

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
CAPSTONE PROJECT

NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

ĐỀ TÀI:

**XÂY DỰNG THUẬT TOÁN HÒA LƯỚI BÁM TẢI
CHO HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI TẠI KHU
CÔNG NGHIỆP THĂNG LONG 2, HƯNG YÊN**

Người hướng dẫn: **PGS. TS. LÊ TIẾN DŨNG**

Người hướng dẫn tại doanh nghiệp : **KS. KHƯƠNG VĂN MẠNH**

Sinh viên thực hiện:

1. VÕ VĂN VŨ – MSSV: 105200351– LỚP: 20TDH2

2. LÊ VĂN THÁI – MSSV: 105200513 – LỚP: 20TDHCLC4

3. NGUYỄN HỮU TUẤN – MSSV: 105200521–LỚP: 20TDHCLC4

Đà Nẵng, 6/2025

ÓM TẮT

Tên đề tài: Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2, Hưng Yên

Sinh viên thực hiện:

- 1) Võ Văn Vũ – MSSV:105200351 - Lớp : 20TDH2
- 2) Lê Văn Thái – MSSV:105200513 - Lớp : 20TDHCLC4
- 3) Nguyễn Hữu Tuấn – MSSV : 105200521 - Lớp : 20TDHCLC4

Trong xu hướng chuyển đổi sang năng lượng tái tạo, hệ thống điện mặt trời tại KCN Thăng Long 2 – Hưng Yên đã được triển khai trong năm 2023 và bước đầu đạt hiệu quả. Tuy nhiên, thuật toán điều khiển Zero-Export thông qua đóng/ngắt ACB còn tồn tại hạn chế như độ trễ khi phản ứng với biến động phụ tải và hoạt động không đồng bộ giữa các inverter, gây mất cân bằng, tăng hao mòn và giảm hiệu suất tổng thể. Trên cơ sở đó, đề tài nghiên cứu tập trung xây dựng giải pháp điều khiển hệ thống điện mặt trời hòa lưới theo cơ chế bám tải, áp dụng cho Khu công nghiệp Thăng Long 2. Công việc nghiên cứu được triển khai một cách có hệ thống, bắt đầu từ thu thập và phân tích dữ liệu về cấu trúc hệ thống, các thiết bị chính và đặc điểm tiêu thụ điện của phụ tải công nghiệp. Tiếp đó, nhóm nghiên cứu phát triển thuật toán điều khiển bám tải với mục tiêu tối ưu hơn thuật toán đã có, cải thiện hiệu suất làm việc, khả năng bảo trì và tuổi thọ thiết bị, đồng thời giảm thiểu công suất phát ngược lên lưới điện quốc gia. Giải pháp được xây dựng dựa trên bộ điều khiển PLC ILC 171 ETH 2TX của Phoenix Contact, kết hợp lập trình logic bằng phần mềm PC Worx và thiết kế giao diện giám sát SCADA bằng Action.NET, nhằm đảm bảo thu thập, xử lý dữ liệu và điều phối hệ thống một cách hiệu quả và ổn định. Đề tài đã tiến hành xây dựng, tích hợp và mô phỏng thuật toán điều khiển trên môi trường mô phỏng với nhiều kịch bản biến thiên năng lượng mặt trời và phụ tải thực tế. Kết quả thử nghiệm cho thấy thuật toán vận hành ổn định, không phát công suất dư lên lưới và tối ưu nhu cầu điện của phụ tải nội bộ. Hệ thống duy trì liên tục truyền nhận dữ liệu giữa phần mềm và phần cứng qua giao thức Modbus RTU và TCP/IP. Mặc dù mới được mô phỏng và thực nghiệm trên thiết bị trong môi trường mô phỏng, kết quả bước đầu cho thấy tiềm năng ứng dụng cao, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng tái tạo và phát triển hệ thống quản lý năng lượng thông minh, bền vững cho các khu công nghiệp nói chung và Thăng Long 2 nói riêng.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TT	Họ tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Võ Văn Vũ	105200351	20TDH2	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
2	Lê Văn Thái	105200513	20TDHCLC4	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
3	Nguyễn Hữu Tuấn	105200521	20TDHCLC4	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

1. Tên đề tài đồ án:

Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2, Hưng Yên

2. Đề tài thuộc diện: Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện

3. Các số liệu và dữ liệu ban đầu:

4. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Võ Văn Vũ	Nghiên cứu thuật toán và xây dựng giải pháp điều khiển hòa lưới bám tải, mô phỏng và kiểm nghiệm
2	Lê Văn Thái	
3	Nguyễn Hữu Tuấn	

b. Phần riêng:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Võ Văn Vũ	Nghiên cứu phần mềm Action.Net, thiết kế giao diện HMI, xây dựng và đồng bộ cấu trúc biến với PLC, thiết kế lưu đồ thuật toán, lập trình logic điều khiển theo thuật toán hòa lưới bám tải.
2	Lê Văn Thái	Nghiên cứu phần mềm PC Worx, lập trình cơ bản cho PLC ILC 171 ETH 2TX và kiểm nghiệm truyền thông.
3	Nguyễn Hữu Tuấn	Phân tích hệ thống điện hiện tại, đánh giá thuật toán Zero Export, xác định hạn chế và hướng cải tiến; thiết

		kế sơ đồ kết nối và cấu hình truyền thông Modbus RTU-TCP/IP.
--	--	---

5. Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ): không

6. Họ tên người hướng dẫn

Họ tên người hướng dẫn:	Phân/ Nội dung:
PGS. TS. Lê Tiến Dũng	Toàn bộ đồ án
KS. Khương Văn Mạnh	

7. Ngày giao nhiệm vụ đồ án: 13/3/2025

8. Ngày hoàn thành đồ án: 10/6/2025

Đà Nẵng, ngày ... tháng ... năm 2025

Trưởng Bộ môn Tự động hóa

Người hướng dẫn 1

Người hướng dẫn 2

TS. Giáp Quang Huy

PGS.TS. Lê Tiến Dũng

KS. Khương Văn Mạnh

9	5/5-11/5	Nghiên cứu phần mềm Action.Net; thiết kế giao diện HMI sơ bộ và xây dựng cấu trúc biến điều khiển (100%)	0%	
10	12/5-18/5	Đồng bộ biến giữa Action.Net và PLC; lập trình logic điều khiển trên Action.Net (75%)	25%	
11	19/05-23/05	Mô phỏng thuật toán hòa lưới bám tải ở chế độ giảm công suất, phân tích đáp ứng hệ thống (80%)	20%	
		Duyệt lần 3: Đánh giá khối lượng hoàn thành _____% : Được tiếp tục làm ĐATN <input type="checkbox"/> Không tiếp tục thực hiện ĐATN <input type="checkbox"/>		
12-13	24/5-4/6	Mô phỏng chế độ tăng công suất; so sánh với thuật toán đã có, đánh giá ưu điểm của thuật toán mới (100%)	0%	
14	5/6-7/6	Kiểm thử lại thuật toán tại mô hình thực tế và phân tích kết quả (100%)	0%	
15	8/6-10/6	Tổng hợp nội dung, viết báo cáo hoàn chỉnh, chuẩn bị slide và nội dung bảo vệ đồ án (100%)	0%	

LỜI NÓI ĐẦU VÀ CẢM ƠN

Trong xu hướng phát triển năng lượng tái tạo toàn cầu, việc ứng dụng điện mặt trời trong các khu công nghiệp đang trở thành giải pháp ưu tiên nhằm giảm chi phí vận hành và giảm áp lực lên lưới điện quốc gia. Khu công nghiệp Thăng Long 2 – Hưng Yên với hệ thống điện mặt trời đã triển khai bước đầu và đạt được những hiệu quả nhất định trong việc cung cấp năng lượng sạch, đồng thời góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế cho khu vực.

Tuy nhiên, quá trình vận hành thực tế cho thấy thuật toán hòa lưới hiện tại còn tồn tại những hạn chế nhất định, đặc biệt là trong việc phân phối công suất chưa hợp lý, dẫn đến tình trạng hoạt động không đồng đều của các thiết bị, làm tăng mức độ hao mòn và gây khó khăn cho công tác bảo trì. Xuất phát từ thực tiễn này, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn đề tài “Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2 – Hưng Yên” với mục tiêu phát triển một giải pháp điều khiển thông minh, linh hoạt hơn, giúp tối ưu hóa phân phối công suất theo nhu cầu thực tế, nâng cao tuổi thọ thiết bị và giảm thiểu chi phí bảo trì.

Đề tài được thực hiện trên nền tảng phần mềm Action.Net nhằm nâng cao hiệu quả vận hành và khắc phục triệt để các vấn đề tồn tại của thuật toán hiện hữu. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần cải thiện độ ổn định của hệ thống mà còn mang lại giải pháp kỹ thuật có tính ứng dụng cao, đáp ứng yêu cầu vận hành bền vững và hiệu quả cho các hệ thống điện mặt trời công nghiệp tại Thăng Long 2 cũng như các khu công nghiệp tương tự.

Nhóm xin trân trọng gửi lời cảm ơn chân thành tới anh Khương Văn Mạnh cùng các anh chị trong Công ty TNHH Giải Pháp Tự Động Hóa Bách Khoa – Đà Nẵng đã hỗ trợ về kỹ thuật và cung cấp tài liệu quý báu trong suốt quá trình thực hiện đề tài, đã chia sẻ kinh nghiệm thực tiễn và tạo điều kiện để nhóm tiếp cận môi trường làm việc thực tế. Đặc biệt, chúng em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới PGS.TS Lê Tiến Dũng – người hướng dẫn trực tiếp, đã tận tình chỉ dẫn, góp ý, giúp nhóm hoàn thiện nghiên cứu một cách khoa học và bài bản.

Dù đã cố gắng hết sức, nhóm vẫn không tránh khỏi những thiếu sót do giới hạn thời gian và kinh nghiệm. Rất mong nhận được góp ý từ quý Thầy Cô để hoàn thiện hơn trong tương lai.

Chúng em xin trân trọng cảm ơn!

LỜI CAM ĐOAN LIÊM CHÍNH HỌC THUẬT

Em xin cam đoan rằng báo cáo Đồ án Tốt nghiệp với đề tài “Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2, Hưng Yên” là kết quả nghiên cứu và thực hiện nghiêm túc của nhóm em dưới sự hướng dẫn của anh Khương Văn Mạnh (Công ty TNHH Giải Pháp Tự Động Hóa Bách Khoa) và PGS.TS Lê Tiến Dũng.

Toàn bộ nội dung trong báo cáo là thành quả học tập, tìm hiểu và đúc kết từ quá trình nghiên cứu lý thuyết tại trường kết hợp với thời gian thực tập và làm việc thực tế tại Công ty. Nhóm em cũng đã trực tiếp tham gia trải nghiệm và triển khai dự án điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2 – Hưng Yên, qua đó góp phần hoàn thiện nội dung đồ án.

Các số liệu, kết quả và nội dung trình bày trong báo cáo là trung thực và phản ánh đúng quá trình thực hiện. Nhóm em xin hoàn toàn chịu trách nhiệm trước Bộ môn và Nhà trường nếu phát hiện có bất kỳ sai phạm nào liên quan đến tính trung thực của báo cáo này.

Em xin chân thành cam đoan!

Chữ ký sinh viên thực hiện

Sinh viên 1

Sinh viên 2

Sinh viên 3

Võ Văn Vũ

Lê Văn Thái

Nguyễn Hữu Tuấn

MỤC LỤC

TÓM TẮT	ii
NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP	iii
PHIẾU KIỂM SOÁT TIẾN ĐỘ LÀM ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP	v
LỜI NÓI ĐẦU VÀ CẢM ƠN	vii
LỜI CAM ĐOAN LIÊM CHÍNH HỌC THUẬT	viii
MỤC LỤC	ix
DANH SÁCH CÁC BẢNG	xi
DANH SÁCH HÌNH VẼ.....	xii
DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT	xiv
MỞ ĐẦU	1
Chương 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI VÀ HỆ THỐNG ZERO-EXPORT CỦA KCN THĂNG LONG 2.....	4
1.1. Giới thiệu về khu công nghiệp Thăng Long 2	4
1.2. Hệ thống điện của Khu Công Nghiệp Thăng Long 2	5
1.2.1. Hệ thống điện 110/22kV tại KCN Thăng Long 2.....	5
1.2.2. Hệ thống điện mặt trời của KCN Thăng Long 2	6
1.3. Hệ thống SCADA trong hệ thống điện mặt trời của KCN Thăng Long 2	8
1.4. Thuật toán Zero-Export đã có của hệ thống điện mặt trời tại KCN Thăng Long 2.....	10
1.4.1. Chế độ auto.....	11
1.4.2. Chế độ Manual	11
1.4.3. Hoạt động của nút khẩn cấp (Emergency)	12
1.4.4. Nút nhấn Reset.....	12
1.5. Phân tích và đánh giá thuật toán Zero-Export đã có	12
1.6. Định hướng phương án giải quyết.....	13
1.7. Kết luận	14
Chương 2 : THIẾT KẾ VÀ LẬP TRÌNH ĐIỀU KHIỂN CHO PLC ILC 171 ETH 2TX SỬ DỤNG PHẦN MỀM PC WORX TRONG HỆ THỐNG SCADA	15
2.1. Giới thiệu về PLC ILC 171 ETH 2TX	15
2.1.1. Cấu tạo của bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX.....	16
2.1.2. Các chân kết nối của bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX	16
2.1.3. Các giao thức được hỗ trợ trên bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX và lựa chọn giao thức phù hợp cho đề tài	18

2.2. Giới thiệu về phần mềm PC Worx lập trình cho ILC 171 ETH 2TX	18
2.2.1. Tổng quan về phần mềm	18
2.2.2. Lựa chọn ngôn ngữ lập trình trên phần mềm PC Worx để cấu hình cho ILC 171 ETH 2TX	19
2.3. Phương án truyền thông của dự án.....	22
2.3.1. Các thiết bị sử dụng trong hệ thống SCADA	23
2.3.2. Giao thức truyền thông Modbus RTU của dự án	37
2.3.3. Giao thức truyền thông Modbus TCP/IP của dự án	41
2.4. Kết luận	47
Chương 3 : XÂY DỰNG THUẬT TOÁN HÒA LƯỚI BÁM TẢI CHO HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI CỦA KHU CÔNG NGHIỆP THĂNG LONG 2 DỰA TRÊN PHẦN MỀM ACTION.NET	48
3.1. Phân tích và đề xuất giải pháp hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2	48
3.1.1. Tổng quan về giải pháp hòa lưới bám tải	48
3.1.2. Giải pháp hòa lưới bám tải cho dự án	48
3.2. Tính cấp thiết của giải pháp Zero Export cho điện mặt trời tại KCN Thăng Long 2	50
3.3. Tổng quan về phần mềm ActionNet được sử dụng trong dự án	50
3.4. Thiết kế và thực hiện thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời Khu Công Nghiệp Thăng Long 2	52
3.4.1. Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống.....	52
3.4.2. Xây dựng hệ thống các biến cho thuật toán hòa lưới bám tải trong phần mềm ActionNet	55
3.4.3. Thiết kế giao diện HMI và gán biến cho dự án.....	56
3.5. Kết luận	59
CHƯƠNG 4: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ.....	60
4.1. Phương án truyền thông cho quá trình kiểm nghiệm	60
4.2. Phần cứng Demo để kiểm nghiệm	61
4.3. Thực hiện thực nghiệm module Zero Export đối với chế độ giảm	62
4.4. Thực hiện thực nghiệm module Zero Export đối với chế độ tăng	66
4.5. Đánh giá quá trình thực nghiệm và so sánh với thuật toán đã có	68
4.6. Kết luận	69
KẾT LUẬN.....	70
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	72
PHỤ LỤC	1

DANH SÁCH CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Danh sách các dự án điện mặt trời của KCN Thăng Long 2	7
Bảng 1.2. Bảng cài đặt các thông số để thực hiện module Zero Export	10
Bảng 2.1. Bảng các chân digital inputs và digital outputs trên ILC 171 ETH 2TX.....	17
Bảng 2.2. So sánh ưu nhược điểm của các ngôn ngữ lập trình được hỗ trợ.....	20
Bảng 2.3. Thông tin Sungrow SG110CX.....	24
Bảng 2.4. Thông số trạm quang trắc thời tiết Pvm200.....	25
Bảng 2.5. Thông số máy cắt AN-10D4-10H.....	26
Bảng 2.6. Thông số đồng hồ Schneider PM5350.....	27
Bảng 2.7. Thông số Máy tính vận hành Dell Precision 3660.....	29
Bảng 2.8. Thông số thiết bị đồng bộ thời gian Hopf 8030HEPTA/GPS	30
Bảng 2.9. Thông số Modem không dây EW50 3G/ 4G	32
Bảng 2.10. Vị trí các cổng và thông số tường lửa Fortigate 1000F	33
Bảng 2.11. Thông số Switch Cisco C1000FE-24P-4G-L	34
Bảng 2.12. Thông số Switch EX42005-00-1-A	34
Bảng 2.13. Thông số chi tiết IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627	36
Bảng 2.14. Mô tả chi tiết các địa chỉ vào ra của khối Modbus Master	39
Bảng 2.15. Mô tả về khối MB_RTU	40
Bảng 2.16. Mô tả về khối TCP Server.....	43
Bảng 2.17. Mô tả về khối TCP Client	45
Bảng 2.18. Mô tả về khối chức năng MB_TCP_FC3	46
Bảng 3.1. Danh sách tên biến cho dự án	55

DANH SÁCH HÌNH VẼ

Hình 1.1. Hình ảnh KCN Thăng Long 2, Hưng Yên	4
Hình 1.2. MBA T3, T4, Trạm biến áp 110kV KCN Thăng Long II.....	5
Hình 1.3. Sơ đồ một sợi và đánh số thiết bị TBA 110KV Thăng Long 2.....	6
Hình 1.4. Mô hình phân cấp hệ thống SCADA điện mặt trời tại KCN Thăng Long 2...9	
Hình 2.1. Bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX.....	15
Hình 2.2. Tổng quan cấu tạo ILC171 ETH 2TX.....	16
Hình 2.3. Các chân digital inputs và outputs trên ILC 171 ETH 2TX.....	16
Hình 2.4. Giao diện phần mềm PC Worx	19
Hình 2.5. Các khối cơ bản trong ngôn ngữ FBD	21
Hình 2.6. Giải pháp truyền thông trong hệ thống SCADA điện mặt trời của KCN Thăng Long 2	22
Hình 2.7. Inverter hoà lưới Sungrow SG110CX.....	23
Hình 2.8. Trạm quang trắc thời tiết PVmet200.....	25
Hình 2.9. Máy cắt không khí AN-10D4-10H	26
Hình 2.10. Đồng hồ đa năng Schneider PM5350.....	27
Hình 2.11. Máy tính vận hành Dell Precision 3660.....	29
Hình 2.12. Thiết bị đồng bộ thời gian Hopf 8030HEPTA/GPS	30
Hình 2.13. EW50 3G/4G Modem không dây VPN	31
Hình 2.14. Firewall: Fortigate 100F.....	32
Hình 2.15. Switch: Cisco C1000FE-24P-4G-L.....	33
Hình 2.16. Switch mạng 5 ports EX42005-00-1-A.....	34
Hình 2.17. Module truyền thông IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627	35
Hình 2.18. Nối dây IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627	36
Hình 2.19. Khung truyền Modbus RTU.....	37
Hình 2.20. Khối Modbus Master của đồng hồ AC	38
Hình 2.21. Khối chức năng MB_RTU cho đồng hồ AC.....	40
Hình 2.22. Khối chuyển đổi kiểu dữ liệu	41
Hình 2.23. Khối Modbus TCP Server	42
Hình 2.24. Khối Modbus TCP Client.....	44
Hình 2.25. Khối chức năng đọc và xử lý dữ liệu	45
Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống	49
Hình 3.2. Lưu đồ thuật toán chế độ Giảm công suất Inverter	54

Hình 3.3. Lưu đồ thuật toán chế độ Tăng công suất Inverter.....	54
Hình 3.4. Display giám sát chỉ số.....	56
Hình 3.5. Gán biến cho đối tượng	56
Hình 3.6. Khai báo Modbus TCP/IP trên ActionNet	57
Hình 3.7. Khai báo các biến trên ActionNet	57
Hình 3.8. Connection Setup trên Modbus Slave.	57
Hình 3.9. Slave Definition trên Modbus Slave	58
Hình 3.10. Định dạng kiểu dữ liệu trên Modbus Slave.....	58
Hình 4.1. Phương án truyền thông cho quá trình kiểm nghiệm	60
Hình 4.2. Phần cứng demo hệ thống	62
Hình 4.3. Display Các thông số tại Sation 1, 2, 3 ở chế độ giảm.....	63
Hình 4.4. Display các thông số của các Sation sau khi thực hiện chế độ giảm lần 1 ...	63
Hình 4.5. Dữ liệu nhận từ ActionNet tại PC Worx ở chế độ giảm lần 1.....	64
Hình 4.6. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ giảm lần 1	64
Hình 4.7. Display các thông số của các Sation sau khi thực hiện chế độ giảm lần 2 ...	65
Hình 4.8. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ giảm lần 2	65
Hình 4.9. Display Các thông số tại Sation 1, 2, 3 ở chế độ tăng.....	66
Hình 4.10. Display các thông số của các Sation sau khi thực hiện chế độ tăng lần 1...	66
Hình 4.11. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ tăng lần 1	67
Hình 4.12. Display các thông số của các Sation sau khi thực hiện chế độ tăng lần 2...	67
Hình 4.13. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ tăng lần 2	67

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

VIẾT TẮT	TÊN TIẾNG ANH	NỘI DUNG
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	Hệ thống Giám sát Điều khiển và Thu thập dữ liệu
HMI	Human Machine Interface	Giao diện giao tiếp người- máy
HIS	Historical Information System	Hệ thống lưu trữ thông tin quá khứ
IEC	International Electronic Technical Commission	Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế
LAN	Local Area Network	Mạng kết nối cục bộ
RTU	Remote Terminal Unit	Thiết bị đầu cuối
RMU	Ring Main Unit	Tủ trung thế
KCN		Khu Công Nghiệp
TTĐK		Trung tâm điều khiển
EVN	VIETNAM ELECTRICITY	Tập đoàn Điện lực Việt Nam
TBT		Trạm biến thế
MBA		Máy biến áp
TBA		Trạm biến áp
TLIP2		Khu công nghiệp Thăng Long 2
POI	Point Of Interconnection	Điểm kết nối giữa hệ thống điện mặt trời với lưới điện
ACB	Air Circuit Breaker	Máy cắt không khí
DCL(DS)	Disconnectors Switches	Dao cách ly

MỞ ĐẦU

1. Mục đích thực hiện đề tài

Trong bối cảnh các khu công nghiệp ngày càng chú trọng ứng dụng năng lượng tái tạo nhằm tối ưu chi phí vận hành và giảm phụ thuộc vào điện lưới quốc gia, hệ thống điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2 – Hưng Yên đã được đưa vào hoạt động và bước đầu mang lại hiệu quả tích cực. Hệ thống hiện đang sử dụng một thuật toán hòa lưới điều khiển ổn định, đảm bảo khả năng đồng bộ giữa nguồn điện mặt trời và phụ tải.

Tuy nhiên, qua quá trình vận hành thực tế, thuật toán hiện tại bộc lộ một số hạn chế đáng kể. Cụ thể, việc điều khiển chưa tối ưu dẫn đến hiện tượng một số thiết bị phải hoạt động liên tục trong khi các thiết bị khác ít được sử dụng hoặc nghỉ hoàn toàn. Điều này gây mất cân đối trong hệ thống, làm tăng mức độ hao mòn không đồng đều, rút ngắn tuổi thọ của thiết bị, đồng thời gây khó khăn cho công tác bảo trì, bảo dưỡng định kỳ.

Từ thực tiễn đó, nhóm em nhận thấy nhu cầu cấp thiết phải xây dựng một thuật toán hòa lưới bám tải mới, giúp hệ thống vận hành linh hoạt hơn, phân phối công suất hợp lý theo nhu cầu thực tế của phụ tải. Thuật toán đề xuất không chỉ đảm bảo tính ổn định như thuật toán đã có mà còn hướng đến mục tiêu tối ưu hóa hiệu suất làm việc của các thiết bị, kéo dài tuổi thọ, giảm chi phí bảo trì, qua đó nâng cao hiệu quả kinh tế cho toàn hệ thống.

Chính vì vậy, nhóm em quyết định chọn đề tài “Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ điện mặt trời tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2 – Hưng Yên” với mong muốn đóng góp một giải pháp kỹ thuật thiết thực, có tính ứng dụng cao trong các hệ thống điện mặt trời công nghiệp hiện nay.

2. Mục tiêu đề tài

Mục tiêu của đề tài là xây dựng một thuật toán hòa lưới bám tải hiệu quả cho hệ thống điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2 – Hưng Yên. Thuật toán mới nhằm theo dõi sát nhu cầu tiêu thụ thực tế, điều phối công suất phát phù hợp để hạn chế tình trạng thiết bị hoạt động quá tải hoặc nghỉ không hợp lý – nguyên nhân dẫn đến suy giảm tuổi thọ và khó khăn trong bảo trì. Bên cạnh đó, đề tài hướng đến việc tích hợp

giải pháp vào phần mềm điều khiển để kiểm chứng khả năng ứng dụng, góp phần nâng cao hiệu quả vận hành và khai thác năng lượng tái tạo một cách bền vững.

3. Phạm vi đề tài

Phạm vi không gian: Đề tài được triển khai trong bối cảnh của hệ thống điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2, tỉnh Hưng Yên. Đây là khu vực có nhu cầu sử dụng điện ổn định và liên tục, đồng thời đã và đang triển khai các giải pháp năng lượng tái tạo phục vụ sản xuất. Nghiên cứu tập trung vào mô hình hệ thống điện mặt trời nối lưới, trong đó bao gồm các thành phần chính như: Pin mặt trời, Inverter, phụ tải tiêu thụ và điểm hòa lưới với điện lực. Thuật toán bám tải được thiết kế nhằm áp dụng cho hệ thống tại địa điểm cụ thể này, có tính đến điều kiện thực tế của phụ tải công nghiệp và biến thiên nguồn năng lượng mặt trời.

Phạm vi thời gian : 13/03/2025 đến ngày 10/06/2025.

4. Nội dung thực hiện

Bố cục của đề tài ngoài phần lời mở đầu và kết luận chung, nội dung của đề tài được chia thành 4 chương : Chương 1: Tổng quan về hệ thống điện mặt trời của KCN Thăng Long 2, Chương 2 : Thiết kế và lập trình điều khiển cho PLC ILC 171 ETH 2TX sử dụng phần mềm PC Worx trong hệ thống Scada, Chương 3 : Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời của Khu Công Nghiệp Thăng Long 2 dựa trên phần mềm ActionNet, Chương 4: Thực nghiệm và đánh giá.

