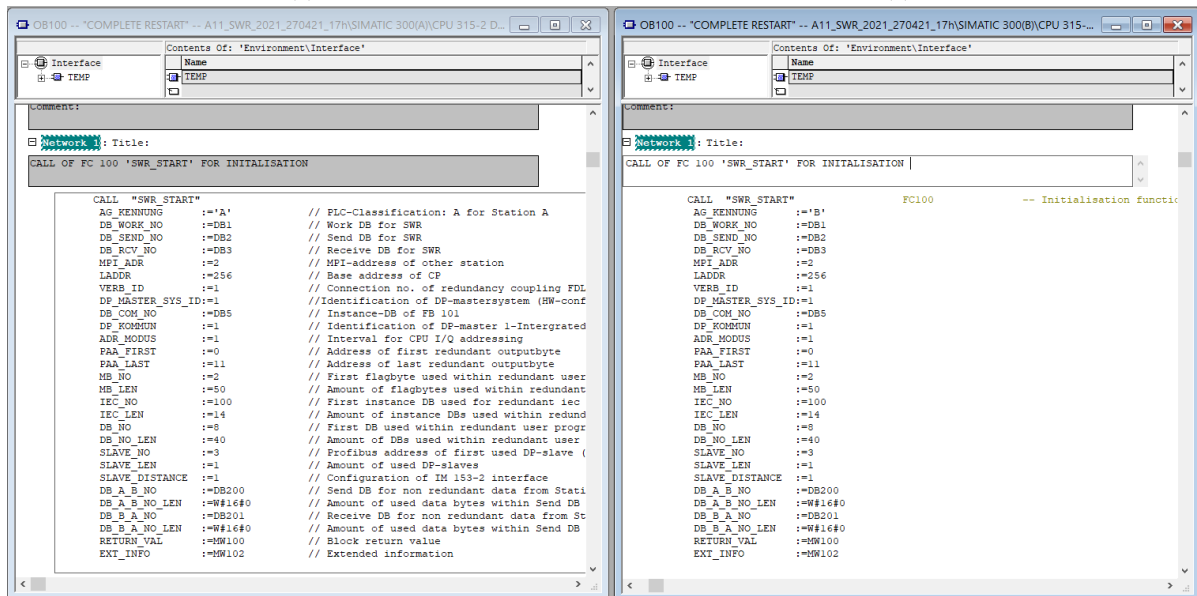
- Thiết lập mạng Ethernet kết nối từ Station A, B đến các HMI A, B và Gateway S7-1200. Mạng Ethernet được cung cấp thông qua các module CP343-1 LEAN.



(a)



(b)



(c)

Hình 5: Lập trình và cấu hình HTĐK dự phòng trên Step7 Manager

Các thiết lập khác cho HMI A, B và Gateway S7-1200 khá đơn giản và không trình bày chi tiết trong phạm vi bài báo này. Kế tiếp, thiết kế phần mềm thực thi cho các trạm PLC Station A, B. Các thiết kế này phải thực hiện chặt chẽ, chính xác theo yêu cầu của Siemens [4]:

- Lập trình HTĐK hoạt động theo cấu trúc dự phòng bởi lệnh gọi FC100 trong khối OB100 như hình 5c;
- Cấu hình Station là “A”;
- Cấu hình chính xác thông tin về vùng nhớ I/O, các khối DB, địa chỉ phần cứng tham gia;
- Trong khối chương trình chính OB1, bố trí phần chương trình chạy trong lệnh gọi đồng bộ dữ liệu FB101;
- Thực hiện lại các bước trên cho Station B.

Bất cứ sự sai khác nào về dữ liệu đã khai báo đều dẫn đến 2 PLC Station A, B không đồng bộ với nhau, mất khả năng chạy ở chế độ dự phòng.

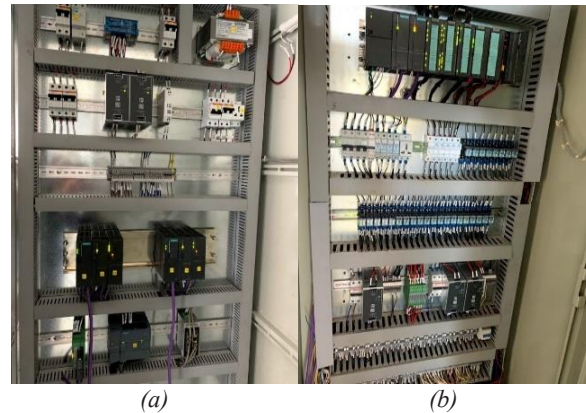
Khi hệ thống hoạt động ở chế độ SWR, chương trình cung cấp cho người dùng 2 thông tin quan trọng là Status Word và Control Word [4]. Các dữ liệu này cần thiết phải sử dụng nhằm kiểm soát trạng thái làm việc của Station (Đang chạy – Master hoặc Đang dự phòng – Standby), trạng thái của kết nối Redundant Link, trạng thái các Profibus-DP Slave..., cũng như điều khiển ngắt/kích hoạt chế độ dự phòng.

PLC S7-1200 trong hệ thống được thiết kế và lập trình như 1 gateway chuyển đổi giao thức S7 Connection – Profibus-DP Slave. Phần chương trình này được thực hiện theo thuật toán đã mô tả trên hình 4. Các HMI A, B trong hệ thống bản thân không có sẵn tính năng hoạt động ở chế độ dự phòng (Redundancy), nhóm tác giả đã xây dựng thêm một số script để HMI có thể tự nhận dạng Station Master/Standby. Thời gian chuyển mạch kết nối chỉ vài trăm ms hoàn toàn phù hợp và đáp ứng với nhu cầu giám sát, vận hành tại chỗ phục vụ sản xuất.

Kết quả triển khai trong thực tế tại Khu A11, Phân xưởng Kết tinh được trình bày tiếp theo.

4 Kết quả áp dụng trong thực tế

Theo thiết kế ban đầu, các module CPU, module mở rộng được bố trí trên cùng rack trong một tủ điều khiển. Sau khi cải tạo, các module CPU 315-2DP, CP342-5, CP343-1 Lean (thuộc Station A, B) và gateway S7-1200 được tách độc lập ra tủ riêng (hình 6a). Các module IM153-2, I/O giữ nguyên tại tủ điều khiển cũ (hình 6b).



Hình 6: Tủ điều khiển chính (a) và tủ I/O (b)

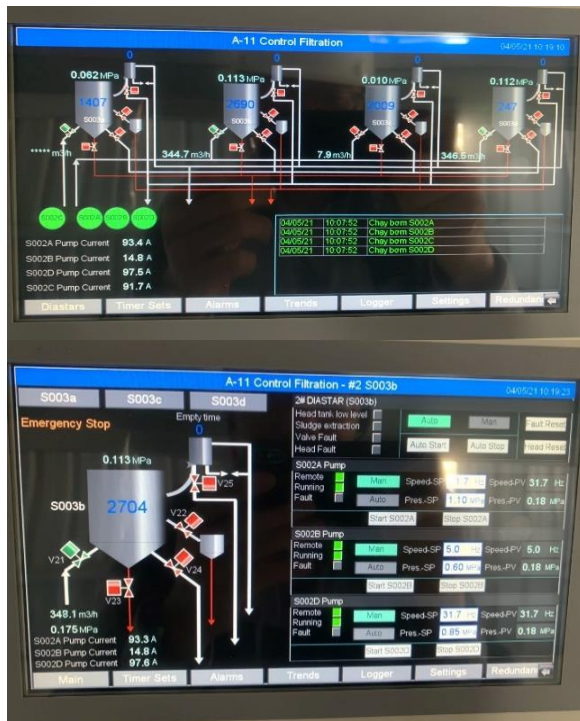
Tủ I/O và tủ điều khiển chính đều được trang bị hệ nguồn 24VDC song song kết hợp các bộ cách ly tín hiệu nhằm hạn chế tối đa ảnh hưởng do sự cố nguồn điện và chập chập tín hiệu ngoài hiện trường.

Phía ngoài cánh tủ, 2 thiết bị giao diện người dùng (HMI) được bố trí cạnh nhau (hình 7) với khả năng tự động chuyển kết nối đến module CPU đang vận hành chính (Station Master).



Hình 7: Cụm 2 thiết bị giao diện HMI

Giao diện vận hành trên HMI được bố trí theo các trang tương ứng cho phép giám sát tổng quan cụm máy lọc cũng như chi tiết từng máy lọc (hình 8), cho phép thiết lập các thông số, chế độ thao tác trực quan, đơn giản.



Hình 8: Giao diện vận hành chính của HMI

Sau khi các thiết bị đã được lắp đặt hoàn thiện, kết nối và hiển thị đúng như thiết kế, để kiểm tra khả năng chạy dự phòng của các module trong hệ thống, nhóm tác giả đã thực hiện giả lập các tình huống sự cố xảy ra trong thực tế. Kết quả thử nghiệm như bảng 4 cho thấy, HTĐK đã hoạt động đúng tiêu chí thiết kế, đáp ứng tốt nhu cầu sản xuất.

5 Kết luận

HTĐK dự phòng Siemens SIMATIC S7-300 SWR cho cụm máy lọc lá của Khu A11, Phân xưởng Kết tinh đã được Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin bàn giao, hướng dẫn vận

Bảng 4: Các tình huống sự cố giả lập kiểm tra hoạt động của hệ thống

STT	Tình huống sự cố giả lập	Hiện tượng xảy ra
1	Ngắt kết nối Profibus-DP từ hệ thống DCS Honeywell đến tủ điều khiển cụm máy lọc	HTĐK hoạt động bình thường, bộ tham số vận hành máy được giữ nguyên
2	Ngắt kết nối S7 Connection của PLC trung gian S7-1200 đến các PLC S7-300	HTĐK hoạt động bình thường, HMI tự động chuyển kết nối đến PLC S7-300 Master mới
3	Ngắt kết nối đồng bộ (SYNC) giữa 2 PLC S7-300 hoặc cắt nguồn cấp/dừng hoạt động một PLC S7-300	HTĐK và HMI còn lại hoạt động bình thường
4	Cắt nguồn cấp cho 1 HMI	HTĐK hoạt động bình thường
5	Hư hỏng 1 module CPU 315-2DP và 2 module CP342-5 đóng vai trò SYNC dữ liệu	HTĐK hoạt động bình thường
6	Hư hỏng 1 nguồn cấp DC24V	HTĐK hoạt động bình thường
7	Có chạm chập tín hiệu analog điều khiển biến tần cho các bơm cấp liệu	Các tín hiệu còn lại vẫn kết nối bình thường

hành cho công ty Alumin Nhân Cơ từ tháng 04/2021. Trong suốt thời gian qua, hệ thống đã làm việc ổn định với đúng tiêu chí thiết kế, góp phần đảm bảo hoạt động sản xuất liên tục, an toàn của dây chuyền nhà máy. Giải pháp được áp dụng đã đảm bảo tối ưu về chi phí đầu tư và hiệu quả mang lại. Với thời gian dừng máy và thi công rất ngắn (chỉ 24h), kết quả thực hiện của nhóm tác giả đã dành được sự ghi nhận và đánh giá cao của chủ đầu tư, chứng tỏ năng lực của Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin trong lĩnh vực điều khiển, tự động hóa phục vụ các nhà máy than, khoáng sản của Tập đoàn TKV.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Quyết định QĐ1227. Quy trình vận hành phân xưởng kết tinh. Công ty nhôm Đắk Nông, 18/07/2019.
2. Báo cáo Phương án sửa chữa số 297/PA-DNA. Công ty nhôm Đắk Nông, 04/02/2021.
3. Siemens SIMATIC Fault - Tolerant Systems S7-400H System Manual.
4. Siemens SIMATIC S7-300/S7-400 Software Redundancy for SIMATIC S7 Function Manual.