

เครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก

DEVICE FOR MEASURING I-V CHARACTERISTICS OF
PHOTOVOLTAIC ARRAY

ภราวดี ธนกิจวิรุฬ
PARAWAT THANAKITRUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2019-SO-70-080-017

เครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก

DEVICE FOR MEASURING I-V CHARACTERISTICS OF
PHOTOVOLTAIC ARRAY



ภรวัฏ ธนกิติวิรุฬ

PARAWAT THANAKITIRUN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **110605**
วัน,เดือน,ปี..... **9 11 2553**

b..... **12255695**
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2553

KMITL-2010-SC-M-030-017

**DEVICE FOR MEASURING I-V CHARACTERISTICS OF
PHOTOVOLTAIC ARRAY**

PARAWAT THANAKITIRUN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

KMITL-2010-SC-M-030-017

COPYRIGHT 2010

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก
 Device for Measuring I-V Characteristics of Photovoltaic Array

นักศึกษา นายกรวัฏ ชนกิติวิรุฬ

รหัสประจำตัว 48067302

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.วิชิต ศิริโชค

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ประธาน	บูรณศิริ	
รศ.วิชิต	ศิริโชค	
ดร.วรการ	นียากร	
รศ.ดร.สมภพ	ภูริวิกรัยพงศ์	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2553 เวลา 14.00 น.

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

สถานที่สอบ ณ ห้อง 307 ชั้น 3 อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1


คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.คุณฉวี ชนะบริพัตน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่.....12.....เดือน.....พค.....พ.ศ.....53.....

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
 วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
 วันที่.....๑๔.....เดือน.....พ.ค.....พ.ศ.....๕๓.....
 ลายชื่อ..........

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก
นักศึกษา	นายภรวิฏฐ ชนกิติวิรุฬ
รหัสประจำตัว	48067302
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชคิ

บทคัดย่อ

ได้สร้างเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้ตรวจสอบแผงโฟโตโวลตาอิกที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรม จนมีค่าแรงดันวงจรเปิดสูงถึง 400 V กระแสลัดวงจรสูงถึง 5 A ได้ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังสูงชนิด IGBT ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อแผงโฟโตโวลตาอิกเข้ากับโหลดซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ขนาดแรงดันขอยด 310 V จังหวะการตัดต่อจะบังคับด้วยวงจรตรวจจับระดับแรงดันผ่านศูนย์ ได้ใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลความละเอียด 10 บิต อ่านค่าสัญญาณกระแส และแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าวัดโดยวงจรแบ่งแรงดัน ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าวัดด้วยตัวต้านทานขนาด 0.4Ω ข้อมูลดิบของสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะถูกส่งให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ผ่านทางพอร์ตอนุกรม เพื่อประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นและแสดงผลเป็นกราฟระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด และฟิลแพกเตอร์ จากการทดลองวัดค่าลักษณะสมบัติกระแสแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวที่ถูกต่อแบบอนุกรมเป็นจำนวน 20 แผง ขนาดของแรงดันวงจรเปิดมีค่า 380 V ค่ากระแสลัดวงจร 4.8 A พบว่าได้ค่าประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า, โฟโตโวลตาอิก

Thesis Title	Device for Measuring I-V Characteristics of Photovoltaic Array
Student	Mr. Parawat Thanakitivirun
Student ID.	4867302
Degree	Master of Science
Program	Applied Physics
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Wichit Sirichote

ABSTRACT

A device used for measuring the current-voltage characteristics of the photovoltaic string has been developed. The device is capable of measuring the open circuit voltage up to 400 V. The circuit uses the low impedance AC voltage source with the peak voltage of 310 V as the load. The high power IGBT controlled by the zero crossing detector is used to switch the photovoltaic string to the load. The zero crossing circuit provides the IGBT's triggering signal that synchronized with the AC voltage source. The 10-bit ADC board has been developed for capturing the signals from voltage and current sensors. The voltage signal is produced from the voltage divider. The current signal is produced from the 0.4 Ohms shunt resistor. The PC software for data reduction has been developed with VB. The software processing provides the graphical display for I-V curve, maximum power and fill factor. The device has been tested with the one string of the single crystal PV array with the open circuit voltage of 380 V and the short circuit current of 4.8 A. The results showed the average efficiency of the PV string was 9 %.

Keywords : Measuring I-V characteristics, Photovoltaic Array

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความเมตตาเป็นที่ยิ่งจากระองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชค ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำวิจัย ตลอดจนเป็นตัวช่วยในการทำงานวิจัย รวมถึงการอนุเคราะห์จัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย ผู้จัดทำฯ ซึ่งในความเมตตากรุณาของท่านเป็นที่ยิ่งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร. ประธาน บุรณศิริ ดร. วรการ นียากร และรองศาสตราจารย์สมภพ ภูริวิกรัยพงษ์ ที่ให้ความเมตตากรุณา และให้คำแนะนำที่มีคุณค่าในการทำการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อย่างดีเป็นที่ยิ่ง

นอกจากนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุญาตให้ผู้จัดทำ ใช้แผงโฟโตโวลตาอิกชนิดซิลิคอนอะมอร์ฟัสของทางศูนย์ฯ เพื่อทำการทดลองวัดค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญด้วยเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ตัวผู้จัดทำ ได้พัฒนาขึ้น ขอขอบพระคุณชัพกิตติ์ ชาญสมร ที่ช่วยเหลือด้วยการถามคำถามที่ควรจะต้องหาคำตอบและให้คำแนะนำในการทำการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา น้องสาวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และสวดมนต์ภาวนาแต่สิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลาย เพื่อให้เป็นกำลังแก่ผู้จัดทำ ให้สามารถจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงบุคคลผู้ให้ความปรารถนาดี ช่วยเหลือผู้จัดทำในการทำการวิจัยและวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ทุกๆ ท่าน มา ณ ที่นี้ด้วย

ภรวัฏ ธนกิติวิรุฬ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 หลักการและเหตุผล.....	3
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ฟิสิกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่าย.....	5
2.1.1 รอยต่อเอกพันธ์.....	7
2.1.2 รอยต่ออวิวิธพันธ์.....	7
2.1.3 รอยต่อกำแพงชนิดดี.....	8
2.2 หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.3 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.3.1 ค่าแรงดันวงจรเปิด.....	11
2.3.2 ค่ากระแสลัดวงจร.....	12
2.3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด.....	12
2.3.4 ค่าฟิลแฟกเตอร์.....	13
2.3.5 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ.....	13
2.3.6 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความเข้มแสง.....	14

สารบัญ (ต่อ)

2.4	แผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.4.1	การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม.....	16
2.4.2	การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน.....	17
2.4.3	บายพาสส์ไดโอด.....	18
2.5	ระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกชนิดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้า.....	18
2.6	การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์.....	21
บทที่ 3	การดำเนินการวิจัย.....	25
3.1	โมดูลวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ.....	26
3.1.1	ส่วนติดต่อสื่อสาร.....	27
3.1.2	กล่องวัดค่าความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ.....	28
3.1.3	การวัดค่าความเข้มของแสงแดดด้วยไพราโนมิเตอร์.....	29
3.1.4	การวัดอุณหภูมิด้วย DS1820.....	30
3.2	โมดูลการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	31
3.2.1	วงจรวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	32
3.2.2	ส่วนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและเก็บข้อมูล.....	34
3.2.3	การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า.....	35
3.2.4	การวัดค่ากระแสไฟฟ้า.....	38
3.3	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุม ประมวลผล และแสดงผลข้อมูล.....	40
3.3.1	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ.....	42
3.3.2	การหาสมการตัวแทนของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	43
3.3.3	การหาค่ากระแสลัดวงจร.....	46
3.3.4	การหาค่าแรงดันวงจรเปิด.....	47
3.3.5	การหาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด และค่า กำลังไฟฟ้าออกสูงสุด.....	48
3.3.6	การหาค่าฟิลแฟกเตอร์.....	51
3.3.7	การหาค่าพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์.....	51
3.3.8	การหาค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็น พลังงานไฟฟ้า.....	52

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	54
4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	55
4.2 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	56
4.3 กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน.....	57
4.4 กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ระดับความเข้มแสง แตกต่างกัน.....	58
4.5 ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศ.....	59
4.6 ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดที่ผลิตได้ในทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	60
4.7 ค่าฟิลแฟกเตอร์ ที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	61
4.8 ค่าความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	62
4.9 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับค่าพลังงาน ไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน.....	63
4.10 ค่าประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก.....	64
4.11 ปริมาณแสงแดดทั้งหมดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ ละวันตลอดหนึ่งเดือน.....	65
4.12 ค่าพลังงาน ไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน.....	66
4.13 พลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่า พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน.....	67
4.14 ค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพในการผลิต ไฟฟ้าของเซลล์อาทิตย์ ในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน.....	68
4.15 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วง เดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	69
4.16 ค่าพลังงาน ไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	70
4.17 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ เปรียบเทียบกับค่าพลังงาน ไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ เฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงเดือน ตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	71

สารบัญ (ต่อ)

4.18 ค่าประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉลี่ยต่อวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	72
4.19 ค่าอุณหภูมิสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และค่าอุณหภูมิสูงสุดของ อากาศโดยเฉลี่ยต่อวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	73
4.20 การวัดค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผง โฟโตโวลตาอิกชนิดซิลิคอนอะมอร์ฟัส.....	74
4.20.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	75
4.20.2 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	76
4.20.3 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ในทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	77
4.20.4 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน.....	78
4.20.5 ค่าฟิลแฟกเตอร์ที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	79
4.20.6 ค่าประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก.....	80
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา.....	81
5.1 สรุปผลการวิจัยและพัฒนาเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดัน ไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก.	81
5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข.....	84
5.3 แนวทางในการพัฒนางานวิจัย.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงตัวอย่างการหาค่าแรงคั่นวงจรเปิด.....	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว.....	6
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกย่อยหลายผลึก.....	6
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกอสัณฐานหรืออะมอร์ฟัส.....	7
2.5 แสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเอกพันธ์.....	7
2.6 แสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่ออวิวิธพันธ์.....	8
2.7 แสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อกำแพงชอตต์กี.....	8
2.8 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อ p-n เมื่อมีโฟตอนตกกระทบ.....	9
2.9 วงจรที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ไฟฟ้าของเซลล์ แสงอาทิตย์.....	10
2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.11 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่เกิดค่าแรงดันวงจรเปิด.....	11
2.12 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่เกิดค่ากระแสลัดวงจร.....	12
2.13 พื้นที่สี่เหลี่ยมที่ถูกแรงแสงแสดงค่ากำลัง ไฟฟ้าออกสูงสุด.....	12
2.14 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติทาง ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.15 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อสมบัติทาง ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.16 เซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.17 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบขึ้นเป็นแผง.....	16
2.18 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม และกราฟแสดงค่า แรงดัน ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น.....	16
2.19 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน และกราฟแสดงค่ากระแส ที่เพิ่มขึ้น.....	17
2.20 แสดงการต่อบายพาสส์ไดโอดในวงจร.....	18
2.21 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโต โวลตาอิกชนิดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้า.....	19
2.22 เซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท SIEMENS รุ่น SP-75.....	19
2.23 แสดงการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสตริง.....	20

สารบัญรูป (ต่อ)

2.24	แสดงสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก.....	20
2.25	การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศของโลก.....	21
2.26	แสดง Air Mass.....	22
2.27	แสดงโครงสร้างของไพราโนมิเตอร์.....	23
2.28	แสดงรูปของไพราโนมิเตอร์ของบริษัท Kipp&Zonen รุ่น CM11.....	24
3.1	แสดงระบบของเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของ แผงโฟโตโวลตาอิก.....	25
3.2	แสดงระบบของโมดูลวัดค่าความเข้มแสงแดดและค่าอุณหภูมิ.....	26
3.3	แสดงส่วนติดต่อสื่อสาร.....	27
3.4	แสดงวงจรรับส่งข้อมูลในมาตรฐาน RS-485 ในงานวิจัยนี้.....	28
3.5	แสดงแผนผังของกล่องวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ.....	29
3.6	เป็นวงจรสำหรับวัดค่าความเข้มแสงแดด.....	29
3.7	การต่อเชื่อมไมโครคอนโทรลเลอร์กับหัววัดอุณหภูมิ DS1820.....	30
3.8	แสดงโมดูลการวัดค่าสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	31
3.9	แสดงแผนผังวงจรวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้า กระแสลับที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำเป็นโหลด.....	32
3.10	พัลส์สี่เหลี่ยมกระตุ้นที่ขาเกตของ Q1.....	33
3.11	(ก) เป็นสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน Rb (ข) เป็นสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน Rs.....	34
3.12	แสดงแผนผังของส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและ เก็บข้อมูล.....	35
3.13	วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า.....	36
3.14	ข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าจำนวน 1,000 จุดข้อมูล.....	37
3.15	ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่ทำการคัดเลือกแล้ว.....	37
3.16	วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า.....	38
3.17	ข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าจำนวน 1,000 จุดข้อมูล.....	39
3.18	ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ทำการคัดเลือกแล้ว.....	39
3.19	แสดงหน้าจอของซอฟต์แวร์ควบคุม.....	40

สารบัญญรูป (ต่อ)

3.20 แสดงภาพหน้าจอของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลและแสดง ผลข้อมูล.....	40
3.21 แสดงหน้าต่างการคำนวณกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆ.....	42
3.22 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ที่ได้จากข้อมูลดิบ.....	43
3.23 กราฟแสดงค่ากระแสลัดวงจรที่จุดตัดแกน y	46
3.24 กราฟแสดงค่าแรงดันวงจรเปิดที่จุดตัดแกน x	47
3.25 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และ ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด.....	49
3.26 แสดงกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเวลา.....	49
3.27 แสดงกราฟค่ากระแสไฟฟ้าต่อเวลา.....	50
3.28 แสดงกราฟค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา.....	50
3.29 แสดงกราฟฟิลแพกเตอร์ต่อเวลา.....	51
3.30 แสดงขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์.....	52
3.31 แสดงกราฟค่าความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อเวลา.....	52
3.32 แสดงกราฟค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสง อาทิตย์ต่อเวลา.....	53
3.33 แสดงกราฟอุณหภูมิต่อเวลา.....	53
4.1 แสดงกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที.....	55
4.2 แสดงกราฟค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที.....	56
4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิของเซลล์ แสงอาทิตย์ต่างกัน.....	57
4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้า ที่ระดับความเข้ม แสงแดดต่างกัน.....	58
4.5 แสดงกราฟของค่าอุณหภูมิต่อเวลา.....	59
4.6 แสดงกราฟค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที.....	60
4.7 แสดงกราฟฟิลแพกเตอร์ที่วัดได้ ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

4.8 แสดงกราฟความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน.....	62
4.9 แสดงกราฟค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ เปรียบเทียบกับ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน.....	63
4.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโต โวลตาอิก.	64
4.11 กราฟแสดงปริมาณแสงแดดทั้งหมดที่ตกกระทบเซลล์แสง อาทิตย์ในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน.....	65
4.12 กราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน.....	66
4.13 กราฟพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับ ค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน.....	67
4.14 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสง อาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน.....	68
4.15 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ในช่วง เดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	69
4.16 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	70
4.17 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ เปรียบเทียบกับค่าพลังงาน ไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ เฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	71
4.18 ค่าประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉลี่ยต่อวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	72
4.19 ค่าอุณหภูมิสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และค่าอุณหภูมิสูงสุดของ อากาศโดยเฉลี่ยต่อวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553.....	73
4.20 แสดงแผงโฟโต โวลตาอิกรุ่น BS40.....	74
4.21 ลักษณะการเชื่อมต่อของแผงโฟโต โวลตาอิกรุ่น BS40 จำนวน 28 แผง.....	74
4.22 แสดงกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที.....	75
4.23 แสดงกราฟค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที.....	76
4.24 แสดงกราฟค่ากำลังออก ไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที.....	77

สารบัญญรูป (ต่อ)

4.25 แสดงกราฟค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน	78
4.26 แสดงกราฟฟิลแฟกเตอร์ที่วัดได้ ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน	79
4.27 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

เชื่อกันมาแต่อดีตแล้วว่าดวงอาทิตย์เป็นผู้ให้กำเนิดสิ่งมีชีวิตแก่ดาวโลก ในสมัยปฏิวัติอุตสาหกรรม การศึกษาทางวิทยาศาสตร์ทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับแสงอาทิตย์ในฐานะที่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ แต่ความเข้าใจนี้ยังไม่ได้รับความสนใจมากเท่าที่ควร จนกระทั่งมีการตระหนักถึงเรื่องสิ่งแวดล้อมที่ถูกทำลายไป เนื่องจากการใช้ซากดึกดำบรรพ์ อันได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นแหล่งพลังงาน

อันที่จริงแล้วปริมาณพลังงานจากแสงอาทิตย์มีปริมาณที่มากมาย โดยเฉลี่ยแล้วพื้นผิวโลกจะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ประมาณ 1.2×10^{17} W [1] นั่นหมายความว่า ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับในช่วงเวลาที่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง ก็มากเพียงพอแก่ความต้องการการใช้พลังงานของมนุษย์ตลอดทั้งปี นอกจากนี้ ทั้งพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ก็มีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นอีกด้วย

แผงโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic array) ถูกคิดค้น พัฒนา และนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว และยังได้รับความสนใจมากขึ้นเมื่อเกิดปัญหาวิกฤตการณ์การขาดแคลนพลังงาน พลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ อันได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ มีราคาแพงมากขึ้นและกำลังจะหมดไปในไม่ช้า ในทุกวันนี้ การแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงของแผงโฟโตโวลตาอิกกำลังเป็นที่ยอมรับกัน ในฐานะที่เป็นรูปแบบของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สะอาด เป็นระบบที่เชื่อถือได้ ไม่มีอุปกรณ์ใดๆในระบบที่ต้องเคลื่อนไหว จึงไม่เกิดความเสียหายของอุปกรณ์ในขณะที่ผลิตไฟฟ้า เหมือนกับเครื่องผลิตไฟฟ้าชนิดอื่นๆ เช่น เครื่องปั่นไฟ การบำรุงรักษาและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจึงมีราคาถูก ถึงแม้ว่าต้นทุนในการติดตั้งระบบจะยังมีราคาที่สูงอยู่ สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างอิสระในพื้นที่ห่างไกลที่ระบบไฟฟ้ายังเข้าไปไม่ถึง (Stand Alone) หรือจะใช้เชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้า (Grid Connected) ก็ได้

สำหรับในกระบวนการประกอบแผงโฟโตโวลตาอิก จะต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเรียงต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น ขนาดแรงดันขาออกที่กำลังสูงสุดจะมีค่าประมาณ 16-18 V ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในการประจุแบตเตอรี่ 12 V โดยการตรวจสอบสมรรถนะของแผงโฟโตโวลตาอิก ผู้ผลิตจะตรวจสอบลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก[2] แต่ละแผงในห้องปฏิบัติการ ด้วยเครื่องจำลองกำเนิดแสงแดดที่มีปริมาณของช่วงความยาวคลื่นแสง

ใกล้เคียงกับ AM1.5 ฉายลงบนแผงโฟโตโวลตาอิก ควบคุมอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ให้คงที่ที่ 25°C และใช้โหลดชนิดตัวต้านทานปรับค่าได้ ทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 24 V มาทดสอบ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญ เช่น ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด ค่าฟิลแฟกเตอร์ ค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาอุปกรณ์การวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิกในอีกหลายรูปแบบ เช่น เครื่องวัด I-V curve สำหรับทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์[3] ที่ใช้ระบบคาน้ำแยกควิซิชั่นซึ่งประกอบด้วย ทรานสดิวเซอร์ ตัวปรับสภาพสัญญาณ และส่วนควบคุมการวัดและเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์การวัดที่สำคัญ ซึ่งอุปกรณ์ชุดนี้จะแสดงผลของการวัดบนหน้าจอของคอมพิวเตอร์และสามารถวัดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูง 80 W เป็นต้น

สำหรับในกรณีที่น่าแผงโฟโตโวลตาอิกไปใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้สายส่งไฟฟ้าเป็นตัวสำรองไฟ[4] จำเป็นต้องใช้แผงโฟโตโวลตาอิกหลายๆ แผงต่ออนุกรมเป็นสตริง เพื่อให้ได้ค่าแรงดันวงจรเปิดที่เหมาะสมกับระดับแรงดันจ่ายของไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งระดับแรงดันจ่ายของไฟฟ้ากระแสสลับในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 310 V อีกทั้งสถานที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงโฟโตโวลตาอิกยังมีสถานะที่แตกต่างจากสถานะในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในการวัดหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก จึงทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มาวัดทดสอบได้

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเห็นความสำคัญของการสร้างเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิกที่ถูกเชื่อมต่อกันอย่างอนุกรมเป็นสตริง จนมีค่าแรงดันวงจรเปิดสูงถึง 400 โวลต์ เพื่อตรวจสอบสมรรถนะแผงโฟโตโวลตาอิก ที่ถูกติดตั้งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับบ้านเรือนทั่วไป ข้อมูลที่วัดได้จะถูกเก็บเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิกที่ถูกเชื่อมต่อกันอย่างอนุกรมเป็นสตริง เพื่อให้มีขนาดของแรงดันวงจรเปิดสูงถึง 400 V ค่ากระแสลัดวงจรสูงถึง 5 A และใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ขนาดแรงดันขอยอดเท่ากับ 310 V เป็นโหลด โดยจะวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติ ทุกๆ 5 นาที ภายในช่วงเวลาตั้งแต่ 6:00 น. ถึงเวลา 18:00 น. และออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อคำนวณหาค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญ อันได้แก่ ค่ากระแสลัดวงจร ค่าแรงดันวงจรเปิด ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด ค่าฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor) และค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก จากสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดอย่างอัตโนมัติทุกๆ 5 นาที แสดงผลของกราฟกระแสต่อแรงดันไฟฟ้า และกราฟของค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สำคัญต่อเวลา บนหน้าจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังเก็บค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สำคัญในรูปแบบของเท็กซ์ไฟล์เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกต่อไป

1.3 หลักการและเหตุผล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบเครื่องมือวัดที่ใช้วัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อทดสอบสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ที่มีค่าแรงดันวงจรเปิดสูงถึง 400 V กระแสลัดวงจรสูงถึง 5 A และใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ขนาดแรงดันขอยอดเท่ากับ 310 V เป็นโหลด ด้วยการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ข้อมูลดิบของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะถูกส่งให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม ข้อมูลดิบที่ได้จะถูกเก็บในรูปแบบของเท็กซ์ไฟล์เพื่อการประมวลผลข้อมูลในภายหลัง ในการประมวลผลข้อมูล ข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเก็บในรูปแบบของเท็กซ์ไฟล์จะถูกนำมาวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาสมการตัวแทนด้วยการประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด โดยสมการตัวแทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีตัวแทนเป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังห้า เมื่อได้สมการตัวแทนที่เหมาะสมแล้ว ก็จะทำการคำนวณหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สำคัญของแผงโฟโตโวลตาอิก ค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้จะถูกบันทึกในรูปแบบของเท็กซ์ไฟล์เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกต่อไป

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเป้าหมายมุ่งเน้นการสร้างและพัฒนาเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อทดสอบสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิกที่มีค่าแรงดันวงจรเปิดสูงถึง 400 V กระแสลัดวงจรสูงถึง 5 A โดยจะเริ่มจากการศึกษาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สำคัญ วิธีการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก แล้วจึงออกแบบสร้างเครื่องมือวัด ซึ่งประกอบด้วย โมดูลวัดค่าความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ โมดูลวัดค่าสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการวัดอย่างอัตโนมัติทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. และพัฒนาซอฟต์แวร์คำนวณหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก ซึ่งแสดงผลในรูปของกราฟกระแสต่อแรงดันไฟฟ้า และกราฟลักษณะสมบัติที่สำคัญต่อเวลา บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อสร้างเครื่องวัดและพัฒนาซอฟต์แวร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำมาทดลองวัดและบันทึกค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวจำนวน 20 แผง ที่ถูกต่ออนุกรมเป็นสตรึง ขนาดของแรงดันวงจรเปิดมีค่า 380 V ค่ากระแสลัดวงจร 4.8 A ทุกๆ วัน เป็นเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม ปี 2552 ถึง มกราคม ปี 2553 นอกจากนี้ยังนำเครื่องมือวัด ไปวัดสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดซิลิคอนอะมอร์ฟัสอีกด้วย

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

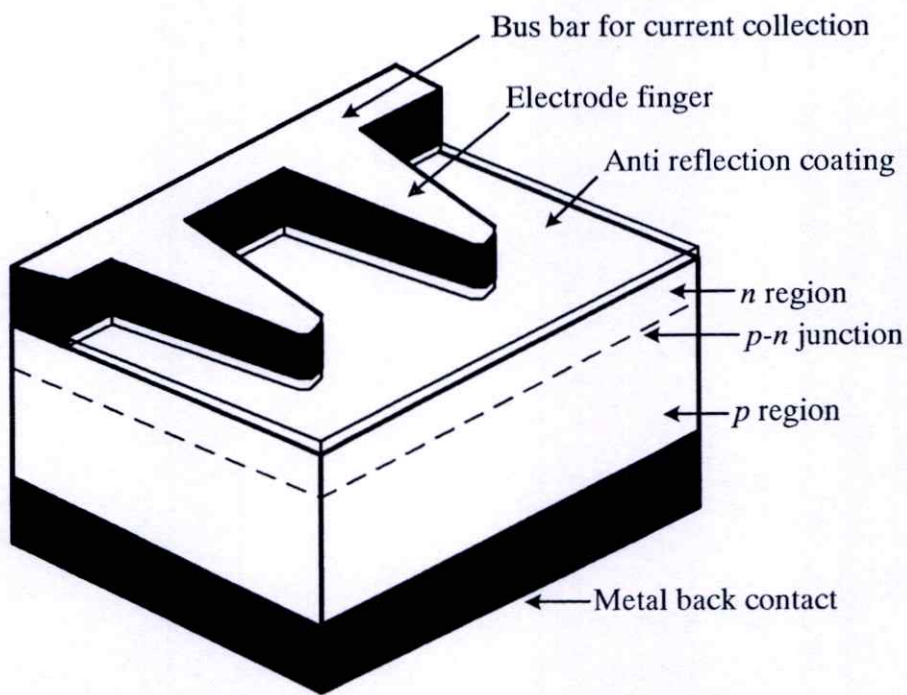
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า สำหรับทดสอบสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก ตั้งแต่หลักการเบื้องต้น แนวทางการออกแบบ จนถึงการนำเครื่องมือวัดไปใช้งาน โดยแบ่งรายละเอียดในแต่ละส่วนออกเป็นบทย่อยๆ ดังนี้ ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงฟิสิกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะ โครงสร้าง หลักการแปลงพลังงาน และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบผลิตไฟฟ้าชนิดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้า และการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อสร้างความเข้าใจพื้นฐาน บทที่ 3 เป็นขั้นตอนการออกแบบ และพัฒนาเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ และการคำนวณในแต่ละส่วน ซึ่งประกอบด้วยโมดูลวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ โมดูลวัดค่าสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า และการพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณหาค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก บทที่ 4 เป็นผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล โดยการนำเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมาทำการทดลองวัด บันทึกและวิเคราะห์ค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญจากข้อมูลดิบที่วัดได้ในเบื้องต้น และ สุดท้ายคือบทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ฟิสิกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่าย

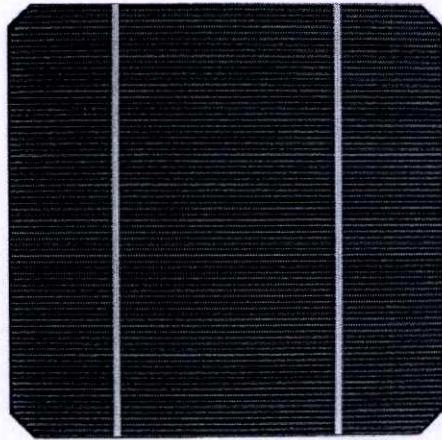
เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง จะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(direct current : dc) ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ทันที หรืออาจใช้อุปกรณ์ต่อรวมอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ(alternating current : ac) เพื่อนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านชนิดต่างๆ ต่อไป



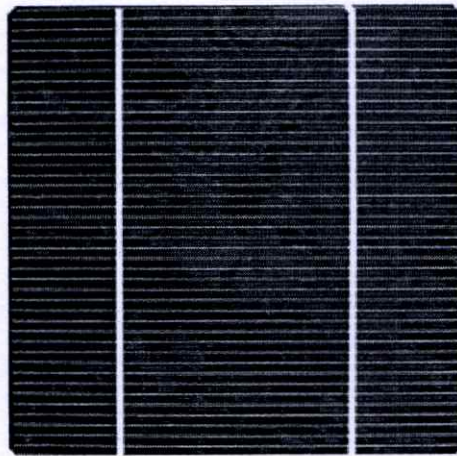
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างแบบรอยต่อ p-n คล้ายกับโครงสร้างของไดโอดชนิดรอยต่อ p-n หากแต่เซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดใหญ่กว่า เพื่อให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากพอที่จะใช้งาน การสร้างรอยต่อ p-n ในเซลล์แสงอาทิตย์ ทำได้ด้วยวิธีการเดียวกับการสร้างไดโอด คือการแพร่สารเจือ ชนิด n หรือ p เข้าไปในสารกึ่งตัวนำชนิดตรงกันข้าม

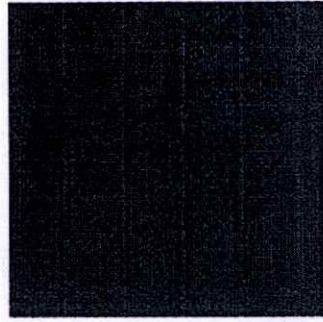
โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ดังในรูปที่ 2.1 ซึ่งจะประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีรอยต่ออยู่ภายใน ความหนาของเซลล์ประมาณ 10 -300 μm ผิวหน้าของเซลล์ด้านรับแสงจะมี ขั้วโลหะไฟฟ้าคล้ายๆ นิ้วมือแผ่อยู่และฉาบทับด้วยฟิล์มของสารต้านการสะท้อน ที่ผิวล่างจะมี ขั้วไฟฟ้าอีกอันเคลือบปิดผิวทั้งหมด ขั้วไฟฟ้านี้ทำหน้าที่รวมพาหะซึ่งเคลื่อนที่จากเซลล์ออกสู่วงจร ภายนอก สารกึ่งตัวนำอาจอยู่ในรูปผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) ผลึกย่อยหลายผลึก (Poly Crystalline) และผลึกอสัณฐานหรืออะมอर्फัส (Amorphous) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์อาจแบ่งตามประเภทรอยต่อภายในเซลล์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว

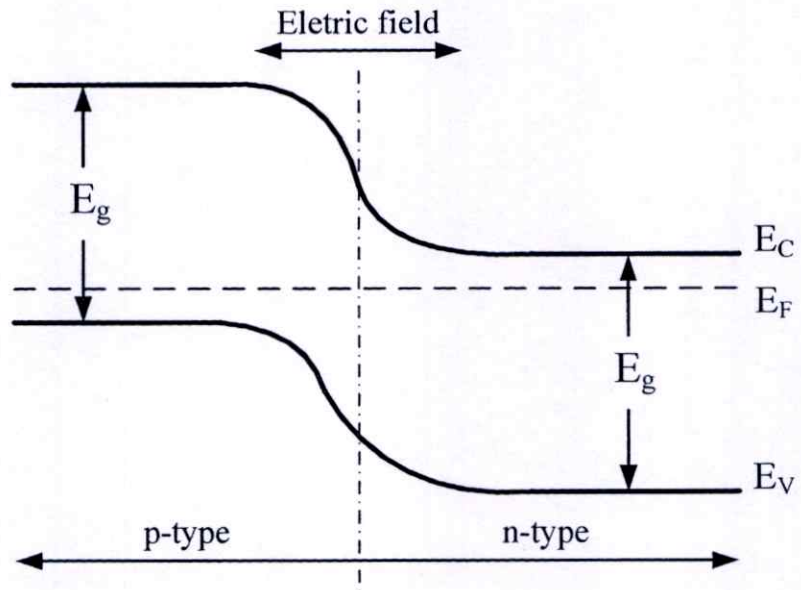


รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกย่อยหลายผลึก



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกอสัณฐานหรืออะมอร์ฟัส

2.1.1 รอยต่อเอกพันธ์

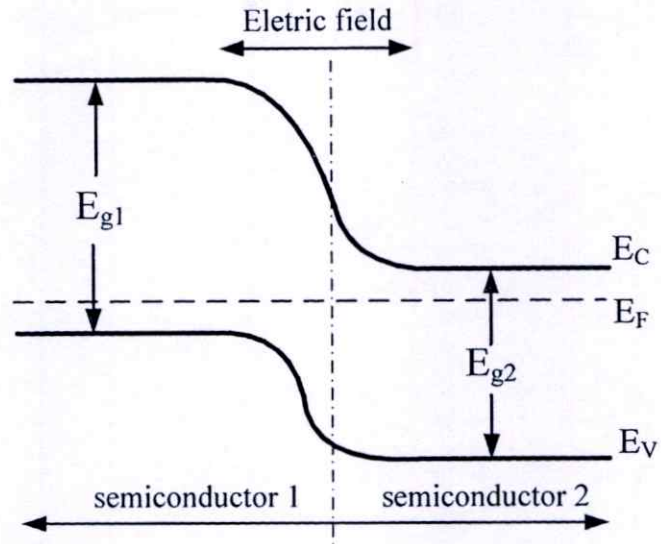


รูปที่ 2.5 แสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเอกพันธ์

รอยต่อเอกพันธ์ (Homojunction) แสดงดังรูปที่ 2.5 ภายในเซลล์จะมีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด n และชนิด p ซึ่งได้มาจากสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันเช่น ซิลิคอน

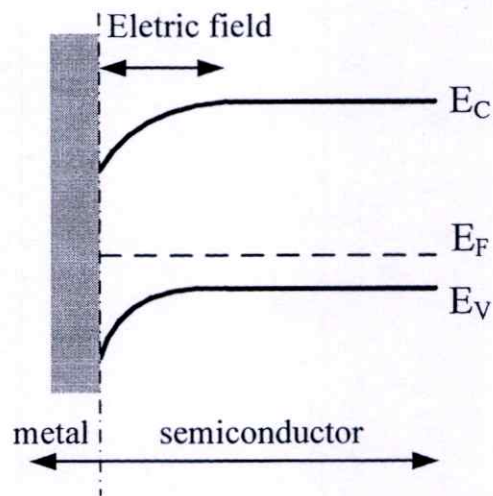
2.1.2 รอยต่อวิวิธพันธ์

รอยต่อวิวิธพันธ์ (Heterojunction) แสดงดังรูปที่ 2.6 ภายในเซลล์จะมีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำมากกว่าหนึ่งสาร เช่นรอยต่อระหว่าง As/GaAs หรือรอยต่อระหว่าง $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ เป็นต้น



รูปที่ 2.6 แสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็น

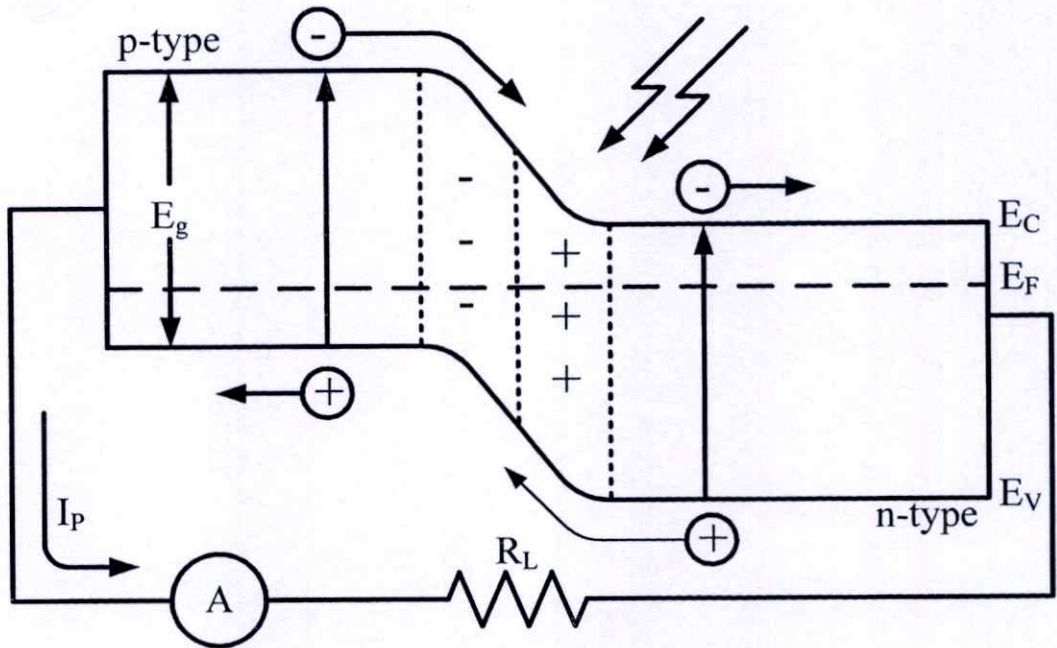
2.1.3 รอยต่อกำแพงขอตัก



รูปที่ 2.7 แสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อกำแพงขอตัก

รอยต่อกำแพงขอตัก (Schottky Barrier Junction) แสดงดังรูปที่ 2.7 ภายในเซลล์จะประกอบด้วยรอยต่อของสารกึ่งตัวนำและโลหะ เช่น รอยต่อระหว่างพลาตินัมกับซิลิคอน (Pt/Si)