Trong quá trình thực hiện đề tài, các nội dung nghiên cứu được triển khai theo trình tự logic nhằm đảm bảo tính toàn diện và khả thi của giải pháp. Trước tiên, đề tài tiến hành thu thập và phân tích thông tin về hệ thống điện mặt trời hiện đang vận hành tại Khu công nghiệp Thăng Long 2, bao gồm cấu trúc hệ thống, thông số kỹ thuật của các thiết bị chính như pin năng lượng mặt trời, bộ nghịch lưu, hệ thống tủ hòa lưới và đặc điểm tiêu thụ điện của phụ tải công nghiệp. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiếp cận phương pháp điều khiển bám tải, làm rõ nguyên lý hoạt động, các yêu cầu kỹ thuật và tiêu chí đánh giá hiệu quả điều khiển trong hệ thống điện mặt trời nối lưới.

Tiếp theo, đề tài tập trung vào thiết kế cấu trúc điều khiển và lựa chọn thiết bị phù hợp, cụ thể là sử dụng PLC ILC 171 ETH 2TX để thu thập dữ liệu, xử lý tín hiệu và truyền thông với hệ thống giám sát. Phần mềm PC Worx được sử dụng để lập trình logic điều khiển cho PLC, thiết lập cấu hình mạng truyền thông và đảm bảo kết nối ổn định với hệ thống SCADA. Đồng thời, phần mềm Action.NET được ứng dụng để xây dựng giao diện giám sát, mô hình hóa toàn bộ hệ thống và tạo môi trường mô phỏng phục vụ kiểm nghiệm thuật toán điều khiển.

Trên nền tảng đó, đề tài tiến hành xây dựng và tích hợp thuật toán điều khiển hòa lưới bám tải vào hệ thống mô phỏng. Thuật toán được thiết kế với mục tiêu tối ưu hóa việc sử dụng điện mặt trời cho phụ tải nội bộ, hạn chế tối đa công suất phát ngược lên lưới điện quốc gia và đảm bảo các tiêu chí về độ ổn định trong vận hành. Sau khi xây dựng xong, thuật toán không chỉ được kiểm nghiệm thông qua các kịch bản mô phỏng với điều kiện bức xạ mặt trời và phụ tải tiêu thụ biến thiên, mà còn được triển khai kiểm thử trên mô hình thực tế nhằm đánh giá khả năng vận hành trong môi trường gần với thực tiễn. Quá trình kiểm nghiệm được thực hiện lặp đi lặp lại nhiều lần, bao gồm cả mô phỏng số và kiểm tra thực nghiệm, nhằm đảm bảo độ chính xác, tính ổn định và độ tin cậy của thuật toán trong các tình huống khác nhau. Các kết quả thu được sẽ được phân tích một cách chi tiết để xác định mức độ đáp ứng của hệ thống đối với các yêu cầu đặt ra. Từ đó, đề tài đề xuất các hướng hiệu chỉnh và hoàn thiện thuật toán để nâng cao khả năng áp dụng vào các hệ thống điện mặt trời thực tế tại khu công nghiệp, đặc biệt trong bối cảnh yêu cầu Zero Export ngày càng được siết chặt.

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI VÀ HỆ THỐNG ZERO-EXPORT CỦA KCN THĂNG LONG 2

1.1. Giới thiệu về khu công nghiệp Thăng Long 2

Khu công nghiệp Thăng Long 2 (TLIP II) là dự án liên doanh giữa Tập đoàn Sumitomo (Nhật Bản) và Công ty KCN Thăng Long (Hà Nội), được thành lập vào năm 2006 tại huyện Yên Mỹ và thị xã Mỹ Hào, tỉnh Hưng Yên. Đây là khu công nghiệp có quy mô lớn, tổng diện tích hơn 525 ha, trong đó hơn 400 ha đã được đầu tư và cho thuê, với thời hạn hoạt động đến năm 2056.

Dự án được xây dựng với hệ thống hạ tầng kỹ thuật đồng bộ, bao gồm điện (hai trạm biến áp tổng công suất 189 MVA), cấp nước sạch (24.000 m³/ngày đêm), xử lý nước thải (15.000 m³/ngày đêm), cùng hệ thống giao thông nội khu và các tiện ích hiện đại. TLIP II còn tích hợp các dịch vụ hỗ trợ như viễn thông, ngân hàng, hải quan và khu thể thao – giải trí nhằm nâng cao chất lượng môi trường làm việc.



Hình 1.1. Hình ảnh KCN Thăng Long 2, Hưng Yên

Về vị trí địa lý, khu công nghiệp cách trung tâm Hà Nội khoảng 33 km, nằm gần quốc lộ 5 – trục giao thông quan trọng nối liền các địa phương như Hà Nội, Hải Dương và Hải Phòng. Ngoài ra, TLIP II có kết nối thuận tiện với các cảng biển, sân bay và nhà ga lớn trong khu vực.

Hiện tại, khu công nghiệp đã thu hút hơn 104 dự án, chủ yếu từ các nhà đầu tư Nhật Bản, với tổng vốn đăng ký trên 3,2 tỷ USD và tỷ lệ lấp đầy đạt khoảng 90%. Dự án đang bước vào giai đoạn mở rộng tiếp theo nhằm nâng cao năng lực phục vụ và tiếp tục thu hút thêm nhà đầu tư trong tương lai.

1.2. Hệ thống điện của Khu Công Nghiệp Thăng Long 2

1.2.1. Hệ thống điện 110/22kV tại KCN Thăng Long 2

Trạm biến áp 110/22kV là một thành phần thiết yếu trong hệ thống cung cấp điện của Khu công nghiệp Thăng Long 2, đảm nhận vai trò trung gian trong việc tiếp nhận điện năng từ lưới điện quốc gia và phân phối tới các doanh nghiệp, nhà máy trong khu vực. Nguồn điện đầu vào được lấy từ hai trạm biến áp lớn là Phố Nối và Kim Động, sau đó truyền tải đến trạm biến áp của khu công nghiệp.

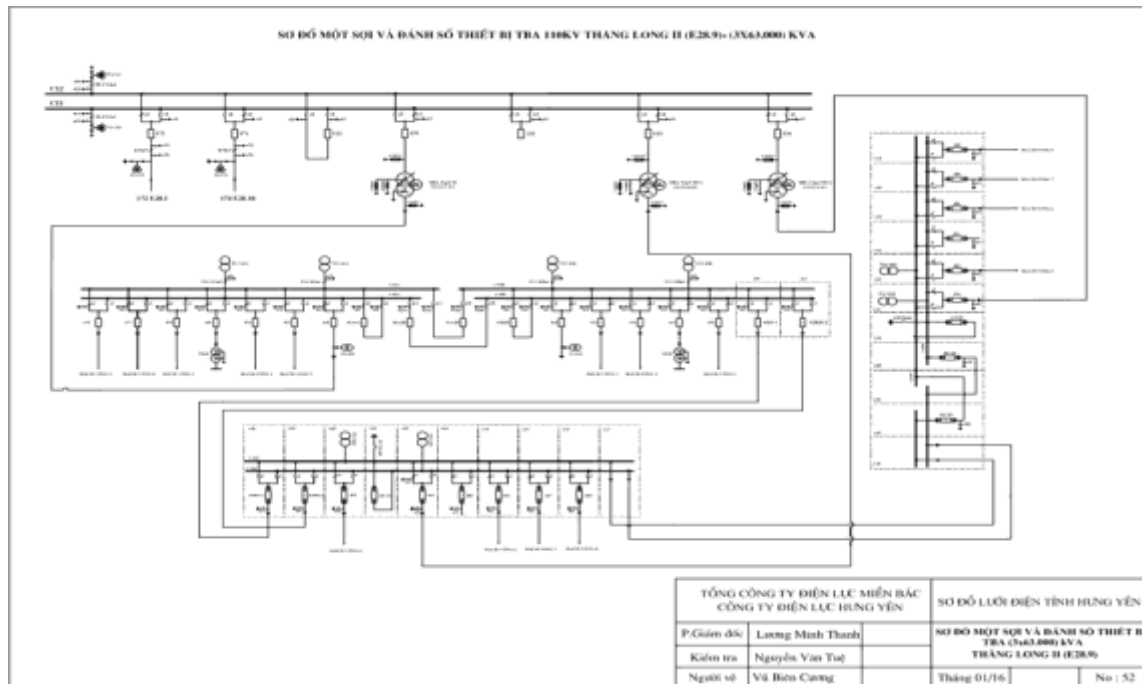
Tại trạm biến áp của KCN, điện áp sẽ được hạ từ mức 110kV xuống còn 22kV thông qua ba máy biến áp (MBA). Việc hạ áp này nhằm mục đích phân phối điện năng phù hợp với yêu cầu sử dụng của các thiết bị và dây chuyền sản xuất trong khu công nghiệp. Các máy biến áp này có công suất lần lượt là 25 MVA và 63 MVA, với tổng công suất lắp đặt lên tới khoảng 176 MVA, đủ khả năng đáp ứng nhu cầu điện ngày càng tăng của khu công nghiệp cũng như các nhà máy, xưởng sản xuất.



Hình 1.2. MBA T3, T4, Trạm biến áp 110kV KCN Thăng Long II

Để tối ưu hóa hiệu suất và bảo vệ thiết bị, thông thường chỉ có một hoặc hai máy biến áp được vận hành cùng lúc, tùy theo tải tiêu thụ thực tế. Việc này giúp cân bằng tải, hạn chế tình trạng quá tải cho các máy biến áp, đồng thời giảm hao tổn thiết bị và kéo dài tuổi thọ cho hệ thống. Ngoài ra, hệ thống phân phối điện thông qua các tủ RMU cũng được thiết kế nhằm đảm bảo an toàn và linh hoạt trong vận hành, bảo trì, cũng như giảm thiểu rủi ro mất điện do sự cố kỹ thuật.

Nhờ vào cấu trúc này, hệ thống điện 110/22kV tại Khu công nghiệp Thăng Long 2 không chỉ đáp ứng được nhu cầu điện ổn định, liên tục cho các nhà máy mà còn góp phần nâng cao hiệu quả hoạt động sản xuất, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển bền vững của toàn khu công nghiệp.



Hình 1.3. Sơ đồ một sợi và đánh số thiết bị TBA 110KV Thăng Long 2

1.2.2. Hệ thống điện mặt trời của KCN Thăng Long 2

Dự án điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long II, tỉnh Hưng Yên là một trong những mô hình năng lượng tái tạo quy mô lớn được triển khai tại khu vực phía Bắc, với mục tiêu cung cấp nguồn điện sạch, ổn định và bền vững cho các nhà máy trong khu công nghiệp. Dự án được triển khai trên diện tích khoảng 65 ha với hơn 40.000 tấm pin năng lượng mặt trời được lắp đặt chủ yếu trên mái các nhà xưởng. Tổng công suất hệ thống đạt khoảng 35 MWp, cho phép cung cấp lượng điện trung bình 7 MWh mỗi ngày.

Điện năng được tạo ra từ các tấm pin mặt trời sẽ được chuyển đổi thành dòng điện xoay chiều 400VAC thông qua hệ thống Inverter. Sau đó, điện áp được nâng lên mức 22kV nhờ máy biến áp và hòa vào lưới điện nội bộ thông qua hệ thống thanh cái, đồng thời được phân phối đến các tải tiêu thụ thông qua các tủ RMU. Một số nhà máy trong khu công nghiệp cũng có thể khai thác trực tiếp nguồn điện 400VAC từ hệ thống điện mặt trời này, giảm sự phụ thuộc vào lưới điện quốc gia và tiết kiệm chi phí vận hành.

Hệ thống vận hành linh hoạt, kết hợp song song giữa nguồn điện mặt trời và điện lưới quốc gia, đảm bảo cung cấp điện liên tục cho các doanh nghiệp trong KCN. Với việc tích hợp từ 8 đến 11 Inverter tại mỗi cụm nhà máy, mỗi Inverter có thể đóng góp từ 700 đến 800 kWh/ngày, góp phần nâng cao hiệu quả vận hành, giảm phát thải khí nhà kính và hướng tới mục tiêu phát triển bền vững.

Hệ thống điện mặt trời của KCN Thăng Long 2 như Hình 1.5 được đầu tư xây dựng với mục đích cung cấp điện mặt trời cho 21 dự án được liên kết trong KCN, danh sách các dự án được thể hiện trong Bảng 1.1.

Bảng 1.1. Danh sách các dự án điện mặt trời của KCN Thăng Long 2

Số thứ tự	Tên dự án
1	TAKAGI_01
2	DENYO_01
3	DENYO_02
4	HITACHI
5	HAMADEN_01
6	SHINDENGEN_01
7	SMM_01
8	SEW_01
9	SEW_02
10	BUNKA
11	HAMATETSU
12	H1_9A
13	H1_9B
14	TOEI
15	NFK
16	AMAGASAKI
17	J3_J4_10
18	DAIKIN_01
19	DAIKIN_02
20	DAIKIN_03

1.3. Hệ thống SCADA trong hệ thống điện mặt trời của KCN Thăng Long 2

Hệ thống SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) đóng vai trò cốt lõi trong việc giám sát và điều khiển toàn diện các hoạt động vận hành của hệ thống điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2. Đây là một nền tảng tự động hóa tiên tiến, được thiết kế để đảm bảo khả năng theo dõi thời gian thực và quản lý hiệu quả các nhà máy điện mặt trời phân tán trong khu công nghiệp, từ việc thu thập dữ liệu, phân tích hiệu suất, điều khiển thiết bị đến phát hiện và cảnh báo các sự cố kỹ thuật. Với sự tích hợp của các công nghệ hiện đại, SCADA không chỉ nâng cao độ tin cậy và ổn định của hệ thống mà còn hỗ trợ tối ưu hóa quy trình vận hành, đáp ứng các yêu cầu khắt khe về quản lý năng lượng trong môi trường công nghiệp.

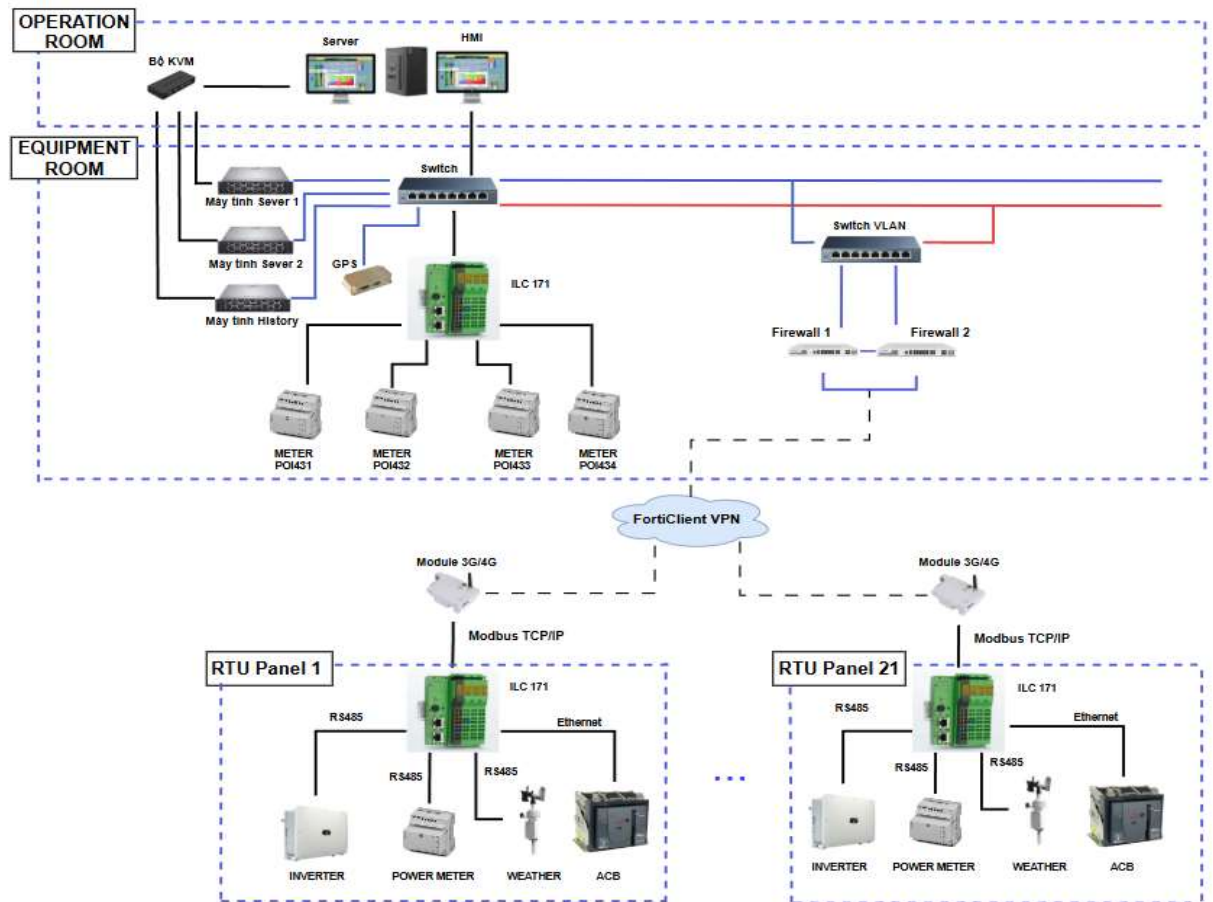
Hệ thống SCADA tại Khu công nghiệp Thăng Long 2 được triển khai để kết nối và đồng bộ hóa dữ liệu từ nhiều thiết bị quan trọng, bao gồm các bộ nghịch lưu (Inverter), tủ điều khiển vòng (RMU), máy biến áp, công tơ thông minh và các cảm biến môi trường. Thông qua các giao thức truyền thông công nghiệp như Modbus TCP/IP hoặc IEC 61850, dữ liệu từ các thiết bị này được truyền tải liên tục và an toàn về trung tâm điều hành. Tại đây, các vận hành viên có thể giám sát trực quan thông qua giao diện đồ họa thân thiện, cho phép theo dõi chi tiết các thông số vận hành và trạng thái hoạt động của hệ thống trong thời gian thực.

Hệ thống vận hành đảm bảo các yêu cầu:

- Giám sát liên tục điện áp, dòng điện, tần số, sản lượng điện mặt trời theo từng cụm và tổng thể.
- Phân tích hiệu suất từng Inverter và đưa ra cảnh báo khi có thiết bị hoạt động bất thường.
- Lưu trữ dữ liệu để phục vụ đánh giá hiệu suất hệ thống và lập kế hoạch bảo trì, bảo dưỡng định kỳ.
- Tối ưu điều khiển công suất phát, góp phần đảm bảo việc hòa lưới an toàn, hạn chế tổn thất và tránh gây quá tải cho hệ thống điện.

Nhờ vào khả năng tích hợp và xử lý dữ liệu vượt trội, hệ thống SCADA không chỉ đảm bảo sự ổn định và hiệu quả của các nhà máy điện mặt trời mà còn mang lại lợi ích lớn cho ban quản lý Khu công nghiệp Thăng Long 2. Hệ thống cung cấp các công cụ cần thiết để đưa ra các quyết định nhanh chóng và chính xác trong các tình huống bất thường, từ đó giảm thiểu rủi ro vận hành và nâng cao hiệu quả quản lý năng lượng. Đồng thời, SCADA đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn kỹ thuật quốc tế và các yêu cầu nghiêm

ngặt về quản lý năng lượng trong môi trường công nghiệp hiện đại, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững và ứng dụng năng lượng tái tạo hiệu quả tại khu công nghiệp.



Hình 1.4. Mô hình phân cấp hệ thống SCADA điện mặt trời tại KCN Thăng Long 2

Hệ thống SCADA tại KCN Thăng Long 2 được mô tả như trên Hình 1.4 được xây dựng theo mô hình phân cấp gồm hai lớp: cấp điều khiển trung tâm và cấp hiện trường. Tại trung tâm điều khiển (Operation Room), các máy chủ, HMI và máy tính lưu trữ được kết nối thông qua hệ thống mạng nội bộ có phân đoạn VLAN, kết hợp với KVM để tối ưu thao tác quản trị. Toàn bộ dữ liệu và quá trình điều khiển được bảo mật qua hệ thống tường lửa và phần mềm FortiClient VPN, cho phép truy cập từ xa an toàn. Đồng bộ thời gian được đảm bảo bằng tín hiệu GPS. Ở cấp hiện trường, các tủ RTU (Remote Terminal Unit) được lắp đặt tại từng khu vực sản xuất điện mặt trời. Mỗi RTU sử dụng PLC ILC 171 ETH 2TX để thu thập và xử lý dữ liệu từ các thiết bị như inverter, cảm biến thời tiết, đồng hồ đo điện năng và ACB. Giao tiếp giữa thiết bị và PLC được thực hiện qua RS485 hoặc Ethernet, sau đó truyền về trung tâm thông qua mạng LAN hoặc module 3G/4G. Mô hình này giúp tối ưu hóa việc giám sát và điều khiển hệ thống điện mặt trời theo thời gian thực, tăng tính linh hoạt, khả năng mở rộng và đảm bảo an toàn vận hành trong môi trường công nghiệp.

1.4. Thuật toán Zero-Export đã có của hệ thống điện mặt trời tại KCN Thăng Long 2

Trong hệ thống điện mặt trời của Khu công nghiệp Thăng Long 2, các dự án sẽ được phân chia theo ba vùng ưu tiên: Vùng 1, Vùng 2 và Vùng 3, tương ứng với mức độ quan trọng và khả năng đáp ứng nhu cầu tải tại từng khu vực. Đối với mỗi điểm đấu nối (POI - Point of Interconnection), cơ chế Zero Export sẽ được thiết lập dựa trên các cấp độ ưu tiên cụ thể.

Cụ thể, mỗi POI sẽ được cấu hình theo ba cấp (Level 1, Level 2, Level 3), và trong mỗi cấp sẽ có hai ngưỡng công suất: Ngưỡng dưới (Lower Setting) và ngưỡng trên (Upper Setting). Thời gian đáp ứng tương ứng của từng cấp độ và ngưỡng công suất sẽ được quy định chi tiết trong bảng cấu hình (Bảng 1.2), từ đó đảm bảo khả năng kiểm soát lượng điện năng phát ra lưới, hạn chế tình trạng dư thừa công suất và duy trì hoạt động ổn định cho toàn hệ thống.

Bảng 1.2. Bảng cài đặt các thông số để thực hiện module Zero Export

POI	Level 1			Level 2			Level 3		
	(mức nguy hiểm cao)			(mức nguy hiểm thấp)			(mức cảnh báo)		
	<i>Uper</i>	<i>Lower</i>	<i>Time</i>	<i>Uper</i>	<i>Lower</i>	<i>Time</i>	<i>Uper</i>	<i>Lower</i>	<i>Time</i>
POI1									
POI2									
POI3									
POI4									

Trong hệ thống điều khiển giám sát SCADA của điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2, các tham số vận hành của cơ chế Zero Export được cài đặt chi tiết cho từng điểm đấu nối (POI).

Công suất POI được hiểu là công suất điện lưới do trạm biến áp 110/22kV cấp xuống cho các nhà máy thuộc mạch vòng điện tương ứng với từng thanh cái. Tại mỗi POI, người vận hành sẽ cấu hình hai ngưỡng công suất: Upper Setting (giới hạn trên) và Lower Setting (giới hạn dưới). Các ngưỡng này đóng vai trò xác định khi nào thuật toán Zero Export cần được kích hoạt.

Ngoài ra, thời gian nghỉ (Time) giữa các lần đóng cắt của Inverter và máy cắt ACB cũng được cấu hình nhằm đảm bảo an toàn cho thiết bị và giảm thiểu hao mòn. Tất cả các thông số trên đều được nhập và điều chỉnh thông qua hệ thống SCADA.

Thuật toán Zero Export sẽ bắt đầu hoạt động khi công suất thực tế tại POI giảm xuống dưới ngưỡng Lower đã định, và tùy theo tình trạng vận hành, hệ thống sẽ tự động chuyển đổi giữa ba chế độ: Auto (tự động), Manual (thủ công), Emergency (khẩn cấp), đi kèm chức năng Reset để khởi động lại thuật toán khi cần thiết.

1.4.1. Chế độ auto

Hệ thống SCADA tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2 được thiết kế để quản lý và kiểm soát cơ chế Zero Export, nhằm ngăn chặn hiện tượng điện mặt trời phát ngược lên lưới điện khi công suất vượt quá giới hạn cho phép tại các điểm giao nhận điện (POI). Hệ thống phân loại các dự án điện mặt trời thành các vùng ưu tiên (Vùng 1, Vùng 2, Vùng 3) dựa trên cấp độ ưu tiên do người vận hành nhập liệu. Khi công suất tại POI tiệm cận hoặc vượt ngưỡng, SCADA sẽ thực hiện cắt giảm công suất theo ba cấp độ khác nhau:

- Ở Level 3, hệ thống chỉ phát cảnh báo cho người vận hành mà không thực hiện cắt giảm tự động, nhằm giữ ổn định hệ thống.
- Ở Level 2, SCADA tự động cắt lần lượt các biến tần (Inverter) theo vùng ưu tiên từ vùng thấp đến cao (từ Vùng 3 lên Vùng 1), giám sát công suất theo thời gian thực và kết thúc quá trình khi công suất trở về ngưỡng cho phép. Nếu sau khi cắt hết Inverter mà công suất vẫn chưa đủ, hệ thống sẽ cảnh báo người vận hành kiểm tra lại.
- Ở Level 1, hệ thống nâng mức cắt giảm bằng cách tự động ngắt các ACB (áp tải) theo thứ tự ưu tiên vùng, đồng thời mở rộng cắt giảm sang các POI khác nếu cần thiết. Quá trình này cũng được giám sát chặt chẽ, tự động dừng khi công suất ổn định hoặc cảnh báo khi đã cắt hết mà công suất vẫn chưa đạt.

1.4.2. Chế độ Manual

Trong chế độ Manual, hệ thống SCADA không tự động thực hiện chức năng Zero Export mà hoàn toàn dựa vào người vận hành. Người vận hành sẽ trực tiếp theo dõi các thông số công suất và chủ động điều khiển đóng, cắt các biến tần và ACB của các dự án điện mặt trời theo nhu cầu và tình hình thực tế, giúp đảm bảo linh hoạt trong vận hành và kiểm soát hệ thống theo ý muốn.

1.4.3. Hoạt động của nút khẩn cấp (Emergency)

Khi nhấn nút khẩn cấp, dù hệ thống đang ở chế độ Auto hay Manual, việc xử lý Zero Export sẽ tạm dừng ngay lập tức. Sau khi kết thúc tình huống khẩn cấp, hệ thống sẽ tự động trở về chế độ Auto hoặc Manual như trước đó. Nút khẩn cấp hoạt động theo hai chế độ chính:

- Khẩn cấp toàn hệ thống: Hệ thống sẽ lần lượt cắt tất cả các ACB của các dự án tại mọi POI theo thứ tự ngẫu nhiên. Quá trình cắt diễn ra từng lượt, mỗi lượt cách nhau khoảng thời gian “time setting” được thiết lập trước.
- Khẩn cấp cho từng POI: Người vận hành lựa chọn POI cụ thể trên màn hình điều khiển, hệ thống sẽ cắt lần lượt các ACB của các dự án trong POI đó, mỗi lượt cũng cách nhau khoảng thời gian “time setting”.

1.4.4. Nút nhấn Reset

Nút nhấn Reset có chức năng dừng ngay lập tức quá trình khẩn cấp đang diễn ra, giúp hệ thống ngừng thực thi chế độ khẩn cấp. Sau khi nhấn Reset, module Zero Export sẽ tự động trở về trạng thái Auto hoặc Manual như trước khi nút khẩn cấp được kích hoạt, đảm bảo hệ thống vận hành trở lại bình thường và ổn định.

1.5. Phân tích và đánh giá thuật toán Zero-Export đã có

Thuật toán Zero Export được triển khai nhằm đảm bảo không phát ngược công suất lên lưới điện tại các điểm đấu nối (POI), góp phần ổn định vận hành hệ thống và tuân thủ quy định của đơn vị vận hành lưới. Trong hệ thống này, các POI được cấu hình theo ba cấp độ ưu tiên (Level 1, Level 2, Level 3), tương ứng với mức độ quan trọng và đặc tính tải tại từng khu vực. Mỗi cấp độ được gắn với hai ngưỡng công suất: Lower Setting (giới hạn dưới) và Upper Setting (giới hạn trên), cùng thời gian đáp ứng được xác định rõ ràng qua bảng cấu hình.

Thuật toán Zero Export hoạt động bằng cách so sánh công suất thực tế tại mỗi POI với các ngưỡng đã định. Khi công suất tại POI giảm xuống dưới Lower Setting, hệ thống sẽ kích hoạt cơ chế điều khiển để giảm hoặc ngắt công suất phát từ các Inverter thông qua việc đóng/cắt máy cắt ACB. Tuy nhiên, trong thực tế triển khai, một số vấn đề kỹ thuật đã được ghi nhận:

- Độ trễ khi đóng/cắt ACB: Do đặc điểm cơ học và điện tử của thiết bị, thời gian đóng/cắt ACB không thể xảy ra tức thì mà thường bị chậm trễ vài trăm mili-giây đến vài giây. Trong khoảng thời gian trễ này, công suất phát từ hệ thống điện mặt trời vẫn có thể tiếp tục đẩy ngược lên lưới, vi phạm nguyên tắc Zero Export và có thể gây dao động điện áp cục bộ.

- Tình trạng hoạt động không đồng đều giữa các Inverter: Việc đóng cắt ACB theo từng POI khiến cho các Inverter không đồng bộ trong phản hồi công suất. Một số Inverter bị ngắt hoàn toàn trong khi các Inverter khác vẫn tiếp tục hoạt động ở mức cao. Điều này gây mất cân bằng trong phân phối công suất và dẫn đến hiện tượng giao động tải nội bộ, ảnh hưởng đến hiệu suất hệ thống.
- Ảnh hưởng đến tuổi thọ thiết bị: Tần suất đóng cắt ACB cao, đặc biệt trong các điều kiện biến động tải thường xuyên, gây ra hao mòn cơ khí và làm giảm tuổi thọ của cả máy cắt ACB và Inverter. Ngoài ra, việc khởi động và dừng thiết bị nhiều lần cũng ảnh hưởng đến tuổi thọ linh kiện bán dẫn trong Inverter.
- Khó khăn trong công tác bảo trì và vận hành: Việc đóng cắt liên tục và không đồng bộ giữa các POI gây phức tạp trong việc theo dõi trạng thái vận hành thực tế, làm gia tăng áp lực lên đội ngũ vận hành SCADA. Đồng thời, điều này cũng làm tăng nguy cơ sai lệch cấu hình hoặc lỗi thiết bị nếu quy trình bảo trì không được quản lý chặt chẽ.

1.6. Định hướng phương án giải quyết

Từ các phân tích nêu trên, có thể nhận thấy rằng việc điều khiển Zero Export thông qua đóng/cắt thiết bị ACB tại các điểm đấu nối (POI) tuy mang lại hiệu quả kiểm soát tức thời nhưng còn tồn tại nhiều hạn chế như độ trễ trong phản hồi, ảnh hưởng đến tuổi thọ thiết bị, mất đồng bộ giữa các Inverter, và gia tăng khó khăn trong công tác bảo trì hệ thống.

Để khắc phục các nhược điểm này, một phương án nghiên cứu mới mà nhóm đề xuất là chuyển đổi đối tượng điều khiển từ thiết bị đóng cắt ACB sang chính các Inverter – cụ thể là thông qua tham số điều chỉnh công suất phát ra (P_Settings). Phương pháp này cho phép can thiệp trực tiếp vào công suất đầu ra của Inverter, từ đó điều chỉnh chính xác và nhanh chóng lượng công suất phát về lưới, giảm thiểu tối đa rủi ro phát ngược, đồng thời duy trì trạng thái hoạt động liên tục và đồng bộ của hệ thống điện mặt trời.

Khác với cơ chế đóng/cắt cứng, phương pháp điều khiển theo P_Settings cho phép thiết lập các mức công suất linh hoạt, phù hợp với từng ngưỡng cảnh báo (Lower/Upper Setting) của thuật toán Zero Export. Điều này không chỉ giúp giảm tần suất can thiệp cơ khí mà còn nâng cao độ ổn định, tuổi thọ thiết bị, cũng như hiệu quả giám sát và vận hành hệ thống thông qua SCADA.

Phương án nghiên cứu mới này sẽ tập trung xây dựng thuật toán điều khiển công suất theo thời gian thực tại Inverter, kết hợp với các tín hiệu từ hệ thống SCADA để điều chỉnh P_Settings một cách chủ động và thích ứng với biến thiên tải và điều kiện vận hành tại từng POI.

1.7. Kết luận

Chương này trình bày tổng quan về Khu công nghiệp Thăng Long 2. Đồng thời, nghiên cứu tổng quan về hệ thống điện và hệ thống SCADA trong vận hành điện mặt trời tại khu công nghiệp, tập trung phân tích mô hình phân cấp, kiến trúc truyền thông và thuật toán Zero Export đang được áp dụng.

Trên cơ sở đánh giá toàn diện các thành phần và đặc điểm vận hành của hệ thống điện mặt trời, chương này cung cấp cái nhìn tổng thể về hoạt động và quản lý nguồn năng lượng tái tạo tại Thăng Long 2, cũng như đã phân tích và nêu ra được những nhược điểm của thuật toán Zero Export cũ. Những thông tin thu nhận được sẽ làm cơ sở quan trọng cho việc thiết kế và phát triển các chương trình điều khiển trên thiết bị ILC 171 ETH 2TX, đồng thời hỗ trợ xây dựng các giải pháp thuật toán điều khiển hiệu quả hơn.

Nội dung về việc triển khai cụ thể các chương trình và thuật toán cải tiến sẽ được trình bày chi tiết trong chương tiếp theo nhằm hoàn thiện hệ thống quản lý và vận hành điện mặt trời tại khu công nghiệp.

Chương 2 : THIẾT KẾ VÀ LẬP TRÌNH ĐIỀU KHIỂN CHO PLC ILC 171 ETH 2TX SỬ DỤNG PHẦN MỀM PC WORX TRONG HỆ THỐNG SCADA

2.1. Giới thiệu về PLC ILC 171 ETH 2TX

ILC 171 ETH 2TX là bộ điều khiển logic khả trình (PLC) thuộc dòng Inline của Phoenix Contact, được thiết kế cho các ứng dụng tự động hóa công nghiệp quy mô nhỏ và vừa. Thiết bị hỗ trợ lập trình bằng phần mềm PC Worx, tuân theo chuẩn IEC 61131-3 với các ngôn ngữ như Ladder, ST, FBD, giúp việc phát triển chương trình trở nên linh hoạt và dễ tiếp cận.

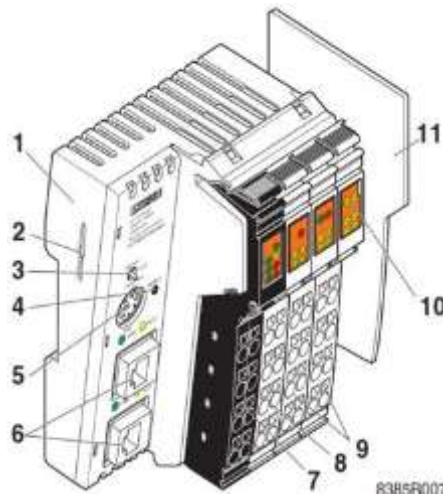
Với hai cổng Ethernet tích hợp, ILC 171 ETH 2TX hỗ trợ các giao thức như Modbus TCP/IP hoặc PROFINET, phù hợp cho kết nối với hệ SCADA hoặc các thiết bị mạng khác. Khả năng mở rộng qua các module I/O dạng Inline cho phép thiết bị dễ dàng tích hợp cảm biến, cơ cấu chấp hành theo yêu cầu.



Hình 2.1. Bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX

Nhờ thiết kế nhỏ gọn, khả năng kết nối linh hoạt và hiệu năng vận hành ổn định, ILC 171 ETH 2TX là lựa chọn phù hợp cho nhiều ứng dụng điều khiển và giám sát trong môi trường công nghiệp hiện đại. Thiết bị hỗ trợ đa dạng giao thức truyền thông công nghiệp, dễ dàng tích hợp vào các hệ thống tự động hóa, đồng thời đảm bảo độ tin cậy và hiệu suất xử lý cao trong các điều kiện vận hành liên tục và khắc khe.

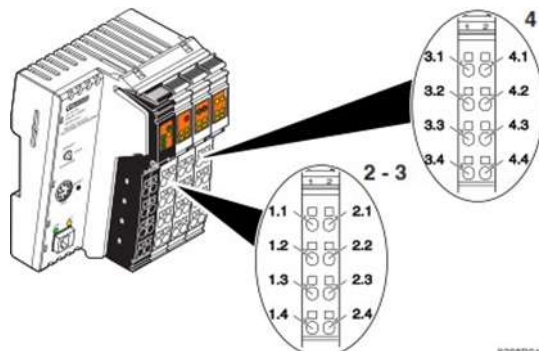
2.1.1. Cấu tạo của bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX



Hình 2.2. Tổng quan cấu tạo ILC171 ETH 2TX

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1. Vỏ. | 5. Cổng RS232. | 9. Terminal Input. |
| 2. Khe cắm thẻ SD. | 6. Cổng Ethernet: 2 cổng | 10. Đèn báo. |
| 3. Công tắc chọn chế độ hoạt động. | 7. Terminal cấp nguồn: 24V. | |
| 4. Nút nhấn Reset. | 8. Terminal Output. | |

2.1.2. Các chân kết nối của bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX



Hình 2.3. Các chân digital inputs và outputs trên ILC 171 ETH 2TX

Trên bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX được mô tả như Hình 2.3, ba terminal tại các vị trí số 2, 3 và 4 được sử dụng cho các tín hiệu digital input và digital output. Các chân này hoạt động với mức điện áp điều khiển là 24VDC. Cấu trúc đấu nối, chức năng cụ thể của từng chân, cũng như các ký hiệu liên quan được minh họa trong Hình 2.3 và trình bày chi tiết trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Bảng các chân digital inputs và digital outputs trên ILC 171 ETH 2TX

Terminal Point	Phân công	Chú thích
Connector 2	Output	
1.1	Q1	Output 1
2.1	Q2	Output 2
1.2, 2.2	GND	Nối đất cho kết nối 2-3 dây dẫn
1.3, 2.3	FE	Nối đất chức năng cho kết nối 3 dây dẫn
1.4	Q3	Output 3
2.4	Q4	Output 4
Connector 3	Input	
1.1	I1	Input 1
2.1	I2	Input 2
1.2, 2.2	24V	Cấp nguồn 24V cho <i>UM</i> cho 2-3 dây dẫn kết nối
1.3, 2.3	GND	Nối đất cho 3 dây dẫn kết nối
1.4	I3	Input 3
2.4	I4	Input 4
Connector 4	Input	
3.1	I5	Input 5
4.1	I6	Input 6
3.2, 4.2	24V	Cấp nguồn 24V cho <i>UM</i> cho 2-3 dây dẫn kết nối
3.3, 4.3	GND	Nối đất cho 3 dây dẫn kết nối
3.4	I7	Input 7
4.4	I8	Input 8

2.1.3. Các giao thức được hỗ trợ trên bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX và lựa chọn giao thức phù hợp cho đề tài

Bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX hỗ trợ nhiều giao thức truyền thông công nghiệp phổ biến, giúp dễ dàng tích hợp với các hệ thống SCADA và thiết bị điều khiển khác, bao gồm:

- Modbus TCP/IP : là giao thức được sử dụng rộng rãi trên thiết bị này nhờ tính đơn giản, dễ cấu hình và tương thích với nhiều thiết bị. Tuy nhiên, Modbus TCP/IP không hỗ trợ truyền thông thời gian thực và thiếu các tính năng bảo mật nâng cao, hạn chế khi áp dụng trong các hệ thống yêu cầu phản hồi nhanh và an toàn cao.
- PROFINET : là giao thức này hỗ trợ truyền dữ liệu thời gian thực, giúp nâng cao độ ổn định và hiệu quả vận hành hệ thống. PROFINET phù hợp với các ứng dụng tự động hóa phức tạp nhưng lại có cấu hình và vận hành phức tạp hơn, đòi hỏi kỹ thuật viên có chuyên môn và chi phí triển khai cao hơn.
- EtherNet/IP : là giao thức dựa trên chuẩn CIP, thích hợp cho các hệ thống sử dụng thiết bị Rockwell hoặc đòi hỏi khả năng mở rộng linh hoạt. EtherNet/IP truyền dữ liệu nhanh, hỗ trợ đồng thời điều khiển và giám sát, nhưng ít phổ biến tại một số thị trường và cũng cần kiến thức vận hành chuyên sâu.

=> Mặc dù các giao thức như PROFINET hoặc EtherNet/IP có nhiều ưu điểm trong hệ thống lớn và yêu cầu thời gian thực cao, nhưng trong phạm vi đề tài này – nơi cần một giải pháp linh hoạt, dễ tùy chỉnh và có thể tích hợp với phần mềm giám sát – giao thức TCP/IP là lựa chọn tối ưu nhất để đảm bảo vừa hiệu quả vận hành vừa phù hợp với năng lực triển khai.

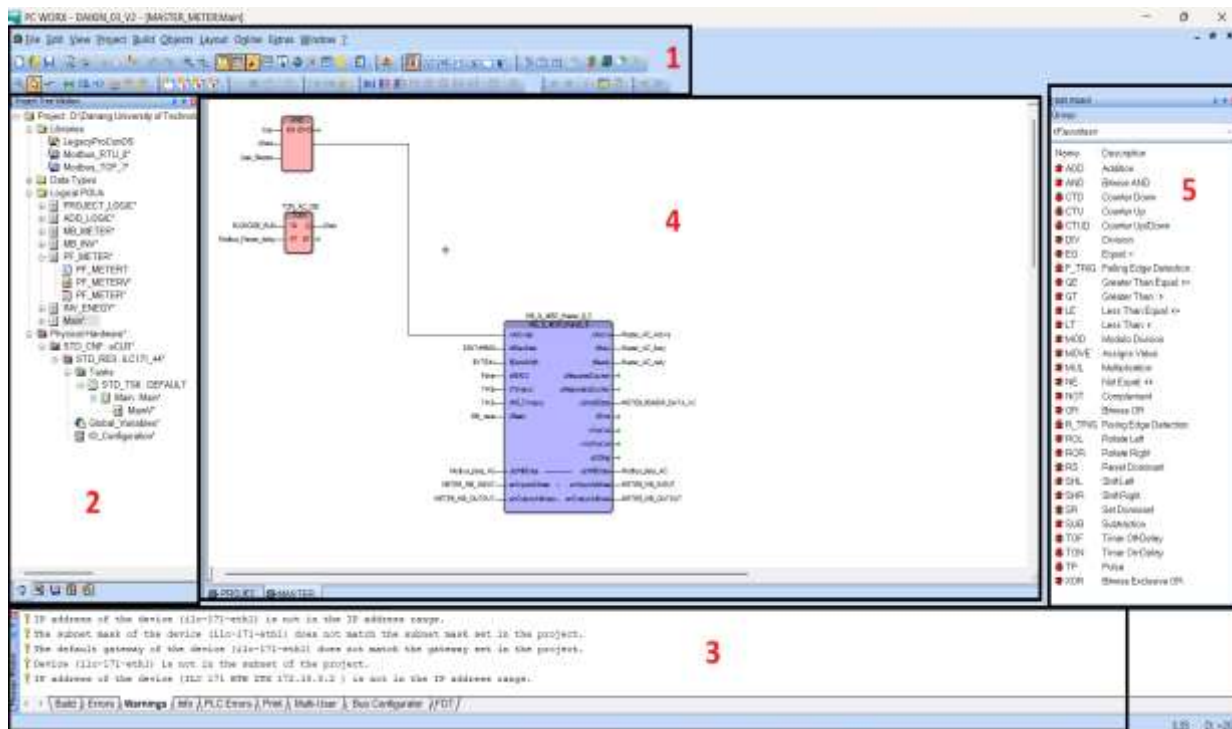
2.2. Giới thiệu về phần mềm PC Worx lập trình cho ILC 171 ETH 2TX

2.2.1. Tổng quan về phần mềm

Phần mềm PC WORX là một công cụ lập trình chuyên dụng, được thiết kế nhằm hỗ trợ phát triển và cấu hình các bộ điều khiển lập trình (PLC) của hãng Phoenix Contact, trong đó có dòng ILC 171 ETH 2TX. PC WORX cung cấp môi trường thân thiện, tích hợp nhiều chức năng mạnh mẽ giúp người dùng dễ dàng xây dựng, chỉnh sửa và quản lý chương trình điều khiển. Phần mềm này hỗ trợ nhiều ngôn ngữ lập trình chuẩn theo IEC 61131-3, giúp tăng tính linh hoạt và tương thích với đa dạng ứng dụng tự động hóa.

Với giao diện trực quan cùng khả năng mô phỏng và kiểm tra lỗi, PC WORX giúp tối ưu hóa quá trình phát triển, giảm thiểu thời gian vận hành và nâng cao độ tin cậy cho

hệ thống điều khiển. Nhờ những ưu điểm này, PC WORX trở thành lựa chọn phổ biến cho các dự án tự động hóa công nghiệp sử dụng bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX.



Hình 2.4. Giao diện phần mềm PC Worx

Giao diện phần mềm bao gồm các thành phần cơ bản :

1. Thanh công cụ (Toolbar)
2. Cây dự án (Project Navigator / Project Tree)
3. Thanh thông báo/trạng thái (Message & Status Bar)
4. Cửa sổ lập trình chính (Programming Editor)
5. Trình hướng dẫn khối hàm (Edit Wizard / Instruction List)

2.2.2. Lựa chọn ngôn ngữ lập trình trên phần mềm PC Worx để cấu hình cho ILC 171 ETH 2TX

a. Các ngôn ngữ lập trình trên PC Worx

PC WORX hỗ trợ tất cả các ngôn ngữ lập trình, theo IEC 61131-3 gồm :

- Sơ đồ khối chức năng (FBD – *Function Block Diagram*)
- Biểu đồ bậc thang (Ladder Diagram – LD)
- Ngôn ngữ văn bản có cấu trúc (Structured Text – ST)
- Biểu đồ chức năng tuần tự (SFC)
- Trình soạn thảo lệnh lô-gic dạng tiếp điểm.

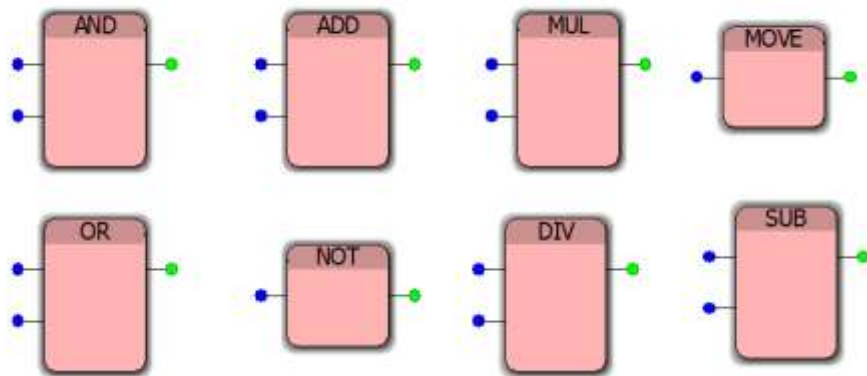
Bảng 2.2. So sánh ưu nhược điểm của các ngôn ngữ lập trình được hỗ trợ

Ngôn ngữ	Ưu điểm	Nhược điểm	Phù hợp với
Ladder Diagram (LD)	<ul style="list-style-type: none"> - Gần gũi với kỹ thuật viên điện. - Dễ đọc, dễ học. - Phù hợp cho điều khiển logic cơ bản. 	<ul style="list-style-type: none"> - Khó mở rộng với các thuật toán phức tạp. - Dễ rớt nếu chương trình lớn. 	Các hệ thống điều khiển đơn giản, logic bật/tắt.
Function Block Diagram (FBD)	<ul style="list-style-type: none"> - Trực quan, dễ hiểu. - Mạnh trong xử lý điều khiển, PID, timer. - Phù hợp cả logic và thuật toán. 	<ul style="list-style-type: none"> - Với chương trình lớn, sơ đồ dễ chiếm nhiều không gian và khó sắp xếp. 	Tự động hóa công nghiệp, điều khiển SCADA.
Structured Text (ST)	<ul style="list-style-type: none"> - Mạnh mẽ, linh hoạt. - Phù hợp xử lý dữ liệu, thuật toán phức tạp. - Hỗ trợ biến, mảng, vòng lặp tốt. 	<ul style="list-style-type: none"> - Không trực quan, yêu cầu kỹ năng lập trình cao. - Khó tiếp cận với người mới. 	Điều khiển nâng cao, xử lý dữ liệu lớn.
Sequential Function Chart (SFC)	<ul style="list-style-type: none"> - Thể hiện quy trình tuần tự rõ ràng. - Dễ quản lý trạng thái, tiến trình. 	<ul style="list-style-type: none"> - Không dùng được lập được. - Phức tạp nếu quy trình nhỏ hoặc không có logic tuần tự rõ ràng. 	Điều khiển theo bước, theo chu trình công nghiệp.
Instruction List (IL)	<ul style="list-style-type: none"> - Gần ngôn ngữ máy, nhanh và tiết kiệm tài nguyên. - Phù hợp với phần cứng giới hạn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Khó đọc, khó viết, không trực quan. - Ít được hỗ trợ trong phần mềm hiện đại. 	Các hệ thống cũ, cần tối ưu tài nguyên phần cứng.

⇒ FBD (Function Block Diagram) là ngôn ngữ được lựa chọn cho đề tài nhờ khả năng trực quan, dễ tiếp cận, đồng thời hỗ trợ tốt các tác vụ điều khiển, mô phỏng và tích hợp SCADA – phù hợp với yêu cầu của hệ thống giám sát điều khiển trong công nghiệp như ở đề tài.

b. Sơ lược về ngôn ngữ lập trình FBD

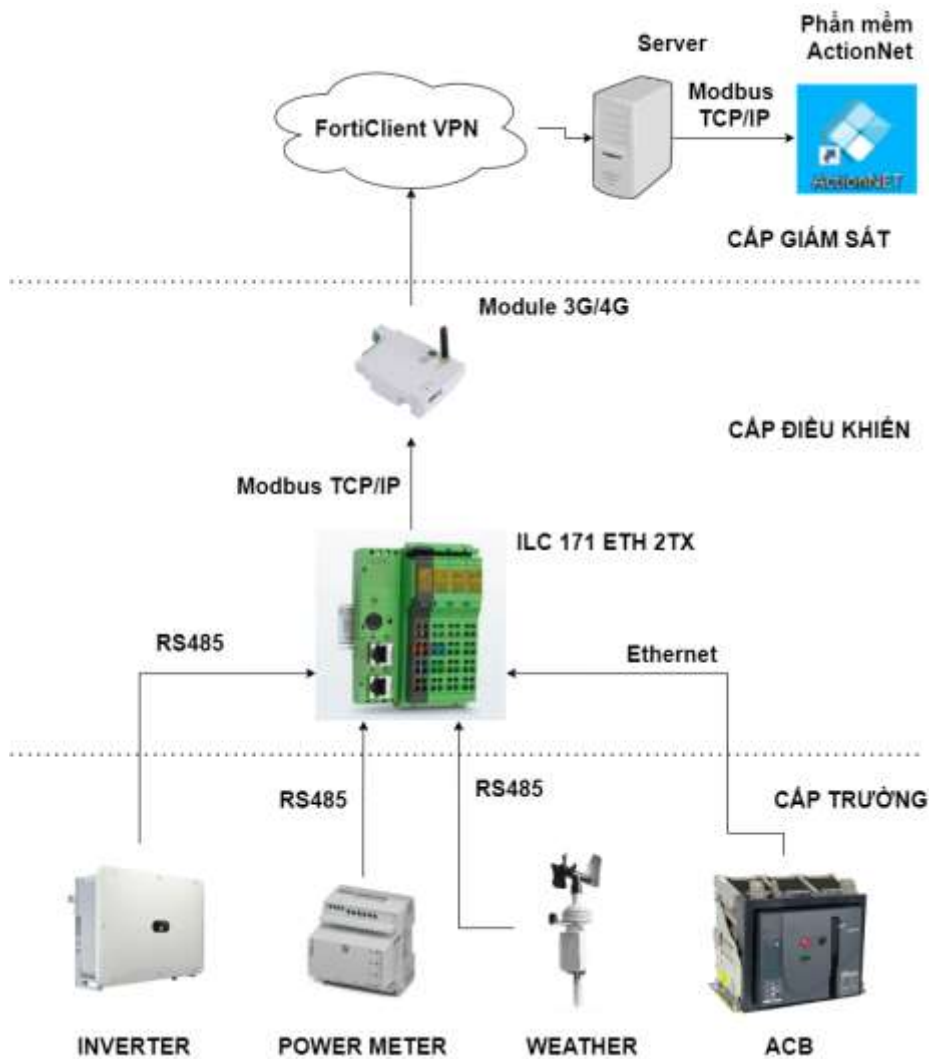
FBD, viết tắt của Function Block Diagram, là một trong những ngôn ngữ lập trình tiêu chuẩn theo IEC 61131-3, được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực tự động hóa và điều khiển công nghiệp. FBD thuộc dạng ngôn ngữ lập trình đồ họa, cho phép người dùng xây dựng chương trình bằng cách kết nối các khối hàm (function block) theo sơ đồ mạch logic. Mỗi khối hàm đại diện cho một chức năng cụ thể như: logic (AND, OR, NOT), tính toán số học (ADD, SUB, MULTIPLY), bộ đếm, bộ định thời (TIMER), hoặc các khối điều khiển nâng cao như PID.



