

การออกแบบระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบกริดด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

วิโรจน์ บัวงาม^{1*}, หฤทัย ดั้นสกุล¹ และจิรายุ ทองฤทธิ์¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*wirot@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบกริดด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งโดยระบบออกแบบระบบวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายพลังงานเข้าระบบกริดระบบไฟฟ้าโดยสามารถแสดงผลและเก็บข้อมูลการจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งโดยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบมีขนาด 3kW ข้อมูลการวัดกำลังไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จากผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถแสดงผลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบอินเวอร์เตอร์ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ กำลังการผลิตไฟฟ้าสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอาคารผ่านแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ข้อมูลจากการวัดการผลิตและจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาสามารถนำมาวิเคราะห์การวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร การวางแผนการบำรุงรักษาระบบ

คำสำคัญ: การผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคา ประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

Design of power transmission monitoring system for rooftop solar power generation system connected to grid system

Wirot Buangam^{1*}, Harutai Dinsakul¹ and Jirayu Thongrit¹

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Pathom Rajabhat University

*wirot@webmail.npru.com

Abstract

This article presents a power measurement system for rooftop solar power generation system connected to the grid with the Internet of Things (IoT). The system is designed to measure voltage, current, and power for power distribution to the power grid system. It can display and store real-time power data via IoT technologies. The tested solar power system has a capacity of 3 kW. The collected data can be used to analyze power consumption, evaluate the efficiency of solar power generation, and assess the performance of the IoT-enabled monitoring system. Results indicate that the system effectively displays and analyzes the inverter's power generation efficiency and the capacity of energy distributed to the building through the IoT platform. This measurement data supports building energy consumption analysis and maintenance planning for the rooftop solar power system.

Keywords: solar rooftop, solar energy efficiency, internet of things

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเพราะเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลได้อย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่นิยมติดตั้งบ้านพักอาศัยและอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ [1,2] ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีอุปกรณ์สำคัญส่วนต่างๆ คือ อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่แปลงความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ เป็นต้น โดยการระบบผลิตพลังงานไฟฟ้ามีรูปแบบเชื่อมต่อกับระบบกริด ระบบไม่เชื่อมต่อกับระบบกริด และระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสาน [1]

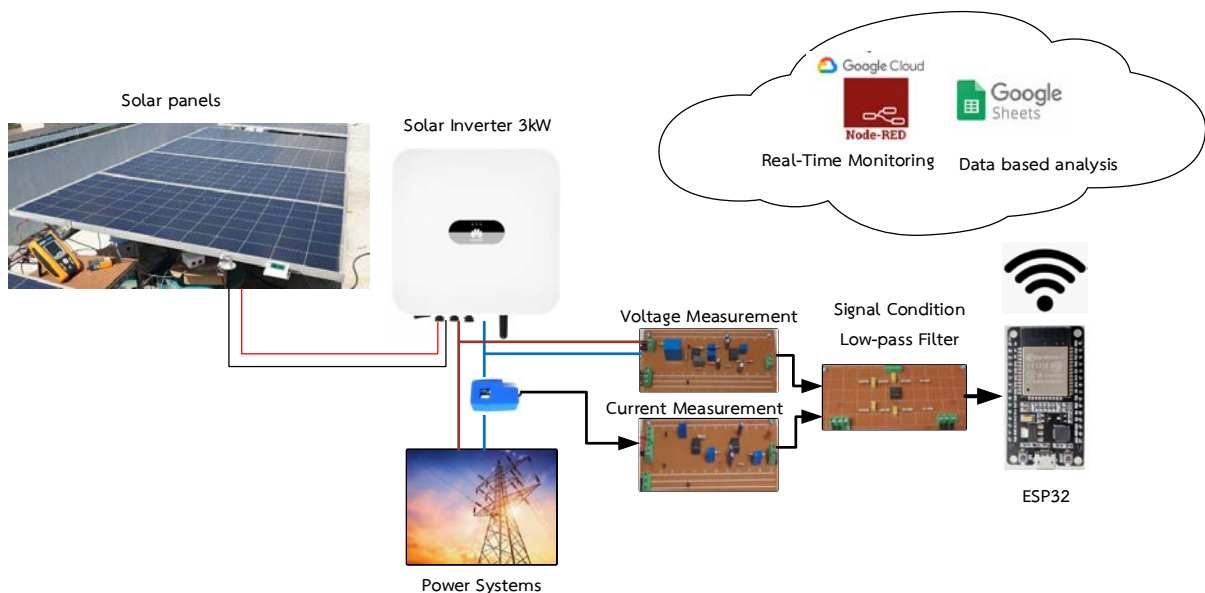
อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังงานไฟฟ้าสูงสุด อุปกรณ์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต้องทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องมีระบบตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งด้านเอาต์พุตเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าจริง กำลังปรากฏ กำลังรีแอกทีฟ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และมุมเฟสของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์และการส่งพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังหรือระบบกริด โดยมีงานวิจัยการตรวจสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยออกแบบระบบด้วยต้นทุนต่ำ [3,4] โดยตรวจสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง [3,5]

การออกแบบระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบกริด [6] การออกแบบการควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [7]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อระบบกริดด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Thing : IoT) ระบบสามารถตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ และส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถบันทึกข้อมูลย้อนหลังเพื่อใช้วิเคราะห์แนวโน้มการผลิตพลังงานในระยะยาว และรองรับกรณีที่เกิดการขาดการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยระบบสำรองข้อมูลลงหน่วยความจำในตัวอุปกรณ์

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อระบบกริดด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งแสดงดังภาพที่ 1



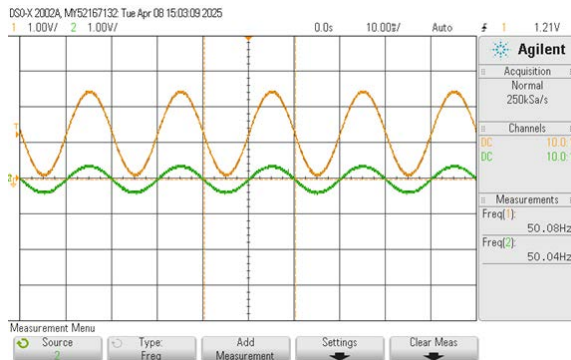
ภาพที่ 1 ระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อระบบกริดด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

ระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อระบบกริดด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยชุดวัดแรงดันไฟฟ้าออกแบบวัดแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 500V ชุดวัดกระแสไฟฟ้าวัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 10A ระบบเชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับการแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์โดยมีรายละเอียดดังนี้

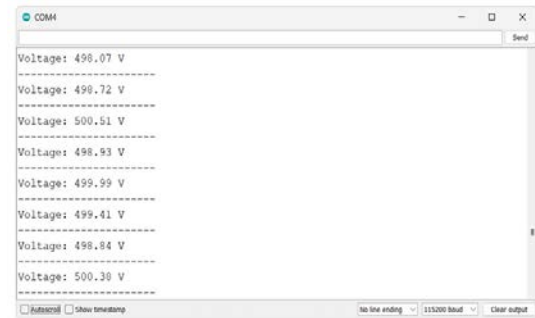
2.1 การออกแบบระบบวัดแรงดันไฟฟ้า

การออกแบบระบบวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์ ZMPT107 โดยออกแบบวัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 500V_{RMS} สัญญาณเอาต์พุตผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์คอันดับสองและปรับแต่งสัญญาณให้แรงดันไฟฟ้า 3.3V เพื่อ

เหมาะสมกับแรงดันอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังภาพที่ 2 (ก) การคำนวณขนาดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอัลกอริธึม ดีสครีตฟลูเรียร์ทรานฟอร์ม (descrete flourier transform) โดยผลการคำนวณขนาดแรงดันไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 2 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 เอาต์พุตของวงจรปรับแต่งสัญญาณและผลการคำนวณสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

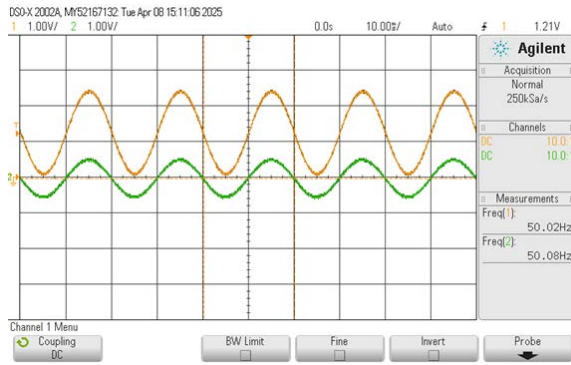
ตารางที่ 1 ผลการคำนวณขนาดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluck 5500A

