

การออกแบบระบบตรวจวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริง

วิโรจน์ บัวงาม^{1*}, ศราวุฒิ ไชยศรีษะ¹ และรชานนท์ ภู่อวด¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*wirot@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อร่วมกันแบบสตริง โดยระบบประกอบด้วยการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิโดยรอบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ สำหรับการคำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานแผงโซลาร์เซลล์ การประมวลผลข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการคำนวณประสิทธิภาพคำนวณตามมาตรฐาน IEC 62446 ผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์พบว่าระบบสามารถวัดประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ต่อแบบหลายแผงได้เทียบกับเครื่องมือวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเก็บข้อมูลการคำนวณลงหน่วยความจำทำให้สามารถแสดงและวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวันทำให้ทราบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ขณะผลิตไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่าระบบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถตรวจวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอด 24 ชั่วโมงและสามารถนำผลการวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์วิเคราะห์การบำรุงรักษาและการชำรุดของระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์ เซลล์แสงอาทิตย์

Design of string solar panel efficiency measurement system

Wirot Buangam^{1*}, Sarawut Chaisrisa¹ and Rachanon Poosawad¹

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

*wirot@webmail.npru.com

Abstract

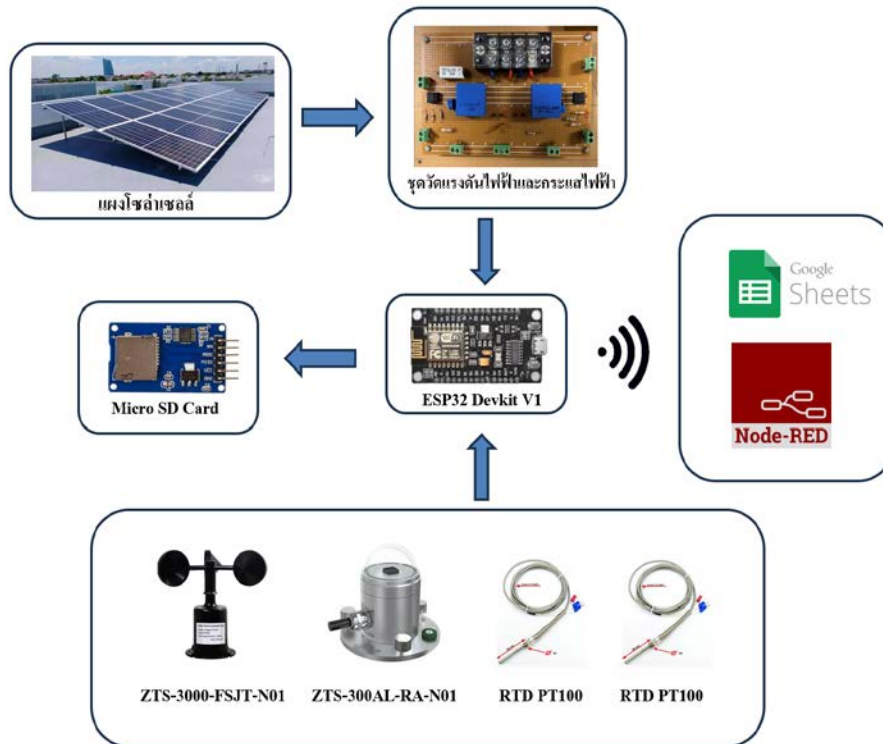
This article presents the design of a performance measurement system for string-connected solar panels. The system consists of measuring current, voltage, temperature beneath the panel, ambient temperature, and solar irradiance for calculating the energy efficiency of the solar panels. Data processing is performed using an ESP32 microcontroller to calculate the efficiency of the solar panels in accordance with the IEC 62446 standard. The test results show that the system can accurately measure the efficiency of multiple connected solar panels compared to a standard solar panel performance measuring instrument, with an error margin of no more than 5 percent. Additionally, the system stores calculated data in memory, allowing for display and analysis of solar panel performance throughout the day. This enables assessment of electricity generation efficiency during real-time operation. The research results indicate that the solar panel performance measurement system can continuously monitor panel efficiency 24 hours a day. Furthermore, the measured data can be used for maintenance analysis and fault detection to enhance the overall power generation efficiency of the solar energy system.