2.2 หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.8 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อ p-n เมื่อมีโฟตอนตกกระทบ

เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับพลังงานแสง ก็จะเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเมื่อมีรังสีของแสงตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถอธิบายในลักษณะของรอยต่อเอกพันธ์แบบ p-n ดังแสดงในรูปที่ 2.8

จากรูปที่ 2.8 สามารถพิจารณาว่าในรังสีของแสงประกอบด้วยกลุ่มของโฟตอน (Photon) ซึ่งแต่ละโฟตอนมีพลังงานเท่ากับ $h\nu$ เมื่อโฟตอนที่ตกกระทบบนรอยต่อ p-n มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงาน (E_g) จะมีผลทำให้อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนระดับพลังงานจากแถบเวเลนซ์ (E_V) ไปเป็นอิเล็กตรอนอิสระในแถบนำไฟฟ้า (E_C) และได้ทิ้งให้เกิดโฮล (hole) ซึ่งเป็นประจุพาหะชนิดบวกไว้ที่แถบเวเลนซ์ ประจุพาหะคู่อิเล็กตรอนและโฮล ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อหรือใกล้เคียงรอยต่อจะถูกอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าภายในทำให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ โดยที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ข้ามไปยังด้าน n และโฮลจะเคลื่อนที่ไปยังด้าน p เมื่อต่อโหลดภายนอก (R_L) จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้น

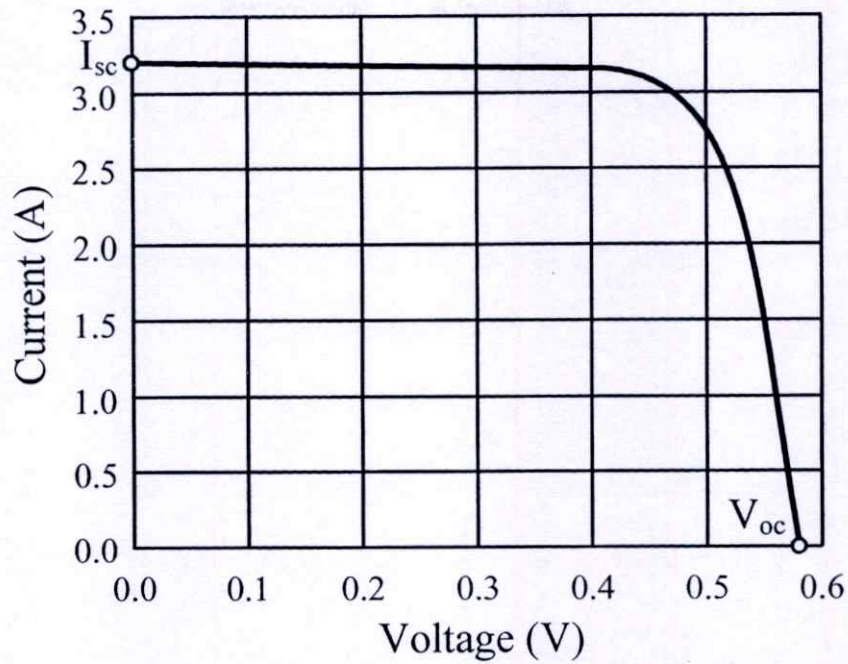
2.3 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.9 วงจรที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

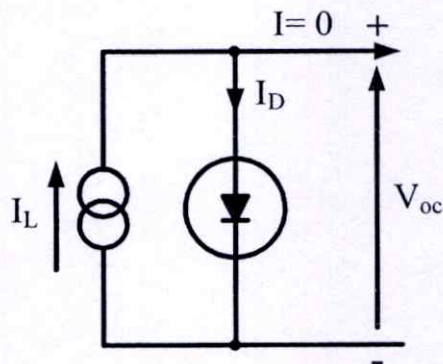
สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้สำหรับตรวจสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและหาค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ การหาเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถวัดได้ด้วยวงจรดังรูปที่ 2.9

จากรูปที่ 2.9 เซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีสเปกตรัมเหมือนกับแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 หรือ AM1.5 และควบคุมอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ให้คงที่ที่ 25°C ค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในวงจรเกิดจากการนำตัวกำเนิดแรงดันที่ปรับค่าได้มาต่อกลับขั้วกับแบตเตอรี่ ซึ่งทั้งสองตัวนี้จะทำหน้าที่เสมือนเป็นโหลดที่ปรับค่าได้ การวัดค่าแรงดันจะวัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนการวัดค่ากระแสจะทำโดยการนำตัวต้านทานที่มีค่าต่ำๆ มาต่ออนุกรมเข้าไปในวงจร แล้วจึงวัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานนั้น สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะถูกบันทึกลงบนเครื่องบันทึก x-y โดยให้แกน x เป็นค่าของแรงดัน และแกน y เป็นค่ากระแส จะได้กราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

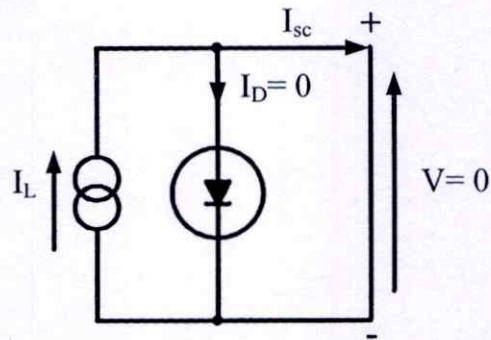
2.3.1 ค่าแรงดันวงจรเปิด



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่เกิดค่าแรงดันวงจรเปิด

ค่าแรงดันวงจรเปิด หรือ Open Circuit Voltage (V_{oc}) คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าสูงมากๆ เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์ เสมือนเป็นการเปิดวงจร ทำให้กระแสไม่สามารถไหลผ่านในวงจรได้ ดังนั้นค่ากระแสที่วัดได้จึงมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงมาก หรือก็คือจุดตัดแกน x ในรูปที่ 2.10 นั่นเอง วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่เกิดค่าแรงดันวงจรเปิดแสดงดังรูปที่ 2.11

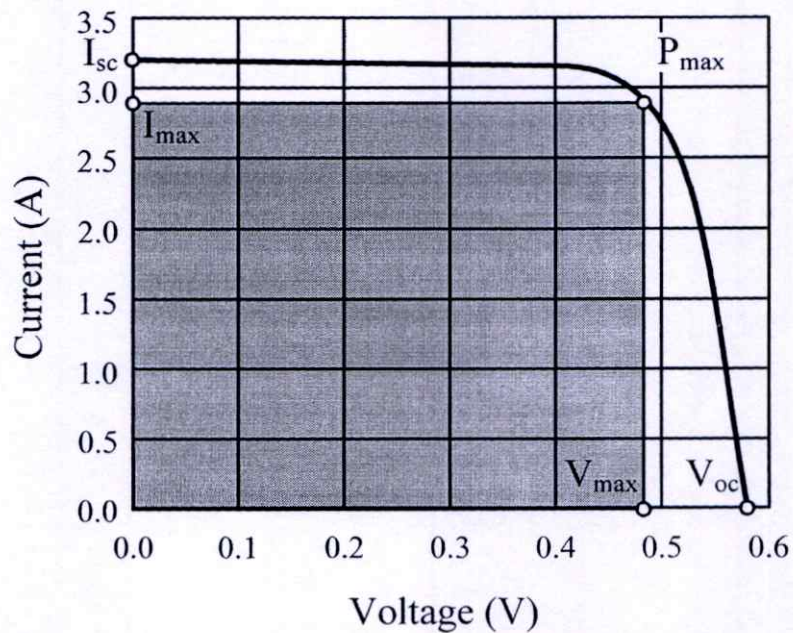
2.3.2 ค่ากระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่เกิดค่ากระแสลัดวงจร

กระแสลัดวงจรหรือ Short Circuit Current (I_{sc}) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์เสมือนเป็นการลัดวงจร ทำให้ค่ากระแสที่วัดได้มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ค่าแรงดันมีค่าเป็นศูนย์ หรือก็คือจุดตัดแกน y ในรูปที่ 2.10 นั่นเอง มีวงจรสมมูลแสดงดังรูปที่ 2.12

2.3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด



รูปที่ 2.13 พื้นที่สี่เหลี่ยมที่ถูกแรเงาแสดงค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด

ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด (Maximum Power) ของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่ที่มากที่สุดภายใต้เส้นกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยหน่วยของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีหน่วยเป็นวัตต์ (W_p) หรือ Peak Watt ซึ่งค่านี้จะถูกระบุไว้ในคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัทผู้ผลิต

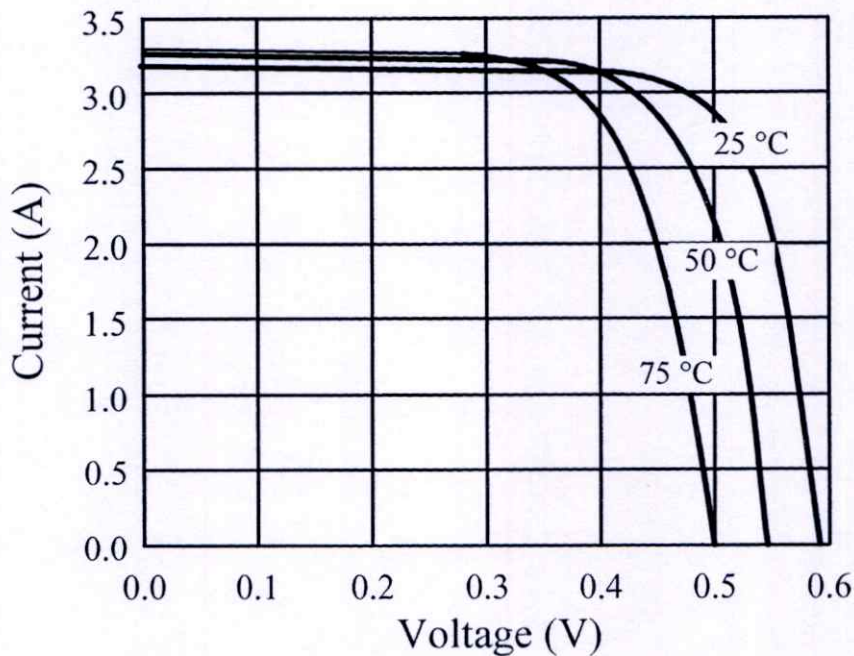
2.3.4 ค่าฟิลแฟกเตอร์

ค่าฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor) คือ ค่าที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จาก อัตราส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดกับกระแสลัดวงจร

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.1)$$

โดยค่าที่คำนวณได้จะเป็นเลขทศนิยมอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป จะถือว่าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพดี มีค่าเท่ากับ

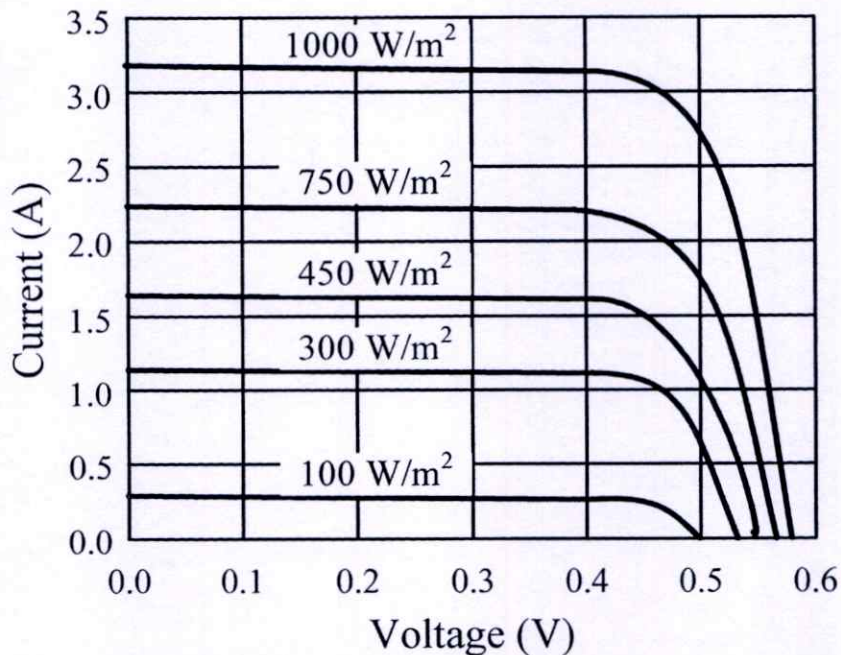
2.3.5 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ 2.14 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.14 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทำการวัดภายใต้สภาวะควบคุม ด้วยการฉายแสงที่มีปริมาณความเข้มแสงคงที่ 1000 W/m^2 ลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่าค่าแรงดันที่วัดได้จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของแสงอาทิตย์สูงขึ้น โดยในชิลิกอนค่าแรงดันจะลดลงประมาณ 2.3 mV เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

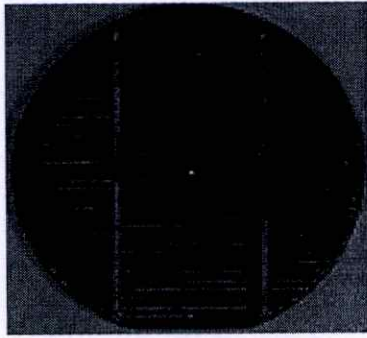
2.3.6 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง



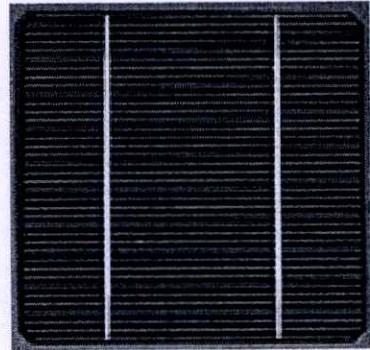
รูปที่ 2.15 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.15 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทดลองวัดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าคงที่ที่ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงที่ฉายลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสงต่างๆ กัน พบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความเข้มแสง กล่าวคือ เมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกระแสไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน แต่สำหรับแรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

2.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์



(ก)

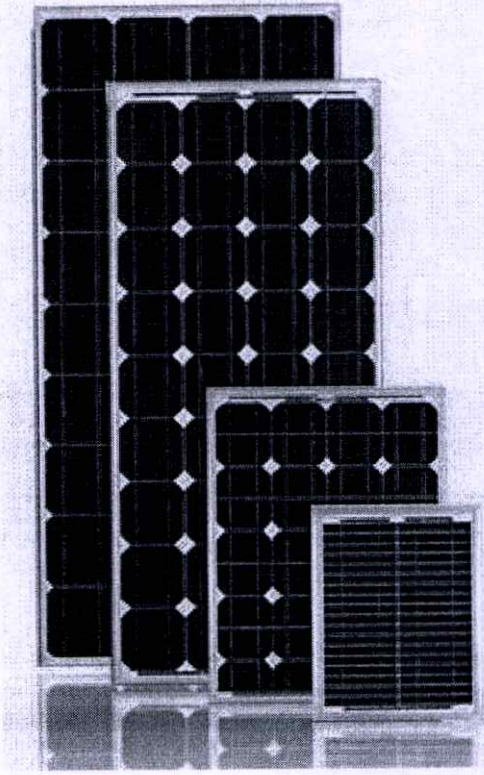


(ข)

รูปที่ 2.16 เซลล์แสงอาทิตย์ (ก) รูปทรงกลม (ข) รูปสี่เหลี่ยม

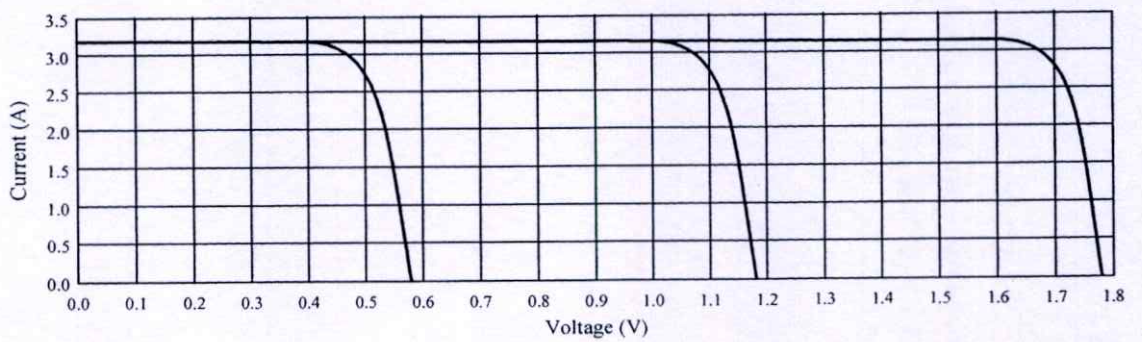
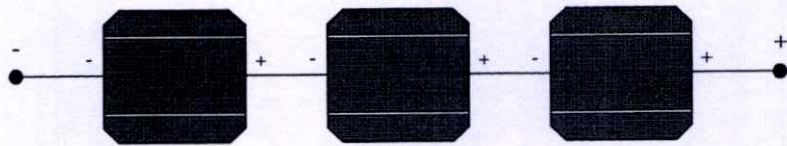
เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้งานโดยทั่วไปนั้น ส่วนมากจะประกอบกันในลักษณะเป็นแผง โดยภายในแผงจะมีเซลล์ย่อยที่มีรูปร่างลักษณะต่างๆ กัน ที่นิยมกันมากมีอยู่สองแบบ ดังรูปที่ 2.16 คือแบบกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm) และแบบสี่เหลี่ยม (100×100) โดยแต่ละเซลล์จะมีแรงดันไฟฟ้าคงที่ประมาณ 0.5 V แต่ขนาดของกระแสจะเปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นเซลล์ ซึ่งโดยเฉลี่ยจะให้ค่ากระแสลัดวงจรประมาณ 3 A ต่อพื้นที่ 100 cm²

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะออกแบบโดยการนำชิ้นเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ อันมาต่อกันแบบอนุกรม หรือแบบขนานตามความต้องการ ซึ่งโดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะออกแบบให้มีแรงดันมาตรฐานที่ 1.5 V 6V 12V 24V และ 48 V เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกันแล้วจะต่อสายไฟออกมาภายนอก เป็นขั้วบวกและลบไว้ที่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ด้านหน้าปิดทับด้วยกระจกนิรภัยที่ยอมให้แสงผ่านได้สูง (High Transmission Glass) โดยให้แสงผ่านได้ถึง 92 เปอร์เซ็นต์ และยังเคลือบด้วยสาร Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) เป็นสารเคลือบเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นและฝุ่นละอองถูกเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ด้านหลังของแผงจะมีแผ่นยึดด้านหลัง (Back Cover) ทำจากสาร โพลีเมอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า TEDLAR ซึ่งจะมีแผ่นอลูมิเนียมบางๆ แทรกอยู่ตรงกลาง เพื่อเพิ่มความแข็งแรง แผงเซลล์จะถูกเข้ากรอบด้วยอลูมิเนียมชุบแข็งเพื่อให้มีความทนทาน และง่ายต่อการยึดติดกับโครงสร้างต่างๆ ซึ่งตัวอย่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบเสร็จแล้วแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบขึ้นเป็นแผง

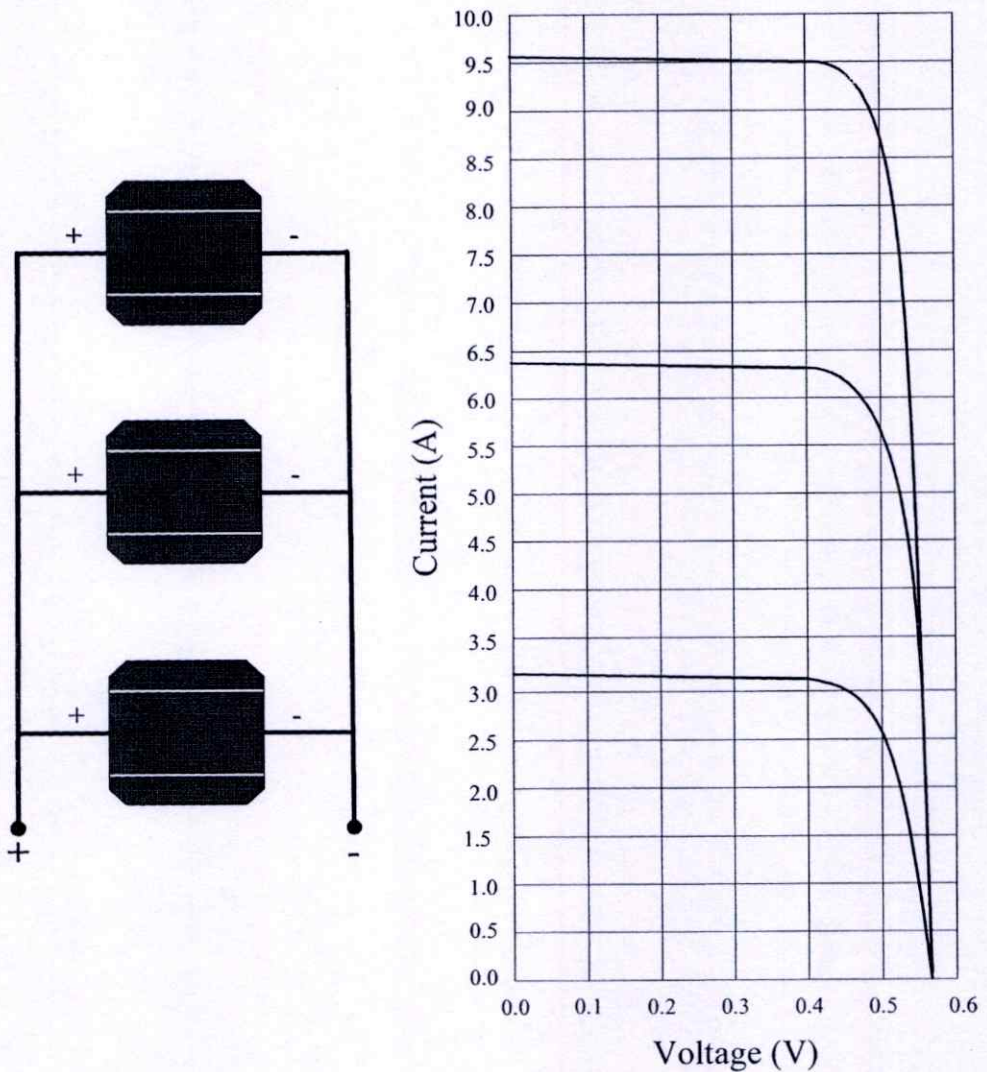
2.4.1 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.18 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม และกราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้ารวมของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ค่ากระแสไฟฟ้ายังคงมีค่าเท่าเดิม ดังแสดงในกราฟตามรูปที่ 2.18 โดยทั่วไปแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบให้ใช้กับระบบไฟฟ้าขนาด 12 V จึงต้องนำขึ้นเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 32-36 เซลล์ เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาด 16-18 V เพื่อให้เพียงพอต่อการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ขนาด 12 V

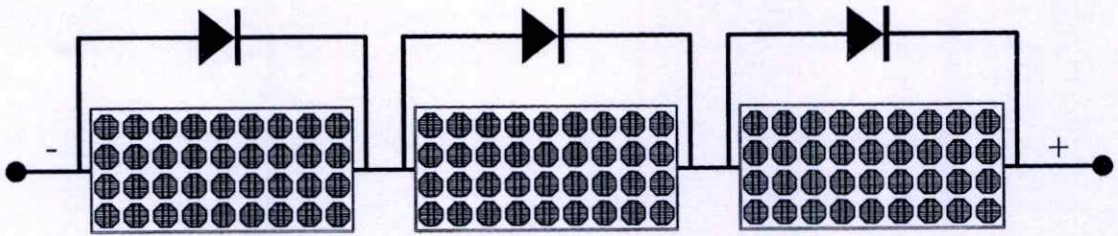
2.4.2 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน



รูปที่ 2.19 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน และกราฟแสดงค่ากระแสที่เพิ่มขึ้น

การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้ายรวมของเซลล์ทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้ายังคงมีค่าเท่าเดิม ดังแสดงในกราฟตามรูปที่ 2.19

2.4.3 บายพาสไดโอด

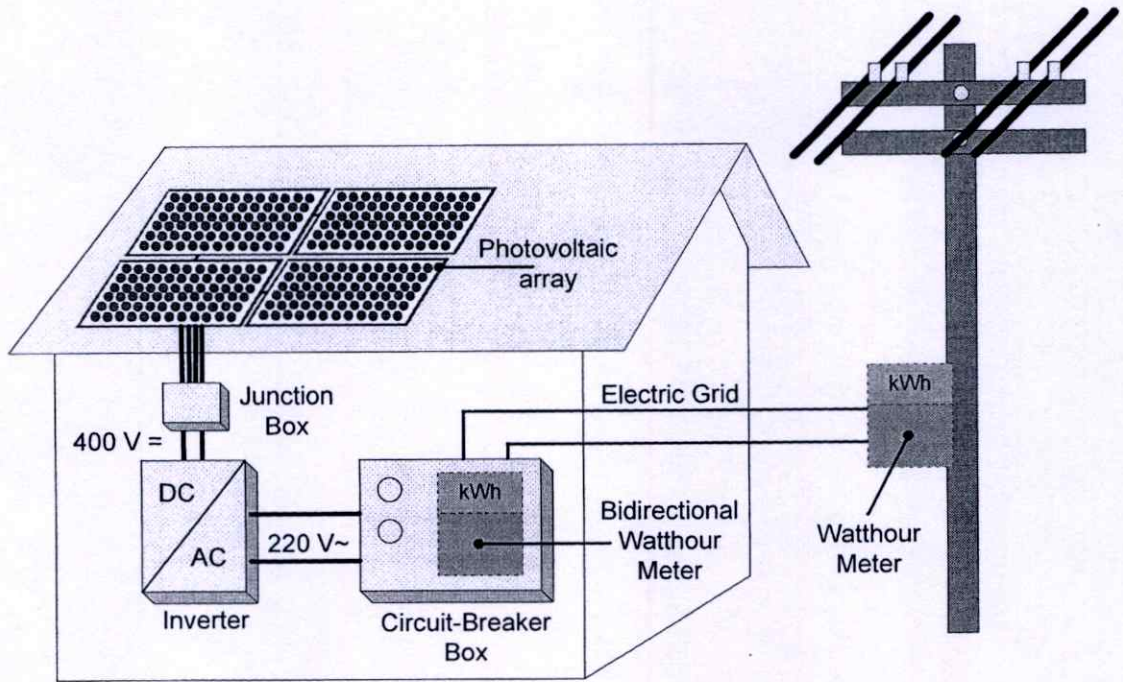


รูปที่ 2.20 แสดงการต่อบายพาสไดโอดในวงจร

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้แรงดันสูงนั้นจะต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรม ถ้าเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในวงจรที่ต่ออนุกรมกันอยู่เกิดไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ เช่นในกรณีที่เซลล์บางเซลล์ถูกเงาบังทำให้ไม่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ เซลล์นั้นจะมีสภาพเป็นไดโอดที่อยู่ในสภาวะไบแอสย้อนกลับ (Reverse Bias) ทำให้ตลอดทั้งวงจรไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ และอาจทำให้เซลล์นั้นเกิดความเสียหายได้ การแก้ไขทำได้ด้วยการต่อบายพาสไดโอด (bypass diode) คร่อมเซลล์ดังแสดงในรูปที่ 2.20 เมื่อเซลล์ใดเซลล์หนึ่งถูกเงาบัง กระแสจากเซลล์อื่นๆ ก็ยังสามารถไหลผ่านตัวบายพาสไดโอดจนครบวงจรได้ เพียงแต่พลังงานที่ได้จะมีปริมาณลดลง

2.5 ระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกชนิดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกชนิดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าคือระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นกระแสไฟฟ้า มีอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.21 โดยระบบดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นระบบเสริมให้การไฟฟ้า กล่าวคือกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในตอนกลางวันจะถูกส่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้านทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้ามีปริมาณลดลง ในกรณีที่ไม่มีการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต้องการ กระแสไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะไหลย้อนกลับเข้าไปในสายส่งของการไฟฟ้า ทำให้มาตรวัดกำลังไฟฟ้า (Watt-hour Meter) หมุนถอยหลังกลับ เสมือนเป็นการขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้า ส่วนในเวลากลางคืนที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ก็จะกลับไปใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าตามปกติ

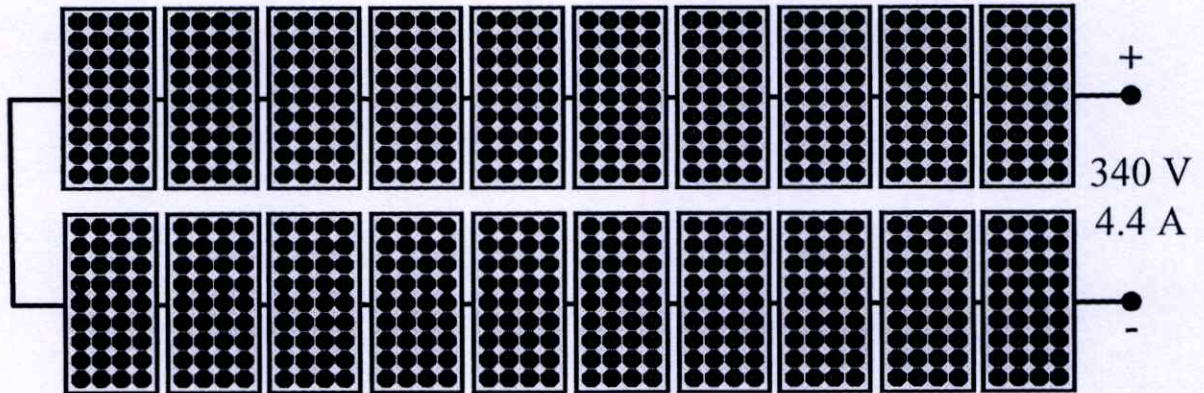


รูปที่ 2.21 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกชนิดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้า

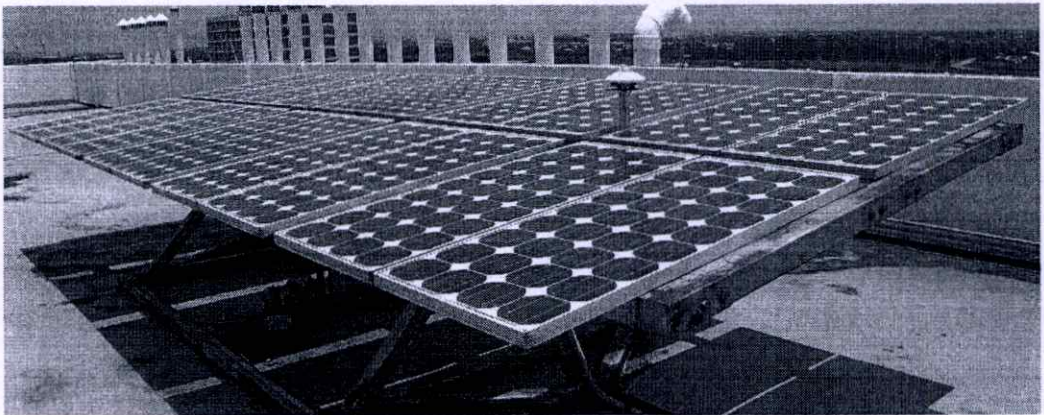
Solar module SP75		
Electrical parameters		12 V/6 V
Maximum power rating P_{max}	[Wp] ¹⁾	75
Rated current I_{MPP}	[A]	4.4/8.8
Rated voltage V_{MPP}	[V]	17.0/8.5
Short circuit current I_{SC}	[A]	4.8/9.6
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.7/10.9
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45 ±2
Temp. coefficient: short-circuit current		2.06 mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.77 V / °C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum system voltage	[V]	600 V per UL (1000 V per IEC)
Wind Loading	PSF [N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	16.7 [7.6]

รูปที่ 2.22 เซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท SIEMENS รุ่น SP-75

จากรูปที่ 2.22 คือเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัทซีเมนส์ (SEMENS) รุ่น SP-75 ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้ ภายในแผงประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว (Single-crystalline) จำนวน 36 เซลล์ ให้ค่ากำลังสูงสุด 75 W_p ที่แรงดันสูงสุด 17 V และกระแสสูงสุด 4.4 A มีค่ากระแสลัดวงจรที่ 4.8 A และค่าแรงดันเปิดวงจรที่ 21.7 V เมื่อวัดที่ค่าความเข้มของแสง 1000 W/m^2 อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ทำงานในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ ถึง $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยมีค่ากระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้น 2.06 mA และ ค่าแรงดันวงจรเปิดจะลดลง 77 mV เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น $1 \text{ }^\circ\text{C}$



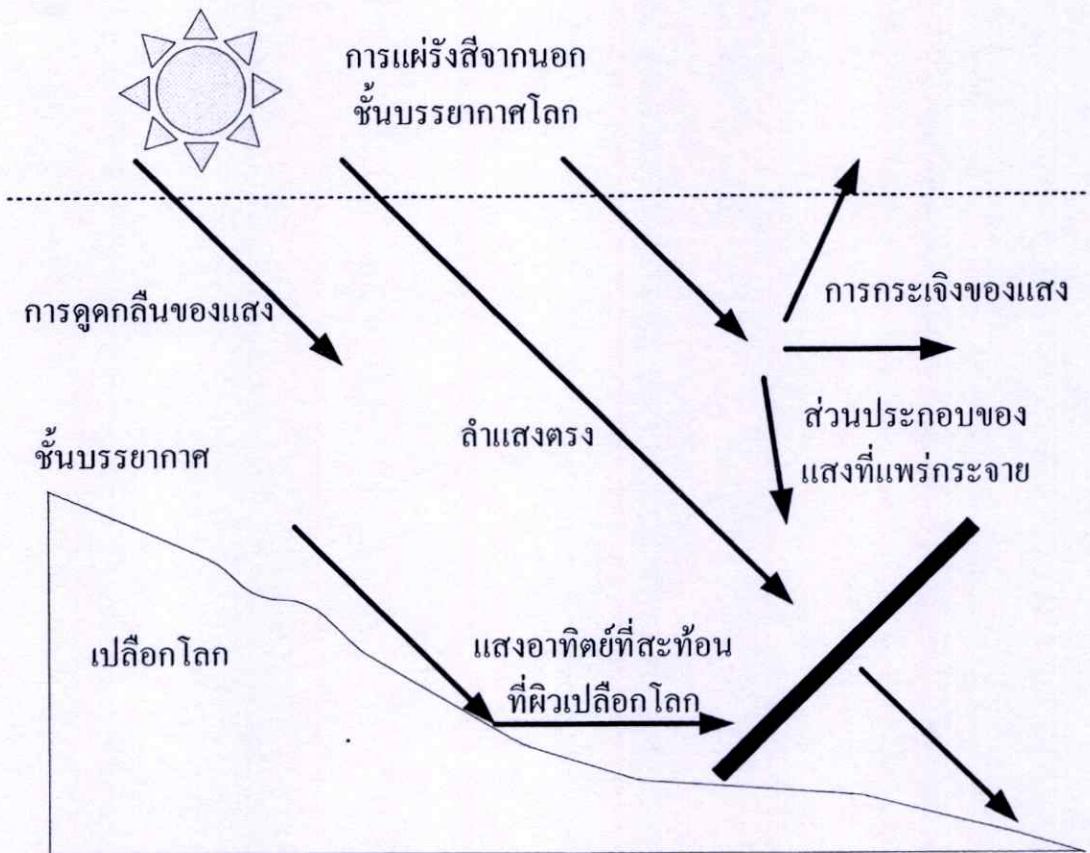
รูปที่ 2.23 แสดงการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสตริง



รูปที่ 2.24 แสดงสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก

เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เหมาะสมกับการนำไปแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ นั้น ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องมีค่ามากกว่าค่าแรงดันค้ำยอดของไฟฟ้ากระแสสลับ (V_p) หรือมีค่ามากกว่า 310 V ดังนั้นจึงนำเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 20 แผง มาต่อกันแบบอนุกรมเป็น สตริง เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 340 V ค่ากระแสสูงสุด 4.4 A หรือมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 1.5 kW_p ดังแสดงในรูปที่ 2.23 และได้สตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ดังแสดงในรูปที่ 2.24