แรงดันไฟฟ้า เครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A	ค่าแรงดันไฟฟ้าจากการวัด (V)					ค่าเฉลี่ย จากการวัด	ค่าความ ผิดพลาด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
0	0.47	0.42	0.43	0.41	0.29	0.40	-
50	50.23	50.04	49.96	50.20	50.13	50.11	0.224
100	100.61	100.88	100.74	100.54	100.81	100.72	0.716
150	150.16	149.79	149.42	149.71	149.75	149.77	0.156
200	200.51	199.61	199.94	200.07	199.52	199.93	0.035
250	250.29	249.55	249.51	249.88	249.05	249.66	0.138
300	299.30	299.78	298.88	299.45	299.98	299.48	0.174
350	351.37	352.70	357.96	352.92	352.32	353.45	0.987
400	403.01	403.05	404.31	403.72	404.30	403.68	0.920
450	453.45	453.76	454.23	453.02	453.78	453.65	0.811
500	498.07	498.72	500.51	498.93	499.99	499.24	0.151

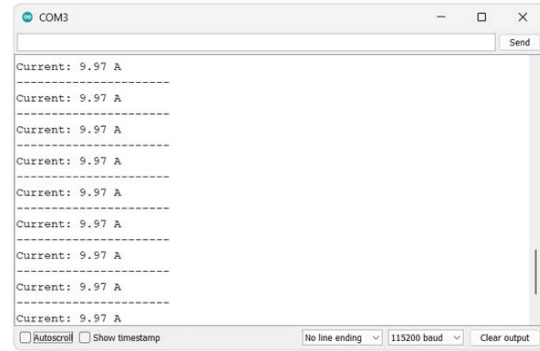
ผลการทดสอบการคำนวณขนาดแรงดันไฟฟ้าโดยการสอบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A จากผลการคำนวณขนาดแรงดันไฟฟ้าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเมื่อเทียบกับเครื่องสอบเทียบไม่เกิน 1%

2.2 การออกแบบระบบวัดกระแสไฟฟ้า

การออกแบบระบบวัดกระแสไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์ SCT-013 วัดสัญญาณกระแสสลับสูงสุด 10A_{RMS} สัญญาณเอาต์พุตต่อผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำแบบแบตเตอรี่เวิร์ดอันดับสองและปรับแต่งสัญญาณให้แรงดันไฟฟ้า 3.3V เพื่อเหมาะสมกับแรงดันอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังภาพที่ 3 (ก) การคำนวณขนาดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอัลกอริธึม ดีสครีตฟลูเรียร์ทรานฟอร์ม (descrete flourier transform) โดยผลการคำนวณขนาดแรงดันไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 3 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 เอาต์พุตของวงจรปรับแต่งสัญญาณและผลการคำนวณสัญญาณกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 2 ผลการการคำนวณขนาดสัญญาณกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

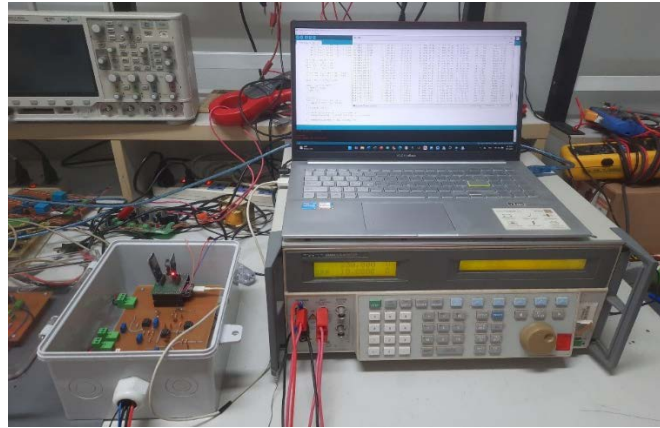
กระแสไฟฟ้า เครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A	กระแสไฟฟ้าจากการวัด (A)					ค่าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้า (A)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-
1.0	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.0
2.0	1.99	2.01	2.01	2.01	2.01	2.006	0.3
3.0	3.02	3.01	3.00	3.00	3.00	3.006	0.2
4.0	4.00	4.00	4.01	4.00	4.01	4.004	0.1
5.0	5.01	5.01	5.01	5.00	5.00	5.006	0.12
6.0	5.99	6.00	5.99	6.00	6.00	5.996	0.07
7.0	6.99	6.98	6.99	6.98	6.98	6.984	0.23
8.0	7.96	7.96	7.97	7.98	7.98	7.97	0.38
9.0	8.97	8.97	8.98	8.97	8.97	8.972	0.31
10.0	9.97	9.96	9.96	9.97	9.97	9.966	0.34