Hình 2.5. Các khối cơ bản trong ngôn ngữ FBD

Ngôn ngữ lập trình FBD được ưa chuộng rộng rãi trong lĩnh vực tự động hóa nhờ vào tính trực quan, dễ tiếp cận và khả năng sử dụng hiệu quả, ngay cả đối với những người mới bắt đầu hoặc không có kiến thức chuyên sâu về lập trình. Với đặc điểm thiết kế dựa trên các khối chức năng được kết nối trực quan, FBD cho phép mô hình hóa rõ ràng và dễ hiểu các luồng tín hiệu và dữ liệu trong hệ thống điều khiển. Các khối chức năng này đại diện cho các hoạt động cụ thể, chẳng hạn như phép toán logic, tính toán số học hoặc điều khiển thời gian, được liên kết với nhau thông qua các đường truyền tín hiệu, giúp người dùng dễ dàng hình dung và xây dựng các quy trình điều khiển phức tạp. Nhờ vào tính linh hoạt và khả năng biểu diễn trực quan, FBD đặc biệt phù hợp cho việc thiết kế và triển khai các hệ thống điều khiển trong các ứng dụng công nghiệp, bao gồm máy móc đơn lẻ, dây chuyền sản xuất tự động và các hệ thống SCADA.

2.3. Phương án truyền thông của dự án



Hình 2.6. Giải pháp truyền thông trong hệ thống SCADA điện mặt trời của KCN Thăng Long 2

Sơ đồ ở Hình 2.6 mô tả kiến trúc truyền thông của hệ thống giám sát và điều khiển năng lượng, được phân chia thành ba cấp chính: cấp trường, cấp điều khiển, và cấp giám sát. Mỗi cấp đóng một vai trò nhất định trong quá trình thu thập, truyền tải, xử lý và hiển thị dữ liệu vận hành của hệ thống. Ở cấp trường (Field level), hệ thống bao gồm các thiết bị đo lường và điều khiển trực tiếp tại hiện trường như inverter, công tơ điện (power meter), trạm thời tiết và máy cắt không khí (ACB). Inverter có nhiệm vụ chuyển đổi điện một chiều (DC) thành điện xoay chiều (AC) để hòa lưới điện. Công tơ điện được sử dụng để đo các thông số quan trọng như điện áp, dòng điện và công suất tiêu thụ. Trạm thời tiết cung cấp các dữ liệu môi trường thiết yếu như bức xạ mặt trời, nhiệt độ và vận tốc gió, giúp hỗ trợ cho việc điều chỉnh và tối ưu hệ thống. Máy cắt không khí (ACB) đóng vai trò là thiết bị đóng/ngắt nguồn tải lớn nhằm đảm bảo an toàn trong quá

trình vận hành. Các thiết bị tại cấp trường kết nối và truyền dữ liệu với bộ điều khiển trung tâm PLC thông qua các giao thức truyền thông RS485 hoặc Ethernet. Tại cấp điều khiển (Control level), bộ điều khiển trung tâm là PLC ILC 171 ETH 2TX, có nhiệm vụ thu thập và xử lý dữ liệu từ các thiết bị hiện trường thông qua các giao thức RS485 và Ethernet. Sau khi dữ liệu được xử lý, PLC truyền tải thông tin lên cấp giám sát thông qua giao thức TCP/IP, đồng thời kết nối với module truyền thông 3G/4G để đảm bảo khả năng truyền dữ liệu từ xa, giúp hệ thống luôn duy trì kết nối ổn định và đáng tin cậy. Cấp giám sát (Supervisory level) bao gồm một server trung tâm cài đặt phần mềm ActionNet. Server này nhận dữ liệu từ PLC qua kết nối TCP/IP và thực hiện xử lý, hiển thị các thông số để người vận hành có thể theo dõi và điều khiển hệ thống từ xa một cách thuận tiện. Để đảm bảo an toàn khi truy cập từ xa, kết nối được bảo vệ thông qua VPN FortiClient, ngăn chặn các nguy cơ xâm nhập và bảo vệ dữ liệu toàn vẹn.

2.3.1. Các thiết bị sử dụng trong hệ thống SCADA

a. Thiết bị cấp trường

Các thiết bị ở cấp trường là phần tử kết nối trực tiếp với máy móc, bao gồm cảm biến và cơ cấu chấp hành. Chúng chuyển đổi các đại lượng vật lý như lưu lượng, mức, nhiệt độ... thành tín hiệu điện mà PLC hoặc RTU có thể đọc được. Tín hiệu số dùng để đóng/mở thiết bị, còn tín hiệu tương tự dùng để điều khiển liên tục các thiết bị như van hoặc động cơ. Các thiết bị cấp trường được sử dụng :

- Inverter hoà lưới: Sungrow Inverter SG110CX



Hình 2.7. Inverter hoà lưới Sungrow SG110CX

Biến tần (Inverter) là thiết bị giữ vai trò trung tâm trong hệ thống điện mặt trời, chịu trách nhiệm chuyển đổi dòng điện một chiều (DC) từ tấm pin thành dòng xoay chiều (AC) để hòa lưới. Trong các dự án có quy mô vừa và lớn, thiết bị Sungrow 110kW

(SG110CX) (như Hình 2.7) được sử dụng phổ biến nhờ hiệu suất cao, độ bền tốt và khả năng tương thích linh hoạt với nhiều loại tấm pin. Biến tần này tích hợp các tính năng như dò điểm công suất tối đa (MPPT), bảo vệ chống ngược cực, kết nối giám sát từ xa qua Wi-Fi và vận hành ổn định với hiệu suất đạt tới 98,7%. Với thiết kế hiện đại và chi phí hợp lý, SG110CX là lựa chọn phù hợp cho các hệ thống điện mặt trời thương mại và công nghiệp. Các thông số cơ bản của Inverter hoà lưới Sungrow SG110CX được trình bày ở Bảng 2.3

Bảng 2.3. Thông tin Sungrow SG110CX

Thông số kỹ thuật	Chi tiết
Kích thước	1,051 x 660 x 362.5mm
Khối lượng	85kg
Cấp bảo vệ	IP66
Phương thức cách ly	Không biến áp
Độ ẩm cho phép (không ngưng tụ)	0% - 100%
Dải nhiệt độ hoạt động	-30°C đến 60°C
Hiển thị	Led, Bluetooth+APP
Giao tiếp	RS485, Wifi, Ethenet
Hiệu suất	98,7%
Thông số ngõ vào	Chi tiết
Điện áp vào định mức/Cực đại	585V / 1100V
Điện áp vào cực tiểu/ Khởi động	200V/ 250V
Số lượng ngõ vào Mpp độc lập	9
Số lượng string tối đa của mỗi MPPT	2
Dòng cực đại mỗi ngõ vào	30A
Dòng ngắn mạch DC cực đại	40A * 9
Thông số ngõ ra	Chi tiết
Công suất ngõ ra cực đại	110kVA @ 45°C/ 100kVA @ 50°C
Dòng cực đại ngõ ra	158.8A
Dải điện áp AC	320V – 460V
Dải tần số lưới điện định mức	40Hz/ 30 - 55Hz/ 55 - 65Hz
Số pha điện	3

- Trạm quan trắc thời tiết PVmet200



Hình 2.8. Trạm quang trắc thời tiết PVmet200

Thiết bị PVmet200 (Hình 2.8) là trạm đo thời tiết được sử dụng trong các hệ thống điện mặt trời nhằm giám sát các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến hiệu suất vận hành. Sản phẩm này do Campbell Scientific phát triển, nổi bật với khả năng đo chính xác nhiều thông số như bức xạ mặt trời, nhiệt độ, gió và lượng mưa. PVmet200 giao tiếp qua chuẩn Modbus RS-485, đảm bảo khả năng tích hợp dễ dàng với hệ thống điều khiển hiện có. Thiết bị được thiết kế để hoạt động ổn định trong điều kiện khắc nghiệt, thích hợp cho cả môi trường công nghiệp và ngoài trời. Nhờ khả năng cung cấp dữ liệu liên tục và tin cậy, PVmet200 hỗ trợ việc đánh giá và tối ưu hiệu suất hệ thống điện mặt trời một cách hiệu quả. Các thông số cơ bản của PVmet200 được trình bày ở Bảng 2.4.

Bảng 2.4. Thông số trạm quang trắc thời tiết Pvm200

Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Nguồn cấp	10-30 VDC, 50mA
Nhiệt độ	-40°C đến 80°C
Độ ẩm	0-100%
Dải đo bức xạ	0 – 2000 W/m ²
Dải đo quang phổ	285 ~ 2800 nm

- Máy cắt không khí (ACB): AN-10D4-10H



Hình 2.9. Máy cắt không khí AN-10D4-10H

Máy cắt không khí ACB AN-10D4-10H (Hình 2.9) là thiết bị bảo vệ quan trọng trong hệ thống điện, đảm nhận chức năng đóng/cắt mạch khi xảy ra các sự cố như quá tải, ngắn mạch, rò điện, điện áp bất thường. Thiết bị giúp đảm bảo an toàn cho cả thiết bị và con người, đồng thời duy trì sự ổn định cho lưới điện so với các loại máy cắt khác, ACB có cấu tạo phức tạp hơn và kích thước lớn hơn, nhưng cơ chế hoạt động lại khá trực quan. Khi xảy ra sự cố, thiết bị sử dụng luồng khí nén để dập tắt hồ quang và nhanh chóng cắt mạch, đảm bảo an toàn cho hệ thống. ACB nổi bật với khả năng cắt chính xác, độ bền tiếp điểm cao, chống cháy nổ hiệu quả. Ngoài ra, thiết bị còn dễ lắp đặt, bảo trì và thân thiện với người sử dụng, đồng thời phù hợp với các hệ thống công suất lớn nhờ tính ổn định cao. Nhờ đó, ACB trở thành lựa chọn phổ biến trong các hệ thống điện công nghiệp yêu cầu độ tin cậy và an toàn cao. Các thông số cơ bản của máy cắt không khí ACB AN-10D4-10H được trình bày ở Bảng 2.5.

Bảng 2.5. Thông số máy cắt AN-10D4-10H

Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Số cực	4P
Dòng định mức	1000A
Dòng cắt ngắn mạch	65kA
Trip Relay	N, A, P type
Kích thước	300 x 385 x 295mm

- Đồng hồ đa năng Multimeter: PM5350



Hình 2.10. Đồng hồ đa năng Schneider PM5350

Schneider PM5350 là đồng hồ đo điện đa năng dùng để giám sát các thông số điện trong hệ thống điện một chiều và xoay chiều. Thiết bị có thể đo được điện áp, dòng điện, công suất, hệ số công suất, tần số, sóng hài... với độ chính xác cao. Đây là sản phẩm của Schneider Electric, thương hiệu uy tín trong lĩnh vực thiết bị điện công nghiệp. PM5350 tích hợp màn hình LCD hiển thị thông số rõ ràng, đồng thời có khả năng lưu trữ và ghi lại dữ liệu đo theo thời gian thực. Thiết bị hỗ trợ các chức năng bảo vệ như quá dòng, quá áp và cảnh báo khi các thông số vượt ngưỡng cài đặt. Ngoài ra, PM5350 có thể kết nối dễ dàng với hệ thống SCADA hoặc BMS thông qua nhiều chuẩn truyền thông như Modbus, Profibus, Ethernet, RS485 và RS232, giúp tối ưu hóa khả năng quản lý và điều khiển từ xa trong các hệ thống công nghiệp và thương mại. Các thông số cơ bản của đồng hồ Schneider PM5350 được trình bày ở Bảng 2.6.

Bảng 2.6. Thông số đồng hồ Schneider PM5350

Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Nguồn cấp	85-265V AC/ 45-65Hz/ 100-300V DC
Loại màn hình	Backlit LCD, 6 lines
Giao thức giao tiếp	JBUS; Modbus RTU; ASCII 9.6, 19.2 và 38.4 kbauds
Hỗ trợ cổng giao tiếp	RS485
Kích thước (ngang – cao)	96mm – 96mm

b. Các thiết bị cấp điều khiển

RTU (Remote Terminal Unit) là thiết bị đầu cuối được lắp đặt tại hiện trường hoặc các vị trí xa trung tâm, có khả năng thu thập dữ liệu, lưu trữ tạm thời và thực hiện các lệnh điều khiển từ hệ thống giám sát trung tâm (MTU). RTU đảm nhiệm vai trò trung gian giữa các thiết bị cấp trường và trung tâm điều khiển, truyền dữ liệu khi được yêu cầu và thực hiện phản hồi theo lệnh điều khiển. Cấu trúc một RTU điển hình bao gồm bộ xử lý trung tâm kèm bộ nhớ, các mô-đun vào/ra số (DI/O) và tương tự (AI/O), mô-đun truyền thông, bộ đếm xung và nguồn nuôi. Thiết bị còn tích hợp phần mềm điều khiển với các thuật toán xử lý như PID hoặc đo lưu lượng. Trong các hệ thống hiện đại, nhiều loại thiết bị điện tử thông minh (IED) đã và đang dần thay thế RTU nhờ tính tích hợp cao và khả năng xử lý mạnh mẽ hơn.

Một thiết bị đầu cuối được sử dụng trong hệ thống là ILC 171 ETH 2TX của Phoenix Contact. Đây là bộ điều khiển nhỏ gọn, hiệu năng cao, hỗ trợ đầy đủ các giao thức truyền thông chuẩn ngành điện như IEC 60870-5-104/101. Thiết bị có khả năng mở rộng tới 4096 I/O với các mô-đun nội tuyến, hỗ trợ Modbus/TCP, PROFINET và nhiều giao thức mạng như http, https, FTP, SNTP, SNMP, SMTP, SQL... ILC 171 ETH 2TX còn được trang bị bộ nhớ mở rộng qua thẻ SD (tối đa 2GB), tích hợp Web server theo chuẩn HTML5, hỗ trợ lập trình miễn phí qua phần mềm PC Worx Express theo tiêu chuẩn IEC 61131-3. Ngoài ra, thiết bị còn có chức năng ghi dữ liệu (datalogger), lưu trữ dưới dạng tệp *.txt hoặc *.csv tại PLC hoặc trên FTP từ xa. Nhờ những ưu điểm về tính năng và khả năng kết nối linh hoạt, ILC 171 ETH 2TX là lựa chọn phù hợp trong các ứng dụng tự động hóa trạm điện trung thế.

Các thông tin, cấu hình, thông số của ILC 171 ETH 2TX đã được trình bày ở mục 2.1.

c. Các thiết bị cấp giám sát

Thiết bị cấp giám sát đóng vai trò quan trọng trong hệ thống điều khiển và tự động hóa, đặc biệt trong các hệ thống SCADA. Các thiết bị này có nhiệm vụ thu thập, xử lý, hiển thị và lưu trữ dữ liệu đo lường từ hiện trường, giúp người vận hành dễ dàng giám sát trạng thái vận hành của hệ thống và phát hiện kịp thời các bất thường. Nhờ khả năng kết nối và truyền thông linh hoạt, thiết bị cấp giám sát còn đóng vai trò trung gian giữa hệ thống điều khiển trung tâm và các thiết bị đầu cuối. Các thiết bị cấp giám sát được sử dụng bao gồm:

- Máy tính vận hành: Dell Precision 3660



Hình 2.11. Máy tính vận hành Dell Precision 3660

Máy tính Operator là thiết bị được sử dụng trong phân cấp vận hành của hệ thống SCADA, cho phép người vận hành theo dõi và giám sát toàn bộ hoạt động của hệ thống cũng như thực hiện các thao tác điều khiển như đóng, cắt các thiết bị cấp trường. Tuy nhiên, để đảm bảo an toàn và tính ổn định của hệ thống, máy tính này không có quyền truy cập để lập trình hoặc thay đổi cấu hình hệ thống điều khiển. Mọi thao tác can thiệp sâu vào hệ thống chỉ được thực hiện trên các máy tính lập trình chuyên dụng có phân quyền cao hơn. Việc phân quyền rõ ràng như vậy giúp hạn chế rủi ro do thao tác sai và bảo vệ hệ thống khỏi các tác động không mong muốn từ phía người vận hành. Các thông số cơ bản của máy tính vận hành Dell Precision 3660 được trình bày ở Bảng 2.7.

Bảng 2.7. Thông số Máy tính vận hành Dell Precision 3660

Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Chip xử lý	Intel Core i9-12900 processor (30MB Cache, 16 Core , 2.4GHz to 5.1GHz)
RAM	8GB DDR5 4400MHz (x4 slot)
Ổ cứng	1TB 7200rpm 3.5" HDD
Card đồ họa	NVIDIA T1000 4GB
Cổng xuất hình	4x DisplayPort 1.4
Kết nối mạng LAN	RJ45 port 10/100/1000 Mbps
Hệ điều hành	No-OS

- Thiết bị đồng bộ thời gian GPS: Hopf 8030HEPTA/GPS



Hình 2.12. Thiết bị đồng bộ thời gian Hopf 8030HEPTA/GPS

Thiết bị đồng bộ thời gian Hopf 8030HEPTA/GPS (như Hình 2.12) là giải pháp định thời chính xác cao sử dụng tín hiệu GPS, giúp đồng bộ thời gian cho các hệ thống mạng và điều khiển công nghiệp. Thiết bị có thể kết nối đồng thời với ít nhất 7 vệ tinh, đảm bảo độ chính xác và ổn định trong mọi điều kiện. Nó hỗ trợ nhiều giao thức phổ biến như NTP, PTP và IRIG-B, dễ dàng tích hợp với các hệ thống SCADA hoặc hệ thống yêu cầu độ đồng bộ thời gian nghiêm ngặt. Với thiết kế bền bỉ, giao diện thân thiện và khả năng hoạt động liên tục, Hopf 8030HEPTA/GPS là lựa chọn lý tưởng cho các ứng dụng cần đồng bộ thời gian đáng tin cậy. Các thông số cơ bản của thiết bị đồng bộ thời gian Hopf 8030HEPTA/GPS được trình bày ở Bảng 2.8.

Bảng 2.8. Thông số thiết bị đồng bộ thời gian Hopf 8030HEPTA/GPS

Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Khe cắm	4 modules network time server 9030NTS/M IRIG-B DCF77 Cyclic Pulses (PPS, PPM, etc.)
Giao thức thời gian	RFC5905
Số cổng Ethernet	2 x cổng tốc độ 10/100/1000mpbs
Cảnh báo	SNMPv2c/ SNMPv3 Thông báo qua email SYSLOG

Thiết lập kênh	HTTP/ HTTPS WebGUI (trình duyệt cơ bản) Telnet SSH Công cụ thiết lập mạng LAN ngoài
Giao thức TCP/ IP	HTTP/ HTTPS DHCP Telnet SSH SNMP; SMTP; SYSLOG (cần mở khoá)
Nguồn	100 – 240 VAC (tiêu chuẩn) 110 – 250 VDC; 24 VDC; 48 VDC

d. Một số thiết bị truyền thông

- Modem không dây 3G/4G: EW50 EUS



Hình 2.13. EW50 3G/4G Modem không dây VPN

W50-EUS (Hình 2.13) là modem 3G/4G công nghiệp của hãng E-Lins, hỗ trợ truyền dữ liệu từ xa qua mạng di động và cung cấp kết nối internet ổn định trong môi trường khắc nghiệt. Thiết bị hỗ trợ nhiều giao thức như TCP/IP, UDP, DHCP, NAT... đồng thời tích hợp Wi-Fi và cho phép thiết lập kết nối VPN bảo mật (SSH/IPsec), phù hợp với các hệ thống giám sát điều khiển. Với khả năng hoạt động ổn định trong dải nhiệt độ rộng và môi trường có nhiễu cao, W50-EUS đáp ứng tốt yêu cầu trong các ứng dụng công nghiệp. Trong dự án điện mặt trời KCN Thăng Long 2, thiết bị này được sử dụng để kết nối từ xa giữa các trạm hiện trường và trung tâm điều khiển, đảm bảo quá trình thu thập dữ liệu diễn ra an toàn, liên tục và hiệu quả. Các thông số cơ bản của modem không dây EW50 3G/4G được trình bày ở Bảng 2.9.

Bảng 2.9. Thông số Modem không dây EW50 3G/ 4G

Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Nguồn	9 - 36VDC
Hỗ trợ mạng	2G, 3G, 4G
Số sim hỗ trợ	2 x sim với chế độ chạy dự phòng
Số cổng Ethernet	2 x cổng tốc độ 10/100/1000mpbs với 1 cổng tương tự WAN
Cổng USB	1 x cổng USB 2.0 Type A
Đầu vào ra mở rộng	1 x Input (Logic) – 1 x Output (Relay Mode)
Nhiệt độ hoạt động	30°C đến +70 °C
Cấp bảo vệ	IP30
Kích thước	31mm x 99mm x 130.6mm

- Firewall: Fortigate 100F



Hình 2.14. Firewall: Fortigate 100F

FortiGate 100F (Hình 2.14) là thiết bị tường lửa thế hệ mới của Fortinet, tích hợp nhiều chức năng bảo mật như kiểm soát truy cập, phòng chống xâm nhập (IPS), quản lý băng thông và thiết lập VPN cho kết nối từ xa an toàn. Thiết bị còn hỗ trợ bảo mật hợp nhất (UTM) như lọc web, thư rác và quản lý ứng dụng, cùng giao diện quản trị trực quan giúp tối ưu giám sát và vận hành hệ thống mạng. Ngoài ra, FortiGate 100F có khả năng phát hiện và ngăn chặn các mối đe dọa theo thời gian thực, giúp nâng cao tính an toàn cho toàn bộ hệ thống. Với hiệu năng xử lý cao và khả năng mở rộng linh hoạt, thiết bị này phù hợp cho cả môi trường doanh nghiệp vừa và lớn. Các thông số cơ bản của tường lửa FortiGate 100F được trình bày ở Bảng 2.10.

Bảng 2.10. Vị trí các cổng và thông số tường lửa Fortigate 1000F

Vị trí	Cổng
1	Cổng USB
2	Cổng điều khiển
3	2 cổng GE RJ45 MGMT/DMZ
4	2 cổng GE RJ45 WAN
5	2 cổng GE RJ45 HA
6	12 cổng GE RJ45
7	2 khe GE SFP+ FortiLink
8	4 cặp khe GE SFP
9	4 x GE RJ45/SFP Shared Media Pair
Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Firewall	20Gbps
IPS	2,6 Gbps
NGFW	1,6 Gbps
Threat protection	1 Gbps

- Switch: Cisco C1000FE-24P-4G-L



Hình 2.15. Switch: Cisco C1000FE-24P-4G-L

Cisco C1000FE-24P-4G-L (Hình 2.15) là bộ chuyển mạch Layer 2 phổ thông, phù hợp cho các hệ thống văn phòng, doanh nghiệp vừa và khu công nghiệp hiện đại. Thiết bị hỗ trợ 24 cổng Fast Ethernet và 4 cổng uplink Gigabit, đáp ứng nhu cầu kết nối thiết bị đầu cuối với hiệu suất ổn định. Switch hỗ trợ cấu hình thông qua giao diện web trực quan, dễ dàng triển khai và quản lý. Ngoài ra, thiết bị cho phép kiểm soát truy cập ở quy mô lớn và phân đoạn lưu lượng nhằm nâng cao hiệu quả bảo mật trong hệ thống mạng. Các thông số cơ bản của Switch Cisco C1000FE-24P-4G-L được trình bày ở Bảng 2.11.

Bảng 2.11. Thông số Switch Cisco C1000FE-24P-4G-L

Thông số kĩ thuật chung	Chi tiết
Nguồn	110V - 220VAC; 50Hz - 60Hz 0.23A - 0.35A
Hệ điều hành	Cisco IOS
Loại Switch	Layer 2
Dạng Switch	Rack mountable 1U
Số cổng hỗ trợ	14
Hiệu suất hoạt động	Forwarding bandwidth: 6.4 Gbps Switching bandwidth: 12.8 Gbps Forwarding rate: 9.52 Mpps
Kích thước	17.32 x 13.78 x 1.73 inches

- Switch mạng 5 ports EX42005-00-1-A



Hình 2.16. Switch mạng 5 ports EX42005-00-1-A

Bộ chuyển mạch công nghiệp EX42005-00-1-A (Hình 2.16) là thiết bị thuộc dòng Unmanaged Switch, được thiết kế nhỏ gọn nhưng vẫn đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật cho hoạt động ổn định trong môi trường công nghiệp khắc nghiệt. Thiết bị hỗ trợ các tính năng nổi bật như full/half-duplex auto-negotiation, auto MDI/MDIX giúp tự động nhận dạng chế độ truyền và loại cáp kết nối, mang lại sự linh hoạt trong quá trình lắp đặt. Ngoài ra, switch còn tích hợp tính năng QoS (Quality of Service) nhằm đảm bảo độ ưu tiên cho các gói tin quan trọng, hỗ trợ chống bão broadcast để bảo vệ hệ thống khỏi hiện tượng nghẽn mạng do phát tán dữ liệu lan rộng. EX42005-00-1-A cũng tuân thủ chuẩn IEEE 802.3az (Energy Efficient Ethernet), giúp tiết kiệm điện năng bằng cách

giảm tiêu thụ năng lượng khi lưu lượng dữ liệu thấp. Đặc biệt, thiết bị còn được trang bị khả năng chống sét lan truyền lên tới 4 kV, đảm bảo an toàn cho các kết nối mạng trong điều kiện môi trường khắc nghiệt. Với các tính năng trên, EX42005-00-1-A là giải pháp mạng lý tưởng cho các hệ thống tự động hóa công nghiệp, đòi hỏi tính ổn định, an toàn và dễ triển khai. Các thông số kỹ thuật chi tiết của thiết bị được trình bày trong Bảng 2.12.

Bảng 2.12. Thông số Switch EX42005-00-1-A

Thông số kỹ thuật chung	Chi tiết
Nguồn	12 - 48VDC
Tổng số cổng	5
Nhiệt độ công	-10°C đến 60°C
Cấp bảo vệ	IP30

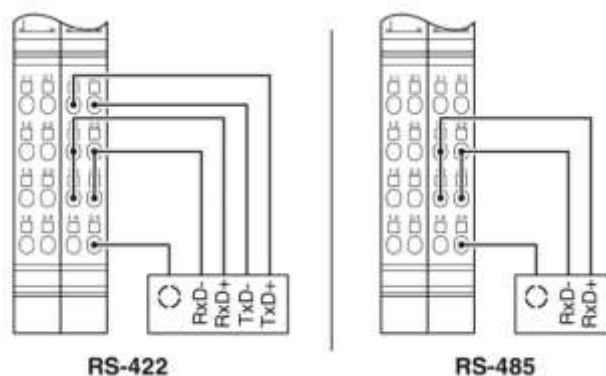
- Module truyền thông IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627



Hình 2.17. Module truyền thông IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627

Module truyền thông IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627 (Hình 2.17) là thiết bị mở rộng được thiết kế để hỗ trợ giao tiếp truyền thông công nghiệp qua các chuẩn RS-485 và RS-422. Module này thường được sử dụng trong các hệ thống tự động hóa và điều khiển để kết nối các thiết bị cấp trường với bộ điều khiển trung tâm, đảm bảo truyền dữ liệu ổn định và chính xác trong môi trường công nghiệp. Với khả năng tương thích cao và cấu hình linh hoạt, IB IL RS 485/422-PRO-PAC đáp ứng tốt các yêu cầu truyền thông đa điểm, giúp tối ưu hóa hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống điều khiển. Thiết bị cũng hỗ trợ các cơ chế bảo vệ chống nhiễu, nâng cao khả năng vận hành liên

tục trong điều kiện môi trường khắc nghiệt. Sơ đồ nối dây của thiết bị được mô tả ở Hình 2.18 và các thông số chi tiết được trình bày ở Bảng 2.13.



Hình 2.18. Nối dây IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627

Bảng 2.13. Thông số chi tiết IB IL RS 485/422-PRO-PAC – 2863627

Tiêu chí	Thông số chi tiết
Giao diện	RS-485 hoặc RS-422 (hoạt động đồng thời)
Tốc độ truyền dữ liệu	Tối đa 38.400 bps (có thể cấu hình)
Dữ liệu dừng / bit dữ liệu / kiểm tra chẵn lẻ	Có thể cấu hình: 7 hoặc 8 bit dữ liệu, 1 hoặc 2 bit dừng, chẵn lẻ hoặc không
Bộ đệm nhận / gửi	4 kB / 1 kB
Điện áp cấp nguồn	7,5 V DC (thông qua jumper điện áp)
Dòng tiêu thụ	170 mA (điển hình), 260 mA (tối đa)
Công suất tiêu thụ	1,275 W (điển hình), 1,950 W (tối đa)
Chống ngắn mạch	Có thể gây hỏng thiết bị nếu ngắn mạch liên tục
Cách ly điện	500 V AC giữa các vùng điện áp
Môi trường hoạt động	Nhiệt độ: -25°C đến +55°C; Độ ẩm: 10% đến 95% (không ngưng tụ)

2.3.2. Giao thức truyền thông Modbus RTU của dự án

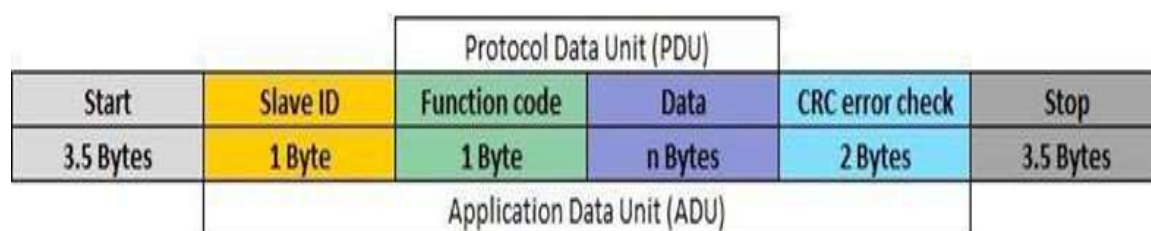
a. Giới thiệu

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) là một giao thức truyền thông nối tiếp thuộc họ giao thức Modbus, được thiết kế nhằm trao đổi dữ liệu giữa các thiết bị điều khiển công nghiệp như PLC, cảm biến, bộ truyền động và hệ thống SCADA. Với cấu trúc dữ liệu dạng nhị phân và phương thức truyền theo khung khép kín, Modbus RTU mang lại hiệu quả cao về tốc độ và độ tin cậy trong môi trường công nghiệp.

Giao thức này thường hoạt động trên các chuẩn vật lý RS-232 hoặc RS-485, trong đó RS-485 được sử dụng phổ biến hơn nhờ khả năng truyền dữ liệu song song giữa nhiều thiết bị trong một mạng đa điểm. Mỗi thiết bị trong mạng Modbus RTU được định danh bằng một địa chỉ duy nhất, cho phép quản lý và điều khiển dễ dàng trong các hệ thống phân tán.

Ưu điểm nổi bật của Modbus RTU là tính đơn giản trong cấu hình, khả năng tương thích rộng với nhiều thiết bị công nghiệp và yêu cầu tài nguyên hệ thống thấp. Giao thức này đặc biệt phù hợp với các ứng dụng giám sát và điều khiển trong công nghiệp nhờ khả năng triển khai nhanh và chi phí thấp. Tuy nhiên, vì là giao thức nối tiếp, nó có những giới hạn về tốc độ truyền và khoảng cách, cũng như không tích hợp sẵn các cơ chế bảo mật hiện đại, nên cần được kết hợp với các giải pháp bảo mật bổ sung khi triển khai trong môi trường nhạy cảm.

Modbus RTU là một giao thức truyền thông công nghiệp phổ biến, hoạt động theo mô hình một Master điều khiển và tối đa 247 Slave, mỗi Slave có địa chỉ riêng biệt từ 1 đến 247. Giao thức này sử dụng kết nối nối tiếp (RS-232 hoặc RS-485) và mã hóa dữ liệu theo dạng nhị phân, giúp truyền tải thông tin nhanh và hiệu quả với tốc độ từ 1.200 đến 115.200 baud (phổ biến là 9.600 hoặc 19.200 baud). Nhờ tính đơn giản, độ tin cậy cao và khả năng tương thích rộng, Modbus RTU được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển và giám sát công nghiệp.



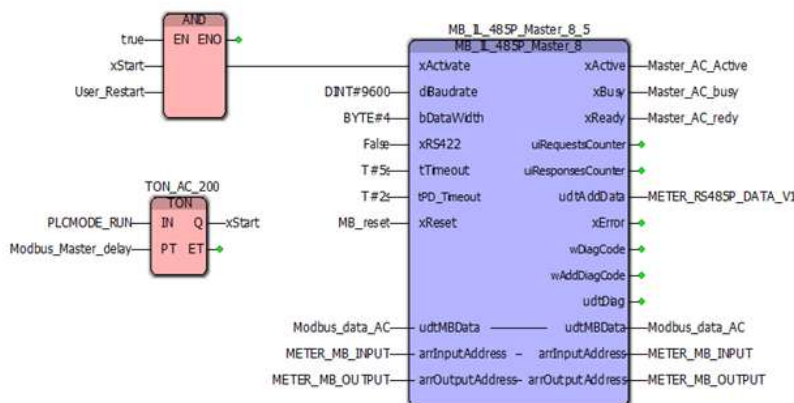
Hình 2.19. Khung truyền Modbus RTU

Một gói tin của Modbus RTU bao gồm : 1 byte địa chỉ – 1 byte mã hàm – n byte dữ liệu – 2 byte CRC. Trong đó :

- Byte địa chỉ: Dùng để xác định địa chỉ thiết bị đích trong quá trình truyền dữ liệu. Trong bản tin từ Master, byte này cho biết Slave nào sẽ nhận lệnh; trong bản tin phản hồi từ Slave, byte này xác định thiết bị gửi dữ liệu. Dải địa chỉ hợp lệ từ 0 đến 254.
- Byte mã hàm: Do Master gửi, xác định loại thao tác yêu cầu như đọc, ghi,...
 Một số mã hàm thông dụng gồm:
 - 01: Đọc các bit đầu ra (Coils)
 - 03: Đọc thanh ghi giữ (Holding Registers)
 - 05: Ghi một bit (Coil) đơn
 - 15: Ghi nhiều bit
- Byte dữ liệu: Chứa thông tin cụ thể tùy theo yêu cầu (địa chỉ thanh ghi, độ dài, giá trị...).
- Đối với lệnh đọc, bản tin từ Master bao gồm: 2 byte địa chỉ dữ liệu và 2 byte độ dài cần đọc. Slave phản hồi với 2 byte địa chỉ, 2 byte độ dài và n byte dữ liệu.
- Đối với lệnh ghi, bản tin từ Master bao gồm: 2 byte địa chỉ, 2 byte độ dài và n byte dữ liệu cần ghi. Slave phản hồi bằng 2 byte địa chỉ và 2 byte độ dài như xác nhận.

b. Xây dựng chương trình Modbus RTU của dự án

- Cấu hình khối Master



Hình 2.20. Khối Modbus Master của đồng hồ AC

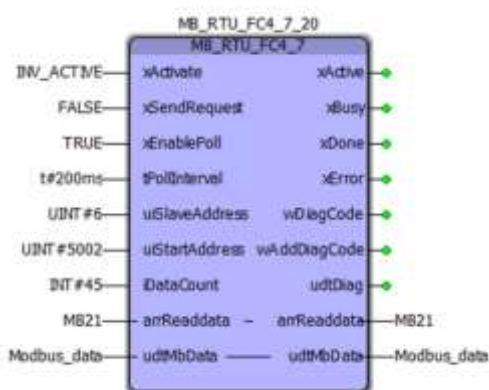
Trong hệ thống điều khiển và giám sát sử dụng giao thức Modbus RTU, khối chức năng Master (như Hình 2.20) đóng vai trò trung tâm trong việc thu thập và điều phối dữ liệu từ các thiết bị ngoại vi. Master chịu trách nhiệm gửi các yêu cầu đọc hoặc ghi dữ liệu đến từng thiết bị Slave theo địa chỉ định sẵn và chờ phản hồi để xử lý hoặc hiển thị thông tin. Mỗi Master được cấu hình để giao tiếp với một hoặc nhiều thiết bị cụ thể thông qua giao thức Modbus RTU, đảm bảo quá trình truyền nhận dữ liệu diễn ra chính xác, tuần tự và độc lập giữa các thiết bị. Với cơ chế truyền bán song công và theo mô hình master-slave, chỉ Master mới có quyền chủ động truyền lệnh, giúp giảm thiểu xung đột truyền thông và đảm bảo tính ổn định trong hệ thống.

Bảng 2.14. Mô tả chi tiết các địa chỉ vào ra của khối Modbus Master

Tham số đầu vào		
xActive	BOOL	Khởi hoạt động (True=Active)
diBaudrate	DINT	Khai báo tốc độ truyền (9600)
xRS422	BOOL	Loại dây truyền thông (False:RS485, True:RS422)
tTimeout	TIME	Xác định thời gian tối đa về việc phản hồi từ thiết bị cấp trường cho đến ILC. Mặc định TIME#5s
tPDTimeout	TIME	Thời gian để xử lý giao tiếp giữa ILC và Module. Mặc định: Time#2s
xReset	BOOL	Reset khối block
Tham số đầu ra		
xActive	BOOL	Chỉ thị khối đang hoạt động hay không. True: Hoạt động, False: Không hoạt động
xBusy	BOOL	Thể hiện khối có bận gì không. True: Khối đang bận với việc thực thi dịch vụ
xReady	BOOL	Thể hiện đã sẵn sàng để thực thi. Khi thực hiện: False
udtAddData	UINT	Cấu trúc với trạng thái biến bổ sung
xError:	BOOL	Báo kết quả lỗi sau mỗi lần thực thi. True: Một lỗi xảy ra

Tham số đầu vào ra		
udtMBData	udtModbus2_Data	Khối giao tiếp được truyền thông đến khối MB_RTU
arrInputAddress	MB2_COM_ARR_B_1_12	Quá trình xử lý dữ liệu đầu vào
arrOutputAddress	MB2_COM_ARR_B_1_12	Quá trình xử lý dữ liệu đầu ra

- Cấu hình khối chức năng đọc và xử lý dữ liệu



Hình 2.21. Khối chức năng MB_RTU cho đồng hồ AC

Khối MB_RTU (như Hình 2.21) có nhiệm vụ đọc dữ liệu từ các địa chỉ thanh ghi đầu vào. Mỗi Master trong dự án quản lý từ 1 đến 2 Client, tùy theo số lượng địa chỉ thanh ghi cần thiết.

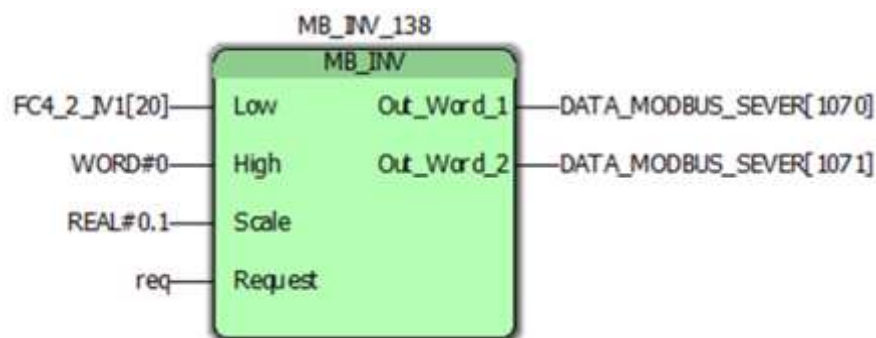
Mỗi Client chứa tối đa 128 thanh ghi, nếu vượt quá sẽ tạo thêm Client mới. Mỗi thanh ghi là một biến dữ liệu, ví dụ thanh ghi số 1 lưu giá trị tổng sản lượng điện mặt trời qua hai địa chỉ 5004 và 5005 (Dword: UINT32). Việc chọn dữ liệu lấy từ thiết bị dựa trên yêu cầu của nhà máy. Phần tiếp theo sẽ trình bày dữ liệu lấy từ đồng hồ theo Manual Meter.

Bảng 2.15. Mô tả về khối MB_RTU

Tham số đầu vào		
Tên	Kiểu dữ liệu	Mô tả
xActive	Bool	Khối hoạt động
xEnablePoll	Bool	Một yêu cầu đã được gửi đến khối Master là đã hoạt động

xEnablePoll	Bool	Yêu cầu sẽ bị hủy
tPollInterval	Time	Thời gian yêu cầu
uiSlaveAddress	UINT	Chỉ định thứ tự của các thiết bị cấp trường (1-255)
uiStartAddress	UINT	Địa chỉ của thanh ghi bắt đầu được lấy từ manual thiết bị
iDataCount	INT	Số lượng thanh ghi đã được đếm
Tham số đầu ra tương tự như khối Master		
Tham số đầu vào ra		
arrReadData	arrModbus2_W_1_1 25	Tham số chứa dữ liệu Modbus được yêu cầu
udtMBData	udtModbus2_Data	Cấu trúc giao tiếp với khối Master

- Cấu hình khối chức năng chuyển đổi kiểu dữ liệu



Hình 2.22. Khối chuyển đổi kiểu dữ liệu

Các giá trị thu thập từ thiết bị Inverter và đồng hồ qua kết nối RS485 có dạng dữ liệu WORD và DWORD. Để đồng bộ hóa, các giá trị này được chuyển đổi sang kiểu dữ liệu REAL bằng các khối chuyển đổi có sẵn trong phần mềm PC WORX.

2.3.3. Giao thức truyền thông Modbus TCP/IP của dự án

a. Giới thiệu

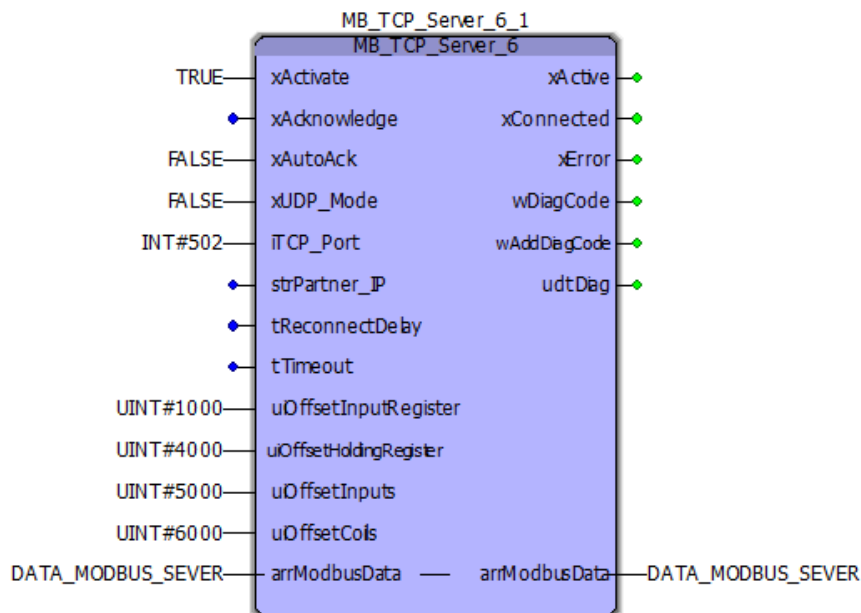
Modbus TCP/IP là một giao thức truyền thông công nghiệp sử dụng nền tảng mạng Ethernet và giao thức TCP/IP để truyền tải dữ liệu giữa các thiết bị trong hệ thống tự động hóa. Đây là phiên bản mở rộng của giao thức Modbus truyền thống, được thiết kế để hoạt động trong môi trường mạng hiện đại, cho phép kết nối nhanh chóng và hiệu quả giữa các thiết bị như bộ điều khiển lập trình (PLC), hệ thống SCADA, cảm biến và thiết bị giám sát.

Về mặt kỹ thuật, Modbus TCP/IP sử dụng mô hình client-server, trong đó một thiết bị đóng vai trò là máy khách (client) gửi yêu cầu truy xuất hoặc ghi dữ liệu, và một hoặc nhiều thiết bị đóng vai trò là máy chủ (server) phản hồi yêu cầu đó. Các thông điệp Modbus được đóng gói trong các gói tin TCP, sử dụng cổng mặc định là 502 để truyền tải dữ liệu qua mạng IP.

Ưu điểm của Modbus TCP/IP nằm ở khả năng tương thích cao với các thiết bị mạng chuẩn, tốc độ truyền dữ liệu nhanh, cấu hình đơn giản và khả năng mở rộng linh hoạt. Chính vì vậy, nó được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như điều khiển quá trình, tự động hóa nhà máy, quản lý năng lượng và giám sát hệ thống phân tán.

b. Xây dựng chương trình Modbus TCP/IP cho dự án

- Cấu hình khối TCP Server



Hình 2.23. Khối Modbus TCP Server

Khối MB_TCP_Server_6 (Hình 2.23) trong phần mềm PC Worx được sử dụng để thiết lập chức năng Modbus TCP Server cho PLC, cho phép thiết bị trở thành trung tâm chia sẻ dữ liệu tới các thiết bị client như HMI, SCADA hoặc PLC khác trong hệ thống mạng công nghiệp. Giao tiếp được thực hiện thông qua cổng mặc định 502, phù hợp với chuẩn Modbus TCP/IP. Dữ liệu trong PLC được ánh xạ linh hoạt vào các vùng địa chỉ chuẩn như Coils, Inputs, Input Registers và Holding Registers với các offset cấu hình tùy ý, giúp đảm bảo tính tương thích với nhiều thiết bị và phần mềm giám sát. Ngoài khả năng truyền nhận dữ liệu, khối này còn hỗ trợ giám sát trạng thái kết nối, tái thiết lập khi có sự cố mất liên lạc và cung cấp tín hiệu báo lỗi để đảm bảo tính ổn định và độ

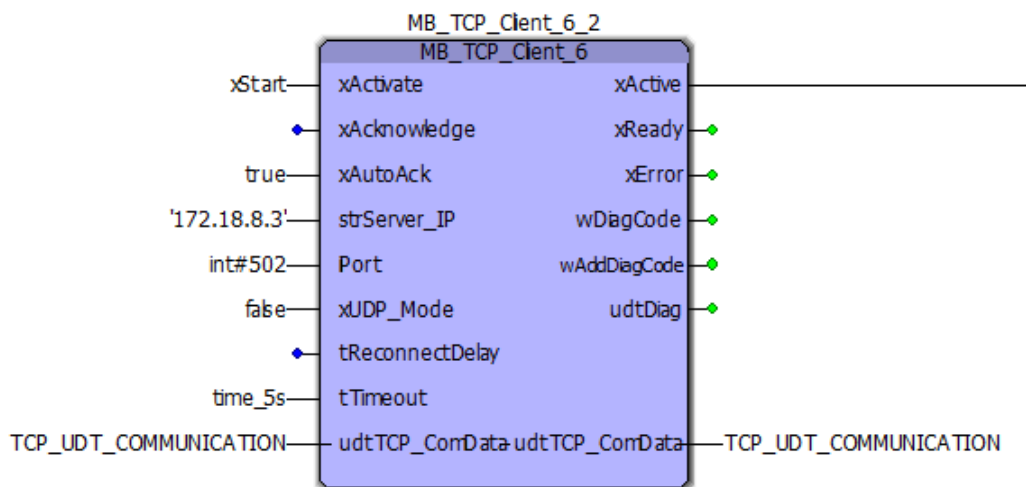
tin cậy trong quá trình vận hành. Với cấu hình đơn giản và khả năng tương thích cao, MB_TCP_Server_6 là công cụ hữu ích trong việc tích hợp PLC vào các hệ thống điều khiển và giám sát sử dụng giao thức Modbus TCP/IP.

Bảng 2.16. Mô tả về khối TCP Server

Tham số đầu vào		
Tên biến	Kiểu dữ liệu	Mô tả
xActivate	BOOL	Kích hoạt khối MB_TCP_Server_6.
xAcknowledge	BOOL	Bật xác nhận tự động cho kết nối.
xAutoAck	BOOL	Tắt chế độ tự động xác nhận yêu cầu (ACK).
xUDP_Mode	BOOL	Giao thức TCP (FALSE), nếu TRUE là UDP.
iTCP_Port	INT	Cổng TCP Modbus mặc định là 502.
strPartner_IP	STRING	Địa chỉ IP của client (nếu cần chỉ định).
tReconnectDelay	TIME	Thời gian chờ trước khi thử kết nối lại.
tTimeout	TIME	Thời gian timeout cho kết nối Modbus.
uOffsetInputRegister	UINT	Offset bắt đầu cho Input Register (3xxxx).
uOffsetHoldingRegister	UINT	Offset bắt đầu cho Holding Register (4xxxx).
uOffsetInputs	UINT	Offset cho Digital Inputs (1xxxx).

uOffsetCoils	UINT	Offset cho Coils (0xxxx).
Tham số đầu vào ra		
arrModbusData	DATA_MODBUS_SEVER	Cấu trúc dữ liệu chứa toàn bộ vùng nhớ Modbus.

- Cấu hình TCP Client



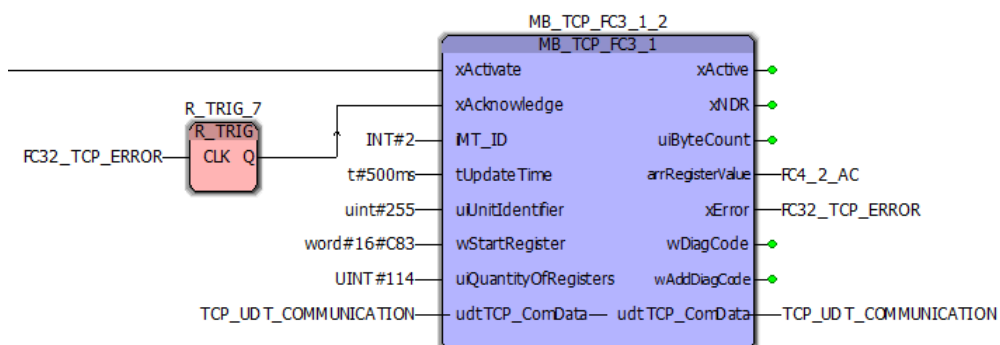
Hình 2.24. Khối Modbus TCP Client

Khối MB_TCP_Client_6 (như Hình 2.24) đóng vai trò như một client trong giao tiếp Modbus TCP, được sử dụng để thiết lập kết nối từ PLC đến một server Modbus thông qua mạng Ethernet. Trong cấu hình minh họa, khối này được kích hoạt bởi tín hiệu xStart, sử dụng địa chỉ IP đích là 172.18.8.3 và cổng truyền thông mặc định 502, đồng thời hoạt động ở chế độ TCP (vì xUDP_Mode được đặt là FALSE). Các tham số như tReconnectDelay và tTimeout cho phép khối tự động thử kết nối lại khi gặp sự cố mất kết nối hoặc quá thời gian phản hồi, từ đó đảm bảo tính liên tục, ổn định và tin cậy trong quá trình truyền thông. Toàn bộ dữ liệu truyền và nhận được ánh xạ thông qua biến cấu trúc udtTCP_ComData, cho phép PLC dễ dàng truy cập, đọc ghi các thanh ghi Modbus từ thiết bị server từ xa theo cách trực quan và hiệu quả. Nhờ đó, khối MB_TCP_Client_6 trở thành một thành phần quan trọng trong các hệ thống điều khiển phân tán, nơi cần truy xuất dữ liệu từ nhiều thiết bị thông qua mạng Ethernet công nghiệp.

Bảng 2.17. Mô tả về khối TCP Client

Tham số đầu vào		
Tên biến	Kiểu dữ liệu	Mô tả chức năng
xActivate	BOOL	Tín hiệu kích hoạt client Modbus TCP.
xAcknowledge	BOOL	Dùng để xác nhận trạng thái lỗi (nếu có).
xAutoAck	BOOL	Tự động xác nhận lỗi khi phát sinh.
strServer_IP	STRING	Địa chỉ IP của thiết bị Modbus Server cần kết nối.
Port	INT	Cổng TCP dùng để giao tiếp Modbus (thường là 502).
xUDP_Mode	BOOL	Giao thức TCP (FALSE), không dùng UDP.
tReconnectDelay	TIME	Thời gian chờ giữa các lần thử kết nối lại nếu thất bại.
tTimeout	TIME	Thời gian chờ phản hồi trước khi báo lỗi kết nối.
Tham số đầu vào ra		
udtTCP_ComData	UDT (User-defined type)	Cấu trúc chứa toàn bộ dữ liệu trao đổi qua Modbus TCP.

- Cấu hình khối chức năng đọc và xử lý dữ liệu



Hình 2.25. Khối chức năng đọc và xử lý dữ liệu

Khối MB_TCP_FC3_1 (như Hình 2.25) trong PC Worx được sử dụng để thực hiện chức năng đọc nhiều thanh ghi giữ (Holding Registers) trên thiết bị server theo đúng chuẩn của lệnh Modbus TCP Function Code 3 (FC3). Khối này cho phép PLC thực hiện truy vấn đọc một vùng dữ liệu liên tiếp từ thiết bị Modbus server từ xa, thông qua các thông số cấu hình như địa chỉ thiết bị (Unit Identifier), địa chỉ thanh ghi bắt đầu, số lượng thanh ghi cần đọc, và chu kỳ cập nhật dữ liệu. Kết quả thu được sẽ được lưu vào vùng cấu trúc dữ liệu udtTCP_ComData.

Bảng 2.18. Mô tả về khối chức năng MB_TCP_FC3

Tham số đầu vào		
Tên biến	Kiểu dữ liệu	Mô tả chức năng
xActivate	BOOL	Kích hoạt chức năng đọc FC3.
xAcknowledge	BOOL	Xác nhận khi có lỗi để reset trạng thái.
MT_ID	INT	Định danh nhiệm vụ, có thể dùng cho quản lý nội bộ.
tUpdateTime	TIME	Chu kỳ thời gian giữa các lần truy vấn dữ liệu.
uiUnitIdentifier	UINT	Địa chỉ thiết bị trong mạng Modbus (Unit ID).
wStartRegister	WORD	Địa chỉ thanh ghi bắt đầu cần đọc (dưới dạng hex).
uiQuantityOfRegisters	UINT	Số lượng thanh ghi cần đọc liên tiếp.
Tham số đầu vào ra		
udtTCP_ComData	UDT	Vùng dữ liệu ánh xạ để chứa kết quả đọc từ server.
Tham số đầu ra		
arrRegisterValue	ARRAY hoặc buffer	Mảng chứa các giá trị đọc từ các thanh ghi.
xError	BOOL	Có lỗi trong quá trình truyền thông.