Keywords: Solar panel efficiency measurement, Solar panel

1. บทนำ

การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับระบบกริดมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ การแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ [1] ดังนั้นองค์ประกอบทั้งสองส่วนมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ การแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีการต่อร่วมกันหลายแผงเข้าด้วยกันเป็นแบบสตริงเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่สูงและเหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าอินพุตกับอินเวอร์เตอร์ [2] ดังนั้นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงจะช่วยให้การจ่ายพลังงานไฟฟ้าร่วมกัน ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลต่อประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องด้วยประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีองค์ประกอบหลายส่วนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผง [3] เช่น ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิโดยรอบแผง สภาพอากาศ ฝุ่นละออง การบังเงา การเชื่อมต่อแผง จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเพื่อให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดการผลิตพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการตรวจสอบ

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่จ่ายสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง [4,5,6] ดังนั้น คณะผู้วิจัยนำเสนอระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบสตริง เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายเข้ากับอินเวอร์เตอร์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบไฟฟ้ากำลัง [7] จากงานวิจัยสามารถวัด ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบสตริงได้ตลอดเวลา และนำผลการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์นำมาวิเคราะห์การ ผลิตและการบำรุงรักษาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้



ภาพที่ 1 ระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบสตริง

จากภาพที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบสตริง ระบบประกอบด้วยระบบวัด แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าผ่านวงจรปรับแต่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ระบบวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ระบบวัดอุณหภูมิใต้แผงและบริเวณโดยรอบ การส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทาง MODBUS RS-485 การวัด ประสิทธิภาพของระบบประมวลผลและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อร่วมกันแบบสตริง มีขั้นตอนการออกแบบระบบ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.1 ระบบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริง

การออกแบบระบบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

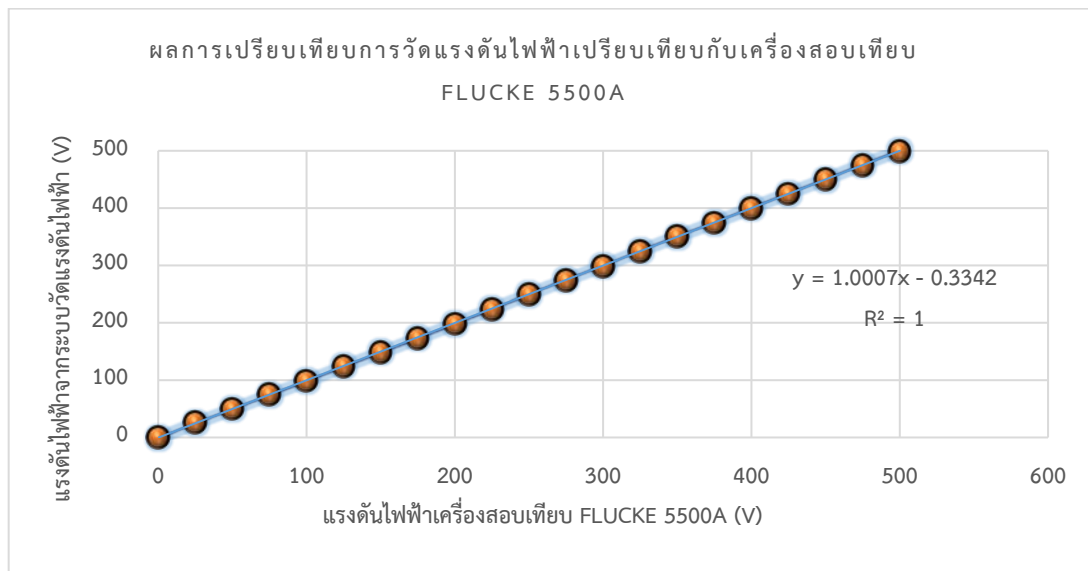
2.1.1 ระบบวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเซนเซอร์ LV25-P การออกแบบวัดระดับ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 500V และวงจรวัดกระแสไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์ LA25-NP ออกแบบวัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด 10A โดยเอาต์พุต

ของวงจรทั้ง 2 ผ่านวงจรปรับแต่งสัญญาณและลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงเหลือ 3.3V ก่อนเข้าช่องสัญญาณอินพุตของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ การทดสอบความถูกต้องของชุดวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบค่าที่วัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือสอบเทียบ Fluke 5500A โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

เครื่องสอบเทียบ	ทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าชุดวัดแรงดันไฟฟ้า			ค่าเฉลี่ยที่ได้จาก	ค่าความผิดพลาด
Fluke5500A	ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	การวัด	(%)
(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	
0	0	0	0	0	0
50	50.58	50.38	50.38	50.45	0.89
100	99.16	98.76	99.56	99.16	0.84
150	148.34	148.14	150.33	148.93	0.71
200	198.71	198.51	198.72	198.65	0.68
250	249.88	249.68	250.08	249.88	0.05
300	299.25	299.45	299.65	299.45	0.18
350	350.62	350.42	350.62	350.55	0.16
400	400.20	400.20	400.00	400.13	0.03
450	449.37	450.37	449.97	449.90	0.02
500	499.75	500.14	499.95	499.95	0.01



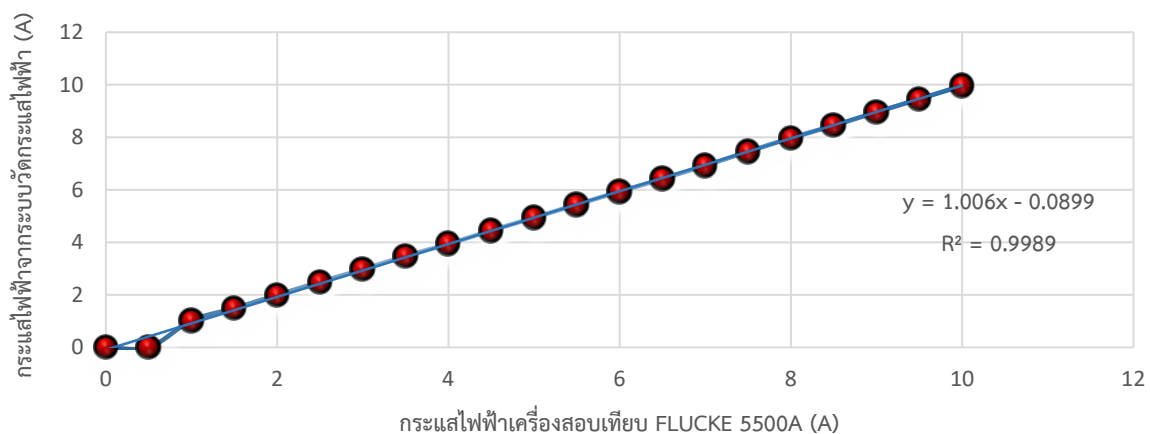
ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบวัดแรงดันไฟฟ้ากับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

จากผลการทดสอบการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าระบบสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้อยู่ในช่วง 0-500V โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1% จากภาพที่ 2 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดจากชุดวัดแรงดันไฟฟ้ามีความเป็นเชิงเส้นโดยมีค่า $R^2=1$

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

เครื่องสอบเทียบ	ทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าชุดวัดกระแสไฟฟ้า			ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด	ค่าความผิดพลาด
Fluke5500A	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	(A)	(%)
(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	
0	0	0	0	0	0
1	1.03	1.03	1	1.02	2.0
2	2.00	1.99	1.99	1.99	0.3
3	2.97	2.97	2.97	2.97	1.0
4	3.94	3.94	3.94	3.94	1.5
5	4.94	4.94	4.94	4.94	1.2
6	5.92	5.94	5.94	5.93	1.1
7	6.93	6.92	6.93	6.93	1.0
8	7.96	7.98	7.97	7.97	0.4
9	8.98	8.96	8.93	8.96	0.5
10	9.997	9.96	9.94	9.97	0.3

ผลการเปรียบเทียบการวัดกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ FLUCKE 5500A



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบวัดกระแสไฟฟ้ากับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

จากผลการทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าค่าวัดกระแสไฟฟ้าได้อยู่ในช่วง 0-10A มีความผิดพลาดไม่เกิน 2% จากภาพที่ 3 พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดโดยชุดวัดกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้เป็นเชิงเส้นโดยมีค่า $R^2=0.9989$

2.1.2 ระบบวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มแสงรุ่น ZTS-300AL-RA-N01 คุณสมบัติช่วงการวัดความเข้มแสง 0-2000 W/m² ความละเอียด 1 W/m² การทดสอบความถูกต้องของระบบวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKs แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

เครื่องมือวัด (W/m ²)	ทดสอบวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์		ค่าเฉลี่ย (W/m ²)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
	ครั้งที่ 1 (W/m ²)	ครั้งที่ 2 (W/m ²)		
198	201.28	195.59	198.44	0.22
263	264.27	263.54	263.91	0.34
298	297.41	297.01	297.21	0.27
321	324.25	320.03	322.14	0.36
394	391.96	393.57	392.77	0.31
448	447.22	462.26	454.74	1.50
619	618.45	627.12	622.79	0.61
683	683.05	693.38	688.22	0.76
880	869.06	880.00	874.53	0.62
892	897.83	902.68	900.26	0.93

2.1.3 ระบบวัดอุณหภูมิได้แมงและอุณหภูมิโดยรอบ

การวัดอุณหภูมิด้วยเซนเซอร์ PT100 คุณสมบัติการวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง -200°C ~ 420°C ส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโมดูล Modbus RTU โดยต่อเซนเซอร์ PT100 จำนวน 2 ตัว การทดสอบความถูกต้องของระบบวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKs แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A

เครื่องมือวัด (°C)	ทดสอบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ PT100		ค่าเฉลี่ย (°C)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)		
35	35	36	35.5	1.43
37	37	37	37	0.00
39	39	39	39	0.00
41	41	40	40.5	1.22
43	42	41	41.5	3.49
45	44	46	45	0.00
47	47	46	46.5	1.06
49	49	48	48.5	1.02
50	49	51	50	0.00

2.2 การคำนวณประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 สมการที่ใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (nDC) เป็นประสิทธิภาพด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC efficiency) เป็นกระบวนการที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง (Operative Condition : OPC) โดยอ้างอิงจากสภาวะมาตรฐานที่ถูกกำหนดอ้างอิง (Standard Test Conditions : STC) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณแสดงดังสมการ (1) [8,9] ผลลัพธ์จากสมการสามารถแสดงค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการคำนวณประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์รับค่าจากเซนเซอร์และคำนวณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

$$nDC = \frac{GSTC}{Gp} \times \left[1 + \frac{|y|}{100} \times (T_{cell} - 25) \right] \times PnPdc \quad (1)$$

nDC คือ ประสิทธิภาพของระบบ

G_{STC} คือ ค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ในสภาวะ STC ($1000W/m^2$)

G_p คือ ค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ณ จุดทดสอบ (W/m^2)

$|y|$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลัง หน่วย $\%/^{\circ}C$

T_{cell} คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$)

Pde คือ กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ สภาวะทดสอบ

Pn คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ระบุบนแผง (rated power)

2.2.2 การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการวัดจริง nDC ที่ผลการวัดมีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือ 100% ถ้าค่า $nDC < 0.9$ หรือ $< 90\%$ แสดงว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร อาจมีสาเหตุดังนี้: 1) แผงเสื่อมสภาพมีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกบนแผง 2) ปัญหาจากสายไฟ การเชื่อมต่อ หรืออินเวอร์เตอร์ 3) อุณหภูมิสูงของแผงสูงเกินไป 4) การเกิดการบังเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการวัดสามารถวิเคราะห์ผลตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายละเอียดความหมายช่วงค่าประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ [8]

ช่วงค่า nDC	ความหมาย	คำแนะนำ
0.95 – 1.00	ระบบทำงานใกล้ประสิทธิภาพสูงสุด	ปกติ
0.85 – 0.95	ประสิทธิภาพพอใช้ อาจมีผลกระทบจากอุณหภูมิหรือสิ่งสกปรก	ควรตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทำความสะอาด
0.70 – 0.85	ประสิทธิภาพลดลง	ตรวจสอบการเชื่อมต่อและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
ต่ำกว่า 0.70	ระบบอาจมีปัญหา	ควรตรวจสอบโดยช่างผู้เชี่ยวชาญ

3. ผลการทดสอบ

3.1 ระบบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKS

การทดสอบชุดวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบสตริงโดยทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKS โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62446[8] ในการทดสอบวัดประสิทธิภาพของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ผู้วิจัยทำการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 3kW โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Trinasolar TALLMAX ขนาด 330W มีค่า $V_{MPP} = 37.2V$ $I_{MPP} = 8.83A$ $V_{OC} = 45.5V$ $I_{sc} = 9.28A$ ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อรวมกันแบบสตริงจำนวน 10แผง กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3300W เชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบกริด การทดสอบทำการเชื่อมต่อระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบโดยเปรียบเทียบผลการวัดประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับเครื่องเครื่องมือวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKS แสดงดังภาพที่ 4



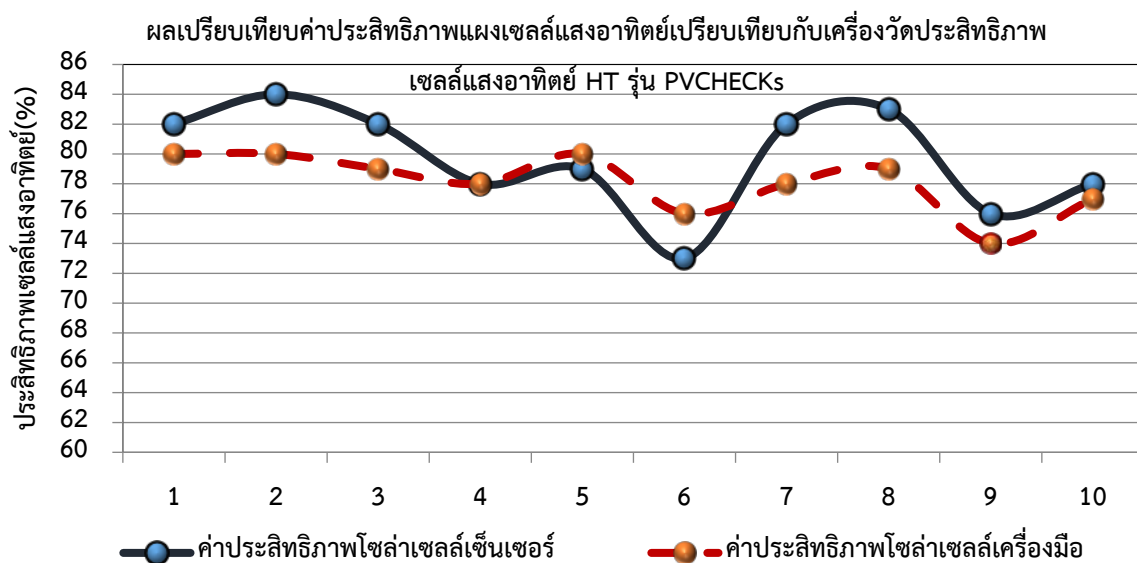
ภาพที่ 4 การทดสอบการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเครื่องมือ HT รุ่น PVCHECKS

ตารางที่ 6 ผลการวัดค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงจากงานวิจัย

แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความเข้มแสง (W/m^2)	อุณหภูมิ ใต้แผง ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิ โดยรอบ ($^{\circ}C$)	ประสิทธิภาพแผง เซลล์แสงอาทิตย์ (%)
269.55	3.39	914.88	449.76	42.5	35.31	82
261.66	4.52	1181.4	574.04	46.35	37.27	84
242.45	7.09	1714.99	898.51	58.19	44.35	82
270.88	3.02	818.07	442.31	53.52	40.09	78
278.78	4.94	1378.45	702.04	41.46	37.4	79
283.46	1.97	557.36	309.10	42.09	36.66	73
264.61	7.65	2024.69	1011.63	47.49	40.09	82
251.14	7.35	1847.08	934.23	54.66	43.53	83
234.52	6.23	1459.98	805.48	52.89	44.14	76
255.09	5.46	1392.25	753.39	55.91	44.63	78

ตารางที่ 7 ผลการวัดค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKs

แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความเข้มแสง (W/m^2)	อุณหภูมิ ใต้แผง ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิ โดยรอบ ($^{\circ}C$)	ประสิทธิภาพแผง เซลล์แสงอาทิตย์ (%)
265.9	3.46	921	465	44.4	37.2	80
262.7	4.36	1148	594	48.4	38.9	80
246.5	6.63	1636	897	60.3	43.3	79
268.5	3.00	808	435	54.7	41.5	78
276.9	4.83	1338	675	42.1	38.4	80
279.7	1.95	546	288	43	37.2	76
261.6	7.23	1893	994	48.3	41.8	78
252.5	6.93	1752	950	56.9	44.4	79
239.5	6.04	1448	829	55.4	46.7	74
252.8	4.61	1161	641	57.1	46.8	77



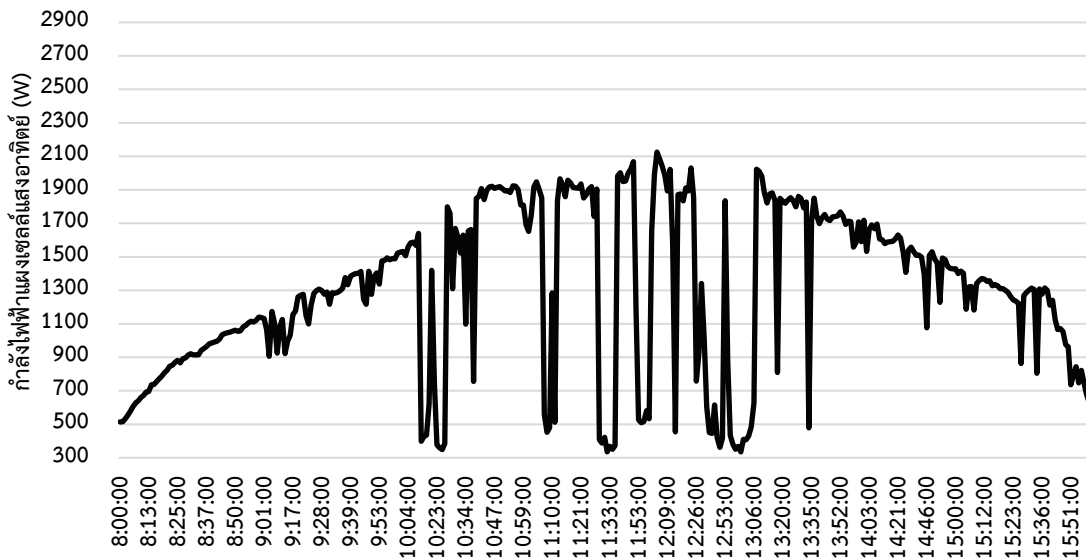
ภาพที่ 5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

จากตารางที่ 7 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิใต้แผงและอุณหภูมิโดยรอบแผง และค่าความค่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ดังตารางที่ 7 จากภาพที่ 5 แสดงผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแบบสตริงเปรียบเทียบกับเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKs พบว่าระบบสามารถวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์มีความผิดพลาดไม่เกิน 5 %

3.2 การทดสอบระบบวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงโดยวัดในช่วงเวลา 8.00 - 16.00 น.

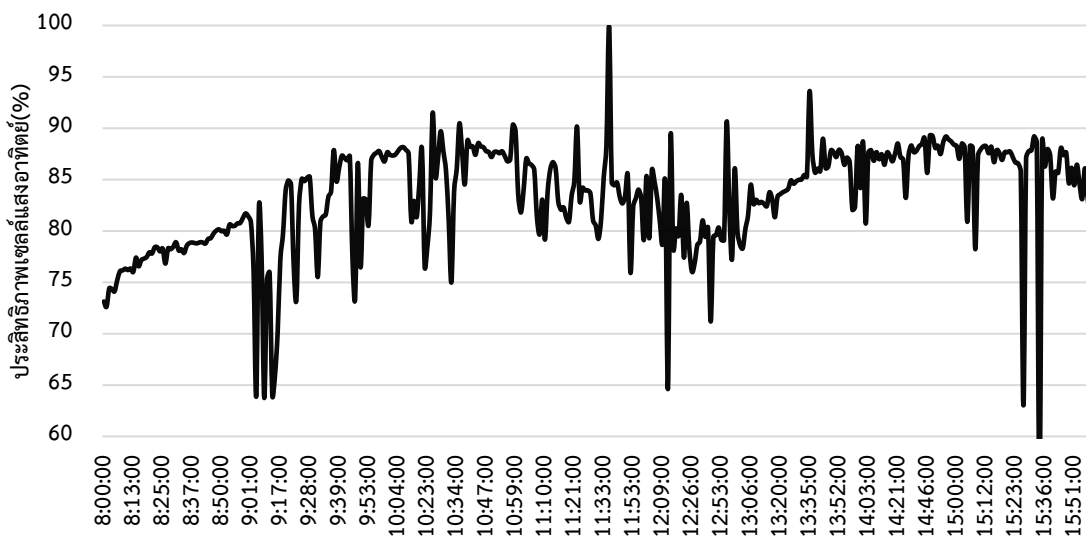
การทดสอบชุดวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงโดยติดตั้งชุดวัดประสิทธิภาพกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดเวลา ผลการวัดกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงเวลา 8.00 - 16.00 น. การส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านเครือข่ายไร้สายโดยเชื่อมต่อกับระบบคลาวด์โดยใช้โปรแกรมโหมด-เรดจัดการรับข้อมูลและการเก็บข้อมูลผ่านกูเกิลชีต โดยผลการเก็บข้อมูลแสดงดังภาพที่ 6 และ 7

กราฟค่ากำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงเวลา 8.00 - 16.00 น.



ภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวัดตั้งแต่ 08.00 น ถึง 16.00 น.

กราฟผลการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เวลา 8.00 - 16.00 น.



ภาพที่ 7 ผลของการวัดประสิทธิภาพระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวัดตั้งแต่ 08.00 น ถึง 16.00 น.

จากภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านกำลังไฟฟ้ากระแสตรงในช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. โดยกำลังไฟฟ้าคำนวณจากค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าพบว่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันไฟฟ้าโดยค่าทั้งสองขึ้นอยู่กับค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผง

จากภาพที่ 7 แสดงค่าประสิทธิภาพที่วัดได้จากระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงพบว่าค่าประสิทธิภาพที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ วัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิได้แผงและอุณหภูมิโดยรอบแผง พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อม โดยประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะค่อยๆ สูงขึ้นจากช่วงเช้าและมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิโดยรอบแผงเปลี่ยนไปจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงด้วย

4. บทสรุป

งานวิจัยระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงพบว่าระบบสามารถวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิได้แผงและอุณหภูมิโดยรอบแผง โดยนำค่าจากเซนเซอร์จากการวัดคำนวณค่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้เปรียบเทียบกับเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKs มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5% นอกจากนั้นระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์แสงอาทิตย์สามารถวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ HT รุ่น PVCHECKs ที่สามารถวัดค่าประสิทธิภาพขณะต่อวัดประสิทธิภาพเท่านั้น

ดังนั้นจากข้อดีของระบบวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบสตริงตลอด 24 ชั่วโมง โดยค่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถวัดตลอดเวลาสามารถนำค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์วิเคราะห์ความผิดปกติของระบบแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ภายใต้โครงการ โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น และความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2567 ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือสำหรับงานวิจัยให้สำเร็จได้ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Thongprasi, P. (2018). Analysis of the Relationship between Solar Power and Rated Load for Installation of Installation of Stand-Alone PV System. Journal of Engineering, RMUTT, Volume 12, pp. 98-105.
- [2] Nanhormchan, T. (2022). Development of Solar Power Generation Monitoring System for Research Studies Using NETPIE Platform. Pathumwan Academic Journal, Volume 12, pp. 32-49.
- [3] Noppakant, A., and Plangklang, B. (2019). THE EXPERIMENTAL DATA LOGGER FOR SOLAR MODULE ANALYSIS WITH ARDUINO MICROCONTROLLER. Journal of Thonburi University (Science and Technology). Volume 3(1). pp.66-78.
- [4] Vásquez, P., Devoto, I., Ferrada, P., Taquichiri, A., Portillo, C., & Palma-Behnke, R. (2021). Inspection Data Collection Tool for Field Testing of Photovoltaic Modules in the Atacama Desert. Energies, 14(9), 2409.



- [5] Baojie, L., Clifford W. H., Xin, Ch., Demba, D., Anne M.-D., Claude, D., Anubhav, J. (2024). A robust I-V curve correction procedure for degraded photovoltaic modules. *Renewable Energy*, Volume 224.
- [6] Roumpakias, E., Stamatelos, A. (2017). Comparative performance analysis of grid-connected photovoltaic system by use of existing performance models. *Energy Conversion and Management*, Volume 150, pp. 14-25.
- [7] Ordoñez, A., Urbano, J., Mesa, F., Castañeda, M., Zapata, S., Quesada, B., García, O., Aristizábal A.J. (2024). Design and implementation of an autonomous device with an app to monitor the performance of photovoltaic panels. *Energy Reports*, Volume 12, pp. 2498-2510.
- [8] HT INSTRUMENTS. (2025). PVCHECKs User manual 2025
- [9] 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