ผลการทดสอบการคำนวณขนาดกระแสไฟฟ้าโดยการสอบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A จากผลการคำนวณขนาดกระแสไฟฟ้าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเมื่อเทียบกับเครื่องสอบเทียบไม่เกิน 1%

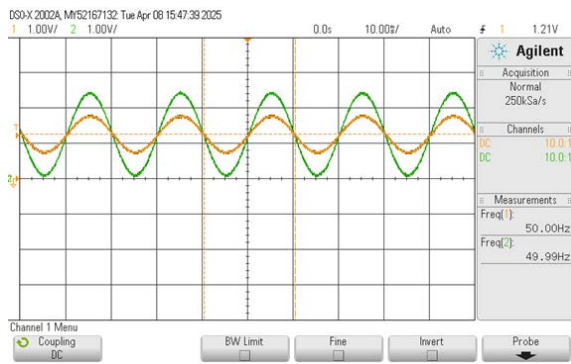
2.3 การวัดกำลังไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยกำลังไฟฟ้าที่วัดประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าต้านกลับ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และมุมเฟสของอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A แสดงดังภาพที่ 4 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรปรับแต่งสัญญาณดังภาพที่ 5 (ก) โดยทดสอบการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง ภาพที่ 5 (ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าคำนวณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

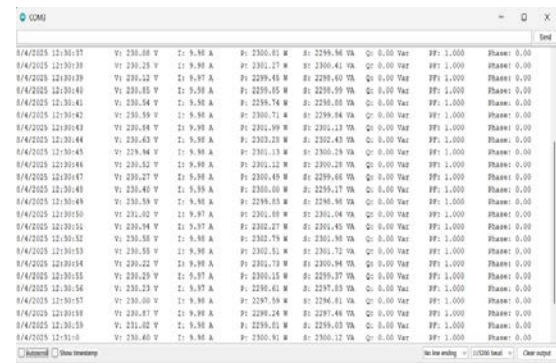
จากตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A โดยการทดสอบกำหนดแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องสอบเทียบ 230V กระแสไฟฟ้า 10A และปรับมุมเฟสของสัญญาณ 0 – 45 องศา โดยเปลี่ยนแปลงครั้งละ 5 องศา พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่คำนวณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.3



ภาพที่ 4 การทดสอบการวัดกำลังไฟฟ้าด้วยเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 ผลสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าคำนวณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้ากับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

ค่ากำลังไฟฟ้าเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A			ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้ (W)					ค่าเฉลี่ยจาก การวัด	ค่าความ ผิดพลาด (%)
แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	มุมเฟส (องศา)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
230	10	0	2298.96	2298.35	2297.98	2297.65	2298.07	2298.20	0.078
230	10	5	2290.56	2289.75	2289.67	2289.9	2290.06	2289.99	0.055
230	10	10	2263.59	2263.86	2263.79	2263.64	2263.21	2263.62	0.064
230	10	15	2220.63	2220.42	2220.01	2219.44	2219.63	2220.03	0.072
230	10	20	2158.05	2158.23	2158.26	2159.48	2158.64	2158.53	0.128
230	10	25	2081.78	2081.36	2081.01	2079.27	2079.96	2080.68	0.184
230	10	30	1985.16	1985.3	1985.89	1986.77	1987.2	1986.06	0.291
230	10	35	1878.69	1878.22	1878.5	1879.10	1878.72	1878.65	0.287
230	10	40	1757.91	1758.47	1758.85	1759.92	1760.07	1759.04	0.162
230	10	45	1624.94	1624.87	1624.45	1623.83	1624.26	1624.47	0.115



ตารางที่ 4 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

Fluke 5500 A			กำลังไฟฟ้าปรากฏค่าที่วัดได้ (VA)					ค่าเฉลี่ยจาก การวัด	ค่าความ ผิดพลาด (%)
แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	มุมเฟส (องศา)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
230	10	0	2298.37	2297.76	2297.39	2297.07	2297.49	2297.616	0.104
230	10	5	2298.59	2297.77	2297.73	2297.9	2298.09	2298.016	0.086
230	10	10	2297.84	2298.21	2298.02	2297.92	2297.3	2297.858	0.093
230	10	15	2298.25	2298.09	2297.56	2297.1	2297.08	2297.616	0.104
230	10	20	2295.79	2295.65	2295.78	2296.99	2296.66	2296.174	0.166
230	10	25	2296.94	2296.35	2295.69	2294.65	2294.93	2295.712	0.186
230	10	30	2294.85	2295.13	2295.34	2295.42	2295.47	2295.242	0.207
230	10	35	2293.69	2293.37	2293.69	2294.83	2294.34	2295.384	0.201
230	10	40	2294.86	2295.16	2295.6	2296.7	2297.2	2295.904	0.178
230	10	45	2297.16	2296.7	2296.63	2296.34	2297.01	2296.768	0.141

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

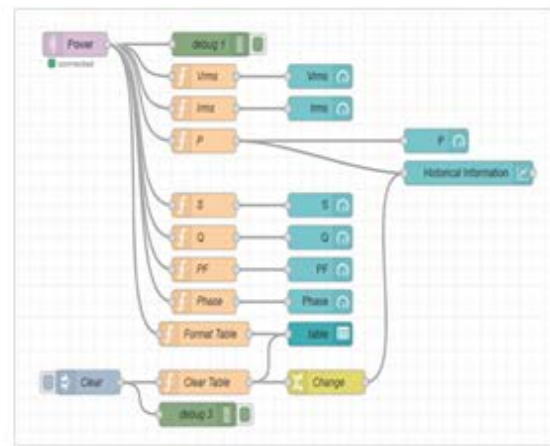
Fluke 5500 A			ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟค่าที่วัดได้ (Var)					ค่าเฉลี่ยจาก การวัด	ค่าความ ผิดพลาด (%)
แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	มุมเฟส (องศา)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
230	10	0	0	0	0	0	0	0	0.000
230	10	5	192.01	191.9	192.3	191.56	191.91	191.936	4.247
230	10	10	395.22	395.9	395.17	395.45	394.3	395.208	1.047
230	10	15	592.26	592.4	591.9	592.24	591.47	592.054	0.542
230	10	20	784.17	784.16	784.36	785.84	785.47	784.8	0.614
230	10	25	970.65	970.14	969.32	970.58	969.77	970.092	0.199
230	10	30	1146.79	1147.13	1147.53	1147.35	1147.67	1147.294	0.235
230	10	35	1316.89	1316.32	1315.73	1315.88	1315.98	1316.16	0.232
230	10	40	1475.17	1474.97	1475.21	1475.64	1476.24	1475.446	0.201
230	10	45	1623.74	1623.15	1623.47	1623.69	1624.2	1623.65	0.166

2.4 การเชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

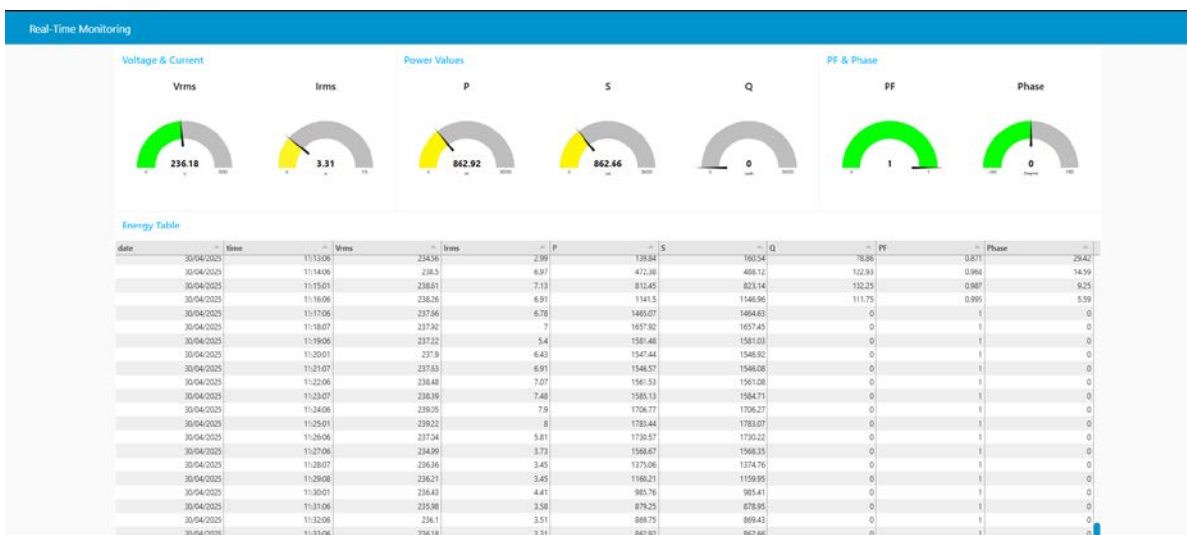
การส่งข้อมูลไปบันทึกที่โหนด-เรดมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้โหนด-เรดเป็นตัวกลางในการควบคุมรับ จัดเก็บ และแสดงข้อมูลในระบบไอโอทีแบบเรียลไทม์ โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