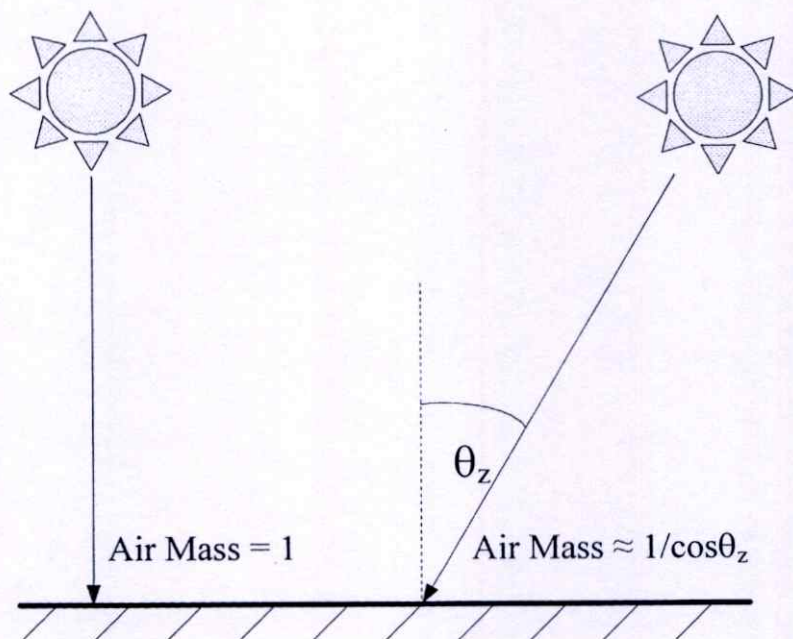
2.6 การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.25 การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศของโลก

เมื่อดวงอาทิตย์แผ่รังสีมายังบรรยากาศของโลกตามรูปที่ 2.25 จะผ่านชั้นบรรยากาศที่มีคุณสมบัติที่ต่างกันอย่างกายภาพ และตกกระทบพื้นผิวโลก ซึ่งมีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่หลากหลายหลายเช่น มหาสมุทร ที่ราบสูง เทือกเขา ที่ราบ เป็นต้น บางส่วนของพลังงานแสงจะถูกดูดกลืน หรือกระเจิงไป อันเนื่องจากโมเลกุลของอากาศ เมฆ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในอากาศ รังสีของแสงอาทิตย์ที่ไม่ถูกสะท้อนหรือกระเจิง และมาสู่พื้นผิวโลกได้โดยตรงในแนวเชิงเส้นจากดวงอาทิตย์เรียกว่า รังสีตรง (direct radiation) รังสีของแสงอาทิตย์ที่เกิดจากการกระเจิงของแสงและมาสู่พื้นผิวโลกเรียกว่า รังสีกระจาย (diffuse radiation) นอกจากนี้ยังมีรังสีของแสงที่สะท้อนที่ผิวเปลือกลูกโลกอีกด้วย ปริมาณของการแผ่รังสีที่ประกอบด้วยรังสีของแสงเหล่านี้ จะรวมเรียกว่า พลังงานแสงอาทิตย์รวม (Total Radiation หรือ Global Radiation)

นิยามซึ่งแสดงถึงผลของชั้นบรรยากาศตลอดไปรังต่อแสงอาทิตย์คือ Air Mass (AM) มีค่าเท่ากับความสัมพันธ์ของระยะของรังสีตรงที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก โดยวันที่มีบรรยากาศแจ่มใสในฤดูร้อนที่ระดับน้ำทะเล รังสีของแสงอาทิตย์ส่องตั้งฉากกับพื้นโลก จะสอดคล้องกับ air mass 1 หรือ AM1 สำหรับที่เวลาใดๆ air mass จะมีค่าประมาณใกล้เคียงกับ $1/\cos \theta_z$ เมื่อ θ_z คือ มุมเซนิท (zenith angle) แสดงดังรูปที่ 2.26 สำหรับ AM0 เป็นสภาพของแสงอาทิตย์ภายนอกบรรยากาศโลก ส่วน AM1.5 เป็นสเปกตรัมของแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลกในวันที่บรรยากาศปลอดโปร่งซึ่งมีค่าความเข้มของแสงที่ 1000 W/m^2 และอุณหภูมิคงที่ที่ 25°C ซึ่งค่า AM1.5 นี้เป็นค่าที่ใช้ในการเทียบมาตรฐานของเซลล์แสงอาทิตย์



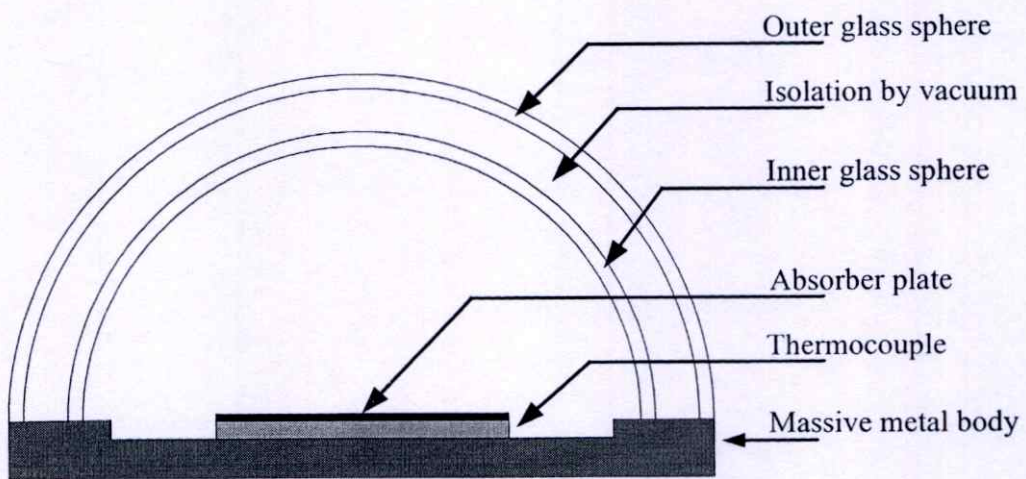
รูปที่ 2.26 แสดง Air Mass

ถึงแม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมสามารถที่จะมีค่าสูงได้ถึง 1 kW/m^2 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ก็มักจะถูกพิจารณาว่ามีค่าน้อยกว่า 1 kW/m^2 สาเหตุเนื่องจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์และเงื่อนไขของภูมิอากาศ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของแสงอาทิตย์ที่แน่นอน และการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศ เช่น วันที่มีเมฆมาก จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของแสงอาทิตย์ที่ไม่แน่นอน ด้วยเหตุนี้การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกจึงขึ้นอยู่กับการวัดข้อมูลตั้งต้น ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับบริเวณจุดติดตั้งระบบ ซึ่งการวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ณ สถานที่ที่ติดตั้งระบบ ก็เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับประเมินปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ว่ามีพอเพียงแก่ระบบผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลตาอิกหรือไม่

ในการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ควรมีรายละเอียดกำกับข้อมูลที่วัดดังต่อไปนี้

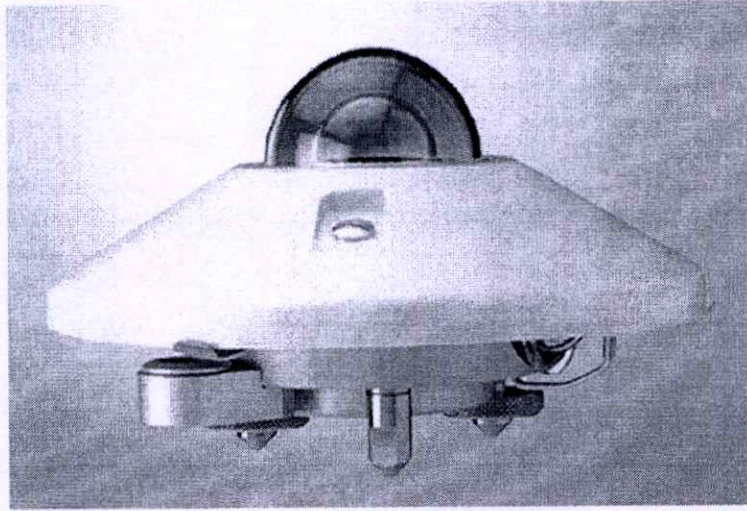
1. เวลาที่ทำการวัด และช่วงเวลาที่วัด
2. ตำแหน่งเส้นรุ้ง เส้นแวง ที่วัด
3. ชนิดของเครื่องมือวัดที่ใช้
4. ความลาดเอียงของการติดตั้งเครื่องมือวัด
5. ค่าเฉลี่ยจากการวัด

ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม หรือ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังในรูปที่ 2.27 มาเป็นเครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างของไพราโนมิเตอร์

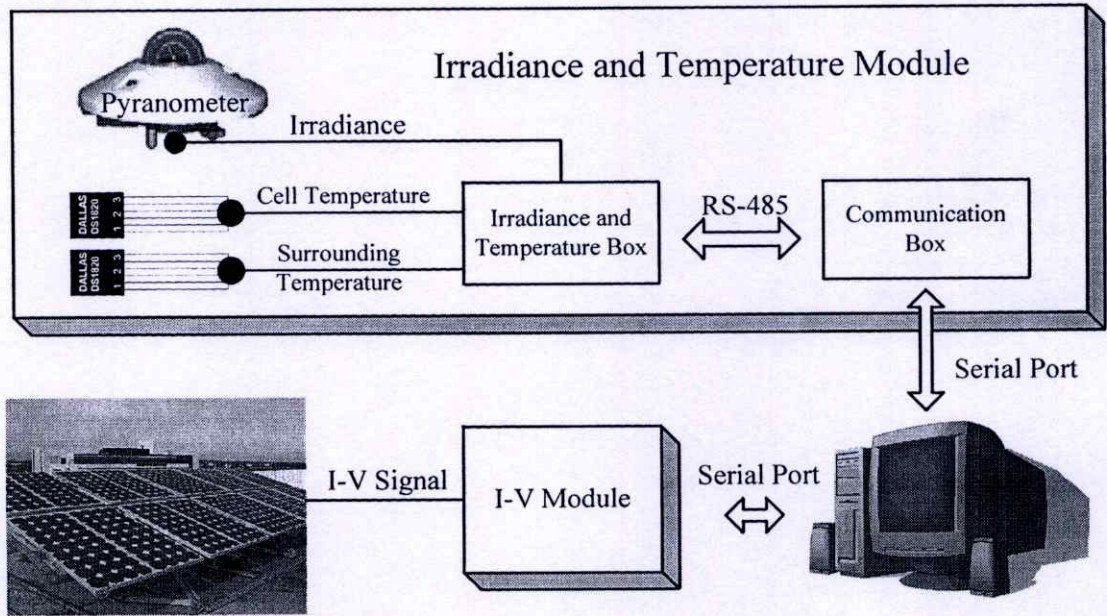
จากรูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างของไพราโนมิเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยครอบแก้วใสรูปครึ่งวงกลมซ้อนกันสองอัน ระหว่างครอบแก้วจะเป็นสุญญากาศ ภายในจะเป็นเทอร์โมไพล์ (Thermopile) ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) จำนวนหนึ่งร้อยรอดต่อ สำหรับวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างขั้วร้อนและขั้วเย็น โดยขั้วร้อนจะทาสีดำและรับแสงอาทิตย์ ส่วนขั้วเย็นทาสีขาวและซ่อนไว้ใต้โคมบังแดด ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วร้อนกับขั้วเย็นมีค่าสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบไพราโนมิเตอร์ สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้ไพราโนมิเตอร์ของบริษัท Kipp&Zonen รุ่น CM11 ซึ่งให้สัญญาณขาออกที่ $5.14 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.28 มาเป็นเครื่องมือในการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.28 แสดงรูปของไพราโนมิเตอร์ของบริษัท Kipp&Zonen รุ่น CM11

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แสดงระบบของเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก

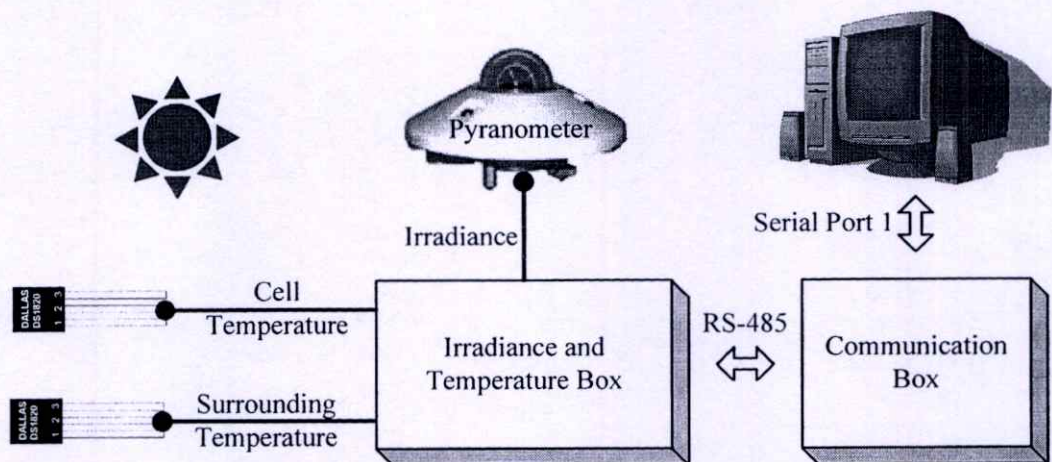
จากรูปที่ 3.1 เป็นเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก ที่ได้ออกแบบขึ้น ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ (1) โมดูลการวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ (Irradiance and Temperature Module) (2) โมดูลการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V Module) (3) ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการวัด ประมวลผล และแสดงผลข้อมูล

การทำงานของเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก จะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นตัวควบคุมการวัด โดยคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณผ่านพอร์ตอนุกรมพอร์ต 1 ไปยังโมดูลวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ เพื่อขอข้อมูลความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับข้อมูลความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิแล้ว ก็จะส่งสัญญาณผ่านทางพอร์ตอนุกรมพอร์ต 2 ไปยังโมดูลการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อขอข้อมูลสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า

เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับข้อมูลดิบต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการบันทึกข้อมูลดิบทั้งหมดที่เก็บได้ให้อยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์เพื่อรอการประมวลผลข้อมูลในภายหลัง ในการประมวลผลข้อมูล จะเริ่มจากการคำนวณข้อมูลความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิให้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่เวลาวัดใดๆ เก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์

ส่วนข้อมูลดิบกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะถูวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาสมการตัวแทน ด้วยวิธีการประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด โดยสมการตัวแทนจะมีตัวแบบเป็นสมการโพลิโนเมียลกำลังห้า เมื่อได้สมการตัวแทนที่เหมาะสมแล้ว ก็จะทำการคำนวณค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สำคัญของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก อันได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ค่ากระแสสูงสุด ค่าแรงดันวงจรเปิด ค่ากระแสลัดวงจร ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ฟิลแฟกเตอร์ ค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้ จะถูกแสดงในรูปของกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ และถูกบันทึกลงในแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกต่อไป

3.1 โมดูลวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ

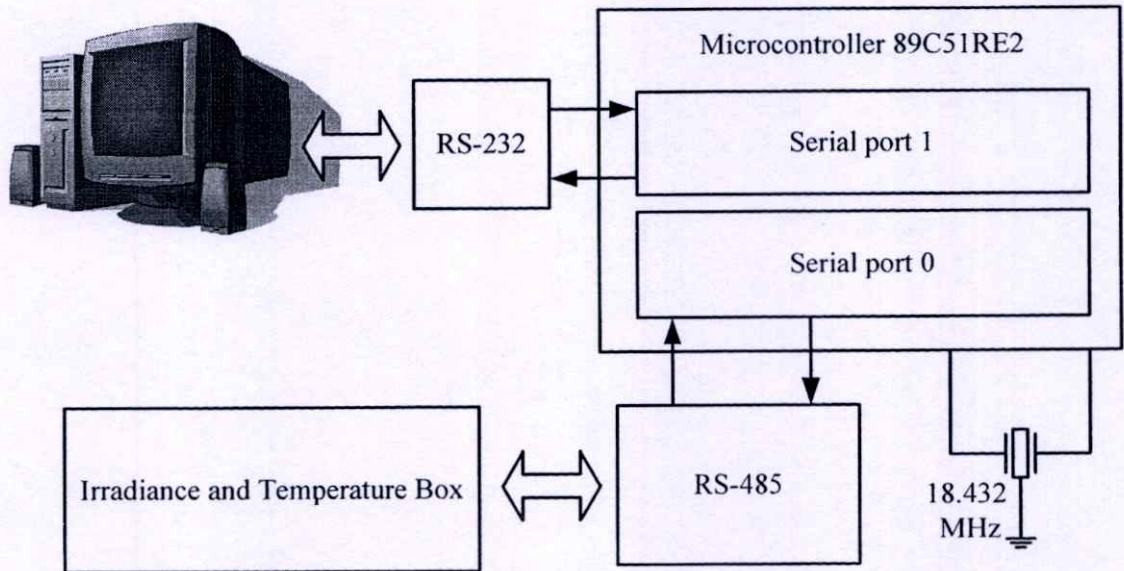


รูปที่ 3.2 แสดงระบบของโมดูลวัดค่าความเข้มแสงแดดและค่าอุณหภูมิ

รูปที่ 3.2 แสดงระบบของโมดูลวัดค่าความเข้มแสงแดดและค่าอุณหภูมิ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ (1) ส่วนติดต่อสื่อสาร (Communication Box) (2) กล่องวัดค่าความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ (Irradiance and Temperature Box) (3) การวัดค่าความเข้มแสงแดดด้วยไพราโนมิเตอร์ (4) การวัดอุณหภูมิด้วย DS1820

3.1.1 ส่วนติดต่อสื่อสาร

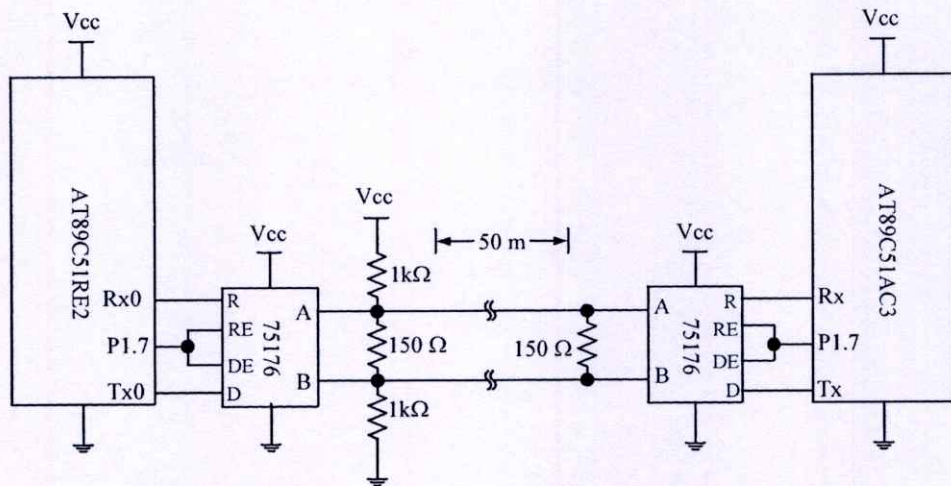
ส่วนติดต่อสื่อสารเป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับกล่องวัดค่าความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ ในส่วนนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51RE2 ซึ่งมีพอร์ตอนุกรม 2 พอร์ต ทำงานที่ความถี่ 36.864 MHz เมื่อใช้คริสตัลความถี่ 18.432 MHz



รูปที่ 3.3 แสดงส่วนติดต่อสื่อสาร

การทำงานของส่วนนี้จะใช้พอร์ตอนุกรมพอร์ต 0 เชื่อมต่อกับไอซี SN75176 ซึ่งเป็นไอซีรับส่งข้อมูลในมาตรฐาน RS-485 ทำการสื่อสารข้อมูลกับกล่องวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ และทำการสื่อสารข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรมพอร์ต 1 โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้ไอซี SN75176 สองตัว ตัวหนึ่งต่อกับพอร์ตอนุกรมพอร์ต 0 ของ AT89C51RE2 ส่วนอีกตัวหนึ่งจะต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC3 ซึ่งอยู่ในกล่องวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.4

เนื่องจากการรับส่งข้อมูลแบบบัส RS-485 เป็นการรับส่งข้อมูลแบบทางเดียว คือจะส่งหรือรับข้อมูลได้เพียงทางเดียว ณ เวลานั้น ดังนั้นจึงเชื่อมต่อขาควบคุมการส่งข้อมูล DE และขาควบคุมการรับข้อมูล RE เข้ากับพอร์ต P1.7 ของทั้ง AT89C51RE2 และ AT89C51AC3 โดยพอร์ต P1.7 จะทำหน้าที่เป็นพอร์ตกำหนดสถานะการทำงานของไอซี SN75176 เมื่อพอร์ต P1.7 มีสถานะเป็นลอจิก "1" SN75176 จะทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูล และเมื่อพอร์ต P1.7 มีสถานะเป็นลอจิก "0" SN75176 จะทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูล



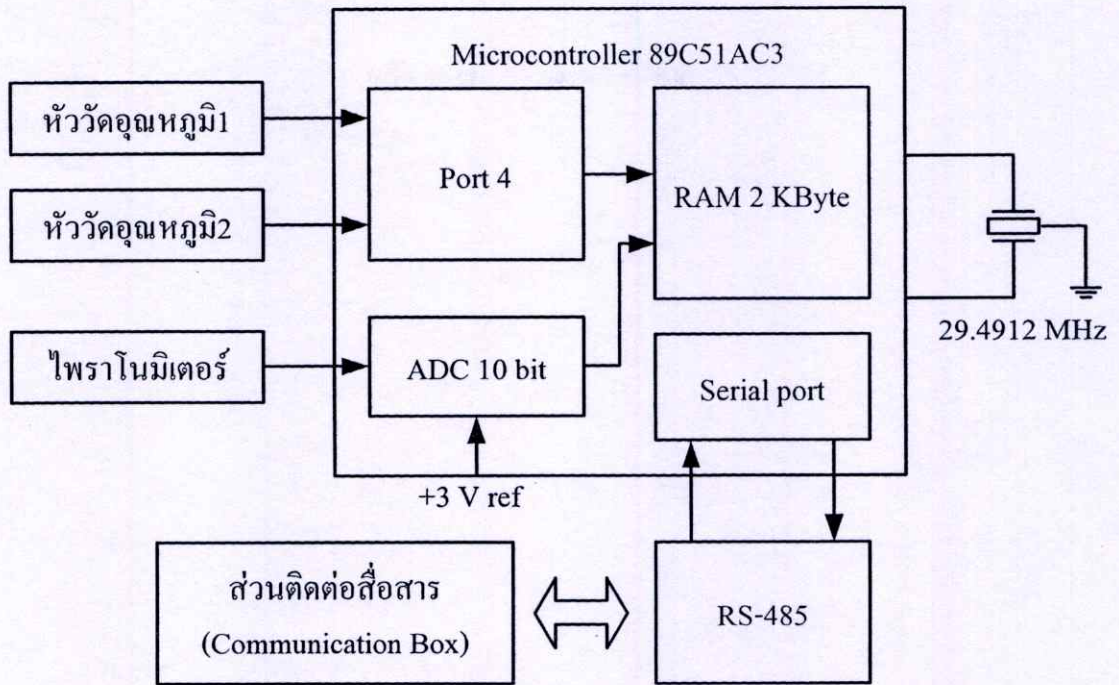
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรรับส่งข้อมูลในมาตรฐาน RS-485 ในงานวิจัยนี้

ในขณะที่ยังไม่มีกรับส่งข้อมูลจะกำหนดสถานะของ SN75176 ทุกตัวในโมดูล ให้เป็นตัวรับข้อมูล เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการข้อมูลความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ ก็จะส่งคำสั่งไปยัง AT89C51RE2 ทางพอร์ตอนุกรม เมื่อ AT89C51RE2 ได้รับคำสั่งขอข้อมูลก็จะเซตให้ P1.7 เป็น “1” มีผลทำให้ SN75176 ที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม 0 ของ AT89C51RE2 ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูล และส่ง “#0” ไปยังกล่องวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิผ่านบัส RS-485 หลังจากส่งรหัส “#0” เรียบร้อยแล้ว AT89C51RE2 จะเซตให้ P1.7 เป็น “0” เพื่อให้ SN75176 ทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูล

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC3 ซึ่งเป็นตัวควบคุมการวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ ได้รับรหัส “#0” แล้ว ก็จะเซตให้ P1.7 ของ AT89C51AC3 เป็น “1” มีผลทำให้ SN75176 ที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของ AT89C51AC3 ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูล เมื่อ AT89C51AC3 เก็บข้อมูลความเข้มแสงจำนวน 5 ค่า และค่าอุณหภูมิจำนวน 2 ค่า ครบถ้วนแล้ว จึงส่งข้อมูล 7 ค่า กลับไปยัง AT89C51RE2 และเซตให้พอร์ต P1.7 เป็น “0” เพื่อรับข้อมูลต่อไป

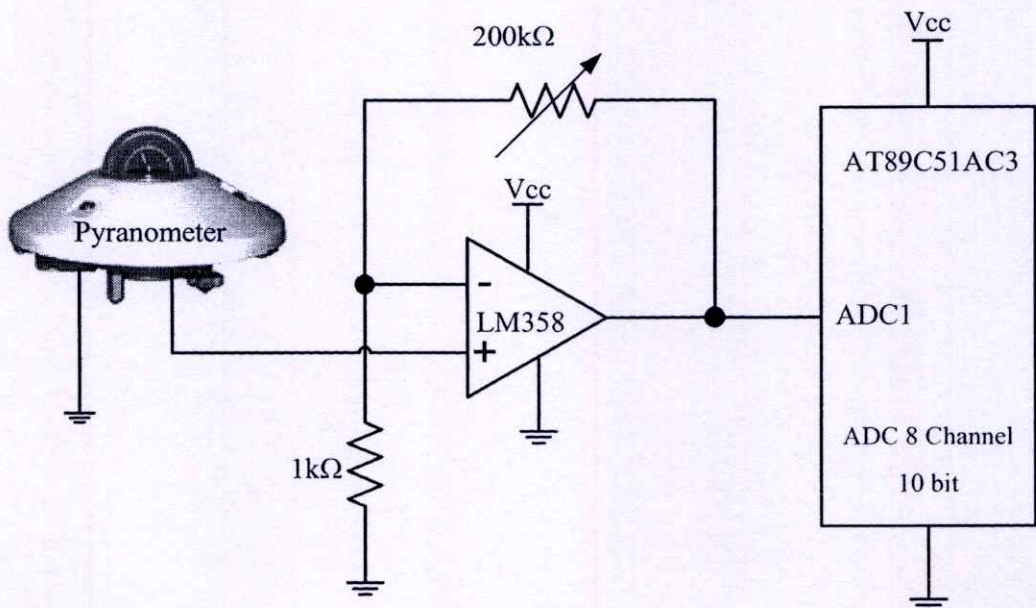
3.1.2. กล่องวัดค่าความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ

สำหรับกล่องวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิมิมีแผนผังแสดงในรูปที่ 3.5 จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC3 ซึ่งมีตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบการประมาณ สืบเนื่องความละเอียด 10 บิต จำนวน 8 ช่อง สักดาอ้างอิง +3 V รับแรงดันอินพุตในช่วง 0 ถึง 3 V เป็นตัวควบคุมการวัดค่าความเข้มแสงแดดจากไพราโนมิเตอร์และรับข้อมูลอุณหภูมิจาก DS1820 จำนวน 2 ตัว โดยกล่องวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิจะถูกติดตั้งใกล้กับชุดเซลล์แสงอาทิตย์ และรับส่งข้อมูลกับส่วนติดต่อสื่อสารทางบัส RS-485 ดังที่ได้แสดงไปแล้วในหัวข้อที่ 3.1.1



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังของกล่องวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ

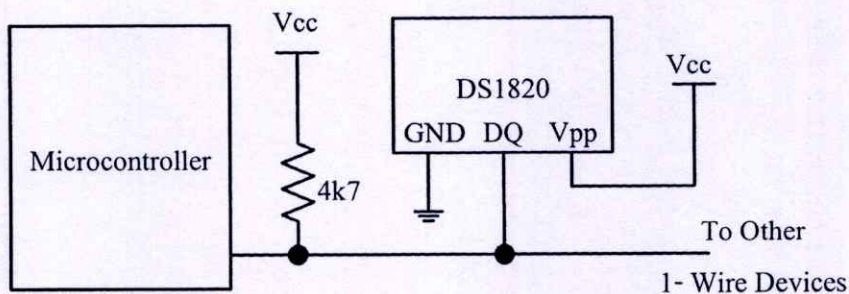
3.1.3 การวัดค่าความเข้มของแสงแดดด้วยไพราโนมิเตอร์



รูปที่ 3.6 เป็นวงจรสำหรับวัดค่าความเข้มแสงแดด

วงจรวัดค่าความเข้มแสงแดดแสดงดังรูปที่ 3.6 สัญญาณที่วัดได้จากไพราโนมิเตอร์จะนำมาเข้าวงจรขยายชนิดป้อนกลับแบบลบโดยใช้อปแอมป์เบอร์ LM358 เมื่อกำหนดอัตราขยายให้เหมาะสมกับแรงดันขาเข้าของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแล้ว ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะถูกนำไปคำนวณกลับให้เป็นค่าความเข้มแสงแดดต่อไป

3.1.4 การวัดอุณหภูมิด้วย DS1820

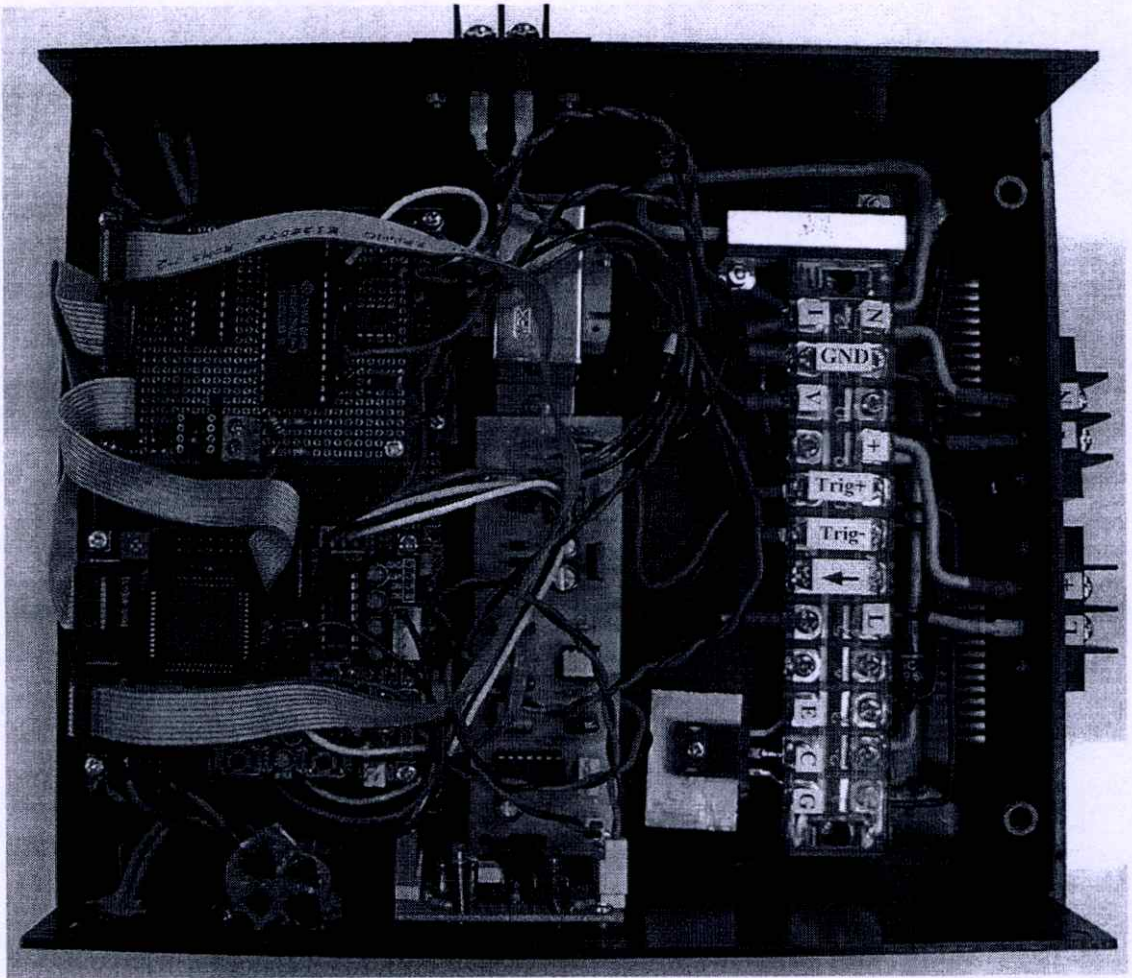


รูปที่ 3.7 การต่อเชื่อมไมโครคอนโทรลเลอร์กับหัววัดอุณหภูมิ DS1820

หัววัดอุณหภูมิ DS1820 ใช้การติดต่อแบบระบบบัสหนึ่งสาย ส่งข้อมูลแบบอนุกรม ผ่านบัสหนึ่งเส้น มีขาต่อใช้งาน 3 ขา คือ ขา DQ เป็นขาเชื่อมต่อบัส ขาไฟเลี้ยงภายนอก และขากราวด์ ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จะเป็นค่าดิจิตอลขนาด 8 บิต และเมื่อแปลงเป็นข้อมูลเลขฐานสิบจะสามารถแสดงค่าความละเอียดของอุณหภูมิได้ถึง 0.5 °C มีย่านการวัดอยู่ที่อุณหภูมิ -10 ถึง +85 °C ใช้เวลาในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นข้อมูลดิจิตอลประมาณ 200 ms ในรูปที่ 3.7 แสดงการเชื่อมต่อ DS1820 กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการวัดค่าอุณหภูมิจะวัดค่าอุณหภูมิของอากาศ และค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่าอุณหภูมิของอากาศจะใช้หัววัดอุณหภูมิ 1 ตัว ติดตั้งลอยอยู่ในอากาศ ในร่ม ได้ชุดเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จะเป็นตัวแทนของอุณหภูมิของอากาศ ส่วนค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้หัววัดอุณหภูมิ 1 ตัว ติดแนบหลังกับเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จะเป็นตัวแทนของอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านส่วนติดต่อสื่อสารทางบัส RS-485 เพื่อนำไปประมวลผลข้อมูลต่อไป

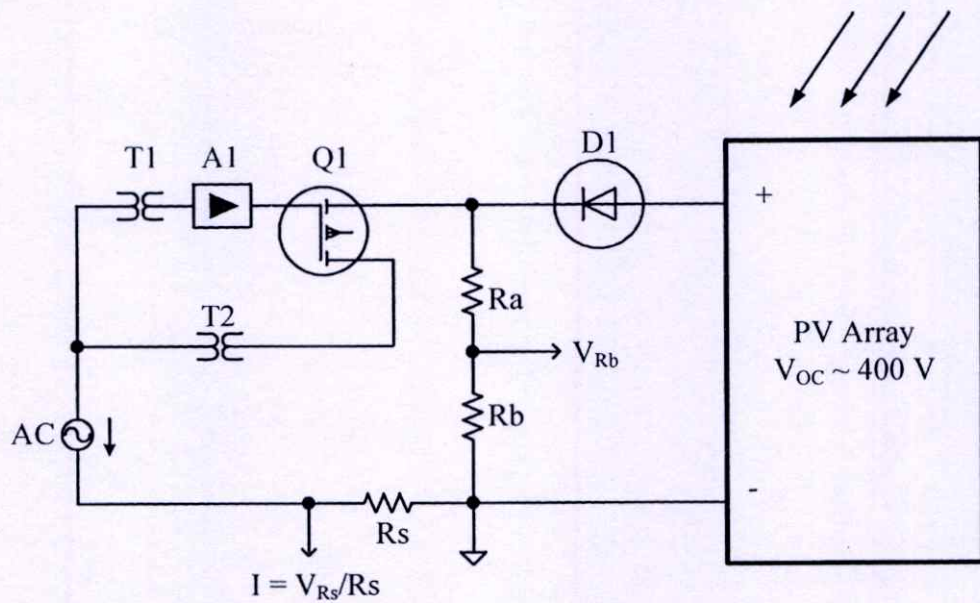
3.2 โมดูลการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.8 แสดงโมดูลการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.8 แสดงโมดูลการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 วงจรวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังวงจรวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำเป็น โหลด

แผนผังวงจรวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำเป็น โหลด แสดงดังรูปที่ 3.9 สัญลักษณ์ที่ปรากฏในวงจร มีความหมายดังนี้

AC แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

T1 หม้อแปลงไฟฟ้ากำเนิดสัญญาณควบคุม

T2 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำ

A1 วงจรตรวจจับระดับแรงดันผ่านศูนย์

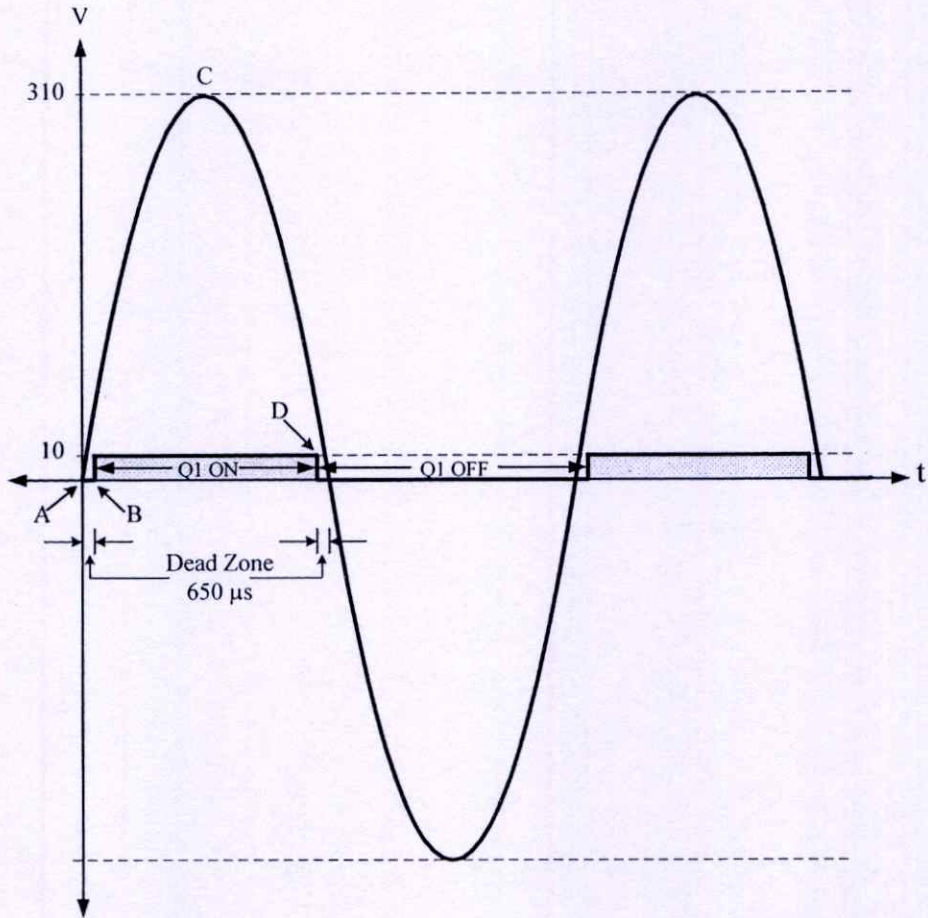
Q1 ทรานซิสเตอร์กำลัง IGBT

D1 ไดโอดบังคับทิศทางกระแสไฟฟ้า

Ra-Rb วงจรแบ่งแรงดัน

Rs ตัวต้านทานชั่ง

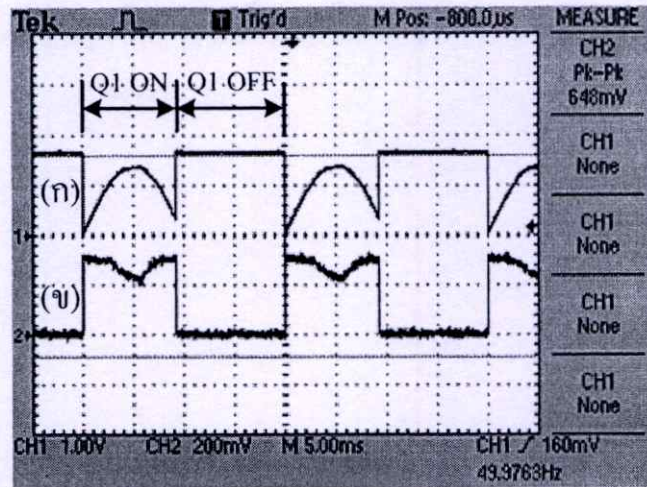
การทำงานของวงจรจะเริ่มต้นจากวงจรตรวจจับระดับแรงดันผ่านศูนย์ A1 กำเนิดสัญญาณควบคุมทรานซิสเตอร์กำลัง IGBT Q1 ที่มีเฟสตรงกันกับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรากฏที่แรงดันขาออกของ T2 โดยวงจรตรวจจับระดับแรงดันผ่านศูนย์จะออกแบบให้มีระดับกระตุ้นหลังจากจุดผ่านแรงดันศูนย์ประมาณ 650 μ s เพื่อป้องกันการตัดต่อผิดพลาด รูปที่ 3.10 แสดงพล็อตกระตุ้นที่ปรากฏที่ขาเกทของ Q1



รูปที่ 3.10 พัลส์สี่เหลี่ยมกระตุ้นที่ขาเกตของ Q1

ช่วงเวลาจากจุด A ไปยังจุด B เป็นช่วงป้องกัน (dead zone) ซึ่ง Q1 จะหยุดนำกระแส ช่วงเวลาจากจุด B ไปยังจุด D เป็นช่วงที่ Q1 นำกระแส ในช่วงไซเคิลลบ (negative cycle) Q1 จะหยุดนำกระแสทำให้วงจรเปิด ตัดแฉงโฟโตโวลตาอิกออกจากโหลด T2 การทำเช่นนี้เป็นการใช้แรงดันไฟฟ้าเฉพาะไซเคิลบวกเท่านั้นทำหน้าที่เป็นโหลดรับค่ากระแสไฟฟ้าจากแฉงโฟโตโวลตาอิก ทำให้วงจรสามารถวัดค่าแรงดันปรากฏที่ขั้วของแฉงโฟโตโวลตาอิกจากจุด B ไปจนถึงค่าแรงดันยอดที่จุด C ได้โดยง่าย

เมื่อต้องการวัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏที่ขั้วของแฉงโฟโตโวลตาอิก จะวัดด้วยวงจรแบ่งแรงดัน R_a และ R_b ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากขั้วบวกของแฉงโฟโตโวลตาอิกจะไหลผ่าน $D1$ ไปยังโหลด $T2$ และย้อนกลับผ่าน R_s มายังขั้วลบของแฉงโฟโตโวลตาอิก ทำให้สามารถวัดสัญญาณกระแส ด้วยแรงดันตกคร่อม R_s

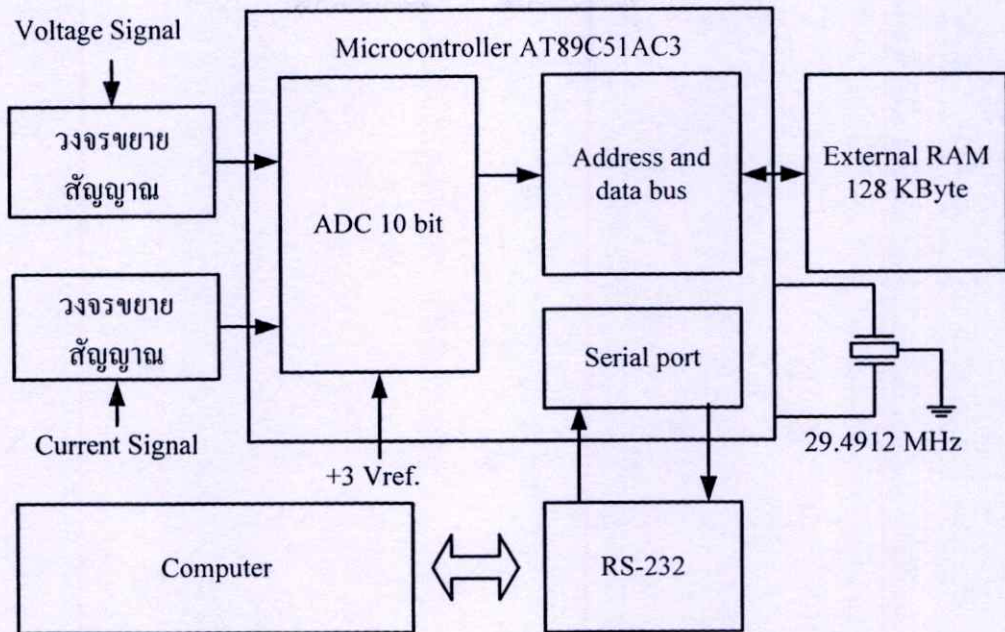


รูปที่ 3.11 (ก) เป็นสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_b (ข) เป็นสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s

จากรูปที่ 3.11(ก) เป็นรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้า V_{R_b} ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_b ซึ่งวัดโดยดิจิตอลออสซิลโลสโคป โดยในช่วงเวลาที่ Q1 นำกระแส ค่าของแรงดันจะกวาดตามรูปคลื่นของช่วงไซเคิลบวก ในขณะที่ Q1 หยุดนำกระแส ค่าของแรงดันของแวงโฟโตโวลตาอิกจะมีค่าเท่ากับแรงดันวงจรเปิด V_{OC} และ ในรูปที่ 3.11 (ข) เป็นสัญญาณแรงดัน V_{R_s} ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s ค่าแรงดัน V_{R_s} นี้เมื่อหารด้วย R_s แล้วจะได้เป็นค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากแวงโฟโตโวลตาอิก ซึ่งสัญญาณทั้งสองนี้จะป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลต่อไป

3.2.2. ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและเก็บข้อมูล

ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล และเก็บข้อมูลแสดงในรูปที่ 3.12 ในส่วนนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51AC3 เป็นตัวควบคุมในการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยจะทำการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต และเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้า 1,000 ค่า และแรงดันไฟฟ้า 1,000 ค่า เมื่อ AT89C51AC3 เก็บข้อมูลครบถ้วนแล้วจึงส่งข้อมูลดิบกระแสและแรงดันไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลข้อมูลต่อไป

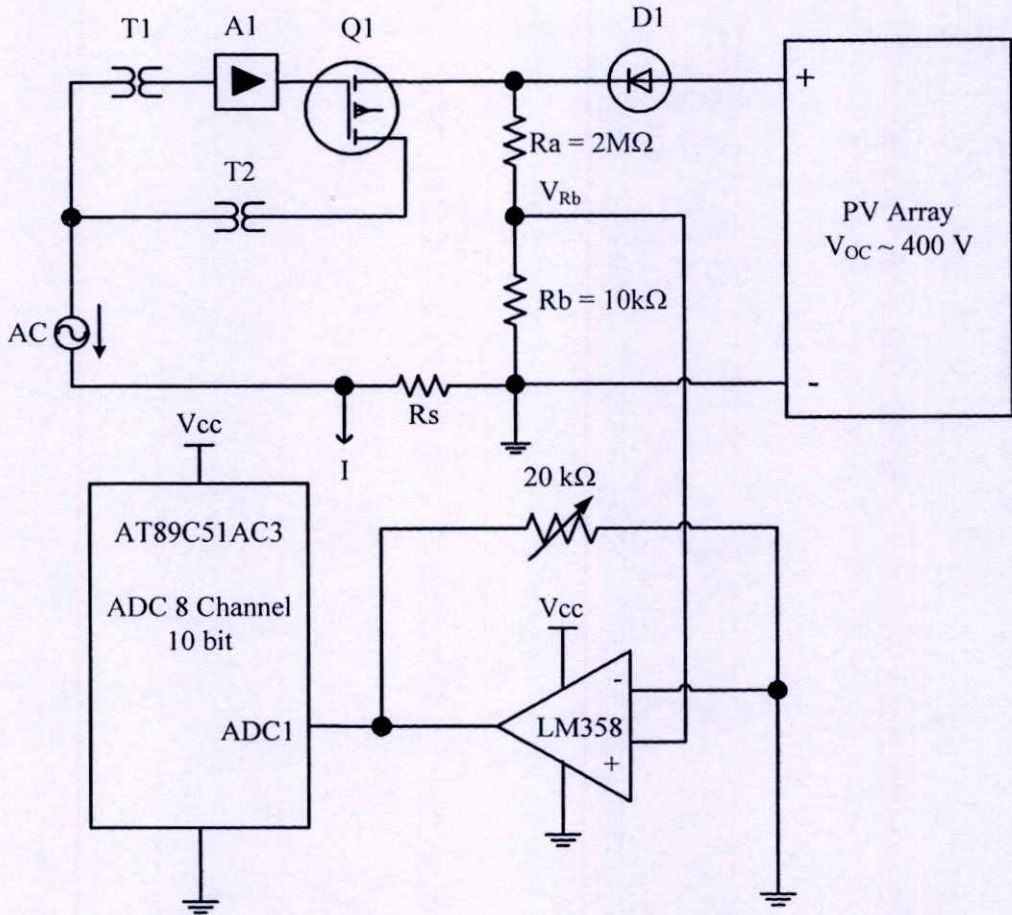


รูปที่ 3.12 แสดงแผนผังของส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและเก็บข้อมูล

3.2.3 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

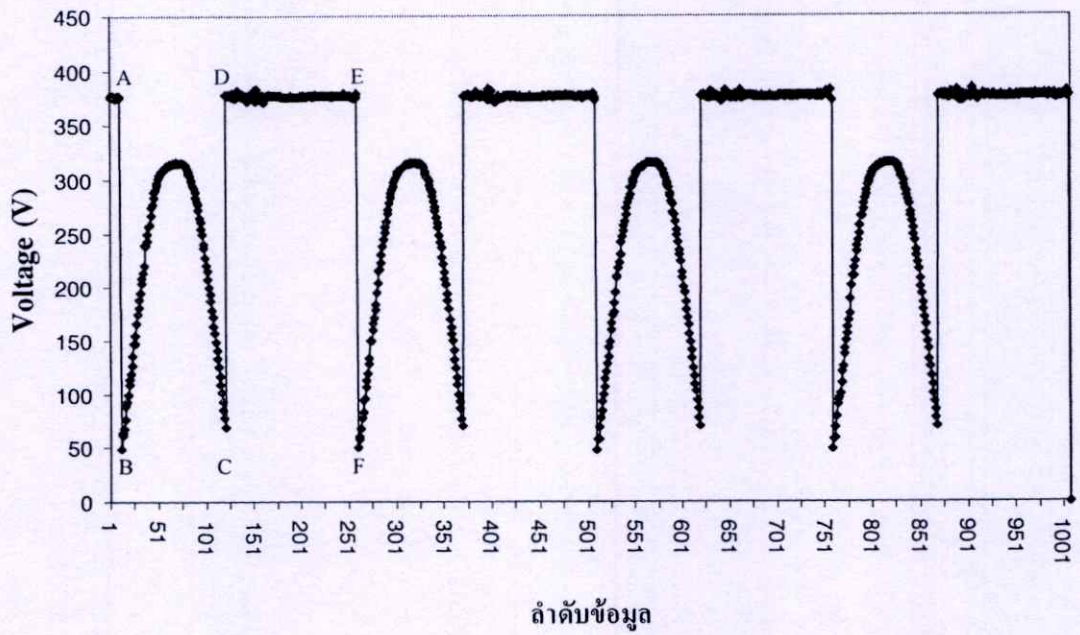
สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงโฟโตโวลตาอิกจะมีค่าสูงได้ถึง 400 V การวัดค่าสัญญาณแรงดันนี้จะต้องทำการลดทอนค่าของสัญญาณลงให้เหลือไม่เกิน 3 V ด้วยวงจรแบ่งแรงดัน R_a - R_b โดย R_a เท่ากับ $2\text{ M}\Omega$ และ R_b เท่ากับ $10\text{ k}\Omega$ ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_b จะเป็นสัญญาณขาเข้าของวงจรขยายชนิดป้อนกลับแบบลบโดยใช้ออปแอมป์ เมื่อกำหนดอัตราขยายที่เหมาะสม เพื่อให้สัญญาณแรงดันมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 3 V แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ซึ่งอยู่ใน AT89C51AC3 ค่าที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลจะถูกเก็บลงในหน่วยความจำภายนอก เพื่อส่งขึ้นไปประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ต่อไป วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.13

ในการวัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้านั้น จะไม่มีทางทราบว่า จะเริ่มต้นเก็บค่าสัญญาณจากจุดใด ดังนั้นเพื่อที่จะได้รูปสัญญาณที่สมบูรณ์ จะต้องเก็บค่าสัญญาณจำนวนมากก่อน แล้วจึงคัดเลือกรูปสัญญาณที่สมบูรณ์อีกครั้งหนึ่ง โดยจากการทดลองพบว่าความเร็วในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลจะได้ค่าประมาณ 250 จุดในหนึ่งรูปสัญญาณ ดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลจำนวน 1,000 จุด เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีสัญญาณที่ถูกด้อยอย่างน้อยสามรูปสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.14

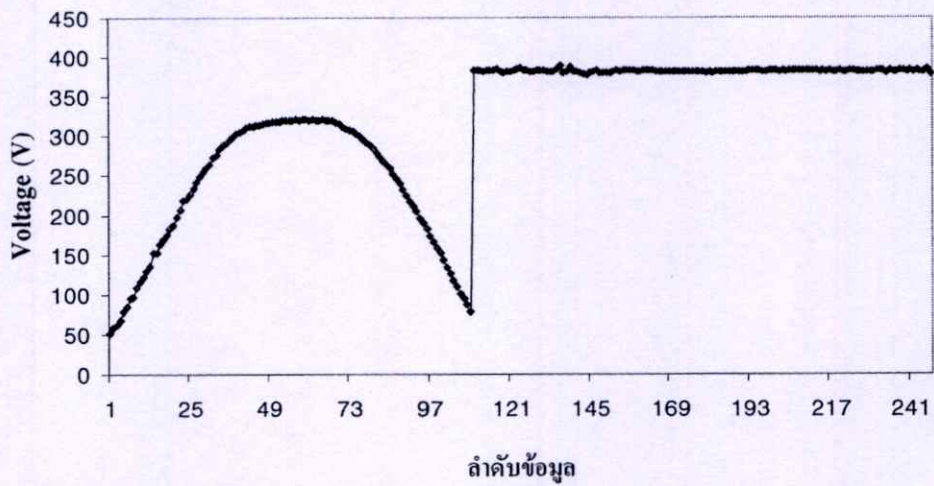


รูปที่ 3.13 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

จากข้อมูล 1,000 จุดที่ได้ จะใช้วิธีการหาค่าความแตกต่างของแต่ละข้อมูล จากรูปที่ 3.14 ค่าที่จุด A เมื่อนำมาลบกับค่าที่จุด B จะเกิดผลต่างที่มีค่ามากที่สุด จึงให้จุด B เป็นจุดเริ่มต้นของข้อมูลที่สนใจ หลังจากนั้นก็จะเปรียบเทียบสัญญาณต่อไปจนถึงจุด C และ D ก็จะทำให้ค่าผลต่างที่มากที่สุดอีกจุดหนึ่ง แต่ค่าที่ได้เป็นค่าลบ เนื่องจากจุด C มีค่าน้อยกว่าจุด D จึงยังไม่ใช่จุดสิ้นสุดของรูปสัญญาณ จึงทำการเปรียบเทียบค่าสัญญาณต่อไปจนถึงจุด E และ F ซึ่งจะทำให้ค่าผลต่างมีค่ามากที่สุด เช่นเดียวกับจุด A และ B ดังนั้นจุด E จึงเป็นจุดสิ้นสุดของสัญญาณที่สนใจ เมื่อนำรูปสัญญาณที่สมบูรณ์มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 3.15 การหาค่าความแตกต่างของข้อมูลนี้จะทำเพื่อให้ได้รูปคลื่นของสัญญาณทั้งหมด 3 รูปคลื่น และแต่ละรูปคลื่นจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันดังแสดงในรูปที่ 3.15

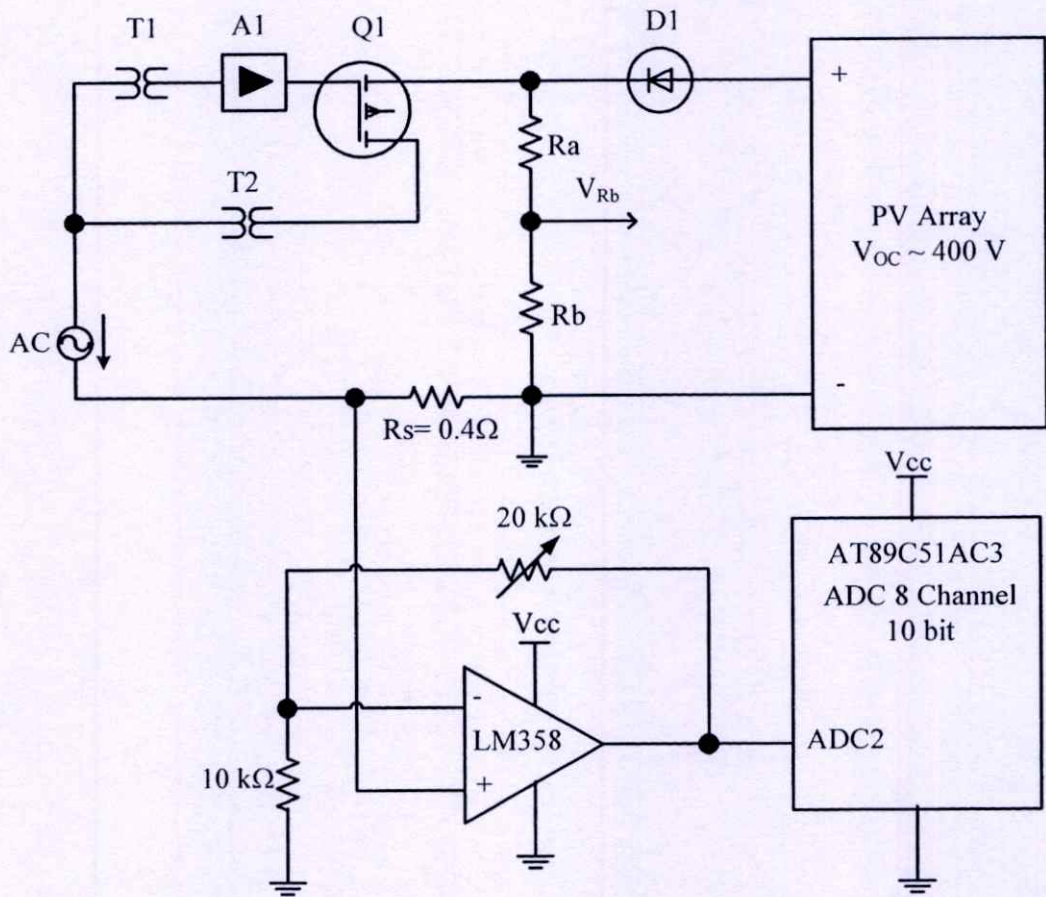


รูปที่ 3.14 ข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าจำนวน 1,000 จุดข้อมูล



รูปที่ 3.15 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่ทำการคัดเลือกแล้ว

3.2.4 การวัดค่ากระแสไฟฟ้า

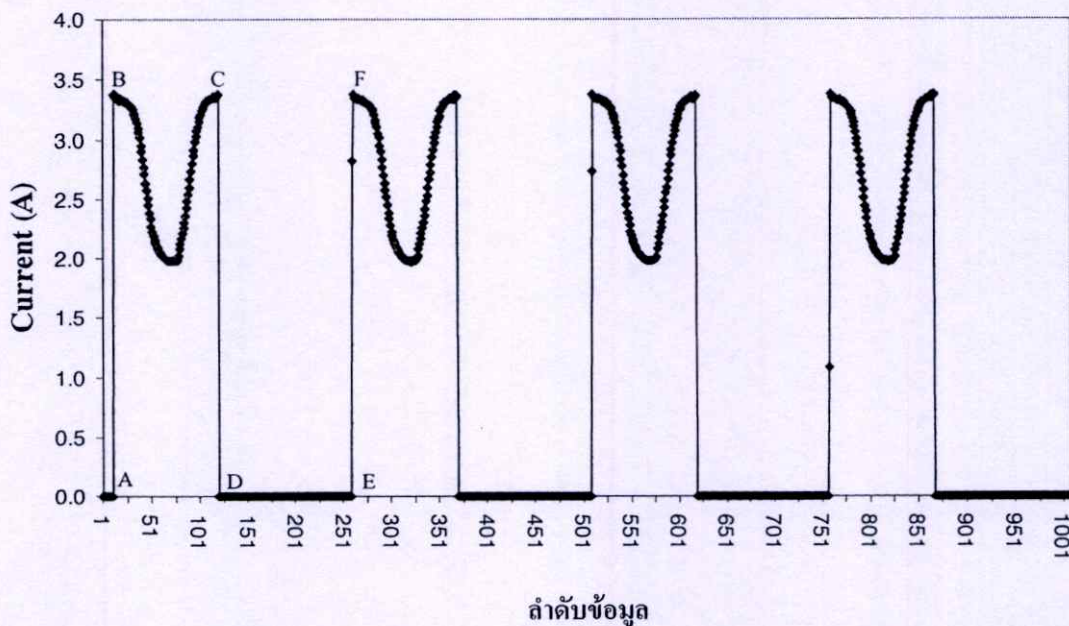


รูปที่ 3.16 วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า

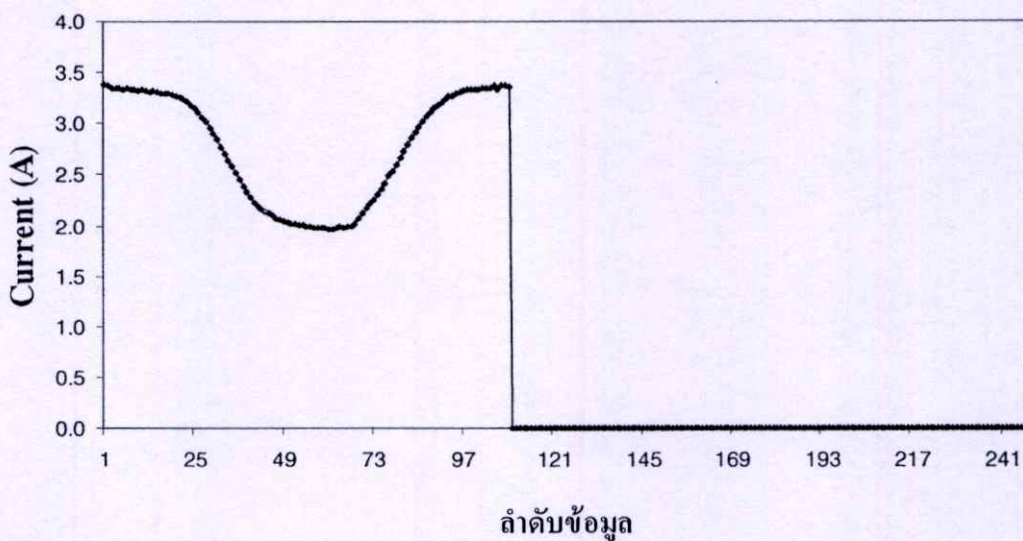
จากรูปที่ 3.16 สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงโฟโตโวลตาอิก จะวัดโดยการวัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบนตัวต้านทาน R_s ขนาด 0.4Ω ค่าความต่างศักย์นี้จะนำเข้าไปในวงจรขยายชนิดป้อนกลับแบบลบ เมื่อกำหนดอัตราขยายที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณแรงดันอยู่ในช่วง 0 ถึง 3 V สัญญาณขาออกจากรวมวงจรขยายป้อนกลับแบบลบจะถูกนำไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดขนาด 10 บิต ที่อยู่ใน AT89C51AC3 ค่าที่วัดได้จะถูกเก็บลงในหน่วยความจำภายนอก เพื่อส่งขึ้นไปประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ต่อไป

เช่นเดียวกันกับการวัดสัญญาณแรงดัน การวัดสัญญาณกระแสเช่นนี้จะไม่มีการทราบว่าจะเริ่มต้นเก็บค่าสัญญาณที่จุดใด ดังนั้นเพื่อที่จะได้รูปสัญญาณที่สมบูรณ์ จะต้องทำการเก็บค่าสัญญาณจำนวนมากก่อนแล้วจึงคัดเลือกรูปสัญญาณที่สมบูรณ์ จากรูปที่ 3.17 เป็นข้อมูลกระแสไฟฟ้า 1,000 จุด โดยวิธีการหาค่าความแตกต่างของแต่ละข้อมูล ค่าที่จุด A เมื่อนำมาลบกับค่าที่จุด B จะเกิดค่าผลต่างที่เป็นลบที่มากที่สุด จึงให้จุด B เป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณที่สนใจ และเมื่อเปรียบเทียบ

สัญญาณต่อไปจนถึงจุด E และ F ซึ่งจะให้ค่าผลต่างที่เป็นลบที่มีค่ามากที่สุดเช่นเดียวกับจุด A และ B ดังนั้นจึงให้จุด E เป็นจุดสิ้นสุดของสัญญาณที่สนใจ การหาค่าความแตกต่างของข้อมูลนี้จะทำให้ได้รูปคลื่นของสัญญาณทั้งหมด 3 รูปคลื่น โดยมีลักษณะที่คล้ายในรูปที่ 3.18



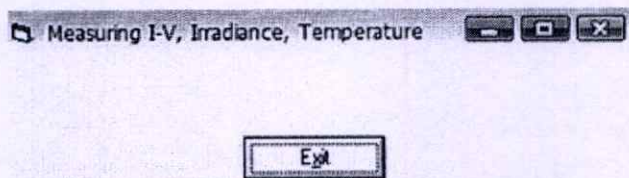
รูปที่ 3.17 ข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าจำนวน 1,000 จุดข้อมูล



รูปที่ 3.18 ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ทำการคัดเลือกแล้ว

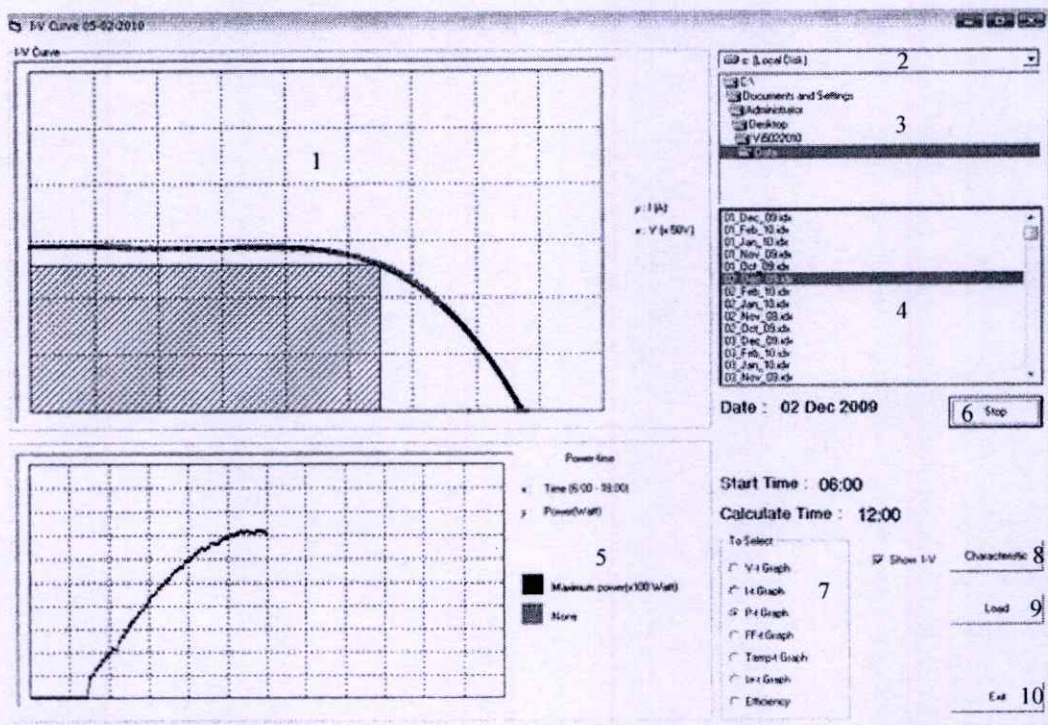
3.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุม ประมวลผล และแสดงผลข้อมูล

ซอฟต์แวร์จะแบ่งเป็นสองส่วนคือ (1) ส่วนควบคุม (2) ส่วนประมวลผลและแสดงผลข้อมูล



รูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอของซอฟต์แวร์ควบคุม

จากรูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอของซอฟต์แวร์ควบคุม ซึ่งจะควบคุมการวัดของโมดูลวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิกับโมดูลการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติทุกๆ 5 นาที ในช่วงเวลาดังแต่ 6:00 น ถึง เวลา 18:00 น. และจะบันทึกข้อมูลดิบเหล่านี้ไว้ในลักษณะของเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) โดยไม่มีการประมวลผลข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น



รูปที่ 3.20 แสดงภาพหน้าจอของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลข้อมูล

จากรูปที่ 3.20 แสดงภาพหน้าจอของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลข้อมูล ซึ่งในการประมวลผลข้อมูล จะทำการเปิดเพิ่มข้อมูลคิบบทีกซ์ไฟล์กระแสและแรงดัน ไฟฟ้าที่ได้จากการวัดที่เวลาใดๆ เพื่อทำการประมวลผลหาค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกและแสดงผลในรูปของกราฟระหว่างค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดัน ไฟฟ้าที่สำคัญของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก นอกจากนี้ค่าที่คำนวณได้จะถูกบันทึกลงในเพิ่มข้อมูลเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) สรุปรายการวัดตลอดทั้งวัน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกต่อไป ตำแหน่งต่างๆ บนหน้าจอ มีรายละเอียดต่อไปนี้

ตำแหน่งที่ 1 เป็นกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากสมการตัวแทน เปรียบเทียบกับข้อมูลคิบบทีกซ์ โดยแกน y เป็นค่ากระแส 1 ช่องเท่ากับ 1 A และ แกน x เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า 1 ช่องเท่ากับ 50 V

ตำแหน่งที่ 2 และ 3 เป็นช่องสำหรับเลือกไดร์ฟและไดเร็กทอรีที่เก็บข้อมูล

ตำแหน่งที่ 4 เป็นช่องสำหรับเลือกวันที่ทำการวัดเพื่อคำนวณค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า

ตำแหน่งที่ 5 เป็นกราฟแสดงค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญต่อเวลา ซึ่งในตำแหน่งนี้สามารถเลือกดูค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญต่อเวลาได้จากตำแหน่งที่ 7

ตำแหน่งที่ 6 เป็นปุ่มกดสำหรับเริ่มการคำนวณค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติ

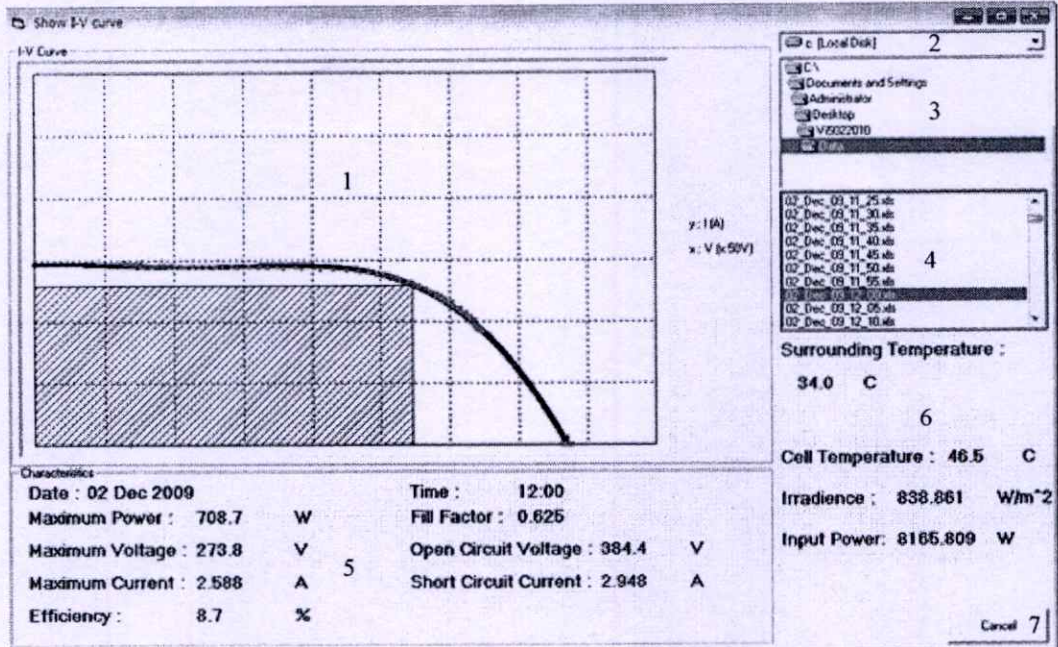
ตำแหน่งที่ 7 เป็นปุ่มกดเลือกค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญต่อเวลา อันได้แก่ กราฟแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูงสุด พิลแฟกเตอร์ อุณหภูมิ ค่าความเข้มแสง และค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อเวลา

ตำแหน่งที่ 8 เป็นปุ่มกดเพื่อเปิดหน้าต่างใหม่ของกราฟต่อเวลาในตำแหน่งที่ 5

ตำแหน่งที่ 9 เป็นปุ่มกดเพื่อเปิดหน้าต่างใหม่สำหรับคำนวณ กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆ ซึ่งจะเห็นหน้าจอใหม่แสดงดังรูปที่ 3.21 ในหน้าต่างนี้ ที่ตำแหน่งที่ 1 เป็นกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า ตำแหน่งที่ 2 และ 3 เป็นช่องสำหรับเลือกไดร์ฟและไดเร็กทอรีที่เก็บข้อมูล ตำแหน่งที่ 4 เป็นช่องสำหรับเลือกไฟล์ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า ตำแหน่งที่ 5 เป็นส่วนที่บอกถึงลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาที่เวลาที่เลือกดู ตำแหน่งที่ 6 บอกถึงค่าความเข้มแสง และอุณหภูมิ ตำแหน่งที่ 7 คือตำแหน่งปิดหน้าต่าง

ตำแหน่งที่ 10 เป็นปุ่มกดออกจากโปรแกรม

การทำเช่นนี้ เป็นการเก็บผลของการวัดก่อนแล้วจึงประมวลผลภายหลัง ในเวลาที่ทำกรวัดต้องการดูผลของการวัด มีผลดีคือ ลดเงื่อนไขภายในตัวซอฟต์แวร์ส่วนควบคุมลง ทำให้โอกาสการทำงานที่ผิดพลาดของซอฟต์แวร์ส่วนควบคุม มีน้อยลง



รูปที่ 3.21 แสดงหน้าต่างการคำนวณกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆ

3.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เป็นเครื่องมือในการวัดแนวโน้มที่เหมาะสมแบบหนึ่ง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยสมการตัวแทนจะน่าเชื่อถือมากที่สุดเมื่อค่าสัมประสิทธิ์มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับหนึ่ง คำนวณได้จากสมการ

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (3.1)$$

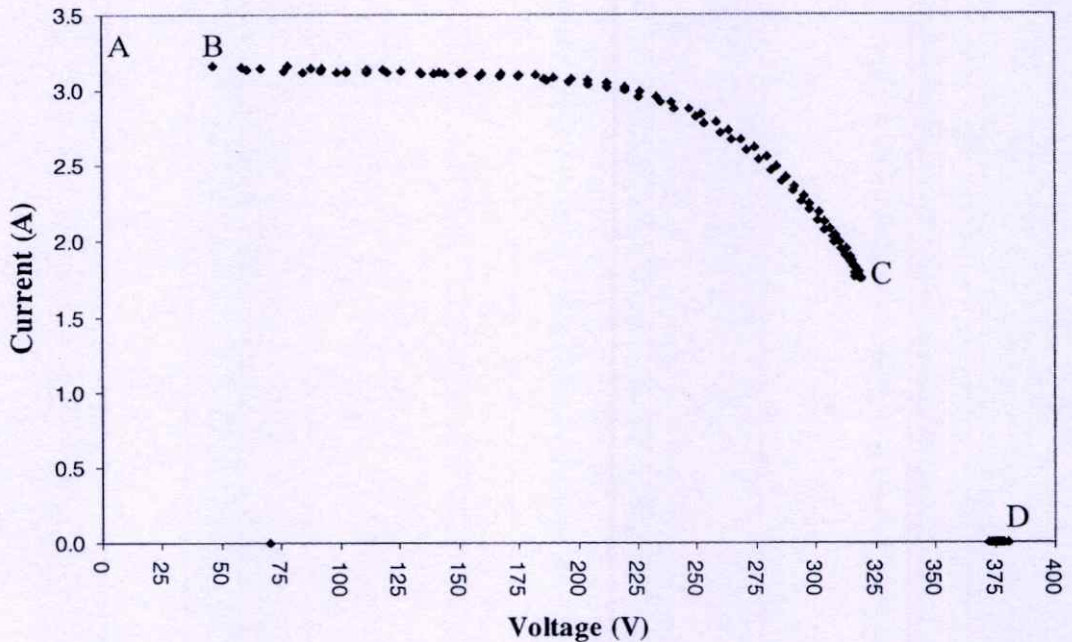
$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.2)$$

$$SST = \left(\sum y_i^2 \right) - \frac{\left(\sum y_i \right)^2}{n} \quad (3.3)$$

SSE คือผลรวมกำลังสองของความแปรผันของความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลดิบกระแสไฟฟ้า y ที่วัดมาได้ลำดับที่ i กับค่ากระแสที่ได้จากสมการตัวแทน \hat{y} ส่วน SST คือ ผลรวมกำลังสองของความแปรผันของ y อันเนื่องมาจากค่าแรงดัน x และ n คือจำนวนข้อมูลดิบ y ทั้งหมด

ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.97 หมายความว่า ค่าข้อมูลดิบ y มีความใกล้เคียงกับ \hat{y} ประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ และมีความคลาดเคลื่อน 3 เปอร์เซ็นต์

3.3.2 การหาสมการตัวแทนของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.22 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกที่ได้จากข้อมูลดิบ

ค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของชุดเซลล์แสงอาทิตย์หาได้จากกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยการนำข้อมูลดิบของสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้ามาเขียนกราฟ โดยให้แกนตั้งเป็นค่ากระแสไฟฟ้า และแกนนอนเป็นแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.22

กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะเป็นกราฟที่ไม่สมบูรณ์ โดยกราฟในช่วง A ถึง B ที่หายไปเกิดจากการตัดต่อแผงโฟโตโวลตาอิกออกจากโหลด เพื่อป้องกันการตัดต่อผิดพลาดในขณะที่ไฟฟ้ากระแสสลับกำลังเปลี่ยนเฟส ส่วนกราฟในช่วงจุด C และ D ที่หายไปเกิดจากความแตกต่างระหว่างแรงดันค่ายอดของไฟฟ้ากระแสสลับกับค่าแรงดันวงจรเปิด โดยจุด C จะเป็นค่าแรงดันค่ายอดของไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าประมาณ 310 V และจุด D เป็นค่าแรงดันวงจรเปิด

จากความไม่สมบูรณ์ของกราฟจะใช้การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาสมการตัวแทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าด้วยการประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด โดยสมการตัวแทนจะมีตัวแบบเป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังห้า ดังสมการที่ (3.4)

$$\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 \quad (3.4)$$

โดยที่ \hat{y} คือค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จากสมการตัวแทน และ a_0 ถึง a_5 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการตัวแทน

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการตัวแทนกระแสและแรงดันไฟฟ้า a_0 ถึง a_5 จะใช้สมการปกติตามสมการที่ (3.5) มาแก้สมการด้วยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยวิธีการ “การแยกเป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยม (Decomposition of matrix)”

$$\begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 \\ \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 \\ \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 \\ \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \\ \sum x^5y \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

เมื่อ ค่า n คือจำนวนข้อมูลดิบทั้งหมดที่ได้จากการวัด ค่า x คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัด ค่า y คือค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัด

สมมติให้

$$X = \begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 \\ \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 \\ \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 \\ \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$Y = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \\ \sum x^5y \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

และสมมติให้ $L = [l_{ij}]$ เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมล่าง มีสมาชิกจำเพาะในแนวทแยงมุมหลัก และได้แนวทแยงมุมหลัก ขนาด 6×6 และ $U = [u_{ij}]$ เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมบน มีสมาชิกจำเพาะในแนวทแยงมุมหลักและเหนือแนวทแยงมุมหลัก ขนาด 6×6 ให้ $X = L U$ และ $U A = B$ แล้ว $X A = (L U) A = L (U A) = L B = Y$ นั่นคือ ในการหาผลเฉลยของเมตริกซ์ X จะเริ่มด้วยการแยกเมตริกซ์ X เป็น เมตริกซ์ L และ U แล้วจึงหา B จาก $L B = Y$ จากนั้นจึงหา A จาก $U A = B$ ซึ่งก็จะได้สัมประสิทธิ์ a_0 ถึง a_5 ออกมา จากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการสำเร็จรูปสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 ถึง a_5 ดังนี้

$$a_i = \frac{1}{u_{ii}} \left[b_i - \sum_{j=i+1}^5 u_{ij} a_j \right] \quad i = 0, 1, 2, \dots, 5 \quad (3.9)$$

โดยที่

$$b_i = y_i - \sum_{j=0}^{i-1} l_{ij} b_j \quad i = 0, 1, 2, \dots, 5 \quad (3.10)$$

และสำหรับ $i = 0, 1, 2, \dots, 5$ จะหาค่าสมาชิก u_{ij} และ l_{ji} ตั้งแต่ $j = 0, 1, 2, \dots, 5$

$$\begin{aligned} u_{ij} &= x_{ij} - \sum_{k=0}^{i-1} u_{kj} l_{ik} \\ l_{ji} &= \frac{1}{u_{ii}} \left(x_{ji} - \sum_{k=0}^{i-1} u_{kj} l_{ik} \right) \end{aligned} \quad (3.11)$$

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ a_0 ถึง a_5 และแทนค่าแรงดัน x เท่ากับ 0 จนถึง 450 V ลงในสมการตัวแทน จะได้กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากสมการตัวแทนออกมา สมการตัวแทนที่ได้จะถูกนำไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เพื่อดูความน่าเชื่อถือของสมการตัวแทน โดยถ้า $R^2 < 0.97$ แล้ว จะถือว่าสมการตัวแทนไม่น่าเชื่อถือ ก็จะหาค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญมีค่าเท่ากับ 0 และ

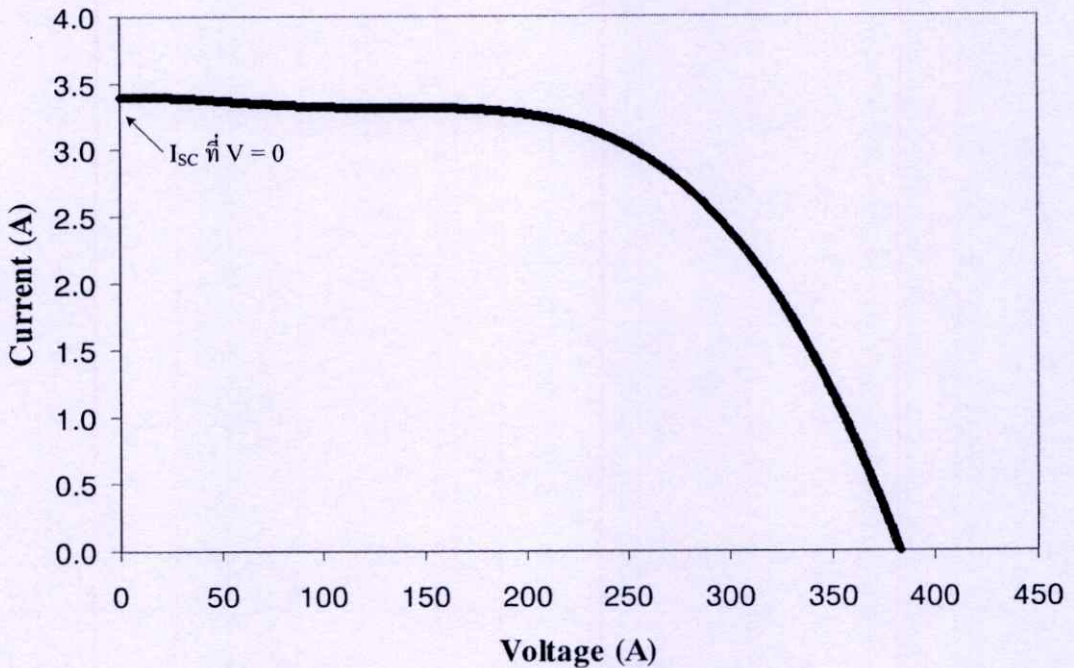
เก็บไว้ในหน่วยความจำ ถ้า $0.97 \leq R^2 < 1$ จะถือว่าสมการตัวแทนที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงกับค่าของข้อมูลดิบ สามารถใช้สมการตัวแทนนี้คำนวณหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้ และค่าที่คำนวณจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ เพื่อรอการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) โดยชื่อของเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) จะมีชื่อเป็นวันที่ทำการวัดค่า

3.3.3 การหาค่ากระแสลัดวงจร

จากสมการตัวแทนที่ได้มาแล้วจากข้างต้น ค่ากระแสลัดวงจรจะหาได้จากจุดตัดบนแกน y ของเส้นกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า หรือการแทนค่าแรงดัน v เท่ากับศูนย์ลงในสมการ

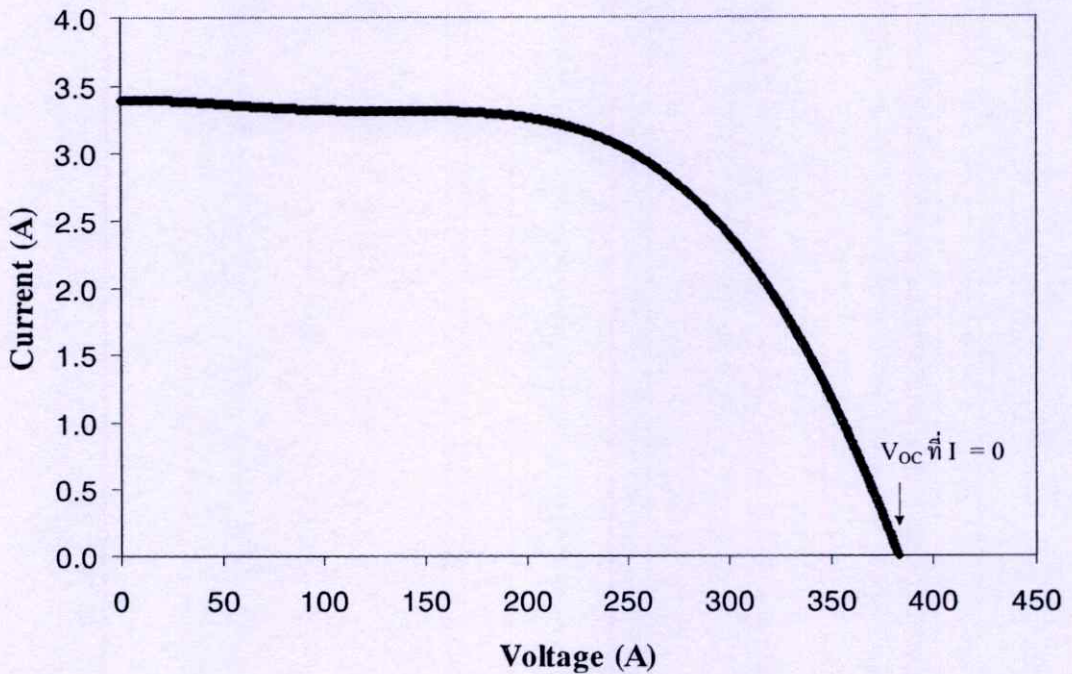
$$\hat{I} = a_0 + a_1v + a_2v^2 + a_3v^3 + a_4v^4 + a_5v^5 \quad (3.12)$$

ทำให้ได้ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ a_0 จากสมการตัวแทนนั่นเอง



รูปที่ 3.23 กราฟแสดงค่ากระแสลัดวงจรที่จุดตัดแกน y

3.3.4 การหาค่าแรงดันวงจรมืด



รูปที่ 3.24 กราฟแสดงค่าแรงดันวงจรมืดที่จุดตัดแกน x

จากรูปที่ 3.24 ค่าแรงดันวงจรมืดหาได้จากจุดตัดแกน x ของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะคำนวณด้วยการแทนค่าแรงดันลงในสมการตัวแทนแล้วดูว่าค่าแรงดันค่าใดที่ทำให้ค่ากระแสเป็นศูนย์ เรียกวิธีการนี้ว่า Incremental Search Method มีสมการในการประมาณค่าคือ

$$x = x_i - \frac{h \cdot f(x_i)}{f(x_i) - f(x_i - h)} \quad (3.13)$$

โดยที่ x_i คือค่าแรงดันที่แทนลงในสมการตัวแทนแล้วทำให้ค่ากระแสเริ่มติดลบเป็นค่าแรก $f(x_i)$ คือค่ากระแสที่ติดลบค่าแรก h คือผลต่างของค่าแรงดันที่แทนลงในสมการแต่ละขั้น และ $f(x_i - h)$ คือค่ากระแสที่เป็นบวกค่าสุดท้าย

ในการคำนวณหาค่าแรงดันวงจรมืด จะเริ่มต้นด้วยการแทนค่าแรงดันลงในสมการตัวแทนตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ค่ากระแสเริ่มมีค่าติดลบ ความละเอียดของค่าแรงดันวงจรมืดที่คำนวณได้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดในการเพิ่มขึ้นของค่าแรงดันที่แทนลงในสมการในแต่ละขั้นหรือก็คือค่า h นั้นเอง

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการหาค่าแรงดันวงจรเปิด

แรงดัน	กระแส	
0.00	3.392	
...	...	
...	...	
382.50	0.01951	
382.75	0.00934	→ $f(x_i-h)$
383.00	-0.00084	→ $f(x_i)$

$h = 0.25$ {
 x_i ←

เมื่อแทนค่าลงในสมการ(3.15) ได้

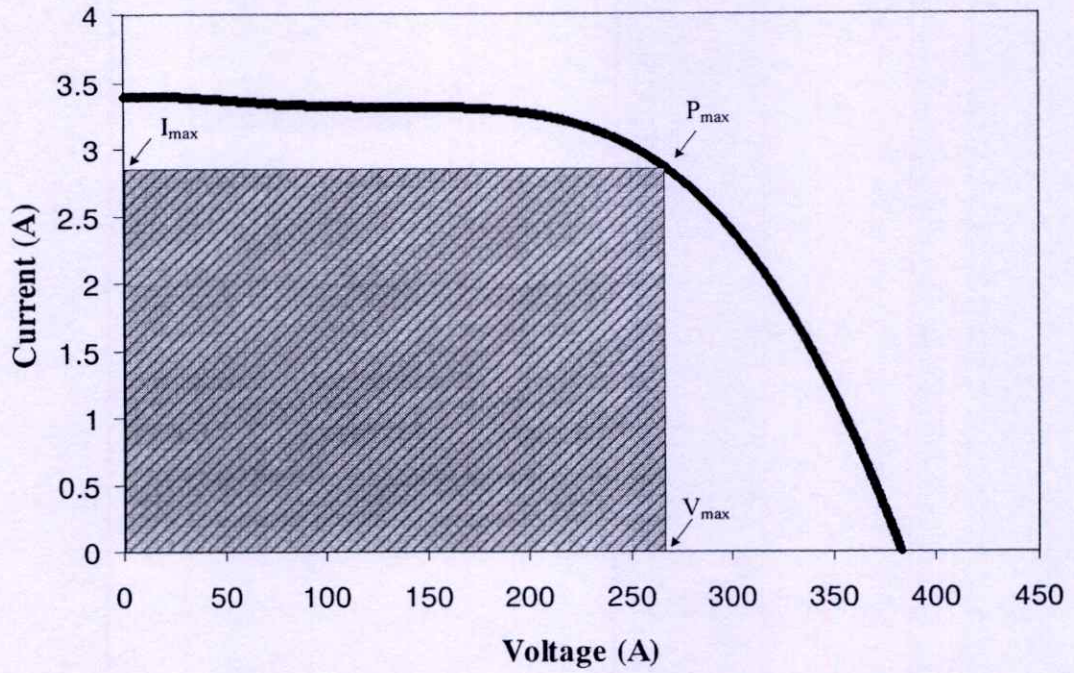
$$x = 383 - \frac{(0.25) \cdot (-0.00084)}{(-0.00084) - (0.00934)} = 382.98$$

ดังนั้นจากตัวอย่างจะได้ค่าแรงดันวงจรเปิดมีค่าเท่ากับ 382.98 V

3.3.5 การหาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด

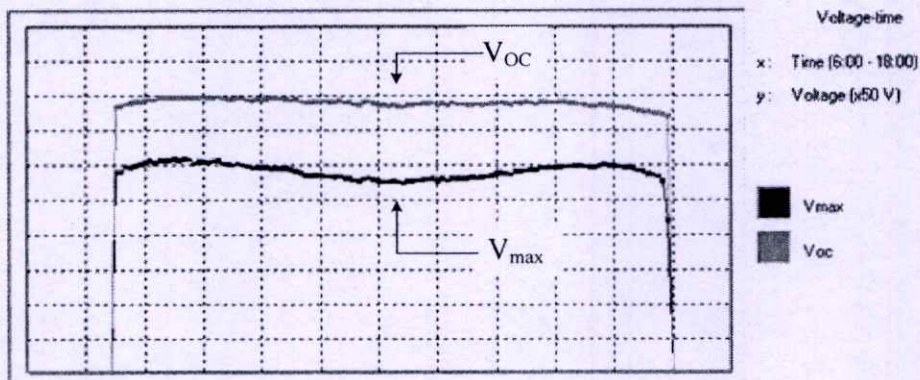
การหาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นจะทำไปพร้อมๆ กัน ด้วยการแทนค่าแรงดันไฟฟ้าลงในสมการตัวแทนจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าแรงดันวงจรเปิด แล้วนำค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้มาคูณกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กวาดไปตามแกน x หากจุดบนเส้นกราฟที่ค่าของผลคูณมีค่าสูงที่สุด ก็จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่จุดตัดแกน y และค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่จุดตัดแกน x ส่วนค่าผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าก็คือค่ากำลังออกไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.25 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด จะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับความละเอียดของการกวาดของค่าแรงดันในแต่ละขั้น โดยในที่นี้จะใช้ค่าความละเอียดที่ละ 0.25 V ต่อการกวาดในแต่ละขั้น

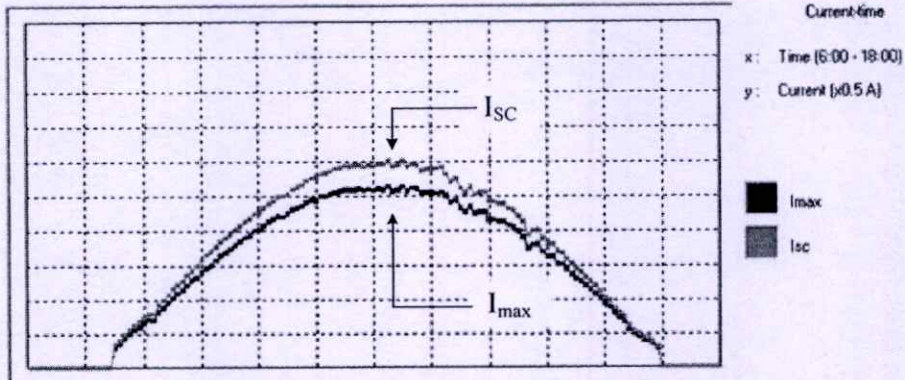


รูปที่ 3.25 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังออกไฟฟ้าสูงสุด

สำหรับกราฟแรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) เปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) ต่อเวลา สามารถเลือกดูได้จากการกดปุ่ม “V-t Graph” ในตำแหน่งที่ 7 ของหน้าจอ แกน y เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า 1 ช่องเท่ากับ 50 V เริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 500 V แกน x เป็นเวลา 1 ช่องเท่ากับ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.26

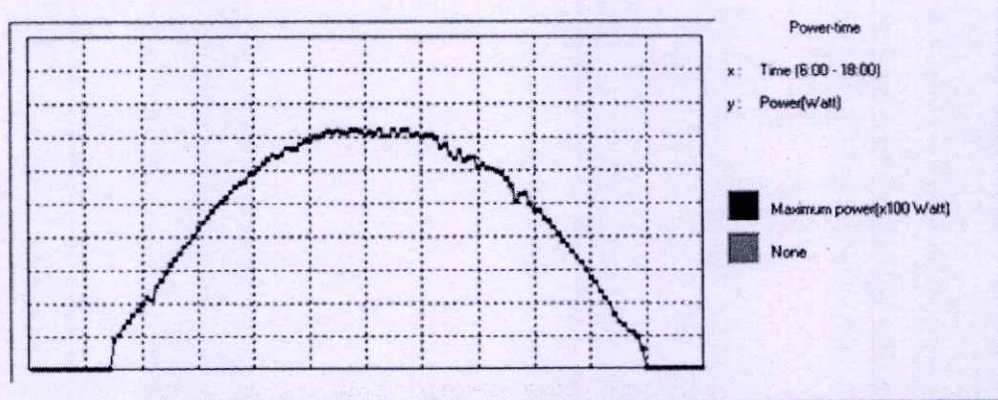


รูปที่ 3.26 แสดงกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเวลา



รูปที่ 3.27 แสดงกราฟค่ากระแสไฟฟ้าต่อเวลา

ในรูปที่ 3.27 แสดงการเปรียบเทียบ เส้นกราฟกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ต่อเวลา กับเส้นกราฟกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) ต่อเวลา สามารถเลือกดูได้จากการกดปุ่ม “I-t Graph” ในตำแหน่งที่ 7 ของหน้าจอ แกน y เป็นค่ากระแสไฟฟ้า 1 ช่องเท่ากับ 0.5 A เริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 5 A แกน x เป็นเวลา 1 ช่องเท่ากับ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น.



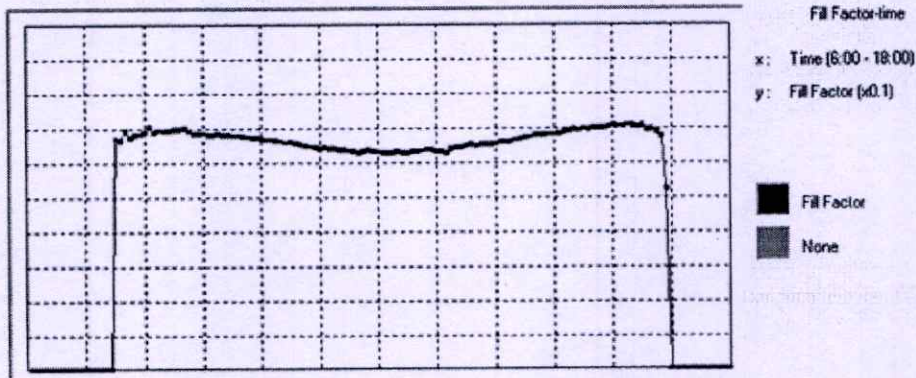
รูปที่ 3.28 แสดงกราฟค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดต่อเวลา

สำหรับกราฟค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด (P_{max}) ต่อเวลา สามารถเลือกดูได้จากการกดปุ่ม “P-t Graph” ในตำแหน่งที่ 7 ของหน้าจอ แกน y เป็นค่าของกำลังไฟฟ้า 1 ช่องเท่ากับ 100 W เริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 W แกน x เป็นเวลา 1 ช่องเท่ากับ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. แสดงดังในรูปที่ 3.28

3.3.6 การหาค่าฟิลแฟคเตอร์

เมื่อกำหนดค่ากระแสลัดวงจร ค่าแรงดันวงจรเปิด ค่ากระแสลัดวงจร และค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดแล้ว ก็สามารถคำนวณค่าฟิลแฟคเตอร์ได้จากสมการ

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{SC} \times V_{OC}} \quad (3.14)$$

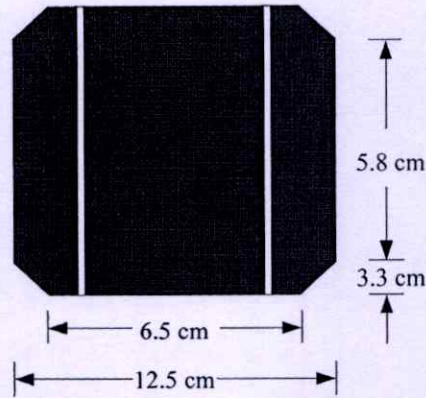


รูปที่ 3.29 แสดงกราฟฟิลแฟคเตอร์ต่อเวลา

รูปที่ 3.29 แสดงกราฟฟิลแฟคเตอร์ต่อเวลา สามารถเลือกดูได้จากการกดปุ่ม “FF-t Graph” ในตำแหน่งที่ 7 ของหน้าจอ แกน y เป็นค่าฟิลแฟคเตอร์ 1 ช่องเท่ากับ 0.1 เริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 1 แกน x เป็นเวลา 1 ช่องเท่ากับ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น.

3.3.7 การหาค่าพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์

การหาค่าพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีหน่วยเป็น W ทำโดยการนำค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นโลกซึ่งมีหน่วย W/m^2 คูณกับพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่รับแสง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการวัดค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดก่อน จากรูปที่ 3.30 แสดงขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ มีพื้นที่ 135.2 cm^2 เนื่องจากโฟโตโวลตาอิกหนึ่งแผงมีจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 36 เซลล์ ดังนั้นโฟโตโวลตาอิกหนึ่งแผงจึงมีพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์เป็น 0.48672 m^2 นั่นคือ แผงโฟโตโวลตาอิกจำนวน 20 แผงจะมีพื้นที่เท่ากับ 9.7344 m^2 สรุปได้ว่าค่าพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดมีค่าเท่ากับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) คูณกับพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ 9.7344 m^2

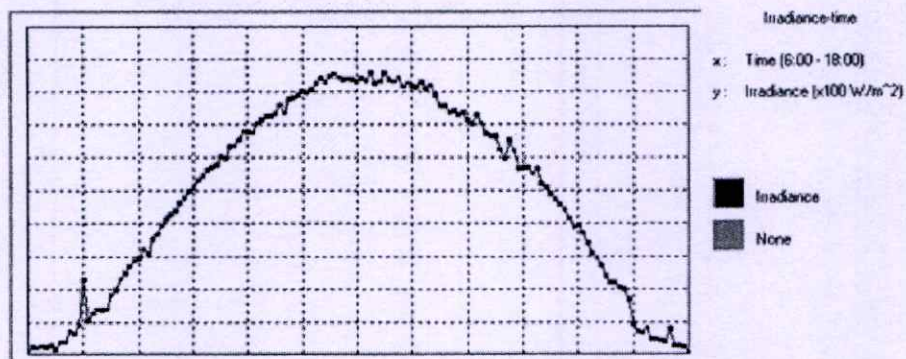


รูปที่ 3.30 แสดงขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์

3.3.8 การหาค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

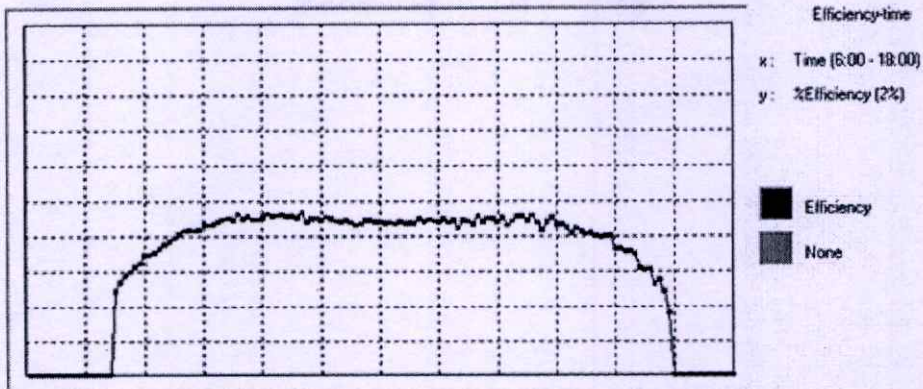
การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกทุกๆ 5 นาที ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าของพลังงานแสงแดดที่สตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกได้รับในทุกๆ 5 นาที กับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้ทุกๆ 5 นาที ตามสมการ

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\max} (\text{W})}{\text{Irradiance} (\text{W} / \text{m}^2) \times 9.7344 (\text{m}^2)} \times 100 \quad (3.15)$$



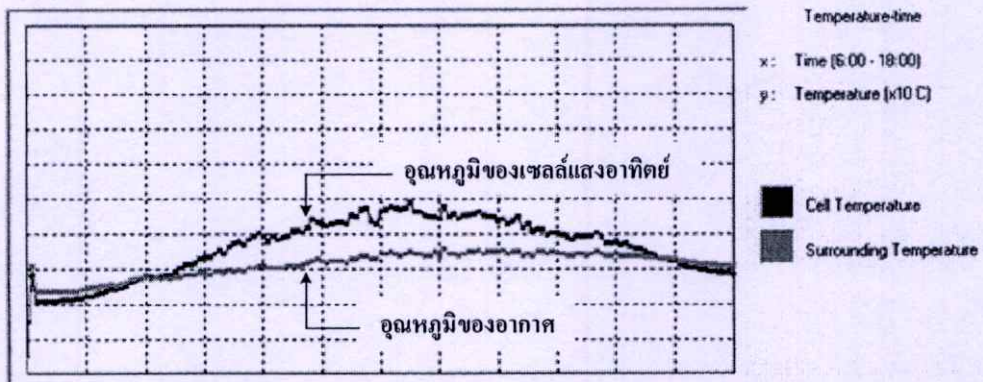
รูปที่ 3.31 แสดงกราฟค่าความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา

ในรูปที่ 3.31 แสดงกราฟความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา เลือกดูได้จาก การกดปุ่ม “Irr-t Graph” ในตำแหน่งที่ 7 ของหน้าจอ แกน y เป็นค่าความเข้มแสง 1 ช่องเท่ากับ 100 W/m^2 เริ่มตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1000 W/m^2 แกน x จะเป็นเวลา 1 ช่องเท่ากับ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น.



รูปที่ 3.32 แสดงกราฟค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา

ในรูปที่ 3.32 แสดงค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา เลือกดูได้จากการกดปุ่ม “Efficiency” ในตำแหน่งที่ 7 ของหน้าจอ แกน y เป็นค่าประสิทธิภาพ 1 ช่องเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 0 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ แกน x จะเป็นเวลา 1 ช่องเท่ากับ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่วันที่ 6:00 น. ถึง 18:00 น.



รูปที่ 3.33 แสดงกราฟอุณหภูมิต่อเวลา

ในรูปที่ 3.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นกราฟอุณหภูมิของอากาศต่อเวลา กับเส้นกราฟอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ เลือกดูได้จากการกดปุ่ม “T-t Graph” ในตำแหน่งที่ 7 ของหน้าจอ แกน y เป็นค่าอุณหภูมิ 1 ช่องเท่ากับ 10 °C เริ่มตั้งแต่วันที่ 0 ถึง 100 °C แกน x จะเป็นเวลา 1 ช่องเท่ากับ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่วันที่ 6:00 น. ถึง 18:00 น.

บทที่ 4

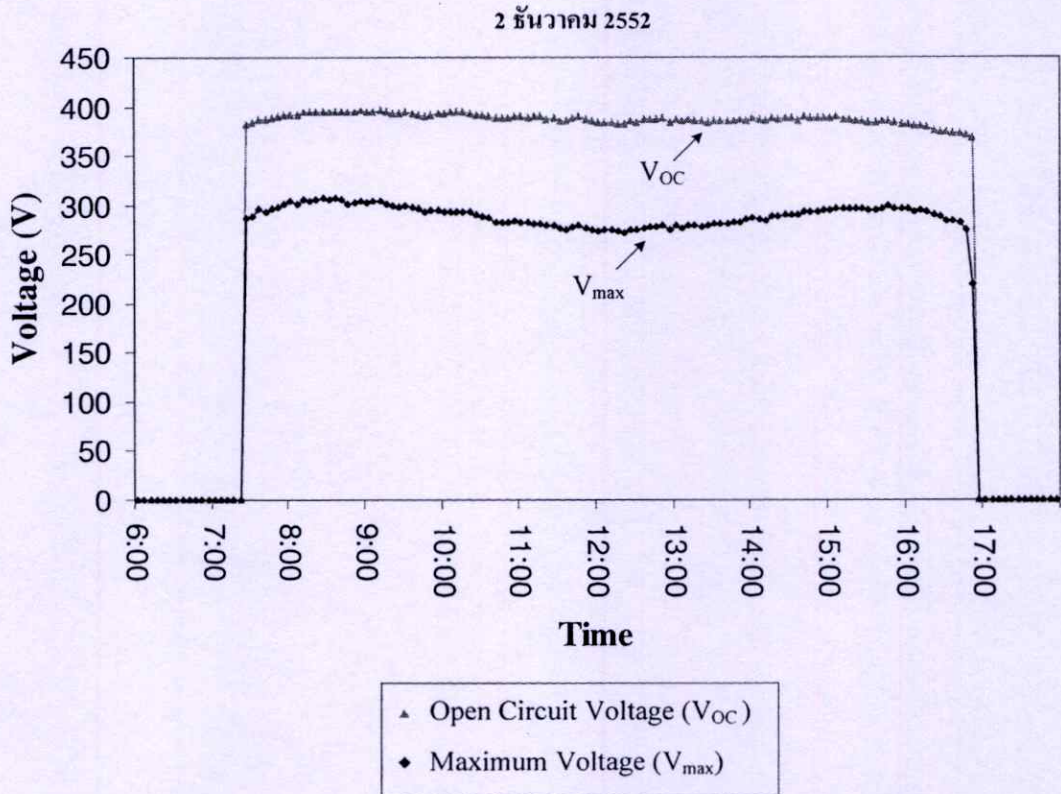
การทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในการทดลองจะทำโดยการนำเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นไปวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว จำนวน 20 แผง และชนิดซิลิคอนอะมอร์ฟัสจำนวน 28 แผง ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. เพื่อนำมาประมวลผลและบันทึกค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ข้อมูลดิบกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะถูกเก็บเป็นเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) โดยมีชื่อเป็นวันที่และเวลาที่ทำการวัด เช่น ข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ถูกรวบรวมที่เวลา 10:20 น. ของวันที่ 2 ธันวาคม 2552 จะถูกเก็บไว้ในไฟล์ชื่อ "02_Dec_09_10_20.xls" เป็นต้น สำหรับข้อมูลความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ จะถูกเก็บเป็นเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) และมีชื่อเป็นวันที่และเวลาที่ทำการวัด ตามด้วยคำว่า "Temp" ต่อท้าย เช่น ข้อมูลความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิที่ถูกรวบรวมที่เวลา 10:20 น. ของวันที่ 2 ธันวาคม 2552 จะถูกเก็บไว้ในไฟล์ชื่อ "02_Dec_09_10_20Temp.xls" เป็นต้น

ในการประมวลผลนั้นจะกระทำโดยผู้ที่ทำการวัด หลังจากเวลา 18:00 น. ของแต่ละวันที่ทำการวัดค่า ขั้นตอนการประมวลผลจะเริ่มจากการเปิดเท็กซ์ไฟล์ของข้อมูลดิบกระแสและแรงดันไฟฟ้า และเท็กซ์ไฟล์ข้อมูลดิบค่าความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ ต่อจากนั้นข้อมูลดิบกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะถูกประมวลผลเพื่อหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ตามวิธีที่ได้แสดงไปแล้วในหัวข้อที่ 3.3 เรื่องซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมประมวลผล และแสดงผลข้อมูล

ผลสรุปของการวัดในแต่ละวันจะถูกบันทึกลงเพิ่มข้อมูลและเก็บเป็นเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) โดยมีชื่อเป็นวันที่ที่ทำการวัด เช่น ผลสรุปของค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของวันที่ 2 ธันวาคม 2552 จะถูกเก็บไว้ในไฟล์ชื่อ "02_Dec_09.xls" ซึ่งตัวอย่างของข้อมูลที่ถูกรวบรวมและแสดงในภาคผนวก

4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน



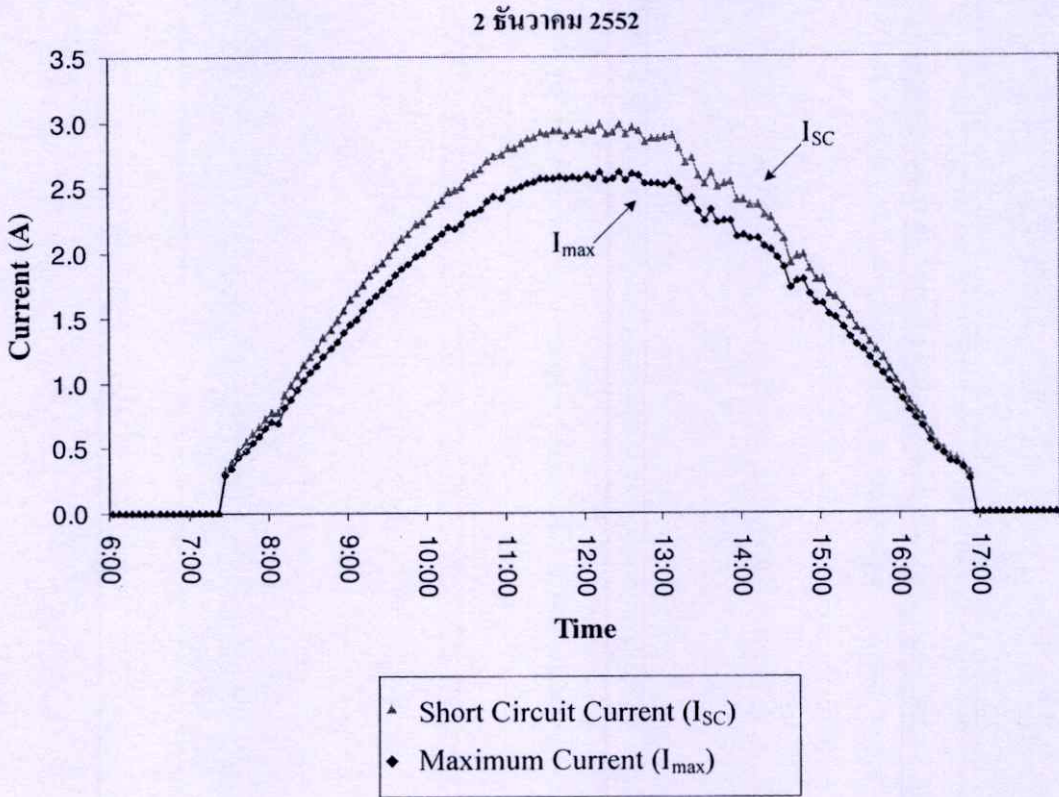
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที

จากรูปที่ 4.1 แสดงกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อเวลาซึ่งเป็นกราฟเส้นบน กับค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลาเป็นกราฟเส้นล่าง เห็นได้ว่า

1. จากกราฟ ค่าแรงดันวงจรเปิดต่อเวลา มีค่าประมาณ 400 V และจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาบ่าย เนื่องจากอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น
2. จากกราฟ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา มีค่าประมาณ 280 V ถึง 300 V และจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลากลางวัน ที่ค่าความเข้มแสงแดดสูง กระแสไหลในวงจรมากและอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามาก

ในช่วงเวลา 6:00 น. ถึง 7:00 น. และ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 17:00 น. โดยประมาณ เป็นต้นไป ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าน้อย ทำให้เมื่อนำข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้า มาประมวลผลหาค่าสมการตัวแทนแล้ว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าน้อยกว่า 0.97 ซึ่งถือว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือต่ำ จึงไม่นำข้อมูลนั้นมาคำนวณต่อไป และให้แทนข้อมูลในช่วงนี้ด้วยค่าศูนย์

4.2 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน

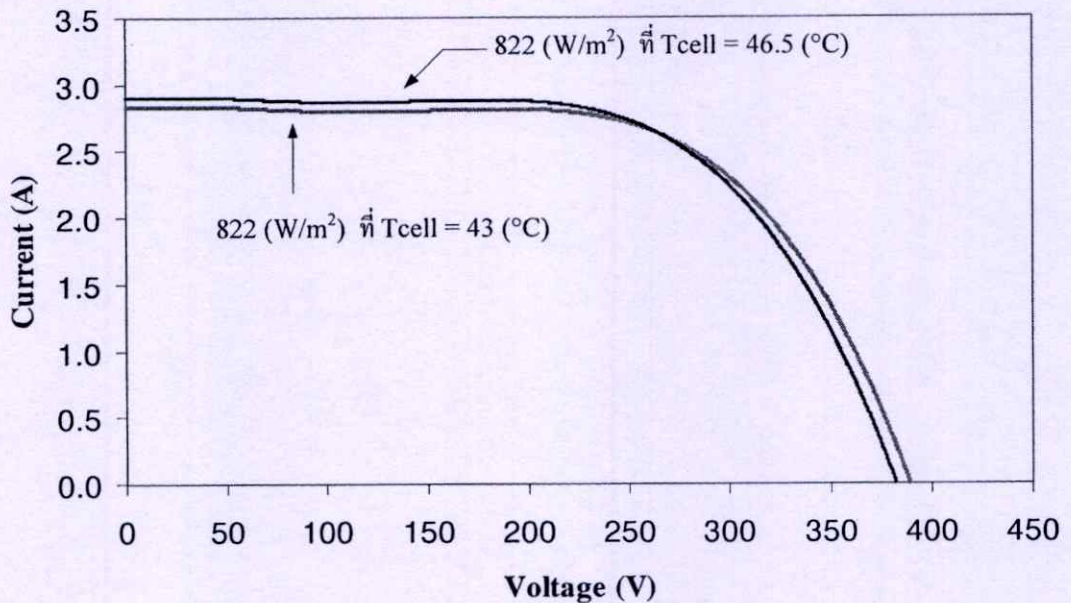


รูปที่ 4.2 แสดงกราฟค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที

จากรูปที่ 4.2 แสดงกราฟค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. โดยเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสลัดวงจรต่อเวลาซึ่งเป็นกราฟเส้นบน กับค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลาซึ่งเป็นกราฟเส้นล่าง จะเห็นว่าลักษณะของกราฟเป็นรูปประฆังคว่ำทั้งสองเส้น และค่ากระแสลัดวงจรมีค่ามากกว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด โดยค่ากระแสลัดวงจรที่มากที่สุดมีค่าประมาณ 3 A และค่าที่มากที่สุดของค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าประมาณ 2.5 A

ในช่วงเวลา 6:00 น. ถึง 7:00 น. และ ในช่วงเวลาดังแต่ 17:00 น. โดยประมาณ เป็นต้นไป ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าน้อย ทำให้เมื่อนำข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้า มาประมวลผลหาค่าสมการตัวแทนแล้ว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าน้อยกว่า 0.97 ซึ่งถือว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ จึงไม่นำข้อมูลนั้นมาคำนวณต่อไป และให้แทนข้อมูลในช่วงนี้ด้วยค่าศูนย์

4.3 กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน



Date	Time	V _{Max} (V)	I _{Max} (A)	V _{OC} (V)	I _{SC} (A)	Irradiance (W/m ²)	Efficiency	Tcell (°C)
▲ 2/Dec/09	11:10	281.3	2.506	389.6	2.839	822	8.810	43
◆ 2/Dec/09	12:15	273.9	2.554	382.8	2.905	822	8.745	46.5

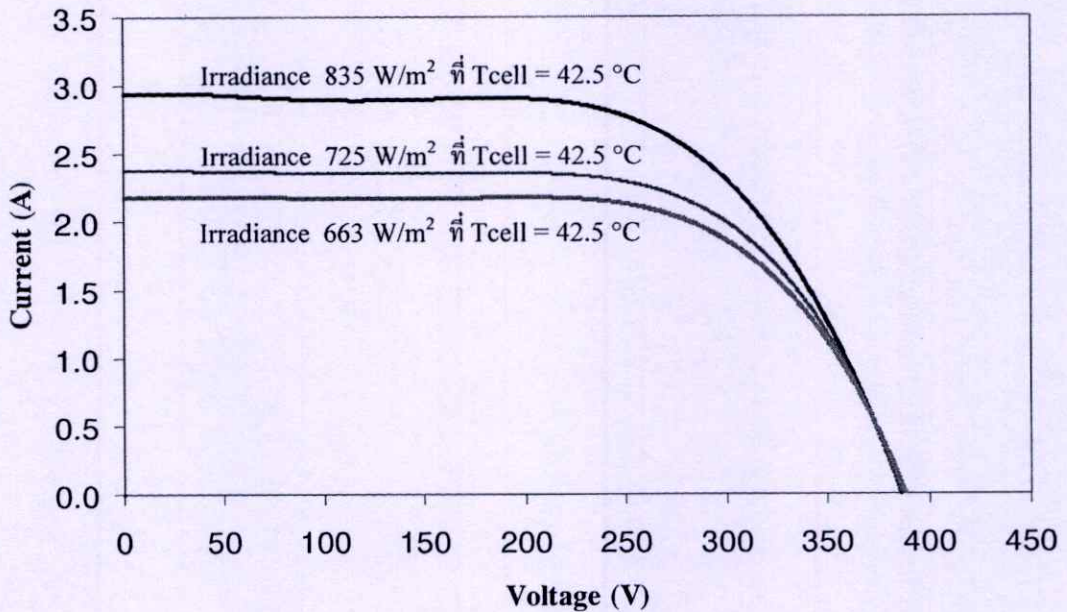
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกัน

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกที่อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกัน แต่ค่าความเข้มแสงแดดเท่ากัน อ้างอิงข้อมูลในวันที่ 2 ธันวาคม 2552 เลือกข้อมูลที่ค่าอุณหภูมิต่างกันสองค่า คือ ที่เวลา 11:10 น. อุณหภูมิเซลล์เท่ากับ 43 °C และที่เวลา 12:15 น. อุณหภูมิเซลล์เท่ากับ 46.5 °C ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 822 W/m² พบว่า

1. ที่ค่าอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 43 °C และ 46.5 °C ค่าแรงดันวงจรเปิด มีค่าเป็น 389.6 V, 382.8 V ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าแรงดันวงจรเปิดจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเซลล์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีในหัวข้อ 2.3.5 เรื่องสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2. ที่ระดับอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 43 °C และ 46.5 °C ค่ากระแสลัดวงจร มีค่าเป็น 2.839 A และ 2.905 A ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรเพียงเล็กน้อย โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้น

4.4 กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ระดับความเข้มแสงแตกต่างกัน



Date	Time	V_{max} (V)	I_{max} (A)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	Irradiance (W/m^2)	Efficiency	Tcell ($^{\circ}C$)
♦ 2/Dec/09	11:50	276.7	2.579	386.4	2.933	835	8.778	42.5
▪ 2/Dec/09	14:05	286	2.114	387.1	2.371	725	8.562	42.5
▲ 2/Dec/09	14:25	289.9	1.964	388.9	2.185	663	8.816	42.5

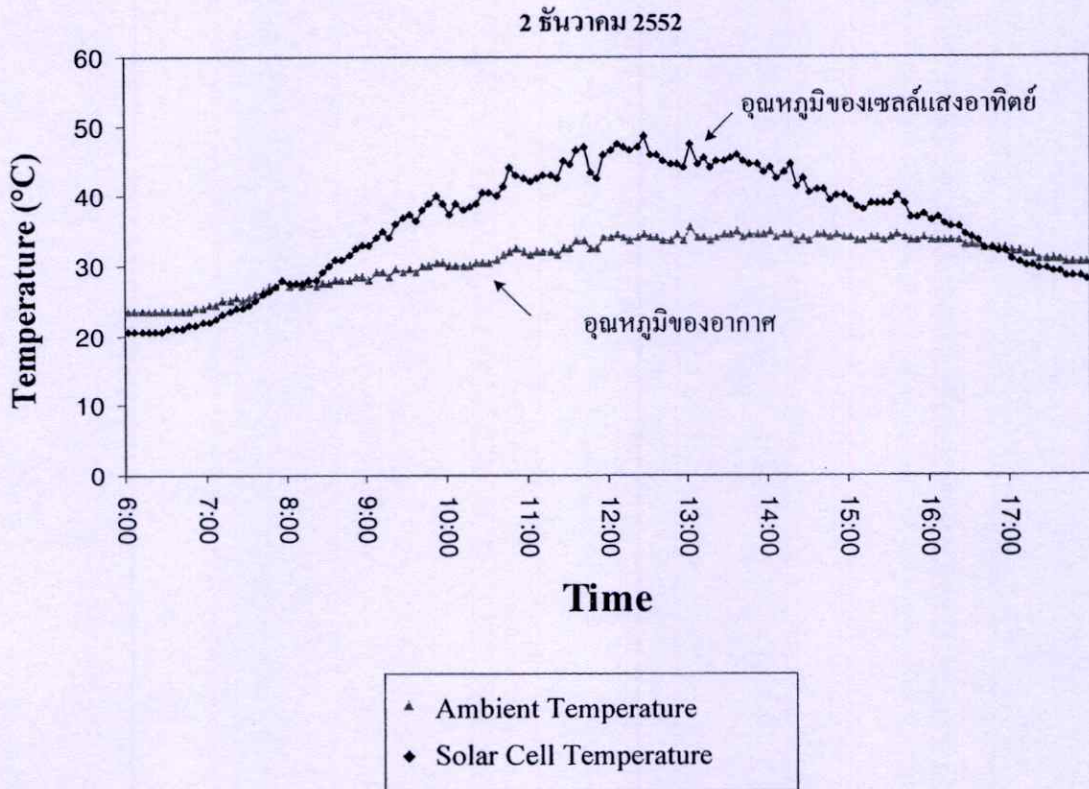
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้า ที่ระดับความเข้มแสงแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ที่ค่าความเข้มแสงแตกต่างกัน แต่ค่าอุณหภูมิเซลล์เท่ากัน อ้างอิงข้อมูลในวันที่ 2 ธันวาคม 2552 เลือกข้อมูลที่ค่าความเข้มแสงแตกต่างกันสามค่า คือ ที่เวลา 11:50 น. ค่าความเข้มแสงแดดเป็น $835 W/m^2$ ที่เวลา 14:05 น. ค่าความเข้มแสงแดดเป็น $725 W/m^2$ ที่เวลา 14:25 น. ค่าความเข้มแสงแดดเป็น $663 W/m^2$ โดยที่อุณหภูมิเซลล์เท่ากับ $42.5^{\circ}C$ สังเกตได้ว่า

1. ที่ระดับความเข้มแสงแดด $835 W/m^2$, $725 W/m^2$, $663 W/m^2$ ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าเป็น 2.933 A, 2.371 A, 2.185 A ตามลำดับ พบว่า ค่ากระแสลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงแดดที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.3.6 เรื่องสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง

2. ที่ระดับความเข้มแสงแดด 835 W/m^2 , 725 W/m^2 , 663 W/m^2 ค่าแรงดันวงจรเปิดมีค่าเป็น 386.4 V, 387.1 V, 388.9 V ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าแรงดันวงจรเปิดตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงแดดน้อยมาก

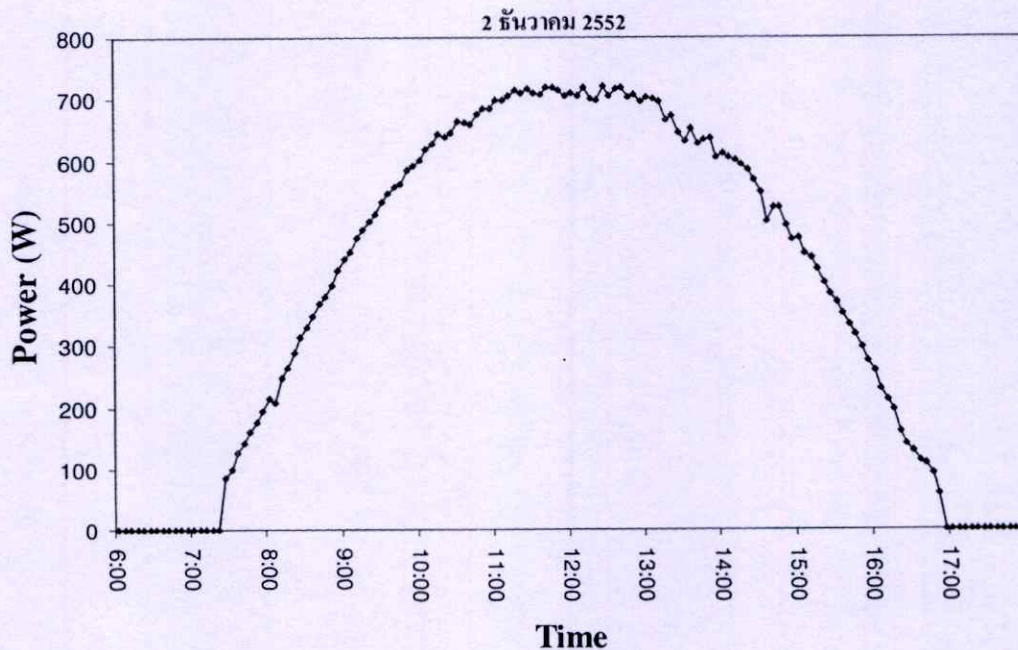
4.5 ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศ



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟอุณหภูมิต่อเวลา

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา และกราฟอุณหภูมิของอากาศต่อเวลา ที่วัดในช่วงเวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 6:00 น. ถึง 7:00 น. เป็นช่วงเวลาที่ค่าความเข้มแสงมีค่าน้อย ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าประมาณ $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิของอากาศมีค่าประมาณ $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตั้งแต่ช่วงเวลา 7:00 น. ถึง 12:00 น. ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะค่อยๆ มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในช่วงเวลาประมาณ 8:00 น. ถึง 16:00 น. ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่ามากกว่าค่าอุณหภูมิของอากาศ โดยที่เวลาประมาณ 10:00 น. ถึง 14:00 น. ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงกว่าค่าอุณหภูมิของอากาศประมาณ $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดวัดได้ $46 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนค่าอุณหภูมิของอากาศที่สูงที่สุดวัดได้ $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$

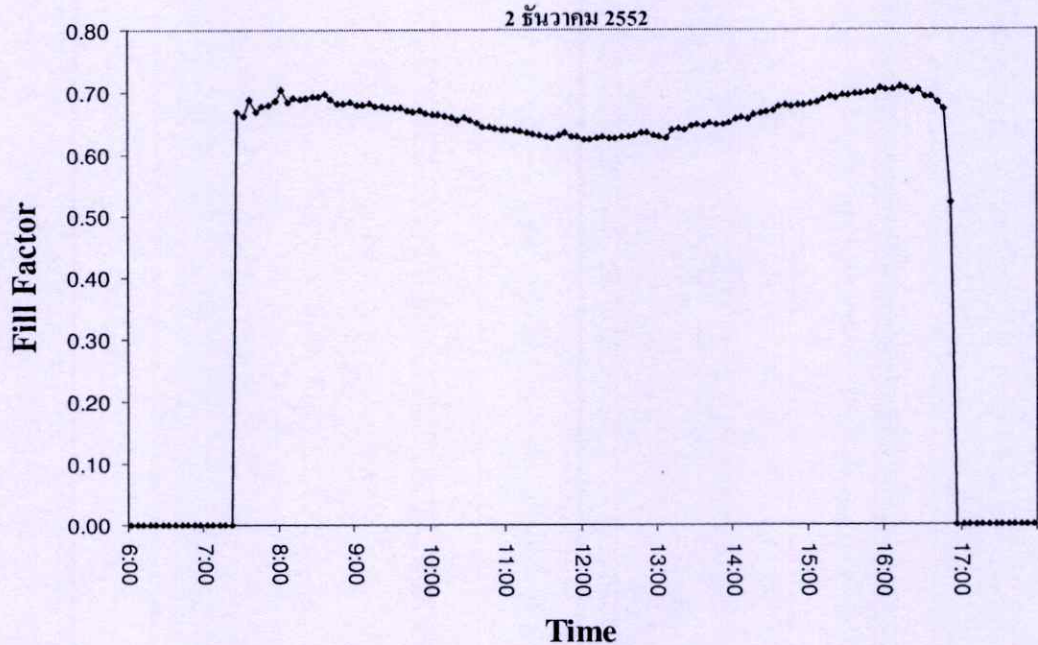
4.6 ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดที่ผลิตได้ในทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที

รูปที่ 4.6 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดต่อเวลา ที่เก็บได้ทุกๆ 5 นาทีตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. จากการอ้างอิงข้อมูลในวันที่ 2 ธันวาคม 2552 ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง จะเห็นได้ว่ากราฟ เป็นรูปประฆังคว่ำ มีค่าสูงที่สุดประมาณ 700 W ในช่วงเวลาประมาณ 11:00 น. ถึง 13:00 น. ในช่วงเวลาประมาณ 7:00 น. ถึง 11:00 น. ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดจะค่อยๆ มีค่าเพิ่มขึ้น และในช่วงเวลาประมาณ 13:00 น. ถึง 17:00 น. ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดจะค่อยๆ มีค่าลดลง

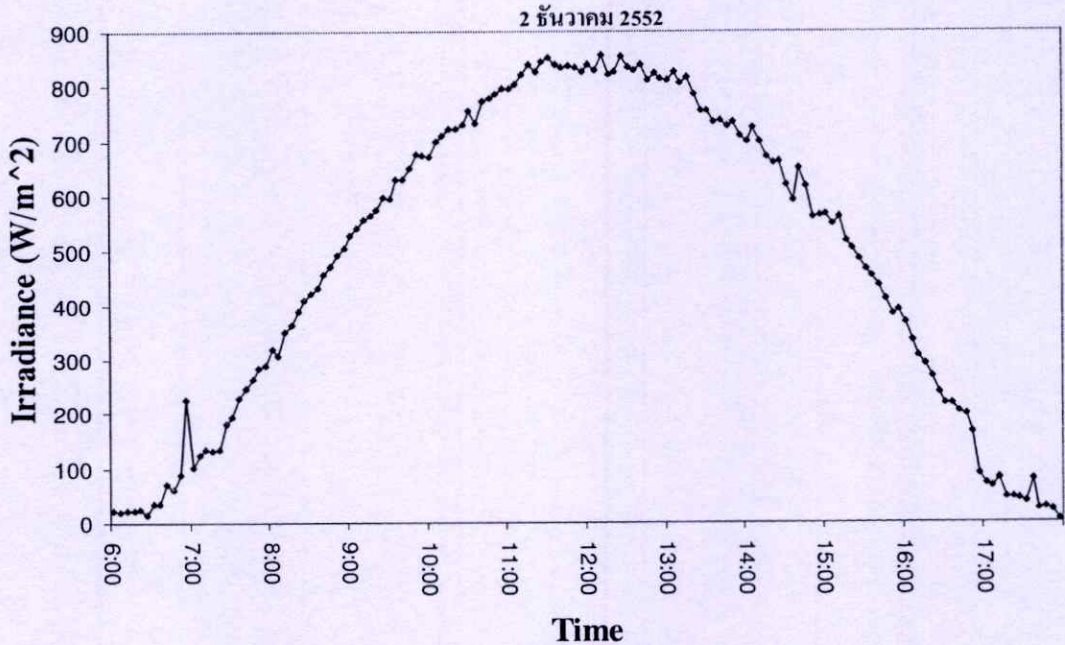
4.7 ค่าฟิลแฟกเตอร์ที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟฟิลแฟกเตอร์ที่วัดได้ ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลแฟกเตอร์ต่อเวลา ที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. จากการอ้างอิงข้อมูลในวันที่ 2 ธันวาคม 2552 ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง จะเห็นว่ากราฟจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาที่ค่าความเข้มแสงแดดมีค่าสูงๆ ค่ากระแสไฟฟ้ามียุคมาก และค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามาก ซึ่งเป็นช่วงเวลาประมาณ 9:00 น. ถึง 16:00 น. มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.65 ในช่วงเวลาประมาณ 11:00 น. ถึง 14:00 น. จะมีค่าฟิลแฟกเตอร์ต่ำที่สุด เนื่องจากค่าอุณหภูมิของอากาศและค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น ทำให้ค่าแรงดันวงจรเปิด และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าลดลง ดังที่ได้แสดงไปแล้วในหัวข้อที่ 4.3 เรื่อง กราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้า ที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน

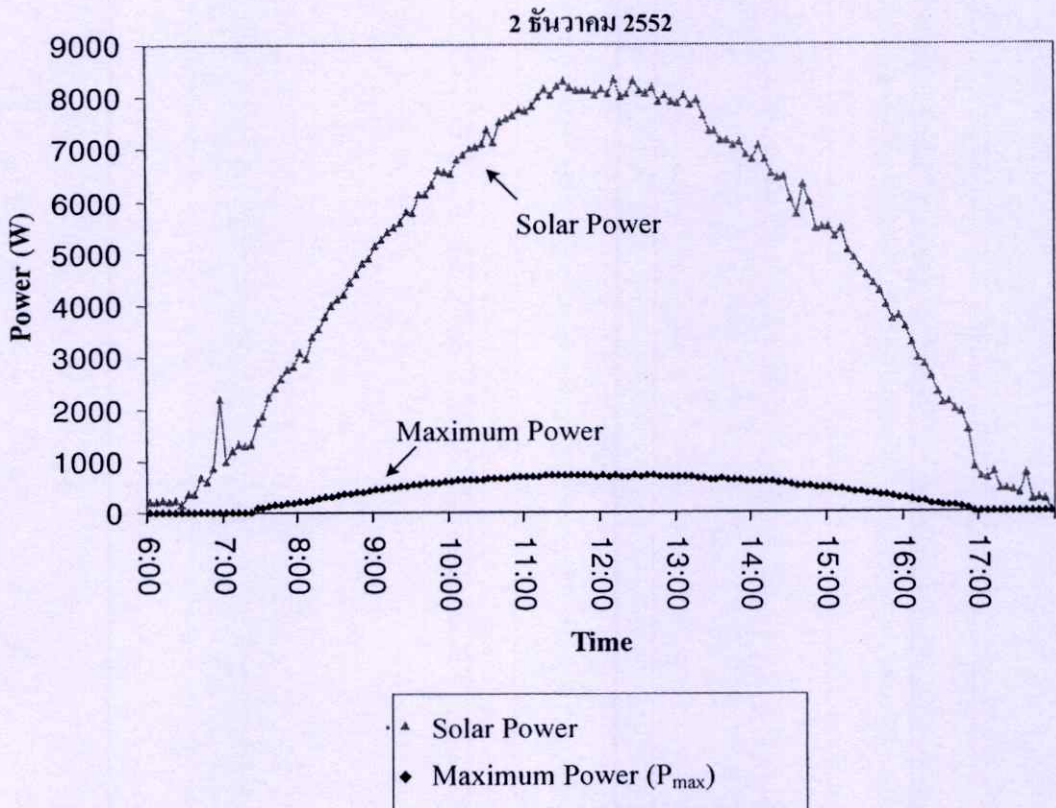
4.8 ค่าความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน

รูปที่ 4.8 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา ที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. จากการอ้างอิงข้อมูลในวันที่ 2 ธันวาคม 2552 ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง จะเห็นได้ว่ากราฟเป็นรูปประฆังคว่ำ โดยค่าความเข้มแสงแดดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 11:00 น. และมีค่าสูงที่สุด ประมาณ 850 W/m² ที่เวลาประมาณ 11:00 น. ถึง 13:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่แนวรังสีของแสงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากกับผิวเปลือกโลก หลังจากเวลา 13:00 น. ค่าความเข้มแสงก็จะลดลง เนื่องจากแนวรังสีของแสงอาทิตย์ ที่ตกกระทบไพราโนมิเตอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนของโลก

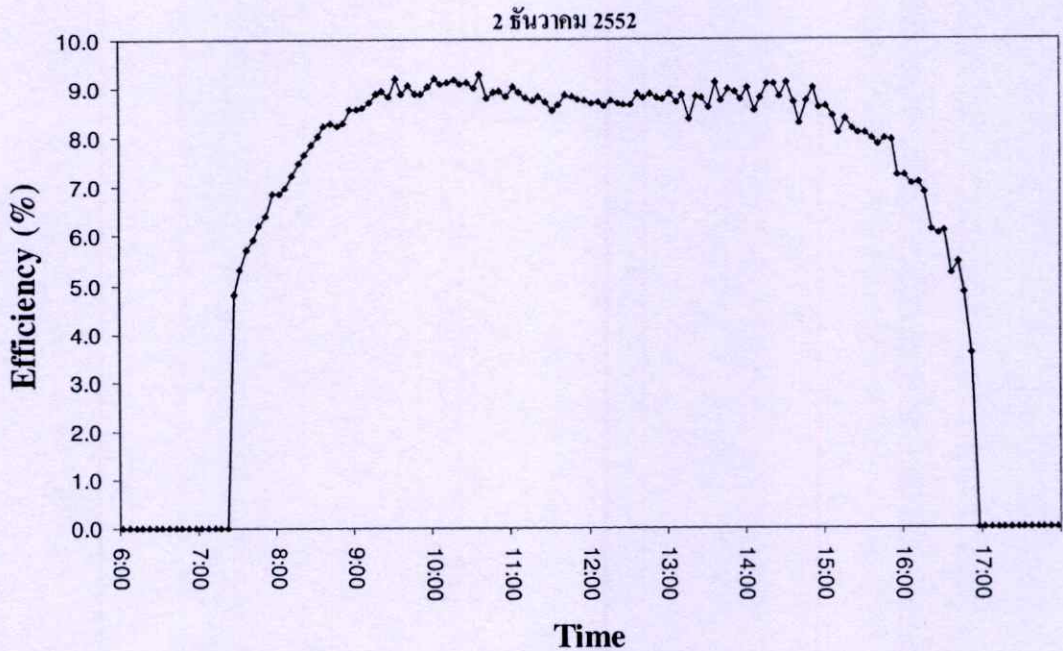
4.9 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงโฟโตโวลตาอิกจำนวน 20 แผง มีพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 9.734 m² กับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เก็บได้ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. โดยกราฟเส้นบนเป็นค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา และกราฟเส้นล่างเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา จะเห็นว่าลักษณะของกราฟที่ได้ทั้งสองเส้นมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ และค่ากำลังงานของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับมีค่ามากกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดทุกค่า โดยค่ากำลังงานของพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับมีค่าสูงที่สุดประมาณ 8,000 W ในช่วงเวลา 11:00 น. ถึง 13:00 น. และในช่วงเวลานี้ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 700 W นั่นคือเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแปลงพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานแสงที่ได้รับทั้งหมด

4.10 ค่าประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก

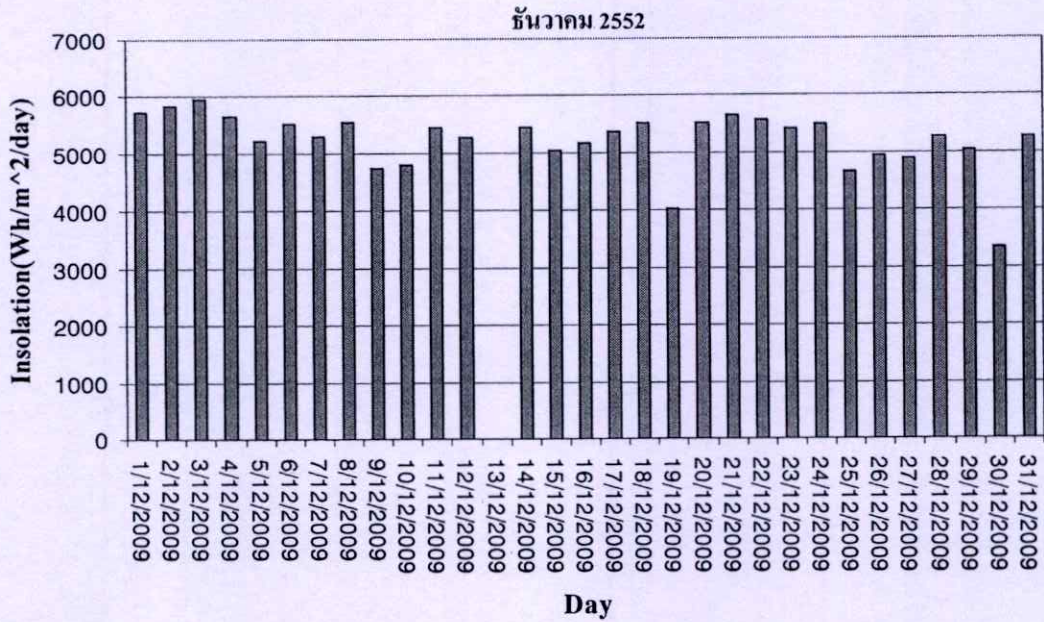


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา จากการอ้างอิงข้อมูลในวันที่ 2 ธันวาคม 2552 ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง จะเห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่วงเวลาประมาณ 11:00 น. ถึง 14:00 น. และจะมีค่าน้อยเมื่อค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย ในช่วงเวลาประมาณ 7:00 น. ถึง 9:00 น. และ ในช่วงเวลาประมาณ 15:00 น. ถึง 17:00 น. ค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันของค่าประสิทธิภาพเป็น 6.5 เปอร์เซ็นต์

ส่วนในช่วงเวลา 6:00 น. ถึง 7:00 น. และ ในช่วงเวลา 17:00 น. โดยประมาณ เป็นต้นไป ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าเป็นศูนย์ ด้วยเหตุผลเดียวกันกับ ในหัวข้อที่ 4.1 เรื่องค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน

4.11 ปริมาณแสงแดดทั้งหมดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน

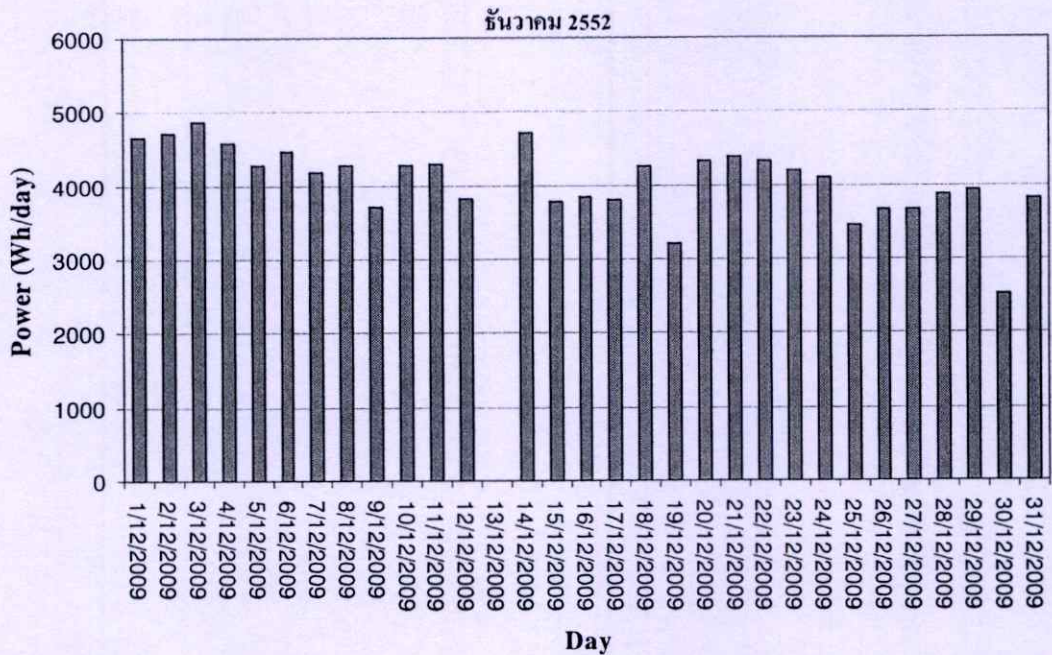


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณแสงแดดทั้งหมดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน

รูปที่ 4.11 เป็นกราฟแท่งของปริมาณแสงแดดทั้งหมดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน โดยอ้างอิงข้อมูลในเดือนธันวาคม 2552 จะเห็นได้ว่ากราฟแท่งที่ได้มีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสถานะของภูมิอากาศ ว่าท้องฟ้าปลอดโปร่ง มีเมฆมาก หรือมีฝนตกหรือไม่ ถ้าวันใดมีเมฆมากหรือมีฝนตก ค่าปริมาณของแสงแดดที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าน้อย เช่น ในวันที่ 30 ธันวาคม 2552 ซึ่งเป็นวันที่มีฝนตกหนักในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ค่าพลังงานแสงแดดมีค่าต่ำกว่า 3,500 Wh/m²/day ส่วนวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง เช่น ในวันที่ 4 ธันวาคม 2552 วัตค่าปริมาณแสงแดดทั้งหมดได้ประมาณ 5,500 Wh/m²/day และอาจมีค่ามากที่สุดได้ถึง 5,900 Wh/m²/day ได้ เช่น ในวันที่ 3 ธันวาคม 2552

ในวันที่ 13 ธันวาคม 2552 ไม่สามารถวัดค่าปริมาณใดๆ ได้เนื่องจากทรานซิสเตอร์กำลัง IGBT ของเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าขาด

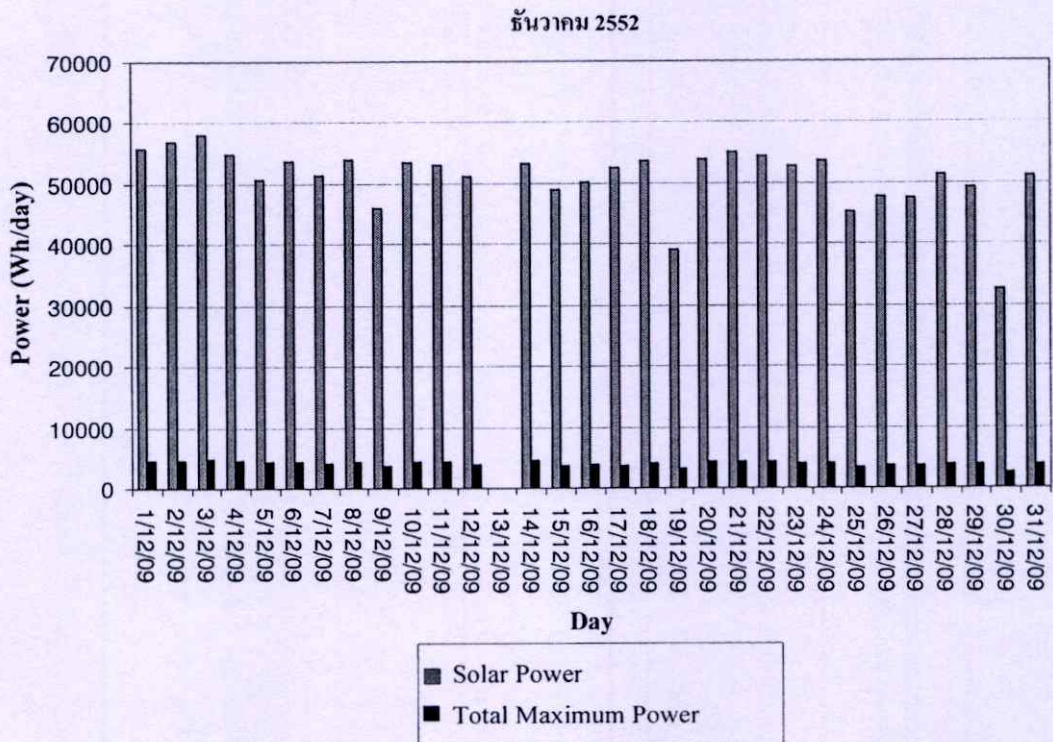
4.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน

จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแท่งของค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละวัน ตลอดทั้งเดือนธันวาคม 2552 ซึ่งกราฟแท่งที่ได้มีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าค่าปริมาณของแสงแดดที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะมีค่าน้อย ตัวอย่างเช่น ในวันที่ 9 ธันวาคม 2552 เป็นวันที่มีเมฆมาก วัดค่าปริมาณแสงแดดทั้งหมดได้ประมาณ 4.7 kWh/m²/day ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่า 3.7 kWh/day สำหรับในวันที่ 19 ธันวาคม 2552 เป็นวันที่สภาวะภูมิอากาศแปรปรวน วัดค่าปริมาณแสงแดดทั้งหมดได้ประมาณ 4.0 kWh/m²/day ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่า 3.2 kWh/day ส่วนในวันที่ 13 ธันวาคม 2552 ไม่สามารถวัดค่าปริมาณใดๆ ได้เนื่องจากทรานซิสเตอร์กำลัง IGBT พังเสียหาย

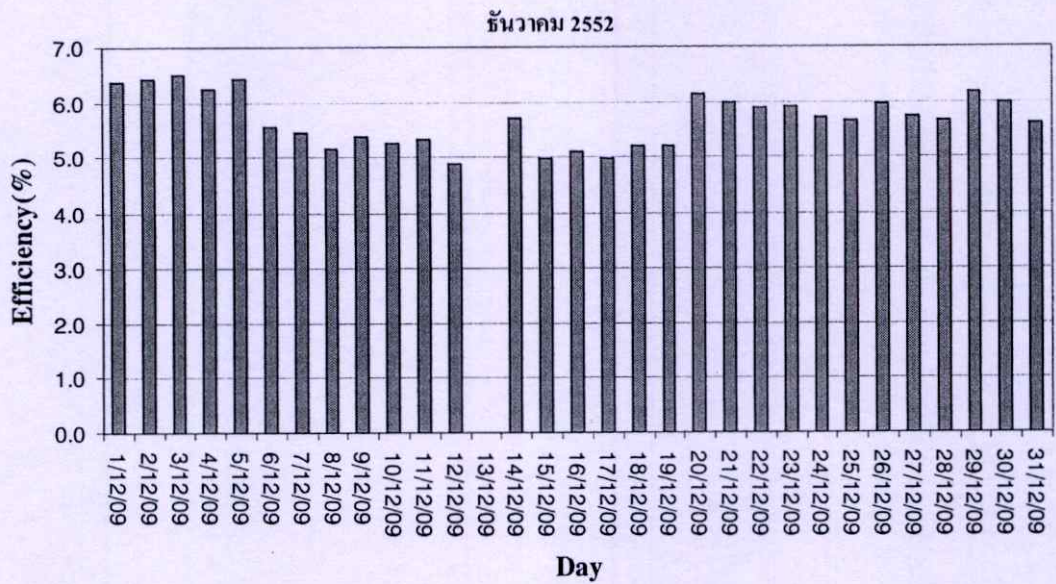
4.13 พลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน



รูปที่ 4.13 กราฟพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแท่งของพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 9.734 m^2 เปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน อ้างอิงข้อมูลในเดือนธันวาคม 2552 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้ามาก ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับมีค่าเฉลี่ยที่ 50 kWh/day แต่ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4 kWh/day หรือประมาณ 8เปอร์เซ็นต์ ของค่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ

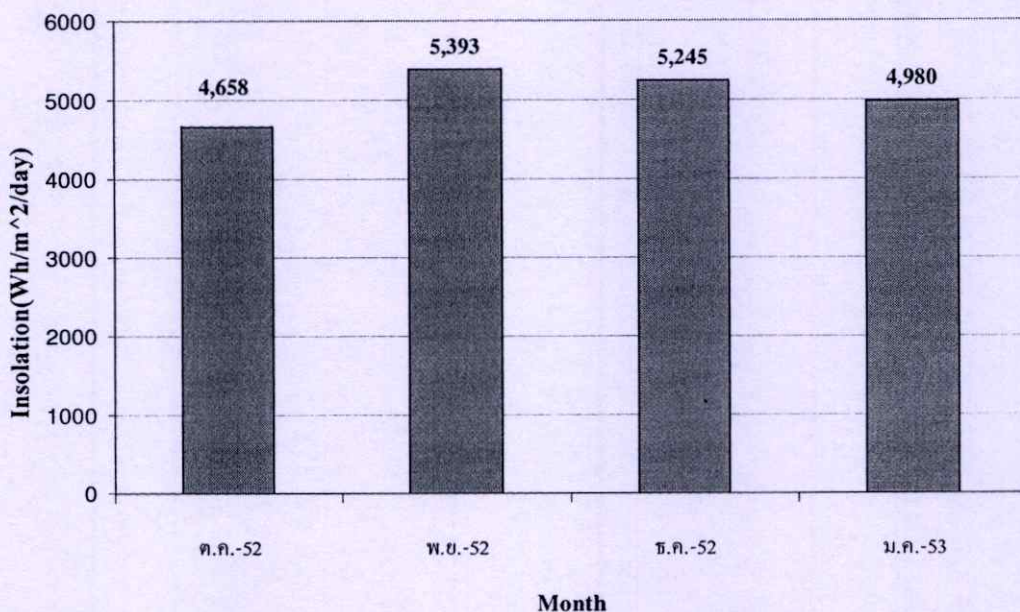
4.14 ค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์อาทิตย์ในแต่ละวันตลอดหนึ่งเดือน



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน ตลอดหนึ่งเดือน

จากกราฟในรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันของค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดเดือนธันวาคม 2552 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพมีค่าไม่คงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.9 ถึง 6.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าประสิทธิภาพในกราฟมาหาค่าเฉลี่ย ตลอดทั้งเดือนจะมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนอยู่ที่ 5.51 เปอร์เซ็นต์

4.15 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

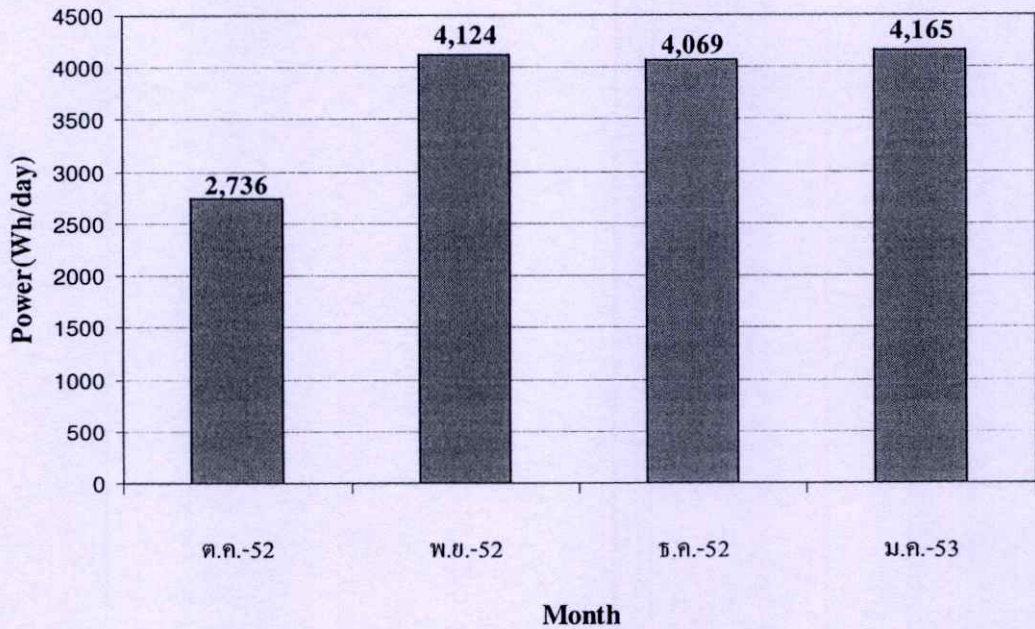


รูปที่ 4.15 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

จากกราฟในรูปที่ 4.15 เป็นกราฟแท่งของค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึงมกราคม 2553 จากกราฟจะเห็นว่า ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับในช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม 2552 และ มกราคม 2553 มีค่าเท่ากับ 5,393 Wh/m²/day 5,245 Wh/m²/day และ 4,980 Wh/m²/day ตามลำดับ ส่วนในเดือนตุลาคม 2552 มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 4,658 Wh/m²/day เนื่องจากในเดือนนี้ เป็นเดือนที่มีวันที่ฝนตกและมีเมฆมากเป็นส่วนใหญ่

ในช่วงต้นของเดือนพฤศจิกายน 2552 เป็นช่วงที่มีเมฆฝนและฝนตกหนักอยู่หลายวัน ค่าพลังงานแสงจึงมีค่าน้อย ส่งผลถึงค่าประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องไปจนถึงกลางของเดือนธันวาคม 2552 เป็นช่วงที่แสงแดดจัด ท้องฟ้าค่อนข้างปลอดโปร่ง จึงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าดีขึ้น ส่วนในเดือนมกราคม 2553 ค่าพลังงานแสงแดดจะมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอในแต่ละวัน เนื่องจากท้องฟ้าค่อนข้างปลอดโปร่ง แต่จะมีค่าพลังงานแสงแดดน้อยกว่าในเดือนพฤศจิกายน และธันวาคม 2552

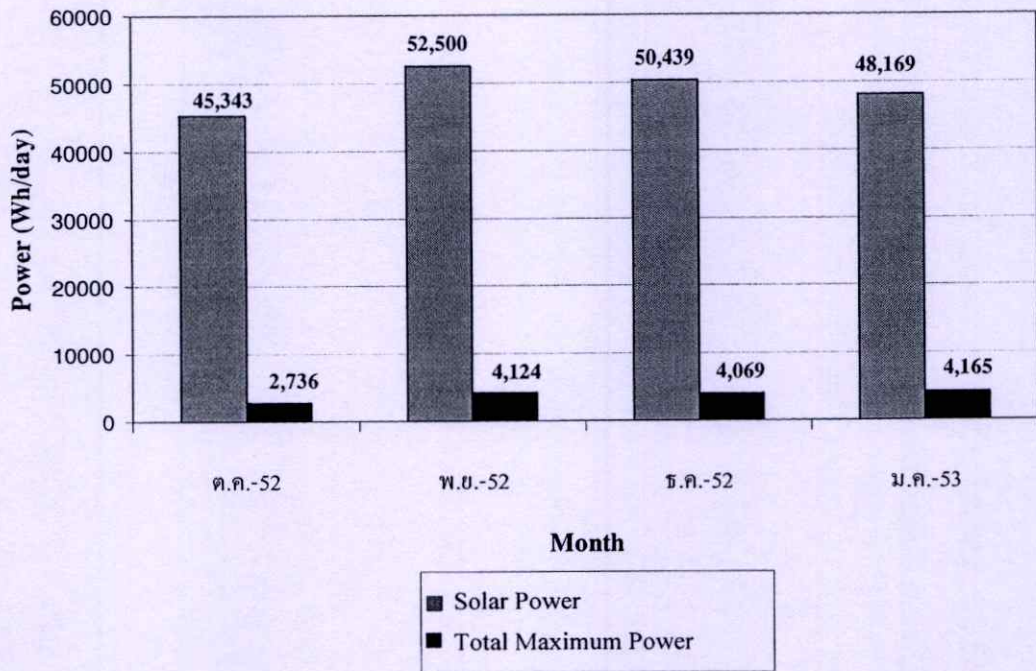
4.16 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553



รูปที่ 4.16 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

จากกราฟในรูปที่ 4.16 เป็นกราฟแท่งของค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ในแต่ละวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 จากกราฟจะเห็นว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม 2552 และ มกราคม 2553 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 4,124 Wh/day 4,069 Wh/day และ 4,165 Wh/day ตามลำดับ ส่วนในเดือนตุลาคม 2552 ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่า 2,736 Wh/day เนื่องจากในเดือนตุลาคม 2552 เป็นเดือนที่มีวันที่ฝนตกและมีเมฆมากเป็นส่วนใหญ่ พลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย อีกทั้งอุณหภูมิ ก็มีค่าสูงมากกว่าเดือนอื่นๆ ที่ทำการวัด จึงเป็นผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้น้อย

4.17 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ เฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

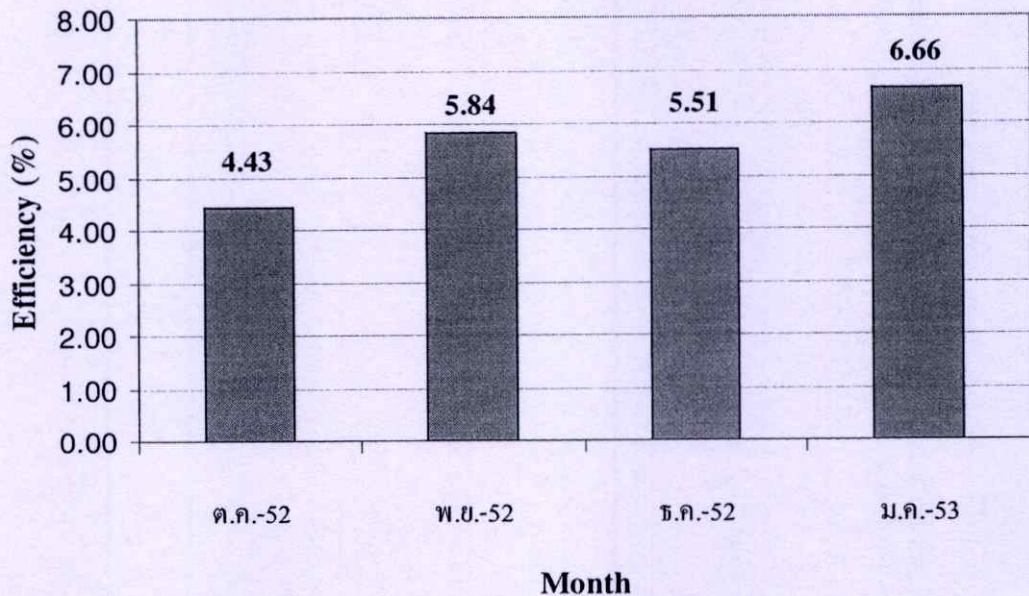


รูปที่ 4.17 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ เปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ เฉลี่ยตลอดทั้งวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

จากกราฟในรูปที่ 4.17 เป็นกราฟแท่งเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เฉลี่ยตลอดทั้งวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 โดยเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่เท่ากับ 9.734 m^2

จากกราฟ จะเห็นได้ว่าในเดือนตุลาคม 2552 ค่าพลังงานแสงเฉลี่ยที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับมีค่า 45,342 Wh/day เทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่า 2,735 Wh/day ซึ่งมีค่าน้อย เนื่องจากในเดือนนี้เป็นเดือนที่อุณหภูมิมีค่าสูง มีฝนตกและเมฆมากในช่วงเวลาบ่ายหลายวัน จึงส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเดือนมกราคม 2553 ค่าพลังงานแสงเฉลี่ยจะมีค่าน้อยกว่า เดือนพฤศจิกายน 2552 แต่แสงแดดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันของเดือนมกราคม 2553 มีความสม่ำเสมอมากกว่าในแต่ละวันของเดือนพฤศจิกายน 2552 เนื่องจากท้องฟ้าปลอดโปร่งและมีเมฆน้อย จึงทำให้การผลิตไฟฟ้าในเดือนมกราคม 2553 มากกว่าในเดือนพฤศจิกายนเล็กน้อย

4.18 ค่าประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยต่อวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

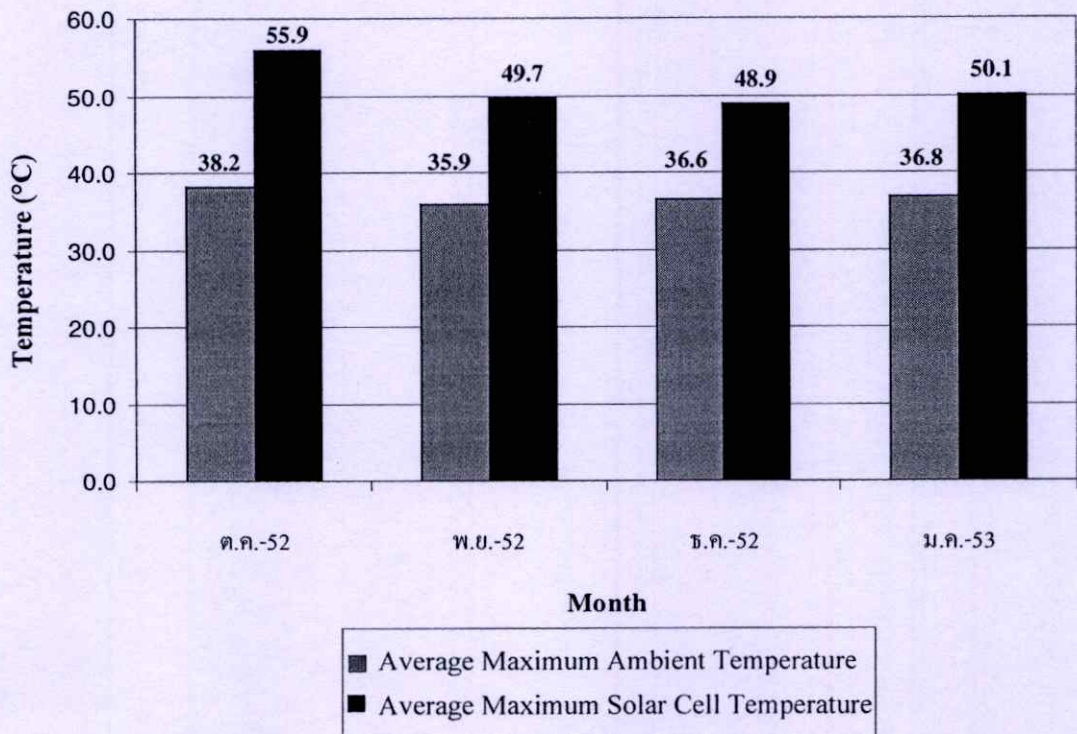


รูปที่ 4.18 ค่าประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยต่อวัน
ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

จากกราฟในรูปที่ 4.18 เป็นกราฟแท่งแสดงค่าประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวัน ในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 จะเห็นว่าในเดือนตุลาคม 2552 จะมีค่าประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ 4.43 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นเดือนที่มีวันที่ฝนตก และมีเมฆมากหลายวัน ทำให้ค่าพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย และค่าอุณหภูมิยังมีค่าสูงอีกด้วย จึงส่งผลกับการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง

ในเดือนพฤศจิกายน และ ธันวาคม 2552 ค่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 5.84 และ 5.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน 2552 ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานไฟฟ้ามีค่าน้อย เนื่องจากเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูกาลมีวันที่มีเมฆมาก และฝนตกหลายวัน ส่วนช่วงปลายเดือนท้องฟ้าค่อนข้างปลอดโปร่ง และอุณหภูมิของอากาศเริ่มเย็นลง จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้ากลับมามีค่ามากขึ้น สำหรับในเดือนมกราคม 2553 ท้องฟ้าค่อนข้างปลอดโปร่ง ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์สม่ำเสมอ จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละวัน ตลอดเดือนนี้ มีค่า 6.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดือนอื่นๆ ที่ทำการวัด

4.19 ค่าอุณหภูมิสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และค่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศโดยเฉลี่ยต่อวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553



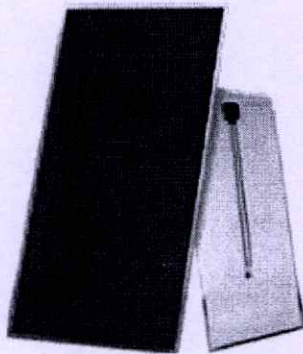
รูปที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และค่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศโดยเฉลี่ยต่อวันในช่วงเดือนตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553

จากกราฟในรูปที่ 4.19 เป็นกราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และ ค่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศ ในช่วงเดือน ตุลาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 สำหรับในเดือนตุลาคม 2552 เป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูง มีฝนตก และมีเมฆมาก ค่าพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย และส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยมาก โดยค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนของเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่า 55.9 °C ส่วนอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนของอากาศมีค่า 38.2 °C

สำหรับในเดือนพฤศจิกายน เดือนธันวาคม 2552 และมกราคม 2553 มีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนของเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่า 49.7 °C 48.9 °C และ 50.1 °C ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนของอากาศมีค่า 35.9 °C 36.6 °C และ 36.8 °C ตามลำดับ

4.20 การวัดค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดซิลิคอนอะมอฟส

นอกเหนือจากการทดลองวัดค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวจำนวน 20 แผง ที่ถูกเชื่อมต่อกันเป็นสตริงเป็นเวลาสี่เดือนแล้ว ยังนำเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิก ไปวัดหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดซิลิคอนอะมอฟส รุ่น BS40 ของ บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด ดังแสดงดังรูปที่ 4.20 จำนวน 28 แผง โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นสตริง 4 สตริง สตริงละ 7 แผง รวมจำนวนแผงโฟโตโวลตาอิกทั้งสิ้น 28 ดังแสดงในรูปที่ 4.21

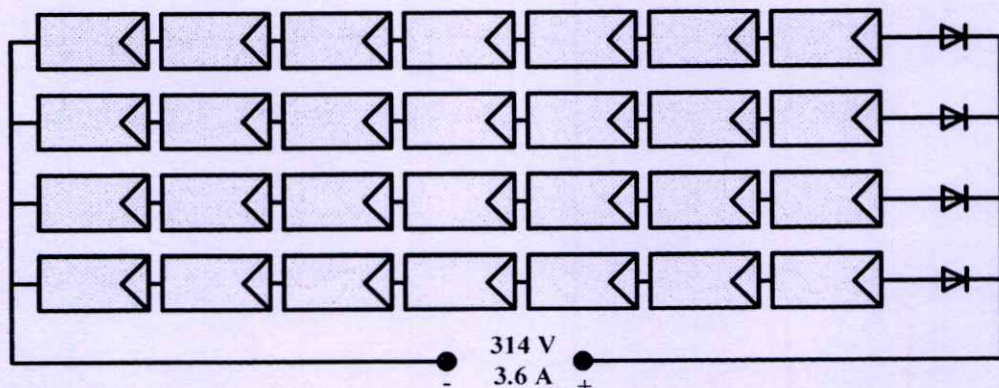


MODULE TYPE	BS40
P _{MAX} *	40 W
V _{RATED} *	44.8 V
I _{RATED} *	0.93 A
OPEN CIRCUIT VOLTAGE, V _{OC}	62.2 V
SHORT CIRCUIT VOLTAGE, I _{SC}	1.14 A

*Rated Value at STC

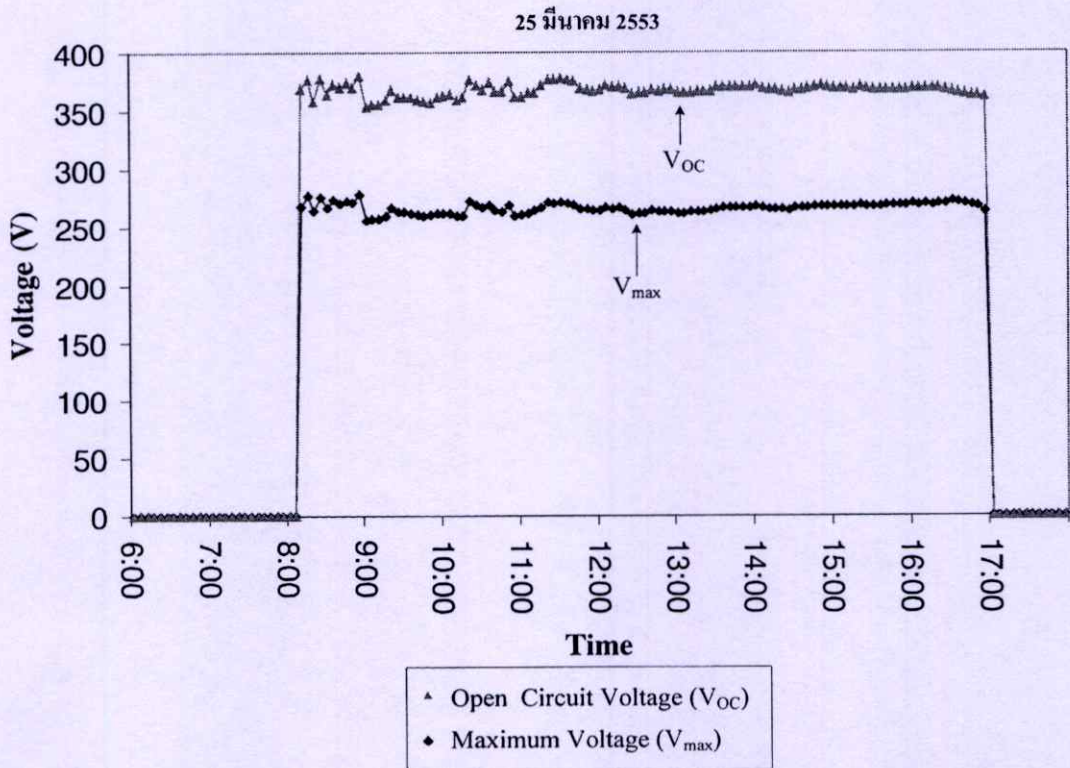
STC : 1000 W/m² Irradiance, 25 °C Cell Temperature, 1.5 Air mass solar spectral distribution

รูปที่ 4.20 แสดงแผงโฟโตโวลตาอิกรุ่น BS40



รูปที่ 4.21 ลักษณะการเชื่อมต่อของแผงโฟโตโวลตาอิกรุ่น BS40 จำนวน 28 แผง

4.20.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน

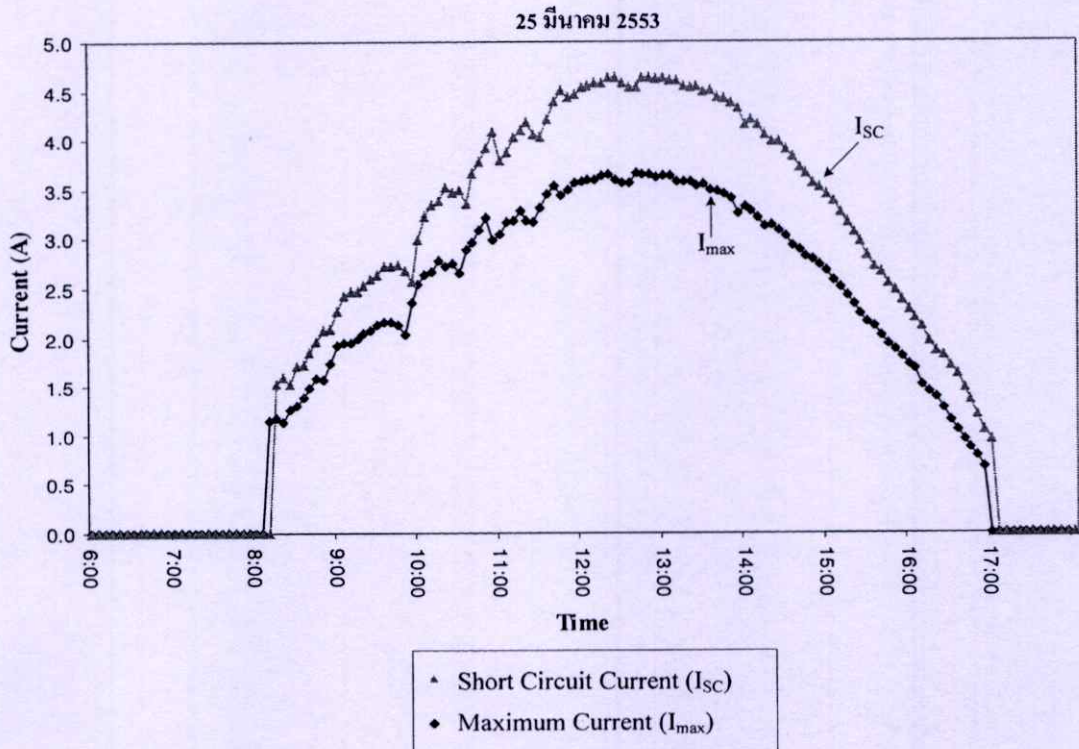


รูปที่ 4.22 แสดงกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที

จากรูปที่ 4.22 เป็นการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อเวลา กับค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา ที่เก็บได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 8:10 น. ถึง 17:00 น. โดยกราฟเส้นบนจะเป็นกราฟค่าแรงดันวงจรเปิดต่อเวลา ส่วนเส้นล่างจะเป็นกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา จะเห็นได้ว่า

1. จากกราฟ ค่าแรงดันวงจรเปิด มีค่าประมาณ 370 V
2. จากกราฟ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา มีค่าประมาณ 280 V

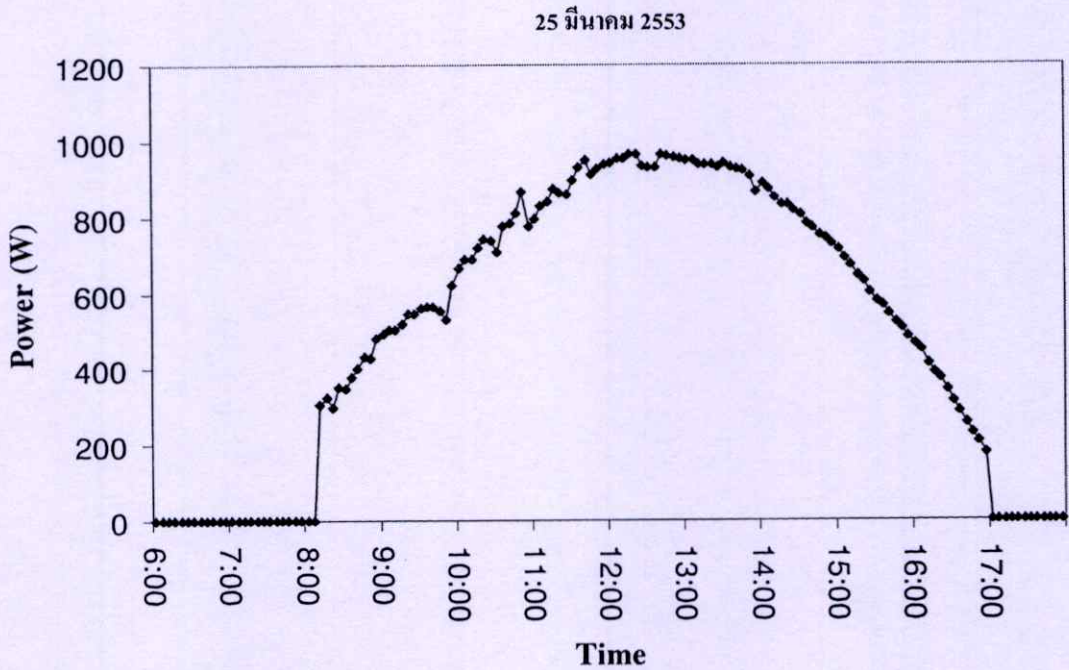
4.20.2 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.23 แสดงกราฟค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที

จากรูปที่ 4.23 เป็นการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสลัดวงจรต่อเวลา กับค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา ที่เก็บได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 8:10 น. ถึง 17:00 น. โดยกราฟเส้นบนจะเป็นกราฟกระแสลัดวงจรต่อเวลา ส่วนเส้นล่างจะเป็นกราฟกระแสไฟฟ้าสูงสุดต่อเวลา จะเห็นว่าลักษณะของกราฟเป็นรูปประฆังคว่ำทั้งสองเส้น และค่ากระแสลัดวงจรมีค่ามากกว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด โดยค่ากระแสลัดวงจรที่มากที่สุดมีค่าประมาณ 4.5 A และค่าที่มากที่สุดของค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าประมาณ 3.7 A

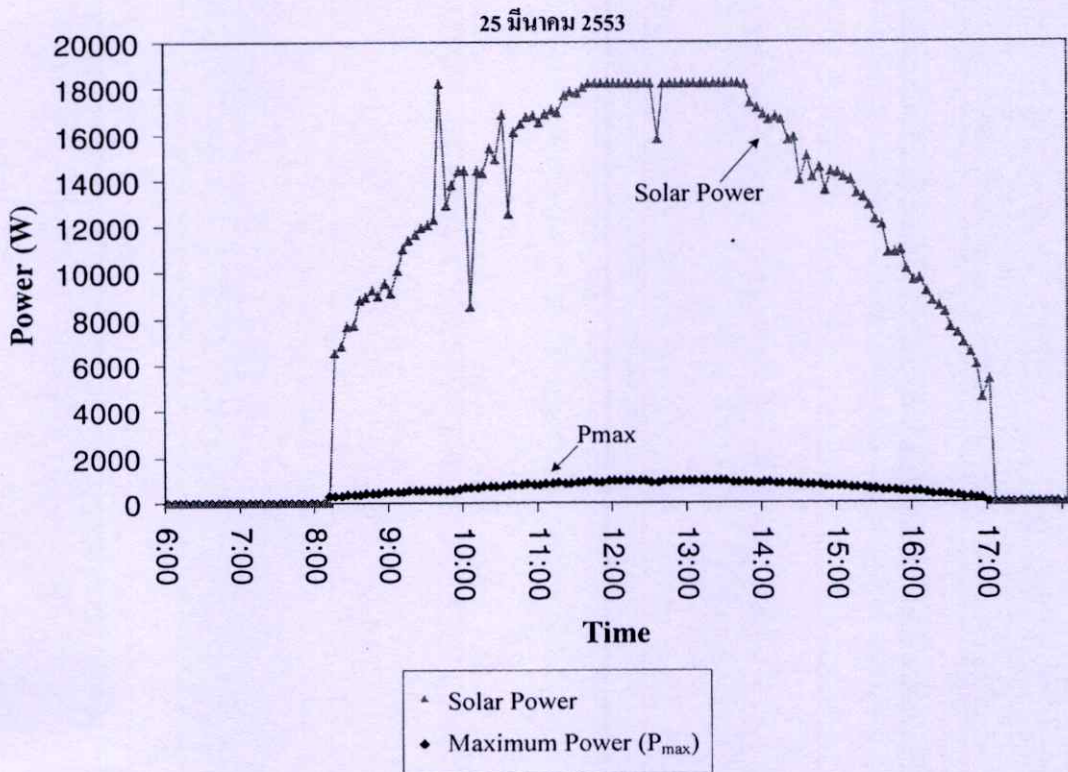
4.20.3 ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดที่ผลิตได้ในทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.24 แสดงกราฟค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดที่ผลิตได้ทุกๆ 5 นาที

รูปที่ 4.24 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดต่อเวลา ที่เก็บได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 8:10 น. ถึง 17:00 น. จากรูป จะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ มีค่าสูงที่สุดประมาณ 970 W ในช่วงเวลาประมาณ 12:00 น. ถึง 14:00 น. ในช่วงเวลาประมาณ 8:10 น. ถึง 11:00 น. ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดจะค่อยๆ มีค่าเพิ่มขึ้น และในช่วงเวลาประมาณ 13:00 น. ถึง 17:00 น. ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุดจะค่อยๆ มีค่าลดลง

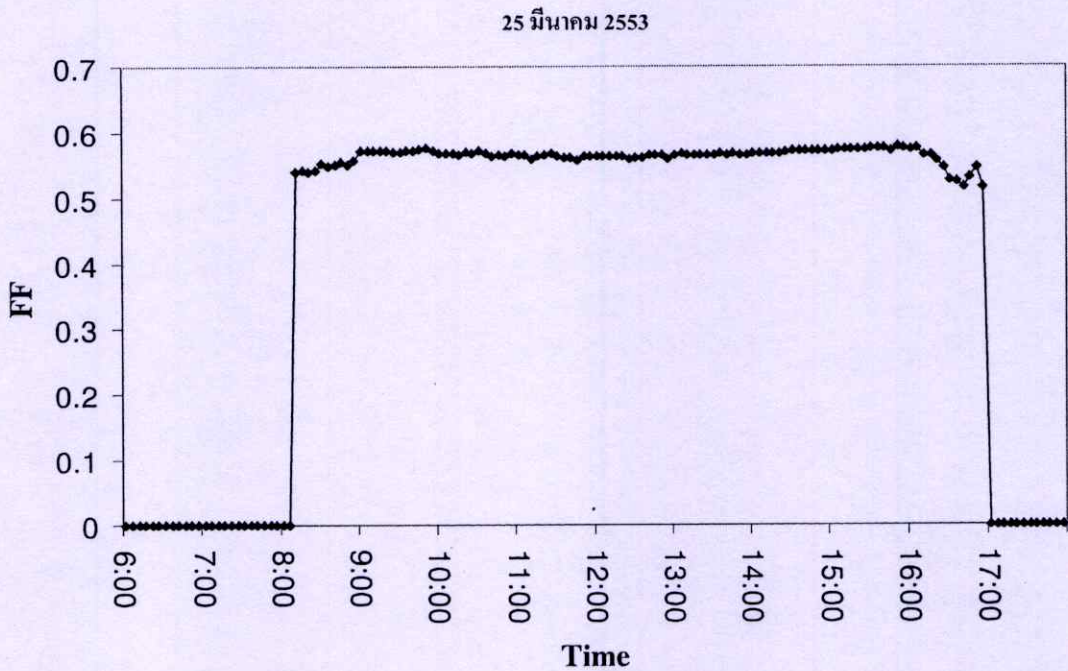
4.20.4 ค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.25 แสดงกราฟค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในหนึ่งวัน

จากรูปที่ 4.25 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงโฟโตโวลตาอิกจำนวน 28 แผง มีพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 20.24 ตารางเมตร กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ตั้งแต่เวลา 8:10 น. ถึง 17:00 น. โดยกราฟเส้นบนเป็นค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา และกราฟเส้นล่างเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อเวลา จะเห็นว่าลักษณะของกราฟที่ได้ทั้งสองเส้นมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทุกค่า โดยค่าพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับมีค่าสูงที่สุดประมาณ 18,000 W ในช่วงเวลา 11:00 น. ถึง 14:00 น. และในช่วงเวลานี้ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าประมาณ 970 W นั่นคือเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแปลงพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 5.38 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานแสงที่ได้รับทั้งหมด

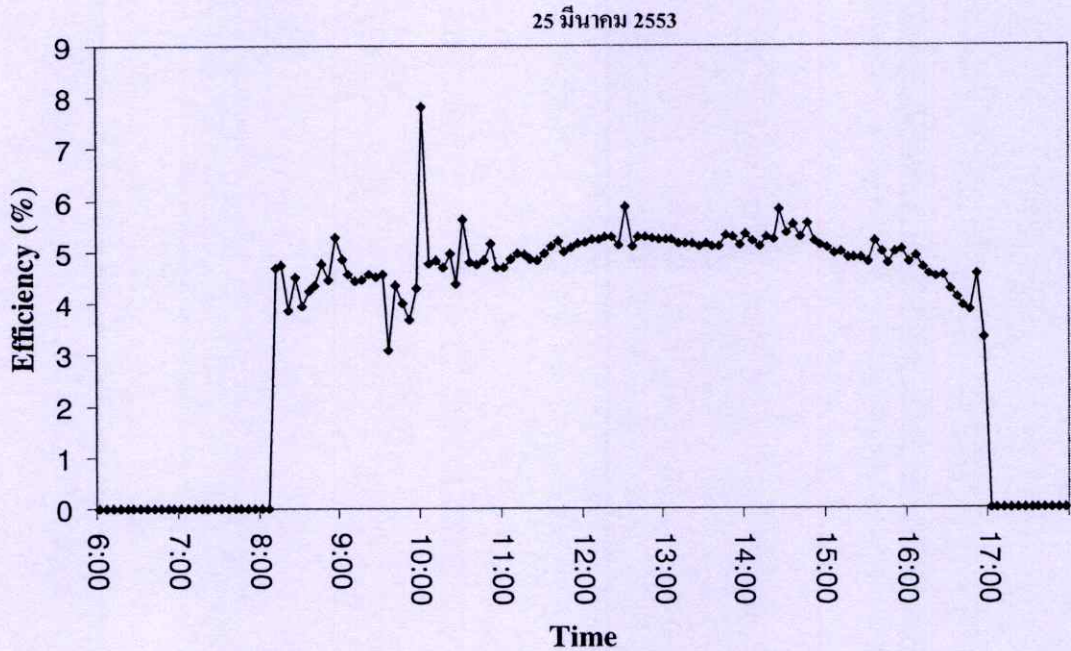
4.20.5 ค่าฟิลแฟกเตอร์ที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน



รูปที่ 4.26 แสดงกราฟฟิลแฟกเตอร์ที่วัดได้ ทุกๆ 5 นาที ในหนึ่งวัน

จากรูปที่ 4.26 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลแฟกเตอร์ต่อเวลา ที่วัดได้ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 8:10 น. ถึง 17:00 น. จากรูปจะเห็นว่ากราฟจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาที่ค่าความเข้มแสงแสดมีค่าสูงๆ ค่ากระแสไฟฟ้ามักมีค่ามาก ซึ่งเป็นช่วงเวลาประมาณ 10:00 น. ถึง 14:00 น. มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.55 ส่วนในช่วงเวลา 8:10 น. ถึงเวลา 9:00 น. และเวลา 16:00 น. ถึง 17:00 น. ค่าฟิลแฟกเตอร์จะมีค่าน้อยเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกเงาต้นไม้ที่ปลูกไว้บริเวณโดยรอบสถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บังบางส่วน

4.20.6 ค่าประสิทธิภาพของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก

จากรูปที่ 4.27 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเวลา จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาประมาณ 11:00 น. ถึง 15:00 น. และจะมีค่าน้อยเมื่อค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย ในช่วงเวลาประมาณ 8:10 น. ถึง 10:00 น. และ ในช่วงเวลาประมาณ 15:00 น. ถึง 17:00 น.

บทที่ 5

บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินงานการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ตลอดจนปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินงาน รวมถึงผลการทดสอบเครื่องมือวัดที่ได้พัฒนาขึ้น นอกจากนี้ในส่วนท้ายของบทยังได้เสนอข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการวิจัยและพัฒนาเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก

1. เครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก จะประกอบด้วย สามส่วนหลัก คือ (1) โมดูลการวัดความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิ จะถูกติดตั้งใกล้กับสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ใช้สำหรับวัดค่าความเข้มของแสงแดด อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของอากาศ (2) โมดูลการวัดค่าสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า จะทำหน้าที่วัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะถูกส่งให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม และจะถูกบันทึกให้อยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์ (3) ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องวัดและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลข้อมูล จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัด และประมวลผลข้อมูลเพื่อหาสมการตัวแทนของกระแสและแรงดันไฟฟ้า สมการตัวแทนที่ได้จะใช้ในการคำนวณหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก

2. การหาค่าอุณหภูมิ จะใช้หัววัดอุณหภูมิ DS1820 วัดค่าอุณหภูมิทั้งหมดสองค่า คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศ และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนค่าความเข้มแสงแดดจะวัดด้วยไพราโนมิเตอร์ ข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสงแดดจะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านกล่องรับข้อมูลทางบัสมาตรฐาน RS-485

3. การวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกจะทำโดยการวัดขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณ และแปลงขนาดของแอมพลิจูดที่วัดได้ไปเป็นข้อมูลดิจิทัลด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จะถูกบันทึกลงในแฟ้มข้อมูลเท็กซ์ไฟล์ (*.xls)

4. ข้อมูลดิบกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์จะถูกนำไปวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาสมการตัวแทนด้วยการประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด โดยสมการตัวแทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีตัวแบบเป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังห้า สมการตัวแทนที่ได้จะนำไปใช้หาค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิก อันได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด ค่าฟิลแฟกเตอร์ ค่าแรงคั้นวงจรเปิด ค่ากระแสลัดวงจร และค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ค่าที่คำนวณได้จะถูกบันทึกพร้อมกับค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิลงในเท็กซ์ไฟล์ (*.xls) ที่มีชื่อเป็นวันที่ทำการวัดเพื่อเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิกต่อไป

5. สมการตัวแทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิกจะมีสมการตัวแทนเป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังที่ 5 ดังสมการ

$$\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 \quad (5.1)$$

โดยที่ ค่า x คือค่าแรงดันไฟฟ้าจากข้อมูลดิบ และ \hat{y} คือค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้จากสมการตัวแทนค่า การหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 และ a_5 จะใช้สมการปกติ 6 สมการ ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขตามวิธีการแยกเป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยมมาช่วยในการหาค่า โดยสมการปกติสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 \\ \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 \\ \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 \\ \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \\ \sum x^5y \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลที่นำมาคำนวณทั้งหมด y คือข้อมูลดิบกระแสไฟฟ้าที่วัดมาได้ สมการตัวแทนที่ได้ จะถูกนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพื่อทดสอบว่าสมการตัวแทนที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด สมการตัวแทนที่น่าเชื่อถือจะใช้ในการคำนวณหาค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญของสตรึงของแผงโฟโตโวลตาอิกต่อไป

6. การทำงานของเครื่องวัด จะทำการวัดอย่างอัตโนมัติทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. และเก็บข้อมูลความเข้มแสงแดด อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ให้อยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์ โดยมีชื่อเป็นวันและเวลาที่ทำการวัด ในการประมวลผลและบันทึกค่าลักษณะสมบัติ จะกระทำหลังจากเวลา 18:00 น. ของทุกวัน ค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกเก็บอยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์ โดยมีชื่อเป็นวันที่ทำการวัด

7. เท็กซ์ไฟล์ค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกจะประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ 11 ข้อมูล อันได้แก่ วันที่ทำการวัด เวลาทำการวัด ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ค่าแรงคั้นวงจรเปิด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ค่ากำลังไฟฟ้าออกสูงสุด ค่าฟิลแฟกเตอร์ ค่าความเข้มแสงแดด ค่าอุณหภูมิอากาศ ค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าประสิทธิภาพ

8. การทดลองจะทำการวัดและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาสี่เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึง เดือนมกราคม 2553 และนำข้อมูลของปริมาณแสงแดดที่ตกกระทบลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวัน ข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละวันมาเขียนกราฟเปรียบเทียบ พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงแดดที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนมีค่าไม่เท่ากัน โดยในเดือนตุลาคม 2552 เป็นเดือนที่อยู่ในฤดูฝน มีวันที่มีเมฆมาก และฝนตกในช่วงเวลากลางวัน หลายวัน อีกทั้งยังมีอุณหภูมิสูงอีกด้วย ทำให้ในเดือนนี้มีค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงแดดที่ตกกระทบลงบนเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยที่สุดเพียง $4,658 \text{ Wh/m}^2/\text{day}$ มีค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันตลอดเดือนเท่ากับ $2,736 \text{ Wh/day}$ สำหรับในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม 2552 และเดือนมกราคม 2553 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงแดดที่ตกกระทบลงบนเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ $5,393 \text{ Wh/m}^2/\text{day}$ $5,245 \text{ Wh/m}^2/\text{day}$ และ $4,980 \text{ Wh/m}^2/\text{day}$ ค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันตลอดเดือน ในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม 2552 และเดือนมกราคม 2553 มีค่าเป็น $4,124 \text{ Wh/day}$ $4,069 \text{ Wh/day}$ และ $4,165 \text{ Wh/day}$ ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟในหัวข้อที่ 4.15 ถึง 4.19

9. จากกราฟในหัวข้อ 4.18 ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกจากสี่เดือนที่ทำการทดลองวัด พบว่าในเดือนตุลาคม 2552 มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในแต่ละวันน้อยที่สุด ประมาณ 4.43 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในเดือนนี้มีฝนตกและมีเมฆมากในเวลากลางวัน ส่วนในเดือนมกราคม 2553 มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงที่สุด ประมาณ 6.66 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในนี้ สภาพท้องฟ้าปลอดโปร่ง ปริมาณแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน มีความสม่ำเสมอ มากกว่าเดือนอื่นที่ทำการวัด

10. ค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีผลต่อค่ากระแสลัดวงจร และค่ากระแสสูงสุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.4 โดยที่ ถ้าค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามาก ค่ากระแสลัดวงจรและค่ากระแสสูงสุดก็จะมีค่ามาก แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าปริมาณแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย ค่ากระแสลัดวงจรและค่ากระแสสูงสุดก็จะมีค่าน้อย ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ในเดือนตุลาคม 2552 ซึ่งเป็นเดือนในฤดูฝน สภาพท้องฟ้าไม่ปลอดโปร่ง ปริมาณแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำมากหรืออาจไม่ได้เลย จึงส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยตลอดทั้งวันของการแปลงพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันตลอดเดือนนี้ มีค่าต่ำที่สุด ในบรรดาเดือนที่ทำการวัดค่าทั้งหมดสี่เดือน

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

1. ปัญหาที่พบในระหว่างขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือวัด ก็คือขนาดของหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51AC3 ซึ่งมีขนาด 1,792 ไบต์ เก็บข้อมูลดิจิทัลของกระแสและแรงดันไฟฟ้า 1 ค่า จำนวน 4 ไบต์ นั่นคือเก็บข้อมูลดิจิทัลได้ไม่เกิน 450 ค่า ทำให้ได้สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าเพียง 1 รูปคลื่นสัญญาณเท่านั้น หากการวัดสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าเกิดมีช่วงสัญญาณผิดพลาด ก็จะทำให้การประมวลผลหาค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกไม่ถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลกับค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก ดังนั้นจึงแก้ไขด้วยการต่อเพิ่มหน่วยความจำภายนอกด้วยแรมความเร็วสูง เพื่อให้เก็บสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นเป็น 4 รูปคลื่นสัญญาณ แล้วใช้สัญญาณที่เก็บได้เพียง 3 รูปคลื่นสัญญาณ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงปริมาณที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์การถดถอย สำหรับหาสมการตัวแทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกที่น่าเชื่อถือที่สุดออกมา

2. เนื่องจากเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นนี้จะพยายามออกแบบให้สามารถใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาส่วนบุคคล(Note Book) เพื่อให้นำไปวัดค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกได้ ซึ่งคอมพิวเตอร์ประเภทนี้จะมีพอร์ต USB เป็นพอร์ตติดต่อสื่อสารภายนอก การจะเชื่อมต่อไอซี SN75176 โดยตรงกับพอร์ต USB นั้นทำได้ยาก จึงอาศัยกล่องติดต่อสื่อสารมาช่วยในการติดต่อสื่อสารกับโมดูลวัดค่าความเข้มแสงแดดและค่าอุณหภูมิ หากใช้คอมพิวเตอร์ที่มีพอร์ตอนุกรม อาจดัดแปลงพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เชื่อมต่อกับไอซี 75176 โดยตรง และตัดกล่องสื่อสารข้อมูลออกจากระบบได้

5.3 แนวทางในการพัฒนางานวิจัย

1. เนื่องจากเครื่องวัดลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกที่พัฒนาขึ้น ยังต้องอาศัยการคัดลอกเท็กซ์ไฟล์ข้อมูลคิบกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการวัดค่าของเครื่องมือวัด ดังนั้นเพื่อการอำนวยความสะดวกให้มากขึ้นอาจติดตั้งเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และติดตั้งเว็บเซิร์ฟเวอร์ เพื่อที่จะส่งเท็กซ์ไฟล์ข้อมูลคิบผ่านทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือดาวน์โหลดเท็กซ์ไฟล์ข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์ หรือสร้างเว็บไซต์เพื่อทำการประมวลผลและแสดงค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าบนหน้าเว็บไซต์ เพื่อให้สามารถดูผลของค่าลักษณะสมบัติที่สำคัญได้ตลอดเวลา ทุกสถานที่ แต่การทำเช่นนี้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องวัด จะต้องมีคุณภาพที่ดี มีขนาดหน่วยความจำที่มากพอสมควร ซึ่งผิดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เก่าที่เลิกใช้ไปแล้ว เนื่องจากมีขนาดหน่วยความจำและขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์น้อย มาเป็นเครื่องควบคุม

2. เนื่องจากการต่อหน่วยความจำภายนอกทำให้ต้องใช้เวลาในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้จำนวนของจุดต่อสัญญาณที่เก็บได้มีจำนวนน้อยลง ดังนั้นการพัฒนางานวิจัยต่อไปอาจจะเปลี่ยนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ภายในกล่องวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ไปเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำภายในที่มากกว่า 8 กิโลไบต์ เช่น PIC24FJ64GA004 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต มีหน่วยความจำภายใน 8 กิโลไบต์ เพื่อให้เก็บค่าข้อมูลได้จำนวนจุดต่อสัญญาณที่มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลในการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาสมการตัวแทนที่ถูกต้องมากขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติกระแสแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกก็จะดีขึ้นตามไปด้วย

3. เนื่องจากแผงโฟโตโวลตาอิกที่ใช้ในการวัดทดสอบเครื่องวัด ถูกติดตั้งมาเป็นเวลานานหลายปี ดังนั้นจึงควรนำแผงโฟโตโวลตาอิกแต่ละแผงไปทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยการฉายแสงที่มีสเปกตรัมคล้ายกับสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ และควบคุมอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ที่ 25°C เพื่อคว่ามีแผงโฟโตโวลตาอิกแผงใดบางที่เสื่อมคุณภาพลงไป และยังใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบและปรับแต่งเครื่องวัดลักษณะสมบัติต่อไป

4. ในการวิจัยขั้นต่อไปอาจจะทำการทดลองเพิ่มหรือลดจำนวนแผงโฟโตโวลตาอิกแล้วทดลองวัดค่าลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก เพื่อหาว่าจำนวนของแผงโฟโตโวลตาอิกจำนวนเท่าใด จึงจะเหมาะสมที่จะทำให้สตริงของแผงโฟโตโวลตาอิกสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Markvart T. editor 1996. **Solar Electricity**. New York : John Wiley & Sons
- [2] W.Khunchronyakong. "Solartron PV Production and Testing Facilities." **Second ASEAN Renewable Energy Conference**, 5-9 November 1997, Proceedings I, pp. 141-147
- [3] สันติ หวังนิพนพานโต, วิฑูรย์ อบรม, อติศักดิ์ หวังหนับ, พงศ์พันธ์ กัลป์ป้า, สมเกียรติ พระแก้ว. "การพัฒนาเครื่องมือวัด IV-CURVE สำหรับทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27-29 กรกฎาคม 2549. หน้า 123-1-4
- [4] W.Sirichote, W.Tantraporn and N.Saengkaew, **Apparatus and Method for Providing Supplemental Alternating Current from a Solar Cell Array**. U.S. Patent 5,898,595, April 27, 1999.
- [5] Tapan Bhattacharya. 1998 **Terrestrial Solar Photovoltaics**. New Delhi : Narosa Publishing House
- [6] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery. 1992. **Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computer**. 2nd ed. : University of Cambridge,
- [7] ภคินี ยิมเรวัต. การวิเคราะห์เชิงตัวเลข. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] กิตติ ภักดีวัฒนกุล, จำลอง ครูอุตสาหะ. 2543. **Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร : เคพีที คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์
- [9] นคร ภักดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. **ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C ฉบับ P89V51RD2**. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์
- [10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2548. **คู่มือข้อมูลมาตรฐานภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในงานด้านพลังงานทดแทน**. กรุงเทพมหานคร : จีรังรัชต์
- [11] อติชัย โทวิชา. 2545 **การวิเคราะห์การถดถอย**. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ภาคผนวก

(ตัวอย่างของข้อมูลลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า
ของสตริงของแผงโฟโตโวลตาอิก)

Date	Time	Vmax	Imax	Voc	Isc	Pmax	FF	Irradiance	Temp1	Tcell	Efficiency
2/12/52	6:00	0	0	0	0	0	0	22.1	30.5	28	0
2/12/52	6:05	0	0	0	0	0	0	20.4	23.5	20.5	0
2/12/52	6:10	0	0	0	0	0	0	23.8	23.5	20.5	0
2/12/52	6:15	0	0	0	0	0	0	22.1	23.5	20.5	0
2/12/52	6:20	0	0	0	0	0	0	25.5	23.5	20.5	0
2/12/52	6:25	0	0	0	0	0	0	15.2	23.5	20.5	0
2/12/52	6:30	0	0	0	0	0	0	35.8	23.5	21	0
2/12/52	6:35	0	0	0	0	0	0	35.8	23.5	21	0
2/12/52	6:40	0	0	0	0	0	0	71.1	23.5	21	0
2/12/52	6:45	0	0	0	0	0	0	62.0	23.5	21.5	0
2/12/52	6:50	0	0	0	0	0	0	88.2	24	21.5	0
2/12/52	6:55	0	0	0	0	0	0	226.7	24	22	0
2/12/52	7:00	0	0	0	0	0	0	100.7	24.5	22	0
2/12/52	7:05	0	0	0	0	0	0	123.5	24.5	22.5	0
2/12/52	7:10	0	0	0	0	0	0	135.5	25	23	0
2/12/52	7:15	0	0	0	0	0	0	133.2	25	23.5	0
2/12/52	7:20	0	0	0	0	0	0	135.5	25.5	24	0
2/12/52	7:25	287.4	0.295	381.8	0.333	84.8	0.668	180.5	25	24	4.82
2/12/52	7:30	288.3	0.347	383.5	0.394	100.2	0.663	193.1	25.5	24.5	5.33
2/12/52	7:35	296	0.43	386.3	0.478	127.3	0.69	228.4	26	25	5.72
2/12/52	7:40	294	0.485	387.4	0.549	142.5	0.67	247.2	26.5	26	5.92
2/12/52	7:45	296.8	0.541	388.7	0.61	160.7	0.678	265.5	27	26.5	6.22
2/12/52	7:50	298.6	0.593	389.5	0.669	177.1	0.68	283.7	27	27	6.41
2/12/52	7:55	300.7	0.646	391.1	0.722	194.1	0.687	290.5	28	28	6.86
2/12/52	8:00	304.7	0.702	392.3	0.774	213.8	0.704	319.6	27	27.5	6.87
2/12/52	8:05	300.8	0.693	392.1	0.777	208.5	0.685	306.5	27.5	27.5	6.99
2/12/52	8:10	304.9	0.812	394.4	0.907	247.5	0.692	351.0	27	27.5	7.24
2/12/52	8:15	304.4	0.871	394.9	0.977	265.3	0.688	364.1	27.5	28	7.48
2/12/52	8:20	305.2	0.948	395.3	1.059	289.4	0.691	388.6	27	28	7.65
2/12/52	8:25	306.4	1.023	395.2	1.144	313.4	0.693	410.2	27.5	29	7.85
2/12/52	8:30	305.5	1.081	394.4	1.206	330.1	0.694	422.8	27.5	30	8.02

Date	Time	Vmax	I _{max}	V _{oc}	I _{sc}	P _{max}	FF	Irradiance	Temp1	T _{cell}	Efficiency
2/12/52	8:35	307.3	1.131	395	1.263	347.6	0.697	433.0	28	31	8.24
2/12/52	8:40	306.3	1.203	395.3	1.354	368.5	0.688	457.0	28	31	8.28
2/12/52	8:45	300.3	1.267	394.7	1.414	380.4	0.682	474.1	28	31.5	8.24
2/12/52	8:50	303	1.316	394.5	1.482	398.8	0.682	494.0	28.5	32.5	8.29
2/12/52	8:55	303.5	1.39	395.9	1.558	421.8	0.684	504.9	28.5	33	8.58
2/12/52	9:00	302.3	1.455	395	1.64	440.0	0.679	527.7	28	33	8.57
2/12/52	9:05	304.3	1.488	394.5	1.691	452.7	0.679	541.3	29	34	8.59
2/12/52	9:10	304.5	1.558	396.3	1.753	474.3	0.683	557.9	29	35	8.73
2/12/52	9:15	300.3	1.627	394.3	1.828	488.5	0.678	565.3	28.5	34	8.88
2/12/52	9:20	298.8	1.676	393	1.88	501.0	0.678	575.0	29.5	36	8.95
2/12/52	9:25	298.2	1.72	393.3	1.929	513.0	0.676	597.2	29	37	8.82
2/12/52	9:30	300.2	1.773	395.3	1.991	532.3	0.676	593.8	29.5	37.5	9.21
2/12/52	9:35	298.3	1.832	393.9	2.056	546.4	0.675	630.8	29	36.5	8.9
2/12/52	9:40	295.9	1.883	392.2	2.116	557.3	0.672	631.4	30	38	9.07
2/12/52	9:45	293.9	1.912	390.8	2.148	562.0	0.67	649.6	30	39	8.89
2/12/52	9:50	295.4	1.98	392.4	2.221	585.0	0.671	676.4	30.5	40	8.89
2/12/52	9:55	295.3	2.003	393.3	2.253	591.3	0.667	673.6	30.5	39	9.02
2/12/52	10:00	293.9	2.048	392.8	2.306	601.9	0.664	671.9	30	37.5	9.2
2/12/52	10:05	292.9	2.114	394.4	2.365	619.3	0.664	699.8	30	39	9.09
2/12/52	10:10	293.4	2.144	394.5	2.405	629.1	0.663	708.9	30	38	9.12
2/12/52	10:15	293.1	2.195	394.2	2.473	643.4	0.66	721.5	30	38.5	9.16
2/12/52	10:20	292.9	2.181	392.5	2.48	638.9	0.656	723.2	30.5	39	9.08
2/12/52	10:25	290.6	2.227	392	2.504	647.1	0.659	730.0	30.5	40.5	9.11
2/12/52	10:30	288.9	2.296	392.4	2.583	663.5	0.655	756.2	30.5	40.5	9.01
2/12/52	10:35	287.3	2.304	390.2	2.605	661.9	0.651	731.7	31	40	9.29
2/12/52	10:40	282.8	2.338	388.1	2.64	660.9	0.645	772.7	31.5	41.5	8.79
2/12/52	10:45	283.2	2.389	389.2	2.7	676.5	0.644	777.9	32	44	8.93
2/12/52	10:50	282.4	2.426	388.9	2.739	685.1	0.643	785.9	32.5	43	8.96
2/12/52	10:55	283.7	2.416	389.9	2.75	685.2	0.639	796.7	32	42.5	8.84
2/12/52	11:00	282.3	2.478	390.1	2.798	699.3	0.641	795.0	31.5	42	9.04
2/12/52	11:05	281.9	2.477	389.3	2.805	698.3	0.639	803.0	32	42.5	8.93

Date	Time	Vmax	I _{max}	V _{oc}	I _{sc}	P _{max}	FF	Irradiance	Temp1	T _{cell}	Efficiency
2/12/52	11:10	281.3	2.506	389.6	2.839	704.8	0.637	821.8	32	43	8.81
2/12/52	11:15	281.8	2.534	390.4	2.879	714.2	0.635	838.9	32	43	8.75
2/12/52	11:20	278.9	2.547	387.7	2.889	710.3	0.634	825.2	31.5	42.5	8.84
2/12/52	11:25	279.4	2.565	388.7	2.918	716.6	0.632	844.0	32.5	45	8.72
2/12/52	11:30	275.8	2.571	385.9	2.916	708.9	0.63	852.0	32.5	44.5	8.55
2/12/52	11:35	275.3	2.57	385.1	2.932	707.5	0.626	840.0	33.5	46.5	8.65
2/12/52	11:40	278.2	2.584	388.6	2.933	718.7	0.631	834.3	33.5	47	8.85
2/12/52	11:45	280.2	2.563	390.3	2.899	718.0	0.635	835.4	32.5	43.5	8.83
2/12/52	11:50	276.7	2.579	386.4	2.933	713.4	0.629	834.9	32.5	42.5	8.78
2/12/52	11:55	274.9	2.563	384.9	2.915	704.6	0.628	826.3	34	46	8.76
2/12/52	12:00	273.8	2.588	384.4	2.948	708.7	0.625	838.9	34	46.5	8.68
2/12/52	12:05	274.3	2.57	383.6	2.938	704.8	0.625	829.7	34.5	47.5	8.73
2/12/52	12:10	274.9	2.618	384.7	2.988	719.6	0.626	856.0	34	47	8.64
2/12/52	12:15	273.9	2.554	382.8	2.905	699.5	0.629	821.8	33.5	46.5	8.74
2/12/52	12:20	272.3	2.569	381.7	2.924	699.3	0.627	827.5	34	47	8.68
2/12/52	12:25	275.1	2.618	385.2	2.987	720.3	0.626	854.3	34.5	48.5	8.66
2/12/52	12:30	275.4	2.556	384.5	2.905	704.1	0.63	834.9	34	46	8.66
2/12/52	12:35	276.2	2.598	386.3	2.954	717.4	0.629	828.0	34	46	8.9
2/12/52	12:40	277.3	2.591	387.1	2.934	718.4	0.632	840.0	33.5	45	8.79
2/12/52	12:45	278.3	2.525	387	2.854	702.9	0.636	812.1	33.5	44.5	8.89
2/12/52	12:50	278.8	2.535	388.2	2.869	706.9	0.635	824.6	34.5	44.5	8.81
2/12/52	12:55	274.8	2.533	383.8	2.875	696.2	0.631	814.4	33.5	44	8.78
2/12/52	13:00	279	2.519	387.3	2.88	702.7	0.63	810.9	35.5	47.5	8.9
2/12/52	13:05	275.9	2.54	385.5	2.898	700.8	0.627	826.3	34	44.5	8.71
2/12/52	13:10	279.4	2.487	387.7	2.803	695.0	0.639	806.4	34	45.5	8.85
2/12/52	13:15	278.8	2.39	385.8	2.684	666.3	0.643	815.5	33.5	44	8.39
2/12/52	13:20	278.6	2.419	385.8	2.724	673.9	0.641	785.3	34	45	8.82
2/12/52	13:25	279	2.315	384.5	2.597	645.8	0.647	753.9	34.5	45	8.8
2/12/52	13:30	280.8	2.252	384.8	2.529	632.4	0.65	755.1	34.5	45.5	8.6
2/12/52	13:35	280.3	2.331	385.9	2.616	653.4	0.647	735.1	35	46	9.13
2/12/52	13:40	281.3	2.23	385.1	2.501	627.2	0.651	737.4	34	45	8.74

Date	Time	Vmax	Imax	Voc	Isc	Pmax	FF	Irradiance	Temp1	Tcell	Efficiency
2/12/52	13:45	281.9	2.251	386	2.529	634.6	0.65	726.6	34.5	44.5	8.97
2/12/52	13:50	282.5	2.252	386.5	2.537	636.3	0.649	734.0	34.5	44.5	8.91
2/12/52	13:55	284.9	2.126	385.9	2.409	605.7	0.652	709.5	34.5	43.5	8.77
2/12/52	14:00	286.6	2.138	388	2.401	612.8	0.658	698.7	35	44	9.01
2/12/52	14:05	286	2.114	387.1	2.371	604.6	0.659	725.4	34	42.5	8.56
2/12/52	14:10	283.8	2.116	385.1	2.375	600.5	0.657	700.4	34.5	43.5	8.81
2/12/52	14:15	288.4	2.057	388	2.302	593.4	0.664	671.3	34.5	44.5	9.08
2/12/52	14:20	288.8	2.025	387.4	2.267	584.8	0.666	661.0	33.5	41.5	9.09
2/12/52	14:25	289.9	1.964	388.9	2.185	569.3	0.67	663.3	34	42.5	8.82
2/12/52	14:30	290.6	1.892	387.8	2.111	549.6	0.672	620.0	33.5	40.5	9.11
2/12/52	14:35	290.8	1.728	386.1	1.923	502.3	0.677	591.5	34.5	41	8.72
2/12/52	14:40	294	1.782	389.5	1.98	523.8	0.679	649.6	34.5	41	8.28
2/12/52	14:45	293.9	1.787	389	1.992	525.1	0.678	616.6	34	39.5	8.75
2/12/52	14:50	293.7	1.682	387.8	1.873	494.0	0.68	563.0	34.5	40	9.01
2/12/52	14:55	294.4	1.608	387.9	1.793	473.3	0.68	564.7	34	40	8.61
2/12/52	15:00	294.9	1.611	388.8	1.791	475.1	0.682	566.4	34	39.5	8.62
2/12/52	15:05	296.2	1.52	389.4	1.688	450.1	0.685	548.2	33.5	38.5	8.43
2/12/52	15:10	296	1.498	387.5	1.661	443.3	0.689	561.9	33.5	38	8.1
2/12/52	15:15	297	1.427	386.5	1.583	423.9	0.693	519.1	34	39	8.39
2/12/52	15:20	296.4	1.356	386.2	1.505	402.1	0.692	504.9	34	39	8.18
2/12/52	15:25	296.3	1.293	385.4	1.427	383.1	0.696	486.6	33.5	39	8.09
2/12/52	15:30	294.5	1.255	383.6	1.386	369.6	0.695	469.0	34	39	8.1
2/12/52	15:35	295.3	1.194	383.6	1.316	352.5	0.698	454.1	34.5	40	7.97
2/12/52	15:40	296.8	1.13	385.3	1.247	335.3	0.698	438.2	34	39	7.86
2/12/52	15:45	298.9	1.069	385.1	1.187	319.5	0.699	412.0	33.5	37	7.97
2/12/52	15:50	296.8	1.004	383.5	1.109	298.0	0.701	384.6	33.5	37	7.96
2/12/52	15:55	296.5	0.928	382.7	1.017	275.0	0.707	390.9	34	37.5	7.23
2/12/52	16:00	295.7	0.877	382.3	0.964	259.4	0.704	368.6	33.5	36.5	7.23
2/12/52	16:05	293.8	0.788	381.1	0.863	231.4	0.704	336.7	33.5	37	7.06
2/12/52	16:10	294.7	0.719	380.4	0.786	211.9	0.708	307.1	33.5	36	7.09
2/12/52	16:15	293.4	0.669	379.4	0.733	196.2	0.706	292.3	33.5	35.5	6.9

Date	Time	Vmax	Imax	Voc	Isc	Pmax	FF	Irradiance	Temp1	Tcell	Efficiency
2/12/52	16:20	290.2	0.554	377	0.609	160.9	0.701	270.0	33.5	35.5	6.12
2/12/52	16:25	288.5	0.486	375.5	0.529	140.1	0.705	238.1	33	34.5	6.04
2/12/52	16:30	284.7	0.453	375	0.495	128.9	0.694	217.6	33	34	6.09
2/12/52	16:35	283.7	0.395	373.5	0.432	112.0	0.694	219.3	33	33.5	5.25
2/12/52	16:40	282.2	0.382	373.1	0.422	107.8	0.685	202.8	32.5	32.5	5.46
2/12/52	16:45	274.8	0.339	371.5	0.373	93.1	0.673	197.6	32.5	32.5	4.84
2/12/52	16:50	219	0.264	368.4	0.301	57.8	0.522	165.2	32.5	32	3.6
2/12/52	16:55	0	0	0	0	0	0	88.8	32.5	32	0
2/12/52	17:00	0	0	0	0	0	0	71.1	32	31	0
2/12/52	17:05	0	0	0	0	0	0	67.1	32	30.5	0
2/12/52	17:10	0	0	0	0	0	0	80.2	31.5	30	0
2/12/52	17:15	0	0	0	0	0	0	46.6	31.5	30	0
2/12/52	17:20	0	0	0	0	0	0	46.0	31	29.5	0
2/12/52	17:25	0	0	0	0	0	0	42.0	31	29.5	0
2/12/52	17:30	0	0	0	0	0	0	38.0	31	29	0
2/12/52	17:35	0	0	0	0	0	0	77.9	31	29	0
2/12/52	17:40	0	0	0	0	0	0	25.5	30.5	28.5	0
2/12/52	17:45	0	0	0	0	0	0	27.2	30.5	28.5	0
2/12/52	17:50	0	0	0	0	0	0	23.2	30.5	28.5	0
2/12/52	17:55	0	0	0	0	0	0	3.8	30.5	28	0

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-นามสกุล	นายกรวัฏ ชนกิติวิรุฬ
วัน เดือน ปีเกิด	20 มิถุนายน 2516 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	831 ซอยประชาอุทิศ 20 ถนน ประชาอุทิศ แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10310
ประวัติการศึกษา	2538 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2538-ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร