

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SONG SINH SỐ TRONG GIÁM SÁT VÀ QUẢN LÝ NĂNG LƯỢNG CHO PHỤ TẢI ĐIỆN

APPLICATION OF DIGITAL TWIN FOR CONDITION MONITORING AND ENERGY MANAGEMENT FOR ELECTRICAL LOADS

Đàm Xuân Đông^{1,2,*}, Nguyễn Tùng Linh¹, Bùi Thị Duyên¹,
Nguyễn Thị Thu Hương^{2,3}, Vũ Minh Pháp^{2,3},
Nguyễn Quang Ninh^{2,3}, Đàm Xuân Định⁴

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.241>

TÓM TẮT

Trong vài năm gần đây, sự phát triển và ứng dụng rộng rãi của các biện pháp tiết kiệm năng lượng kết hợp với chuyển đổi kỹ thuật số đã gia tăng đáng kể trên toàn cầu. Trong số các công nghệ kỹ thuật số, mô hình song sinh số (Digital Twins - DT) được xem là một giải pháp tiềm năng trong lĩnh vực năng lượng. Nghiên cứu này tập trung vào việc khám phá và ứng dụng công nghệ DT để quản lý mức tiêu thụ năng lượng của phụ tải điện trong thời gian thực. Qua nghiên cứu, chúng tôi đã triển khai thành công mô hình DT vào quản lý và giám sát năng lượng của phụ tải điện trong các nhà kính nông nghiệp. Mô hình DT không chỉ giúp các nhà quản lý lựa chọn phương pháp quản lý hiệu quả nhất mà còn hỗ trợ kiểm soát mức tiêu thụ năng lượng của phụ tải một cách hiệu quả.

Từ khóa: Song sinh số; tiêu thụ năng lượng; quản lý năng lượng; phụ tải điện; trang trại nhà kính.

ABSTRACT

During the last few years, the development and widespread application of energy-saving measures combined with digital transformation have increased significantly worldwide. Among digital technologies, the Digital Twins (DT) model is considered a potential solution in the energy sector. This study focuses on exploring and applying DT technology to manage real-time energy consumption of electrical loads. Through the research, we successfully implemented a DT model for managing and monitoring energy consumption in greenhouse agricultural electrical loads. The DT model not only helps managers choose the most effective management methods but also supports efficient control of energy consumption in electrical loads.

Keywords: Digital twin; energy consumption; energy management; electrical loads; greenhouse farming.

¹Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm và khoa học Công nghệ Việt Nam

⁴Khoa Điện tử viễn thông, Trường Đại học Điện Lực

*Email: dongdx@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 17/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

1. GIỚI THIỆU

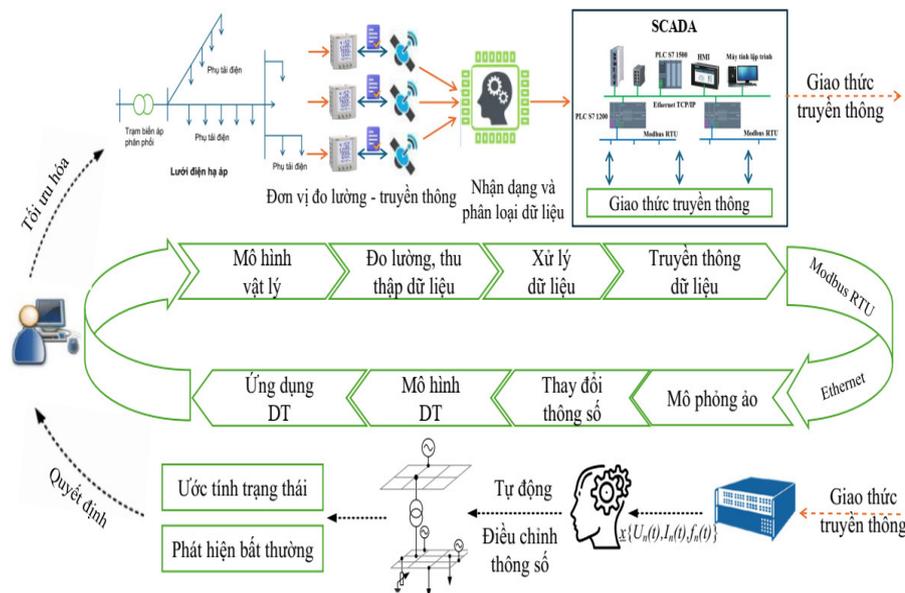
Trong những năm gần đây, công nghệ thông tin (CNTT) và công nghệ kỹ thuật số được ứng dụng vào lĩnh vực năng lượng ngày càng gia tăng trong đó có công nghệ DT. Mô hình DT là bản sao ảo của hệ thống vật lý, giúp phản ánh hoạt động của thực thể vật lý và hỗ trợ cho người vận hành đưa ra quyết định. Công nghệ này hứa hẹn mang lại nhiều tiềm năng trong tương lai, được xem là một trong những giải pháp công nghệ chủ chốt trong lĩnh vực năng lượng [1]. Khái niệm DT lần đầu tiên được NASA định nghĩa vào năm 2010 như một mô phỏng tích hợp đa vật lý, đa quy mô của một phương tiện hoặc hệ thống, phản ánh thực tế thông qua mô hình kỹ thuật số [2]. Một số nhà nghiên cứu đã phát triển mô hình DT vào lĩnh vực giám sát năng lượng như QLNL năng lượng cho tòa nhà cao tầng [3]. Giám sát năng lượng trên dây chuyền sản xuất, phát hiện sự khác biệt giữa dữ liệu thời gian thực và song sinh số [4].

Nghiên cứu này tập trung vào việc tìm hiểu công nghệ DT và ứng

dụng của công nghệ trong lĩnh vực năng lượng. Dựa trên kiến trúc tổng quát của mô hình DT, các tác giả xây dựng mô hình DT cho việc giám sát, quản lý năng lượng (QLNL) tiêu thụ của một trang trại nông nghiệp thông minh. Giao thức kết nối truyền thông được phát triển thông qua phần mềm WinCC kết hợp với S7-PLCSIM Advanced và STEP 7 TIA Portal trên giao thức OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) giúp mô phỏng ảo sự hoạt động của hệ thống. Việc ứng dụng mô hình ảo trong giám sát và QLNL cho các phụ tải điện giúp người vận hành có thể thực hiện giám sát mức tiêu thụ năng lượng một cách thuận lợi, đồng thời nâng cao độ tin cậy và an toàn của hệ thống. Những đóng góp chính của nghiên cứu:

- Tìm hiểu về công nghệ công nghệ DT.
- Xây dựng cấu hình DT vào giám sát năng lượng phụ tải điện.
- Xây dựng giao tiếp trên cơ sở phần mềm WinCC kết hợp với bộ khả lập trình điều khiển PLC (Programmable Logic Controller) trên TIA Portal thông qua giao thức OPC UA.
- Nghiên cứu ứng dụng DT vào QLNL phụ tải điện cho mô hình trang trại nông nghiệp nhà kính.

2. KIẾN TRÚC SONG SINH SỐ TRONG GIÁM SÁT NĂNG LƯỢNG PHỤ TẢI ĐIỆN



Hình 1. Cấu trúc mô hình DT hệ thống giám sát và QLNL phụ tải điện

Nhìn chung, việc ứng dụng DT trong QLNL có thể mang lại những hiểu biết về mô hình tiêu thụ năng lượng và xác định các cơ hội tiết kiệm năng lượng. Các thành phần chính của mô hình DT bao gồm nhiều khía cạnh,

mỗi khía cạnh đóng vai trò quan trọng trong việc tái tạo hoạt động của mô hình vật lý trong không gian ảo. Kiến trúc DT hệ thống giám sát và QLNL cho phụ tải điện như trong hình 1. Mô hình DT bao gồm ba lớp chính: a) cấu hình lớp vật lý lưới điện hạ áp và các phụ tải tiêu thụ điện, b) mô hình ảo, c) Liên kết dữ liệu hai chiều giữa bản sao vật lý và kỹ thuật số. Hai lớp nữa gần đây đã được thêm vào để tạo thành các lớp DT năm chiều [5]. Hai lớp được thêm vào là dữ liệu và dịch vụ.

2.1. Kiến trúc vật lý

Một mô hình DT lần đầu tiên được thiết lập dựa trên cấu hình thực tế của hệ thống lưới điện vật lý và các phụ tải điện. Cấu hình hệ thống bao gồm các phụ tải điện (động cơ, chiếu sáng, hệ thống sưởi, trạm sạc xe điện,...), nguồn phát điện, hệ thống dây dẫn kết nối nguồn điện với các phụ tải và các thiết bị điện khác. Ngoài ra, hệ thống này bao gồm các hệ thống giám sát và điều khiển như bộ điều khiển PLC, mô đun xử lý dữ liệu, cảm biến và thiết bị IEDs để đọc thông số của phụ tải như (U (V), I(A), T(°C),...) theo thời gian thực.

2.2. Mô hình ảo

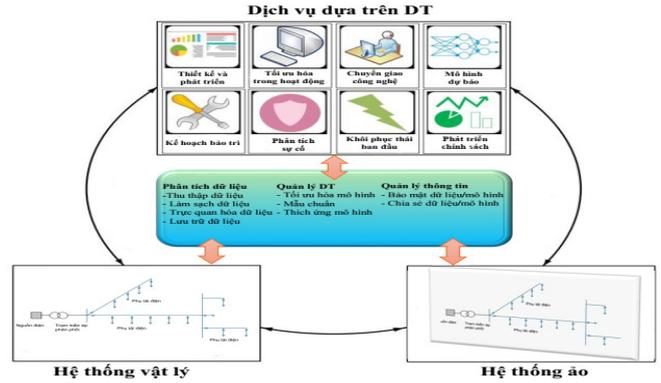
Mô hình ảo là bản sao của thực thể vật lý. Dựa trên mô hình ảo, kỹ thuật viên theo dõi sự hoạt động của lưới điện và phụ tải điện ở các trạng thái làm việc theo thời gian thực. Cấu hình lưới điện, các thông số vật lý của hệ thống điện và phụ tải điện vật lý hoạt động song song và gửi dữ liệu cho mô hình ảo. Dựa trên các bộ dữ liệu nhận được, người vận hành có thể giám sát và quản lý năng lượng phụ tải tiêu thụ điện. Mô hình DT được mô phỏng bằng WinCC nó cho phép mô phỏng và dự báo mức tiêu thụ năng lượng của phụ tải điện dựa trên dữ liệu đọc từ các cảm biến và thiết bị IEDs. Ngoài ra, dựa trên mô hình DT có thể thực hiện các thuật toán tối ưu cho thực thể vật lý. Sau khi phát triển các thuật toán điều chỉnh tham số kép kỹ thuật số, DT có thể xây dựng trên đám mây, hệ thống biên hoặc vật lý bằng cách sử dụng WinCC.

2.3. Cơ sở hạ tầng kết nối dữ liệu

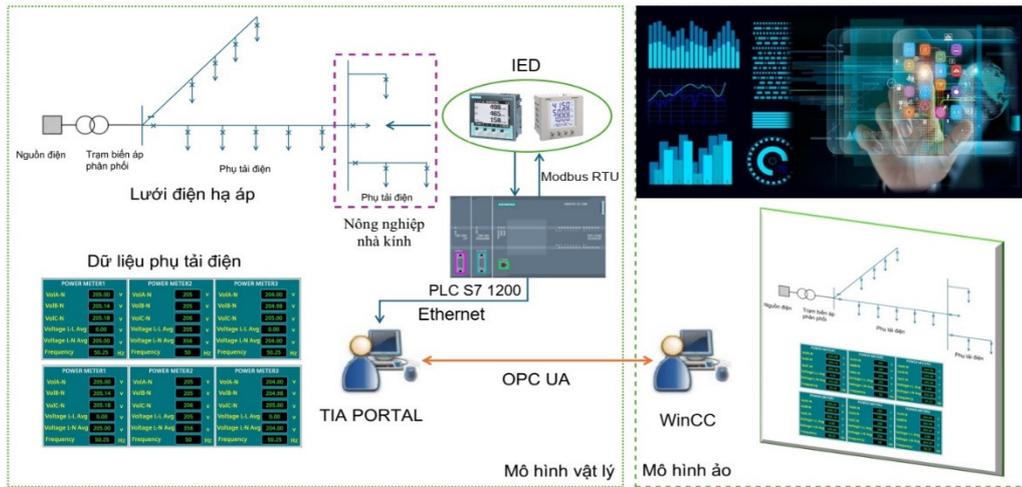
Lớp kết nối thiết lập liên kết truyền thông hai chiều giữa mô hình ảo và thực thể vật lý của lưới điện và phụ tải điện. Dữ liệu năng lượng được thu thập từ các IEDs và các cảm biến tại hiện trường thông qua các giao thức truyền

thông như IEC 61850, OPC UA, Modbus và Ethernet. Các thông số năng lượng được ghi nhận qua đồng hồ thông minh có kết nối mạng RS 485 với PLC S7 1200 thông qua mô đun CM1241. Hình 2 minh họa mối quan hệ truyền dữ liệu hai chiều giữa hệ thống vật lý và mô hình kỹ thuật số.

Các giao thức này giúp các thành phần trong hệ thống đo lường tích hợp và hoạt động mượt mà với nhau. Giao tiếp hai chiều giữa lớp xử lý dữ liệu và lớp ảo cho phép không gian ảo tương tác với lớp vật lý. Hệ thống trao đổi dữ liệu hai chiều giữa thực thể vật lý với mô hình ảo cần phải đảm bảo độ tin cậy, an toàn thông tin và hiệu suất cao.



Hình 3. Dịch vụ hỗ trợ trên bản sao song sinh số



Hình 2. Mô hình truyền dữ liệu

2.4. Giám sát và thu thập dữ liệu

Lớp dữ liệu quản lý thông tin dữ liệu của phụ tải điện bao gồm các thông số năng lượng cũng như các thông số môi trường được thu thập thông qua các cảm biến. Dữ liệu này được thu thập trong các điều kiện vận hành khác nhau và bao gồm cả dữ liệu lịch sử và dữ liệu thời gian thực. Thông qua kết nối IoT, dữ liệu từ các cảm biến và thiết bị điện tử thông minh IEDs (Intelligent Electronic Device) được thu thập và truyền qua cổng RS 485 đến bộ xử lý trung tâm (PLC) và bộ xử lý tín hiệu. WinCC được sử dụng để phân tích và xử lý dữ liệu lịch sử cũng như dữ liệu thời gian thực bằng cách ứng dụng các thuật toán thông minh. Bộ dữ liệu thu thập được là cơ sở để dự báo công suất phụ tải điện bằng cách sử dụng các thuật toán và mô hình dự báo.

2.5. Dịch vụ hỗ trợ

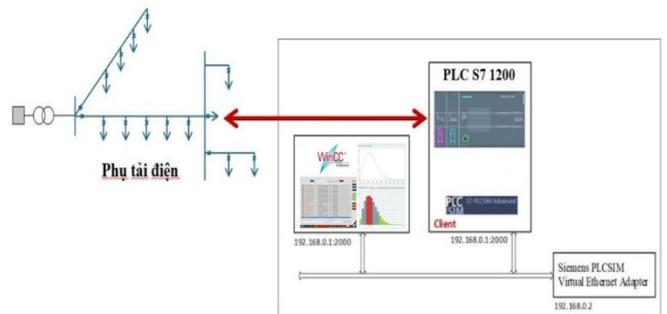
Lớp dịch vụ được phát triển dựa trên các module tối ưu trong môi trường WinCC thông qua việc sử dụng thuật toán và quy trình hỗ trợ ra quyết định. Các dịch vụ này giúp người vận hành tối ưu hóa các thông số phụ tải điện. Hình 3 thể hiện hệ sinh thái tối ưu hệ thống được phát triển dựa trên mô hình DT.

Nền tảng đám mây được tích hợp để cung cấp các dịch vụ như giám sát tiêu thụ năng lượng theo thời gian thực, tự động cập nhật thông tin phụ tải đồng thời phản hồi thông tin vận hành.

3. GIAO TIẾP GIỮA MÔ HÌNH THỰC VÀ ẢO THÔNG QUA OPC UA

OPC UA được thiết kế để tạo cầu nối liên kết các

ứng dụng phần mềm dựa trên Windows và phần cứng của hệ thống tự động hóa. Hình 4 trình bày cấu trúc kết nối WinCC, PLC và OPC UA.



Hình 4. Cấu trúc kết nối giao tiếp OPC UA

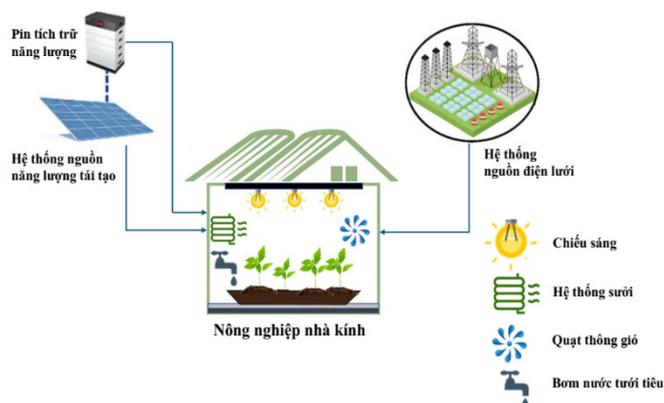
Giao thức OPC UA là giao thức truyền thông máy tới máy (M2M) được ứng dụng cho hệ thống tự động hóa công nghiệp. Giao thức OPC UA thực hiện trao đổi dữ liệu giữa hai môi trường thực và môi trường ảo. Trong hệ thống OPC, PLC hoạt động như máy chủ và WinCC là máy khách. Hộp công cụ OPC UA sử dụng để kết nối máy chủ/máy khách và trích xuất dữ liệu. Quá trình đọc dữ liệu năng lượng từ công tơ đo và cảm biến thông qua bộ điều khiển PLC và mô đun truyền thông RS 485 sau đó dữ liệu được truyền đến công cụ mô phỏng WinCC theo thời gian

thực. TIA PORTAL được dùng để tạo các khối DB để quản lý thông tin năng lượng phụ tải và môi trường nhà kính. Giao tiếp qua OPC UA cho phép trao đổi dữ liệu qua lại giữa PLC và WinCC.

4. NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH, KẾT QUẢ

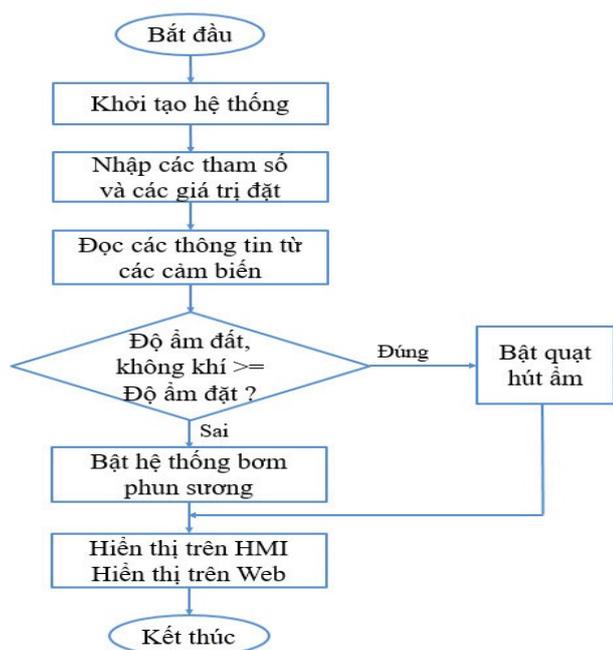
4.1. Cơ sở tính toán xác định công suất phụ tải điện

Mô hình đề xuất được áp dụng cho việc giám sát và QLNL phụ tải điện trang trại nông nghiệp nhà kính. Mô hình phụ tải điện nông nghiệp nhà kính được thể hiện trong hình 5. Hệ thống phụ tải tiêu thụ điện năng chính trong mô hình bao gồm hệ thống bơm nước tưới tiêu, hệ thống sưởi, hệ thống quạt thông gió và hệ thống chiếu sáng.



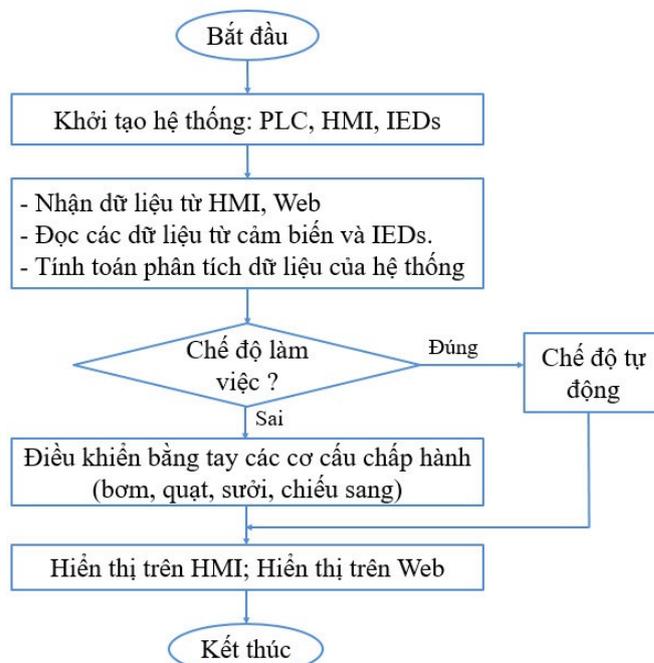
Hình 5. Mô hình trang trại nông nghiệp nhà kính

Dựa trên giá trị nhiệt độ và độ ẩm tương đối đọc từ cảm biến môi trường để điều khiển hệ thống bơm tưới tiêu, bơm làm mát mái nhà, quạt làm mát, máy sưởi và hệ thống chiếu sáng.



Hình 6. Sơ đồ thuật toán điều khiển tự động theo độ ẩm của đất

Dữ liệu năng lượng phụ tải điện và dữ liệu môi trường nông nghiệp nhà kính được đo thông qua đồng hồ thông minh và thiết bị đọc dữ liệu môi trường theo thời gian thực ở những thời điểm khác nhau. Dữ liệu được lưu trên môi trường TIA PORTAL. Các kết quả ban đầu được tóm tắt trong bảng 1.



Hình 7. Sơ đồ thuật toán điều khiển hệ thống

Công suất tính toán phụ tải điện: Sử dụng phương pháp hệ số đồng thời, công suất tính toán phụ tải theo công thức (1).

$$P_{tt} = k_{dt} \cdot \sum_{i=1}^n P_{ni} \tag{1}$$

trong đó: P_{tt} là công suất tổng phụ tải tiêu thụ điện, W ; P_{ni} là công suất định thiết bị i , W ; k_{dt} là hệ số đồng thời.

Bảng 1. Số liệu tính toán phụ tải nông nghiệp nhà kính

TT	Thiết bị điện	Công suất (kW)	Số lượng	Hệ số đồng thời K_{dt}	Thời gian trong ngày (h/ngày)	Công suất tính toán (kW)	Điện năng tiêu thụ (kWh)
1	Quạt hút không khí ẩm	0,63	6	0,55	2	2,079	4,158
2	Bơm phun sương mái	0,65	1	0,31	2,2	0,215	0,4433
3	Bơm nhỏ giọt	0,55	1	0,35	2,4	0,1925	0,462
4	Bơm phun sương trong	0,75	1	0,31	2,5	0,2325	0,58125

5	Bơm khuấy bồn phân vi sinh	0,55	2	0,32	4	0,352	1,408
6	Hệ thống sưởi	0,1	5	0,44	1	0,22	0,22
7	Hệ thống chiếu sáng	0,11	30	1	10	3,3	33

Năng lượng tiêu thụ phụ tải điện:

$$E_i = P_i \cdot t_i \tag{2}$$

trong đó: E_i : Năng lượng tính toán phụ tải i , kWh; P_i là công suất của phụ tải i , kW; t_i là thời gian hoạt động của phụ tải i , h.

Ví dụ về mô hình trang trại nông nghiệp trong nhà kính trồng cây cà chua: Trong mô hình này tiêu thụ năng lượng chủ yếu là hệ thống bơm nước tưới tiêu, quạt làm mát. Nhiệt độ và độ ẩm bên trong nhà kính được xác định hàng giờ dựa trên sự thay đổi khí hậu bên ngoài. Dựa trên quy định kích thước và vật liệu, sự tăng và giảm nhiệt của nhà kính được xác định theo tiêu chuẩn kỹ thuật của Hiệp hội Nông nghiệp Hoa Kỳ về sưởi ấm, làm mát và thông gió nhà kính (ANSI - ASAE EP 406.4) [6]. Nhiệt độ sinh trưởng lý tưởng của cây cà chua nằm trong khoảng 18°C đến 22°C [7]. Nhiệt độ ổn định trong nhà kính thường 20°C, khi nhiệt độ bên trong nhà kính thấp hơn 18°C quá trình sưởi sẽ hoạt động, khi nhiệt độ bên trong nhà kính lớn hơn 22°C quạt làm mát, bơm nước đi vào hoạt động. Độ ẩm đất phù hợp cho cây phát triển trong khoảng 60 - 80%. Như vậy, dựa trên các điều kiện tối ưu phát triển cây trồng thì tổng tiêu thụ năng lượng của các phụ tải điện đo được trong một ngày (24h) thông qua đồng hồ thông minh với sự thay đổi của các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ ẩm tương đối bên trong nhà kính.

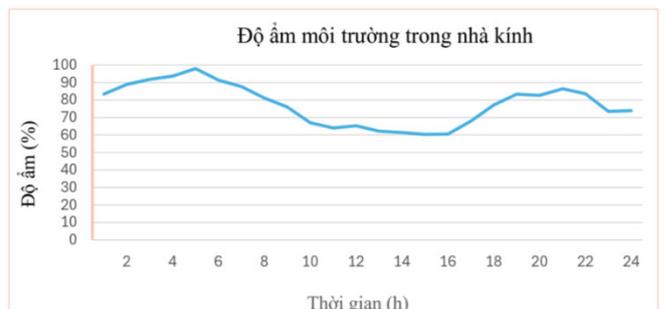
4.2. Kết quả thực hiện

Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Ret...
Static	Array[D..S] o...	0.0			
done	Bool	12.0	false	FALSE	
busy	Bool	12.1	false	TRUE	
error	Bool	12.2	false	FALSE	
error code	Word	14.0	16#0	16#0000	
DATA2	"Environmental"	16.0			
Humidity	Real	16.0	0.0	38.1	
Temperature	Real	20.0	0.0	29.4	

Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in...
Static	"Data Meter"	0.0						
Voltage V1N	Real	0.0	0.0	227.0				
Voltage V2N	Real	4.0	0.0	0.0				
Voltage V3N	Real	8.0	0.0	16#0000_5C29				
Average Voltage LL	Real	12.0	0.0	35.815				
Voltage V12	Real	16.0	0.0	326.0				
Voltage V23	Real	20.0	0.0	16#0000_35C3				
Voltage V31	Real	24.0	0.0	227.28				
Average Voltage LL	Real	28.0	0.0	151.528				
Current I1	Real	32.0	0.0	0.8362812				
Current I2	Real	36.0	0.0	0.8508437				
Current I3	Real	40.0	0.0	0.883438				
Average Current	Real	44.0	0.0	0.8559337				
kW1	Real	48.0	0.0	0.007598877				
kW2	Real	52.0	0.0	0.0				
kW3	Real	56.0	0.0	16#0000_D7C9				
kVA1	Real	60.0	0.0	0.1894531				
kVA2	Real	64.0	0.0	0.0				
kVA3	Real	68.0	0.0	16#0000_AFF5				
kVar1	Real	72.0	0.0	-0.1894531				
kVar2	Real	76.0	0.0	0.0				
kVar3	Real	80.0	0.0	16#0000_1B79				
Total kW	Real	84.0	0.0	0.007624601				
Total kVA	Real	88.0	0.0	0.1901243				
Total kVar	Real	92.0	0.0	-0.1898734				
PF1	Real	96.0	0.0	0.03979492				
PF2	Real	100.0	0.0	1.0				
PF3	Real	104.0	0.0	1.003363				
Average PF	Real	108.0	0.0	0.03990234				
Frequency	Real	112.0	0.0	50.05				
kWh	Real	116.0	0.0	93.45469				

Hình 8. Dữ liệu từ IEDs và cảm biến môi trường

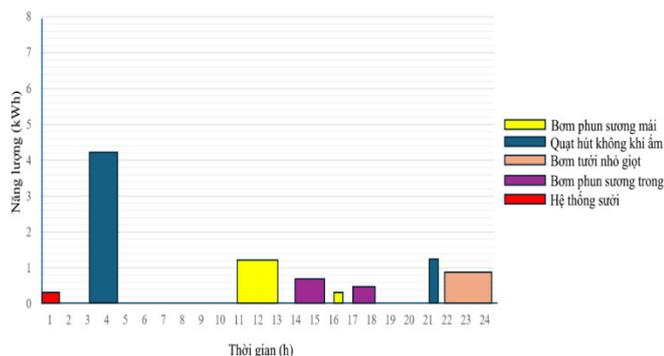
Thông tin về môi trường và thông số năng lượng phụ tải tiêu thụ điện năng được đọc thông qua cảm biến môi trường và công tơ điện tử có kết nối truyền thông RS 485 được lưu dữ trên khối dữ liệu DB(Data Block) của PLC. Hình 8 khối dữ liệu được thu thập theo thời gian thực thông qua cảm biến và các IEDs. Sự thay đổi nhiệt độ và độ ẩm theo thời gian thực trong ngày được kiểm soát thông qua các cảm biến môi trường trong nhà kính như trên hình 9.



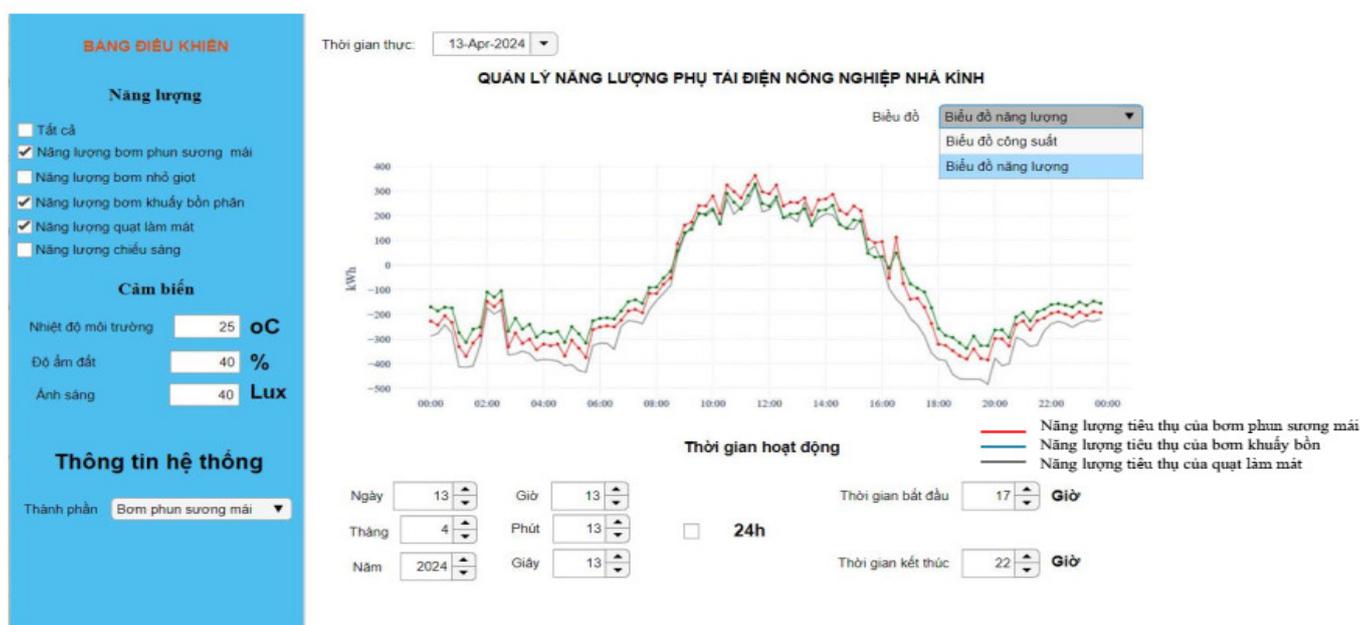
Hình 9. Thông số môi trường trong nhà kính theo thời gian thực

Thông qua giao thức OPC UA dữ liệu thiết lập trên TIA PORTAL được gửi tới môi trường WinCC và được cập nhật trên mô hình song sinh số theo thời gian thực. Hình 11

mô tả về hệ thống QLNL cho các phụ tải điện nông nghiệp nhà kính.



Hình 10. Biểu đồ tiêu thụ năng lượng phụ tải điện theo thời gian thực



Hình 11. Hệ thống giám sát mức tiêu thụ năng lượng và thông số môi trường

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tác giả đã tìm hiểu về mô hình DT và áp dụng công nghệ DT vào lĩnh vực giám sát và QLNL. Trước hết, chúng tôi nghiên cứu về các thành phần của DT. Tiếp theo, chúng tôi đã xây dựng kiến trúc DT phục vụ cho giám sát năng lượng phụ tải điện. Một giao thức truyền dữ liệu OPC UA để kết nối môi trường vật lý và môi trường số, nâng cao khả năng tương tác và đồng bộ hóa trong hệ thống giám sát điều khiển và trao đổi dữ liệu. Cuối cùng, mô hình DT này đã được triển khai để giám sát mức tiêu thụ điện năng của phụ tải điện trong nông nghiệp nhà kính. Như vậy, với việc phát triển công nghệ DT trong lĩnh vực năng lượng không chỉ tối ưu hóa về kỹ thuật mà còn là công cụ quan trọng trong việc QLNL một cách hiệu quả vào công tác quản lý lưới điện hạ áp hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Tao F, Zhang M., "Digital twin shopfloor: a new shop-floor paradigm towards smart manufacturing," *IEEE Access*, 5, 20418-20427, 2017

[2]. Negri E., Fumagalli L., Macchi M., "A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems," *Procedia Manufacturing*, 11, 939-948, 2017.

[3]. Bortolini R, Rodrigues R, Alavi H, Vecchia LFD, Forcada N., "Digital twins' applications for building energy efficiency: A review," *Energies*, 15(19), 7002, 2022.

[4]. W. N. Wang, W. L. Ding, C. C. Hua., "A digital twin for 3D path planning of large-span curved-arm gantry robot," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 76, 10233, 2022.

[5]. Medojevic M., Diaz Villar P., Cosic I., Rikalovic A., Sremcevic N., Lazarevic M., "Energy management in Industry 4.0 ecosystem: A review on possibilities and concerns," *DAAAM Proceedings*, 0674-0680, 2018.

[6]. A. S. A. E. Heating, *Ventilating, and Cooling Greenhouses (EP406.3)*. ASAE Standards 222, 1998.

[7]. K. Pavani, *Cultivation Technology of Tomato in Greenhouse*. Protected Cultivation and Smart Agriculture, 2020. <https://doi.org/10.30954/ndp-pcsa.2020.12>.

AUTHORS INFORMATION

Dam Xuan Dong^{1,2}, Nguyen Tung Linh¹, Bui Thi Duyen¹, Nguyen Thi Thu Huong^{2,3}, Vu Minh Phap^{2,3}, Nguyen Quang Ninh^{2,3}, Dam Xuan Dinh⁴

¹Faculty of Control and Automation, Electric Power University, Vietnam

²Graduate University of Sciences and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

³Institute of Science and Technology for Energy and Environment, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

⁴Faculty of Electronics and Telecommunications, Electric Power University, Vietnam