1) ภาพแบบการเชื่อมต่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 จะเชื่อมต่อกับโหนด-เรดผ่านระบบสายพาย โดยการเขียนโปรแกรมอาร์ดูโน้ จากนั้นข้อมูลจะถูกเผยแพร่ไปยัง MQTT broker ที่เป็นตัวกลางในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกัน โดยวิธีนี้เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการส่งข้อมูลเพื่อวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ แสดงดังภาพที่ 6

2) ภาพแบบข้อมูลที่ถูกบันทึก ข้อมูลที่ได้รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 จะถูกจัดให้อยู่ในภาพแบบของ JSON ซึ่งเป็นภาพแบบมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบไอโอทีสำหรับการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูล เนื่องจากมีโครงสร้างที่อ่านเข้าใจง่ายและสามารถประมวลผลได้สะดวก จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มโหนด-เรดผ่านโปรโตคอล MQTT



ภาพที่ 6 การส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโปรโตคอล MQTT และโหนด-เรด



ภาพที่ 7 การแสดงผลกำลังไฟฟ้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

จากภาพที่ 7 แสดงกำลังไฟฟ้าที่วัดจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง การแสดงผลแสดงค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าต้านกลับ เพาเวอร์แฟกเตอร์ และมุมเฟสของสัญญาณ โดยแสดงค่าแบบเกจวัด ปริมาณพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงเป็นตัวเลข นอกจากนั้นแสดงผลเป็นกราฟเพื่อแสดง

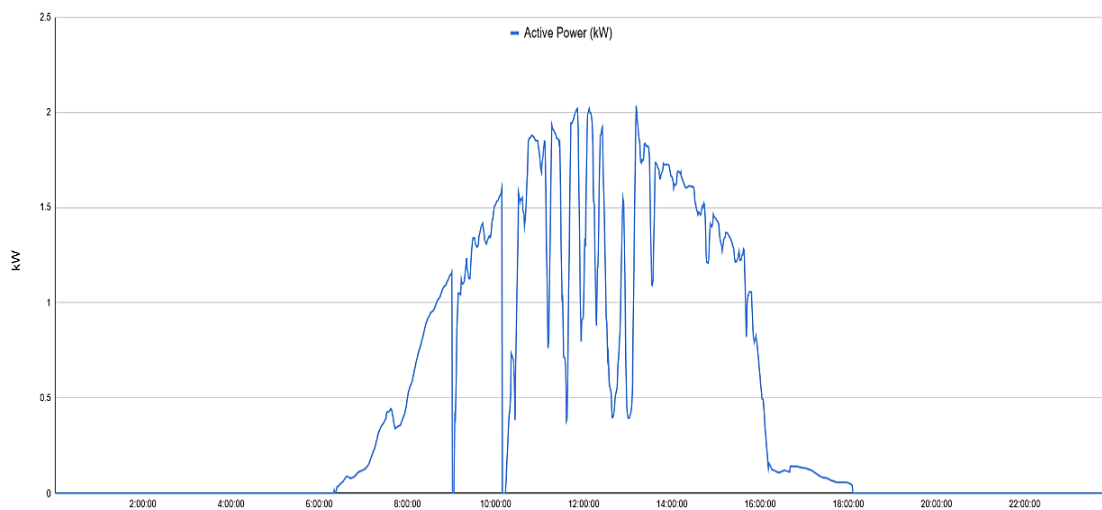
แนวโน้มการผลิตไฟฟ้าผ่านโปรแกรมโหลด-เรด และการเก็บข้อมูลลงการ์ดหน่วยความจำเพื่อให้ระบบวัดกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้ในกรณีที่ระบบไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