2.4. Kết luận

Chương 2 trình bày tổng quan về việc ứng dụng bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX của hãng Phoenix Contact như một thiết bị thu thập và xử lý dữ liệu trong hệ thống điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2. Việc lập trình được thực hiện trên phần mềm PC WORX, sử dụng ngôn ngữ Function Block Diagram (FBD) nhằm tăng tính trực quan và khả năng mở rộng chương trình.

Bên cạnh đó, kiến trúc truyền thông giữa ILC 171 ETH 2TX và các thiết bị cấp trường như Inverter, ACB, trạm thời tiết được thiết kế dựa trên giao thức Modbus RTU và giao thức Modbus TCP/IP. Trong quá trình phát triển chương trình, nhóm đã vận dụng các kiến thức nền tảng để đọc đúng địa chỉ thanh ghi, tổ chức các khối đọc/ghi dữ liệu và khai báo biến phù hợp, đảm bảo tính chính xác khi truyền dữ liệu từ thiết bị lên hệ SCADA.

Mục tiêu của việc cấu hình ILC 171 ETH 2TX và xây dựng hệ thống truyền thông là thu thập dữ liệu vận hành và trạng thái thiết bị từ cấp trường, đưa lên Server để giám sát và điều khiển thông qua phần mềm Action.Net. Đây là tiền đề quan trọng để triển khai và ứng dụng thuật toán Zero Export, nội dung sẽ được trình bày chi tiết ở Chương 3 và Chương 4.

Chương 3 : XÂY DỰNG THUẬT TOÁN HÒA LƯỚI BÁM TẢI CHO HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI CỦA KHU CÔNG NGHIỆP THĂNG LONG 2 DỰA TRÊN PHẦN MỀM ACTION.NET

3.1. Phân tích và đề xuất giải pháp hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu công nghiệp Thăng Long 2

3.1.1. Tổng quan về giải pháp hòa lưới bám tải

Hòa lưới bám tải – hay còn gọi là Zero Export – là một giải pháp kỹ thuật được phát triển nhằm đảm bảo rằng toàn bộ sản lượng điện mặt trời được sử dụng nội bộ, không phát dư lên lưới. Đây là giải pháp được ưu tiên triển khai trong các dự án điện mặt trời tại khu công nghiệp, nơi quy mô tải lớn và biến động thường xuyên. Việc áp dụng cơ chế Zero Export giúp đảm bảo tuân thủ yêu cầu kỹ thuật của đơn vị quản lý lưới điện, đồng thời duy trì sự ổn định và an toàn cho toàn hệ thống điện.

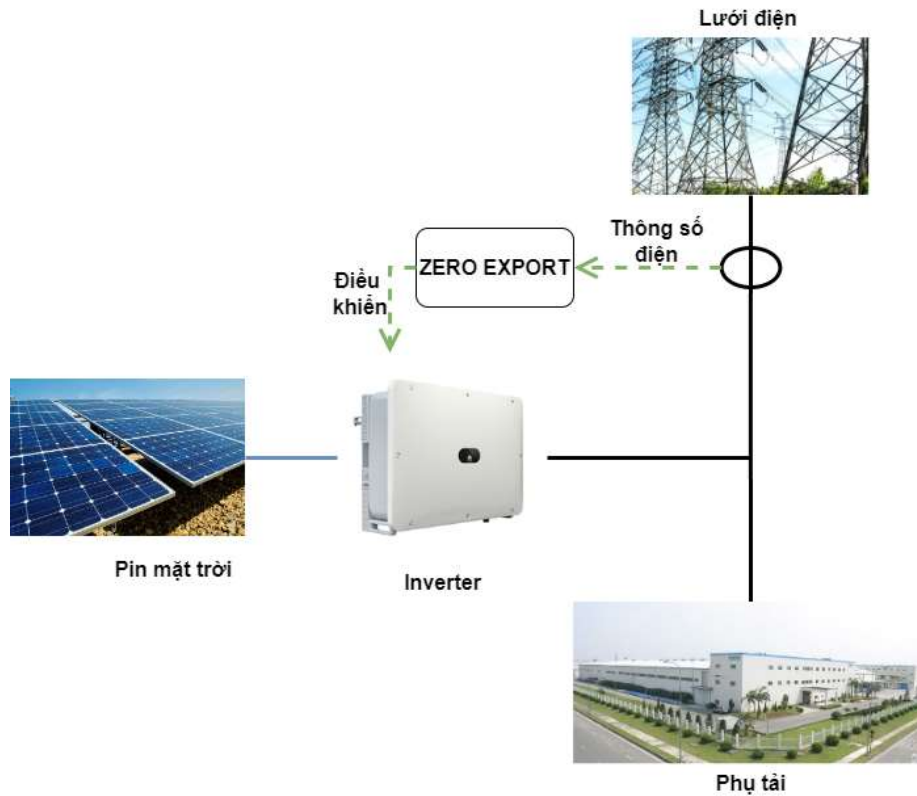
Nguyên lý hoạt động dựa trên việc giám sát liên tục công suất tại điểm hòa lưới và điều chỉnh công suất phát từ hệ thống sao cho luôn nhỏ hơn hoặc bằng phụ tải. Việc triển khai thường kết hợp với các thiết bị đo lường, bộ điều khiển lập trình (ILC/PLC) và phần mềm giám sát SCADA để đảm bảo độ chính xác và phản ứng nhanh theo thời gian thực.

3.1.2. Giải pháp hòa lưới bám tải cho dự án

a. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý điều khiển trong hệ thống Zero Export được mô tả ở Hình 3.1 dựa trên việc giám sát công suất tiêu thụ tại điểm đầu tải thông qua đồng hồ đo điện. Thiết bị đo này truyền tín hiệu phản hồi đến bộ biến tần (Inverter), từ đó điều chỉnh công suất phát của hệ thống điện mặt trời sao cho tổng công suất phát ra không vượt quá nhu cầu tiêu thụ tại chỗ – tức là không phát ngược lên lưới điện.

- Trường hợp 1: $P_{\text{solar}} < P_{\text{tải}}$: Khi công suất từ hệ thống điện mặt trời nhỏ hơn công suất tiêu thụ, phần thiếu hụt sẽ được bù bởi nguồn điện từ lưới, đảm bảo không gây gián đoạn trong cung cấp điện cho tải.
- Trường hợp 2: $P_{\text{solar}} > P_{\text{tải}}$: Khi công suất phát của hệ mặt trời vượt quá nhu cầu, Inverter sẽ chủ động giảm công suất đầu ra để bám theo tải, ngăn dòng điện dư phát ngược về lưới, đảm bảo tuân thủ yêu cầu kỹ thuật về xuất công suất.



Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống

b. Đề xuất giải pháp hòa lưới bám tải cho dự án

Xuất phát từ nguyên lý hoạt động của cơ chế Zero Export, nhóm đề xuất triển khai phương pháp hòa lưới bám tải nhằm đảm bảo hệ thống điện mặt trời tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2 không phát công suất dư lên lưới điện quốc gia, đồng thời vẫn tận dụng tối đa nguồn năng lượng tái tạo để cung cấp cho phụ tải nội bộ. Giải pháp này được xây dựng với trọng tâm là kiểm soát chính xác công suất phát của hệ thống điện mặt trời dựa trên mức tiêu thụ thực tế của nhà máy. Cụ thể, hệ thống sử dụng công tơ điện lắp đặt tại điểm đầu của phụ tải để liên tục giám sát công suất tiêu thụ. Dữ liệu thu thập được từ công tơ sẽ được truyền về bộ nghịch lưu (Inverter) thông qua giao thức Modbus RTU, tạo nên một vòng phản hồi khép kín về thông tin công suất.

Trên cơ sở đó, thuật toán điều khiển sẽ tác động trực tiếp lên tham số P_Setting của Inverter, từ đó điều chỉnh công suất phát của hệ thống điện mặt trời sao cho luôn thỏa mãn điều kiện: $P_{Solar} \leq P_{Tải}$ nhằm ngăn chặn hiện tượng phát ngược lên lưới điện quốc gia. Toàn bộ thuật toán điều khiển được tích hợp vào PLC ILC 171 ETH 2TX của Phoenix Contact, đóng vai trò là bộ xử lý trung tâm, chịu trách nhiệm thu thập dữ liệu, xử lý tín hiệu và phát lệnh điều chỉnh công suất theo thời gian thực. Hệ thống PLC này

cũng được kết nối với phần mềm SCADA thông qua mạng VPN bảo mật, giúp đảm bảo quá trình giám sát, ghi nhận dữ liệu và vận hành diễn ra liên tục, ổn định và an toàn. Giải pháp được đề xuất không chỉ đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật nghiêm ngặt của đơn vị điện lực về giới hạn phát công suất, mà còn góp phần nâng cao hiệu quả vận hành, tiết kiệm chi phí điện năng cho doanh nghiệp và khai thác tối đa tiềm năng của nguồn năng lượng mặt trời tại khu công nghiệp.

3.2. Tính cấp thiết của giải pháp Zero Export cho điện mặt trời tại KCN Thăng Long 2

Trong các hệ thống điện mặt trời quy mô nhỏ, chức năng Zero Export – không phát công suất dư lên lưới – thường được thực hiện bằng cách điều chỉnh trực tiếp công suất Inverter thông qua PLC. Tuy nhiên, với hệ thống lớn như tại KCN Thăng Long 2, có hàng trăm Inverter và nhiều xuất tuyến, phương pháp này trở nên phức tạp và kém hiệu quả.

Trong bối cảnh thiếu cơ chế mua điện mặt trời sau năm 2020, giải pháp Zero Export trở nên cấp thiết nhằm tránh phát điện dư thừa. Tại Thăng Long 2, hệ thống SCADA sử dụng phần mềm Action.Net đang được triển khai để giám sát và điều khiển toàn bộ hệ thống điện mặt trời. Việc tích hợp chức năng Zero Export vào SCADA giúp tối ưu công suất phát, ngăn chặn phát ngược lên lưới, đồng thời đảm bảo vận hành an toàn và hiệu quả.

SCADA cho phép giám sát tập trung, điều khiển đồng bộ các Inverter và thiết bị đóng cắt, đồng thời linh hoạt trong lập trình các kịch bản điều khiển theo tải tiêu thụ thực tế. Nhờ đó, hệ thống vừa đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, vừa phù hợp xu thế vận hành hiện đại và bền vững trong ngành năng lượng tái tạo.

3.3. Tổng quan về phần mềm ActionNet được sử dụng trong dự án

a. Giới thiệu

Action.Net là một phần mềm SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) tiên tiến, được phát triển nhằm phục vụ việc giám sát, điều khiển và quản lý các hệ thống tự động hóa trong nhiều lĩnh vực công nghiệp như điện năng, nước, sản xuất và năng lượng tái tạo. Phần mềm này cung cấp một nền tảng mạnh mẽ giúp thu thập dữ liệu thời gian thực, hiển thị trực quan và phân tích hiệu quả các thông số vận hành, từ đó tối ưu hóa hoạt động của hệ thống.

Phần mềm Action.NET được lựa chọn trong dự án không chỉ nhờ khả năng tương thích với nền tảng lập trình C#, mà còn bởi những ưu điểm nổi bật trong việc triển khai

hệ thống SCADA hiện đại. Trước hết, Action.NET cung cấp giao diện người dùng thân thiện và trực quan, giúp người vận hành dễ dàng theo dõi trạng thái hệ thống cũng như điều khiển các thiết bị, từ đó giảm thiểu sai sót thao tác và nâng cao hiệu suất vận hành. Bên cạnh đó, phần mềm còn sở hữu khả năng mở rộng và tích hợp linh hoạt, hỗ trợ kết nối với nhiều loại thiết bị và giao thức truyền thông khác nhau như Modbus RTU, Modbus TCP/IP, OPC, MQTT,... giúp đáp ứng đa dạng yêu cầu triển khai, từ hệ thống quy mô nhỏ đến các mô hình công nghiệp lớn. Một ưu điểm quan trọng khác là tính ổn định và bảo mật cao. Action.NET được thiết kế để đảm bảo hệ thống vận hành liên tục với cơ chế sao lưu dữ liệu và bảo vệ truy cập hiện đại, góp phần giảm thiểu rủi ro từ các mối đe dọa bên ngoài và đảm bảo an toàn thông tin. Ngoài ra, phần mềm cũng cho phép lập trình và tùy biến sâu, giúp người dùng dễ dàng xây dựng các kịch bản điều khiển phù hợp với yêu cầu riêng biệt của từng dự án, đặc biệt là những hệ thống có cấu trúc vận hành đặc thù như cơ chế Zero Export. Đặc biệt, khả năng giám sát từ xa thông qua kết nối mạng an toàn là một tính năng thiết yếu trong xu hướng chuyển đổi số hiện nay. Với Action.NET, người quản lý có thể theo dõi hoạt động của toàn bộ hệ thống mọi lúc, mọi nơi, nâng cao hiệu quả quản lý và cho phép phản ứng kịp thời đối với các sự cố hoặc thay đổi trong điều kiện vận hành.

b. Ngôn ngữ lập trình được sử dụng trong phần mềm

Phần mềm Action.NET hỗ trợ nhiều ngôn ngữ lập trình nhằm tạo điều kiện linh hoạt trong xây dựng các chức năng điều khiển và giám sát, bao gồm:

- C# (C Sharp) – ngôn ngữ chính được hỗ trợ trong các Script Module, Function Block, và điều kiện logic.
- VB.NET (Visual Basic .NET) – dành cho những người quen với cú pháp của Visual Basic, có thể sử dụng song song với C#.
- SQL – dùng trong các truy vấn dữ liệu, kết nối cơ sở dữ liệu, và xử lý dữ liệu trong hệ thống SCADA.
- Ngôn ngữ biểu thức Action Language – một ngôn ngữ logic riêng nhẹ hơn, được dùng trong các biểu thức điều kiện và cấu hình các tham số.

Trong quá trình xây dựng hệ thống giám sát và điều khiển SCADA bằng phần mềm Action.NET, C# được lựa chọn là ngôn ngữ lập trình chính nhờ vào khả năng tương thích cao và hiệu suất tốt. C# là ngôn ngữ hướng đối tượng mạnh mẽ do Microsoft phát triển, tích hợp chặt chẽ với nền tảng .NET – vốn là nền tảng mà Action.NET xây dựng trên đó. C# hỗ trợ cú pháp rõ ràng, dễ tiếp cận và có thư viện phong phú giúp đơn giản hóa quá trình phát triển ứng dụng giám sát, điều khiển.

Một số lý do quan trọng dẫn đến việc lựa chọn ngôn ngữ lập trình C# trong dự án là do sự tương thích cao và khả năng hỗ trợ phát triển phần mềm hiệu quả. Trước hết, C# tích hợp trực tiếp với nền tảng .NET Framework – nền tảng mà phần mềm Action.NET sử dụng, do đó giúp tối ưu hóa quá trình phát triển và triển khai ứng dụng. Bên cạnh đó, C# có cú pháp rõ ràng, dễ đọc và dễ bảo trì, giúp giảm thiểu lỗi lập trình và thuận tiện trong việc mở rộng hệ thống. C# còn hỗ trợ mạnh mẽ lập trình hướng đối tượng, rất phù hợp với cấu trúc module theo mô hình Zero Export mà dự án đang áp dụng. Ngoài ra, ngôn ngữ này được tích hợp tốt với môi trường phát triển Visual Studio, cung cấp các công cụ mạnh mẽ cho việc viết mã, gỡ lỗi và triển khai phần mềm. Cuối cùng, hệ sinh thái thư viện phong phú từ .NET giúp C# dễ dàng xử lý dữ liệu, giao tiếp với các thiết bị phần cứng cũng như xây dựng giao diện người dùng trực quan, từ đó tăng hiệu suất và độ tin cậy cho hệ thống điều khiển – giám sát.

3.4. Thiết kế và thực hiện thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời Khu Công Nghiệp Thăng Long 2

3.4.1. Xây dựng thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ thống

Việc phát triển chương trình điều khiển cho module Zero Export trên phần mềm Action.NET yêu cầu độ chính xác cao trong thiết kế và khả năng phản hồi nhanh để đảm bảo hệ thống vận hành ổn định trong thời gian thực. Chương trình phải được xây dựng với cấu trúc logic rõ ràng, dễ bảo trì và cho phép hiệu chỉnh linh hoạt để đáp ứng các thay đổi của hệ thống điện mặt trời trong quá trình hoạt động. Bên cạnh đó, việc tích hợp các thuật toán điều khiển thích ứng là cần thiết để xử lý kịp thời các biến động công suất từ phía tải và nguồn phát, qua đó tránh được nguy cơ phát dư công suất lên lưới.

Tại Khu công nghiệp Thăng Long 2, mục tiêu vận hành không phát công suất dư lên lưới là yêu cầu bắt buộc và được xem như tiêu chí đánh giá hiệu quả của giải pháp. Để đạt được điều này, chương trình cần liên tục giám sát công suất lưới theo thời gian thực, đồng thời điều khiển công suất phát từ inverter sao cho phù hợp với nhu cầu tiêu thụ nội bộ. Việc đảm bảo tính chính xác và độ ổn định của dữ liệu từ thiết bị đo lường và truyền thông đóng vai trò then chốt trong quá trình này.

Quá trình triển khai giải pháp đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa nhóm phát triển phần mềm và đội ngũ kỹ thuật hiện trường, nhằm đảm bảo rằng cấu hình phần mềm tương thích với thực trạng hạ tầng điện mặt trời đang khai thác. Khi đó, hệ thống mới có thể vận hành tin cậy, tuân thủ các quy định kỹ thuật và mang lại hiệu quả kinh tế cho nhà máy.

a. Thuật toán hòa lưới bám tải cho hệ điện mặt trời Khu Công Nghiệp Thăng Long 2

- Chế độ auto:

- Đối với chế độ Giảm công suất Inverter:

Khi Công suất lưới nhỏ hơn $30kW$ thì bắt đầu chạy thuật toán chế độ Giảm. Hệ thống sẽ kiểm tra bao gồm xem có bao nhiêu Inverter đang Online, kiểm tra $P_{Setting}$ và P_{Real} hiện tại của mỗi Inverter là bao nhiêu. Sau đó sẽ tính $P_{RealALL}$ của hệ thống và tính hệ số tỉ lệ giảm:

$$G = \frac{50}{P_{RealALL}}.$$

Hệ thống mỗi lần chỉ giảm $50kW$ $P_{RealALL}$ của tất cả các Inverter đang Online. Xong với mỗi Inverter sẽ có công suất cài đặt mới sẽ là:

$$P_{SettingNew} = P_{SettingOld} \cdot (1 - G).$$

Trong quá trình giảm công suất Inverter thì hệ thống sẽ luôn kiểm tra giá trị $P_{RealALL}$ nếu công suất giảm theo yêu cầu thì thuật toán dừng. Nếu công suất lưới vẫn nhỏ hơn $30kW$ thì thuật toán tiếp tục chạy.

- Đối với chế độ Tăng công suất Inverter:

Khi Công suất lưới lớn hơn $140kW$ thì bắt đầu chạy thuật toán chế độ Tăng. Hệ thống sẽ kiểm tra bao gồm xem có bao nhiêu Inverter đang Online, kiểm tra $P_{Setting}$ và P_{Real} hiện tại của mỗi Inverter là bao nhiêu. Sau đó sẽ tính $P_{RealALL}$ của hệ thống và tính hệ số tỉ lệ Tăng:

$$T = \frac{50}{P_{RealALL}}.$$

Hệ thống mỗi lần chỉ tăng $50kW$ $P_{RealALL}$ của tất cả các Inverter đang Online. Xong với mỗi Inverter sẽ có công suất cài đặt mới sẽ là:

$$P_{SettingNew} = P_{SettingOld} \cdot (1 + T).$$

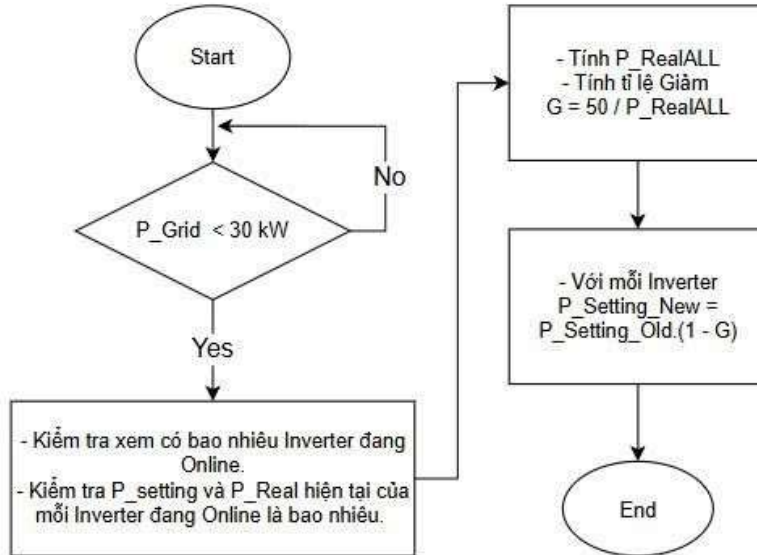
Khi một Inverter nào đó có $P_{SettingNew}$ vượt quá mức cho phép 110% thì thuật toán sẽ giới hạn lại ở mức 110% đối với $P_{Setting}$ của Inverter đó và sẽ đem phần dư đó phân bổ cho các Inverter còn lại chưa vượt mức 110%. Trong quá trình tăng công suất Inverter thì hệ thống sẽ luôn kiểm tra giá trị $P_{RealALL}$ nếu công suất tăng theo yêu cầu thì thuật toán dừng. Nếu công suất lưới vẫn lớn hơn $140kW$ thì thuật toán tiếp tục chạy.

- Chế độ Manual:

Trong chế độ Manual, hệ thống không tự thực hiện chức năng Zero Export tự động mà người vận hành tự kiểm tra thông số và chủ động đóng cắt các biến tần và các ACB của các dự án.

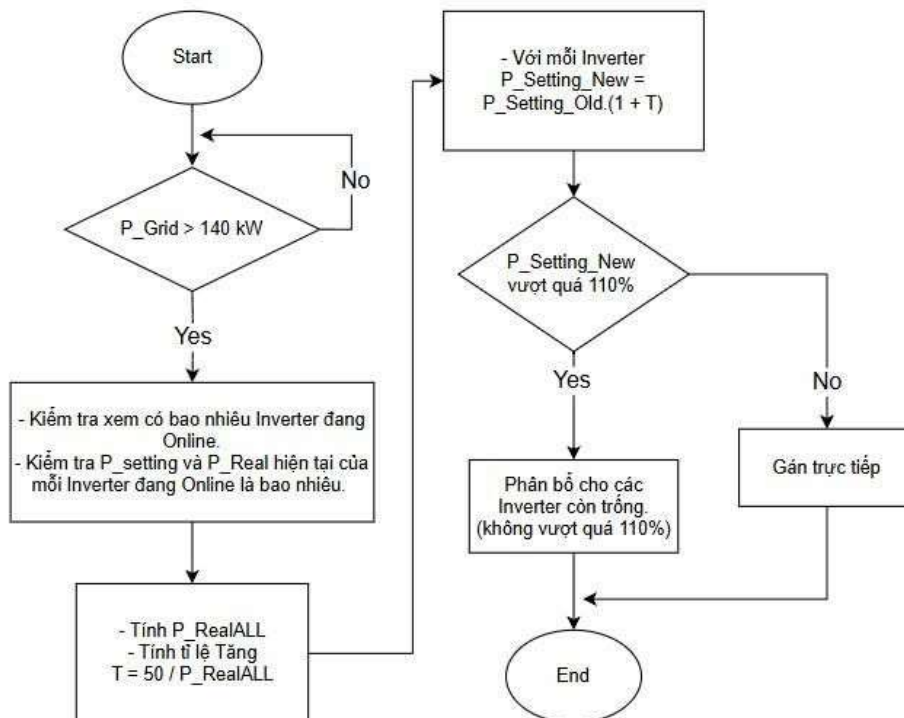
b. Lưu đồ thuật toán của chế độ Auto

Lưu đồ thuật toán đối với chế độ Giảm công suất Inverter:



Hình 3.2. Lưu đồ thuật toán chế độ Giảm công suất Inverter

Lưu đồ thuật toán đối với chế độ Tăng công suất Inverter:



Hình 3.3. Lưu đồ thuật toán chế độ Tăng công suất Inverter

3.4.2. Xây dựng hệ thống các biến cho thuật toán hòa lưới bám tải trong phần mềm ActionNet

Việc thiết kế cấu trúc biến một cách hợp lý cho module Zero Export trên nền tảng Action.NET đóng vai trò then chốt trong toàn bộ quá trình triển khai thuật toán điều khiển. Một cấu trúc biến được tổ chức khoa học không chỉ giúp đơn giản hóa việc lập trình và triển khai thuật toán, mà còn góp phần nâng cao khả năng kiểm soát hệ thống, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho công tác giám sát, bảo trì và mở rộng trong tương lai. Để đảm bảo tính nhất quán và khả năng tương thích cao trong quá trình truyền nhận dữ liệu giữa phần mềm SCADA và bộ điều khiển, các biến khai báo trong Action.NET cần được đồng bộ hóa hoàn toàn về tên gọi cũng như kiểu dữ liệu với hệ thống biến đã được thiết lập cho PLC ILC ở Chương 2. Sự đồng bộ này đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo dữ liệu được truyền chính xác, kịp thời và không gây ra lỗi logic trong quá trình vận hành. Trong phần mềm Action.NET, việc khai báo các biến được thực hiện tại mục Edit → Tags, nơi người dùng có thể tạo mới và quản lý toàn bộ biến sử dụng trong hệ thống. Danh sách các biến được sử dụng cho module Zero Export cùng kiểu dữ liệu tương ứng được trình bày chi tiết trong Bảng 3.1. Việc định nghĩa rõ ràng và nhất quán các biến ngay từ đầu sẽ là nền tảng vững chắc cho quá trình xây dựng giao diện hiển thị, lập trình logic điều khiển cũng như kiểm thử toàn hệ thống.

Bảng 3.1. Danh sách tên biến cho dự án

Tên biến	Type
STATION1	PROJECT
STATION2	PROJECT
STATION3	PROJECT
P_Grid	DOUBLE
P_Tong_Real	DOUBLE
Ti_le_tang	DOUBLE
Ti_le_giam	DOUBLE
P_INV_Real	DOUBLE
P_Setting	DOUBLE
So_Luong_INV	INTEGER
Tong_INV_Online	INTEGER
INV	INV

3.4.3. Thiết kế giao diện HMI và gán biến cho dự án

Việc thiết kế giao diện HMI (Human-Machine Interface) trên phần mềm Action.Net là yếu tố then chốt trong quá trình triển khai module Zero Export. Giao diện này cho phép người vận hành giám sát trực quan trạng thái hệ thống, theo dõi thông số vận hành và tình hình phát điện. Qua đó, các thao tác điều khiển được thực hiện kịp thời, chính xác, giúp đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định, hiệu quả và an toàn trong mọi tình huống.

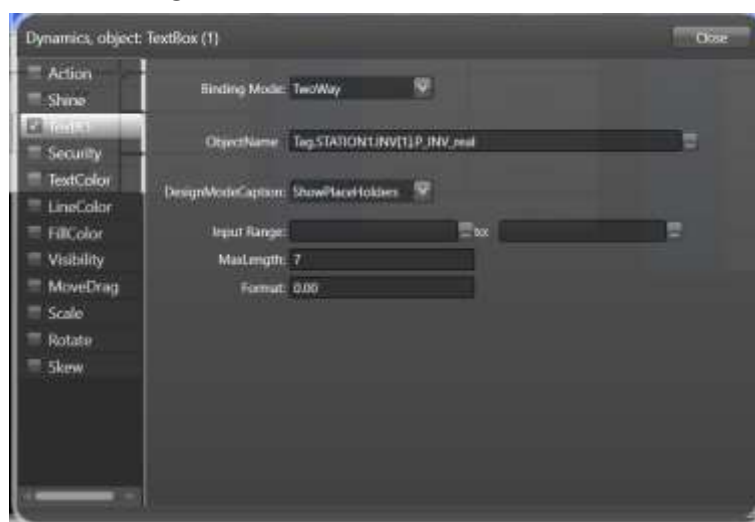
Để thực hiện việc mô phỏng ta tiến hành tạo giao diện tại cửa sổ Draw trên phần mềm Action.Net. Giao diện Station 1 đến Station 3 để theo dõi các Inverter gồm giá trị Công suất thực, giá trị Công suất cài đặt, công suất lưới, công suất tổng, số Inverter đang online.



The screenshot displays a monitoring interface with three main sections. At the top left, there are three summary boxes: 'P_Linh (kW)' with value '0000.00', 'Inverter Online' with value '00.00', and 'P_Tổng (kW)' with value '0000.00'. Below these are three tables for 'STATION 1', 'STATION 2', and 'STATION 3'. Each table has columns for 'P_Real (kW)' and 'P_Setting (%)'. Station 1 has 4 inverters, Station 2 has 5, and Station 3 has 6. All data fields in the tables are currently blank, represented by '0000.00'.

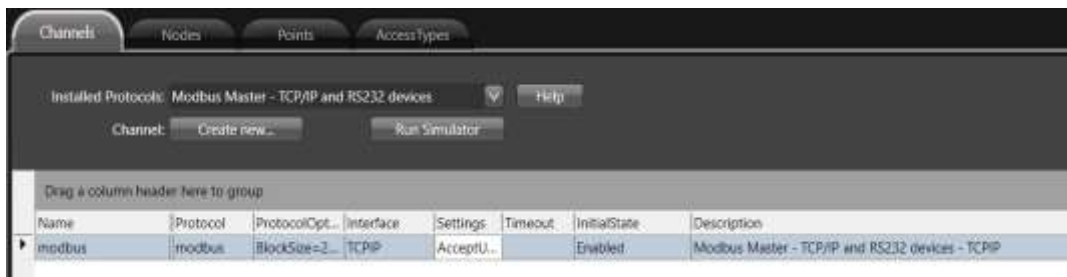
Hình 3.4. Display giám sát chỉ số

Sau khi xây dựng HMI mô phỏng thì ta sẽ tiến hành gán biến cho từng đối tượng. Mục đích việc gán biến thì dữ liệu từ HMI được tạo bởi một địa chỉ cụ thể sau đó sẽ truyền về PLC ILC 171 bằng Modbus TCP/IP.



Hình 3.5. Gán biến cho đối tượng

Để giao tiếp với thiết bị qua giao thức Modbus TCP/IP trong phần mềm Action.Net. Trước tiên ta vào mục Edit chọn phần Devices, sau đó chọn Modbus Master – TCP/IP and RS232 devices. Nhập địa chỉ IP của thiết bị (192.168.0.12), port (502) và SlaveID (1).



Hình 3.6. Khai báo Modbus TCP/IP trên ActionNet

Để khai báo các biến trên phần mềm Action.Net. Trước tiên ta vào mục Edit chọn phần Tags, sau đó chọn Objects ở đây ta thêm các biến vào như phần tên ta nhập vào cột Name, kiểu biến vào cột Type, mảng vào cột Array,...

STATION3	PROJECT
P_dm_INV	Double
Tong_INV_Online	Integer
P_TongReal	Double
P_upper	Double
P_under	Double
P_TongStation	Double
P_Grid	Double
STATION2	PROJECT
STATION1	PROJECT

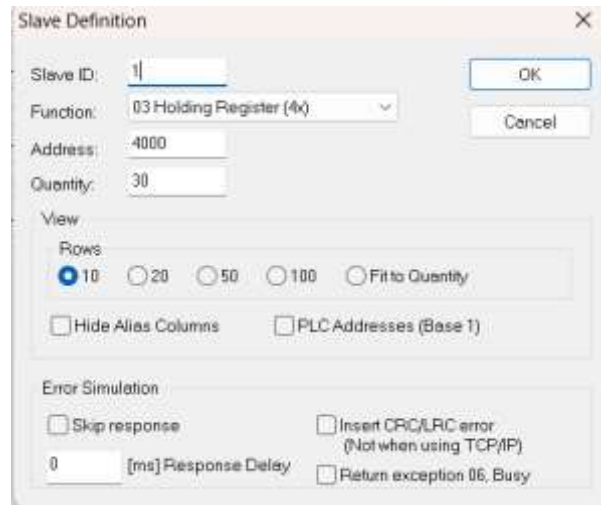
Hình 3.7. Khai báo các biến trên ActionNet

Và để mô phỏng thiết bị cấp trường ta sử dụng phần mềm Modbus Slave để nhận dữ liệu từ ActionNet → PLC (PCWorx) → Modbus Slave. Trong phần mềm Modbus Slave chọn Connection → Connect (F3) ta thiết lập như Hình 4.7.



Hình 3.8. Connection Setup trên Modbus Slave.

Việc thực nghiệm chỉ ghi dữ liệu từ ActionNet xuống PLC và xuống Modbus Slave nên ta thiết lập từng bước sau: chọn Setup trên Modbus Slave → Slave Definition (F8) chọn Slave ID1, Function 03 Holding Register (4x) như hình sau:



Hình 3.9. Slave Definition trên Modbus Slave

Đối với các giá trị khi ghi xuống là số thực, ta lựa chọn thiết lập sau: vào mục Display → chọn Float AB CD. Trong phần mềm mô phỏng Modbus Slave, việc chọn định dạng Float AB CD nhằm xác định cách lưu trữ và truyền dữ liệu số thực 32-bit (float) theo thứ tự byte phù hợp với chuẩn của một số thiết bị thực tế. Cụ thể, định dạng này chia số thực thành hai thanh ghi 16-bit, trong đó thanh ghi thứ nhất chứa byte A và B, thanh ghi thứ hai chứa byte C và D. Nếu lựa chọn đúng định dạng phù hợp với thiết bị sử dụng, giá trị hiển thị sẽ chính xác; ngược lại, nếu chọn sai, dữ liệu sẽ hiển thị sai hoặc không đọc được.



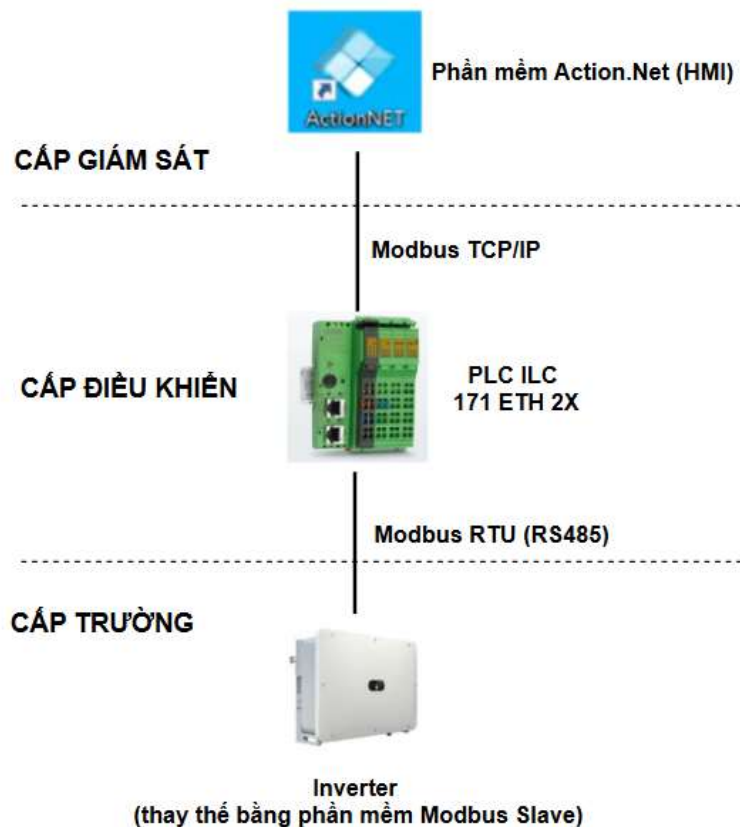
Hình 3.10. Định dạng kiểu dữ liệu trên Modbus Slave.

3.5. Kết luận

Trong chương này, nhóm đã phân tích và đề xuất giải pháp điều khiển hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu Công Nghiệp Thăng Long 2, đồng thời trình bày tổng quan về phần mềm Action.Net – nền tảng được lựa chọn để triển khai giải pháp. Trên cơ sở đánh giá thực trạng và yêu cầu thực tiễn của hệ thống, nhóm đã làm rõ tính cấp thiết của việc áp dụng thuật toán điều khiển hòa lưới bám tải mới cho hệ thống. Bên cạnh đó, các yêu cầu kỹ thuật cụ thể cho quá trình lập trình và vận hành thuật toán trên phần mềm Action.Net cũng được xác định rõ ràng. Dựa trên cơ sở lý thuyết đã nghiên cứu và yêu cầu thực tế của hệ thống, nhóm đã tiến hành xây dựng và triển khai thuật toán điều khiển với các nội dung trọng tâm nhằm đảm bảo khả năng vận hành hiệu quả của hệ thống hòa lưới bám tải. Trước hết, nhóm đã phân tích đặc điểm hoạt động của hệ thống điện mặt trời tại khu công nghiệp để xác định rõ hai chế độ vận hành chính: chế độ Tự động (Auto) và chế độ Thủ công (Manual). Việc phân chia này nhằm đáp ứng linh hoạt các tình huống vận hành thực tế, từ vận hành tự động theo thuật toán đến điều khiển trực tiếp bởi người vận hành. Trên cơ sở đó, nhóm đã xây dựng các lưu đồ thuật toán điều khiển tương ứng cho từng chế độ, bảo đảm logic rõ ràng, thuận tiện cho việc hiện thực hóa chương trình và dễ dàng kiểm thử trong các giai đoạn phát triển tiếp theo. Đồng thời, nhóm cũng tiến hành thiết kế hệ thống biến điều khiển dành riêng cho module hòa lưới bám tải, bảo đảm sự thống nhất với cấu trúc biến đã được thiết lập trên bộ điều khiển ILC. Đây là bước quan trọng nhằm đảm bảo tính tương thích khi triển khai thuật toán trên nền tảng phần mềm Action.NET, từ đó góp phần hoàn thiện giải pháp điều khiển – giám sát cho hệ thống điện mặt trời tại khu công nghiệp. Những nội dung đã được trình bày trong chương này đóng vai trò là nền tảng quan trọng, làm cơ sở cho quá trình mô phỏng, kiểm chứng và đánh giá hiệu quả hoạt động của module hòa lưới bám tải trong chương tiếp theo.

CHƯƠNG 4: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

4.1. Phương án truyền thông cho quá trình kiểm nghiệm



Hình 4.1. Phương án truyền thông cho quá trình kiểm nghiệm

Sơ đồ ở Hình 4.1 mô tả kiến trúc truyền thông cho quá trình kiểm nghiệm, được phân chia thành ba cấp chính: cấp trường, cấp điều khiển và cấp giám sát. Mỗi cấp đóng vai trò cụ thể trong việc thu thập, truyền tải, xử lý và hiển thị dữ liệu vận hành của hệ thống.

Tại cấp trường (Field level), thông thường sẽ có Inverter thực tế. Tuy nhiên, trong mô hình này, do không có Inverter vật lý, ta sử dụng phần mềm Modbus Slave để mô phỏng quá trình thay đổi giá trị P_Setting, đồng thời hiển thị dữ liệu tương ứng. Các thiết bị ở cấp trường kết nối và truyền dữ liệu đến bộ điều khiển trung tâm (PLC) thông qua giao thức truyền thông Modbus RTU (RS485).

Ở cấp điều khiển (Control level), bộ điều khiển trung tâm là PLC ILC 171 ETH 2TX, có nhiệm vụ thu thập và xử lý dữ liệu từ thiết bị hiện trường qua giao thức RS485,

hoặc nhận dữ liệu từ cấp giám sát thông qua phần mềm Action.Net (HMI) sử dụng giao thức Modbus TCP/IP.

Cuối cùng, cấp giám sát (Supervisory level) sử dụng phần mềm Action.Net để giám sát, điều khiển và hiển thị dữ liệu hệ thống theo thời gian thực, đồng thời có thể gửi dữ liệu xuống PLC khi có điều kiện chạy thuật toán.

4.2. Phần cứng Demo để kiểm nghiệm

Để kiểm nghiệm thuật toán đề xuất ở chế độ tăng và chế độ giảm, nhóm thực hiện đã thiết lập một hệ thống phần cứng mô phỏng bao gồm ba thành phần chính:

- Bộ điều khiển PLC ILC 171 ETH 2TX: Đây là một bộ điều khiển khả lập trình công nghiệp thuộc dòng ILC 100 series, hỗ trợ giao tiếp Ethernet và Modbus TCP/IP, được sử dụng để thực hiện các tác vụ điều khiển trong thời gian thực.
- Module truyền thông IB IL RS 485/422: Thiết bị này mở rộng khả năng giao tiếp nối tiếp cho PLC thông qua cổng RS485/RS422, cho phép PLC trao đổi dữ liệu với các thiết bị khác qua chuẩn Modbus RTU.
- Bộ chuyển đổi USB to RS485: Đây là thiết bị trung gian giúp máy tính giao tiếp với hệ thống qua cổng RS485, sử dụng để kết nối với phần mềm giám sát Modbus Slave trên máy tính.

Quá trình kiểm nghiệm bắt đầu bằng việc mô phỏng dữ liệu trên phần mềm ActionNet – một nền tảng SCADA/HMI hiện đại, cho phép thiết kế giao diện trực quan và tạo dữ liệu mô phỏng (ví dụ: công suất thực, công suất lưới...) để kiểm tra hoạt động của hệ thống.

Tiếp theo, dữ liệu từ phần mềm ActionNet được truyền đến PLC ILC 171 ETH 2TX thông qua giao thức Modbus TCP/IP, một chuẩn truyền thông phổ biến sử dụng nền tảng Ethernet. Trong cấu hình này, PLC đóng vai trò là Modbus Slave, trong khi ActionNet hoạt động như Modbus Master, đảm bảo quá trình truyền nhận dữ liệu ổn định, nhanh chóng và tin cậy.

Sau khi PLC nhận được dữ liệu mô phỏng, bước kế tiếp là truyền dữ liệu đó đến phần mềm Modbus Slave, một công cụ mô phỏng thiết bị ở chế độ slave dùng để giám sát và kiểm tra dữ liệu truyền qua cổng nối tiếp. Để thực hiện kết nối này, hệ thống sử dụng chuẩn truyền thông Modbus RTU chạy trên đường truyền RS485.

Việc mở rộng cổng RS485 trên PLC được thực hiện thông qua module IB IL RS 485/422, trong khi bộ chuyển đổi USB to RS485 kết nối máy tính với phần mềm Modbus Slave, cho phép nhận và giám sát dữ liệu truyền về.



Hình 4.2. Phần cứng demo hệ thống

4.3. Thực hiện thực nghiệm module Zero Export đối với chế độ giảm

Sau khi hoàn tất việc xây dựng giao diện và cấu hình hệ thống trong phần mềm Action.NET, người vận hành tiến hành khởi động module Zero Export ở chế độ Run Startup để bắt đầu quá trình giám sát và điều khiển. Trong bước này, các thông số vận hành được thiết lập cho từng Station tương ứng. Cụ thể, tại Station 1, các giá trị được cài đặt như sau: Inverter 1 có P_Real là 70 và P_Setting là 65; Inverter 2 có cả hai giá trị đều bằng 0; Inverter 3 được thiết lập với P_Real là 86 và P_Setting là 92; Inverter 4 có P_Real là 75 và P_Setting là 84. Tương tự, các thông số của Station 2 và Station 3 cũng được cấu hình như Hình 4.3. Việc cài đặt các giá trị này đóng vai trò quan trọng trong quá trình vận hành hệ thống, nhằm đảm bảo chức năng Zero Export hoạt động chính xác, điều chỉnh công suất phát ra của từng inverter phù hợp với yêu cầu giới hạn xuất công suất về lưới.

Inverter Online	9,00
P_Tổng (kW)	601,00

STATION 1		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	70,00	65,00
Inverter 2	0,00	0,00
Inverter 3	86,00	82,00
Inverter 4	75,00	84,00

STATION 2		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	56,00	73,00
Inverter 2	0,00	0,00
Inverter 3	70,00	92,00
Inverter 4	88,00	79,00
Inverter 5	0,00	0,00

STATION 3		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	0,00	0,00
Inverter 2	25,00	50,00
Inverter 3	0,00	0,00
Inverter 4	56,00	43,00
Inverter 5	75,00	81,00
Inverter 6	0,00	0,00

Hình 4.3. Display Các thông số tại Sation 1, 2, 3 ở chế độ giảm

Công suất tổng hiện tại đang là 601 kW và có 9 Inverter đang Online. Tiến hành cài đặt thông số Công suất lưới < 30 kW để kích hoạt điều kiện xảy ra thuật toán chế độ giảm. Quan sát sau khi cài đặt thông số Công suất lưới < 30 kW, thực hiện thuật toán chế độ giảm lần 1 thì Công suất tổng giảm 50kW chỉ còn 551kW tổng → đạt yêu cầu và các thông số sau khi thuật toán chạy chế độ giảm lần 1 như Hình 4.4.

P_Lưới (kW)	30,00
Inverter Online	9,00
P_Tổng (kW)	551,00

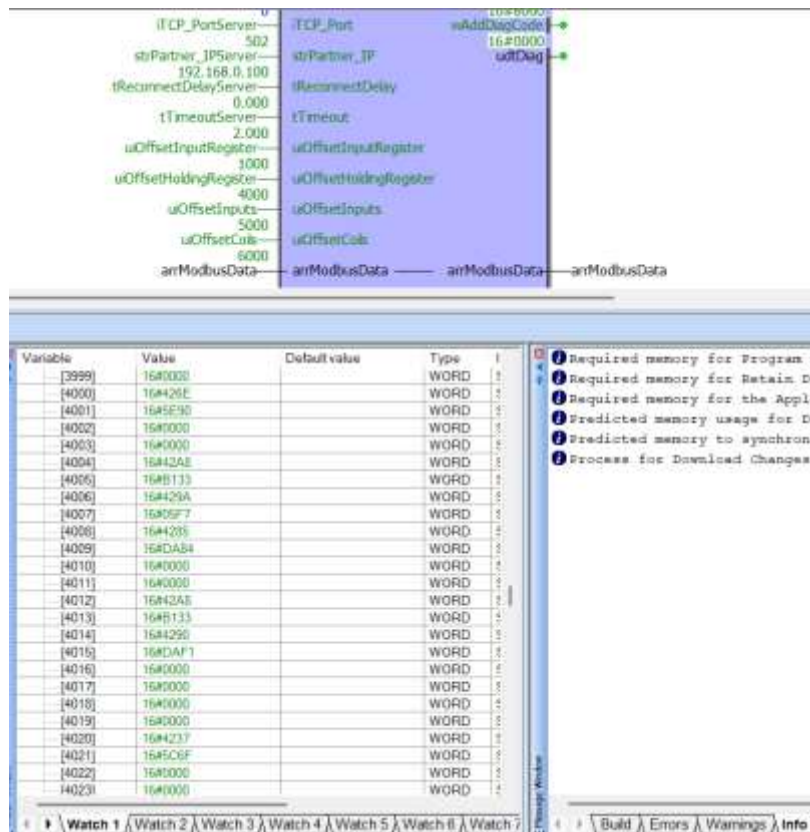
STATION 1		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	64,18	59,59
Inverter 2	0,00	0,00
Inverter 3	70,85	84,35
Inverter 4	68,76	77,01

STATION 2		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	51,34	66,93
Inverter 2	0,00	0,00
Inverter 3	64,18	84,35
Inverter 4	80,68	72,43
Inverter 5	0,00	0,00

STATION 3		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	0,00	0,00
Inverter 2	22,92	45,84
Inverter 3	0,00	0,00
Inverter 4	51,34	39,42
Inverter 5	68,76	74,26
Inverter 6	0,00	0,00

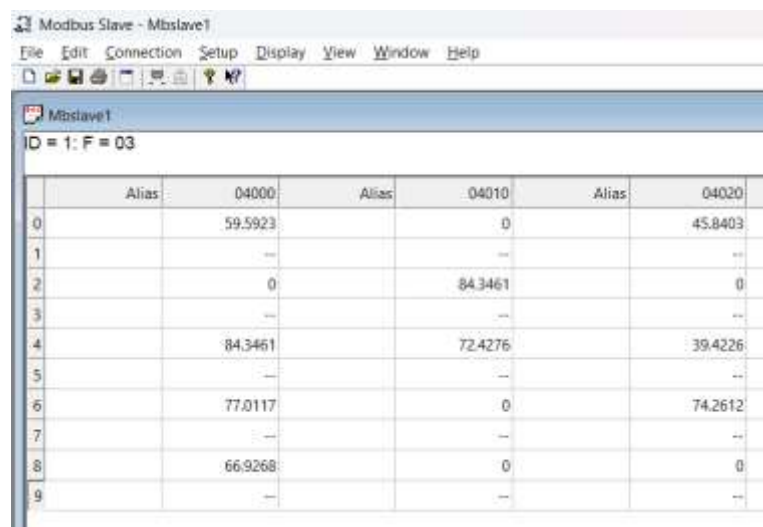
Hình 4.4. Display các thông số của các Sation sau khi thực hiện chế độ giảm lần 1

Tiếp theo, ta kiểm tra bên phần mềm PC Worx để xác nhận xem dữ liệu đã được truyền thành công thông qua giao thức Modbus TCP/IP hay chưa. Trong PC Worx, dữ liệu từ phần mềm Action.Net sẽ được ghi vào các thanh ghi bắt đầu từ địa chỉ uiOffsetHoldingRegister = 4000. Tại đây, ta có thể quan sát thấy giá trị đã được cập nhật dưới dạng dữ liệu Hexa, ví dụ: 16#426E, 16#5E90 cho thấy hệ thống đã bắt đầu nhận tín hiệu từ Action.Net và quá trình truyền thông giữa hai phần mềm đang hoạt động đúng theo cấu hình. Việc dữ liệu xuất hiện tại thanh ghi này là minh chứng cho sự liên kết thành công giữa giao diện giám sát và PLC thông qua Modbus TCP/IP.



Hình 4.5. Dữ liệu nhận từ ActionNet tại PC Worx ở chế độ giảm lần 1

Sau khi xác nhận dữ liệu đã được truyền từ phần mềm Action.Net xuống PLC thông qua Modbus TCP/IP, ta tiếp tục theo dõi dữ liệu được PLC truyền xuống các thiết bị cấp trường (Modbus Slave) thông qua giao thức Modbus RTU. Đây là bước kiểm tra quan trọng nhằm đảm bảo rằng dữ liệu điều khiển và giám sát không chỉ dừng lại ở PLC mà còn được phân phối chính xác tới các thiết bị ngoài hiện trường qua đường truyền RS-485. Việc truyền thông ổn định ở cấp trường cho thấy toàn bộ chuỗi kết nối từ phần mềm giám sát đến thiết bị vật lý đang hoạt động hiệu quả và đúng cấu hình.



Hình 4.6. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ giảm lần 1

Tiếp tục thực hiện cài đặt giá trị công suất lưới nhỏ hơn 30 kW ở chế độ giảm, hệ thống đã phản hồi đúng theo yêu cầu điều khiển. Kết quả quan sát cho thấy công suất tổng của toàn hệ thống giảm từ 551 kW xuống còn 501 kW, chứng tỏ chức năng giới hạn công suất hoạt động hiệu quả. Đồng thời, giá trị công suất cài đặt (P_Setting) của từng inverter cũng tự động giảm tương ứng, phản ánh khả năng phân phối lại công suất theo mức giới hạn mới một cách hợp lý. Những thay đổi này được theo dõi rõ ràng và tức thời trên giao diện phần mềm ActionNET, nơi hiển thị dữ liệu thời gian thực của hệ thống, cũng như trên phần mềm Modbus Slave, giúp kiểm tra chi tiết từng thanh ghi dữ liệu. Các kết quả mô phỏng và kiểm chứng được minh họa cụ thể qua Hình 4.7 và Hình 4.8.

P_Lưới (kW)	30.00
Inverter Online	9.00
P_Tổng (kW)	501.00

STATION 1		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	58.35	54.10
Inverter 2	0.00	0.00
Inverter 3	71.69	76.69
Inverter 4	62.52	70.02

STATION 2		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	46.68	60.85
Inverter 2	0.00	0.00
Inverter 3	58.35	76.69
Inverter 4	73.36	65.86
Inverter 5	0.00	0.00

STATION 3		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	0.00	0.00
Inverter 2	20.84	41.68
Inverter 3	0.00	0.00
Inverter 4	46.68	35.85
Inverter 5	62.52	67.52
Inverter 6	0.00	0.00

Hình 4.7. Display các thông số của các Station sau khi thực hiện chế độ giảm lần 2

Modbus Slave - Mbslave1						
File Edit Connection Setup Display View Window Help						
Mbslave1						
ID = 1: F = 03						
	Alias	04000	Alias	04010	Alias	04020
0		54.1847		0		41.6805
1		--		--		--
2		0		76.6922		0
3		--		--		--
4		76.6922		65.8552		35.8453
5		--		--		--
6		70.0233		0		67.5225
7		--		--		--
8		60.8536		0		0
9		--		--		--

Hình 4.8. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ giảm lần 2

4.4. Thực hiện thực nghiệm module Zero Export đối với chế độ tăng

Tương tự việc chạy ở module Zero Export ở chế độ giảm. Ta cài đặt các thông số trong các Station. Station 1 lần lượt Inverter 1 là 70 và 100 (P_Real và P_Setting), Inverter 2 là 85 và 60, Inverter 3 là 66 và 92, Inverter 4 là 0 và 0. Tương tự với 2 Station 2 và 3 còn lại được thiết lập như Hình 4.9.

Inverter Online	8.00
P_Tổng (kW)	500.00

STATION 1		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	70.00	100.00
Inverter 2	85.00	60.00
Inverter 3	66.00	92.00
Inverter 4	0.00	0.00

STATION 2		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	55.00	61.00
Inverter 2	0.00	0.00
Inverter 3	64.00	72.00
Inverter 4	58.00	67.00
Inverter 5	0.00	0.00

STATION 3		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	30.00	41.00
Inverter 2	0.00	0.00
Inverter 3	0.00	0.00
Inverter 4	72.00	100.00
Inverter 5	0.00	0.00
Inverter 6	0.00	0.00

Hình 4.9. Display Các thông số tại Sation 1, 2, 3 ở chế độ tăng

Công suất tổng hiện tại là 500 kW với 8 inverter đang online. Ta tiến hành cài đặt thông số công suất lưới lớn hơn 140 kW để kích hoạt điều kiện xảy ra thuật toán chế độ tăng. Sau khi thiết lập ngưỡng công suất lưới lớn hơn 140 kW, khi thuật toán chế độ tăng lần 1 được thực hiện, công suất tổng tăng thêm 50 kW, đạt 550 kW. Các thông số sau khi chạy thuật toán chế độ tăng lần 1 được hiển thị đồng bộ trên giao diện ActionNet và trên Modbus Slave, thể hiện rõ sự thay đổi như hai hình minh họa dưới đây.

Inverter Online	8.00
P_Tổng (kW)	550.00

STATION 1		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	77.00	110.00
Inverter 2	93.50	66.00
Inverter 3	72.60	101.20
Inverter 4	0.00	0.00

STATION 2		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	60.50	67.10
Inverter 2	0.00	0.00
Inverter 3	70.40	79.20
Inverter 4	63.80	73.70
Inverter 5	0.00	0.00

STATION 3		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	33.00	45.10
Inverter 2	0.00	0.00
Inverter 3	0.00	0.00
Inverter 4	79.20	110.00
Inverter 5	0.00	0.00
Inverter 6	0.00	0.00

Hình 4.10. Display các thông số của các Sation sau khi thực hiện chế độ tăng lần 1.

	Alias	04000	Alias	04010	Alias	04020
0		110		0		0
1		--		--		--
2		66		79.2		0
3		--		--		--
4		101.2		73.7		110
5		--		--		--
6		0		0		0
7		--		--		--
8		67.1		45.1		0
9		--		--		--

Hình 4.11. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ tăng lần 1

Tiếp tục thực hiện cài đặt giá trị công suất lưới lớn hơn 140 kW ở chế độ tăng. Kết quả quan sát thấy công suất tổng tăng từ 550 kW đến 614,41 kW. Đồng thời, giá trị công suất cài đặt (P_Setting) của các inverter cũng tăng tương ứng. Các thay đổi này được theo dõi rõ ràng trên giao diện ActionNet và trên Modbus Slave, minh họa qua hai hình ảnh dưới đây.

P. Tổng (kW) 614,41		
STATION 1		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	77,00	110,00
Inverter 2	130,90	92,40
Inverter 3	78,91	110,00
Inverter 4	0,00	0,00

STATION 2		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	66,00	73,20
Inverter 2	0,00	0,00
Inverter 3	76,00	86,40
Inverter 4	69,60	80,40
Inverter 5	0,00	0,00

STATION 3		
	P_Real (kW)	P_Setting (%)
Inverter 1	36,00	49,20
Inverter 2	0,00	0,00
Inverter 3	0,00	0,00
Inverter 4	79,20	110,00
Inverter 5	0,00	0,00
Inverter 6	0,00	0,00

Hình 4.12. Display các thông số của các Station sau khi thực hiện chế độ tăng lần 2

	Alias	04000	Alias	04010	Alias	04020
0		110		0		0
1		--		--		--
2		92.4		86.4		0
3		--		--		--
4		110		80.4		110
5		--		--		--
6		0		0		0
7		--		--		--
8		73.2		49.2		0
9		--		--		--

Hình 4.13. Dữ liệu được ghi tại Modbus Slave ở chế độ tăng lần 2

4.5. Đánh giá quá trình thực nghiệm và so sánh với thuật toán đã có

Qua quá trình thực nghiệm module Zero Export kết hợp với phần cứng demo, cho thấy hệ thống có tốc độ phản hồi tương đối nhanh, đáp ứng tốt khi thay đổi điều kiện vận hành. Giao diện HMI giám sát hoạt động ổn định, các thông số được hiển thị rõ ràng, hỗ trợ người vận hành dễ theo dõi. Tổng thể, hệ thống vận hành ổn và phù hợp để tiếp tục đánh giá hoặc triển khai ở quy mô nhỏ.

Qua quá trình thực nghiệm module điều khiển Zero Export cải tiến trên hệ thống mô phỏng kết hợp với phần cứng demo, cho thấy hệ thống có tốc độ phản hồi nhanh và ổn định hơn rõ rệt so với thuật toán Zero Export truyền thống. Việc điều khiển trực tiếp công suất phát ra từ các Inverter thông qua tham số P_Setting đã giúp loại bỏ hoàn toàn độ trễ do thao tác cơ khí đóng/cắt ACB như trước đây. Nhờ đó, khả năng hạn chế phát ngược công suất lên lưới được kiểm soát hiệu quả hơn, đặc biệt trong các tình huống biến động tải nhanh.

So với thuật toán cũ, giải pháp mới mang lại nhiều cải tiến nổi bật:

- Tốc độ phản hồi nhanh hơn: Trong khi thuật toán cũ gặp độ trễ do đóng/cắt ACB, thuật toán mới cho phép điều chỉnh công suất tức thì nhờ thuật toán điều khiển trên phần mềm Action.Net.
- Hoạt động đồng bộ giữa các Inverter: Thay vì ngắt từng cụm theo POI như trước, giải pháp mới điều chỉnh đồng thời tất cả các Inverter dựa trên tín hiệu chung từ SCADA, giúp hệ thống vận hành mượt mà, ổn định và giảm hiện tượng dao động nội bộ.
- Giảm hao mòn cơ khí và kéo dài tuổi thọ thiết bị: Việc loại bỏ thao tác đóng/cắt ACB thường xuyên giúp giảm thiểu mài mòn thiết bị, đặc biệt là trong các môi trường vận hành có tần suất biến đổi tải cao.
- Giám sát vận hành thuận tiện hơn: Giao diện HMI vận hành ổn định, thông số được cập nhật theo thời gian thực, dễ dàng theo dõi và quản lý từ SCADA.
- Tăng hiệu quả bảo trì và giảm rủi ro vận hành: Do không cần đóng/cắt phần cứng thường xuyên, việc giám sát, cấu hình và bảo trì trở nên đơn giản và ít sai sót hơn.
- Tổng thể, kết quả thực nghiệm cho thấy thuật toán cải tiến điều khiển công suất trực tiếp tại Inverter không chỉ khắc phục các nhược điểm kỹ thuật của thuật toán Zero Export cũ mà còn mở ra khả năng ứng dụng linh hoạt hơn cho các hệ thống điện mặt trời ở quy mô khác nhau. Đây là cơ sở quan trọng để mở rộng triển khai trong thực tế, đặc biệt tại các khu công nghiệp có yêu cầu kiểm soát phát ngược nghiêm ngặt và cần tính ổn định cao trong vận hành.

4.6. Kết luận

Trong chương này, nhóm đã triển khai các công việc trong giai đoạn sơ khai của dự án, tập trung vào việc xây dựng tổng quan hệ thống, thiết kế giao diện HMI, và mô phỏng hoạt động hệ thống điều khiển Zero Export thông qua phần mềm Action.Net. Các biến và tag cần thiết đã được cấu hình để mô phỏng các tín hiệu đầu vào phục vụ cho việc kiểm thử thuật toán điều khiển. Quá trình mô phỏng được thực hiện song song với kiểm thử trên phần cứng demo nhằm kiểm tra khả năng phản hồi và độ ổn định của thuật toán trong hai chế độ chính: giảm công suất và tăng công suất. Thông qua kết nối với thiết bị phần cứng qua giao thức Modbus TCP/IP và Modbus RTU, nhóm đã bước đầu xác nhận tính khả thi của việc truyền nhận dữ liệu cũng như hiệu quả bước đầu của thuật toán trong môi trường giả lập. Mặc dù mới chỉ dừng lại ở giai đoạn mô phỏng và thử nghiệm ban đầu, nhóm đã tiến hành so sánh sơ bộ với thuật toán Zero Export cũ, cho thấy giải pháp điều chỉnh trực tiếp công suất của inverter có tiềm năng mang lại hiệu quả cao hơn so với phương pháp đóng/cắt ACB trước đây, nhờ độ trễ thấp hơn và tính ổn định cao hơn. Những kết quả thu được trong giai đoạn này là nền tảng quan trọng cho các bước tiếp theo, bao gồm hoàn thiện thuật toán, tích hợp với hệ thống thực tế và triển khai thử nghiệm tại hệ thống điện mặt trời thuộc Khu công nghiệp Thăng Long 2, Hưng Yên.

KẾT LUẬN

Trong khuôn khổ dự án, nhóm đã tiến hành nghiên cứu, xây dựng và triển khai thành công giải pháp điều khiển hòa lưới bám tải cho hệ thống điện mặt trời tại Khu Công nghiệp Thăng Long 2. Mục tiêu đặt ra là đưa ra được thuật toán hòa lưới bám tải mới cho hệ thống điện mặt trời Khu Công Nghiệp Thăng Long 2, khắc phục những nhược điểm của thuật toán đã có. Về mặt nội dung, dự án đã thực hiện các bước chính gồm: khảo sát tổng quan hệ thống điện và SCADA hiện hữu, phân tích mô hình truyền thông và đánh giá thuật toán Zero Export đang được sử dụng. Trên cơ sở đó, nhóm nghiên cứu đã xây dựng giải pháp điều khiển mới bằng cách ứng dụng bộ điều khiển ILC 171 ETH 2TX của hãng Phoenix Contact. Việc lập trình được thực hiện trên phần mềm PC WORX sử dụng ngôn ngữ Function Block Diagram (FBD), giúp tăng tính trực quan và dễ dàng mở rộng chương trình. Hệ thống truyền thông giữa PLC, Inverter và phần mềm Action.NET được thiết kế dựa trên giao thức Modbus RTU và Modbus TCP/IP. Dữ liệu được mô phỏng từ phần cứng demo và truyền về phần mềm SCADA Action.NET, nơi các giao diện giám sát được xây dựng để mô phỏng và kiểm soát toàn bộ hoạt động của hệ thống điện mặt trời. Nhóm đã triển khai chương trình điều khiển hòa lưới bám tải theo hai chế độ: chế độ tăng và chế độ giảm, cùng với các lưu đồ thuật toán điều khiển tương ứng. Thông qua quá trình kiểm nghiệm và đánh giá, cả trong môi trường phần mềm và kết hợp với phần cứng demo, thuật toán điều khiển đã chứng minh được hiệu quả vận hành ổn định, khả năng phản hồi nhanh và điều chỉnh công suất inverter theo yêu cầu đặt trước. Dữ liệu thu thập được đồng bộ giữa phần mềm Action.NET và công cụ Modbus Slave cho thấy độ chính xác cao và tính nhất quán trong toàn bộ chuỗi truyền thông. Thuật toán điều khiển hòa lưới bám tải do nhóm phát triển có một số ưu điểm nổi bật, bao gồm: khả năng đáp ứng nhanh với các thay đổi công suất giới hạn, phân phối linh hoạt công suất mục tiêu cho các inverter, kiến trúc chương trình rõ ràng, dễ bảo trì, và khả năng tích hợp tốt với hệ thống giám sát trung tâm SCADA. Đây là tiền đề quan trọng để triển khai trên các hệ thống điện mặt trời thực tế với yêu cầu tương tự. Tuy nhiên, bên cạnh các kết quả đạt được, thuật toán hiện tại vẫn tồn tại một số hạn chế như: chưa tích hợp mô-đun dự báo tải hoặc bức xạ mặt trời, điều khiển mang tính phản ứng thay vì chủ động; phụ thuộc vào độ chính xác của tín hiệu đo công suất lưới; và chưa tối ưu hóa điều khiển ở cấp độ chi tiết như micro-inverter hoặc từng chuỗi pin.

Để khắc phục các hạn chế và nâng cao hiệu quả hệ thống, hướng phát triển trong tương lai sẽ tập trung vào các nội dung như: tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) hoặc các mô

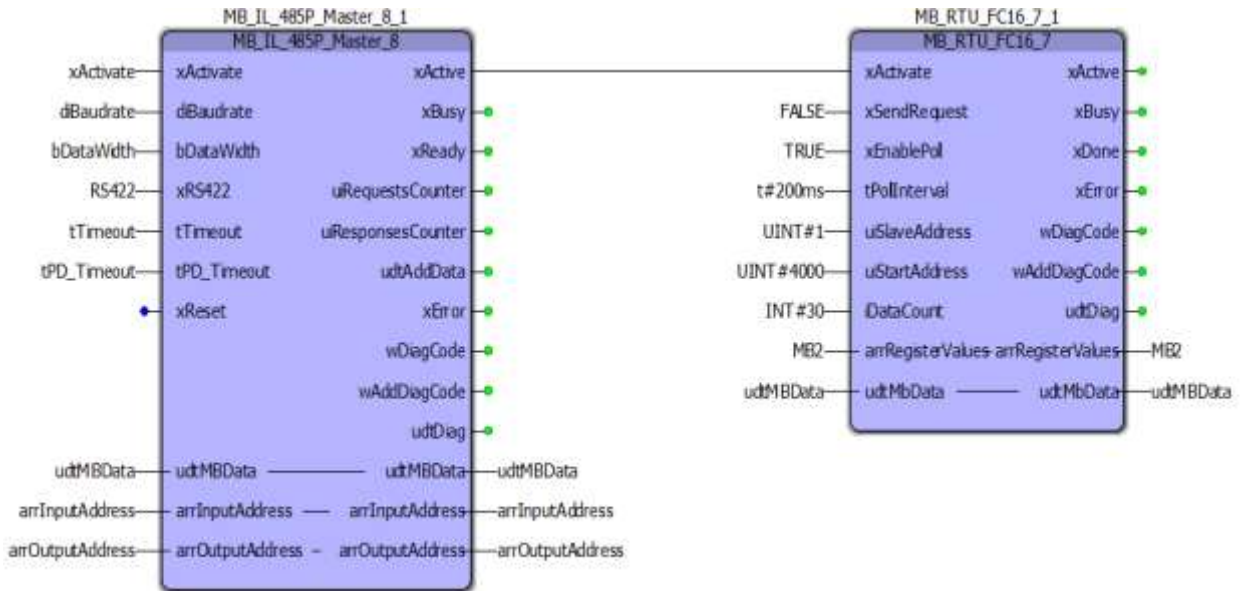
hình học máy để dự báo phụ tải và bức xạ; xây dựng hệ thống cảnh báo và giám sát sự cố; phát triển ứng dụng điều khiển trên nền tảng web hoặc thiết bị di động; và mở rộng điều khiển cho hệ thống tích hợp đa nguồn năng lượng như điện mặt trời kết hợp lưu trữ hoặc các dạng hybrid khác. Tổng thể, dự án đã đạt được các mục tiêu đề ra và đóng góp một giải pháp khả thi cho việc điều khiển công suất hệ thống điện mặt trời trong khu công nghiệp. Những kết quả nghiên cứu này không chỉ có giá trị ứng dụng thực tiễn tại KCN Thăng Long 2 mà còn có thể mở rộng cho các hệ thống tương tự trong lĩnh vực quản lý năng lượng thông minh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

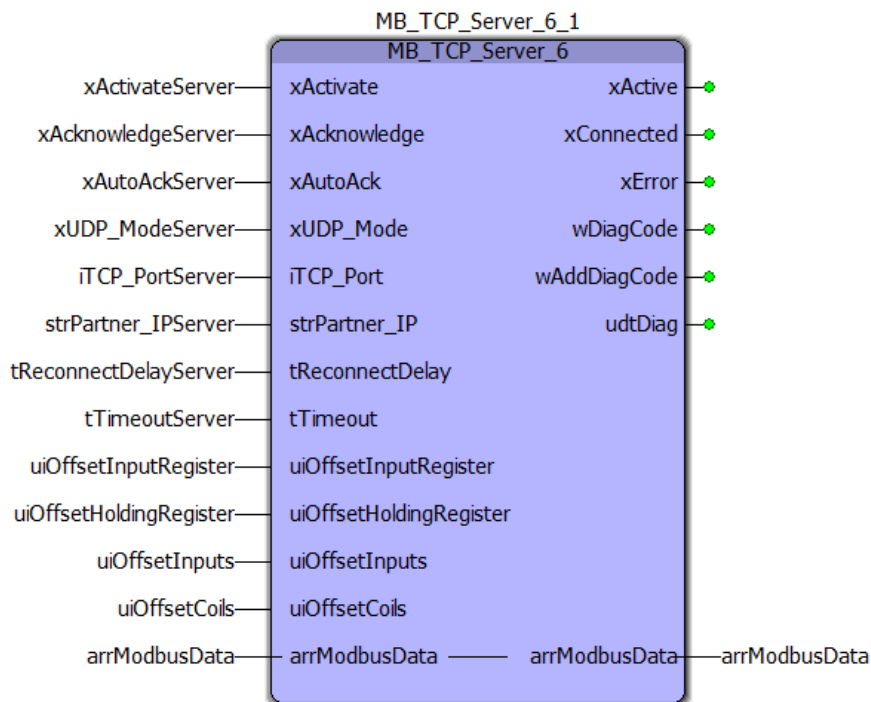
- [1] Hệ thống giám sát và thu thập dữ liệu (SCADA) trong hệ thống điện PGS.TS
Phạm Văn Hòa – ThS Đặng Tiến Trung – ThS Lê Anh Tuấn – NXB Bách Khoa
Hà Nội – Năm 2011
- [2] MODBUS Application Protocol Specification v1.1b.
- [3] Modicon Modbus Protocol Reference Guide.
- [4] Modbus Interface Definitions (V3.0)
- [5] RS485_MODBUS Communication Protocol
- [6] Communication Protocol of PV Grid-Connected String Inverters
- [7] Tài liệu nghiên cứu ILC 171 của hãng Pheonix Contact - User Manual – Installing
and Operating
- [8] Tài liệu nghiên cứu phần mềm PC Worx của hãng Pheonix Contact
- [9] Actionet.NET User Guide of Spin
- [10] Các tài liệu kỹ thuật, bản vẽ tại KCN Thăng Long 2
- [11] PC Worx User Manual

PHỤ LỤC

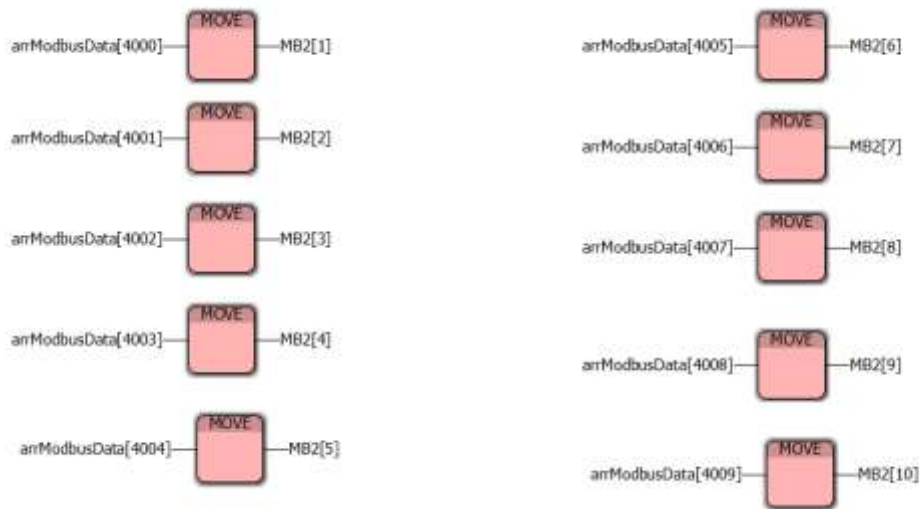
- Cấu hình Modbus RTU và khối FC16 để ghi dữ liệu:



- Cấu hình Modbus TCP/IP Sever:

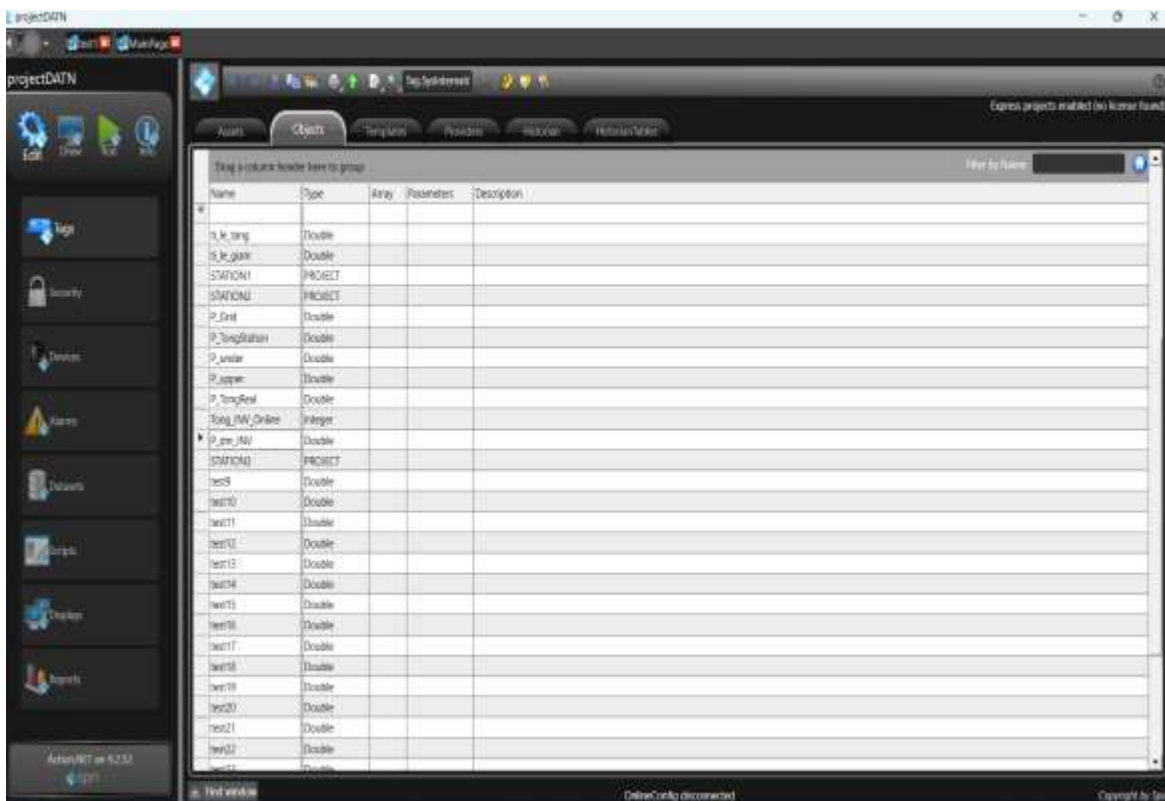


- Cấu hình các khối chuyển dữ liệu từ khối Modbus TCP/IP qua khối Modbus RTU:



- Cấu trúc biến trên phần mềm AcitonNet:

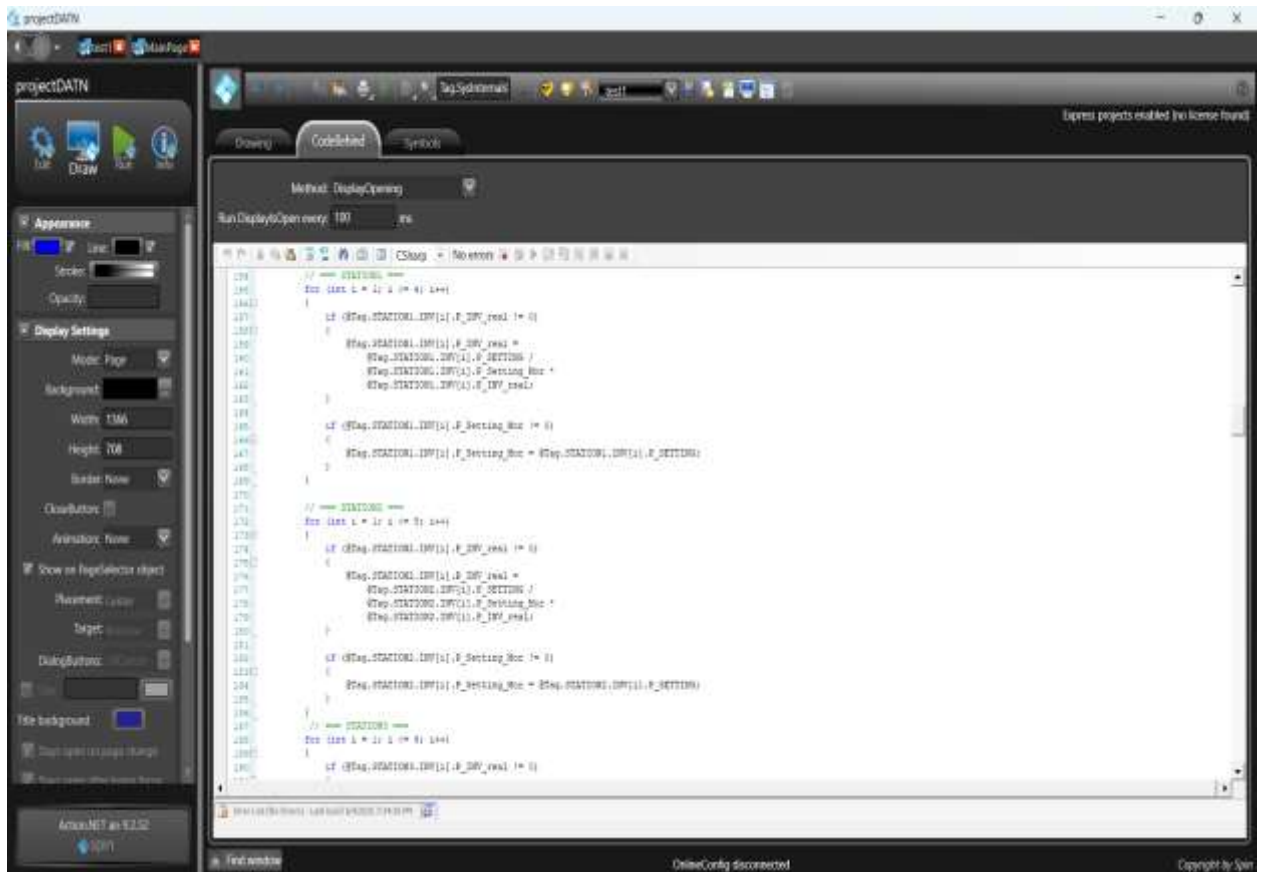
Để khai báo các biến trên phần mềm Action.Net. Trước tiên ta vào mục Edit chọn phần Tags, sau đó chọn Objects ở đây ta thêm các biến vào như phần tên ta nhập vào cột Name, kiểu biến vào cột Type, mảng vào cột Array,...



Đối với các biến nằm trong mục Objects có những biến cần phải được tạo ra ở trong Templates tạo tương tự như phần Objects.



- Thuật toán chế độ giảm cho module Zero Export trên phần mềm Action.Net bằng ngôn ngữ C#:



- Thuật toán chế độ tăng cho module Zero Export trên phần mềm Action.Net bằng ngôn ngữ C#:

