

THIẾT KẾ HỆ THỐNG GIÁM SÁT ĐIỆN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI ÁP MÁI DESIGN OF ROOFTOP SOLAR POWER MONITORING SYSTEM

KS. LÊ NHỰT KÝ^{1,*}, TS. NGUYỄN PHÚC KHẢI²,
KS. NGUYỄN NGỌC TUẤN¹

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Bách Khoa - Thành phố Hồ Chí Minh

Email*: kylvnk38@gmail.com, SĐT: 0829.959.590

Nhận bài (received): 07/3/2022; Phản biện (revised): 30/3/2022; Chấp nhận (accepted): 07/4/2022

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một hệ thống giám sát và thu thập dữ liệu từ xa độc lập không phụ thuộc vào bộ biến tần để giám sát một hệ thống điện mặt trời (PV). Hệ thống giám sát được xây dựng trên kiến trúc SCADA của Internet vạn vật (IoT). Hệ thống sử dụng mạng truyền công nghiệp Modbus RTU để thực hiện truyền thu dữ liệu thập từ cảm biến đến máy tính nhúng Raspberry Pi và xử lý dữ liệu bằng công cụ lập trình Node-RED. Dữ liệu thu thập sẽ được lưu trữ trên máy chủ MySQL cục bộ do Raspberry Pi tạo ra và được quản lý dữ liệu bằng web phpMyAdmin. Các giá trị dòng điện, điện áp, công suất, tần số, hệ số công suất,... sẽ được hiển thị trên giao diện giám sát của Node-Red Dashboards. Kết quả thực nghiệm cho thấy nghiên cứu này có thể ứng dụng trong thực tế và có khả năng mở rộng để giám sát nhiều hệ thống điện mặt trời cùng lúc.

Từ khóa: SCADA, năng lượng mặt trời, giám sát hệ thống PV, IoT.

ABSTRACT

This paper presents an independent remote monitoring and data acquisition system independent of the inverter to monitor a solar power (PV) system. The monitoring system is built on the SCADA architecture of the Internet of Things (IoT). The system uses the Modbus RTU industrial transmission network to transmit the collected data from the sensor to the Raspberry Pi embedded computer and process the data using the Node-RED programming tool. Collected data will be stored on a local MySQL server created by Raspberry Pi and managed by web phpMyAdmin. The values of current, voltage, capacity, frequency, power factor, etc. will be displayed on the monitoring interface of Node-Red Dashboards. Experimental results show that this study can be applied in practice and has the ability to scale up to monitor multiple solar power systems at the same time.

Keywords: SCADA, solar power, solar power system monitoring, IOT

1. GIỚI THIỆU

Internet vạn vật (IoT) ra đời trong bối cảnh Internet phát triển mạnh mẽ và có sự đóng góp không nhỏ từ các thiết bị công nghệ hiện đại. Nó được ra đời để khai thác và phát huy tốt nhất các chức năng tiện ích để cuộc sống con người trở nên tốt hơn trong những năm gần đây.

Trong lĩnh vực kỹ thuật điện, công nghệ IoT đang trở nên hấp dẫn hơn [1]. Trong nghiên cứu này, mục đích chính là nghiên cứu, thiết kế, thử nghiệm và triển khai một hệ thống dựa trên IoT bằng cách kết hợp thiết bị. Nó có thể được giám sát và kiểm soát từ bất kỳ nơi nào trên thế giới chỉ cần có các thiết bị kết nối được Internet.

Ứng dụng IoT trong lĩnh vực kỹ thuật điện đã được thực hiện trên các công trình trước đây [2], [3], [4]. Trong [2], các tác giả tạo ra một hệ thống nguyên mẫu có thể điều khiển và giám sát các thiết bị điện bằng cách sử dụng công nghệ IoT. Hệ thống có thể quan sát hiệu suất năng lượng dựa trên việc giám sát và điều khiển các thiết bị điều hòa không khí và các thiết bị chiếu sáng trên cao tiêu chuẩn. Các tác giả trong [3] đã nghiên cứu việc sử dụng IoT trong giám sát hiệu suất và điều khiển thời gian thực của các hệ thống quang điện. Trong [4], các tác giả mô tả một cảm biến IoT chi phí thấp mới để đo lường và phân tích chất lượng điện năng ở đầu vào của bất kỳ thiết bị sử dụng dòng điện xoay chiều nào, cung cấp một hệ thống phân tích và phát hiện sớm giúp kiểm soát các biến quan trọng bên trong cơ sở và dẫn đến dự đoán các lỗi với các cảnh báo ở giai đoạn sớm dựa trên việc xử lý các luồng dữ liệu kịp thời.

Hiện nay có rất nhiều hệ thống giám sát

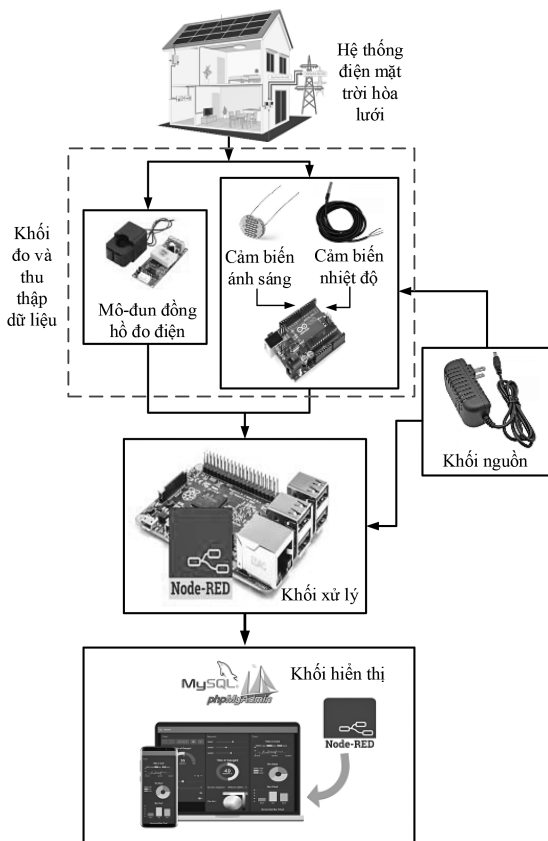
năng lượng mặt trời, nhưng phần lớn các hệ thống giám sát này phụ thuộc rất nhiều vào biến tần vì mỗi hãng có một phần mềm giám sát riêng và khó có thể kết hợp các hệ thống giám sát này lại chung với nhau. Các hệ thống giám sát hiện tại cơ bản vẫn chưa giám sát được sự tổn hao công suất và sản lượng điện năng cụ thể bán được cho công ty điện lực đối với các hệ thống điện mặt trời hoà lưới.

Dựa trên những phân tích trên và động cơ của thực tế tương lai. Bài báo này nghiên cứu, thiết kế hệ thống điện giám sát điện năng lượng mặt trời áp mái dựa trên công nghệ IoT trong hệ thống quy mô trong một hộ gia đình sử dụng hệ thống điện năng lượng mặt trời áp mái hoà lưới 3kWp nhằm giúp người sử dụng hệ thống có thể kiểm soát được mức điện năng tiêu thụ và sản lượng điện năng thu vào và bán được cho công ty điện lực từ hệ thống điện năng lượng mặt trời trong ngày.

Bài báo được tổ chức gồm 5 phần: phần 2 trình bày đối tượng nghiên cứu; phần 3 trình bày xây dựng hệ thống giám sát thông qua Internet; phần 4 trình bày kết quả và thảo luận; cuối cùng kết luận được trình bày ở phần 5.

2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu của bài báo là một hệ thống giám sát được xây dựng dựa trên SCADA của IoT. Hệ thống được tạo thành từ các cảm biến điện áp, dòng điện và cảm biến cường độ sáng làm nhiệm vụ dự báo sản lượng điện năng thu được trong ngày, bộ vi điều khiển Arduino Uno, máy tính nhúng Raspberry Pi 4 với công cụ lập trình chủ yếu là Node-Red để truyền dữ liệu vào máy chủ MySQL và được quản lý bằng phpMyAdmin để lưu trữ dữ liệu và giám sát hệ thống từ xa như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ tổng thể của hệ thống giám sát năng lượng mặt trời

Cảm biến là thiết bị đo đặc chủ yếu trong hệ thống SCADA được đề xuất vì chúng được kết nối trực tiếp với hệ thống PV đang được quản lý để thu được dữ liệu mong muốn [5]. Trong bài báo này sử dụng các thiết bị bao gồm: module đo công suất AC PZEM - 004T, cảm biến ánh sáng LDR, cảm biến đo nhiệt độ DS18B20. Hệ thống giám sát được xây dựng gồm 04 khối cơ bản bao gồm (khối nguồn, khối đo và thu thập dữ liệu, khối xử lý, khối hiển thị) chức năng của các khối trong Hình 1 được trình bày như sau:

Khối nguồn: Lấy nguồn AC chỉnh lưu thành nguồn DC 5V cấp cho khối xử lý và nguồn 9V cấp cho các cảm biến (khối đo và thu thập dữ liệu).

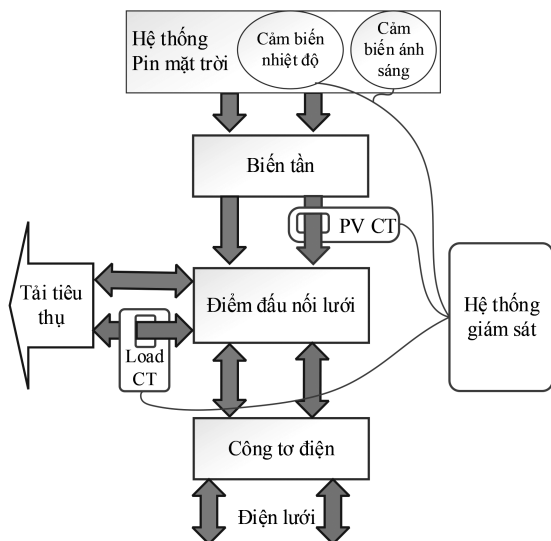
Khối đo và thu thập dữ liệu: gồm (02 module công suất AC PZEM - 004T, 01

cảm biến ánh sáng LDR, 01 cảm biến đo nhiệt độ DS18B20). Cảm biến thực hiện đo các thông số của hệ thống như điện áp, dòng điện, công suất, điện năng, tần số và hệ số công suất, ánh sáng và nhiệt độ truyền tín hiệu về Arduino, Raspberry Pi để thực hiện thu thập chuyển đổi tín hiệu đo của dữ liệu và gửi về Khối xử lý. Vị trí các cảm biến và khối đo được thể hiện ở Hình 2.

Khối xử lý: là khối trung tâm quan trọng nhất trong hệ thống thu thập dữ liệu qua mạng internet, có chức năng kết nối với mạng internet, thiết lập, điều khiển web server và nhận dữ liệu từ khối đo thông qua chuẩn truyền thông Modbus RS485, công cụ lập trình Node-RED và truyền đến khối hiển thị.

Khối hiển thị: Hiển thị các thông số đã thu thập được lên Dashboard.

Sau khi Raspberry Pi truyền dữ liệu lên sever của MySQL, sever sẽ gửi những dữ liệu đó về Dashboard của điện thoại và hiển thị lên màn hình các thông số, dữ liệu đo bằng sóng wifi, 4G và mạng Internet. Hệ thống giám sát được lắp đặt tại hộ dân như Hình 3.



Hình 2. Sơ đồ lắp đặt và bố trí hệ thống giám sát



Hình 3. Hệ thống lắp đặt thực tế

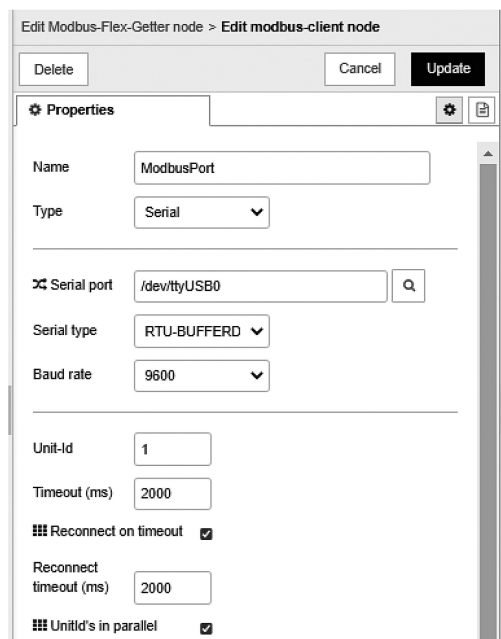
3. XÂY DỰNG HỆ THỐNG GIÁM SÁT THÔNG QUA INTERNET

Trong nghiên cứu này công cụ lập trình chính để xây dựng hệ thống giám sát là Node-RED. Node-RED cho phép người dùng kết hợp các dịch vụ Web và phần cứng bằng cách thay thế các tác vụ đơn giản giao tiếp với một cổng nối tiếp) và điều này có thể được thực hiện với giao diện kéo thả trực quan [6,7]. Các thành phần khác nhau trong Node-RED được kết nối với nhau để tạo ra một luồng (flow). Hầu hết mã lệnh (code) cần thiết được tạo tự động.

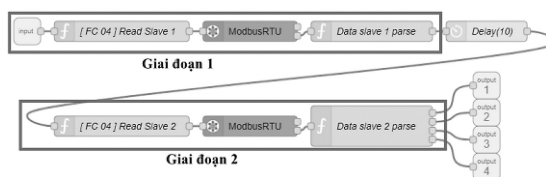
Trong nghiên cứu này, Node-RED được cài đặt trên máy tính nhúng Raspberry Pi để lập trình xây dựng chương trình giám sát hệ thống. Hệ thống giám sát trên internet được thực hiện qua các bước sau:

Bước 1: Truyền thông dữ liệu giữa Node-RED với module AC PZEM – 004T bằng truyền thông Modbus và Arduino Uno bằng Serial.

Cài đặt thư viện node-red-contrib-modbus ở phần mềm Node-RED để truyền thông dữ liệu module AC PZEM – 004T và thực hiện kết nối như Hình 4.



Hình 4. Thiết lập kết nối giữa module đo công suất AC PZEM-004T với Node-RED



Hình 5. Kết nối truyền đọc dữ liệu bằng modbus RS485 từ module AC PZEM-004T lên Node-red

Ở giai đoạn này được chia làm 02 phần để thực hiện đọc dữ liệu từ 02 khối đo công suất như Hình 5.

Giai đoạn 1: Bắt đầu đọc dữ liệu từ cảm biến của AC PZEM-004T thứ 1 (*PV power meter*) và truyền thông dữ liệu qua RS485 và sau đó thực hiện xử lý tính toán chuyển đổi dữ liệu tại khối chức năng có tên là *Data slave 1 parse*.

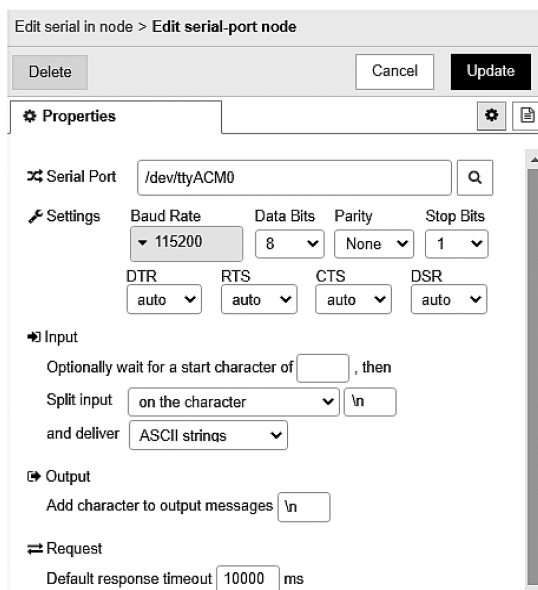
Giai đoạn 2: Đọc dữ liệu từ cảm biến của module AC PZEM-004T thứ 2 (*Load power meter*) và truyền thông dữ liệu qua RS485 và sau đó thực hiện xử lý tính toán chuyển đổi dữ liệu tại khối chức năng có tên là *Data slave 2 parse*. Giữa giai đoạn 1 và giai đoạn 2 cần có thời gian trễ là 10

micro giây. Kết thúc giai đoạn 2 qua các dữ liệu được xử lý ta được 04 ngõ ra như Hình 6.

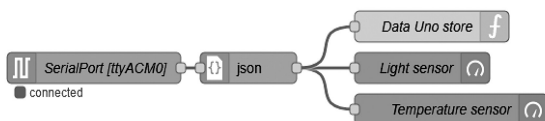
```
35 var msg1 = {payload : data1};
36 var msg2 = {payload : data2};
37 var msg3 = {payload : [data1, data2]};
38 var msg4 = {slave1:data1, slave2:data2, arduino:data3};
39
40 return [msg1, msg2, msg3, msg4];
```

Hình 6. Ngõ ra hàm chức năng có tên là Data slave 2 parse

Kết nối truyền thông giữa Arduino Uno với Node-RED bằng Serial như Hình 7,8.

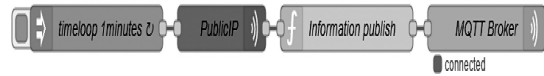


Hình 7. Thiết lập kết nối giữa Arduino Uno và Node-red



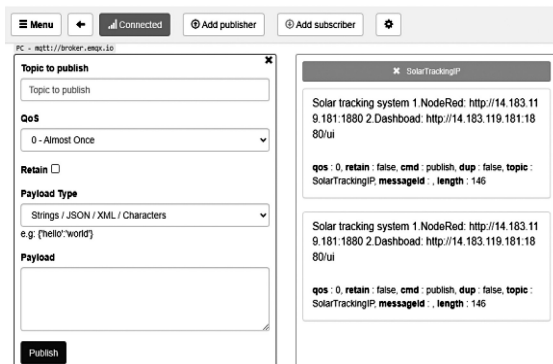
Hình 8. Kết nối đọc dữ liệu từ Arduino Uno lên Node-RED

Bước 2: Truyền thông địa chỉ URL từ máy chủ đến các thiết bị giám sát như Hình 9.



Hình 9. Địa chỉ URL máy chủ được gửi đến các thiết bị giám sát bằng giao MQTT broker.

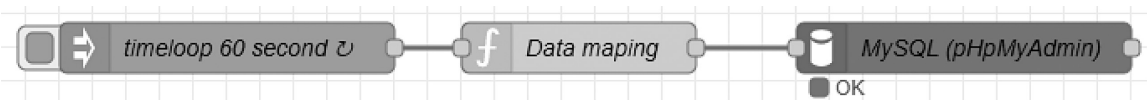
Địa chỉ http của giao diện Node-RED và Dashboard sẽ được xử lý trong khối chức năng có tên là *Information publish* và sau đó thực hiện gửi giá trị vào MQTT broker 5 giây/lần. Nhiệm vụ của quá trình này giúp người sử dụng phần mềm có thể cập nhật được địa chỉ URL chính xác nhất để đăng nhập và theo dõi giao diện giám sát như Hình 10.



Hình 10. Địa chỉ URL Node-RED và Dashboard được cập nhật thông qua MQTT broker

Bước 3: Đưa MySQL thu thập được lên web (phpMyAdmin)

Các dữ liệu được thu thập vào MySQL sẽ được xử lý trong khối chức năng có tên là *Data mapping* sau đó sẽ gửi vào *Database phpMyAdmin* với thời gian lấy mẫu là 60 giây/lần như Hình 11. Dữ liệu thu thập được được thể hiện trên web phpMyAdmin như Hình 12.



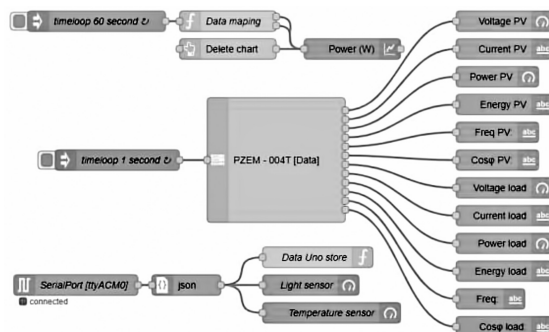
Hình 11. Xử lý các giá trị thu thập từ MySQL gửi lên Database phpMyAdmin.

	id	voltage1	current1	power1	energy1	power_factor1	voltage2	current2	power2	energy2	power_factor2	light	temperature	write_time
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2226	237.60	9.14	2160.40	3.90	1.00	237.80	2.77	552.10	5.21	0.84	460	45.1	2022-01-12 10:17:45
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2227	237.60	9.28	2195.00	3.93	1.00	237.90	2.62	514.80	5.21	0.83	463	45.4	2022-01-12 10:18:45
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2228	238.00	8.94	2117.90	3.97	1.00	238.40	2.57	508.50	5.22	0.83	457	45.6	2022-01-12 10:19:45
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2229	237.20	8.66	2043.00	4.00	0.99	237.30	2.54	500.10	5.23	0.83	454	45.4	2022-01-12 10:20:45
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2230	238.20	9.34	2216.50	4.04	1.00	238.40	2.55	505.00	5.24	0.83	458	45.6	2022-01-12 10:21:45
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2231	238.50	9.23	2192.40	4.08	1.00	238.80	2.61	516.40	5.25	0.83	462	45.5	2022-01-12 10:22:45
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2232	238.50	9.26	2200.00	4.11	1.00	238.70	2.65	521.80	5.26	0.82	464	45.8	2022-01-12 10:23:45
☐ Sửa ☐ Chép ☐ Xóa bỏ	2233	238.40	9.06	2152.40	4.15	1.00	238.70	2.58	508.30	5.27	0.83	462	46.0	2022-01-12 10:24:45

Hình 12. Giá trị dữ liệu thu thập được sau khi được gửi lên phpMyAdmin

Bước 4: Thiết kế giao diện giám sát Node-RED Dashboard.

Các giá trị giám sát như điện áp, dòng điện, công suất, tần số, hệ số công suất, điện năng, cường độ ánh sáng và nhiệt độ tấm pin PV của hệ thống điện năng lượng mặt trời và tải tiêu thụ trong ngày được xử lý bằng ngôn ngữ lập trình JavaScript trong khối PZEM-004T[Data] và hiển thị ra các dạng biểu đồ như Hình 13.



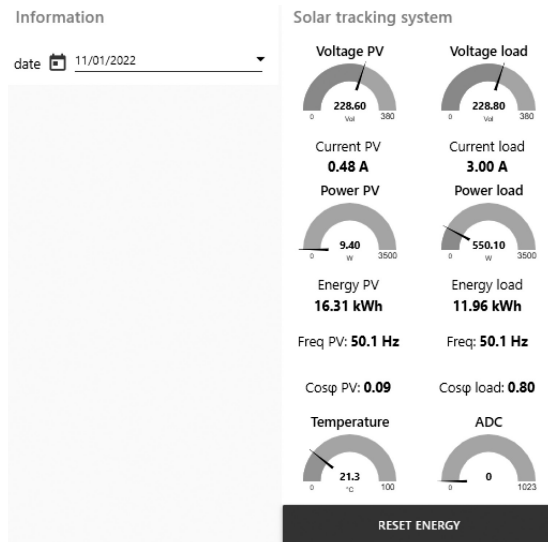
Hình 13. Kết nối giao diện giám sát

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

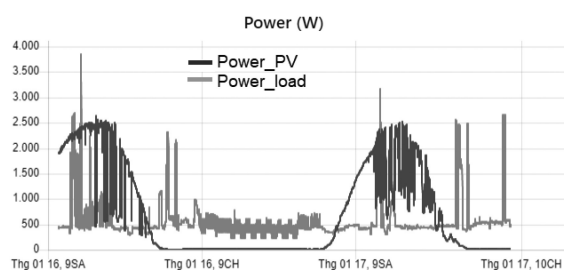
Sau khi đưa hệ thống vào thực nghiệm tại hệ thống điện năng lượng mặt trời hoà lưới 3kWp của một hộ gia đình tại phường Phước Thới, quận Ô Môn, thành phố Cần Thơ cơ bản thu được kết quả sau:

Các dữ liệu được thu thập như điện áp, dòng điện, công suất, tần số, hệ số công suất, nhiệt độ pin và cường độ sáng được thể hiện trên giao diện Hình 14. Biểu đồ thể hiện công suất phát của hệ thống PV và công suất phụ tải trong Hình 15. Các

dữ liệu trên đều được cập nhật liên tục trên Web với tần suất 1 giây/lần.



Hình 14. Giao diện giám sát của hệ thống



Hình 15. Biểu đồ biểu diễn công suất phát của hệ thống điện mặt trời và công suất phụ tải trong ngày.

Để xác định được sản lượng điện năng bán được cho công ty điện lực trong ngày ta chỉ cần truy xuất dữ liệu gồm thông số công suất phát của hệ thống và công suất phụ tải tiêu thụ từ MySQL trong khoảng thời gian giám sát trong ngày (thời gian

tính bắt đầu lúc 06:00 đến 17:00) từ đó thực hiện tính toán bằng công thức (1):

$$A = \left(\sum P_{PV} - \sum P_{load} \right) * T \quad (1)$$

Trong đó:

$\sum P_{PV}$: là tổng công suất phát của hệ thống điện năng lượng mặt trời từ 06:00 giờ đến 17:00 giờ;

$\sum P_{load}$: là tổng công suất phụ tải từ 06:00 giờ đến 17:00 giờ;

T: là thời gian khảo sát (cụ thể thời gian lấy mẫu là 1/60 phút).

Cụ thể hệ thống được thực nghiệm trong 07 ngày từ ngày 11/01/2022 đến 17/01/2022 và thời gian thực hiện giám sát hàng ngày bắt đầu từ 06 giờ 00 đến 17 giờ 00. Kết quả dữ liệu được thu thập và tính toán theo (1) được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1: Công suất và điện năng bán được qua thu thập từ được ngày 11/01/2022 đến 17/01/2022

$\sum$ Day	$\sum P_{PV}$ (kW)	$\sum P_{load}$ (kW)	Energy (kWh)
11/01	866.60	309.39	9.29
12/01	979.62	355.31	10.41

13/01	792.24	327.31	7.75
14/01	910.07	333.89	9.60
15/01	824.00	301.96	8.65
16/01	915.29	360.46	9.25
17/01	719.05	338.38	6.34

Kết quả tổng lượng điện năng mà hệ thống điện năng lượng mặt trời 3kWp bán được cho EVN trong 07 ngày 11/01/2022 -17/01/2022 là 61.29 kWh. Kết quả dữ liệu dòng điện, điện áp, công suất, tần số, điện năng và hệ số công suất đo từ Module AC PZEM 004T được đảm bảo về độ chính xác sai số là 0.5-1% [8].

5. KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm cho thấy các tác giả đã hoàn thiện mô hình giám sát hệ thống điện mặt trời áp mái. Nghiên cứu này có khả năng mở rộng giúp cho người sử dụng giám sát nhiều hệ thống PV thông qua giao diện giám sát Node-RED Dashboard với ngôn ngữ lập trình Node-RED và quản lý cơ sở dữ liệu được thu thập bằng phpMyAdmin. Ngoài ra, từ dữ liệu cường độ sáng, nhiệt độ và công suất phát của hệ thống hàng ngày ta có thể sử dụng cho việc tính toán dự báo sản lượng điện thu được bằng công nghệ trí tuệ nhân tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] G. Bedi, G.K. Venayagamoorthy, R. Singh, R.R. Brooks, K.C. Wang, (2018), "Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems", IEEE Internet Things J., 5, 847–870.
- [2] W.T. Hartman, A. Hansen, E. Vasquez, S. El-Tawab, K. Altaïi, (2018), "Energy monitoring and control using Internet of Things (IoT) system", 2018 Syst. Inf. Eng. Des. Symp. SIEDS 2018, 13–18.
- [3] N.M. Kumar, K. Atluri, S. Palaparthi, (2018), "Internet of Things (IoT) in Photovoltaic Systems", 2018 Natl. Power Eng. Conf. NPEC 2018, 1–4.

- [4] M. Alonso-Rosa, A. Gil-de-Castro, R. Medina-Gracia, A. Moreno-Munoz, E. Cañete-Carmona, (2018), “*Novel internet of things platform for in-building power quality submetering*” , Appl. Sci., 8, 1–23.
- [5] X.I.E. Lu, (2014), “*Supervisory Control and Data Acquisition System Design for CO2 Enhanced Oil Recovery*” , Tech. Rep. No. UCB/EECS-2014-123, 1–26.
- [6] M. Lekić, G. Gardašević, (2018), “*IoT sensor integration to Node-RED platform*” , 17th Int. Symp. INFOTEH-JAHORINA, 21-23 March 2018 IoT, 1–5.
- [7] A. Rajalakshmi, H. Shahnasser, (2017), “*Internet of Things using Node-Red and alexa*” , 2017 17th Int. Symp. Commun. Inf. Technol., 1–4.
- [8] (N.d.), “*No Title*” , [Https://Peacefair.En.Alibaba.Com/](https://Peacefair.En.Alibaba.Com/),.

Thông tin phản biện: TS. Phạm Thanh Tùng; TS. Nguyễn Văn Minh