3. ผลการทดสอบ

การทดสอบการวัดและตรวจสอบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์ขนาด 3kW Huawei รุ่น SUN2000-3KTL-L1 เชื่อมต่อกับระบบกริดเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบติดตั้งบนหลังคาแสดงดังภาพที่ 8 การทดสอบทำการต่อระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบกริดด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 8 การทดสอบการวัดกำลังไฟฟ้าด้วยชุดวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 9 ผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงช่วงเวลา 00:00 – 23.55 น.

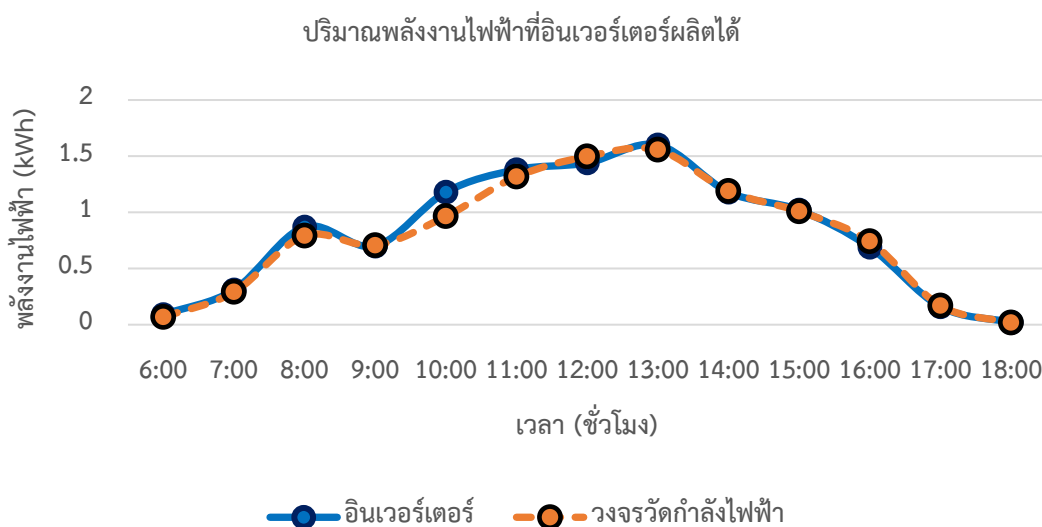
จากภาพที่ 9 แสดงผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังโดยแสดงผลกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 00:00 – 23.55 น. พบว่าระบบสามารถแสดงปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงที่อินเวอร์เตอร์ผลิตกำลังงานไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบกริดได้ โดยผลของกำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้ารวม หน่วยของการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า

ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่วัดได้ กิโลวัตต์ (kW)		ระยะเวลาการเชื่อมต่อกับกริดของอินเวอร์เตอร์ ชั่วโมง (h)	
อินเวอร์เตอร์	วงจรวัดกำลังไฟฟ้า	อินเวอร์เตอร์	วงจรวัดกำลังไฟฟ้า
2.061	2.035	11.75	11.33
ผลต่าง	0.026	ผลต่าง	0.42
ค่าความผิดพลาด (%)	1.262	ค่าความผิดพลาด (%)	3.574

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้า (kWh) ของอินเวอร์เตอร์

ช่วงเวลา (นาฬิกา: น.)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง: kWh)		ช่วงเวลา (นาฬิกา: น.)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง: kWh)	
	อินเวอร์เตอร์	วงจรวัดกำลังไฟฟ้า		อินเวอร์เตอร์	วงจรวัดกำลังไฟฟ้า
06:00-06:59	0.04	0.042	13:00-13:59	1.59	1.53
07:00-07:59	0.29	0.3	14:00-14:59	1.48	1.53
08:00-08:59	0.83	0.89	15:00-15:59	1.19	1.05
09:00-09:59	1.18	1.16	16:00-16:59	0.14	0.13
10:00-10:59	1.52	1.23	17:00-17:59	0.08	0.09
11:00-11:59	1.38	1.48	18:00-18:59	0	0
12:00-12:59	1.19	1.18	-	-	-



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบผลการคำนวณหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลการคำนวณหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์

ผลรวมค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดวัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง: kWh)	อินเวอร์เตอร์	วงจรวัดกำลังไฟฟ้า
	10.91	10.59
ค่าความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์: %)		2.93

จากการทดสอบการวัดกำลังไฟฟ้าจริงของระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อระบบกริดด้วยระบบอินเวอร์เตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง โดยเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่แสดงผลที่อินเวอร์เตอร์แสดงดังตารางที่ 6 พบว่าระบบสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้ามีความถูกต้องมีค่าความคลาดเคลื่อน 1.262 % นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณเวลาในการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ จากตารางที่ 7 แสดงผลการคำนวณหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้า (kWh) ของอินเวอร์เตอร์โดยการคำนวณหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 08.00 – 19.00 น. โดยเปรียบเทียบผลการคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าคำนวณของอินเวอร์เตอร์พบว่าระบบสามารถคำนวณหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้องและแสดงผลดังภาพที่ 10 ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยการผลิตไฟฟ้ารวม 1 วัน พบว่าความถูกต้องของการคำนวณหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 2.93%

4. บทสรุป

ระบบตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อระบบกริดด้วยระบบอินเวอร์เตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง สามารถวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ระบบสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ เพาเวอร์แฟกเตอร์ และมุมเฟสของระบบ โดยการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ การแสดงผลระบบจะส่งข้อมูลจากการประมวลผลผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังระบบคลาวด์เซอร์ฟเวอร์ รับข้อมูลและแสดงผลด้วยโปรแกรมโนต-เรต ผลการทดสอบความถูกต้องของวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้ามีความผิดพลาดไม่เกิน 3%

ผลการวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงผลได้ด้วยระบบอินเวอร์เตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสามารถตรวจสอบการผลิตและการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ได้ นอกจากนี้จากผลการวัดกำลังไฟฟ้ายังสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำข้อมูลจากการวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ นอกจากนี้ระบบยังสามารถคำนวณหน่วยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ได้ จากข้อมูลจากการวัดกำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ภายใต้โครงการ โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น และความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2567 ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือสำหรับงานวิจัยให้สำเร็จได้ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 62446-1-Photovoltaic (PV) systems Requirements for testing, documentation and maintenance Part 1: Grid connected systems Documentation,



- commissioning tests and inspection. IEC, Geneva, Switzerland. IEC, Geneva, Switzerland.
- Disponivelem: https://www.gedweb.com.br/aplicacao/usuario/asp/detalhe_nie.asp.
- [2] CEI - 82-25 Guide for design, installation and operation of photovoltaic (PV) generation system Part 1: General - Acronyms, Definitions and Main Laws, Deliberation and Standards
- [3] Demir, B. E. (2023). A New Low-Cost Internet of Things-Based Monitoring System Design for Stand-Alone Solar Photovoltaic Plant and Power Estimation. *Applied Sciences*, 13(24), 13072.
- [4] Choi, J., Choi, M., Shin, Y. and Lee, I. -W. (2020). Design of Web-based Monitoring System for Solar Photovoltaic Power Plants. 2020 International Conference on Information Networking (ICOIN), Barcelona, Spain, 2020, pp. 784-786.
- [5] Desai, A., Mukhopadhyay, I. and Ray, A. (2021). Effect of Azimuth and Tilt Angle on Ideally Designed Rooftop Solar PV Plant for Energy Generation. 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Fort Lauderdale, FL, USA, 2021, pp. 0522-0527.
- [6] Saha A., Misra S., Muhit M. S. and Karim A. (2019). Design and Implementation of Automated Switching and Real-Time Monitoring of Hybrid Solar System. 2019 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering (IC4ME2), Rajshahi, Bangladesh, 2019, pp. 1-5.
- [7] Neupane, K., Undeland, T. M. and Rouniyar, A. (2014). Smart controller design for solar-grid hybrid system: Microcontroller based automatic adjustable discretized solar-grid integration system. 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), Taipei, Taiwan, 2014, pp. 1-4.