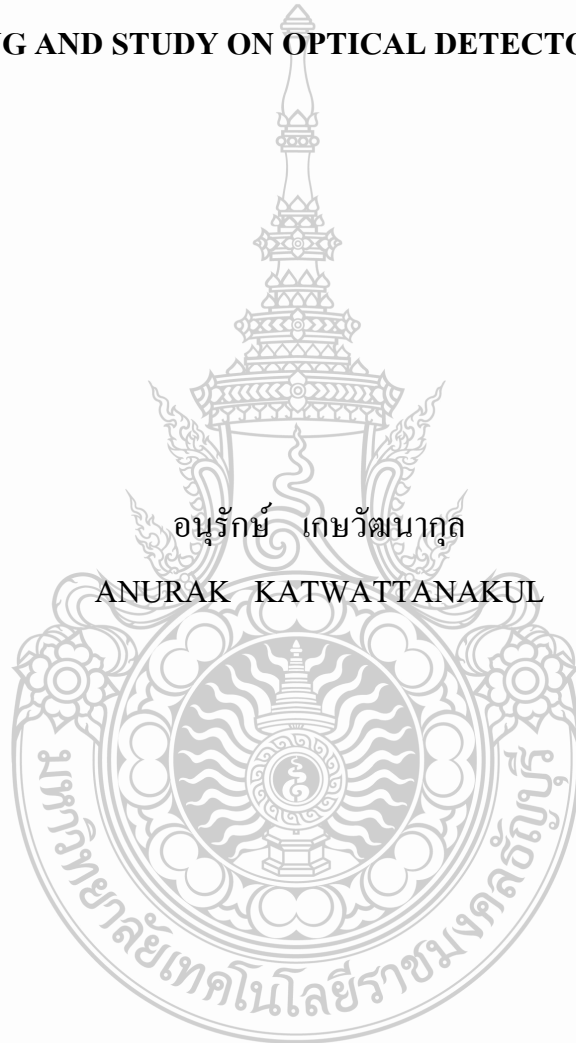


การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์  
และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง

**MICROCONTROLLER APPLICATION FOR SOLAR PANEL PARAMETERS  
MEASURING AND STUDY ON OPTICAL DETECTOR BEHAVIORS**



อนรรักษ์ เกษวัฒนากุล

ANURAK KATWATTANAKUL

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ.2553

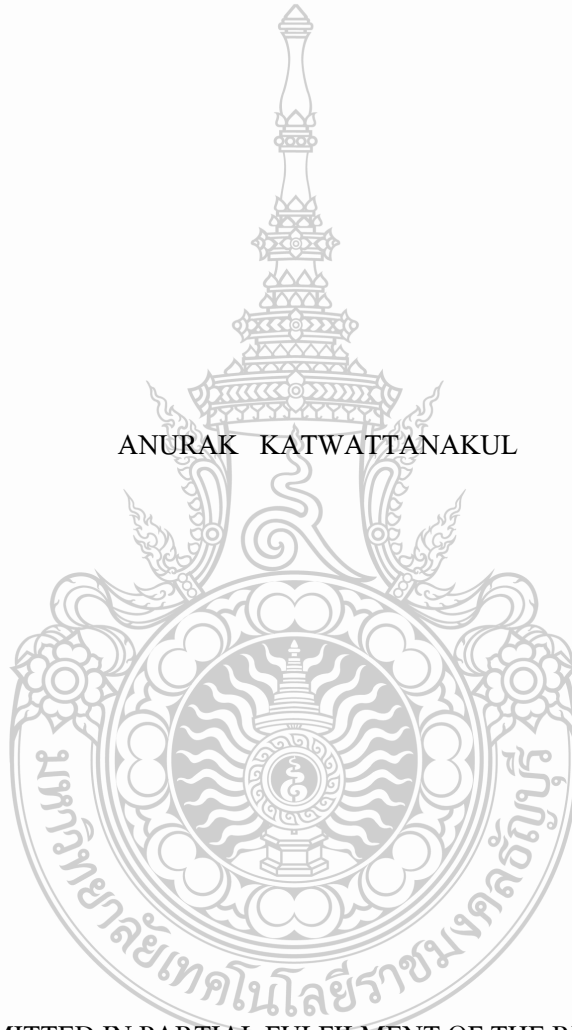
การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์  
และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลฉะบuri  
พ.ศ.2553

**MICROCONTROLLER APPLICATION FOR SOLAR PANEL PARAMETERS  
MEASURING AND STUDY ON OPTICAL DETECTOR BEHAVIORS**

ANURAK KATWATTANAKUL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ  
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายอนุรักษ์ เกษวัฒนากุล







# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง  
MICROCONTROLLER APPLICATION FOR SOLAR PANEL PARAMETERS MEASURING AND STUDY ON OPTICAL DETECTOR BEHAVIORS

ชื่อนักศึกษา

นายอนุรักษ์ เกษวัฒนากุล

รหัสประจำตัว

115170420118-5

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล

วัน เดือน ปี ที่สอบ

5 ตุลาคม 2553

สถานที่สอบ

ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ณรงค์ บวบทอง)

.....กรรมการ  
(ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์)

.....กรรมการ  
(ดร.สุรินทร์ แหวมงาม)

.....กรรมการ  
(ดร. ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย หิรัญวโรดม)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง
ชื่อนักศึกษา	นายอนุรักษ์ เกษวัฒนากุล
รหัสประจำตัว	115170420118-5
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า แขนง วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. นิตร์ชัย สุขพิทักษ์สกุล

### บทคัดย่อ

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ กระแส แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์ จะถูกวัดและบันทึกค่าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินระบบในด้านต่างๆ ทั้งในห้องปฏิบัติการและสถานที่ที่ทำการติดตั้ง โดยเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ส่วนมากจะมีขนาดใหญ่และไม่สะดวกในการนำไปใช้นอกห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานที่ติดตั้งที่อยู่ห่างไกลและไม่มีระบบไฟฟ้าไปถึง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้วัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถใช้งานได้ภายใต้ข้อจำกัดที่กล่าวมา รวมไปถึงการศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง อาทิเช่น โฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโตไดโอด LDR และเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก เพื่อนำมาใช้แทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสง (ไพราโนมิเตอร์) ที่ยังมีราคาแพง

จากผลการวิจัยได้เครื่องวัดต้นแบบที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบการวัดพารามิเตอร์ของเครื่องวัดที่นำเสนอ และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในส่วนของการศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กให้ผลใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดความเข้มแสงต้นแบบ และน่าจะนำไปใช้แทนได้ในระดับหนึ่ง

คำสำคัญ เซลล์แสงอาทิตย์, ไมโครคอนโทรลเลอร์, ไพราโนมิเตอร์

**Thesis Title :** MICROCONTROLLER APPLICATION FOR SOLAR  
PANEL PARAMETERS MEASURING AND STUDY  
ON OPTICAL DETECTOR BEHAVIORS

**Student Name :** Mr. Anurak Katwattanakul

**Student ID :** 115170420118-5

**Degree Award :** Master of Engineering

**Study Program :** Electrical Engineering  
(Electrical Power Engineering)

**Academic Year :** 2010

**Thesis Advisor :** Dr. Chatchai Suppitaksakul

### **ABSTRACT**

In testing of a solar cell panel, the fundamental parameters of the panel such as current, potential, temperature and solar radiation are measured and recorded. There are used in analysis and evaluation of both solar cell system that installed in the laboratory and the application area. It is found that most of the existing instrument are inconvenient to employ outside the laboratory and in particularly the area where no electrical supply.

This study presents a prototype of the measuring set using microcontroller that can cover the limitation of the used of the existing instrument. Also, study on property and behavior of optical detectors such as phototransistor, photodiode, LDR and small solar cell panel for using as Pyranometer which is costly.

As the result of the research, the main objective has achieved as the prototype of measuring set was obtained with the satisfactory testing results. For the study results of the optical detector, it is found that the small solar cell panel provided the output almost the same as the commercial pyranometer which used as a working standard for this study. It can conclude that the small solar cell panel could be used as the pyranometer in some degree.

**Keywords :** Solar cells, Microcontroller, Pyranometer

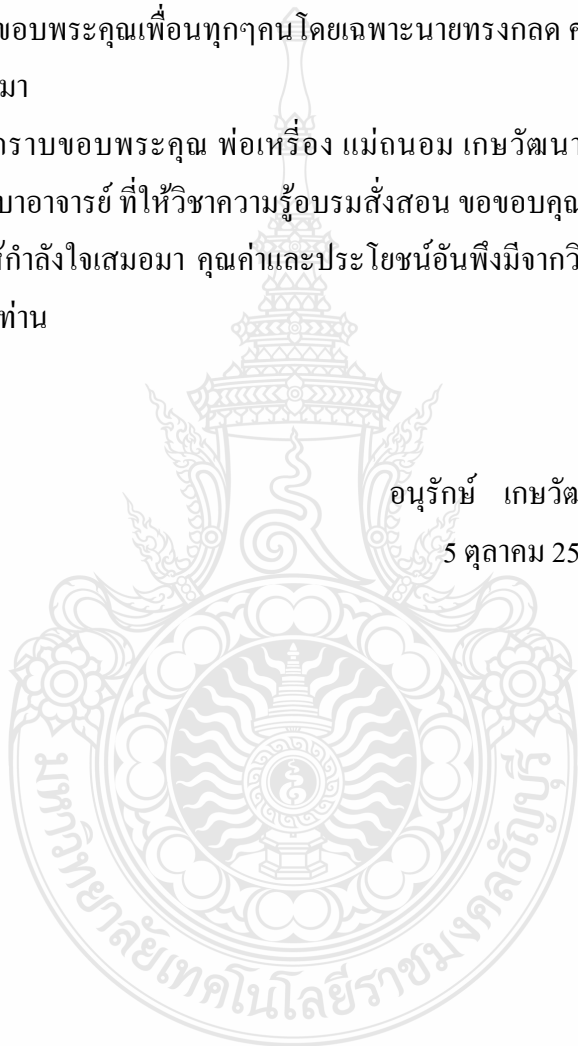
## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา และเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยเหลือแนะนำในการทำวิจัยฉบับนี้ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณเพื่อนทุกคน โดยเฉพาะนายทรงกลด ศรีปรารงค์ ที่ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อเหรี๊อง แม่ถนอม เกษวัฒนากุล ผู้ให้กำเนิด การศึกษาอนาคตที่ดี รวมทั้ง ครูบาอาจารย์ ที่ให้วิชาความรู้อบรมสั่งสอน ขอขอบคุณ วินัส เกษวัฒนากุล ภรรยาที่อดทน เข้าใจ และให้กำลังใจเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล

5 ตุลาคม 2553



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา	3
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.8 บทความที่ได้รับการเผยแพร่	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	5
2.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการวัด	8
2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาทดสอบสร้างเป็นไพราโนมิเตอร์	11
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC30F4011	15
2.5 การบันทึกข้อมูล	17
2.6 ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
2.8 สรุปทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	22
3.1 โครงสร้างของระบบที่ทำการจัดสร้างขึ้น	22
3.2 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า	23
3.3 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า	24
3.4 วงจรวัดค่าอุณหภูมิ	27
3.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์โหลด	28

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.6 วงจรวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์	31
3.7 วงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	34
3.8 สรุปวิธีการดำเนินการวิจัย	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า	36
4.2 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า	38
4.3 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าอุณหภูมิ	40
4.4 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์	42
4.5 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	84
4.6 สรุปการทดสอบและหัวข้อของการทดสอบ	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	88
5.1 สรุปผลการทดลอง	88
5.2 ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารอ้างอิง	90
ภาคผนวก	
ก โครงสร้างและการใช้งาน	92
ข รวบรวมตารางผลการทดสอบ	99
ค ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่	118
ประวัติผู้เขียน	135

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ข้อกำหนดการออกแบบตัวเครื่อง	3
3.1 การทดสอบการทำงานของโหลดปรับค่าอัตโนมัติ	31
4.1 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่าแรงดันไฟฟ้า	37
4.2 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดรับค่าแรงดันไฟฟ้า	37
4.3 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่ากระแสไฟฟ้า	38
4.4 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดรับค่ากระแสไฟฟ้า	39
4.5 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่าอุณหภูมิ	40
4.6 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดรับค่าอุณหภูมิ	42
4.7 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของไฟโด้ ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	44
4.8 การทดสอบการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 ในมุมการรับแสงที่กำหนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	53
4.9 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 13 สิงหาคม 2553	64
4.10 การทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับไพราโน มิเตอร์ต้นแบบด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจน	75
4.11 การทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ในมุมการรับแสงที่กำหนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	77
4.12 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์	83
4.13 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์	83
5.1 สรุปผลการทดสอบภาครับสัญญาณ และเซนเซอร์	88

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์	1
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ	6
2.2 มุมมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.4 ด้านทานตรวจจับกระแส	9
2.5 บล็อกไดอะแกรม TC1047A	9
2.6 กราฟแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ	10
2.7 (ก)สัญลักษณ์ (ข)ลักษณะโพลีทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 และ(ค)ลักษณะโพลีทรานซิสเตอร์แบบที่ 2	11
2.8 มุมการรับแสงของโพลีทรานซิสเตอร์แบบที่ 1	12
2.9 มุมการรับแสงของโพลีทรานซิสเตอร์แบบที่ 2	12
2.10 (ก)สัญลักษณ์ และ(ข)ลักษณะแอลดีอาร์	13
2.11 (ก)สัญลักษณ์ และ(ข)ลักษณะโพลีไดโอดชนิดอินฟราเรด	13
2.12 มุมการรับแสงโพลีไดโอดชนิดอินฟราเรด	14
2.13 (ก)สัญลักษณ์ (ข)ลักษณะโพลีไดโอดแบบที่1และ(ค)ลักษณะโพลีไดโอดแบบที่ 2	14
2.14 มุมการรับแสงโพลีไดโอดแบบที่ 1 และแบบที่ 2	15
2.15 ลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 โวลต์	15
2.16 การจัดเรียงขาสัญญาณของ dsPIC30F4011	16
2.17 อีทียูเอสบีแฟลชไดรฟ์	17
3.1 โครงสร้างของระบบที่ทำการจัดสร้างขึ้น	22
3.2 โครงสร้างของวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	23
3.3 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า	24
3.4 ผลการจำลองการทำงานของชุดวัดแรงดันไฟฟ้า	24
3.5 วงจรการต่อใช้งานชุดวัดกระแสไฟฟ้า	25
3.6 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า	27
3.7 ผลการจำลองการทำงานของชุดวัดกระแสไฟฟ้า	27
3.8 วงจรวัดค่าอุณหภูมิ	28
3.9 ผลการจำลองการทำงานของชุดค่าอุณหภูมิ	28
3.10 วงจรอิเล็กทรอนิกส์โหลด	29
3.11 ผลการจำลองการทำงานของชุดขับมอสเฟส	29



## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 ช่วงเวลาการทำงานของโพลดิปรับค่าอัตโนมัติ	29
3.13 พลังงานแสงอาทิตย์ ที่ Apogee Pyranometer สามารถวัดค่าได้	31
3.14 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากโฟโตทรานซิสเตอร์	31
3.15 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากแอลดีอาร์	32
3.16 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากโฟโต้ไดโอดชนิดอินฟาเรด	32
3.17 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากโฟโต้ไดโอด	33
3.18 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก	33
3.19 วงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011	34
4.1 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า	35
4.2 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า	37
4.3 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบชุดวัดค่าค่าอุณหภูมิ	39
4.4 การทดสอบด้วยแสงจากหลอดฮาโลเจน	42
4.5 ผลการทดสอบไพราโนมิเตอร์จากโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	44
4.6 ผลการทดสอบไพราโนมิเตอร์จากโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	45
4.7 ผลการทดสอบไพราโนมิเตอร์จากแอลดีอาร์ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	46
4.8 ผลการทดสอบโฟโต้ไดโอดชนิดอินฟาเรดด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	47
4.9 ผลการทดสอบไพราโนมิเตอร์จากโฟโต้ไดโอดแบบที่ 1 ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	48
4.10 ผลการทดสอบไพราโนมิเตอร์จากโฟโต้ไดโอดแบบที่ 2 ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	49
4.11 ผลการทดสอบไพราโนมิเตอร์จากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	50
4.12 ผลการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	51
4.13 การทดสอบด้วยการปรับมุมของหลอดฮาโลเจนทุก 10 องศา	52

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ผลการทดสอบโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	54
4.15 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1	54
4.16 ผลการทดสอบโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	55
4.17 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2	55
4.18 ผลการทดสอบแอลดีอาร์ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	56
4.19 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับแอลดีอาร์	56
4.20 ผลการทดสอบโฟโต้ไดโอดชนิดอินฟราเรดในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	57
4.21 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโต้ไดโอดชนิดอินฟราเรด	57
4.22 ผลการทดสอบโฟโต้ไดโอดแบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	58
4.23 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโต้ไดโอดแบบที่ 1	58
4.24 ผลการทดสอบโฟโต้ไดโอดแบบที่ 2 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	59
4.25 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโต้ไดโอดแบบที่ 2	59
4.26 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	60
4.27 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์	60
4.28 ผลการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยการปรับมุมการรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	62
4.29 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์วันที่ 13 สิงหาคม 2553	64
4.30 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์วันที่ 14 สิงหาคม 2553	65
4.31 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์วันที่ 15 สิงหาคม 2553	66

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจาก ดวงอาทิตย์ วันที่ 16 สิงหาคม 2553	67
4.33 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจาก ดวงอาทิตย์ วันที่ 18 สิงหาคม 2553	68
4.34 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 19 สิงหาคม 2553	69
4.35 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 23 สิงหาคม 2553	70
4.36 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 24 สิงหาคม 2553	71
4.37 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 25 สิงหาคม 2553	72
4.38 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 26 สิงหาคม 2553	73
4.39 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับ ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	75
4.40 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่กำหนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	77
4.41 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 1	77
4.42 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่หนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	78
4.43 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 2	78
4.44 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 โวลต์ ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับ ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	79
4.45 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 โวลต์	79

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.46 ผลการทดสอบไพราโนมิเตอร์จากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผล ในมุมการรับแสงที่กำหนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ	80
4.47 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผล	81
4.48 ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ	84
4.49 เส้นโค้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 43 °C ความเข้มแสงอาทิตย์ 867 W/m <sup>2</sup>	84
4.50 เส้นโค้งกระแสและแรงดันจากการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องที่ช่วงเวลาห่างกัน 5 นาที	85
4.51 ชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา	86



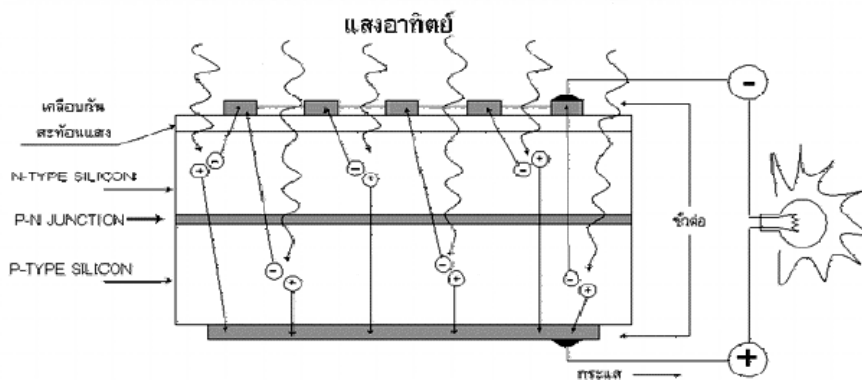
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีความนิยมเพราะเป็นพลังงานสะอาด และได้รับการสนับสนุนให้มีการใช้งานจากหน่วยงานของรัฐบาล เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตรสามารถใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ยิมนำมาเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งสะดวกในการนำพลังงานไปใช้ต่อไป เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semi Conductors) 2 ชนิด มาต่อกัน ซึ่งเรียกว่า “P-N Junction” [1] เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นโดยทั่วไปจะกำหนดอยู่ที่ 20 ปี ขึ้นไปหรือตามแต่บริษัทที่ผลิตจะระบุไว้ การทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะกระทำในห้องทดสอบโดยทำการจำกัดความเข้มแสง  $1000 \text{ W/m}^2$  ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [2] เพื่อให้ได้ค่าของเส้นโค้งกระแส-แรงดัน (I-V Curve) เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการหาค่าของพลังงานที่ได้จากระบบซึ่งค่าเหล่านี้ยังไม่สามารถมาใช้ในการออกแบบสำหรับประเทศไทยได้โดยตรง



รูปที่ 1.1 การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

เนื่องจากการนำเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานจริงนั้นในประเทศไทยมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยไม่เกิน  $700 \text{ W/m}^2$  [2] และสภาพของภูมิอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้การคำนวณค่าต่างๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง และไม่สามารถที่จะกำหนดค่าการเสื่อมสภาพให้สอดคล้องกับความเป็นจริง ทำให้ยากในการที่จะคำนวณหาจุดคุ้มทุนที่แท้จริงของการติดตั้งระบบ การตรวจสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่จริงหลังจากทำการติดตั้งไปแล้วนั้นทำได้ยากเนื่องจากเครื่องหรืออุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง และตัวเครื่องส่วนมากมีขนาดใหญ่ ไม่ได้ถูกออกแบบให้มีการเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ติดตั้งระบบจริง ทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะทำการตรวจสอบ

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาทั้งหมดจึงทำให้เกิดแนวคิดในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง โดยต้องการให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถนำไปวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ สถานที่จริง ในวิทยานิพนธ์ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC ของบริษัท Microchip[3] มาประยุกต์ใช้ในการเก็บค่าพารามิเตอร์และประมวลผล โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการเก็บค่ามีดังนี้คือ กระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ในส่วนของอุปกรณ์ในการวัดความเข้มแสงแสงของดวงอาทิตย์ (Pyranometer) นั้นมีราคาแพง เนื่องจากต้องการให้ชุดวัดค่าพารามิเตอร์มีราคาถูกลง ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาชุดวัดค่า กระแส แรงดัน อุณหภูมิและความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.2.2 เพื่อศึกษา และหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่สามารถนำมาใช้ทดแทนไพราโนมิเตอร์
- 1.2.3 เพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบสำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา

## 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีของอุปกรณ์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย มีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น การวัด การควบคุม และการแสดงผล เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายประเภทให้เลือกใช้งาน อีกทั้งมีราคาถูก ประสิทธิภาพสูง และมีความน่าเชื่อถือได้ ในส่วนของประสิทธิภาพของระบบนั้นขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้ประเภทหรือเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่นำมาใช้ร่วมกันและการเขียนโปรแกรมให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงขึ้น เพื่อสะดวกในการใช้งาน โดยต้องการให้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ ณ สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ในส่วนของอุปกรณ์ในการวัดค่าความเข้มแสงที่มีราคาแพง วิทยานิพนธ์นี้จะทำการสร้างขึ้นมา และใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อเป็นต้นแบบ และทางเลือกให้กับผู้ที่สนใจนำไปใช้งาน หรือผู้ที่ต้องการนำไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

#### 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 สร้างชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติ และพฤติกรรมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง เพื่อใช้ในการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ทดแทนการใช้ไพราโนมิเตอร์
- 1.4.3 บันทึกค่าผลการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน

#### 1.5 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการสร้างเครื่องวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์อาทิตย์โดยประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมีความต้องการให้สามารถวัดและเก็บค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสงอาทิตย์ โดยค่าของกระแส และแรงดันไฟฟ้านั้นจะต้องสามารถนำมาพล็อตกราฟ I-V Curve ได้ ตัวเครื่องสามารถทำงานโดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ต่อร่วมในการควบคุมการทำงาน สามารถเคลื่อนย้ายตัวเครื่องได้สะดวก โดยมีข้อกำหนดการออกแบบตัวเครื่องดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อกำหนดการออกแบบตัวเครื่อง

รายการ	ข้อกำหนด	ความคลาดเคลื่อน
กระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัด	0- 5 แอมแปร์	± 2%
แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด	12-50 โวลต์	± 2%
อุณหภูมิไฟฟ้าที่ต้องการวัด	25-60 องศาเซลเซียส	± 1 องศาเซลเซียส
ความเข้มของแสงอาทิตย์	0-1,100 วัตต์ต่อตารางเมตร	± 5%
ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ไม่เกิน 100 W	

\*หมายเหตุ เนื่องจากเป็นเครื่องต้นแบบจึงทำการทดสอบเปรียบเทียบเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน เพื่อเทียบผลการทดลอง

## 1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาค้นคว้าและสำรวจงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง
- 1.6.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.6.3 ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.6.4 จัดสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC
- 1.6.5 ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC ด้วยภาษา C
- 1.6.6 ศึกษาหลักการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์โพลและทำการจัดสร้างเพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.6.7 ศึกษาวงจรการวัดกระแสและแรงดันที่เหมาะสมกับงาน และทำการจัดสร้างขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC
- 1.6.8 ศึกษาวงจรการวัดอุณหภูมิ ทำการออกแบบวงจรและทำการจัดสร้าง
- 1.6.9 ศึกษาวงจรตรวจวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ ทำการออกแบบวงจรและทำการจัดสร้าง
- 1.6.10 ทดสอบอุปกรณ์ และวงจรที่จัดทำขึ้น
- 1.6.11 นำอุปกรณ์ที่ได้ไปใช้ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำการเก็บผลการทดสอบ
- 1.6.12 สรุปผลการทดสอบและนำผลที่ได้มาจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลการวิจัย

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ได้เครื่องต้นแบบสำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา
- 1.7.2 ได้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่สามารถนำมาใช้ทดแทนไพราโนมิเตอร์
- 1.7.3 สามารถใช้เป็นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นหรือผลิตเพื่อจัดจำหน่ายในเชิงอุตสาหกรรมได้

## 1.8 บทความที่ได้รับการเผยแพร่

- 1.8.1 การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8 วันที่ 22-23 เมษายน 2553
- 1.8.2 เครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC ในงานการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 วันที่ 5 - 7 พฤษภาคม 2553 จัดโดยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการสืบค้นทฤษฎีเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้จัดทำขึ้น ประกอบไปด้วยเรื่องของเซลล์แสงอาทิตย์ การแผ่รังสีมายังโลกของดวงอาทิตย์ ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการวัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาทดสอบสร้างเป็นไพราโนมิเตอร์ การบันทึกข้อมูล เอกสารผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review) และสรุปทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน มาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบ โฟตรอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะสามารถหลุดจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) ขึ้น ถือได้ว่าพลังงานไฟฟ้าเกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะที่ใช้งาน

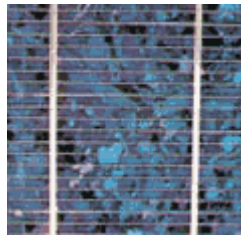
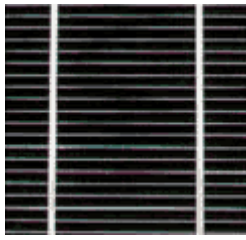
##### 2.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่ม เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งาน

สำหรับดาวเทียม และระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต ( ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)



(ก) แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal)    (ข) แบบผลึกรวม (Poly Crystal)    (ค) แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous)

รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ [5]

### 2.1.2 ตัวแปรที่สำคัญของการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

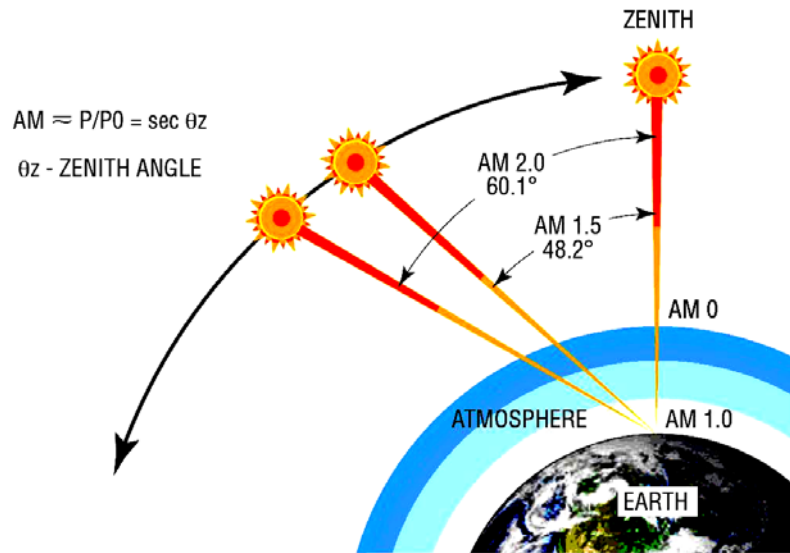
ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้ [5, 8]

#### 1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟฟ้า (Current) ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มของแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า จะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ  $1,000 \text{ W/m}^2$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) ทำมุม  $48.2^\circ$  กับพื้นโลก เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

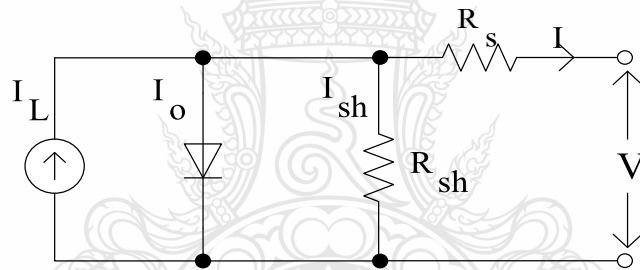
#### 2. อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ  $1^\circ\text{C}$  ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีมาตรฐานของการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลง



รูปที่ 2.2 มุมมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [22]

### 2.1.3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [6, 11]

$$I = I_L - I_0 \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$I_L$  คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์สร้างขึ้นเมื่อได้รับแสง (A)

$I_0$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้าอิมิตัวย้อนกลับ (A)

$q$  คือ ประจุอิเล็กตรอน (Coulomb)

$k$  คือ ค่าคงที่ของโบลมันซ์ (j/K)

$T$  คือ อุณหภูมิในหน่วยขององศาเคลวิน (°K)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (A)

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

$R_s$  คือ ความต้านทานที่ต่ออนุกรม( $\Omega$ )

$R_{sh}$  คือ ความต้านทานที่ต่อขนาน( $\Omega$ )

#### 2.1.4 การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

[7, 15]

การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array yield)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี(Reference yield)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Final yield)

พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture losses)

พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System losses)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance ratio)

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array efficiency)

ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (PV inverter efficiency)

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์(System efficiency)

#### 2.1.5 การลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากตัว

เซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [13, 14]

1. เกิดจากการสึกกร่อนของรอยต่อหรือเกิดจากการลดลงของแรงยึดเหนี่ยวโครงสร้างเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2. เกิดจากการเสื่อมของโลหะผสมที่อยู่ระหว่างรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) ทำให้ค่าความต้านทานชั้นลดลง ความต้านทานชั้นเกิดจากการเกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าที่ขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก

#### 2.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการวัด

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีค่าพารามิเตอร์คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสงอาทิตย์ [16, 17]

### 2.2.1 แรงดันไฟฟ้า

จากข้อกำหนดเบื้องต้นจากความต้องการให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 50 โวลต์ ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เลือกใช้วิธีการแบ่งแรงดัน (Voltage divider) และนำผลของแรงดันที่ได้ไปปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับค่า Analog-to-digital (A/D) ที่ 0-5 โวลต์

### 2.2.2 กระแสไฟฟ้า

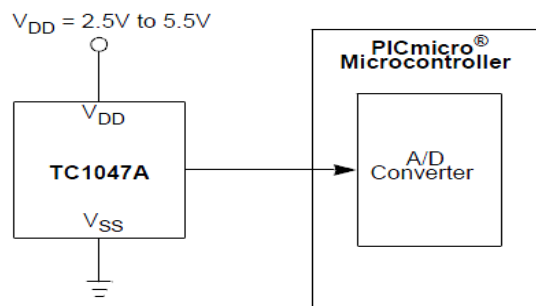
ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธีแต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ความต้านทานตรวจสอบกระแส (Sense Resistors หรือ R-sense) ในการวัดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเป็น เซนเซอร์วัดกระแสที่มีความแม่นยำสูงชนิดหนึ่ง ในการทำงานใช้หลักการของการแบ่งแรงดันไฟฟ้า ค่าความต้านทานภายในของ R-sense มีค่าน้อยมากเมื่อนำไปต่ออนุกรมในระบบจะไม่ทำให้ความต้านทานในระบบเพิ่มสูงขึ้น



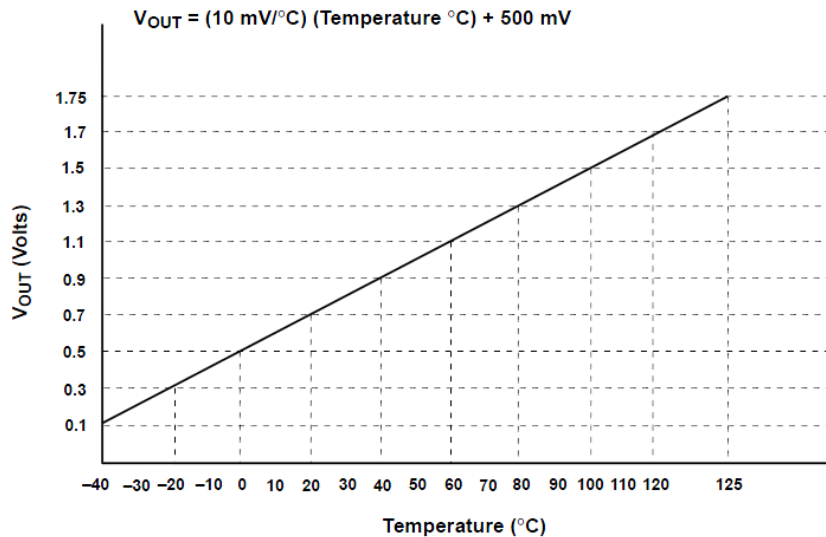
รูปที่ 2.4 ความต้านทานที่ใช้ในการตรวจสอบกระแส [23]

### 2.2.3 อุณหภูมิ

ในปัจจุบันไอซีวัดอุณหภูมิได้รับความนิยมมาใช้ในการวัดค่าของอุณหภูมิอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก ดังนั้นในการทำวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ไอซีวัดอุณหภูมิ TC1047A ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย ทำหน้าที่ในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นแรงดันไฟฟ้า สามารถวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -40 ถึง 125 °C



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรม TC1047A [24]



รูปที่ 2.6 กราฟแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ [24]

#### 2.2.4 ความเข้มแสงอาทิตย์

ในการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์สามารถวัดได้โดยใช้ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) โดยมีหน่วยของการวัดคือ วัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ ) สามารถแบ่งไพราโนมิเตอร์ได้ 3 ชนิด คือ

1. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermo mechanical Sensor หรือแบบ Bimetallic ซึ่งมี Sensor เป็นแถบโลหะ 2 แถบ โดยแถบหนึ่งเป็นสีขาว และอีกแถบหนึ่งเป็นสีดำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบ แถบสีดำจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และขยายตัวได้มากกว่าแถบสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าวจะไปขับเคลื่อนหัวปากกาให้บันทึกข้อมูลเป็นลายเส้นลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันติครอบกระบอกกลมที่มีการขับเคลื่อนด้วยระบบโซลัน หรือระบบนาฬิกาใช้แบตเตอรี่

2. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermo electric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมี Sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น Hot Junction และอีกข้างหนึ่งเป็น Cold Junction เมื่อ Hot Junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ Junction ทั้งสอง และก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force) ขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้

3. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้กิ่งตัวนำเช่น สารซิลิกอน ในการสร้างขึ้นหรือที่เรียกว่า “สารซิลิกอนไพราโนมิเตอร์ (Silicon Pyranometer)” มีหลักการการทำงานโดยการใช้สารซิลิกอนในการรับรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ไพราโนมิเตอร์จะเปลี่ยนแปลงปริมาณแรงดันไฟฟ้าตามความเข้มแสงที่ได้รับ

เนื่องจากไพราโนมิเตอร์ในปัจจุบันนั้นมีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศดังนั้นจึงมีแนวคิดสร้างไพราโนมิเตอร์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชิ้นมาใช้งาน

### 2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาทดสอบสร้างเป็นไพราโนมิเตอร์

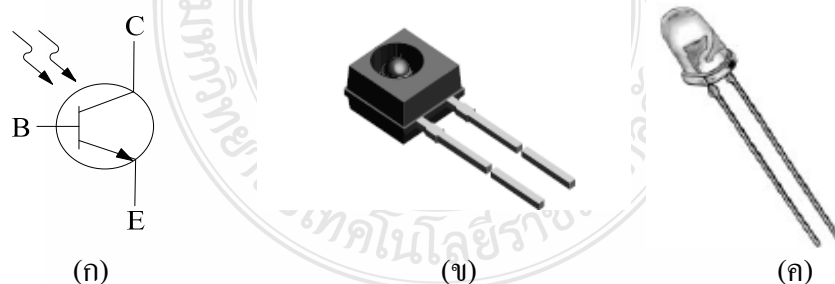
ในการเลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการนำมาสร้างเป็นไพราโนมิเตอร์นั้นมีข้อกำหนดเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1. สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ
2. ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนหรือทำงานด้วยแสง
3. ราคาต้องไม่แพง

จากข้อกำหนดทำให้ได้อุปกรณ์มาใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

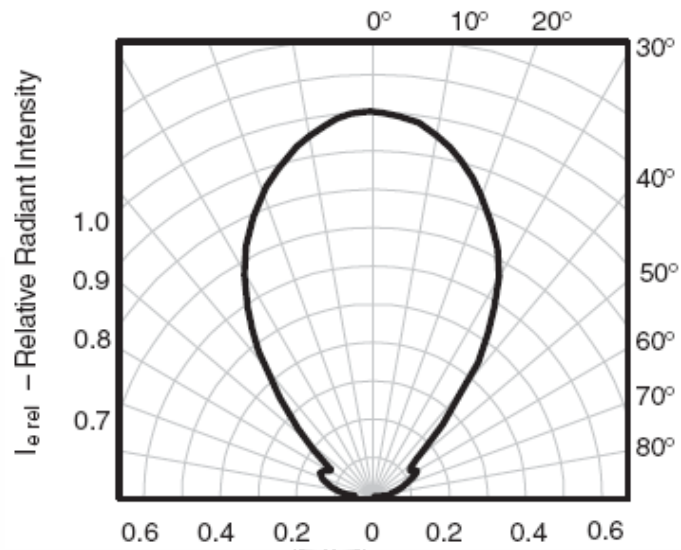
#### 1. โฟโตทรานซิสเตอร์

โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนรอยต่อระหว่างขาเบส-คอลเลกเตอร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากขาคอลเลกเตอร์ไปยังขามิตเตอร์ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ได้รับ [18] โดยในการทดสอบได้มีการใช้โฟโตทรานซิสเตอร์สองแบบมาใช้ในการทดสอบ โดยกำหนดให้โฟโตทรานซิสเตอร์เบอร์ TEKT5400S และ SFH 300 เป็นแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้าง และมุมการรับแสงที่แตกต่างกัน



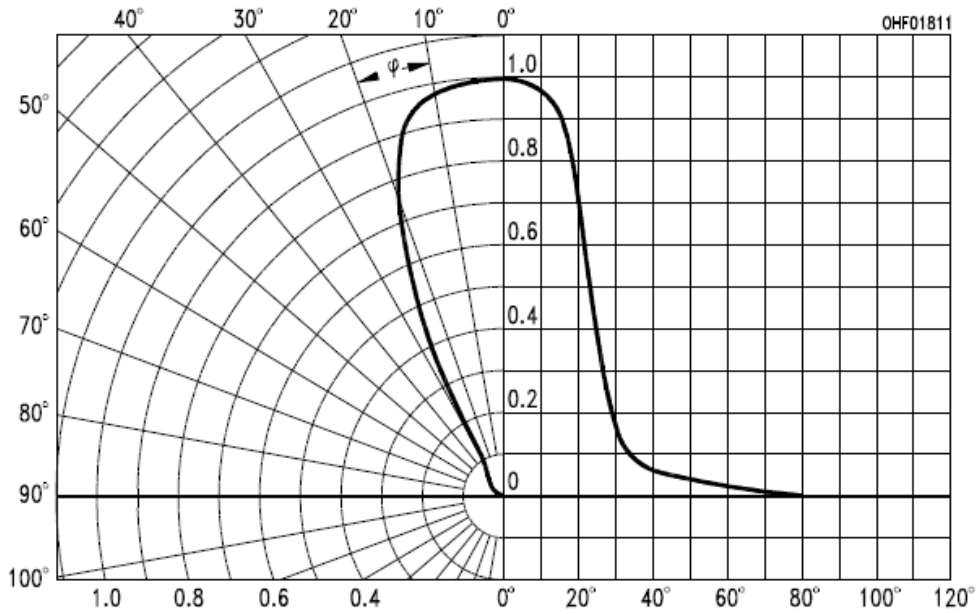
รูปที่ 2.7 (ก) สัญลักษณ์ (ข) ลักษณะโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 และ(ค) ลักษณะโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 [25, 26]

โฟโด้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 มีมุมการรับแสงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 มุมการรับแสงของโฟโด้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 [25]

โฟโด้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 มีมุมการรับแสงดังรูปที่ 2.9

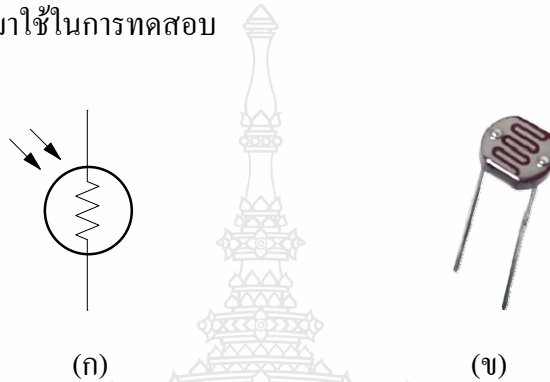


รูปที่ 2.9 มุมการรับแสงของโฟโด้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 [26]



## 2. แอลดีอาร์

แอลดีอาร์(LDRหรือLight Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้า ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่า “โฟโตรีซิสเตอร์ (Photo Resistor)” หรือ “โฟโตคอนดักเตอร์(Photo Conductor) ” เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide) มาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบออกมา โดยความต้านทานจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงเช่นเดียวกับโฟทรานซิสเตอร์ [19] โดยใช้แอลดีอาร์ KE-10720 มาใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 2.10 (ก) สัญลักษณ์ และ(ข) ลักษณะแอลดีอาร์ [27]

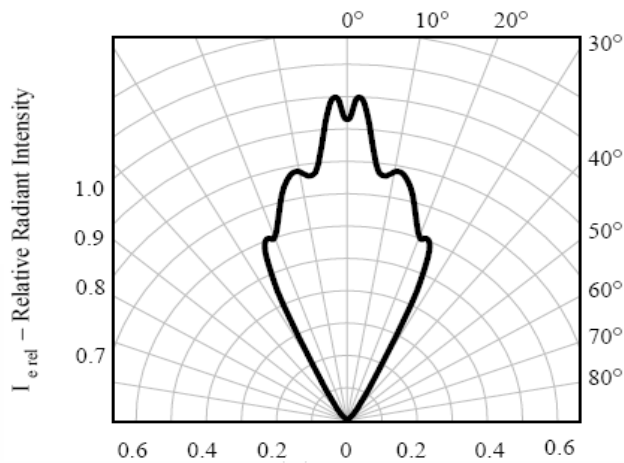
## 3. โฟโอดีโอดชนิดอินฟราเรด

โฟโอดีโอดชนิดอินฟราเรด (IR LED หรือInfrared Light-Emitting Diode) อินฟราเรด หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง  $10^{-4}$  m ถึง  $7 \times 10^{-7}$  m เป็นคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของสีแดงลงมา (Infra = ใต้, Red = แดง) จึงไม่สามารถมองเห็น จากความถี่เป็นสัดส่วนกับพลังงาน (ความถี่มาก พลังงานจะมากตาม) คลื่นอินฟราเรดจึงเป็นคลื่นที่มีพลังงานต่ำ ใช้ได้ในระยะไม่ไกลมากนัก โดยทั่วไปโฟโอดีโอดชนิดอินฟราเรดจะใช้ในการผลิตแสงอินฟราเรด แต่เมื่อนำมาทดสอบรับแสงพบว่าสามารถให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้เช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเลือกมาใช้ทดลองสร้างเป็นไพราโนมิเตอร์ โดยใช้โฟโอดีโอดชนิดอินฟราเรดเบอร์ TSAL7400 มาใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 2.11 (ก) สัญลักษณ์ และ(ข) ลักษณะโฟโอดีโอดชนิดอินฟราเรด [28]

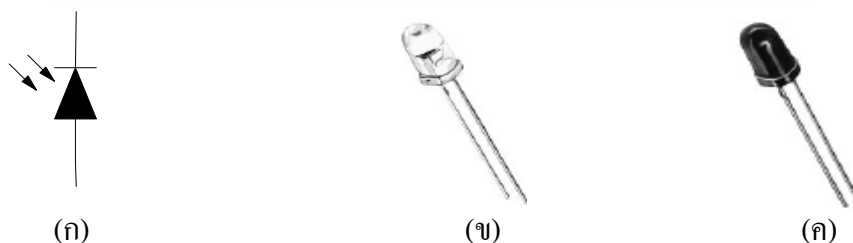
โฟโตไดโอดชนิดอินฟราเรดมีมุมการรับแสงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 มุมการรับแสงโฟโตไดโอดชนิดอินฟราเรด [28]

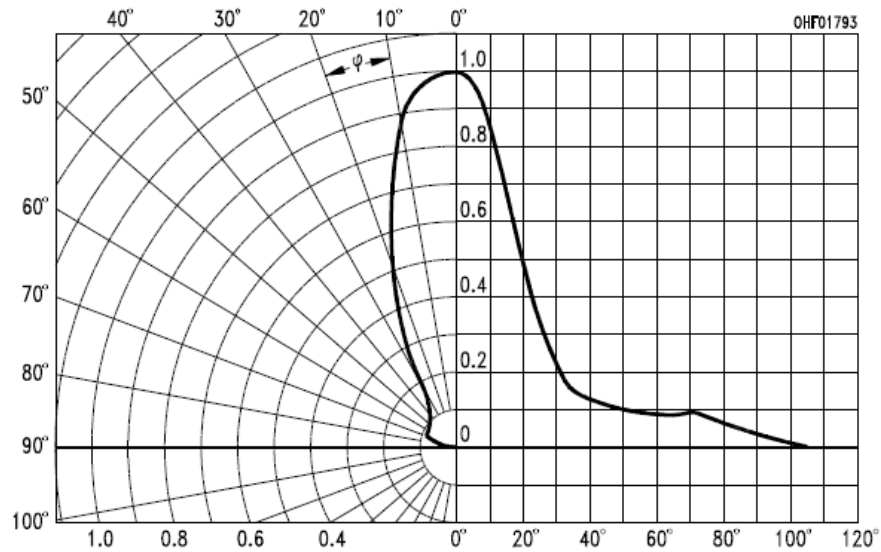
4. โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอด (Photo Diode) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ โฟโตไดโอด (Photo Diode) จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่ง และมีแสงมาตกกระทบบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มากตกกระทบบมีความยาวคลื่นหรือเลมด้าที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มากตกกระทบบ ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับโฟโตไดโอดธรรมดาที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้ โดยในการทดสอบได้มีการใช้โฟโตไดโอดสองแบบ โดยกำหนดให้โฟโตไดโอดเบอร์ SFH 2030 และ SFH 2030F เป็นแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะสีของ โครงสร้างที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.13 (ก) สัญลักษณ์ (ข) ลักษณะโฟโตไดโอดแบบที่ 1 และ(ค)ลักษณะโฟโตไดโอดแบบที่ 2 [29]

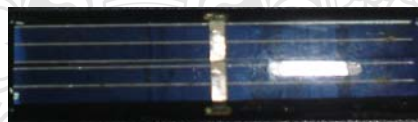
โฟโตรีโอดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีมุมการรับแสงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 มุมการรับแสงโฟโตรีโอดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 [29]

### 5. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

ในการจัดทำไพราโนมิเตอร์ได้สนใจที่จะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมขนาด 1 โวลต์ มาทำการทดลองในการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ เนื่องจากสามารถให้พลังงานเมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ และมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์

### 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 [30] ผลิตโดยบริษัท Microchip Inc. ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่รวมความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เข้ากับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) ซึ่งนอกจากประสิทธิภาพในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้เป็นอย่างดี ภายในประกอบด้วยวงจรอื่นๆ หลายวงจรและทำงานร่วมกัน เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic Logic

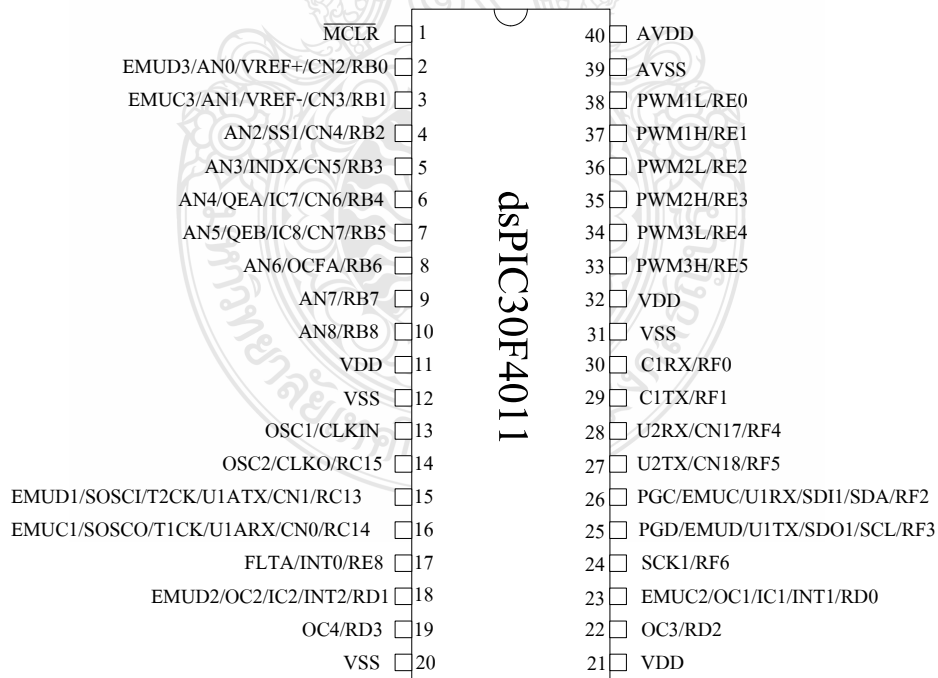
ภายในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่องสัญญาณใช้การแปลงแบบประมาณค่า (Successive Approximation) มีความเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM) ขนาด 16 บิต ความจุ 1 กิโลไบต์ [10]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สามารถรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าได้ 0-5 โวลต์ แล้วแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 0-1023 ดังนั้นค่าที่ทำการวัดได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{แรงดันไฟฟ้า} = \frac{\text{ค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์} \times 5}{1023} \quad (2.2)$$

เมื่อ

แรงดันไฟฟ้า = แรงดันไฟฟ้าอนาลอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับ



รูปที่ 2.16 การจัดเรียงขาสัญญาณของ dsPIC30F4011 [30]

## 2.5 การบันทึกข้อมูล

ในการจะบันทึกข้อมูลที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ทำการเก็บค่าได้นั้นสามารถทำได้หลายวิธีในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้การบันทึกค่าลงยูเอสบีแฟลชไดรฟ์ (USB FLASH DRIVE) เพื่อสะดวกในการใช้งาน แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถส่งค่าไปเก็บลงยูเอสบีแฟลชไดรฟ์ได้โดยตรงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ชื่อว่า “อีทียูเอสบีแฟลชไดรฟ์ (ET-USB FLASH DRIVE)” เป็นตัวกลางในการบันทึกข้อมูล อีทียูเอสบีแฟลชไดรฟ์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอ่านไฟล์ข้อมูล เขียนไฟล์ข้อมูล ลบไฟล์ข้อมูล สร้างไฟล์ และอื่นๆ ที่เก็บอยู่ในยูเอสบีแฟลชไดรฟ์ โดยใช้วิธีการส่ง Command ต่างๆ ผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปให้กับอีทียูเอสบีแฟลชไดรฟ์เพื่อให้ติดต่อไปยังยูเอสบีแฟลชไดรฟ์ สามารถใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง Port RS232 โดยใช้โปรแกรม HyperTerminal หรือ Procomm หรือโปรแกรมอื่นๆที่สามารถสื่อสารผ่านทาง RS232 ได้ เป็นตัวกลางในการรับ-ส่งคำสั่ง และข้อมูลต่างๆ รวมทั้งแสดงผลการอ่านหรือการเขียนข้อมูลให้กับผู้ใช้ นอกจากนี้ก็ยังสามารถต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์แทน PC ได้ โดยจะสื่อสารผ่านทาง UART Port ของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.17 อีทียูเอสบีแฟลชไดรฟ์ [31]

## 2.6 ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด

ความคลาดเคลื่อน หมายถึง ปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราวัด (Expected Value) และค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Measured Value)

ความคลาดเคลื่อนอาจจำแนกได้ 3 ประเภท คือ [20]

- 1.1 ความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด (Gross Errors)
- 1.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)
- 1.3 ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors)

### 1) ความคลาดเคลื่อนจากผู้วัด (Gross Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นขณะใช้เครื่องวัด เช่นการอ่านค่าจากเครื่องวัดผิดพลาดการบันทึกข้อมูลในการทดสอบผิดพลาด หรือการใช้เครื่องวัดผิดวิธี

### 2) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในกระบวนการใช้เครื่องวัด ประกอบด้วย

- ความคลาดเคลื่อนในเครื่องวัด (Instrument Errors)
- ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม (Environmental Errors)
- ความคลาดเคลื่อนในการสังเกตเพื่ออ่านค่าจากสเกล (Observational Errors)

### 3) ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors)

ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ จะมีความสำคัญเฉพาะกรณีที่ต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้นสำหรับการคำนวณหาต้องใช้วิธีการทางสถิติ

### วิธีการค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด

กำหนดให้

$e$  = ความคลาดเคลื่อนของการวัด

$Y_n$  = ค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัด

$X_n$  = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

$$e = X_n - Y_n \quad (2.3)$$

นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้จาก

$$\text{Percent error} = \frac{e}{Y_n} \times 100\% \quad (2.4)$$

แทนค่าสมการที่ (2-4) ในสมการที่ (2-5) จะได้

$$\text{Percent errors} = \frac{X_n - Y_n}{Y_n} \times 100 (\%) \quad (2.5)$$

ความถูกต้องและความเที่ยงตรง (Accuracy and precision)

ความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยงตรง (precision) สองคำนี้มีความหมายใกล้เคียงกันมากลองพิจารณาความหมาย

ความถูกต้อง หมายถึง ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเข้าใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงมากเพียงใด สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$A = 1 - \left| \frac{X_n - Y_n}{Y_n} \right| \quad (2.6)$$

$$a = 100\% - \text{Percent errors} = A \times 100\% \quad (2.7)$$

เมื่อ

A = ความถูกต้อง

a = เปอร์เซนต์ความถูกต้อง (%)

ความเที่ยงตรง หมายถึง ค่าที่อ่านได้จากการวัดแต่ละครั้งเข้าใกล้เคียงกันมากเพียงใดเมื่อทำการวัดสิ่งเดียวกันหลายๆครั้ง

เราสามารถหาค่าความเที่ยงตรงในการวัดได้จากสมการ

$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{Y_n - \overline{X_n}}{X_n} \right| \quad (2.8)$$

เมื่อ

$X_n$  = ค่าที่อ่านได้แต่ละครั้งจากการวัด

$\overline{X_n}$  = ค่าเฉลี่ยของการวัด

ดังนั้นจะได้สมการที่ 2.9

$$\overline{X_n} = \frac{\sum X}{n} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + \dots + X_n}{n} \quad (2.9)$$

เมื่อ

$\sum X$  = ผลรวมของค่าที่อ่านได้แต่ละครั้งจากการวัด

n = จำนวนครั้งที่ทำการอ่านค่า

$$\text{เปอร์เซนต์ความเที่ยงตรง} = \text{Precision} \times 100\% \quad (2.10)$$

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

ในระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นต้องใช้ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานซึ่งประกอบไปด้วย กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสงอาทิตย์ ในส่วนค่าของกระแส และแรงดันไฟฟ้าจะถูกพล็อตอยู่ในรูปของกราฟ I-V Curve ซึ่งใช้ในการประเมินระบบอาทิ เช่น การเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [13] และการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า [15] เป็นต้น และมีงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องมือในการวัดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานดังต่อไปนี้

เอกรินทร์ วาสนาส่ง และสมศักดิ์ เสนาภักดี [11] วิจัยเรื่องเครื่องมือวัดคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้หลอดฮาโลเจนทำการจำลองแสงอาทิตย์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Data Acquisition Board และโปรแกรม Lab VIEW ในการวัดและบันทึกผล สามารถวัดค่าความเข้มแสง กระแส แรงดัน และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องปฏิบัติการ และใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวหลักในการบันทึกค่า ความคุม และประมวลผล ดังนั้นจึงทำให้เครื่องมือดังกล่าวมีข้อจำกัดในการใช้งาน สันติ หวังนิพนานโต และคณะ [4] ได้พัฒนาเครื่องมือวัด I-V CURVE สำหรับทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถวัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ไม่เกิน 80 วัตต์ และแสดงผลการทดสอบบนจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้ชุดอินเตอร์เฟสทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัด ซึ่งงานวิจัยนี้ยังเป็นการใช้งานในห้องปฏิบัติการ ต่อมาเอกรินทร์ วาสนาส่ง [2] ได้เสนอระบบวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำไปใช้ทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริง ระบบนี้เป็นการพัฒนาจากงานทดสอบในห้องปฏิบัติการ [11] ให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ แต่ยังคงใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน

Raphael Mukaro และคณะ [12] ทำการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการวัดค่าและเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ รุ่งโรจน์ สุริโยภาสุไร และคณะ [8] ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ปรับมุมรับแสงได้ 90 องศา ทำการแสดงผล และบันทึกค่าด้วยโปรแกรม Lab VIEW เป็นการทำงานในห้องปฏิบัติการ

## 2.8 สรุปทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ในการจะผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีการคำนวณค่าของพลังที่ผลิตได้ การเสื่อมสภาพของระบบ จุดคุ้มทุน หรือค่าอื่นๆของระบบ ค่าต่างๆเหล่านี้ส่วนใหญ่จะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานเช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสงในการคำนวณทั้งสิ้น ได้มีผู้ทำงานวิจัยสร้างเครื่องมือหรือระบบในการตรวจสอบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นแต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่มาก เช่น ระบบมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย ราคาแพง จะต้องมีคอมพิวเตอร์ในการควบคุม





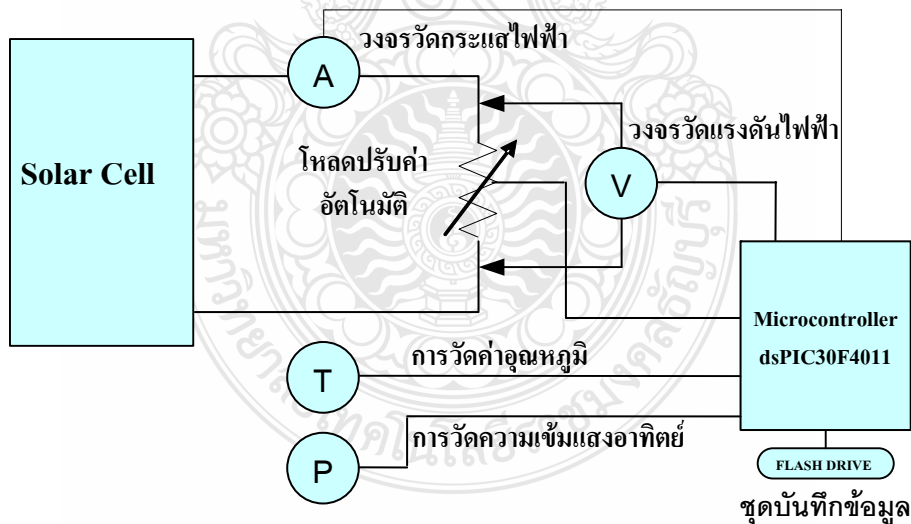
## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการนำเสนอวงจรการสร้างของชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพาโดยจะมีวงจรต่างๆดังนี้ วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า วงจรวัดกระแสไฟฟ้า วงจรอิเล็กทรอนิกส์โหลด วงจรวัดอุณหภูมิ วงจรวัดค่าเข้มแสงอาทิตย์ การทดลองสร้างอุปกรณ์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบไปด้วย โฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโต้ไดโอดชนิดอินฟาเรด แอลดีอาร์ โฟโต้ไดโอดและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

#### 3.1 ไลออะแกรมโครงสร้างของระบบ

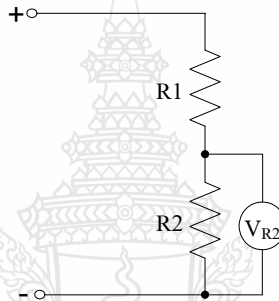
โครงสร้างของเครื่องวัดและบันทึกค่าคุณสมบัติกระแสและแรงดันสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบที่ทำการจัดสร้างขึ้น

### 3.2 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันแล้วแต่การผลิตขึ้นมาใช้งาน แต่แรงดันไฟฟ้าที่มีการใช้ส่วนมากคือ 12 และ 24 โวลต์ ดังนั้นวงจรที่ใช้ออกแบบให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-50 โวลต์ เพื่อให้ใช้งานได้ครอบคลุม และสะดวกในการออกแบบวงจร ได้เลือกใช้วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) และนำผลของแรงดันที่ได้ไปปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับค่า Analog-to-Digital (A/D) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถรับค่าแรงดันไฟฟ้า 0-5 V และสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้ไม่เกิน 25 mA ดังนั้นสามารถออกแบบวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

โดยมีสูตรในการหาค่าแรงดันที่ตกคร่อม R2 ดังนี้

$$V_{R2} = VDC \left[ \frac{R2}{R1 + R2} \right] \quad (3.1)$$

เมื่อ

VDC คือแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด

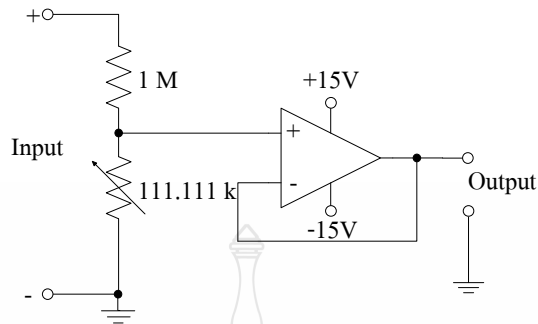
จากการข้อกำหนดที่ต้องการวัดแรงดันไม่เกิน 50 V และต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าได้โดยมีการกำหนดให้ความต้านทาน R1 มีค่าเท่ากับ 1 M $\Omega$  และสามารถคำนวณหาความต้านทาน R2 ที่จะนำมาต่อในวงจรได้ดังนี้

จากสมการ (3.1)

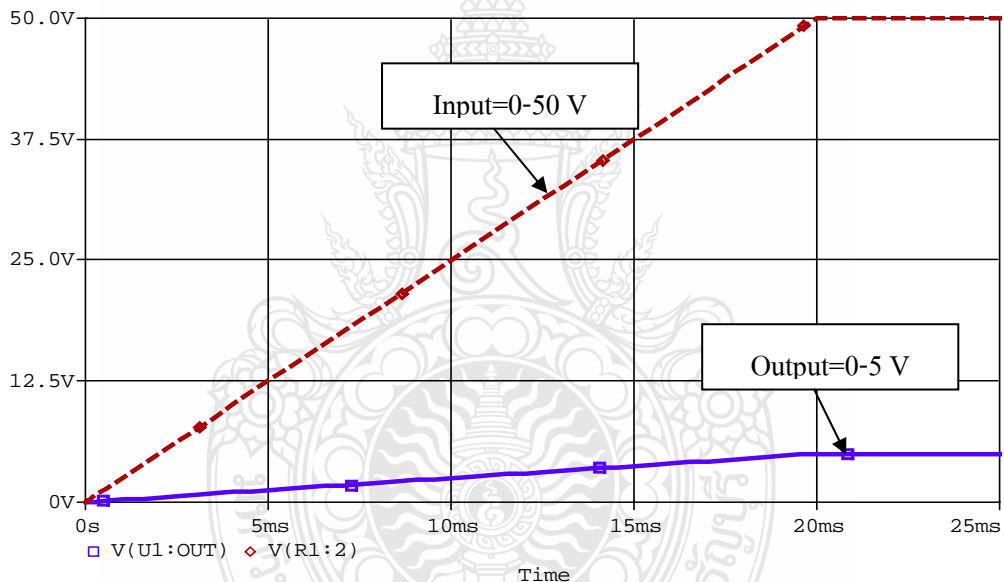
$$5V = 50V \left[ \frac{R2}{1M\Omega + R2} \right]$$

$$R2 = 111.111 \text{ k}\Omega$$

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทนต่อกระแสได้น้อย ดังนั้นจึงต้องมีวงจรป้องกันกระแสไหลเกิน (Buffer Overflow) ในที่นี้ใช้อุปแอมป์ในการต่อวงจรป้องกันกระแสไหลเกิน โดยทำการจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม OrCAD Capture



รูปที่ 3.3 วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า



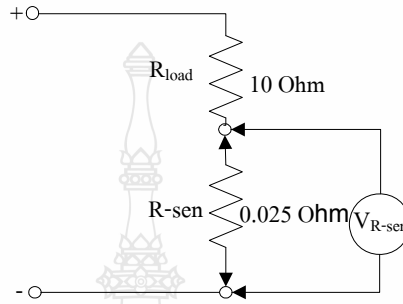
รูปที่ 3.4 ผลการจำลองการทำงานของชุดวัดแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าผลการจำลองโปรแกรมการทำงานเอาท์พุทที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับอินพุต

### 3.3 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากปริมาณกระแสที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณแสง และขนาดของแผงในการสร้างชุดวัดกระแสไฟฟ้าจึงได้กำหนดขนาดของกระแสที่จะทำการวัด และทดสอบได้สูงสุดได้ 0-5 แอมแปร์ เพื่อความสะดวกและความแม่นยำในการวัด หากมีความต้องการให้สามารถวัดในพิสัยของกระแสที่เพิ่มขึ้นสามารถพัฒนาเพิ่มในภายหลังได้

ในการวัดกระแสไฟฟ้าเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงจึงต้องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า 0-5V จึงได้ใช้ Sense Resistors (R-sense) ขนาด 0.025 Ω ในการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากมีความแม่นยำในการวัดสูง ได้ทำการออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยต้องการให้มีกระแสไหลในวงจรขนาด 5 แอมแปร์ ทำการออกแบบวงจรวัดกระแส โดยวิธีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรการต่อใช้งานชุดวัดกระแสไฟฟ้า

โดยในการออกแบบวงจรมันต้องการให้ปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R-sense มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าคือ

$$1 \text{ V} = 1 \text{ A}$$

จากรูปที่ 3.6 จะได้ค่าดังนี้

$$I = 4.988 \text{ A}$$

$$V_{R\text{-sense}} = 124.688 \text{ mV}$$

จะเห็นได้ว่าจากการใช้ R-sense จะทำให้ค่ากระแสมีการผิดพลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} &= \frac{5\text{A} - 4.988 \text{ A}}{5\text{A}} \times 100 \text{ เปอร์เซ็นต์} \\ &= 0.24 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R-sense มีค่าน้อย เพื่อความสะดวกในการวัดและอ่านค่าจึงต้องขยายแรงดันไฟฟ้าที่ได้ แต่จะต้องไม่เกินพิสัยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถวัดค่าได้

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยาย} &= \frac{I}{V_{R\text{-sense}}} \\ &= \frac{4.988 \text{ A}}{124.688 \text{ mV}} \\ &= 40 \text{ เท่า} \end{aligned} \quad (3.2)$$

จากวงจรจะต้องขยายแรงดันไฟฟ้าที่ได้ 40 เท่า ได้มีการใช้วงจรบัฟเฟอร์และวงจขยายสัญญาณแบบกลับเฟส 2 ชุด ต่อร่วมกัน

วงจขยายสัญญาณแบบกลับชุดที่ 1 จะมีอัตราขยายดังนี้

$$K = \frac{R_f}{R_i} \quad (3.3)$$

กำหนดให้  $K=40$  และ  $R_i = 10 \text{ k}\Omega$  จะได้

$$40 = \frac{R_f}{10 \text{ k}\Omega}$$

$$R_f = 400 \text{ k}\Omega$$

วงจขยายสัญญาณแบบกลับชุดที่ 2 จะมีอัตราขยายดังนี้

กำหนดให้  $K=1$  และ  $R_i = 10 \text{ k}\Omega$  จะได้

$$1 = \frac{R_f}{10 \text{ k}\Omega}$$

$$R_f = 10 \text{ k}\Omega$$

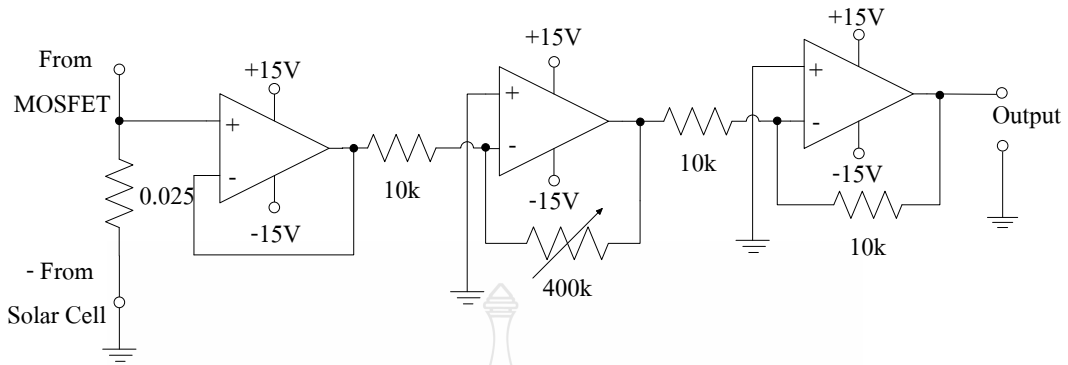
ทำการต่อวงจรวัดกระแสไฟฟ้าตามรูปที่ 3.6 จะทำให้ค่าของแรงดัน  $V_{R\text{-sense}}$  มีค่าดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} V_{R\text{-sense}} &= 124.688 \text{ mV} \times 40 \\ &= 4.98752 \text{ V} \end{aligned}$$

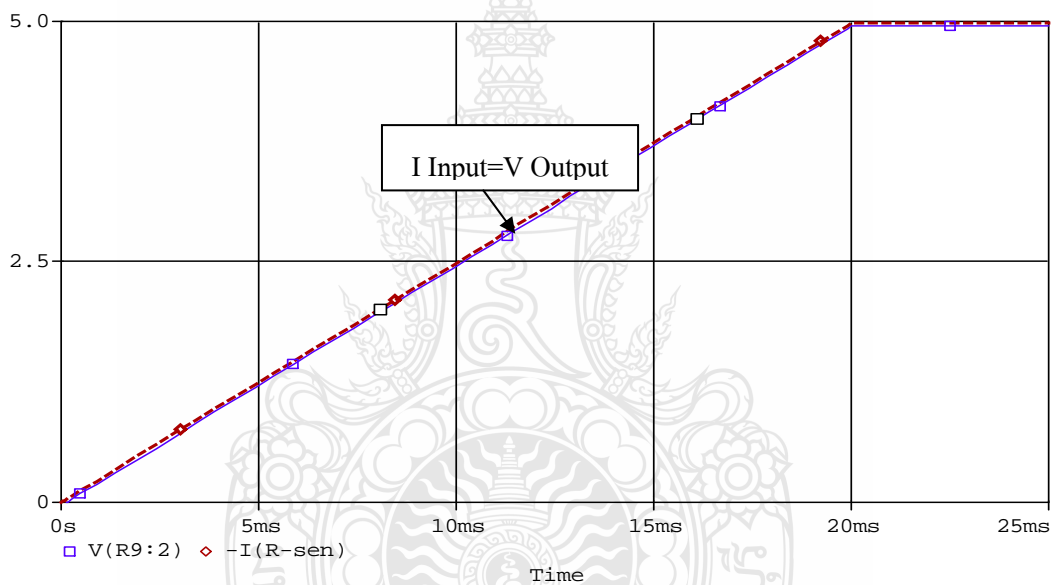
เปอร์เซ็นต์จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} &= \frac{5 \text{ A} - 4.98752 \text{ A}}{5 \text{ A}} \times 100 \\ &= 0.2496 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ทำการจำลองการทำงาน โดยโปรแกรมผลแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

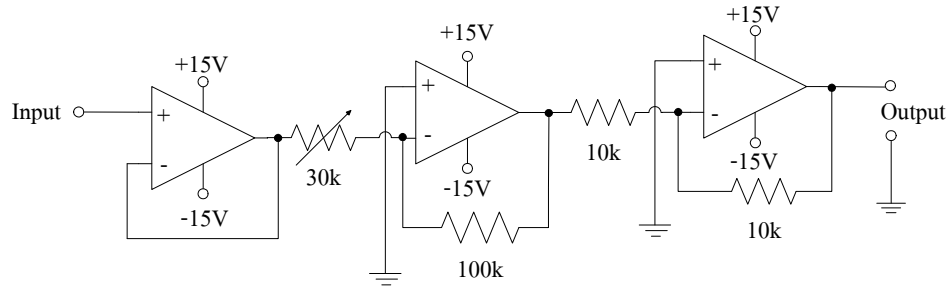


รูปที่ 3.7 ผลการจำลองการทำงานของชุดวัดกระแสไฟฟ้า

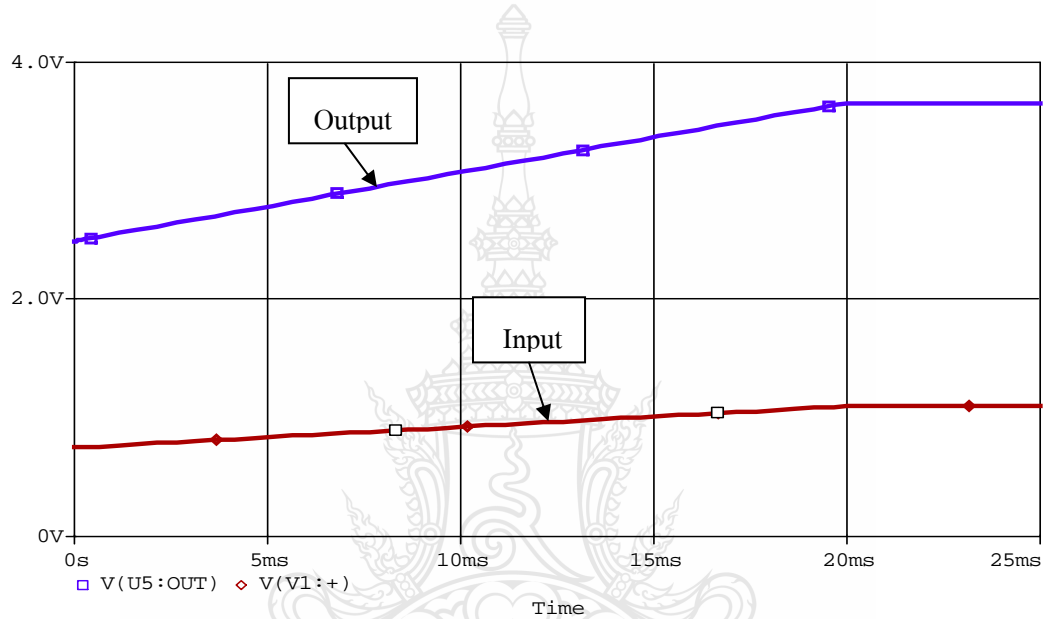
จากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มีปริมาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าอินพุต

### 3.4 วงจรวัดค่าอุณหภูมิ

ในการวัดค่าอุณหภูมิ ได้เลือกใช้ไอซีวัดอุณหภูมิ TC1047A ในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากมีความแม่นยำสูงสามารถวัดอุณหภูมิตั้งแต่  $-40$  ถึง  $125$  °C ที่แรงดันไฟฟ้า 0.1 ถึง 1.75 โวลต์ โดยกำหนดอุณหภูมิในการวัดให้สอดคล้องกับอุณหภูมิในประเทศอยู่ในช่วง ที่ 25 ถึง 60 °C ที่แรงดันไฟฟ้า 0.75 ถึง 1.1 โวลต์ โดยทำการขยายแรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 3.333 เท่า เพื่อความสะดวกในการวัดค่า และอยู่ในช่วงที่สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้



รูปที่ 3.8 วงจรวัดค่าอุณหภูมิ



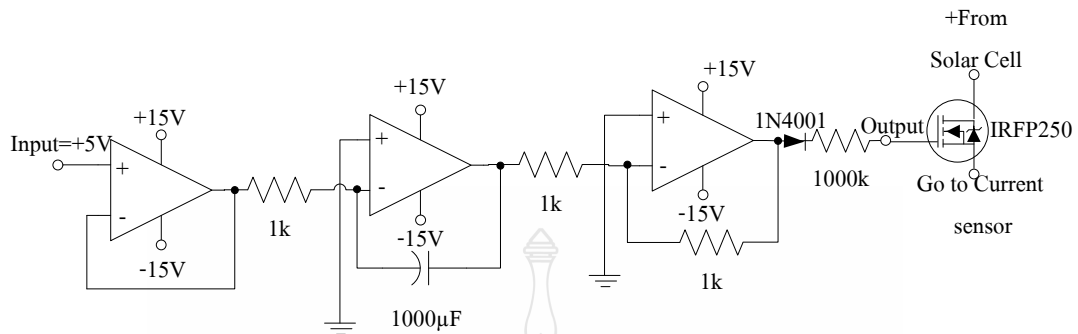
รูปที่ 3.9 ผลการจำลองการทำงานของชุดค่าอุณหภูมิ

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มีความสอดคล้องกับปริมาณของแรงดันไฟฟ้าอินพุต แต่มีปริมาณมากกว่า 3.33 เท่า และอยู่ในช่วงที่สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

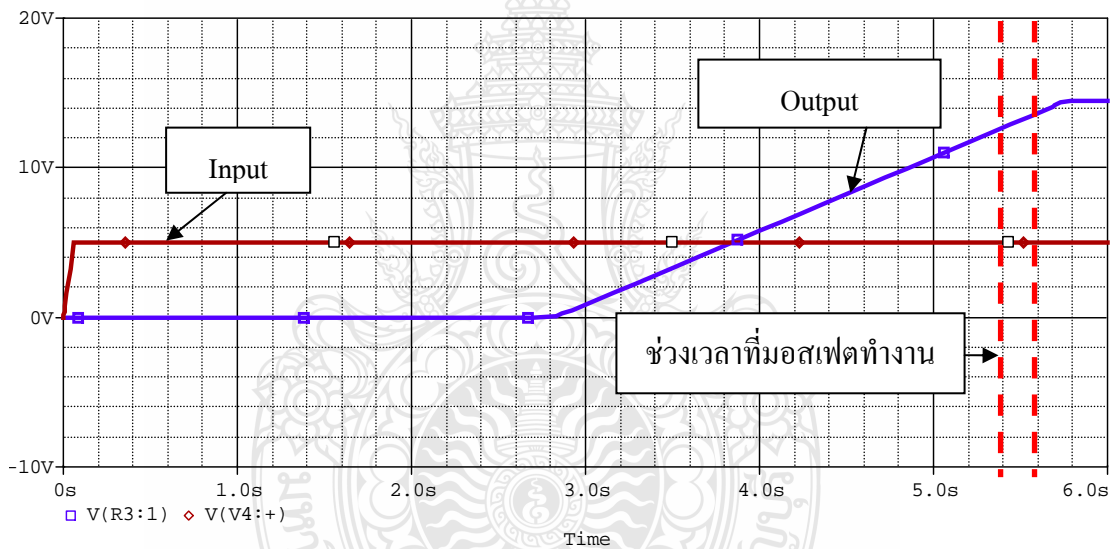
### 3.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์โหลด

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อที่จะให้ได้ค่า I-V Curve นั้นจำเป็นต้องทดสอบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ทำการสร้างโหลดปรับค่าอัตโนมัติ โดยใช้มอสเฟต (MOSFET) ที่สามารถปรับค่าการไหลของกระแสระหว่างขา Drain และ Source ของมอสเฟต ได้โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขา Gate และ Source โดยต้องการให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากค่าน้อยๆแล้วเพิ่มมากขึ้นอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 [13, 14] การจัดสร้างวงจรได้ใช้วงจรจรรยาบรรณ วงจรอินทิเกรเตอร์ และวงจรขยาย



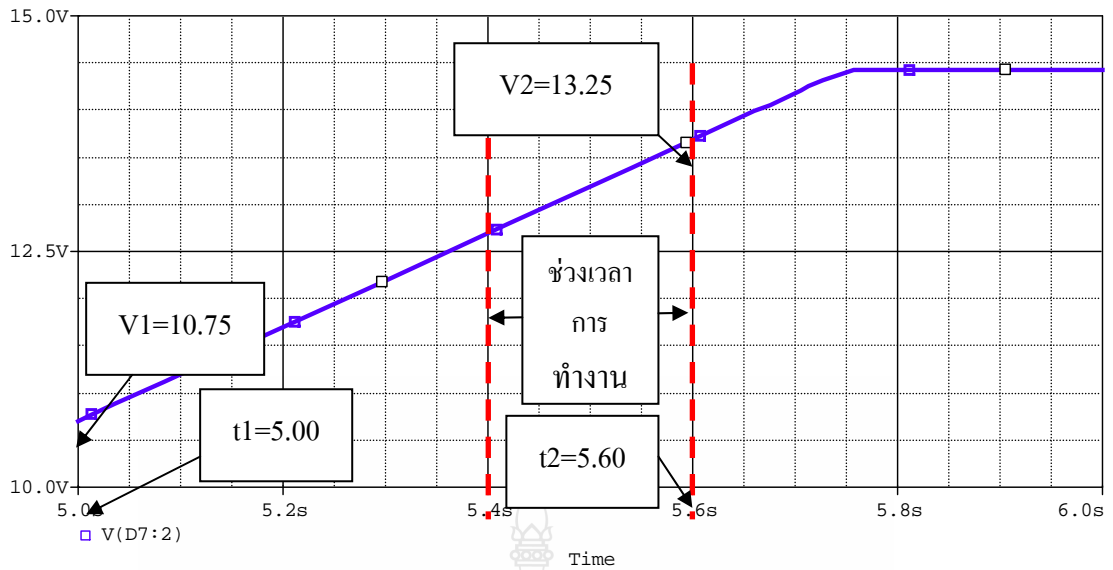


รูปที่ 3.10 วงจรอิเล็กทรอนิกส์โหลด



รูปที่ 3.11 ผลการจำลองการทำงานของชุดขับมอสเฟต

จากรูปที่ 3.11 แสดงช่วงเวลาการทำงานโดยรวมของมอสเฟต เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าอินพุต 5 โวลต์



รูปที่ 3.12 ช่วงเวลาการทำงานของโพลดิรคัทโนมิต

จากรูปที่ 3.12 เป็นการขยายช่วงเวลาการทำงานของมอสเฟตที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์ โพลดิ

จากการออกแบบวงจรในรูปที่ 3.10 ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 3.11 ไปควบคุมการทำงานของมอสเฟตให้สามารถเปลี่ยนแปลงความต้านทานจากค่าสูงสุดลดลงจนถึงค่าต่ำสุด จากการทดสอบมอสเฟตเริ่มทำงานเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต 12.75 โวลต์ ที่เวลา 5.4 วินาที และใช้เวลาในการปรับค่าความต้านจนถึงค่าต่ำสุด 0.2 วินาที จากรูปที่ 3.12 ทำการคำนวณหาค่าของความชันที่ส่งผลต่อการทำงานของมอสเฟตได้ดังนี้

$$\text{Slop} = \frac{V2 - V1}{t2 - t1} \quad (3.4)$$

เมื่อ

V1 คือ จุดเริ่มต้นของความชันที่ต้องการค่า

V2 คือ ส่วนสูงสุดของความชันที่ต้องการค่า

t1 คือ เวลาของจุดเริ่มต้นของความชันที่ต้องการค่า

t2 คือ เวลาของส่วนสูงสุดของความชันที่ต้องการค่า

จากรูปที่ 3.12 แทนค่าที่ได้ในสมการ 3.4

$$\begin{aligned} \text{Slop} &= \frac{13.25 - 10.75}{5.6 - 5.00} \\ &= 4.17 \end{aligned}$$

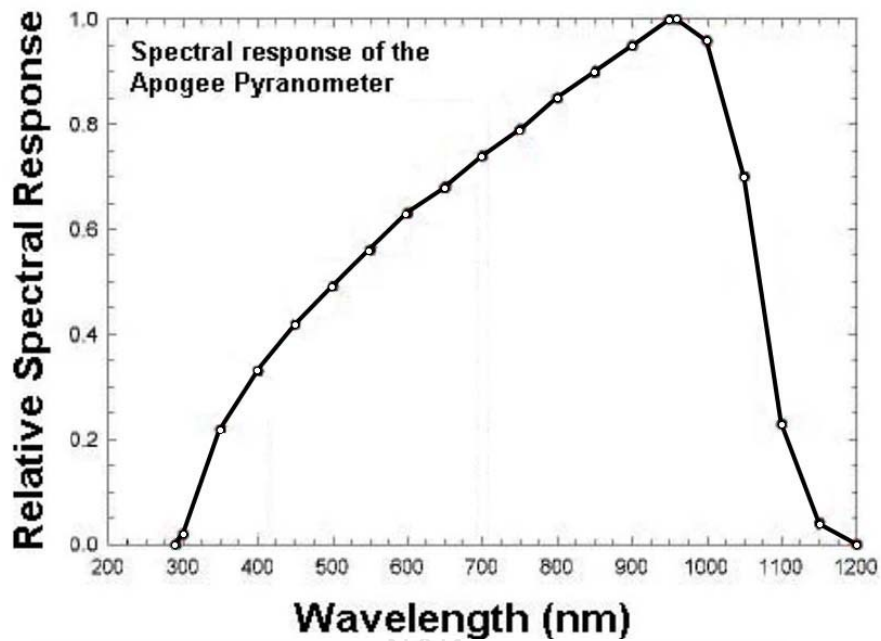
ดังนั้นค่าของความชันที่ส่งผลให้มอสเฟตเริ่มทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 12.75 โวลต์ และทำงานเต็มพิกัด แรงดันไฟฟ้า 13.25 โวลต์ มีค่าเท่ากับ 4.17

ตารางที่ 3.1 การทดสอบการทำงานของโพลีคาร์บอนเนต

เวลาในการทำงาน (วินาที)	แรงดันไฟฟ้าระหว่างขา (V)	กระแสไฟฟ้า เดรนและซอร์ส (A)	ค่าความต้านทาน เดรนและซอร์ส (Ω)
5.45	18.27957	0.073314	249.3326
5.50	17.54643	0.327468	53.58212
5.55	15.93353	0.835777	19.06433
5.60	9.872923	1.075269	9.181817
5.65	3.372434	1.129032	2.987014

### 3.6 วงจรวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

จากการศึกษาพบว่าไพราโนมิเตอร์ที่มีใช้ในปัจจุบันยังมีราคาแพงทำให้ต้นทุนในการสร้างมีราคาแพงตามไปด้วย ดังนั้นจึงทำการศึกษา และทดลองประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงในการวัดค่าความเข้มแสงแทนไพราโนมิเตอร์ โดยใช้ไพราโนมิเตอร์ Apogee รุ่น SP-110 [21] เป็นต้นแบบเปรียบเทียบการทำงาน ซึ่งค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้อยู่ในช่วง 300-1100 nm ดังกราฟในรูปที่ 3.13

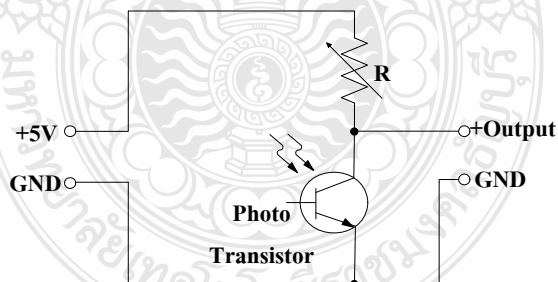


รูปที่ 3.13 พลังงานแสงอาทิตย์ ที่ Apogee Pyranometer สามารถวัดค่าได้ [21]

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงที่นำมาทดลองมีดังต่อไปนี้

### 1. โฟโตทรานซิสเตอร์

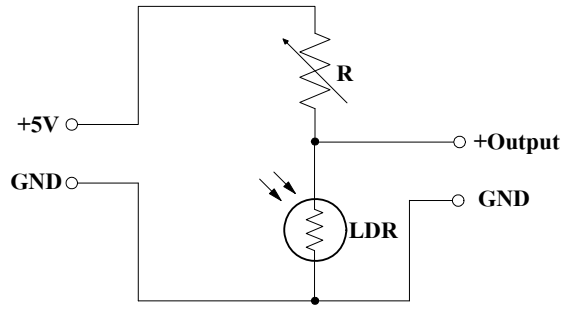
โฟโตทรานซิสเตอร์ไม่สามารถผลิตกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าได้เอง ดังนั้นจึงต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรที่สร้างขึ้น และใช้การแบ่งแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้ได้เอาต์พุตที่ต้องการ การต่อวงจรการทำงานแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากโฟโตทรานซิสเตอร์

### 2. แอลดีอาร์

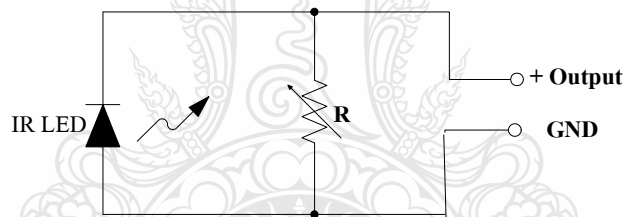
แอลดีอาร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน เมื่อได้รับแสงเช่นเดียวกับโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังนั้นจึงออกแบบวงจรการต่อใช้งานเหมือนกับวงจรของโฟโตทรานซิสเตอร์แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากแอลดีอาร์

### 3. โฟโตไดโอดชนิดอินฟาเรด

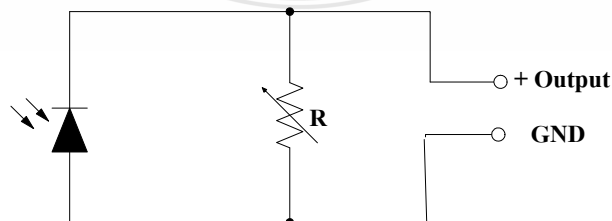
โฟโตไดโอดชนิดอินฟาเรด เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงที่ใกล้เคียงกัน สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้ โดยไม่ต้องมีแหล่งจ่ายพลังงาน ในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ ขึ้นอยู่กับการปรับค่าการจ่ายกระแสไฟฟ้าของโฟโตไดโอดชนิดอินฟาเรดโดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ การต่อวงจรการทำงานแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากโฟโตไดโอดชนิดอินฟาเรด

### 4. โฟโตไดโอด

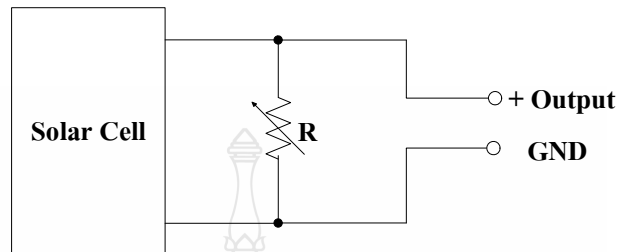
โฟโตไดโอด เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงที่ใกล้เคียงกัน สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้ เหมือนกับโฟโตไดโอดชนิดอินฟาเรด การต่อวงจรการทำงานแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากโฟโตไดโอด

## 5. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงที่ใกล้เคียงกัน สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับโฟโตโวลตาอิกชนิดอินฟราเรด ดังนั้นจึงออกแบบวงจรการต่อใช้งานเหมือนกับโฟโตโวลตาอิกชนิดอินฟราเรดดังรูปที่ 3.18



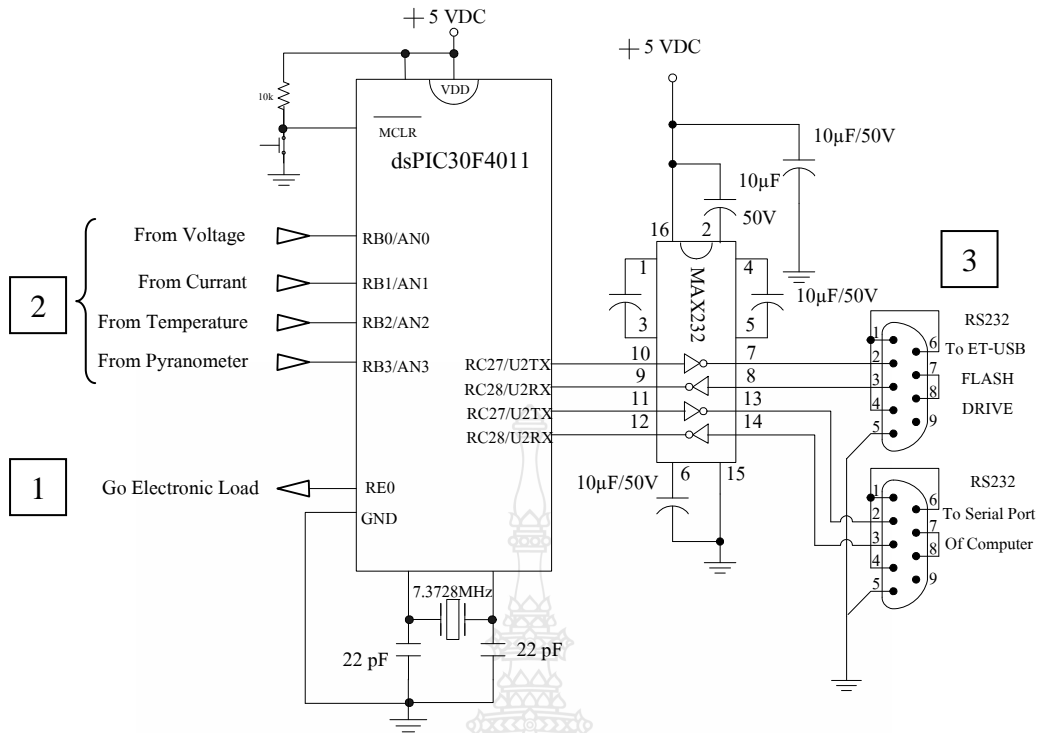
รูปที่ 3.18 วงจรของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่สร้างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

## 3.7 วงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการควบคุมการทำงานของระบบได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 โดยมีหน้าที่ในการทำงานดังนี้

- 1.สั่งงาน
- 2.รับและส่งข้อมูล
- 3.บันทึกค่า

ระบบมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ เมื่อทำการ สตาร์ทการทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงาน โหลดปรับค่าอัตโนมัติ ในขณะเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเก็บค่าข้อมูลของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ชนิดละ 40 ตัวอย่าง และจะมีการเก็บข้อมูลของ อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์อย่างละ 1 ตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าที่ได้ไปบันทึกใน EEPROM และส่งผ่านข้อมูลที่ผ่านพอร์ต RS232 บันทึกลง USB FLASH DRIVE โดยใช้ ET-USB FLASH DRIVE เป็นตัวกลางในการบันทึกค่า



รูปที่ 3.19 วงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

รูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นวงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งประกอบไปด้วย 1.การส่งสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมอิเล็กทรอนิกส์โหลด 2.การรับค่าจากภายนอก 3.การส่งผ่านข้อมูลเพื่อบันทึกค่าลงใน USB FLASH DRIVE

### 3.8 สรุปวิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ได้อธิบายไดอะแกรมโครงสร้างของชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ และนำเสนอการออกแบบ การจำลองการทำงาน รวมไปถึงการสร้างวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า วงจรวัดกระแสไฟฟ้า วงจรวัดค่าอุณหภูมิ วงจรวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะนำส่วนต่างๆดังกล่าวไปทำการทดสอบในบทต่อไป

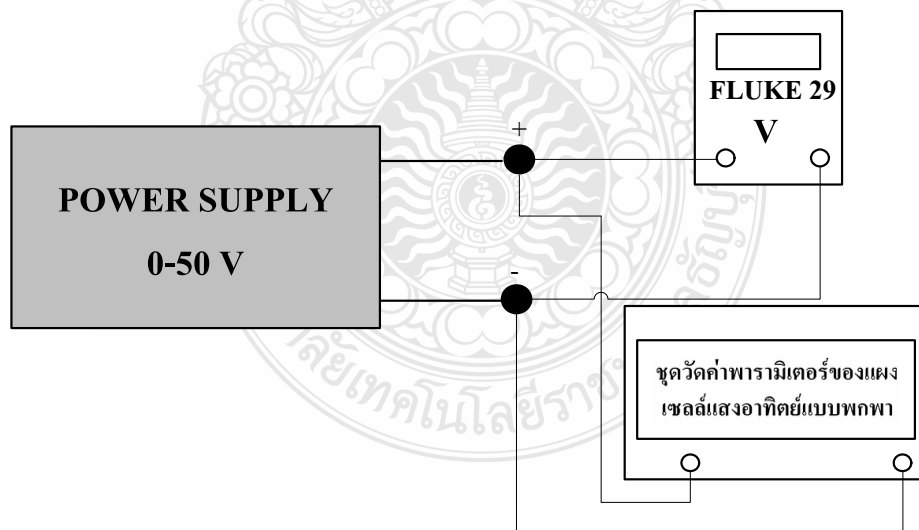
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดสอบชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยมีหัวข้อของการทดสอบดังนี้ การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าอุณหภูมิ การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

#### 4.1 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

ทำการทดสอบชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบที่สร้างขึ้นทดสอบการทำงานเปรียบเทียบกับมัลติมิเตอร์ของ FLUKE รุ่น 29 ในย่านการวัดแรงดันไฟฟ้า โดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าจากชุดกำเนิดกำลังไฟฟ้า จาก 0-50 โวลต์ เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 โวลต์ ทำการวัด และบันทึกผลลงในตาราง



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า



ตารางที่ 4.1 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่าแรงดันไฟฟ้า [20]

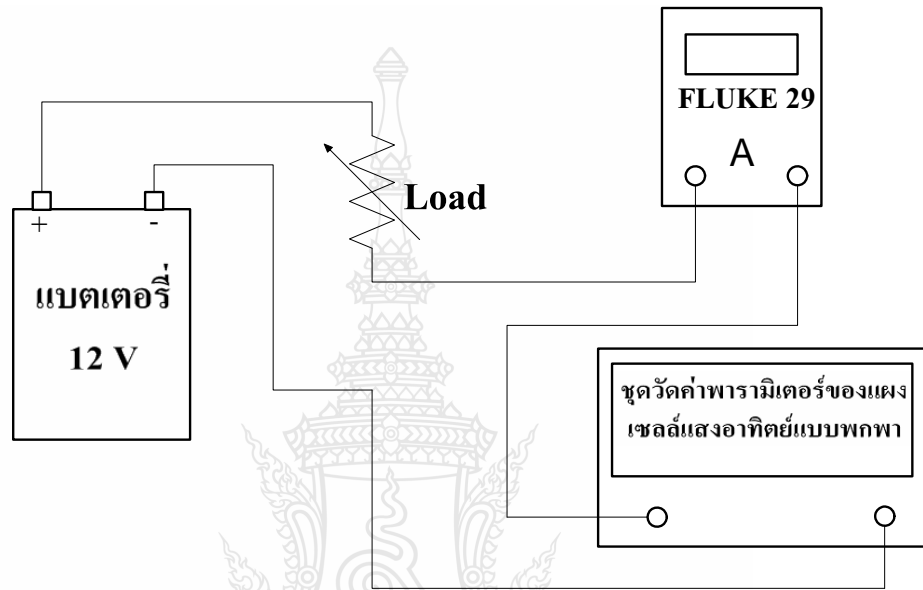
ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าที่วัด (V)	แรงดันไฟฟ้าที่วัด (V)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความ (%)	เปอร์เซ็นต์ความ (%)
1	0	0	-	-
2	5.00	4.84	3.20	96.80
3	10.00	9.92	0.80	99.20
4	15.00	14.91	0.60	99.40
5	20.00	19.94	0.30	99.70
6	25.00	25.02	0.08	99.92
7	30.00	30.11	0.37	99.63
8	35.00	35.09	0.26	99.74
9	40.00	40.03	0.08	99.93
10	45.00	45.16	0.36	99.64
11	50.00	49.94	0.12	99.88

ตารางที่ 4.2 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดรับค่าแรงดันไฟฟ้า [20]

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก (V)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากชุด (V)	เปอร์เซ็นต์ความ (%)
1	25.00	25.02	99.92
2	25.00	24.98	
3	25.00	24.98	
4	25.00	24.98	
5	25.00	25.02	
6	25.00	24.98	
7	25.00	25.02	
8	25.00	24.98	
9	25.00	24.98	
10	25.00	24.98	

## 4.2 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า

ทำการทดสอบชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้าของระบบที่สร้างขึ้นทดสอบการทำงานเปรียบเทียบกับมัลติมิเตอร์ของ FLUKE 29 ในย่านการวัดกระแสไฟฟ้า โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน และทำการปรับโหลด (Load) เพื่อสร้างกระแสไฟฟ้า ทำการวัด และบันทึกผลลงในตาราง



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่ากระแสไฟฟ้า

ครั้งที่	กระแสไฟฟ้าที่วัด (A)	กระแสไฟฟ้าที่วัด (A)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
1	0	0	-	-
2	0.50	0.47	6.00	94
3	1.00	0.97	3.00	97
4	1.50	1.48	1.33	98.67
5	2.01	2.00	0.50	99.50
6	2.53	2.52	0.40	99.60
7	3.03	3.05	0.66	99.34

ตารางที่ 4.3 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่ากระแสไฟฟ้า (ต่อ)

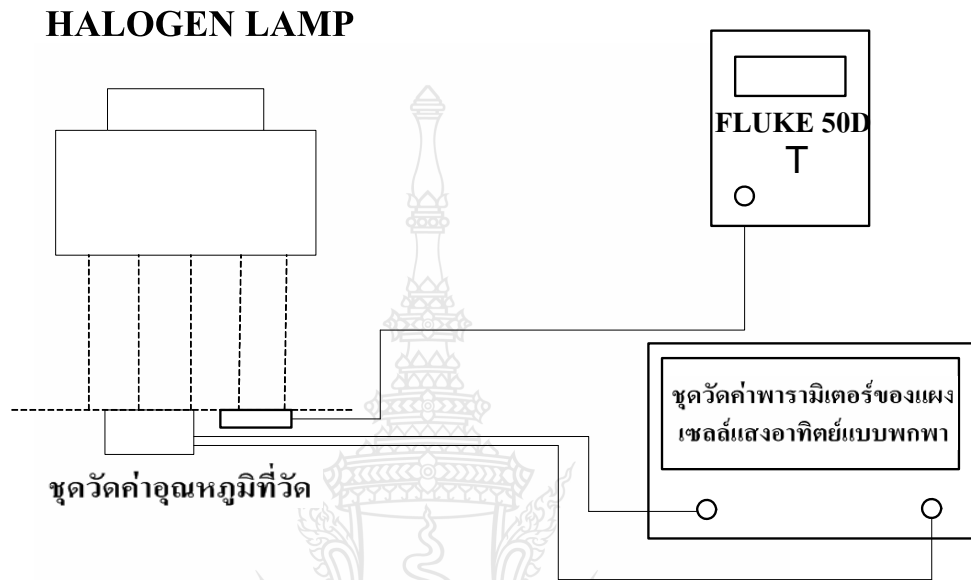
ครั้งที่	กระแสไฟฟ้าที่วัด (A)	กระแสไฟฟ้าที่วัด (A)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความ (%)	เปอร์เซ็นต์ความ (%)
8	3.55	3.53	0.56	99.44
9	4.12	4.16	0.97	99.03
10	4.45	4.46	0.22	99.78
11	4.98	4.99	0.20	99.80

ตารางที่ 4.4 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดรับค่ากระแสไฟฟ้า

ครั้งที่	กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก (A)	กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากชุด (A)	เปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรง (%)
1	2.53	2.52	99.80
2	2.53	2.52	
3	2.53	2.53	
4	2.53	2.52	
5	2.53	2.53	
6	2.53	2.53	
7	2.53	2.52	
8	2.53	2.53	
9	2.53	2.53	
10	2.53	2.52	

### 4.3 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าอุณหภูมิ

ทำการทดสอบชุดวัดค่าอุณหภูมิของระบบที่สร้างขึ้นทดสอบการทำงานเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดอุณหภูมิของ FLUKE 50D ทำการปรับอุณหภูมิโดยใช้อุณหภูมิจากหลอดไฟฮาโลเจน โดยใช้การปรับระดับความสูงของหลอดไฟฮาโลเจนขึ้นหรือลง เพื่อลดหรือเพิ่มอุณหภูมิตามแต่ต้องการ



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบชุดวัดค่าอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.5 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่าอุณหภูมิ

ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดได้ที่	อุณหภูมิที่วัดได้	ค่าเปอร์เซ็นต์ความ	เปอร์เซ็นต์ความ
	(°C)	(°C)	(%)	(%)
1	25	25	0	100
2	26	26	0	100
3	27	27	0	100
4	28	28	0	100
5	29	29	0	100
6	30	29	0.03	97
7	31	31	0	100

ตารางที่ 4.5 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่าอุณหภูมิ (ต่อ)

ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดได้ที่ (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความ (%)	เปอร์เซ็นต์ความ (%)
8	32	32	0.00	100
9	33	33	0.00	100
10	34	35	2.94	97
11	35	35	0.00	100
12	36	36	0.00	100
13	37	37	0.00	100
14	38	38	0.00	100
15	39	39	0.00	100
16	40	41	2.50	98
17	41	41	0.00	100
18	42	42	0.00	100
19	43	43	0.00	100
20	44	45	2.27	98
21	45	45	0.00	100
22	46	46	0.00	100
23	47	47	0.00	100
24	48	49	2.08	98
25	49	49	0.00	100
26	50	50	0.00	100
27	51	51	0.00	100
28	52	53	1.92	98
29	53	53	0.00	100
30	54	54	0.00	100
31	55	55	0.00	100
32	56	57	1.79	98
33	57	58	1.75	98

ตารางที่ 4.5 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดรับค่าอุณหภูมิ (ต่อ)

ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดได้ที่	อุณหภูมิที่วัดได้	ค่าเปอร์เซ็นต์ความ	เปอร์เซ็นต์ความ
	(°C)	(°C)	(%)	(%)
34	58	58	0.00	100
35	59	59	0.00	100
36	60	60	0.00	100

\*หมายเหตุ ในกรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 เนื่องจากในการวัดค่าขององศาที่มีการปิดค่าทศนิยม ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนจึงกำหนดเท่ากับค่าคลาดเคลื่อนของมิเตอร์ต้นแบบที่นำมาทดสอบ

ตารางที่ 4.6 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดรับค่าอุณหภูมิ

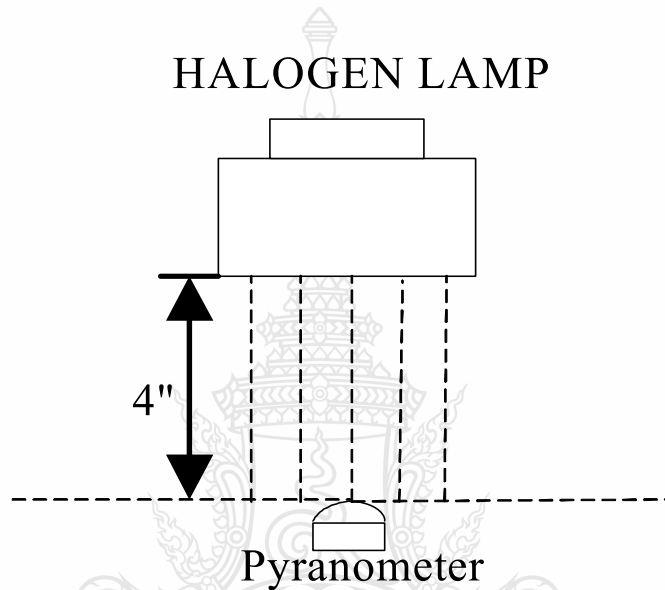
ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดได้ที่วัดได้	อุณหภูมิที่วัดได้จากชุดวัด	เปอร์เซ็นต์ความ
	(°C)	(°C)	(%)
1	25	25	99.60
2	25	24	
3	25	25	
4	25	25	
5	25	26	
6	25	25	
7	25	26	
8	25	26	
9	25	24	
10	25	25	

#### 4.4 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

จากความต้องการให้ได้เซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีราคาถูก จึงได้ทำการสร้าง และทดสอบเปรียบเทียบกับเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายของ Apogee รุ่น SP-110 โดยทำการทดสอบด้วยแสงที่ได้จากหลอดฮาโลเจน และแสงจากอาทิตย์ เพื่อหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมในการสร้างเป็นอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์

#### 4.4.1 การทดสอบโดยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจน

ทำการทดสอบโดยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนจากมากที่สุดลดลงสู่น้อยเพื่อทดสอบการตอบสนองต่อความเข้มแสงที่ได้ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆที่นำมาทดสอบเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ โดยการตั้งค่าเอาต์พุตสูงสุดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาทดสอบไว้ที่ 350 mV เนื่องจากไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมีช่วงการวัดคงที่เป็น (Linear range) ที่ 0-350 mV ทดสอบที่ปริมาณเอาต์พุตของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบที่ 300 mV ( $1,500 \text{ W/m}^2$ ) และทำการลดปริมาณแสงของหลอดฮาโลเจนลงครั้งละ 25 mV ทำการวัด และบันทึกผล



รูปที่ 4.4 การทดสอบโดยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจน

ตารางที่ 4.7 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

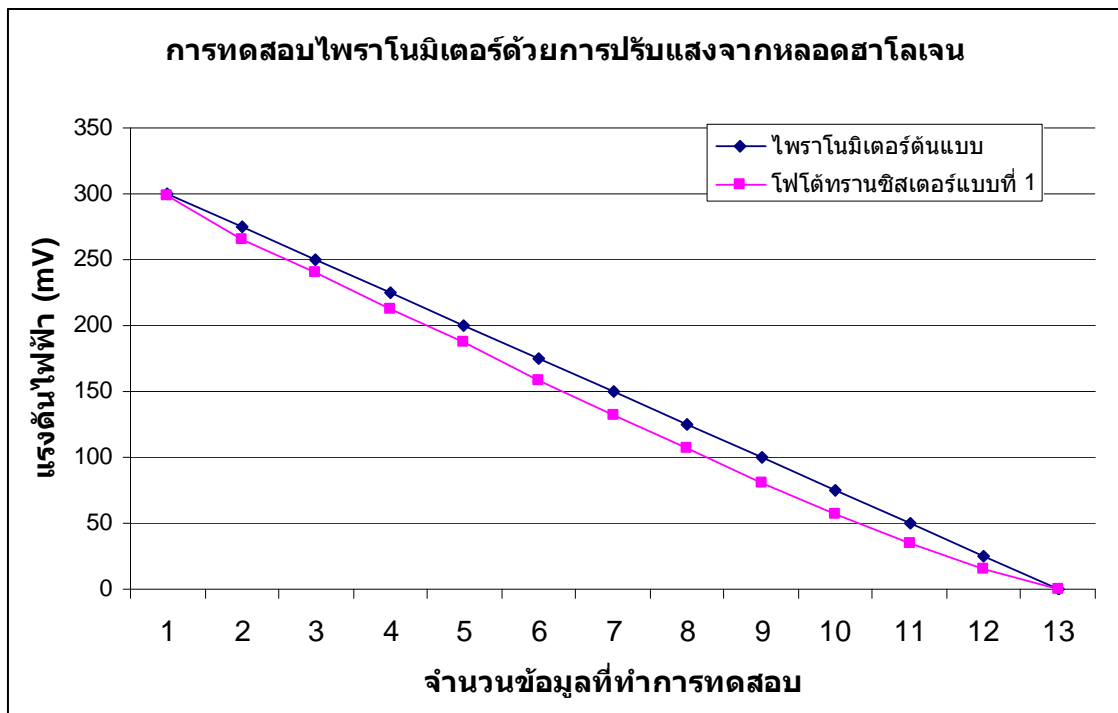
ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบ (mV)
1	0	300	299
2	0	275	265
3	0	250	240
4	0	225	213
5	0	200	187
6	0	175	159
7	0	150	132
8	0	125	107
9	0	100	81
10	0	75	57
11	0	50	35
12	0	25	15
13	0	0	0

ตารางบันทึกผลการทดสอบการทำงานด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 แอลดีอาร์ โฟโต้ไดโอดชนิดอินฟราเรด โฟโต้ไดโอดแบบที่ 1 โฟโต้ไดโอดแบบที่ 2 และเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการบันทึกผลในภาคผนวก ข



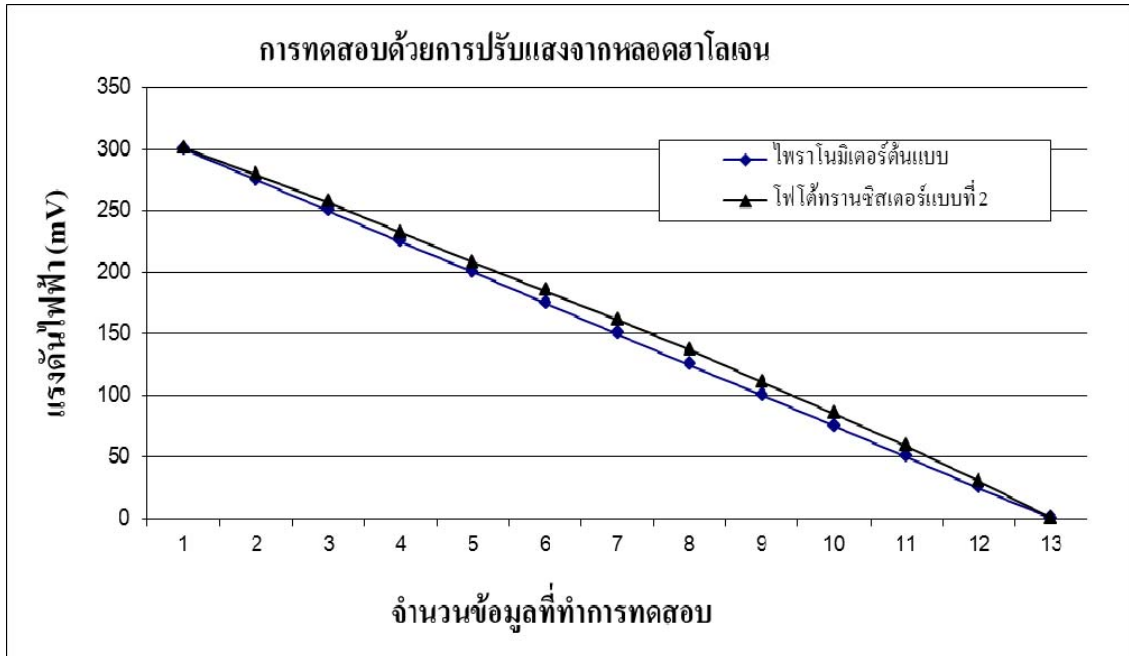
ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดความเข้มแสงที่สร้างขึ้น ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบการทำงานกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. จากผลการทดสอบการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้น้อยกว่าต้นแบบ ค่าของผลต่างของการทดสอบมากที่สุดเท่ากับ 40 เอร์เซ็นต์ และค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 12.95 เอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

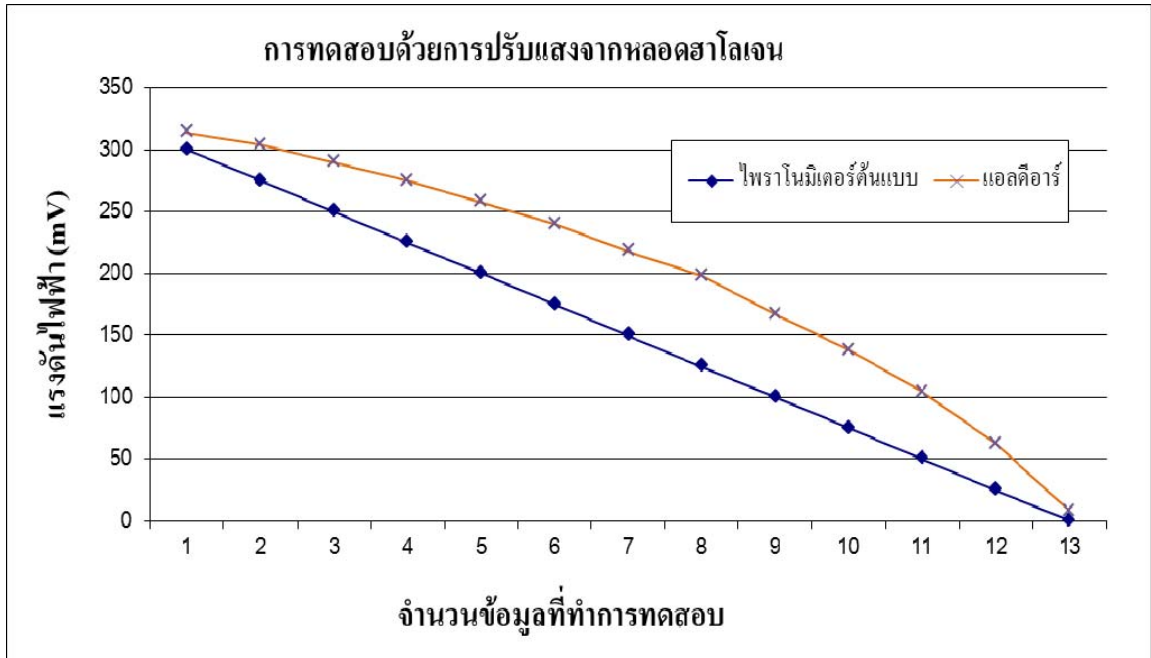
2. จากผลการทดสอบการทำงานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มากกว่าต้นแบบ ค่าของผลต่างของการทดสอบมากที่สุดเท่ากับ 20 เปรอร์เซ็นต์ และค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.44 เปรอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ



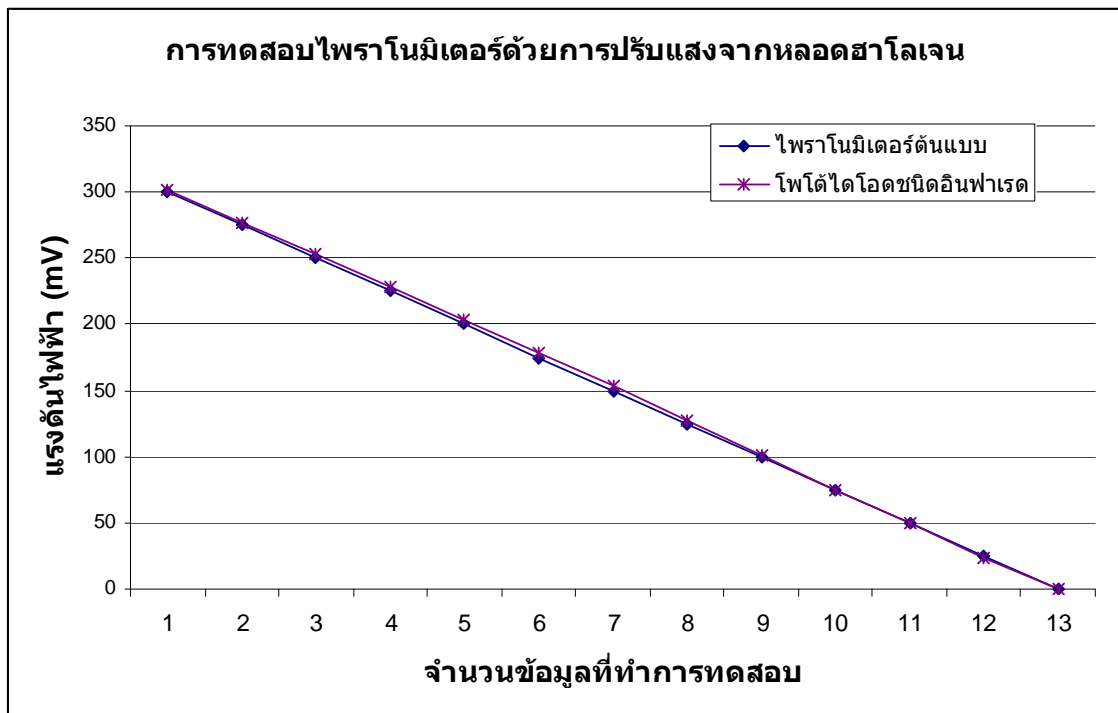
3. จากผลการทดสอบการทำงานของแอลดีอาร์ พบว่ามีค่าปริมาณของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้ มากกว่าต้นแบบ ค่าของผลต่างของการทดสอบมากที่สุดเท่ากับ 148 เปรอร์เซ็นต์ และค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 48.49 เปรอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบแอลดีอาร์ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบ



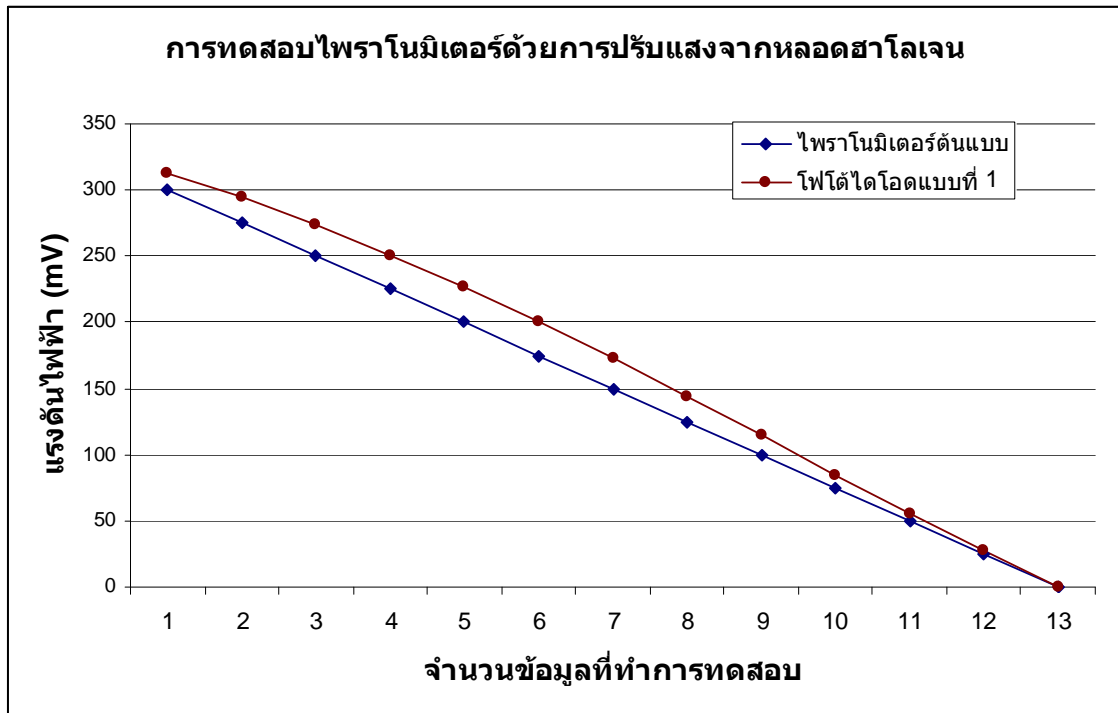
4. จากผลการทดสอบการทำงานของโฟโต้ไดโอดชนิดอินฟาเรด พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มากกว่าต้นแบบ ค่าของผลต่างของการทดสอบมากที่สุดเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ และค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบโฟโต้ไดโอดชนิดอินฟาเรดด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ



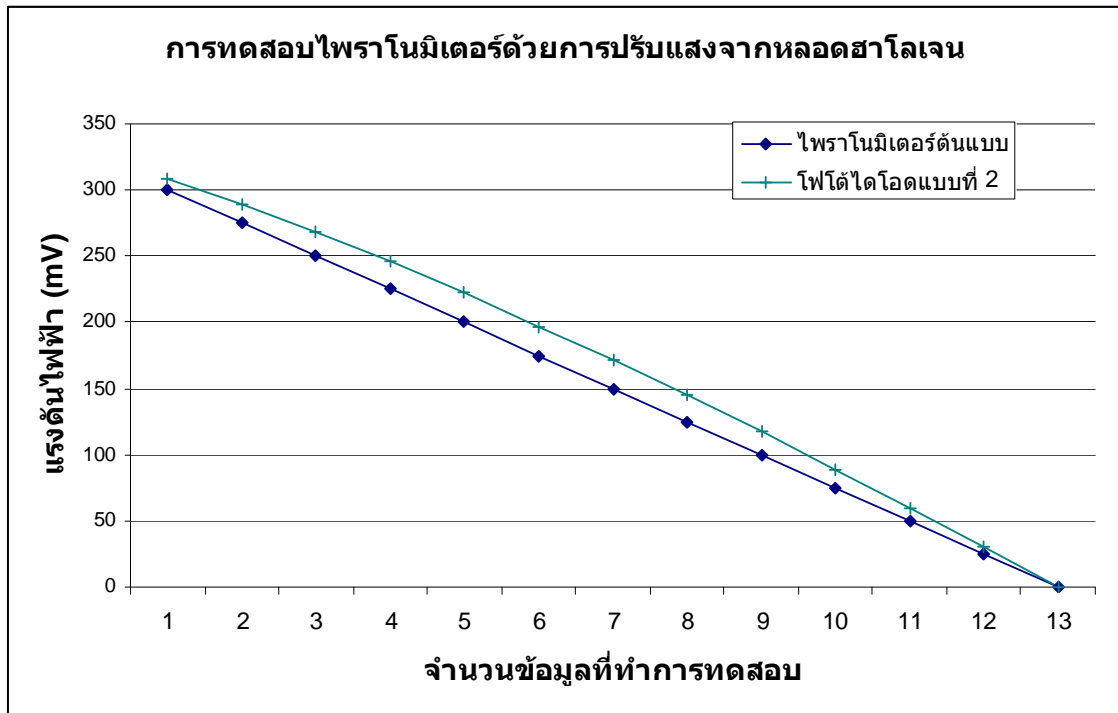
5. จากผลการทดสอบการทำงานของโฟโตไดโอดแบบที่ 1 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มากกว่าต้นแบบ ค่าของผลต่างของการทดสอบมากที่สุดเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ และค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 13.33 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบโฟโตไดโอดแบบที่ 1 ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

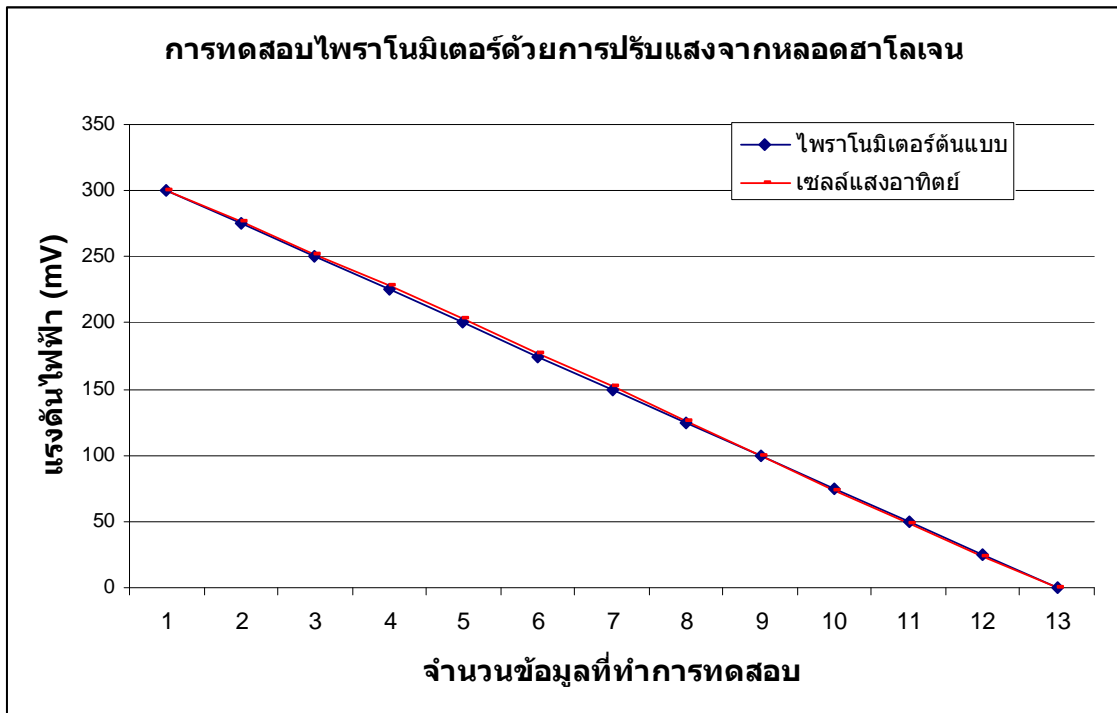


6. จากผลการทดสอบการทำงานของโฟโตไดโอดแบบที่ 2 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มากกว่าต้นแบบ ค่าของผลต่างของการทดสอบมากที่สุดเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ และค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 11.72 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.10



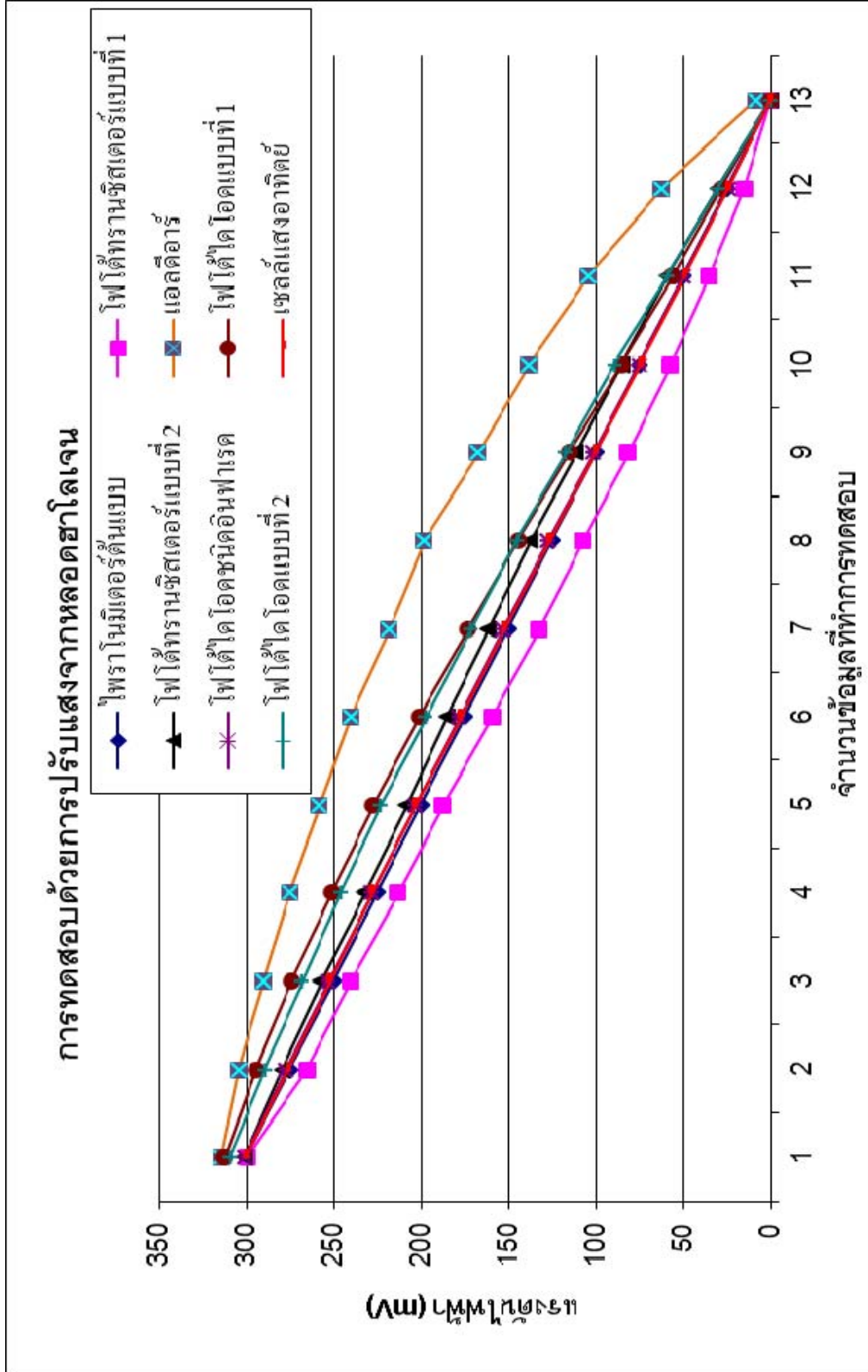
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบโฟโตไดโอดแบบที่ 2 ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

7. จากผลการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มีความใกล้เคียงไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบที่มากที่สุดเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ และค่าของผลต่างของการทดสอบที่เฉลี่ยเท่ากับ 1.12 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบสรุปผลได้ว่าไพราโนมิเตอร์จากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กให้ผลของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตใกล้เคียงกับ ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด โดยมีค่าผลต่างเฉลี่ยที่ 1.12 เปอร์เซ็นต์



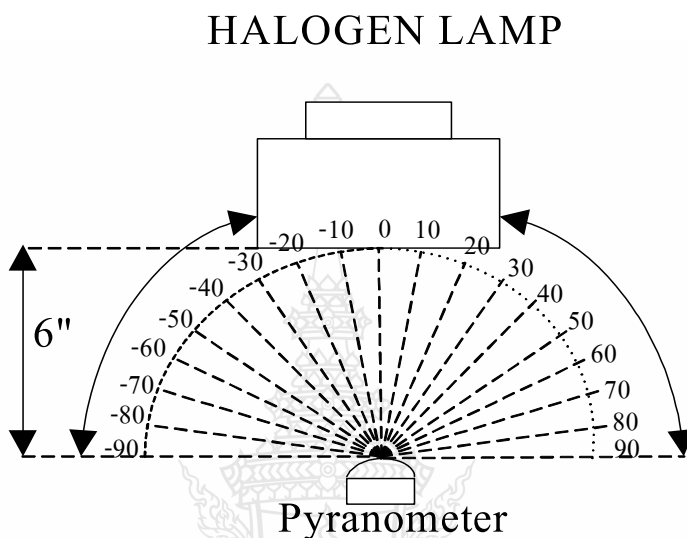
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

ด้วยการปรับความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบ



#### 4.4.2 การทดสอบมุมรับแสงของอุปกรณ์

ทำการทดสอบโดยการปรับมุมของแหล่งกำเนิดแสง เพื่อทดสอบการตอบสนองต่อความเข้มแสง ในมุมการรับแสงที่แตกต่างกันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์วัดความเข้มแสงเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ โดยทำการปรับมุมตั้งแต่ 90 องศา ถึง -90 องศา กำหนดให้ทำการปรับมุมการทดสอบครั้งละ 10 องศา



รูปที่ 4.13 การทดสอบด้วยการปรับมุมของแหล่งกำเนิดแสงทุกๆ 10 องศา

ตารางที่ 4.8 การทดสอบการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 ในมุมการรับแสงที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโตทรานซิสเตอร์ 1 (mV)
1	90	19	4
2	80	21	5
3	70	25	6
4	60	36	8
5	50	55	11
6	40	73	24
7	30	86	43
8	20	110	91
9	10	125	101
10	0	135	114

ตารางที่ 4.8 การทดสอบการทำงานของโฟโตรีซิสเตอร์แบบที่ 1 ในมุมการรับแสงที่กำหนด  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (ต่อ)

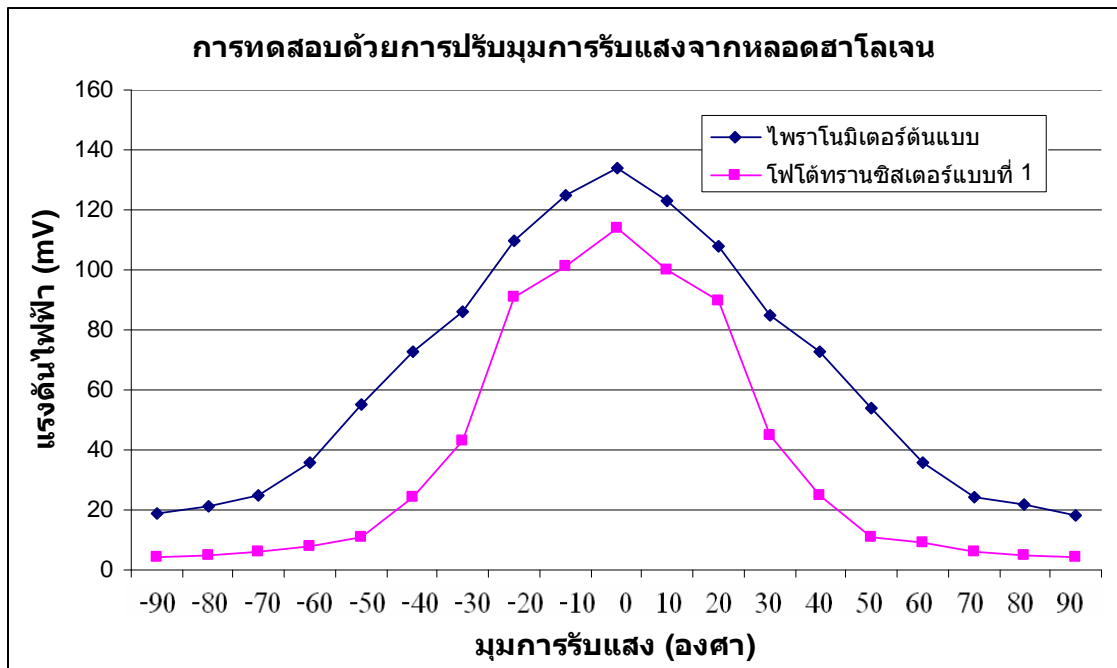
ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโตรีซิสเตอร์ 1 (mV)
11	-10	123	100
12	-20	108	90
13	-30	85	45
14	-40	73	25
15	-50	54	11
16	-60	36	9
17	-70	24	6
18	-80	22	5
19	-90	18	4

ตารางบันทึกผลการทดสอบการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 แอลดีอาร์ โฟโตรีซิสเตอร์ชนิดอินฟราเรด โฟโตรีซิสเตอร์แบบที่ 1 โฟโตรีซิสเตอร์แบบที่ 2 และเซลล์แสงอาทิตย์ ในมุมการรับแสงที่กำหนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ ทำการบันทึกผลในภาคผนวก ข

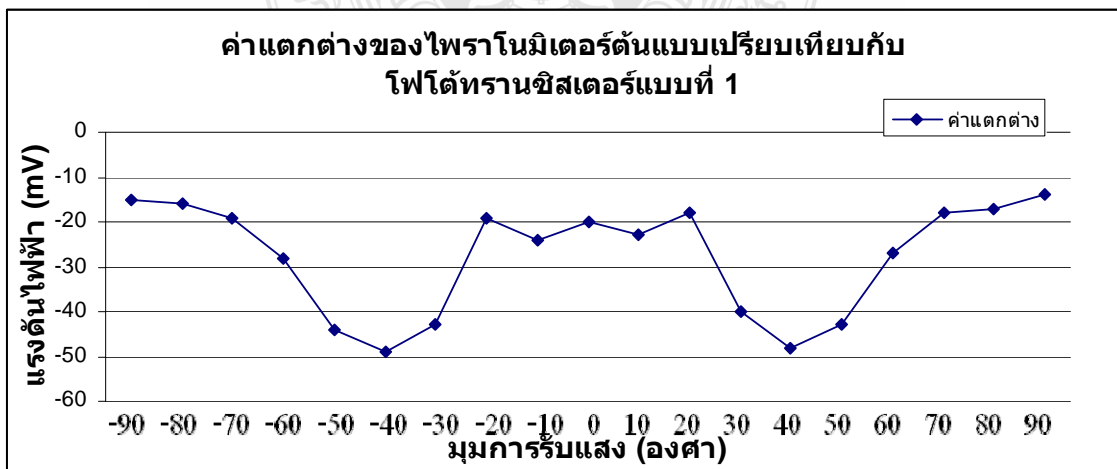


ผลการทดสอบด้วยการปรับมุมแสงจากหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์  
ต้นแบบ สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. การทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มีน้อยกว่า  
ต้นแบบแต่มีพฤติกรรมการทำงานใกล้เคียงกับต้นแบบในระดับหนึ่ง ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่  
4.14 และ 4.15



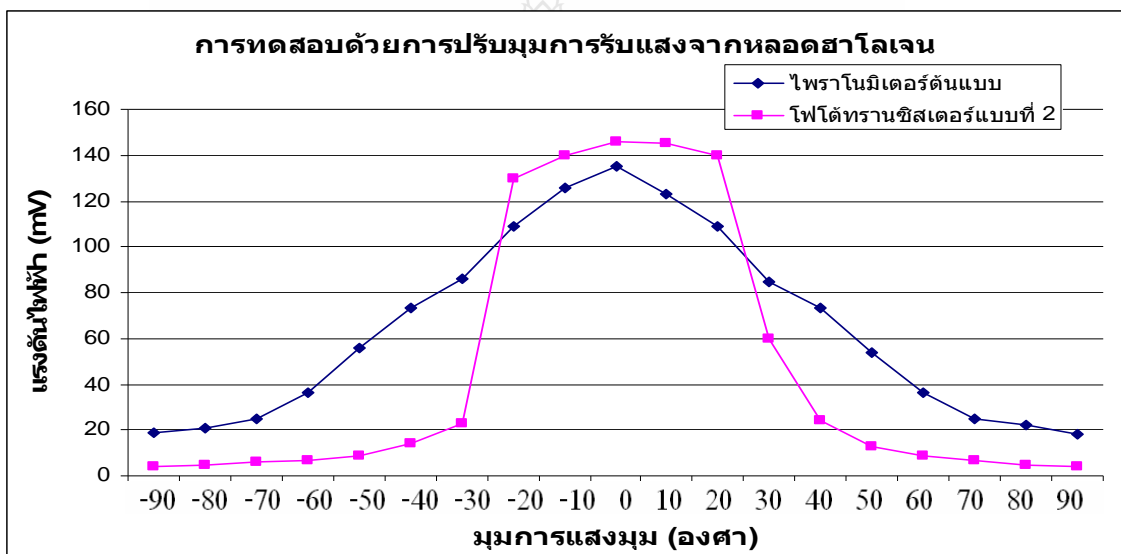
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับ  
ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ



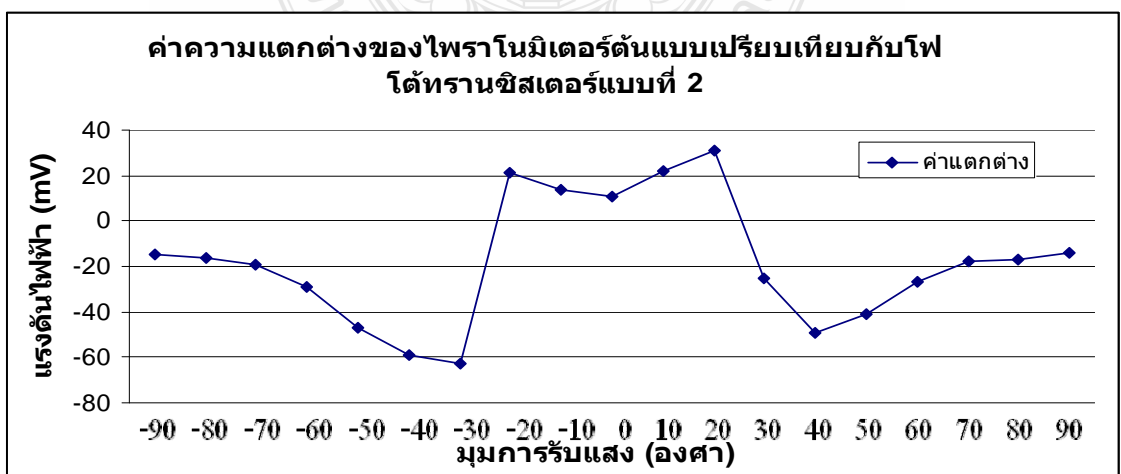
รูปที่ 4.15 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโตทรานซิสเตอร์แบบที่ 1

เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.15 จะเกิดค่าความแตกต่างของพฤติกรรมเอาท์พุทที่มีความแตกต่างมากขึ้นในมุม -70 ถึง -40 องศา และเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้ามอย่างรวดเร็วในมุม -40 ถึง -20 องศาและมีการลดลงของเอาท์พุทลดลงอย่างรวดเร็วในมุม 20 ถึง 40 องศา โดยประมาณและจะมีเอาท์พุทที่มีความแตกต่างลดน้อยลงในมุม 40 ถึง 90 องศา

2. การทำงานของโฟโตรีสซิสเตอร์แบบที่ 2 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทน้อยเมื่อแสงตกกระทบบนขั้วโฟโตรีสซิสเตอร์แบบที่ 2 และจะให้เอาท์พุทเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแสงตกกระทบบนของทรานซิสเตอร์โดยตรงสอดคล้องกับมุมการทำงานของอุปกรณ์ [26] ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.16 และ 4.17



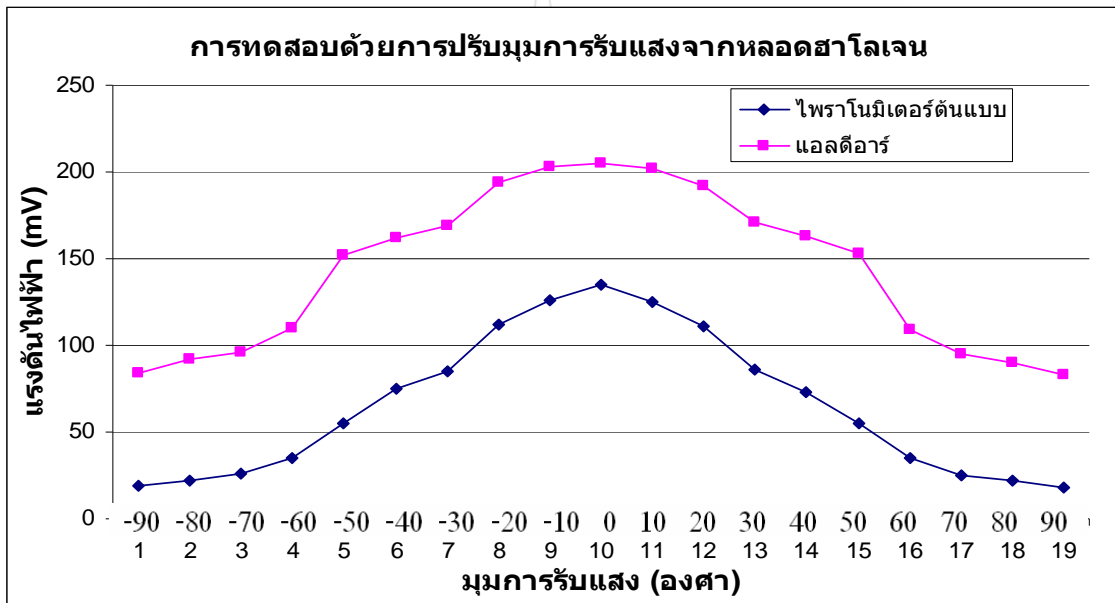
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบโฟโตรีสซิสเตอร์แบบที่ 2 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ



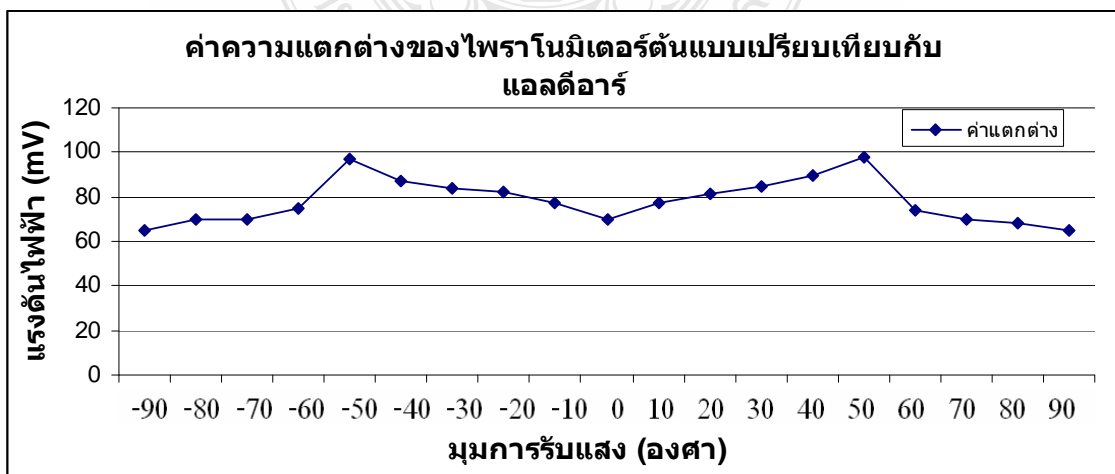
รูปที่ 4.17 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโตรีสซิสเตอร์แบบที่ 2

เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.17 จะเกิดค่าความแตกต่างของพฤติกรรมเอาท์พุทที่มีความแตกต่างมากขึ้นในมุม -60 ถึง -30 องศา และเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้ามอย่างรวดเร็วจนมีเอาท์พุทมากกว่าต้นแบบในมุม -30 ถึง -20 องศาและมีการลดลงของเอาท์พุทลดลงอย่างรวดเร็วในมุม 20 ถึง 40 องศา โดยประมาณและจะมีเอาท์พุทที่มีความแตกต่างลดน้อยลงในมุม 40 ถึง 90 องศา

3. การทำงานของแอลดีอาร์ พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้มากกว่าต้นแบบแต่มีพฤติกรรมการการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเอาท์พุทสอดคล้องกับต้นแบบ แต่เนื่องปริมาณของเอาท์พุทที่แตกต่างกันมาก ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.18 และ 4.19



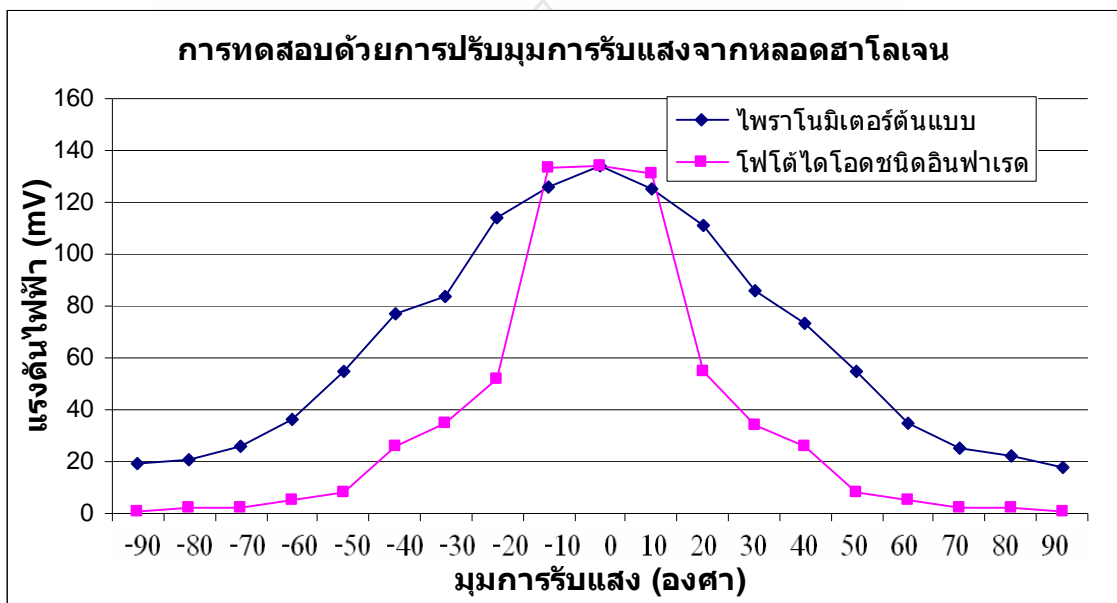
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบแอลดีอาร์ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบ



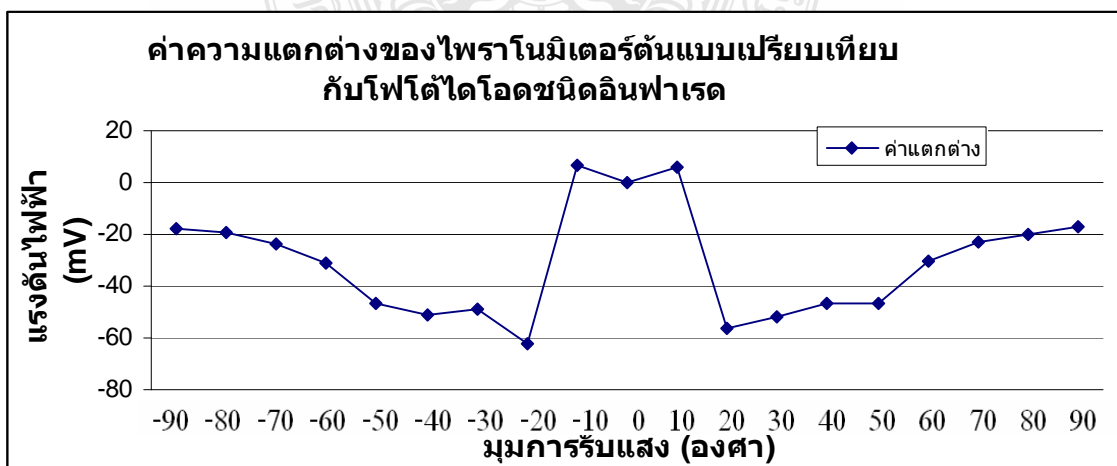
รูปที่ 4.19 ค่าความแตกต่างของไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับแอลดีอาร์

เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.19 จะเกิดความแตกต่างของพฤติกรรมเอาท์พุทเมื่อเปรียบเทียบกับต้นแบบมาก แต่จะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

4. การทำงานของโฟโตนิกไดโอดชนิดอินฟราเรด พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทน้อยเมื่อแสงตกกระทบบนด้านข้างของโฟโตนิกไดโอดชนิดอินฟราเรด และจะให้เอาท์พุทเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแสงตกกระทบบนของโฟโตนิกไดโอดชนิดอินฟราเรดสอดคล้องกับมุมมองการทำงานของอุปกรณ์ [28] ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



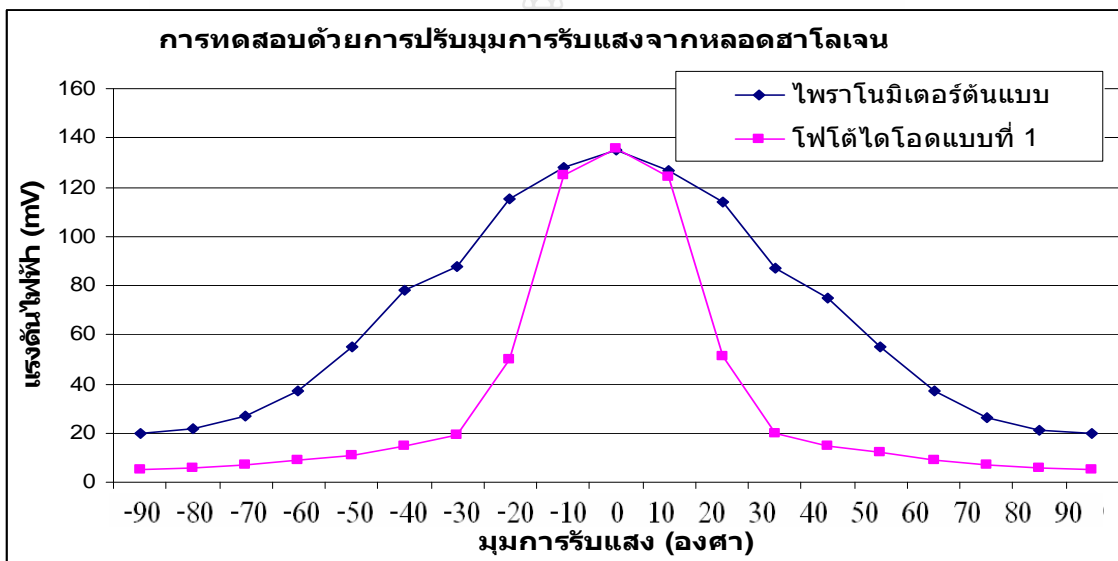
รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบโฟโตนิกไดโอดชนิดอินฟราเรดในมุมมองการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ



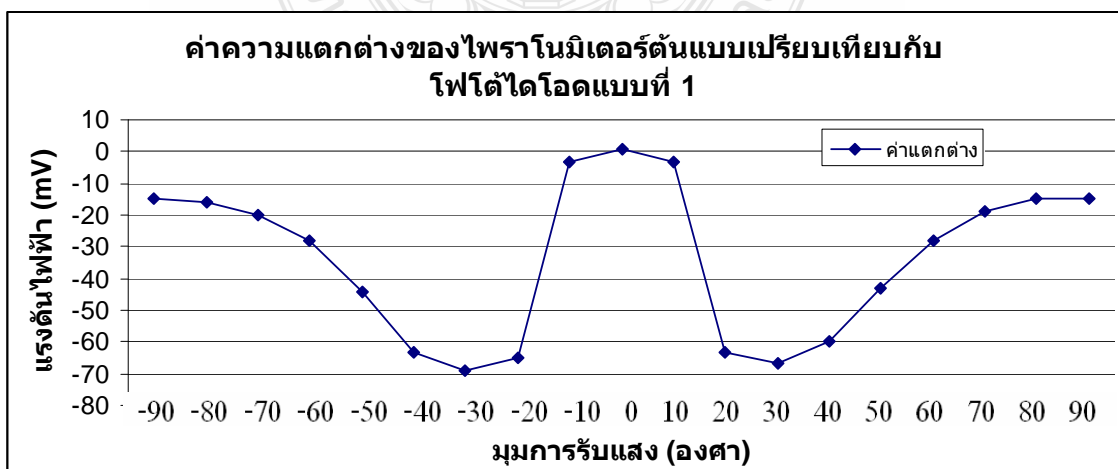
รูปที่ 4.21 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโตนิกไดโอดชนิดอินฟราเรด

เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.21 จะเกิดค่าความแตกต่างของพฤติกรรมเอาท์พุทที่มีความแตกต่างมากขึ้นในมุม -70 ถึง -20 องศา และเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้ามอย่างรวดเร็วจนมีเอาท์พุทมากกว่าต้นแบบในมุม -20 ถึง -10 องศา และมีการลดลงของเอาท์พุทลดลงอย่างรวดเร็วในมุม 10 ถึง 20 องศา และจะมีเอาท์พุทที่มีความแตกต่างลดน้อยลงในมุม 20 ถึง 90 องศา

5. การทำงานของโฟโตนิกไดโอดแบบที่ 1 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทน้อยเมื่อแสงตกกระทบด้านข้างโฟโตนิกไดโอดแบบที่ 1 และจะให้เอาท์พุทเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแสงตกกระทบด้านบนของโฟโตนิกไดโอดโดยตรงสอดคล้องกับมุมการทำงานของอุปกรณ์ [29] ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.22 และ 4.23



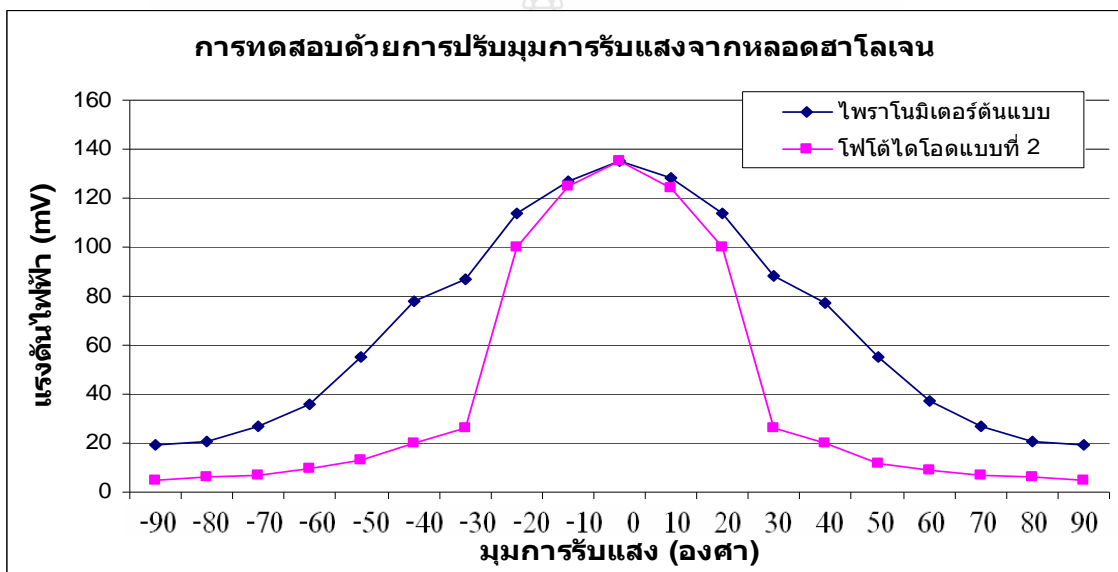
รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบโฟโตนิกไดโอดแบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบ



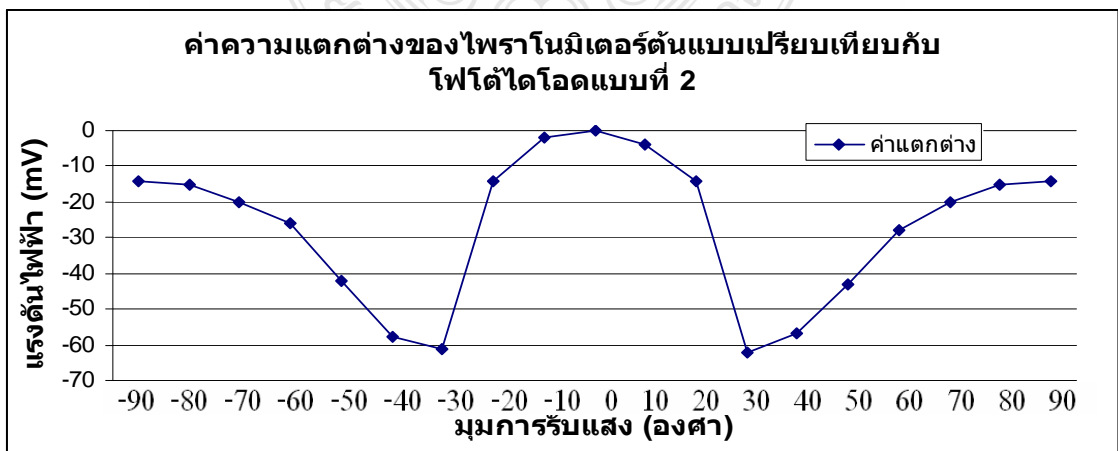
รูปที่ 4.23 ค่าความแตกต่างของไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโตนิกไดโอดแบบที่ 1

เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.23 จะเกิดค่าความแตกต่างของพฤติกรรมเอาท์พุทที่มีความแตกต่างมากขึ้นในมุม -90 ถึง -40 องศา และเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้ามอย่างรวดเร็วจนมีเอาท์พุทเท่ากับต้นแบบในมุม -20 ถึง -10 องศา และมีการลดลงของเอาท์พุทลดลงอย่างรวดเร็วในมุม 10 ถึง 20 องศา และจะมีเอาท์พุทที่มีความแตกต่างลดน้อยลงในมุม 40 ถึง 90 องศา

6. การทำงานของโฟโตรีซิสเตอร์แบบที่ 2 พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทน้อยเมื่อแสงตกกระทบด้านข้างโฟโตรีซิสเตอร์แบบที่ 2 และจะให้เอาท์พุทเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแสงตกกระทบด้านบนของโฟโตรีซิสเตอร์โดยตรงสอดคล้องกับมุมการทำงานของอุปกรณ์ [29] ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.24 และ 4.25



รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบโฟโตรีซิสเตอร์แบบที่ 2 ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับโฟทรานซิสเตอร์ต้นแบบ

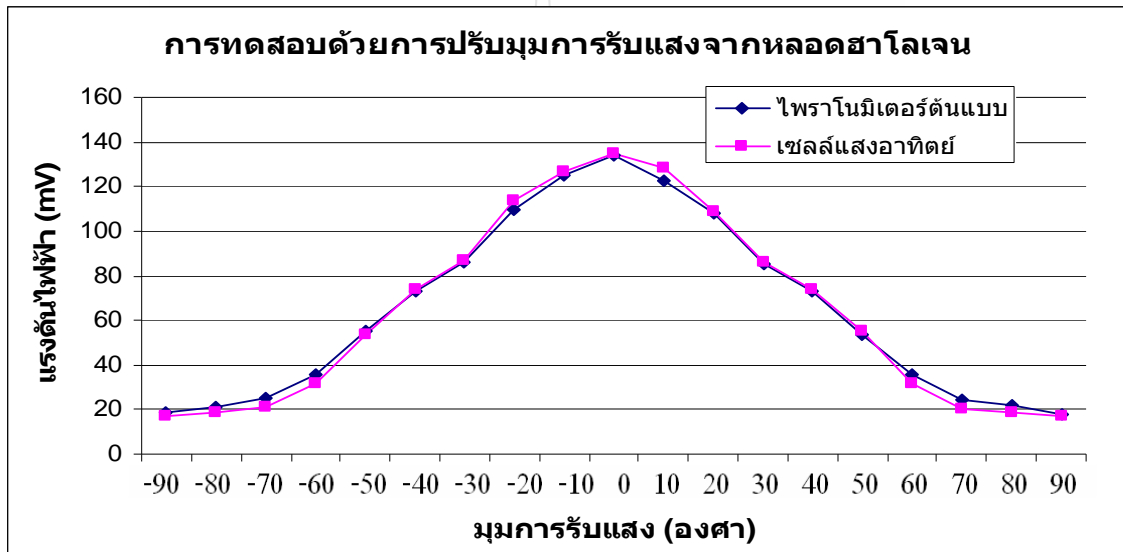


รูปที่ 4.25 ค่าความแตกต่างของโฟทรานซิสเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับโฟโตรีซิสเตอร์แบบที่ 2

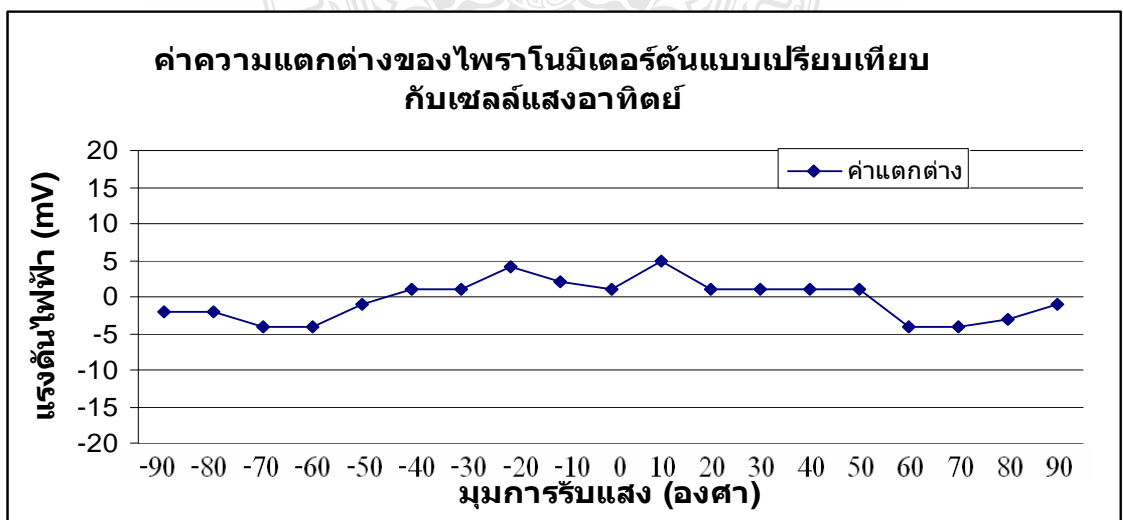


เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.25 จะเกิดค่าความแตกต่างของพฤติกรรมเอาท์พุทที่มีความแตกต่างมากขึ้นในมุม -80 ถึง -30 องศา และเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้ามอย่างรวดเร็วจนมีเอาท์พุทเท่ากับต้นแบบในมุม -30 ถึง -20 องศา และมีการลดลงของเอาท์พุทลดลงอย่างรวดเร็วในมุม 20 ถึง -30 องศา และจะมีเอาท์พุทที่มีความแตกต่างลดน้อยลงในมุม 30 ถึง 80 องศา

7. การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้มีความใกล้เคียงไพราโนมิเตอร์ต้นแบบในทุกๆมุมที่ทำการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.26 และ 4.27



รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

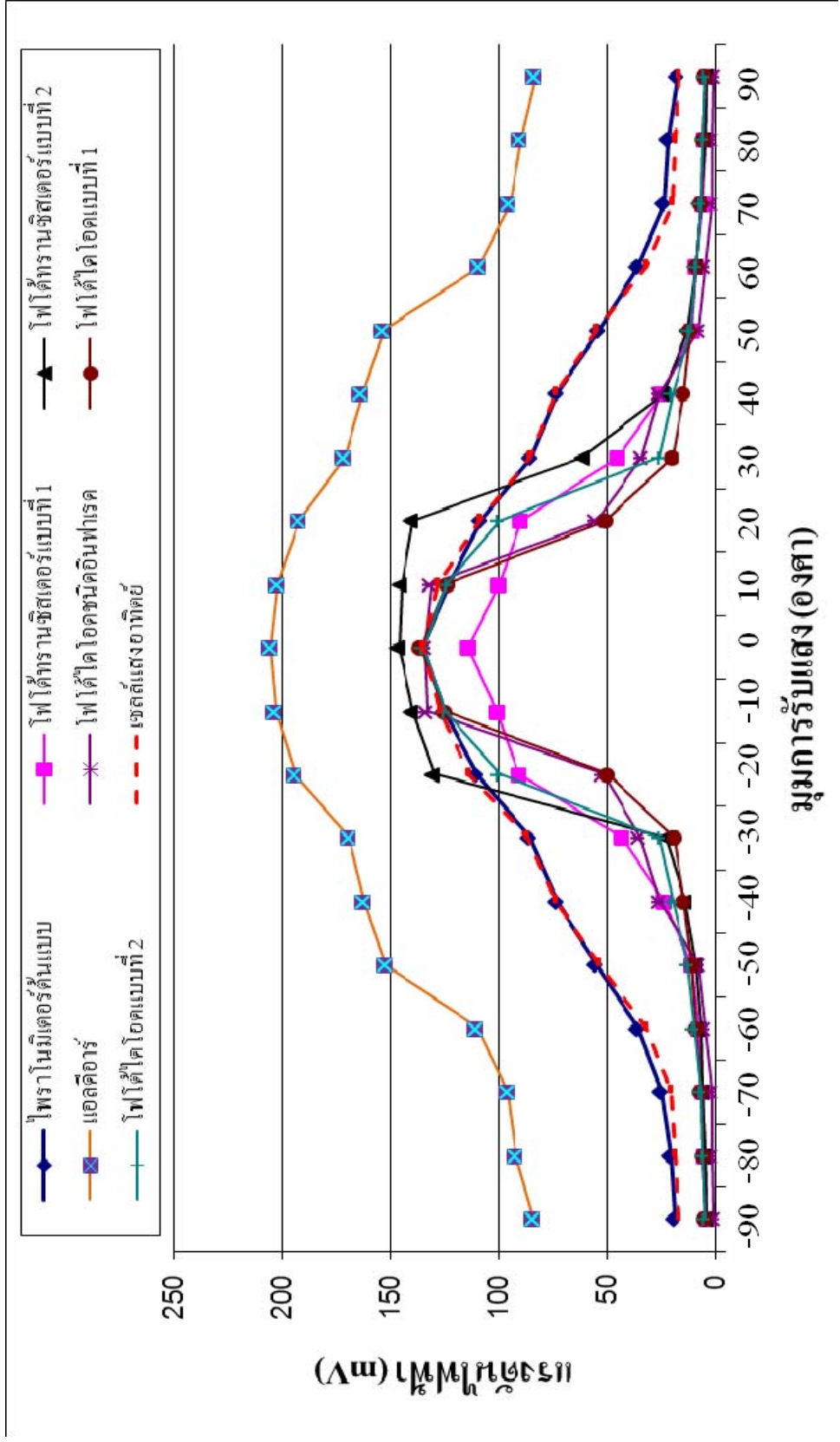


รูปที่ 4.27 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.27 จะมีพฤติกรรมเอาท์พุทใกล้เคียงกับต้นแบบมากที่สุด เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะมีผลของพฤติกรรมดังนี้ ในมุม -90 ถึง -60 องศา เอาท์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์จะน้อยกว่าต้นแบบเล็กน้อย ในมุม -60 ถึง -40 องศา เอาท์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจนมากกว่าต้นแบบเล็กน้อย เมื่อการทดสอบถึงในมุม 50 ถึง 60 องศา เอาท์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงจนน้อยกว่าต้นแบบ ในมุม 60 ถึง 90 องศา เอาท์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์ปรับตัวสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

สรุปผลการทดสอบได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ให้ผลใกล้เคียงกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุดเนื่องจากมีพื้นผิวในการรับแสงเป็นพื้นผิวเรียบในส่วนของโฟโตรีสซิสเตอร์ และโฟโตรีโอดมีความโค้ง พื้นที่ได้รับแสงถูกออกแบบให้อยู่ด้านบนของอุปกรณ์ ทำให้มีผลของการรับแสงทางด้านข้างของอุปกรณ์นั้นให้อาท์พุทมีค่าน้อย หากต้องการเพิ่มพื้นที่รับแสงต้องใช้อุปกรณ์ในการรวมแสงต่อร่วม [32, 33]





รูปที่ 4.28 ผลการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยการปรับมุมการรับแสงจากหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบกับไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบ

#### 4.4.3 การทดสอบด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์

ทำการทดสอบด้วยความเข้มแสงจากอาทิตย์ เพื่อทดสอบการตอบสนองต่อความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์จริง ของไพราโนมิเตอร์แบบต่างๆที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ตารางที่ 4.9 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 13 สิงหาคม 2553

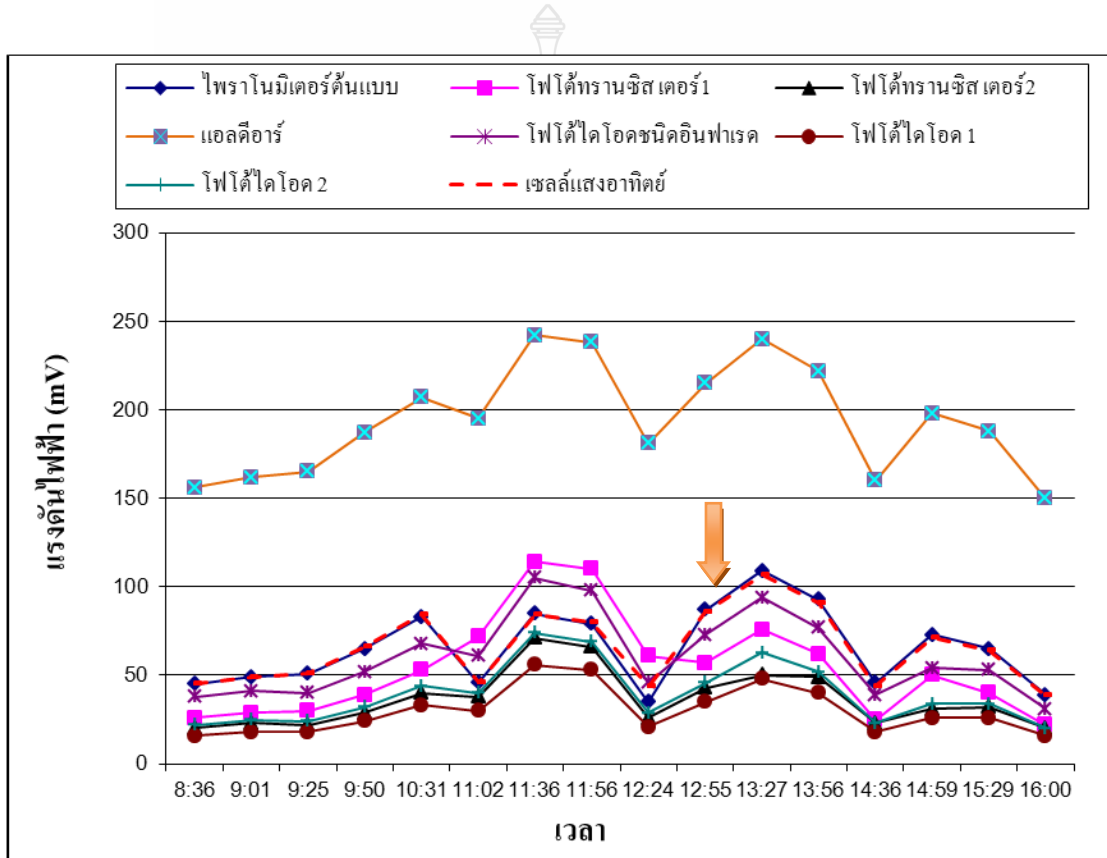
เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโตรีเตอร์ 1 (mV)	โฟโตรีเตอร์ 2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโตรีเตอร์ 1 (mV)	โฟโตรีเตอร์ 2 (mV)	โฟโตรีเตอร์ 3 (mV)	เซลล์ (mV)
8:36	45	26	20	156	38	16	22	45
9:01	49	29	23	162	41	18	25	49
9:25	51	30	22	165	40	18	24	51
9:50	65	39	29	187	52	24	32	66
10:31	83	53	40	207	68	33	44	84
11:02	46	72	38	195	61	30	40	46
11:36	85	114	71	242	105	56	74	84
11:56	79	110	66	238	98	53	69	80
12:24	35	61	26	181	46	21	29	44
12:55	87	57	43	215	73	35	46	86
13:27	109	76	50	240	94	48	63	107
13:56	93	62	49	222	77	40	52	91
14:36	46	25	23	160	39	18	23	44
14:59	73	50	31	198	54	26	34	71
15:29	65	40	32	188	53	26	34	64
16:00	39	22	20	150	31	16	20	39

ตารางบันทึกผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 14, 15, 16, 18, 19, 23, 24, 25 และ 26 สิงหาคม 2553 ทำการบันทึกผลในภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบในระยะเวลา 10 วันเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

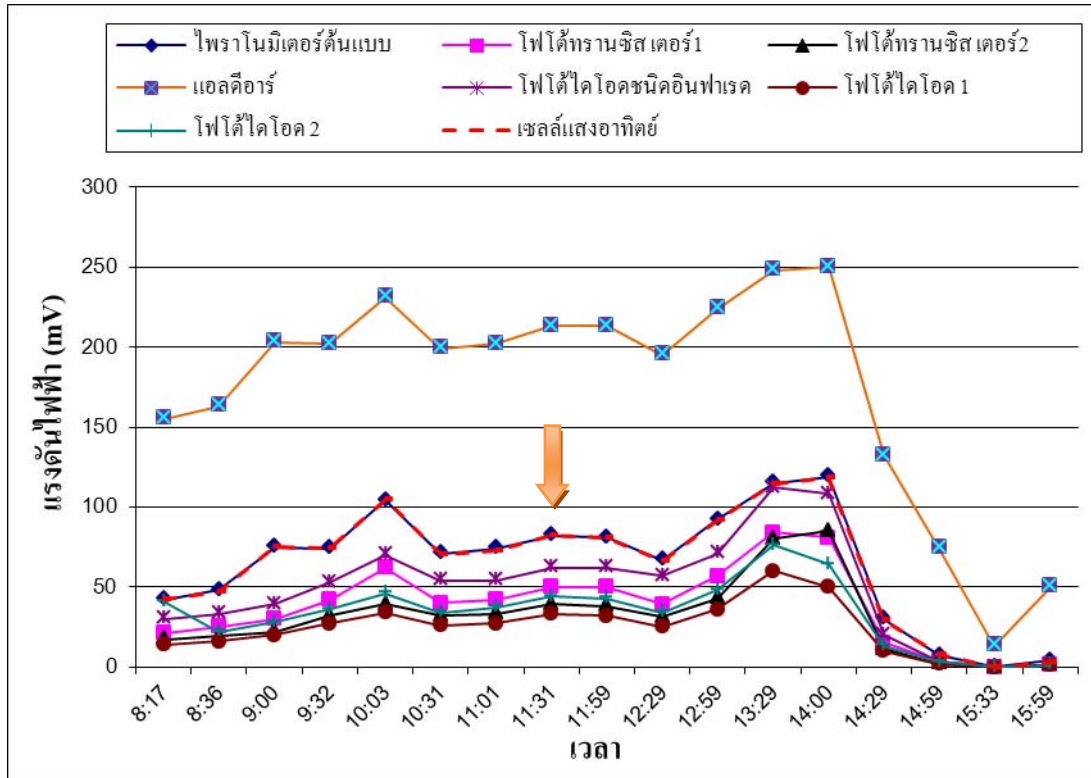
ในการทดสอบนี้เพื่อต้องการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้เอาต์พุตใกล้เคียงกับต้นแบบมากที่สุดเมื่อใช้กับแสงอาทิตย์จริง โดยกำหนดการทดสอบ 10 วัน โดยผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1.การทดสอบวันที่ 13 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีเมฆมากตลอดวัน ผลการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้เอาต์พุตใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 2.79 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.29



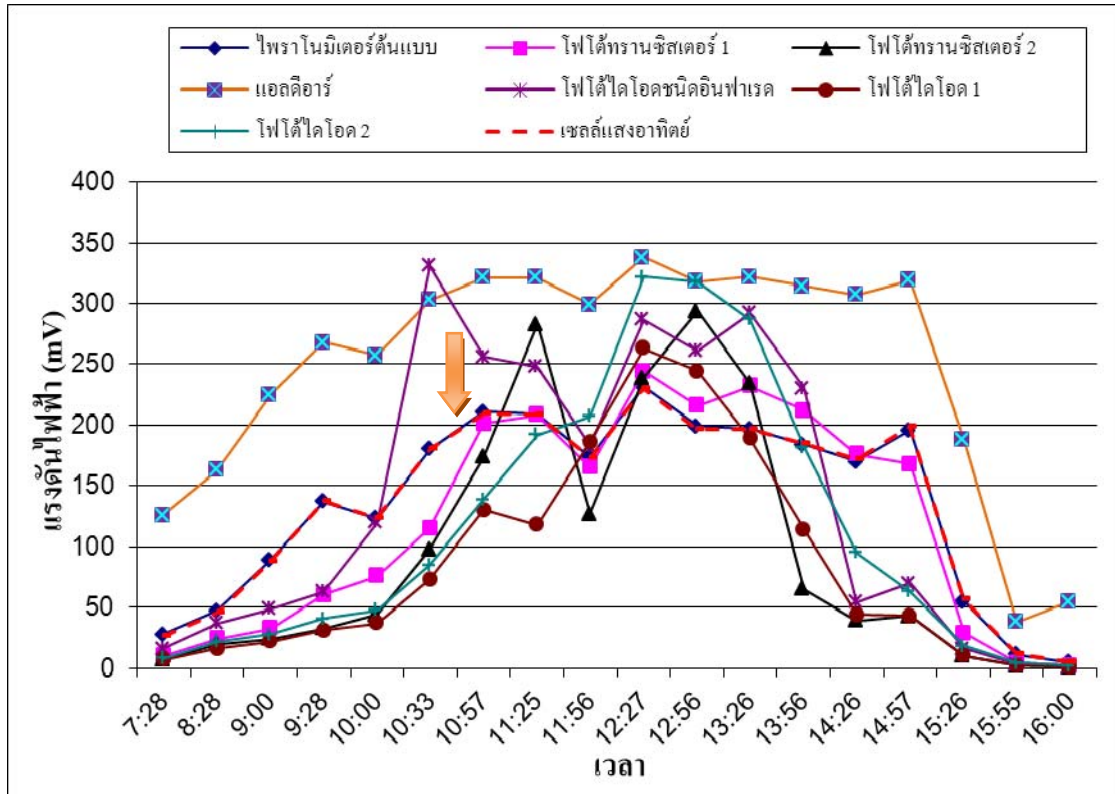
รูปที่ 4.29 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์วันที่ 13 สิงหาคม 2553

2.การทดสอบวันที่ 14 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีเมฆมากตลอดวันผลจากการทดสอบพบว่า เซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้อาชีพุดใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 3.04 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 14 สิงหาคม 2553

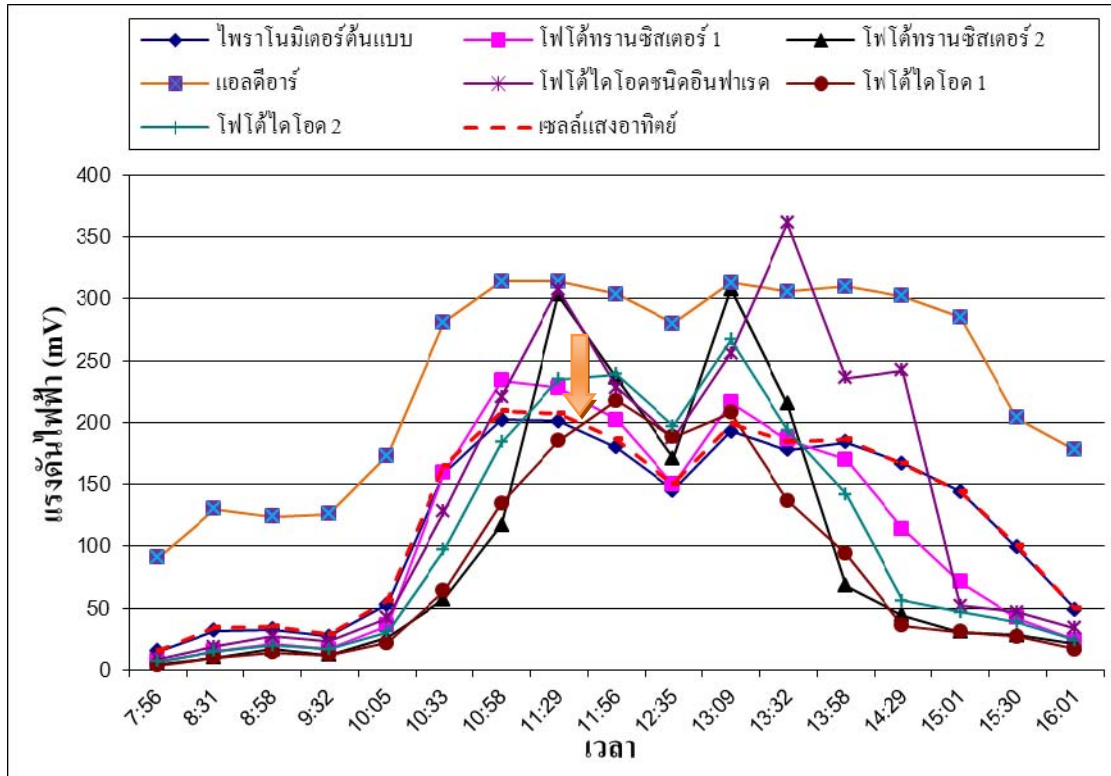
3.การทดสอบวันที่ 15 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ และมีเมฆบ้างในบางเวลา ผลจากการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้อาชีพุดใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 0.98 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 15 สิงหาคม 2553



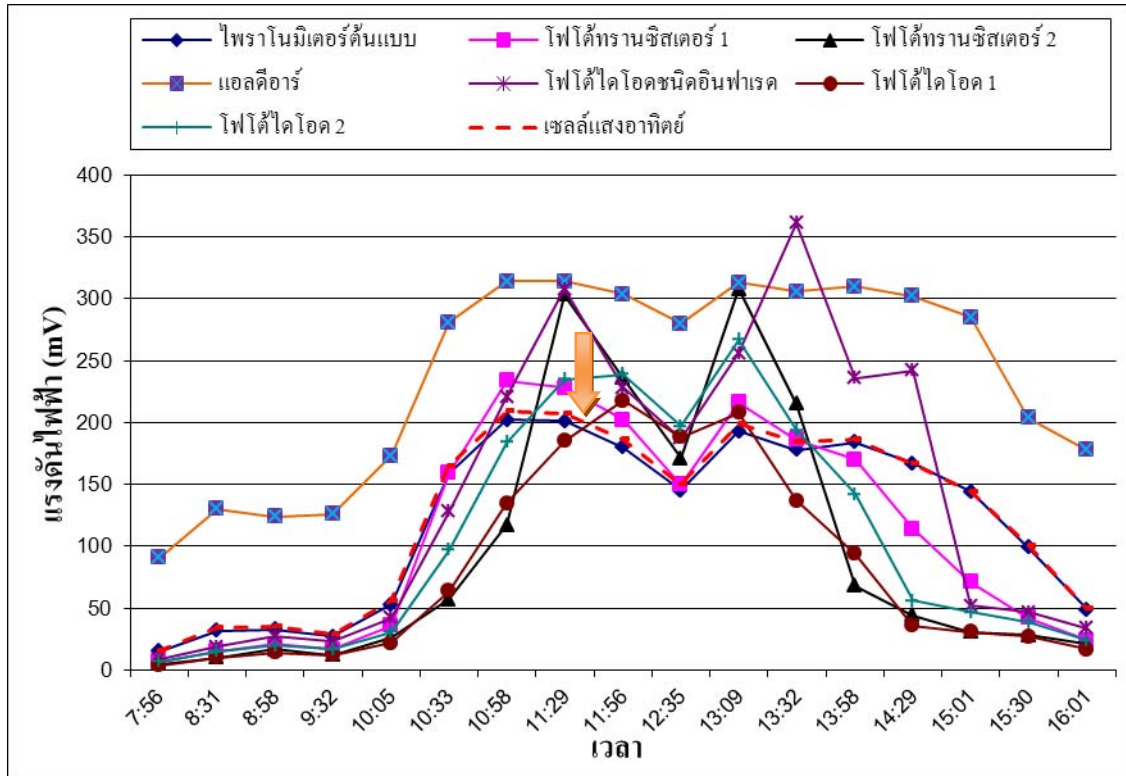
4.การทดสอบวันที่ 16 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ และมีเมฆบ้างในบางเวลา ผลจากการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้อาชีพุดใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 2.35 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 16 สิงหาคม 2553

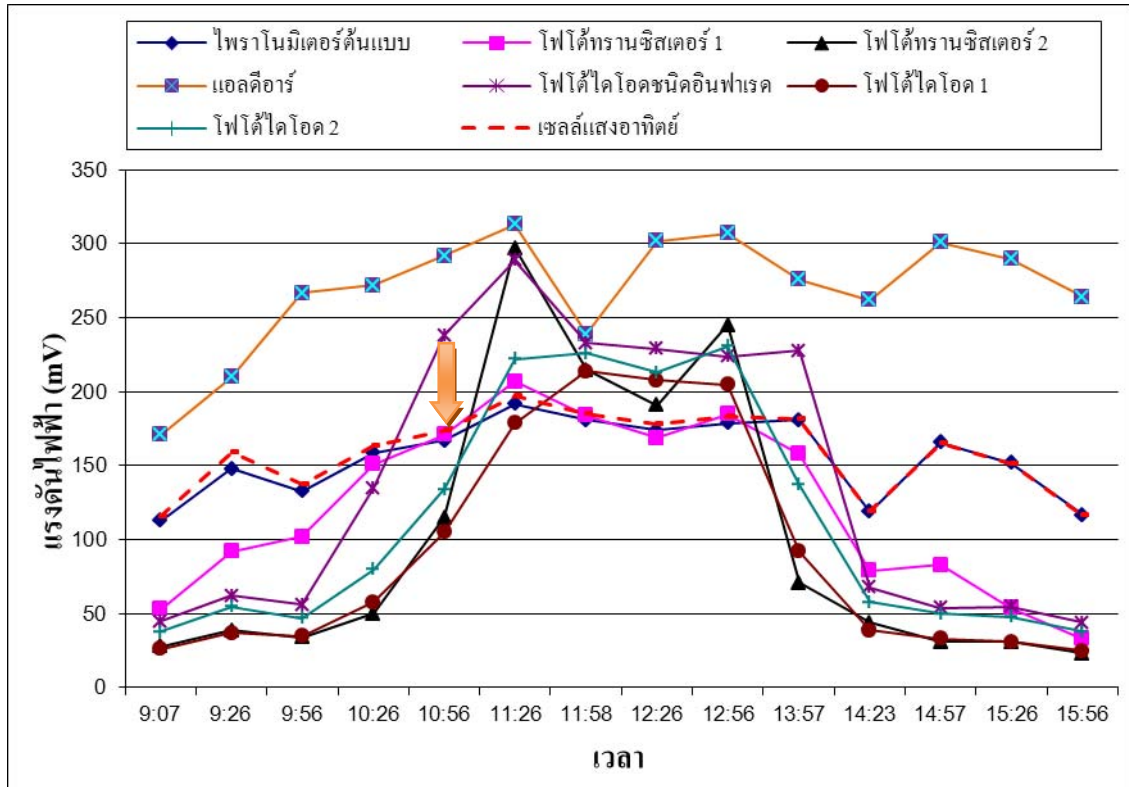


5.การทดสอบวันที่ 18 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ และมีเมฆบ้างในบางเวลา ผลจากการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้เอาท์พุทใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 3.12 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.33



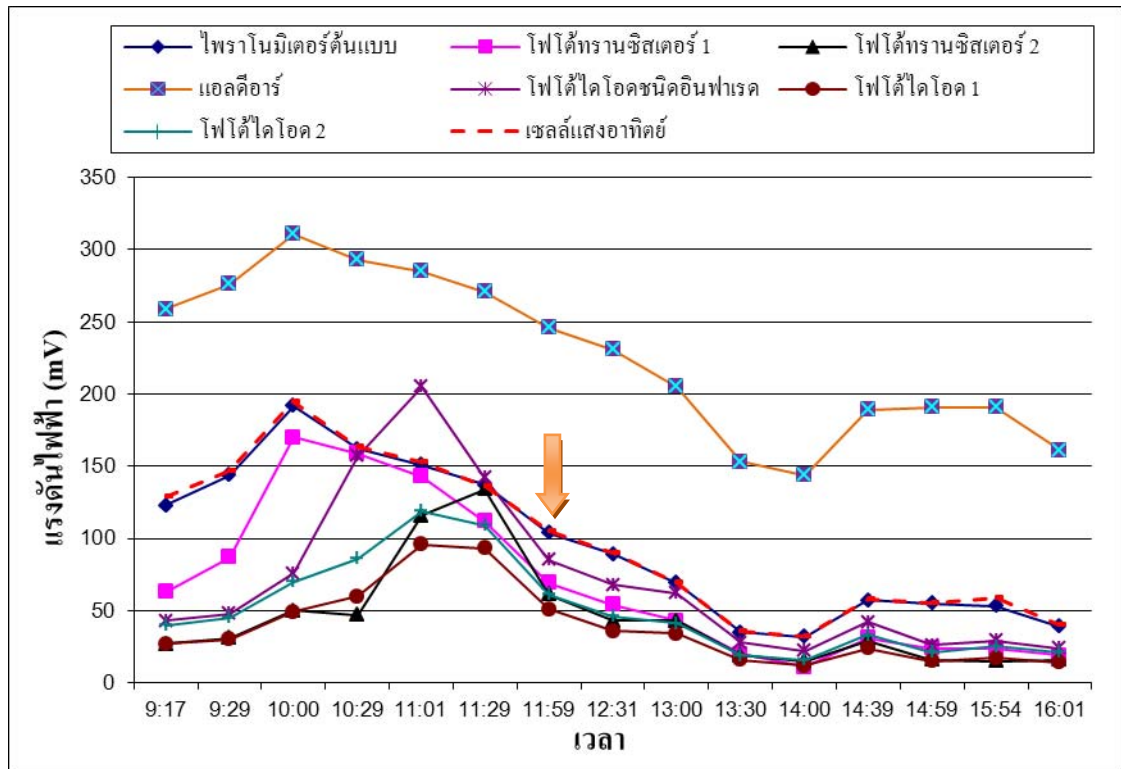
รูปที่ 4.33 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 18 สิงหาคม 2553

6.การทดสอบวันที่ 19 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ และมีเมฆบ้างในบางเวลา ผลจากการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้อาชีพุดใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 2.35 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.34



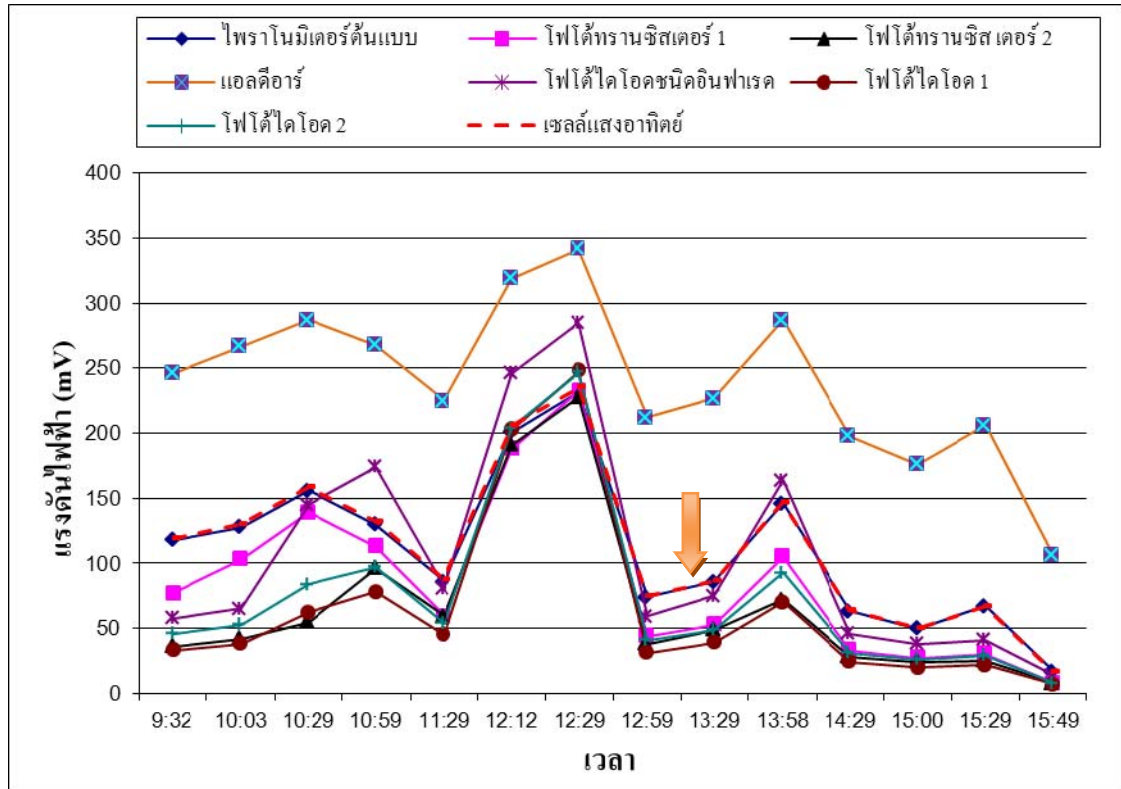
รูปที่ 4.34 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 19 สิงหาคม 2553

7.การทดสอบวันที่ 23 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเช้าและมีเมฆมาก ตั้งแต่เวลา 10:30 นาฬิกา ผลจากการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้อาชีพุดใกล้เคียงกับ ไพรานมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 1.93 เปอร์เซ็นต์ แสดง ดังรูปที่ 4.35



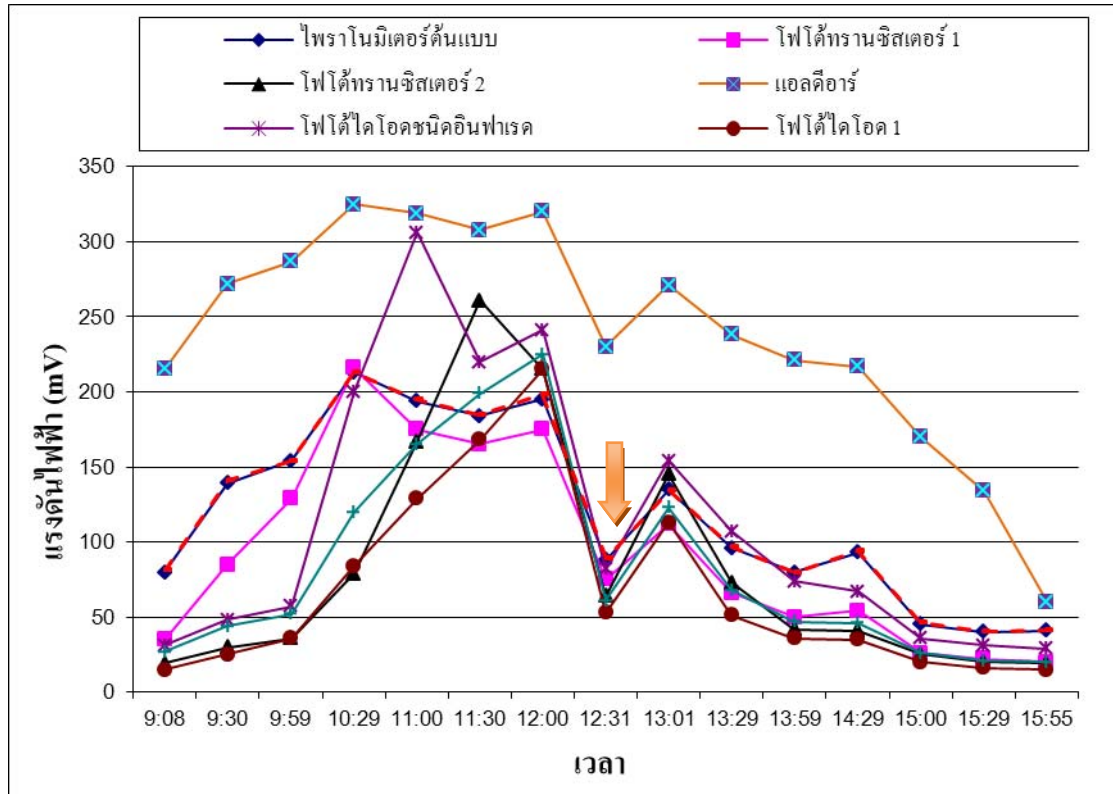
รูปที่ 4.35 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 23 สิงหาคม 2553

8.การทดสอบวันที่ 24 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ และมีเมฆบ้างในบางเวลา ผลจากการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้อาชีพุดใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 24 สิงหาคม 2553

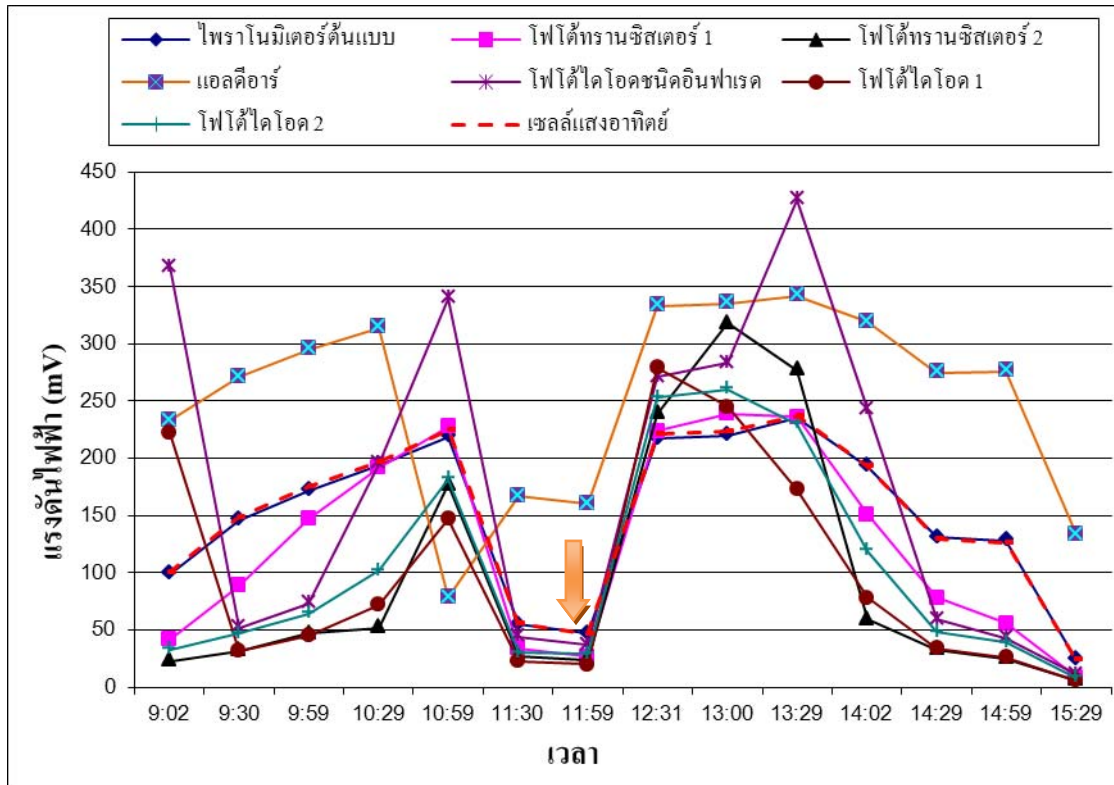
9.การทดสอบวันที่ 25 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ และมีเมฆบ้างในบางเวลา ผลจากการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้อาชีพุดใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 0.59 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 25 สิงหาคม 2553



10.การทดสอบวันที่ 26 สิงหาคม 2553 เป็นวันที่มีแสงจากดวงอาทิตย์ และมีเมฆบ้างในบางเวลา ผลจากการทดสอบพบว่าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถให้เอาท์พุทใกล้เคียงกับกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ค่าของผลต่างของการทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 1.19 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ วันที่ 26 สิงหาคม 2553

สรุปผลการทดสอบด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจน การทดสอบด้วยการปรับมุมการรับแสงจากหลอดฮาโลเจน และการทดสอบด้วยแสงจากดวงอาทิตย์

ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์วัดความเข้มแสงที่สร้างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กสามารถให้ผลเอาท์พุทใกล้เคียงกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบมากที่สุด ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ จึงสรุปได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กสามารถใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ไพราโนมิเตอร์ได้หนึ่ง แต่หากต้องการความแม่นยำในการวัดสูงๆ ยังจำเป็นต้องใช้ไพราโนมิเตอร์เนื่องจากมีผลการทดสอบที่ได้รับรองตามมาตรฐานการทดสอบ

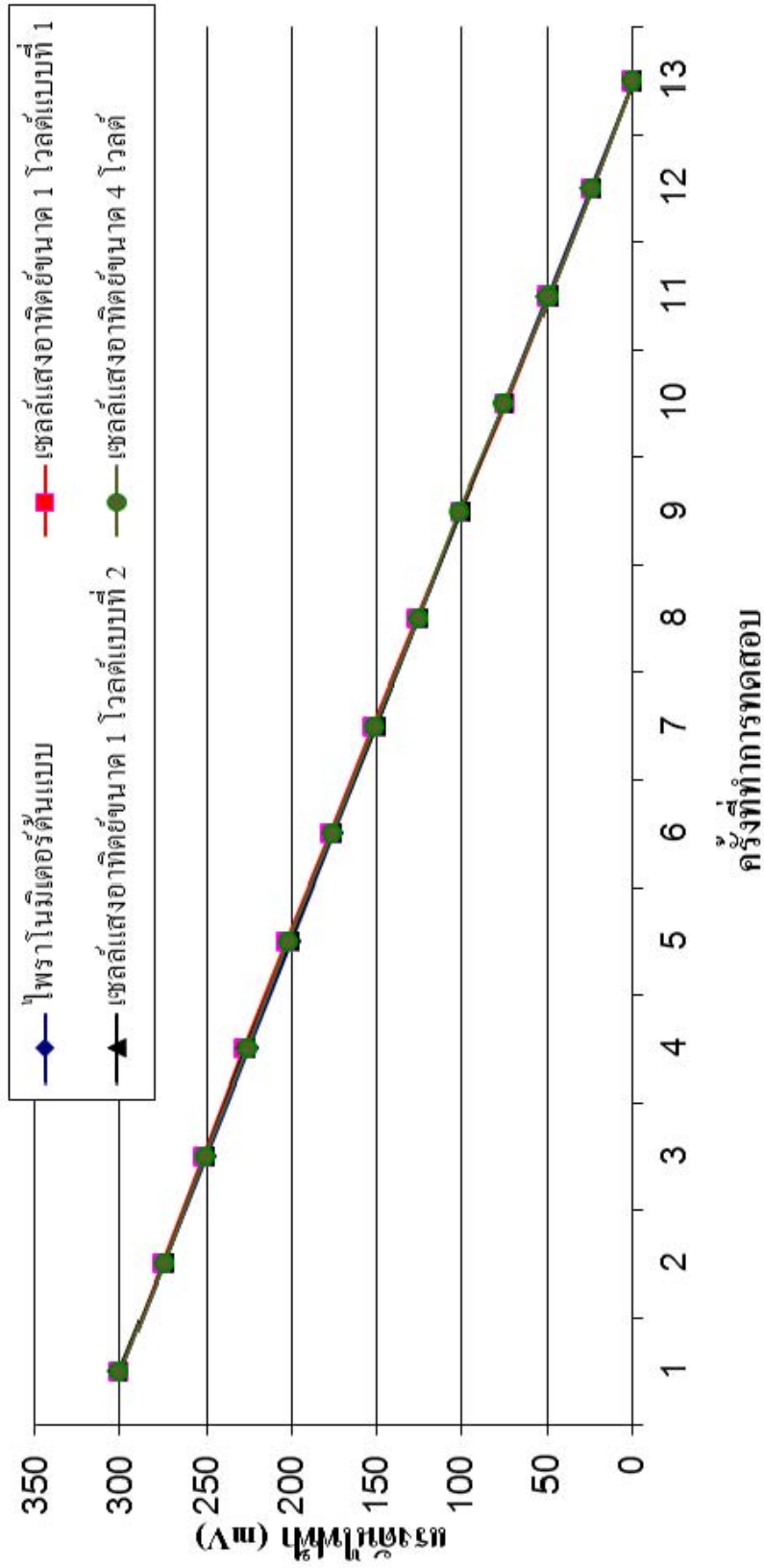
### การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กเพิ่มเติม

ทำการทดสอบเพิ่ม โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กขนาด 1 โวลต์ สองแผงที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน และเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 โวลต์จำนวนหนึ่งแผง มาทำการทดสอบผลที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 การทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจน

ครั้ง	มุมที่ทำการ (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)
1	0	300.00	300.00	301.00	300.00
2	0	275.00	276.00	275.00	275.00
3	0	250.00	252.00	251.00	251.00
4	0	225.00	228.00	227.00	226.00
5	0	200.00	203.00	201.00	202.00
6	0	175.00	177.00	176.00	176.00
7	0	150.00	152.00	150.00	151.00
8	0	125.00	126.00	125.00	125.00
9	0	100.00	100.00	100.00	101.00
10	0	75.00	74.00	75.00	75.00
11	0	50.00	49.00	49.00	49.00
12	0	25.00	24.00	24.00	24.00
13	0	0.00	0.00	0.00	0.00

### การทดสอบด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจน



รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แสง ด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบ



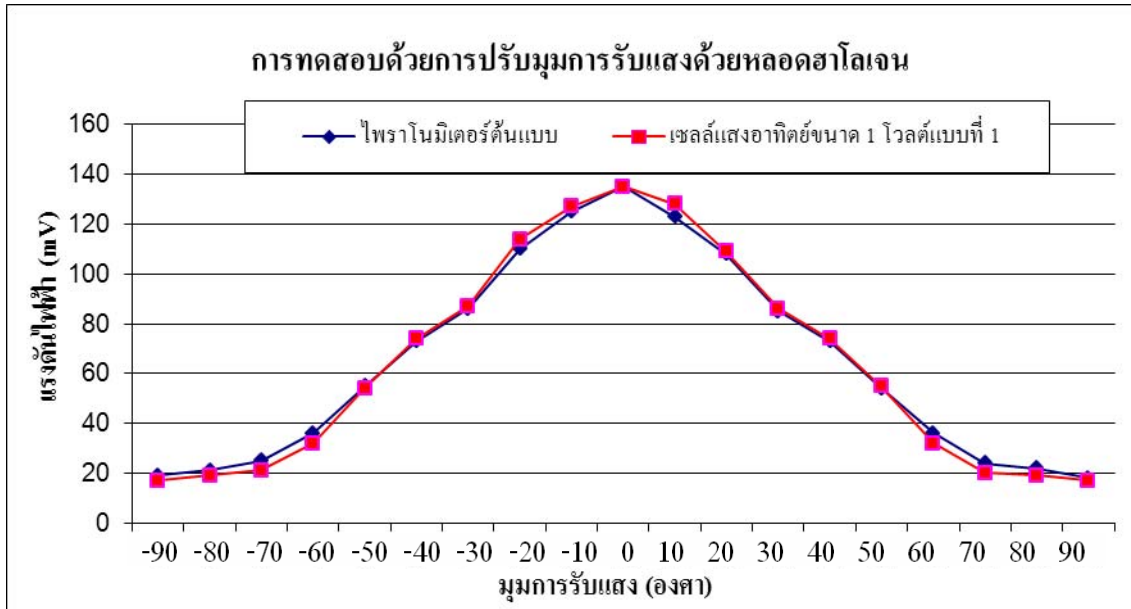
ผลจากการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ที่สร้างขึ้นด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจนเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผงให้อาชีพุดใกล้เคียงกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าผลต่างเฉลี่ยได้ 0.01 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 3 แผง

ตารางที่ 4.11 การทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ในมุมการรับแสงที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

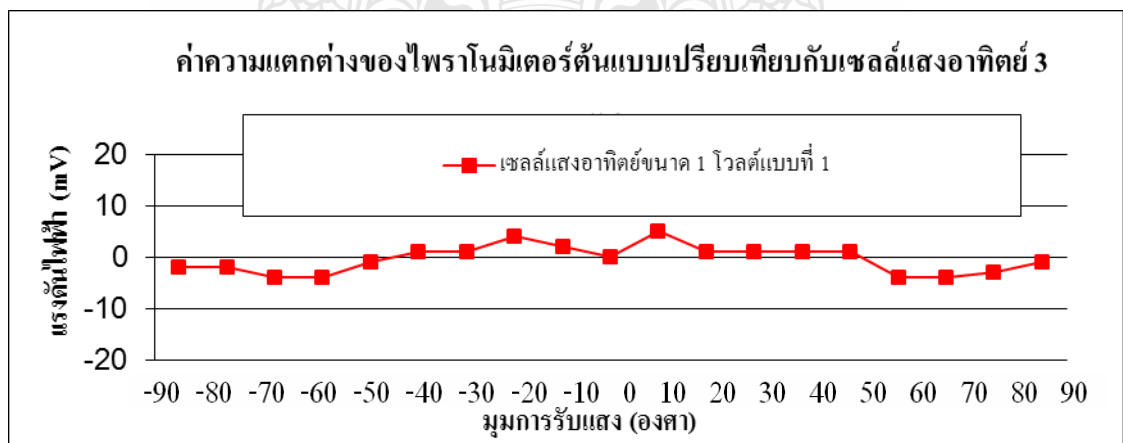
ครั้งที่	มุมที่ทำกร (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)
1	90	19	17	18	18
2	80	21	19	20	20
3	70	25	21	24	23
4	60	36	32	35	34
5	50	55	54	54	54
6	40	73	74	74	74
7	30	86	87	88	87
8	20	110	114	110	113
9	10	125	127	127	126
10	0	135	135	135	135
11	-10	123	128	125	124
12	-20	108	109	110	110
13	-30	85	86	86	86
14	-40	73	74	74	74
15	-50	54	55	54	55
16	-60	36	32	34	35
17	-70	24	20	23	23
18	-80	22	19	20	21
19	-90	18	17	17	18

ผลการทดสอบด้วยการปรับมุมแสงจากหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 3 แผง กับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. การทำงานของของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 1 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มีความใกล้เคียงไพราโนมิเตอร์ต้นแบบในทุกๆมุมที่ทำการทดสอบ

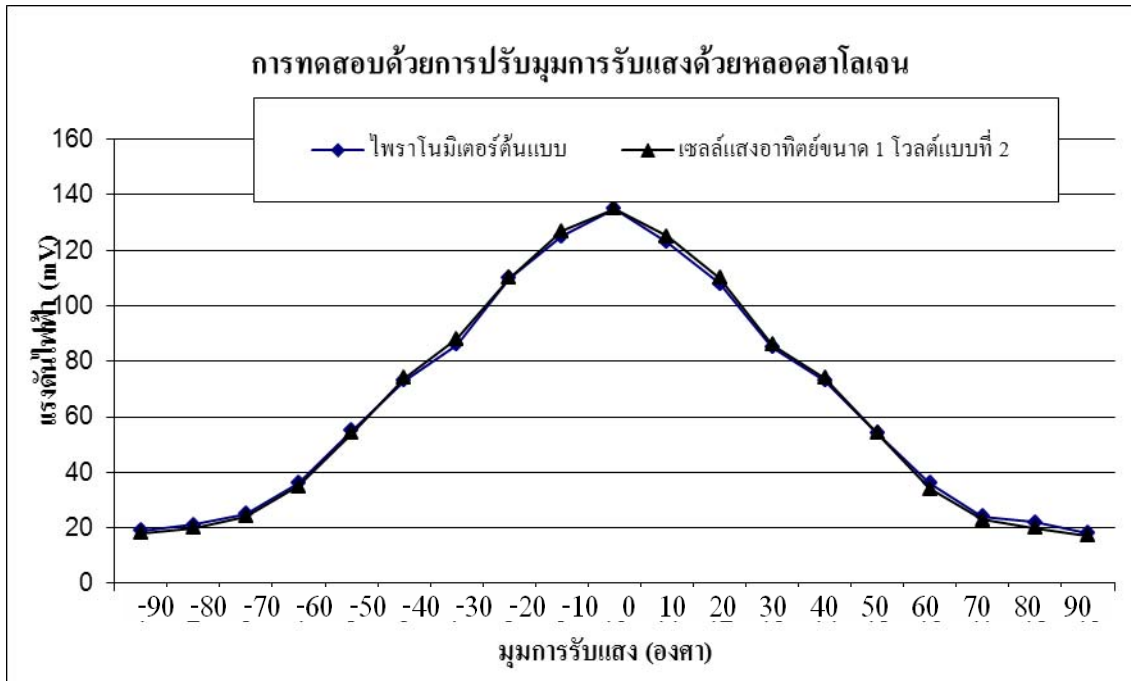


รูปที่ 4.40 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่กำหนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

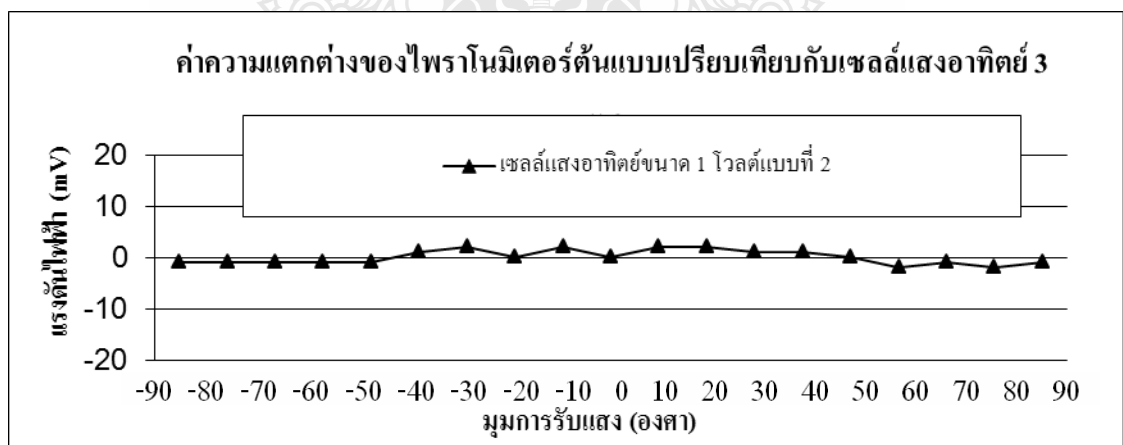


รูปที่ 4.41 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 1

2. การทำงานของของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 2 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์  
 ดันแบบ พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มีความใกล้เคียงไพราโนมิเตอร์ดันแบบในทุกๆมุมที่ทำการทดสอบ

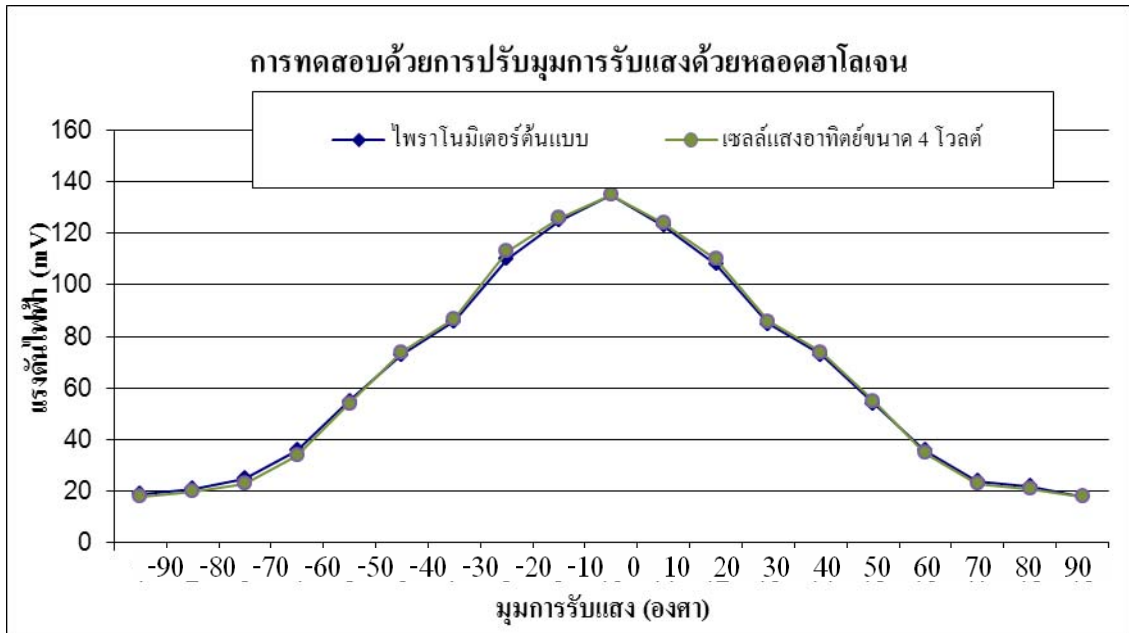


รูปที่ 4.42 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 1 ในมุมการทดสอบที่กำหนด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ดันแบบ

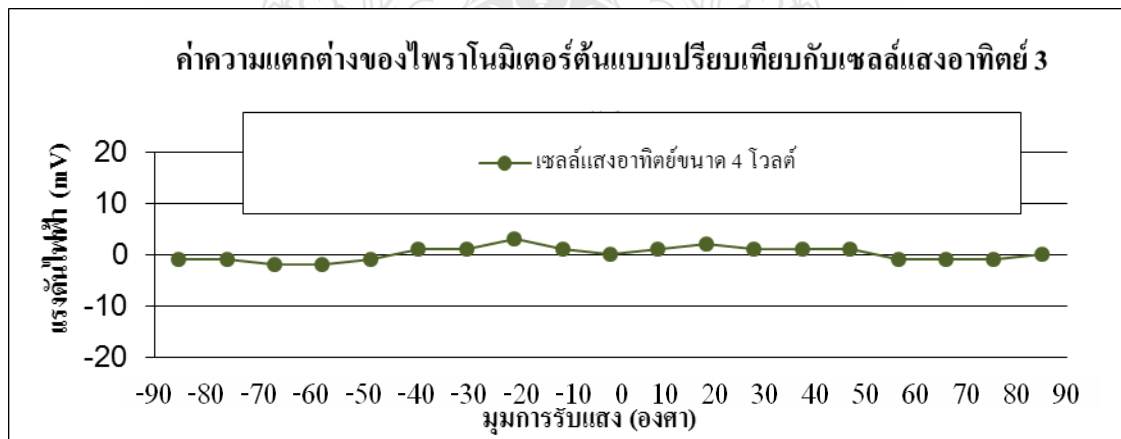


รูปที่ 4.43 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ดันแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 โวลต์แบบที่ 2

3. การทำงานของของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 โวลต์ เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ พบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้มีความใกล้เคียงไพราโนมิเตอร์ต้นแบบในทุกๆมุมที่ทำการทดสอบ

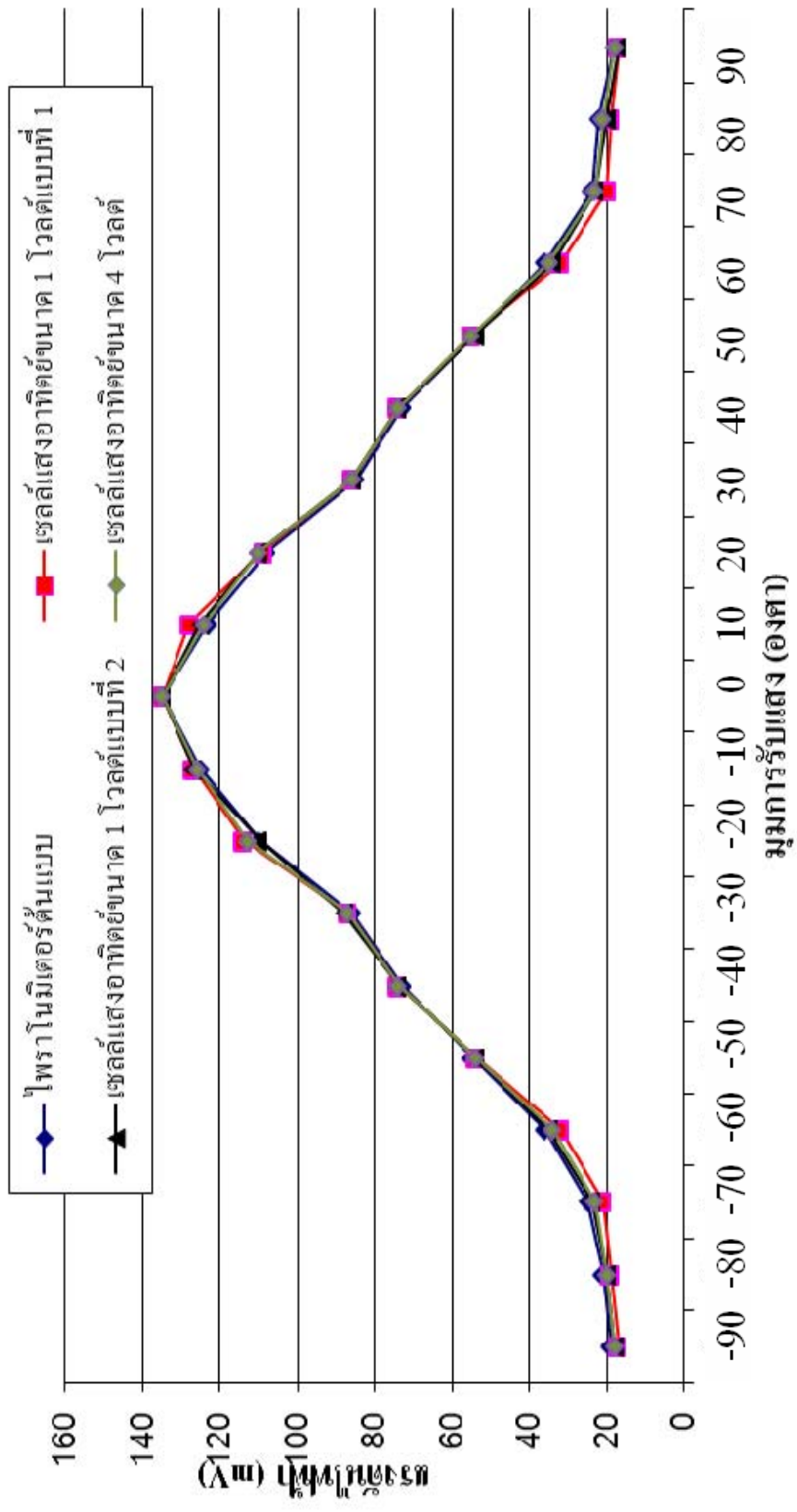


รูปที่ 4.44 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 โวลต์ ในมุมการทดสอบที่กำหนดเปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

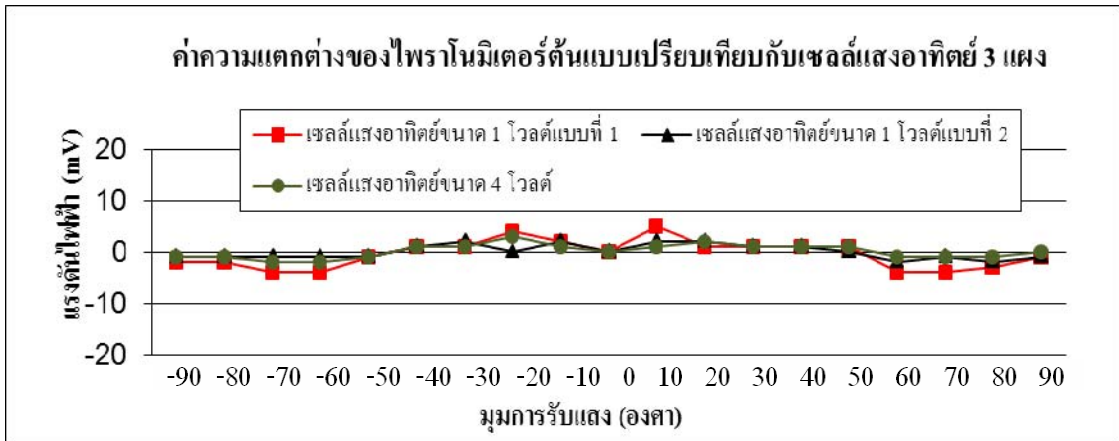


รูปที่ 4.45 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 โวลต์

### การทดสอบด้วยการปรับมุมการรับแสงด้วยหลอดฮาโลเจน



รูปที่ 4.46 ผลการทดสอบไฟราโนมิเตอร์จากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แขน ในมุมการรับแสงที่กำหนด เปรียบเทียบกับไฟราโนมิเตอร์ต้นแบบ



รูปที่ 4.47 ค่าความแตกต่างของไพราโนมิเตอร์ต้นแบบเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง

#### สรุปผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กเพิ่มเติม

ผลการทดสอบด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจน และการปรับมุมรับแสงจากหลอดฮาโลเจน เปรียบเทียบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง กับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผงที่นำมาทดสอบสามารถให้ผลเอาต์พุตใกล้เคียงกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ สามารถนำมาใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ทดแทนการซื้อไพราโนมิเตอร์ที่มีราคาแพงได้

ดังนั้นจึงเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการสร้างเป็นเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ และทำการทดสอบร่วมกับชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา



ทำการทดสอบไพราโนมิเตอร์ที่สร้างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบด้วยการปรับแสงจากหลอดฮาโลเจน เพื่อทดสอบการทำงานร่วมกับระบบที่สร้างขึ้นแสดงดังตารางตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

ครั้งที่	ความเข้ม Apogee SP-110 (W/m <sup>2</sup> )	ความเข้ม	ค่าเปอร์เซ็นต์ความ (%)	เปอร์เซ็นต์ความ (%)
1	0	0	-	-
2	95	100	5.26	94.74
3	195	210	7.69	92.31
4	300	315	5.00	95.00
5	405	420	3.70	96.30
6	505	525	3.96	96.04
7	600	605	0.83	99.17
8	695	705	1.44	98.56
9	805	810	0.62	99.38
10	905	910	0.55	99.45
11	1005	1020	1.49	98.51
12	1115	1110	0.45	99.55

ตารางที่ 4.13 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

ครั้งที่	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัด Apogee SP-110 (W/m <sup>2</sup> )	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัด (W/m <sup>2</sup> )	เปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรง (%)
1	600	605	99.50
2	600	600	
3	600	605	
4	600	605	

ตารางที่ 4.13 การทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (ต่อ)

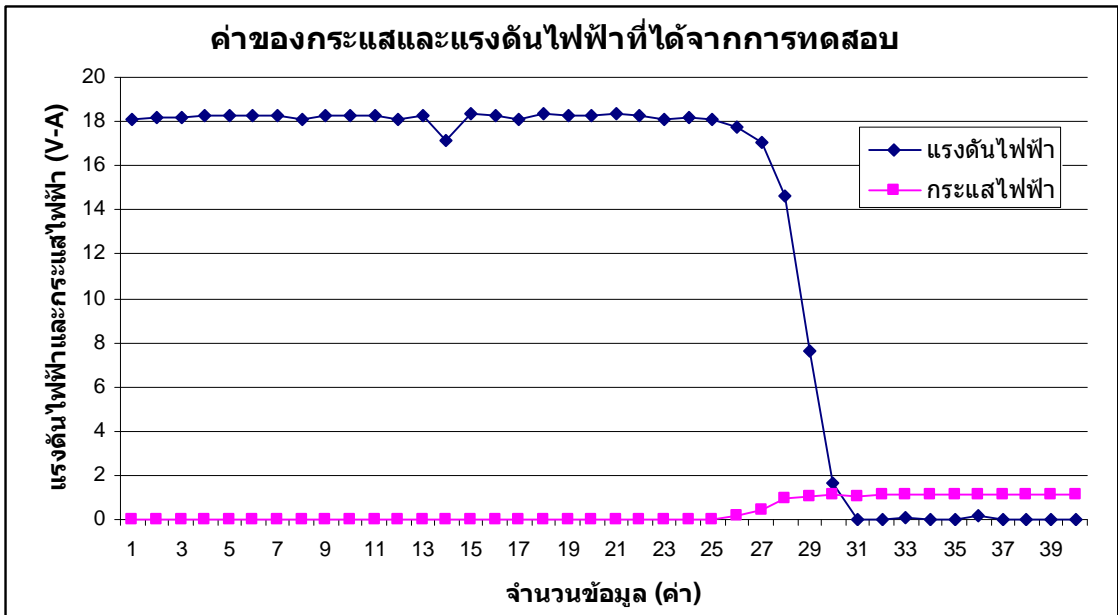
ครั้งที่	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัด Apogee SP-110 (W/m <sup>2</sup> )	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัด (W/m <sup>2</sup> )	เปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรง (%)
5	600	600	99.50
6	600	605	
7	600	600	
8	600	600	
9	600	605	
10	600	605	

#### 4.5 การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

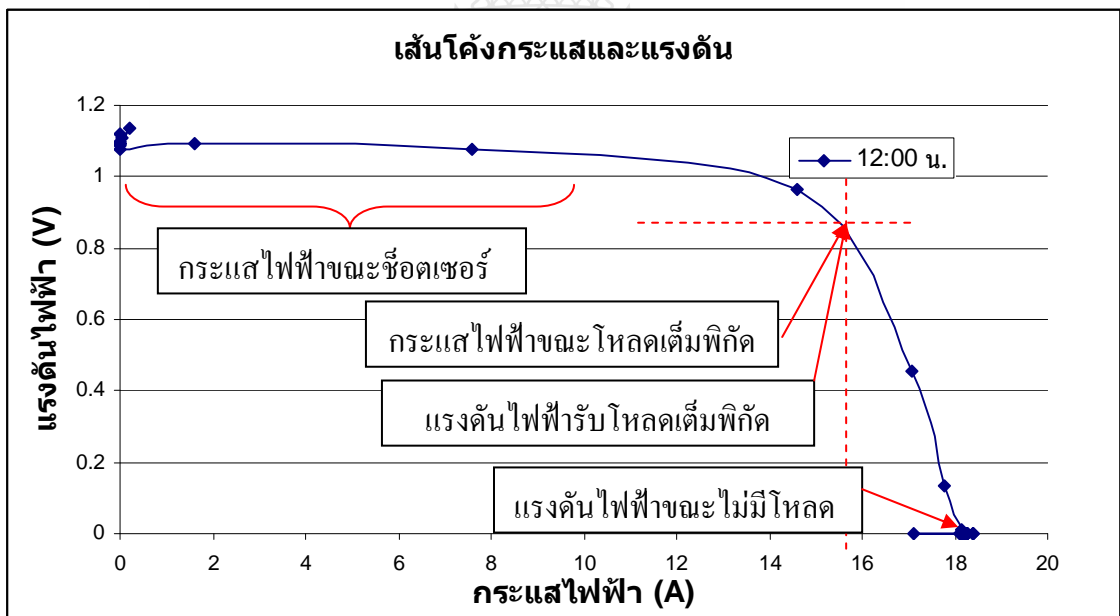
การทำงานของชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเก็บข้อมูลเป็นไฟล์ .txt ในการทดสอบเราได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ Inntech รุ่น IT 20 C ชนิด Mono Crystalline ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่บริษัทระบุไว้ดังนี้  $P_{max}=20W$ ,  $I_{mp}=1.14A$ ,  $I_{sc}=1.32A$ ,  $V_{mp}=18V$ ,  $V_{oc}=22V$  โดยมีการติดตั้งไว้ภายนอกอาคารในสภาพการใช้งานจริงเนื่องจากประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรโดยจึงติดตั้งแผงหันไปทางทิศใต้ทำมุม 25 องศา กับพื้นโลก เมื่อนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.48 และ เส้นโค้งกระแสและแรงดันไฟฟ้า ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.49 พล็อตกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Office Excel จะทำให้ทราบถึงค่าของแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด ขณะรับโหลดเต็มพิกัด กระแสไฟฟ้าขณะโหลดเต็มพิกัด และกระแสไฟฟ้าขณะชอร์ตเซอร์กิตที่ อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสงอาทิตย์ 650 W/m<sup>2</sup> โดยมีค่าต่างๆดังนี้

- 1.แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด = 18 V
- 2.แรงดันไฟฟ้ารับโหลดเต็มพิกัด = 16 V
- 3.กระแสไฟฟ้าขณะโหลดเต็มพิกัด = 0.5A
- 4.กระแสไฟฟ้าขณะชอร์ตเซอร์กิต = 0.69A





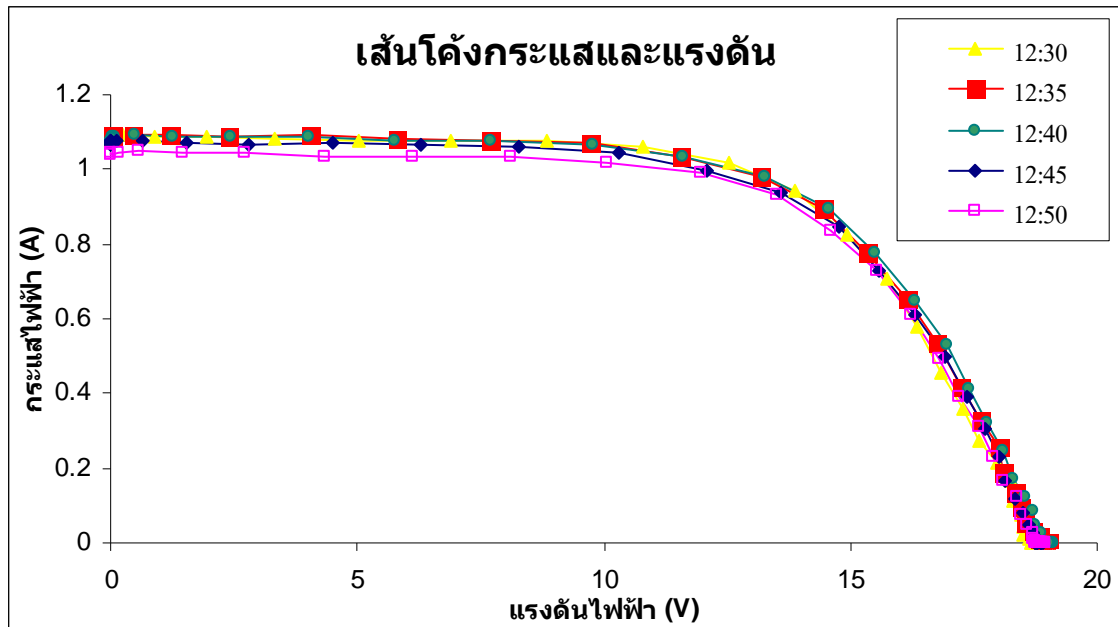
รูปที่ 4.48 ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 4.49 เส้นโค้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ  $43^{\circ}\text{C}$  ความเข้มแสงอาทิตย์  $867\text{ W/m}^2$

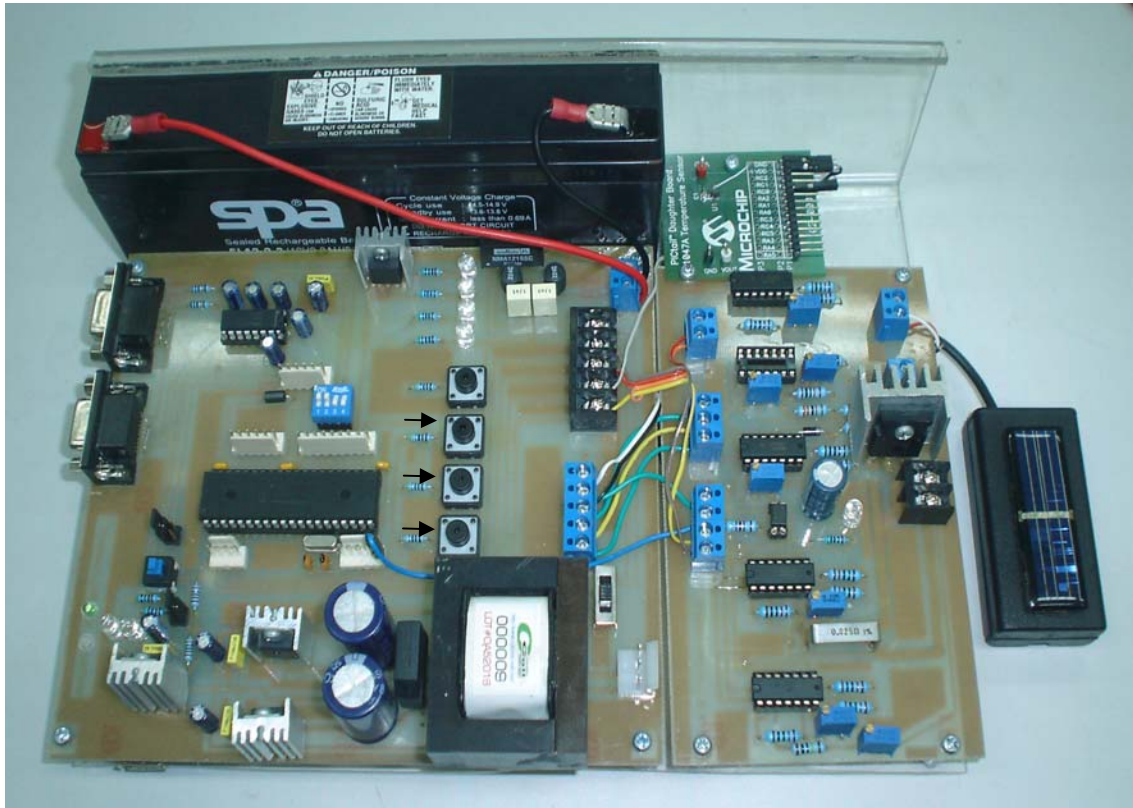
จากรูปที่ 4.48 เมื่อนำค่าที่ได้ นำผลที่ได้มาพล็อตกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel จะได้เส้น โคง้กระแส-แรงดันดังแสดงในรูปที่ 4.49

เมื่อทำการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องที่จัดทำขึ้นในการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาห่างกัน 5 นาที ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ผลที่ได้เมื่อนำมาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 เส้น โคง้กระแสและแรงดันจากการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องที่ช่วงเวลาห่างกัน 5 นาที





รูปที่ 4.51 ชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา

ขนาดของตัวเครื่องที่สร้างขึ้น

1. ความกว้าง 18.5 เซนติเมตร
2. ความยาว 26 เซนติเมตร
3. ความสูง 7 เซนติเมตร
4. น้ำหนักรวม 1.6 กิโลกรัม
5. ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 2.3 แอมแปร์ต่อชั่วโมง
6. มีอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า 0.23 แอมแปร์

#### 4.6 สรุปการทดสอบและหัวข้อของการทดสอบ

ในบทนี้ได้การทดสอบการทำงานของชุดวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทำงานของชุดวัดค่ากระแสไฟฟ้า การทำงานของชุดวัดค่าอุณหภูมิ การทำงานของชุดวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อจัดสร้างเป็นอุปกรณ์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยมีสรุปผลของการทดสอบแสดงไว้ในบทต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาและออกแบบชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบพกพา โดยต้องการให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC ของบริษัท Microchip มาประยุกต์ใช้ในการเก็บค่าพารามิเตอร์และประมวลผล โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการเก็บค่ามีดังนี้คือ กระแส แรงดัน อุณหภูมิ และความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ เนื่องจากไพราโนมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์นั้น มีราคาแพงจึงศึกษาและจัดสร้างขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ ผลการทดสอบภาครับสัญญาณ และเซนเซอร์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดสอบภาครับสัญญาณ และเซนเซอร์

ภาครับสัญญาณ และเซนเซอร์	ชุดวัดค่า	ชุดวัดค่า	ชุดวัดค่า	ชุดวัดค่า
หัวข้อการทดสอบ				
ค่าเฉลี่ยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.617 %	1.384 %	0.42%	2.82 %
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	99.38 %	98.62 %	99.50 %	97.18 %
เปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรง	99.92 %	99.80 %	99.60 %	99.50 %

#### สรุปผลการทดสอบ

- 1.ตัวเครื่องสามารถวัด และเก็บค่ากระแสไฟฟ้า แรงดัน ไฟฟ้า อุณหภูมิและความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กสามารถนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนไพราโนมิเตอร์ได้
- 3.สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกเนื่องจากมีน้ำหนัก 1.6 กิโลกรัม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ระยะเวลาในการใช้งานต่อเนื่องนั้นมีจำกัด หากต้องการใช้งานเป็นระยะเวลานาน จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรอง

5.2.2 ในการอ่านข้อมูลที่ได้นั้นจำเป็นจะต้องคำนวณ โดยใช้ค่าอัตราตัวคูณที่ผู้จัดทำกำหนด ทำให้ไม่สะดวกในการอ่านค่าดังนั้นควรมีการพัฒนาโปรแกรมในการรองรับการทำงานเพื่อความสะดวกยิ่งขึ้นต่อไป

5.2.3 การสร้างไพราโนมิเตอร์นั้นเป็นการทดสอบเพื่อหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถทำงานให้ผลใกล้เคียงกับตัวต้นแบบเท่านั้น หากต้องมีการผลิตขึ้นมาจำหน่าย จำเป็นจะต้องมีการทดสอบตามที่มีมาตรฐานกำหนดต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาย ชีวะกตุ และชนานัญญ บัวเขียว, “การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์” วารสารนโยบายพลังงาน, กรกฎาคม-กันยายน 2543, ฉบับที่ 49
- [2] เอกรินทร์ วาสนาส่ง, “ระบบบันทึกข้อมูลและวัดค่าคุณสมบัติกระแสและแรงดันแบบพกพา สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์”, **EECON 29**, พ.ศ. 2549, หน้า 317-320
- [3] นคร ภักดีชาติและชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วย ภาษา C กับ MPLAB C 30. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถานที่พิมพ์: บริษัท อินโนเวตีฟ อีแกเพอริเมนต์ จำกัด
- [4] สันติ หวังนิพนพาน โท, วิฑูรย์ อบรม, อติศักดิ์ หวังหับ, พงศ์พันธ์ กัลป์ปาและสมเกียรติ พระแก้ว, “การพัฒนาเครื่องมือวัด IV CURVE สำหรับทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์”, **ENETT49**, พ.ศ. 2549
- [5] **Electricity Generating Authority of Thailand** [http \(Online\), //www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm](http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm) (10 October 2009).
- [6] Mohamed Azab, “Improved Circuit Model of Photovoltaic Array”, **Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology**, Vol 34, 2008 pp. 857-860.
- [7] ไชยยันต์ บุญมี และ นภัทร วัฒนเทพินทร์, “การทดสอบระบบการวัดและแสดงผลการทำงานของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบบนอาคารเรียน”, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, หน้า 224-231.
- [8] รุ่งโรจน์ สุริโยภาสุไร, ทวีศักดิ์ ดันอร่าม และปกรณ สมบูรณ์กิจ, “การพัฒนาชุดจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการศึกษาสำหรับห้องปฏิบัติการ”, **นเรศวรวิจัยครั้งที่ 3**, พ.ศ. 2550, หน้า 355-360
- [9] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, **ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก**. กรุงเทพฯ: เม็ดทราย พรินติ้ง, 2545. หน้า 1-91.
- [10] ประจัน พลังสันติกุล, การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F ด้วยคอมไพเลอร์ MPLAB C. กรุงเทพฯ: แอปซอฟต์เทค, 2551. หน้า 1-370.
- [11] เอกรินทร์ วาสนาส่ง และสมศักดิ์ เสนาภักดี, “เครื่องมือวัดคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงกระพริบ”, **EECON 27**, พ.ศ. 2547, หน้า 157-160
- [12] Mukaro, R. and Carelse, X.F., “A microcontroller-based data acquisition system for solar radiation and environmental monitoring”, **IEEE**, Vol 48, 1999. pp. 1232-1238.
- [13] จิตติพร เจาจะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย, “การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์”, **ENETT 6**, พ.ศ. 2553.

- [14] Wenham,S.R. et al., **Applied Photovoltaics**, USA : Earthscan, 2007 .pp1-272.
- [15] อำนาง นิมทวิ และนิพนธ์ เกตุจ้อย, “การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก”, **ENETT6**, พ.ศ. 2553.
- [16] อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล และฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, “การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์”, **PEC8**, พ.ศ. 2553.หน้า 345-348
- [17] อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล และฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, “เครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC”, **ENETT6**, พ.ศ. 2553.
- [18] นภัทร วัจนเทพินทร์, **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**, บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, 2545, หน้า 1-300.
- [19] ยืน ภู่วรรณ, **ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์**, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2536, หน้า 80-250.
- [20] สมพล บุญญสุวรรณ โณ, **การวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 2551,หน้า 1-200.
- [21] apogeeinstruments.inc, “**Pyronometer SP-110 Manual**”, <http://www.apogeeinstruments.com>
- [22] JAY JEONG, “**An optical power meter and a thermopile detector both have applications in photovoltaics research. These tools will find increased demand as the field of photovoltaic research grows.**”, <http://www.optoiq.com>
- [23] Welwyn Components Limited, “**Open AirSense Resistors**”, <http://www.welwyn-tt.com>
- [24] Microchip Technology Inc.,“**TC1047A Temperature-to-Voltage Converter PICtail™ Demo Board User’s Guide**”, <http://www.microchip.com>
- [25] Vishay Intertechnology, Inc.,“**Silicon NPN Phototransistor**” <http://www.es.co.th>
- [26] Semiconductor Group, “**NPN-Silizium-Fototransistor Silicon NPN Phototransistor**”, <http://www.stanford.edu>
- [27] WAITRONY CO LIMITED, “**Photo Conductive Cell**”, <http://www.es.co.th>
- [28] Vishay Intertechnology, Inc., “**GaAlAs IR Emitting Diode in ø 5 mm**”, <http://www.es.co.th>
- [29] Semiconductor Group, “**NPN-Silizium-Fototransistor**”, <http://www.stanford.edu>
- [30] Microchip Technology Inc., “**dsPIC30F4011/4012 Data Sheet**”, <http://www.microchip.com>
- [31] ETT CO.,LTD.,“**ET-USB FLASH DRIVE**”, <http://www.etteam.com>
- [32] Michalsky, J. J., Harrison, L.C. and Berkheiser, W.E., “Cosine response characteristics of some radiometric and photometric sensors.,” **Pergamon**, Vol. 54, No. 6, 1995 pp. 397-402.
- [33] Bajons, P., Wernhart, U. and Zeiler, H., “A sensor element for direct radiation measurement.,” **Pergamon**, Vol. 63, No. 2, 1998 pp. 125–134.

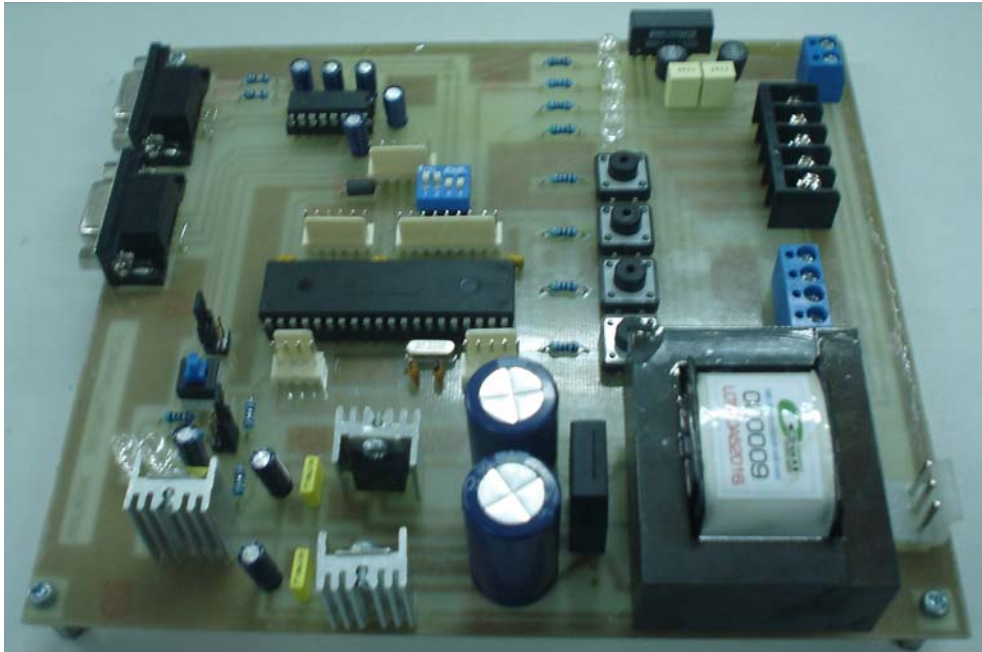
ภาคผนวก ก  
โครงสร้างและการใช้งาน



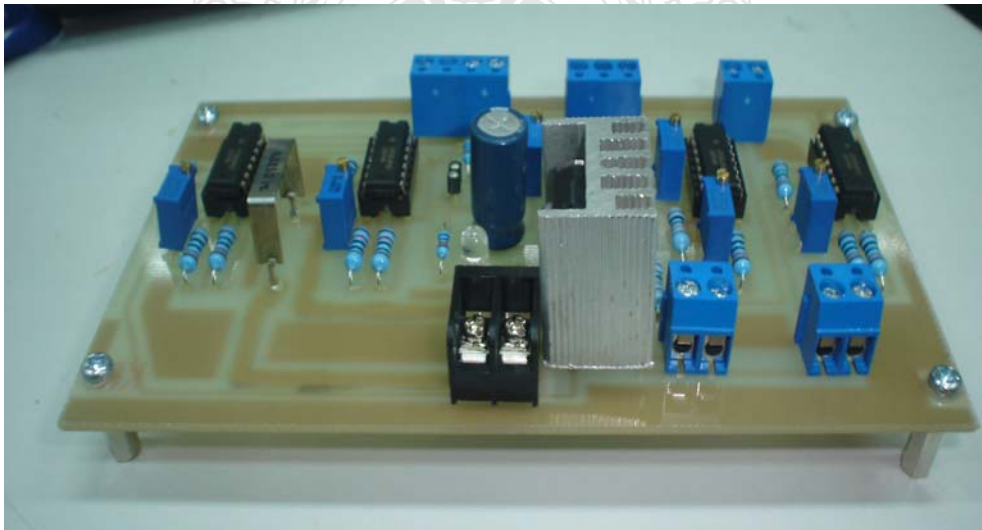


## โครงสร้างชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการออกแบบวงจรที่จำเป็นของระบบแล้ว ในขั้นตอนการจัดสร้างได้แบ่งตัวเครื่องออกเป็นสองส่วนคือ ชุดคอนโทรลเลอร์ และชุดรับสัญญาณ แสดงดังรูปที่ ก.1 และรูปที่ ก.2

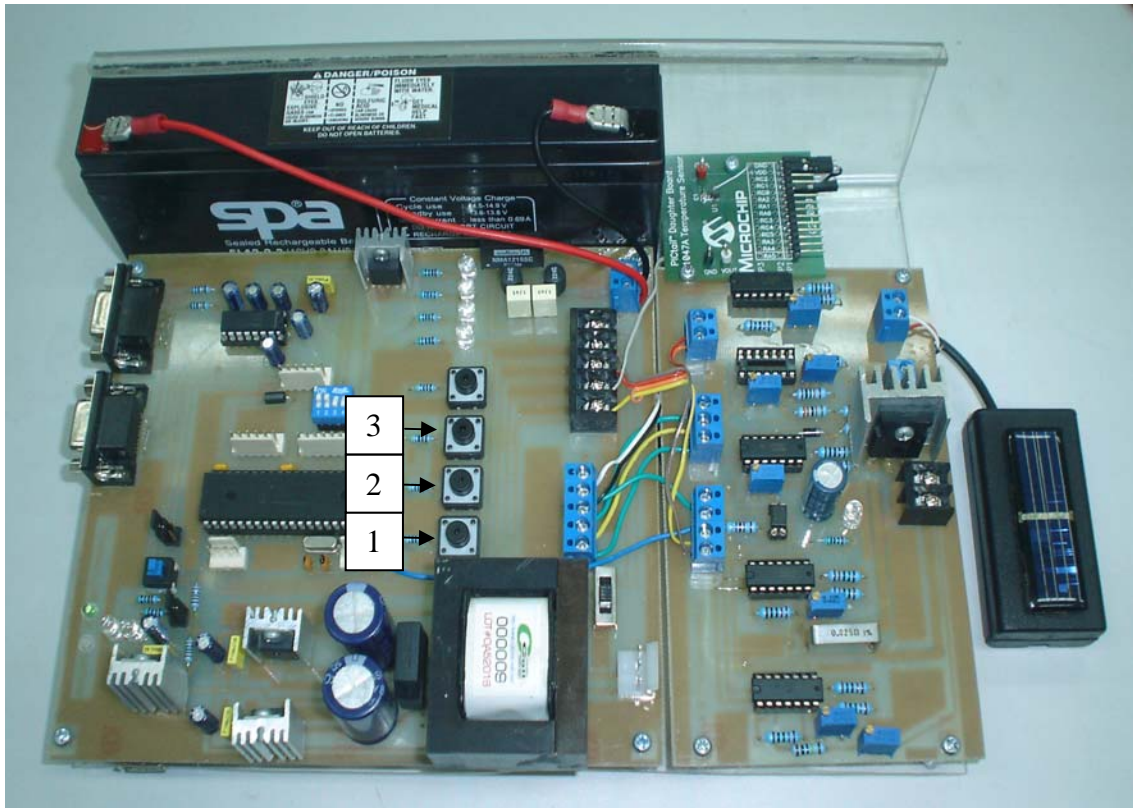


รูปที่ ก.1 ชุดคอนโทรลเลอร์



รูปที่ ก.2 ชุดรับสัญญาณ

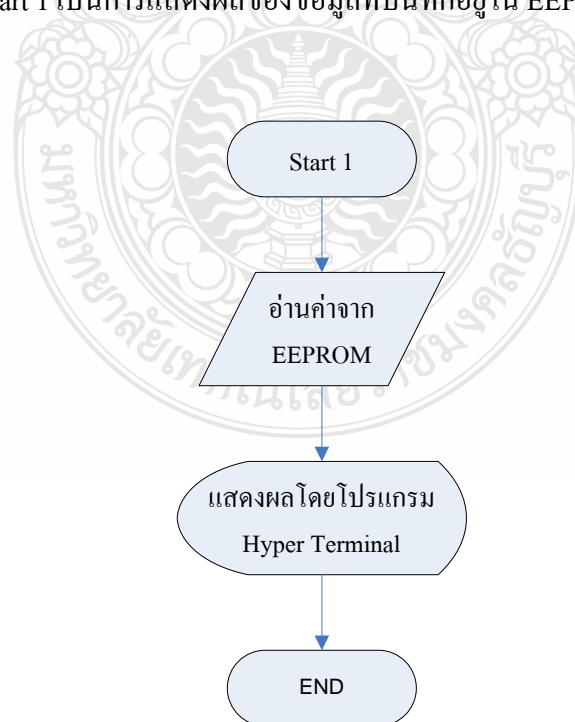
ชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพาแสดงดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 ชุดวัดค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา

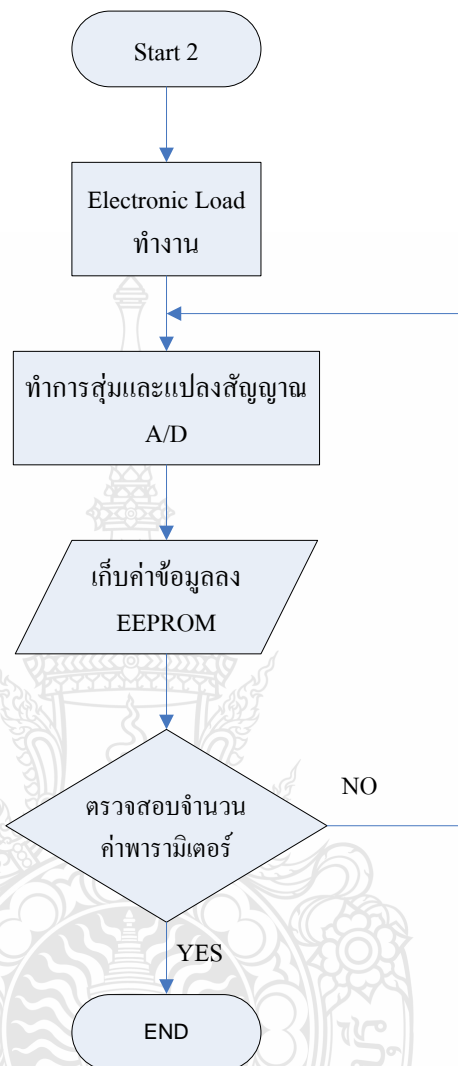
ขั้นตอนการทำงานของข้อมตัวเครื่องสามารถแบ่งได้ดังนี้

1 คือสวิตซ์ Start 1 เป็นการแสดงผลของข้อมูลที่บันทึกอยู่ใน EEPROM ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ ก.4



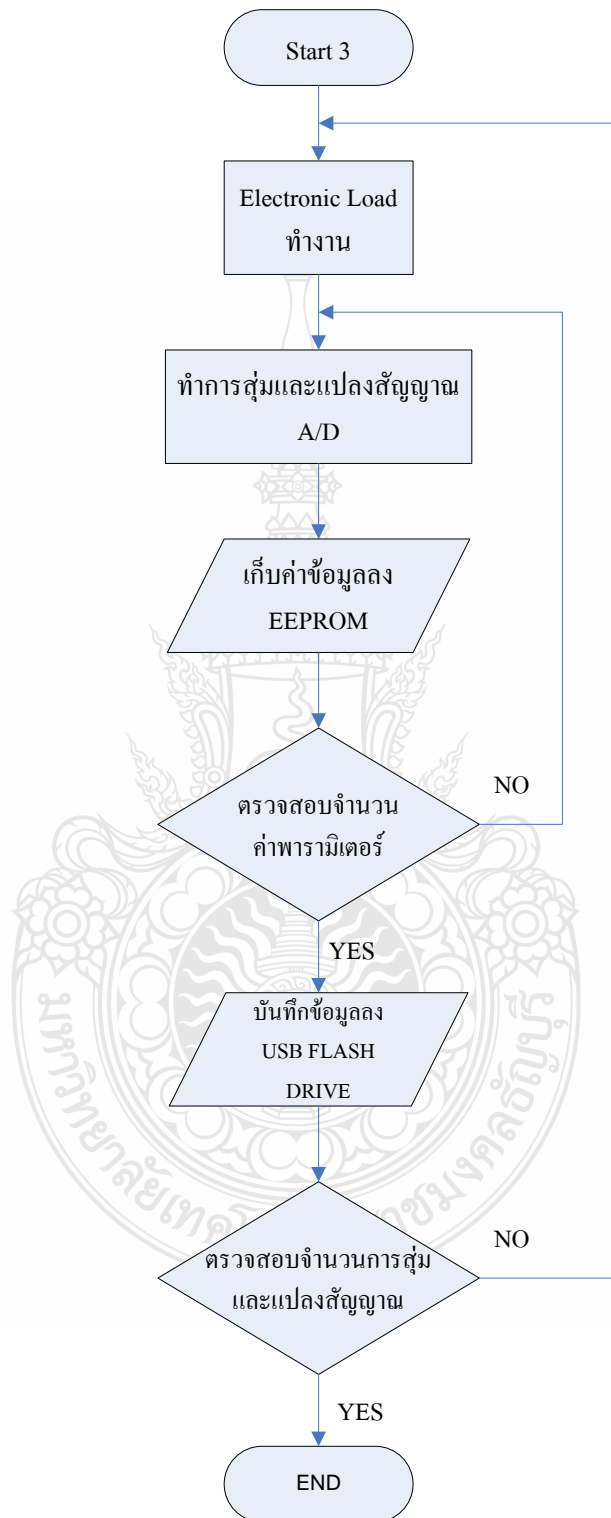
รูปที่ ก.4 การแสดงผลของข้อมูลที่บันทึกอยู่ใน EEPROM

2 คือสวิตช์ Start 2 การทดสอบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และบันทึกค่าพารามิเตอร์ลงใน EEPROM



รูปที่ ก.5 การทดสอบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และบันทึกค่าพารามิเตอร์

3 คือสวิตช์ Start 3 การทดสอบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และบันทึกค่าข้อมูลลงใน USB FLASH DRIVE



รูปที่ ก.6 การทำงานแบบสามารถกำหนดจำนวนรอบการทำงาน

### ขอบเขตของการทำงานของตัวเครื่อง

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้ทำการสร้างชุดรับสัญญาณจากภายนอก โดยจะมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์ เนื่องจากการเก็บค่าของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เกิน 5 โวลต์ และในการบันทึกค่าลง Flash Drive ผ่านอุปกรณ์ ET-USB FLASH DRIVE จำเป็นจะต้องกำหนดจำนวนข้อมูลที่จะเขียนเป็นจำนวน Byte ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถกำหนดค่าได้จึงจำเป็นบวกค่า 1000 เข้าไปกับค่าพารามิเตอร์ที่เก็บได้ เพื่อความสะดวกในการอ่านค่าพารามิเตอร์ที่ได้ผู้จัดทำจึงได้กำหนดสมการในการอ่านค่าดังนี้

$$\text{แรงดันไฟฟ้า} = (\text{แรงดันไฟฟ้าที่ได้} - 1000) \times 0.048828125 \quad (1)$$

$$\text{กระแสไฟฟ้า} = (\text{กระแสไฟฟ้าที่ได้} - 1000) \times 0.0048828125 \quad (2)$$

$$\text{ความเข้มแสงอาทิตย์} = (\text{ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้} - 1000) \times 0.0488763426 \quad (3)$$

อุณหภูมิ สามารถเปรียบเทียบค่าได้จากตาราง

ตารางที่ ก.1 เปรียบเทียบการอ่านค่าของอุณหภูมิ

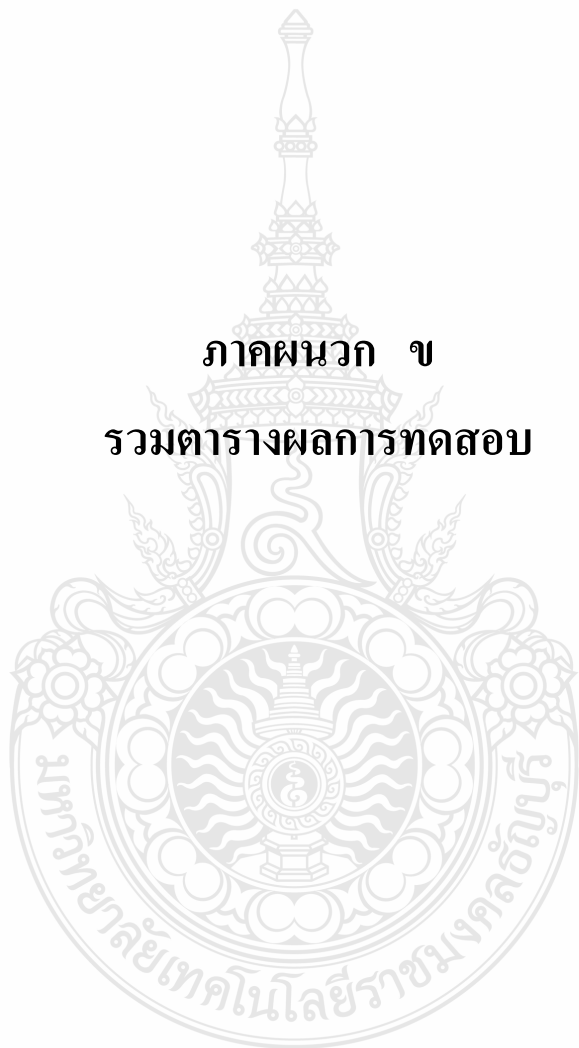
อุณหภูมิ(องศา)	ค่าที่วัดได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์
25	511.4949
26	518.3148
27	525.1347
28	531.9547
29	538.7746
30	545.5945
31	552.4145
32	559.2344
33	566.0543
34	572.8743
35	579.6942
36	586.5141
37	593.3341
38	600.154
39	606.9739

ตารางที่ ก.1 เปรียบเทียบการอ่านค่าของอุณหภูมิ (ต่อ)

อุณหภูมิ(องศา)	ค่าที่วัดได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์
40	613.7939
41	620.6138
42	627.4337
43	634.2537
44	641.0736
45	647.8935
46	654.7135
47	661.5334
48	668.3533
49	675.1732
50	681.9932
51	688.8131
52	695.633
53	702.453
54	709.2729
55	716.0928
56	722.9128
57	729.7327
58	736.5526
59	743.3726
60	750.1925

\*หมายเหตุ ในการเปรียบเทียบการอ่านค่าของอุณหภูมิจำเป็นจะต้องปิดค่าทศนิยม

**ภาคผนวก ข**  
**รวมตารางผลการทดสอบ**



## รวมตารางผลการทดสอบ

ตารางที่ ข.1 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของไฟโด้  
ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	ไฟโด้ทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 (mV)
1	0	325	324
2	0	300	301
3	0	275	279
4	0	250	257
5	0	225	232
6	0	200	208
7	0	175	185
8	0	150	161
9	0	125	137
10	0	100	111
11	0	75	85
12	0	50	59
13	0	25	30
14	0	0	0

ตารางที่ ข.2 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของแอลดีอาร์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	แอลดีอาร์ (mV)
1	0	327	327
2	0	300	314
3	0	275	304
4	0	250	290
5	0	225	275
6	0	200	258



ตารางที่ ข.2 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของแอลดีอาร์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (ต่อ)

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	แอลดีอาร์ (mV)
7	0	175	240
8	0	150	218
9	0	125	198
10	0	100	167
11	0	75	138
12	0	50	104
13	0	25	62
14	0	0	8

ตารางที่ ข.3 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของโฟโต้ไดโอด  
ชนิดอินฟราเรด เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโต้ไดโอดชนิดอินฟราเรด
1	0	330	330
2	0	300	301
3	0	275	277
4	0	250	253
5	0	225	228
6	0	200	203
7	0	175	178
8	0	150	153
9	0	125	127
10	0	100	101
11	0	75	75
12	0	50	50
13	0	25	24
14	0	0	0

ตารางที่ ข.4 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของโฟโต้ไดโอดแบบที่ 1 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโต้ไดโอดแบบที่ 1 (mV)
1	0	135	135
2	0	300	312
3	0	275	294
4	0	250	274
5	0	225	251
6	0	200	227
7	0	175	201
8	0	150	173
9	0	125	144
10	0	100	115
11	0	75	85
12	0	50	56
13	0	25	28
14	0	0	0

ตารางที่ ข.5 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของโฟโต้ไดโอดแบบที่ 2 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโต้ไดโอดแบบที่ 2 (mV)
1	0	333	333
2	0	300	309
3	0	275	289
4	0	250	268
5	0	225	246
6	0	200	223
7	0	175	197
8	0	150	171

ตารางที่ ข.5 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของไฟโด้ ไดโอดแบบที่ 2 เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (ต่อ)

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	ไฟโด้ไดโอดแบบที่ 2 (mV)
9	0	125	145
10	0	100	117
11	0	75	89
12	0	50	59
13	0	25	30
14	0	0	0

ตารางที่ ข.6 การทดสอบการทำงานด้วยการปรับค่าความเข้มแสงของหลอดฮาโลเจนของเซลล์แสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)
1	0	307	307
2	0	300	300
3	0	275	276
4	0	250	252
5	0	225	228
6	0	200	203
7	0	175	177
8	0	150	152
9	0	125	126
10	0	100	100
11	0	75	74
12	0	50	49
13	0	25	24
14	0	0	0

ตารางที่ ข.7 การทดสอบการทำงานของไดโอดทรานซิสเตอร์แบบที่ 2 ในมุมการรับแสงที่กำหนด  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โพโต้ทรานซิสเตอร์2 (mV)
1	90	19	4
2	80	21	5
3	70	25	6
4	60	36	7
5	50	55	9
6	40	73	14
7	30	86	23
8	20	110	60
9	10	125	140
10	0	134	146
11	-10	123	145
12	-20	108	140
13	-30	85	61
14	-40	73	24
15	-50	54	13
16	-60	36	9
17	-70	24	7
18	-80	22	5
19	-90	18	4

ตารางที่ ข.8 การทดสอบการทำงานของแอลดีอาร์ ในมุมการรับแสงที่กำหนดเปรียบเทียบกับ  
ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	แอลดีอาร์ (mV)
1	90	19	84
2	80	21	92
3	70	25	96
4	60	36	110
5	50	55	152
6	40	73	162
7	30	86	169
8	20	110	194
9	10	125	203
10	0	134	205
11	-10	123	202
12	-20	108	192
13	-30	85	171
14	-40	73	163
15	-50	54	153
16	-60	36	109
17	-70	24	95
18	-80	22	90
19	-90	18	83

ตารางที่ ข.9 การทดสอบการทำงานของโฟโอดีไดโอดชนิดอินฟาเรด ในมุมการรับแสงที่กำหนด  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโอดีไดโอดชนิดอินฟาเรด (mV)
1	90	19	1
2	80	21	2
3	70	25	2
4	60	36	5
5	50	55	8
6	40	73	26
7	30	86	35
8	20	110	52
9	10	125	133
10	0	134	134
11	-10	123	131
12	-20	108	55
13	-30	85	34
14	-40	73	26
15	-50	54	8
16	-60	36	5
17	-70	24	2
18	-80	22	2
19	-90	18	1

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบการทำงานของโฟโต้ไดโอดแบบที่ 1 ในมุมการรับแสงที่กำหนด  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโต้ไดโอด 1 (mV)
1	90	19	5
2	80	21	6
3	70	25	7
4	60	36	9
5	50	55	11
6	40	73	15
7	30	86	19
8	20	110	50
9	10	125	125
10	0	134	136
11	-10	123	124
12	-20	108	51
13	-30	85	20
14	-40	73	15
15	-50	54	12
16	-60	36	9
17	-70	24	7
18	-80	22	6
19	-90	18	5

ตารางที่ ข.11 การทดสอบการทำงานของโฟโต้ไดโอดแบบที่ 2 ในมุมการรับแสงที่กำหนด  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	โฟโต้ไดโอด 2 (mV)
1	90	19	5
2	80	21	6
3	70	25	7
4	60	36	10
5	50	55	13
6	40	73	20
7	30	86	26
8	20	110	100
9	10	125	125
10	0	134	135
11	-10	123	124
12	-20	108	100
13	-30	85	26
14	-40	73	20
15	-50	54	12
16	-60	36	9
17	-70	24	7
18	-80	22	6
19	-90	18	5



ตารางที่ ข.12 การทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ในมุมการรับแสงที่กำหนด เปรียบเทียบกับ  
ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ

ครั้งที่	มุมที่ทำการทดลอง (องศา)	ไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ (mV)	เซลล์แสงอาทิตย์ (mV)
1	90	19	17
2	80	21	19
3	70	25	21
4	60	36	32
5	50	55	54
6	40	73	74
7	30	86	87
8	20	110	114
9	10	125	127
10	0	134	135
11	-10	123	128
12	-20	108	109
13	-30	85	86
14	-40	73	74
15	-50	54	55
16	-60	36	32
17	-70	24	20
18	-80	22	19
19	-90	18	17

ตารางที่ ข.13 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 14 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต้ เตอร์1 (mV)	โฟโต้ เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	เซลล์ (mV)
8:17	42	21	17	155	30	14	41	42
8:36	48	25	19	163	33	16	22	47
9:00	75	30	22	203	39	20	28	75
9:32	74	42	32	202	53	27	36	74
10:03	104	62	39	231	70	34	46	105
10:31	71	40	32	199	54	26	34	70
11:01	74	42	33	202	54	27	37	73
11:31	82	50	39	213	62	33	44	82
11:59	81	50	38	213	62	32	43	81
12:29	67	39	31	195	57	25	34	66
12:59	92	57	43	224	71	36	48	92
13:29	115	84	80	248	112	60	76	114
14:00	119	81	85	250	108	50	64	118
14:29	30	15	11	132	20	10	13	29
14:59	7	3	2	74	3	2	3	8
15:33	0	0	0	13	0	0	0	0
15:59	4	1	1	50	1	1	1	3

ตารางที่ ข.14 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 15 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต เตอร์1 (mV)	โฟโต เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต (mV)	โฟโต (mV)	โฟโต (mV)	เซลล์ (mV)
7:28	28	10	7	126	16	7	8	27
8:28	47	24	20	163	37	16	22	46
9:00	89	33	24	225	49	22	28	88
9:28	137	60	33	268	63	31	41	137
10:00	123	76	44	257	120	37	48	123
10:33	180	115	98	303	331	73	85	181
10:57	211	201	174	321	256	130	139	210
11:25	209	208	283	321	248	118	192	208
11:56	174	165	127	299	183	186	207	173
12:27	232	244	239	338	287	263	322	230
12:56	199	216	294	318	261	244	318	197
13:26	197	232	234	322	292	189	287	197
13:56	184	212	65	314	230	114	182	185
14:26	170	176	39	307	54	44	95	172
14:57	196	168	43	319	70	43	63	199
15:26	55	29	10	188	16	10	18	57
15:55	11	4	2	38	3	2	4	11
16:00	5	2	1	55	1	1	2	5

ตารางที่ ข.14 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 16 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต้ เตอร์1 (mV)	โฟโต้ เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	เซลล์ (mV)
8:59	114	48	24	220	41	24	35	118
9:26	144	88	31	268	53	30	44	148
9:56	149	125	34	271	57	36	48	153
10:27	167	169	47	285	100	59	84	171
10:57	177	187	119	293	238	111	143	182
11:27	184	194	271	290	282	168	214	189
11:59	190	198	229	300	228	212	264	195
12:27	191	191	213	286	245	237	298	196
12:56	150	139	186	263	173	153	200	153
13:26	161	148	195	264	238	122	168	164
13:56	150	122	67	285	179	75	109	152
14:26	133	87	45	271	76	41	61	134
14:56	114	61	32	256	54	30	43	115
15:38	84	35	25	224	42	23	33	85
15:57	38	20	18	154	28	15	20	40

ตารางที่ ข.15 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 18 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโตี เตอร์1 (mV)	โฟโตี เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโตี (mV)	โฟโตี (mV)	โฟโตี (mV)	เซลล์ (mV)
7:56	15	7	5	91	9	4	7	15
8:31	32	15	10	130	19	10	15	34
8:58	33	21	17	124	27	14	20	35
9:32	27	17	12	126	23	12	17	29
10:05	53	36	26	173	42	22	31	56
10:33	159	159	57	281	128	64	97	165
10:58	202	234	117	314	221	135	184	209
11:29	201	228	303	314	308	185	235	207
11:56	180	202	236	304	228	218	239	186
12:35	145	150	171	280	187	188	197	150
13:09	193	216	308	313	256	208	267	199
13:32	178	186	215	306	361	137	194	184
13:58	184	170	68	310	236	94	142	186
14:29	167	114	44	302	242	36	56	167
15:01	144	71	31	285	52	31	47	144
15:30	99	42	28	204	47	27	39	100
16:01	49	24	21	178	34	17	24	50

ตารางที่ ข.16 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 19 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต้ เตอร์1 (mV)	โฟโต้ เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต้ไลโอด (mV)	โฟโต้ไลโอด (mV)	โฟโต้ไลโอด (mV)	เซลล์ (mV)
9:07	113	53	28	171	45	26	38	116
9:26	148	92	39	210	62	37	55	159
9:56	133	102	34	267	56	35	47	137
10:26	159	151	50	272	135	58	80	163
10:56	167	171	115	292	238	105	134	174
11:26	192	207	297	313	289	179	222	197
11:58	181	184	215	239	233	214	226	185
12:26	174	169	191	302	229	208	213	178
12:56	179	185	245	307	224	205	231	183
13:57	181	158	71	276	228	92	137	182
14:23	119	79	44	262	68	39	58	119
14:57	166	83	31	301	54	33	50	165
15:26	152	54	31	290	55	31	48	151
15:56	117	33	23	264	44	25	38	117

ตารางที่ ข.17 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 23 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต้ เตอร์1 (mV)	โฟโต้ เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต้ไลโอด (mV)	โฟโต้ (mV)	โฟโต้ไลโอด (mV)	เซลล์ (mV)
9:17	123	63	27	259	43	27	40	129
9:29	144	87	31	276	48	30	45	147
10:00	192	170	50	311	76	49	70	195
10:29	162	159	47	293	157	60	86	164
11:01	151	143	116	285	205	96	119	153
11:29	137	112	134	271	142	93	109	136
11:59	104	69	61	246	85	51	61	105

ตารางที่ ข.17 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 23 สิงหาคม 2553 (ต่อ)

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต เตอร์1 (mV)	โฟโต เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโตไดโอด (mV)	โฟโต (mV)	โฟโตไดโอด (mV)	เซลล์ (mV)
12:31	89	54	43	231	68	36	46	90
13:00	69	43	43	205	62	34	41	69
13:30	35	20	19	153	28	16	19	36
14:00	32	11	15	144	22	12	16	32
14:39	57	31	29	189	42	24	33	58
14:59	55	24	16	191	26	15	21	55
15:54	53	24	15	191	29	17	25	59

ตารางที่ ข.18 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 24 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต เตอร์1 (mV)	โฟโต เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโตไดโอด (mV)	โฟโต (mV)	โฟโตไดโอด (mV)	เซลล์ (mV)
9:32	118	77	36	246	58	33	46	119
10:03	128	103	42	267	65	38	53	130
10:29	156	139	55	287	145	62	84	159
10:59	130	113	96	268	174	78	97	132
11:29	86	59	59	225	81	45	54	88
12:12	201	188	191	319	246	203	204	206
12:29	232	233	228	342	285	248	247	236
12:59	74	44	38	212	59	31	41	75
13:29	86	53	49	227	75	39	49	87
13:58	146	105	72	287	164	70	93	147
14:29	63	33	28	198	46	24	31	64
15:00	50	27	24	176	38	20	26	50
15:29	67	30	25	206	41	22	29	67

ตารางที่ ข.19 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 25 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต้ เตอร์1 (mV)	โฟโต้ เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	เซลล์ (mV)
9:08	80	35	19	215	31	15	27	81
9:30	139	85	30	272	48	25	44	141
9:59	154	129	36	287	57	36	52	154
10:29	213	216	79	325	200	84	120	213
11:00	194	175	167	319	306	129	165	195
11:30	184	165	261	308	220	168	199	185
12:00	195	175	215	320	241	215	225	198
12:31	88	75	64	230	82	53	61	89
13:01	135	112	145	271	154	113	123	134
13:29	96	66	73	238	107	51	68	97
13:59	80	50	42	221	74	36	47	80
14:29	93	54	41	217	67	35	46	94
15:00	45	26	25	170	36	20	26	46
15:29	40	22	20	134	31	16	21	40
15:55	41	20	19	60	29	15	20	41

ตารางที่ ข.20 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 26 สิงหาคม 2553

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต้ เตอร์1 (mV)	โฟโต้ เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	เซลล์ (mV)
9:02	99	42	23	233	367	222	33	100
9:30	146	89	32	271	52	32	47	148
9:59	172	147	47	295	73	45	64	175
10:29	194	192	52	314	195	72	102	197
10:59	219	228	177	78	340	147	182	225
11:30	55	34	27	167	44	23	30	56





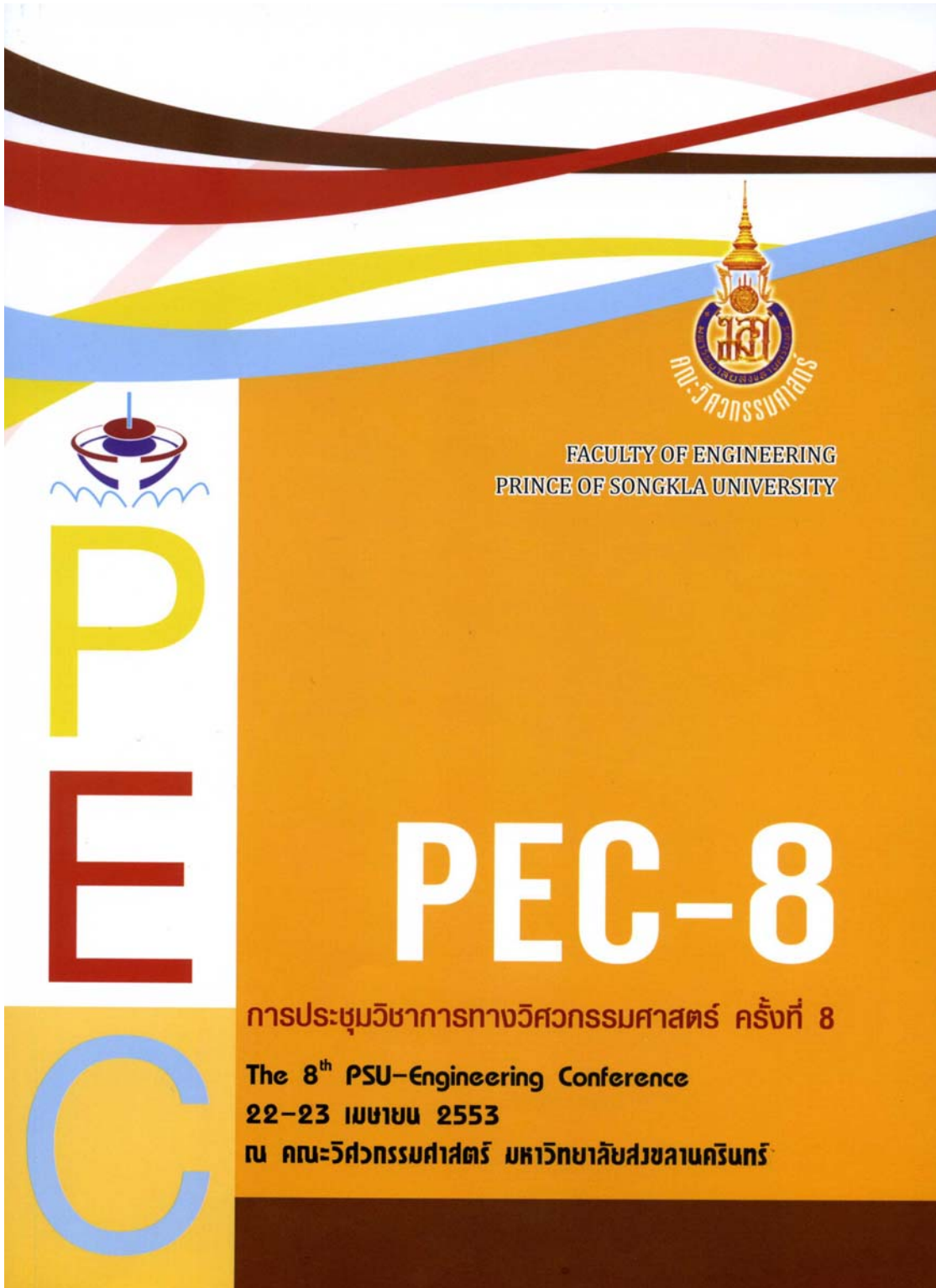
ตารางที่ ข.20 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์  
เปรียบเทียบกับไพราโนมิเตอร์ต้นแบบ วันที่ 26 สิงหาคม 2553 (ต่อ)

เวลา	ไพราโน (mV)	โฟโต้ เตอร์1 (mV)	โฟโต้ เตอร์2 (mV)	แอลดีอาร์ (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	โฟโต้ไดโอด (mV)	เซลล์ (mV)
11:59	47	27	24	160	37	20	29	47
12:31	217	224	239	333	271	279	253	221
13:00	220	239	318	335	283	245	260	223
13:29	235	236	277	342	426	173	230	237
14:02	193	151	59	319	243	78	119	193
14:29	131	78	33	275	59	34	48	130
14:59	128	56	25	276	43	26	39	126
15:29	24	9	6	133	11	6	8	24



ภาคผนวก ก  
ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่





FACULTY OF ENGINEERING  
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

**P**  
**E**  
**C**

**PEC-8**

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 8  
The 8<sup>th</sup> PSU-Engineering Conference  
22-23 เมษายน 2553  
ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



14. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

1. ผศ. วิจิตรา

เพ็ชรกิจ

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

ข. ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์

1. รศ.บุญเจริญ	วงศ์กิตติศึกษา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
2. รศ.ดร.เกริกชัย	ทองหนู	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
3. ผศ.ดร.ณัฐธา	จินดาเพชร	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
4. ผศ.ดร.วิกรม	ธีรภาพจรเจษ	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
5. ผศ.ดร.พรชัย	พฤกษ์ภัทรานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
6. ผศ.ดร.กุสุมาลย์	เฉลิมยานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
7. ผศ.ดร.ภาณุมาศ	คำสัตย์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
8. ผศ.ศณดิธ	เชษฐพัฒนานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
9. ผศ.สาริตรี	คันทนุช	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
10. ผศ.สุระพล	เชิธรมนตรี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
11. ผศ.ชวิชัย	ทางรัตนสุวรรณ	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
12. ผศ.ปริพนธ์	พัฒนสัตยวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
13. ผศ.เสียง	คุณรัตต์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
14. ผศ.สมพัฒน์	รุ่งตะวันเรืองศรี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
15. ดร.มณฑเทพ	เกียรติวีระสกุล	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
16. อ.ปราโมทย์	อุหาพร	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
17. รศ.ดร.ชาคริต	ทองอุไร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
18. รศ.ดร.จรัญ	บุญกาญจน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
19. รศ.ดร.สุภาวรรณ	ภูริระณชัยกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
20. ผศ.ดร.เลิอพงศ์	แก้วศรีจันทร์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
21. ผศ.ดร.จันทิมา	ชังสิริพร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
22. ผศ.ดร.กุลชนาฐ	ประเสริฐสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
23. ผศ.ดร.ศกามาศ	เชษฐพัฒนานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
24. ผศ.ดร.สุกฤทธิรา	รัตนวิไล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
25. ดร.สุธรรม	สุขมณี	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
26. ดร.พรศิริ	แก้วประดิษฐ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
27. ดร.สินีนากู	จงคัง	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
28. ดร.สุวิลาดี	กัมภันท์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
29. รศ.ดร.สันหทัย	กลิ่นเพ็กุล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
30. รศ.สมชาย	ชูโณม	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

69. ดร.ชยุต	นันทดูลิต	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
70. ดร.ธีระยุทธ	หลิวจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
71. ดร.จีระภา	สุขแก้ว	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
72. ศ.ดร.สินชัย	กมลภิวังศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
73. ผศ.ดร.มนตรี	กาญจนะเดชะ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
74. รศ.ดร.มิตรชัย	จงเขี้ยวชำนาญ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
75. รศ.ทศพร	กมลภิวังศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
76. ผศ.ดร.พิชญา	ต้นทัยย์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
77. ผศ.ดร.สุนทร	วิบูลสุพจน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
78. ผศ.ดร.วรวรรณวิเศษ	สันติอมรทัต	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
79. ผศ.ดร.ธเนศ	เคการพาพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
80. ผศ.ทวีศักดิ์	เรืองพีระกุล	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
81. ดร.แสงสุรีย์	วสุพงศ์อัยยะ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
82. ดร.นิตม	สุวรรณฉวี	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
83. ดร.อนันท์	ชกสุรวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
84. อ.ฉัตรชัย	จันทร์พริ้ม	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
85. ดร.วัชรวิลี	ตั้งคุปตานนท์	หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIT)

2. คณะวิทยาศาสตร์

1. ผศ.ดร.ภัทร	อัยรักษ์	ภาควิชาฟิสิกส์
2. ผศ.ดร.ศิริรัตน์	วนิชไชเบล	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
3. ผศ.ดร.อรสา	ภัทรไพบุลย์ชัย	หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
4. ดร.ลัดดา	ปรีชาวีรกุล	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

3. คณะอุตสาหกรรมเกษตร

1. ผศ.ดร.อัญชลี	ศิริชาติ	ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
-----------------	----------	-----------------------

4. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วิทยาเขตปัตตานี)

1. รศ.ดร.เจริญ	นาคะสรวัต	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์
----------------	-----------	---------------------------------

ประกาศ ณ วันที่ 22 เมษายน 2553



รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา  
ประธานคณะกรรมการวิชาการและการประชุม PEC-8

วันที่	เวลา	คำทูลถวญ การนำเสนองาน	Conf. 1 (อาคารศูนย์วิจัยฯ ชั้น 1)	Conf. 2 (อาคารศูนย์วิจัยฯ ชั้น 1)	Conf. 3 (อาคารศูนย์วิจัยฯ ชั้น 1)
22-เม.ย.-53	14.45 - 16.15		PEC : EE 3	PEC : MaE 3	PEC : ME 3
			Chair: มศ.ดร.พรชัย พงศ์กัถราชบัณฑิต	Chair: รศ.ดร.พิชญ์ บุญขจร	Chair: รศ.ปิญญ์วิทย์ งานศิริตระกูล
		14.40 - 15.00	ID 24 : การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด โดยใช้โครงข่ายประสาทร่วม บ้านเกิด ฤทธิ์ทอง ฉัตรชัย สุกพิทักษ์สกุล	ID 200 : สมบัติของกระเบื้องดินเผาสีผิว หม้อเคลือบเคลือบเคลือบ โรงกรองน้ำประปา คณพล ต้นนโยภาส จิระวรรณ ทนุกุญชร สุชาติ จันทร์ภรณ์	ID 21 : การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของ ตัวรับรังสีของหลอดสุญญากาศที่ทำงาน ร่วมด้วยใช้ไปป์ของท่อไอเสีย อนุสมชัย สังขนันท์ อนุวัฒน์ มณีรัตน์ สุธรรม นิยมवास
		15.00 - 15.15	ID 87 : การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ทดสอบค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อนุวัฒน์ เกษวัฒน์นกุล ฉัตรชัย สุกพิทักษ์สกุล	ID 204 : การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและค่า ความแข็งของเนื้อเชื่อมพอลิเอทิลีนความดันต่ำ AISI 4340 ที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบและกระบวนการ เชื่อมด้วยลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์ สุวิภาดา ลีมนาว ประกาศ เมืองจันทร์บุรี	ID 150 : การประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลด ความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ของอาคารที่อยู่อาศัย วิสิทธิ์ เอกวานิช อัมภกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ ปิญญ์วิทย์ งานศิริตระกูล
		15.15 - 15.30	ID 145 : การจำลองและศึกษาคุณสมบัติการจ่าย กำลังงานของเครื่องส่งกำลังวิทยุระยะไกล เชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น อนุศักดิ์ บิสมาลม วิภาดา บุญญาอรุณนตระ	ID 185 : อิทธิพลของสมบัติพอลิเมอร์ คาร์บอนนาโนทิวส์ต่อประสิทธิภาพของ เครื่องส่งกำลังวิทยุระยะไกล วิชัย นกแก้ว คณพล ต้นนโยภาส วิศณุ วายเพ็ชร	ID 169 : ผลกระทบของสารลดความตึงผิวต่อ อัตราการอบแห้ง ณัฐพงษ์ กิจพงษ์
15.30 - 15.45	ID 194 : การออกแบบและพัฒนาระบบ กลไกเชิงกลที่เกิดการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับ วิศวกรที่มีประสบการณ์ในการเดิน วิศวกรรม ประสมพงษ์ วิวัฒน์ กุศลวิ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา สุระพล เขียวมนต์ วิวัฒน์ นันทินันท์	ID 197 : การสำรวจความต้านทานไฟฟ้ายว ในพื้นที่ทิวเขาของสงขลาและจังหวัด ภาคใต้ คณพล ต้นนโยภาส สุทธิ บากา อัมพรเดช เจแปง สมชัย อธิเสน ปวีณรัตน์ แสนสุข เกริกชัย ทองบุญ วิภาดา เวทย์ประสิทธิ์ ศิริวัฒน์ วาณิชโยบล	ID 181 : ศึกษาเปรียบเทียบ เครื่องปรับอากาศ อรรถวิทย์ สมชาย แซ่จิ่ง		



## การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผง เซลล์แสงอาทิตย์

### The Application of dsPIC Microcontroller for testing I-V Curve of Solar cell panel

อนรรักษ์ เกษวัฒนากุล<sup>1</sup> ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: katwattanakul@hotmail.com\*

Anurak Katwattanakul<sup>1</sup> Chatchai Suphakitaksakul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,  
Thanyaburi, Pathumthani 12110

E-mail: katwattanakul@hotmail.com\*

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ต้องการสร้างชุดทดสอบที่มีราคาถูก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เพื่อใช้หาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่จำเป็นต้องต่อคอมพิวเตอร์ในขณะวัดและเก็บค่าทดสอบ จึงสะดวกในการเคลื่อนย้าย นอกจากนี้ชุดทดสอบยังสามารถเก็บค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์ได้ ซึ่งการควบคุมการทำงานของชุดทดสอบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC เบอร์ 30F4011ของบริษัท Microchip เนื่องจากมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย อีกทั้งซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเป็นแบบให้ใช้ได้ฟรี งานวิจัยนี้ต้องการเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองชุดทดสอบวัดค่า I-V Curve ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

คำหลัก แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### Abstract

This paper presents a portable I-V Curve measuring set for solar cell panel testing. The measuring set employs dsPIC Microcontroller 30F4011 as a controller which is low cost and convenient to carry. Also the software that uses for programming the microcontroller is available obtained with cost-free. The solar cell panel parameters such as current, voltage, temperature and solar radiation are measured and recorded in the measuring set. This research requires having

a prototype for solar cell panel testing using microcontroller. The measuring set was applied to measure and collect the parameters of a solar cell panel and the satisfactory results were given.

**Keywords:** Solar cell, dsPIC Microcontroller

#### 1. บทนำ

ในปัจจุบันวิกฤตด้านพลังงานที่เกิดขึ้นทำให้ทั่วโลกประสบกับปัญหาขาดแคลนพลังงาน จึงได้มีการนำพลังงานเลือกที่เป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติมาใช้กันมากขึ้น เช่น พลังงานที่ได้จากลม พลังงานได้จากแสงอาทิตย์ เป็นต้น

ในปัจจุบันพลังงานจากพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นที่นิยมมากขึ้นในประเทศไทย ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น บริษัทผู้ผลิตจะมีการทดสอบเพื่อหาค่าของกระแสและแรงดันหรือที่เรียกว่า I-V curves เพื่อใช้คำนวณหาประสิทธิภาพและหาจุดคุ้มทุนในการติดตั้งระบบ โดยส่วนใหญ่บริษัทหรือผู้ผลิตกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการอ้างอิงการทำงานที่ 25 องศาเซลเซียส และที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 1000 W/m<sup>2</sup> ตามมาตรฐานการทดสอบ AM 1.5 [1-2] แต่สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น อุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส และความเข้มแสงก็มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 1000 W/m<sup>2</sup> [3] ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ทำให้การคำนวณจะต้องมีการเผื่อค่าที่คำนวณได้ และในกรณีที่ได้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปแล้วเมื่อมีการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการตรวจสอบได้ยากเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบมีราคาแพงและขนาดใหญ่

ดังนั้นจึงมีแนวคิดประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ใน



ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมที่จะทำการติดตั้งจริงได้ ลดความผิดพลาดในการคำนวณและยังเป็นการตรวจสอบคุณภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะใช้ติดตั้ง ลดการนำเข้าเครื่องตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ

## 2. หลักการและส่วนประกอบของระบบ

### 2.1 การหาค่าของเส้นโค้งของกระแสและแรงดัน

ในทางทฤษฎี ค่าของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของโหลดจาก 0 Ω จนถึง ∞ Ω ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเข้มแสง 1000 W/m<sup>2</sup> ค่าต่างๆเหล่านี้มีไว้เพื่อใช้ในการคำนวณค่าที่จำเป็นในการติดตั้งระบบต่อไป

ในทางปฏิบัติ เมื่อมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งใช้งานจริงเนื่องจากแต่ละพื้นที่มีสภาพภูมิอากาศและสถานที่ติดตั้งแตกต่างกันจึงจำเป็นต้องนำค่าที่ได้มาปรับค่าให้เหมาะสมและสอดคล้องกับความเป็นจริง ในประเทศไทยนั้นมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงน้อยกว่า 1000 W/m<sup>2</sup> แต่ละพื้นที่ของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน จึงมีผลต่อพลังงานที่ได้และยังมีผลต่ออายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ สถานที่ติดตั้งจริง

### 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

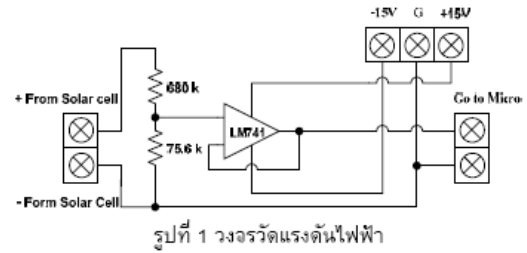
ในงานวิจัยนี้ได้มีการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ผลิตโดยบริษัท Microchip Inc. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่รวมความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เข้ากับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) ซึ่งนอกจากประสิทธิภาพในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้เป็นอย่างดี การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน สามารถเขียนด้วยภาษา C (MPLAB IDE&MPLAB C30) ที่ครอบคลุมคุณสมบัติทั้งหมดของ dsPIC30F4011 รวมถึงการใช้งานโมดูล DSP

ภายในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่องสัญญาณใช้การแปลงแบบประมาณค่า (Successive Approximation) มีความเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที มีหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม (EEPROM) ขนาด 16 บิต ความจุ 1 กิโลไบต์

### 2.3 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ออกแบบให้ตัวเครื่องสามารถวัดแรงดันสูงสุด 50 โวลต์ แต่โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล Analog-to-digital (A/D) ของ

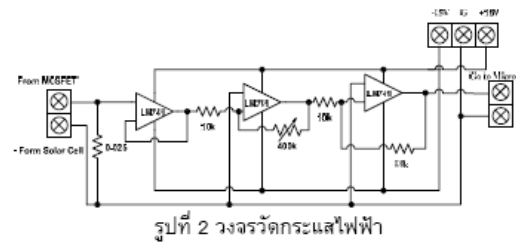
ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สามารถรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน 5 โวลต์ ดังนั้นจึงได้ใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) ในการลดแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน



รูปที่ 1 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

### 2.4 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

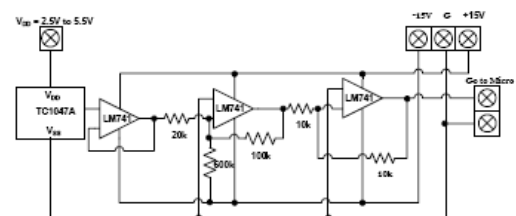
ในการวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้จัดทำได้ออกแบบให้ตัวเครื่องสามารถวัดกระแสสูงสุด 5 แอมแปร์ ในการวัดกระแสไฟฟ้าเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ไม่สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงจึงต้องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ผู้จัดทำใช้ R-sensor ขนาด 0.025 Ω ในการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากมีความแม่นยำในการวัดค่าสูงโดยมีรูปวงจรต่อดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

### 2.5 การวัดค่าอุณหภูมิ

ในการวัดค่าอุณหภูมิ นำไอซีวัดอุณหภูมิ TC1047A ในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากมีความแม่นยำสูงสามารถวัดอุณหภูมิตั้งแต่ - 40 ถึง 125 °C ที่แรงดัน 0.1 ถึง 1.75 โวลต์ ทางผู้จัดทำได้ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยและใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยให้สามารถวัดค่าอุณหภูมิ 0 ถึง 100 °C จึงต้องมีวงจรปรับความชันและตำแหน่งศูนย์ร่วมกับวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า โดยต้องการให้มีแรงดันเอาต์พุต 0 ถึง 5 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับ dsPIC30F4011



รูปที่ 3 วงจรวัดค่าอุณหภูมิ



## 2.6 การวัดความเข้มแสงอาทิตย์

การวัดความเข้มแสงอาทิตย์(Solar radiation) เป็นการวัดพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร สามารถวัดค่าได้โดยใช้ อุปกรณ์ที่มีชื่อว่า Pyranometer ซึ่งมีหน่วยของการวัดคือ วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m<sup>2</sup>) ในงานวิจัยนี้ได้มีการเลือกใช้ Pyranometer ของ Apogee รุ่น SP-110 เป็นแบบ Silicon-cell Pyranometer ซึ่งไม่ต้องการพลังงานในการทำงานและให้เอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยมีสมการในการอ่านค่าที่ได้จากอุปกรณ์ดังนี้

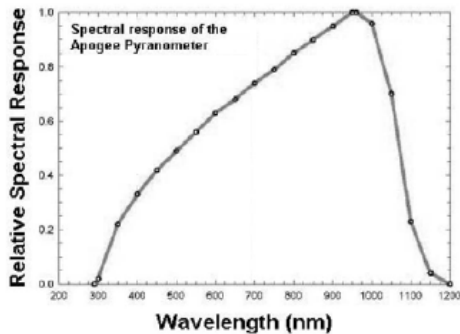
$$\text{Solar radiation} = \text{Sensor output} \times \text{Conversion factor} \quad (1)$$

โดย

Sensor output : แรงดันไฟฟ้าที่วัดออกมาจาก Pyranometer

Conversion factor : คือ ตัวคูณในการอ่านค่า

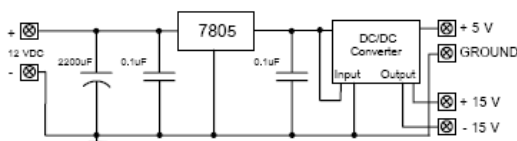
ค่าของความยาวคลื่นแสงที่ Apogee Pyranometer สามารถวัดค่าได้ดังได้จากรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าของความยาวคลื่นแสงที่ Apogee Pyranometer สามารถวัดค่าได้

## 2.7 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

จากความต้องการให้สามารถเคลื่อนย้ายตัวเครื่องได้ จึงต้องมีแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ไว้สำหรับจ่ายพลังงานให้กับตัวเครื่อง แต่ในวงจรการทำงานภายในมีการใช้แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และ ± 15 โวลต์ จึงต้องมีการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายพลังงานภายในโดยใช้ไอซีรีกซาระดับแรงดัน 7805 และ ไอซี DC/DC Converter ของ Murata-ps รุ่น MUA0515SC ดังรูปที่ 5

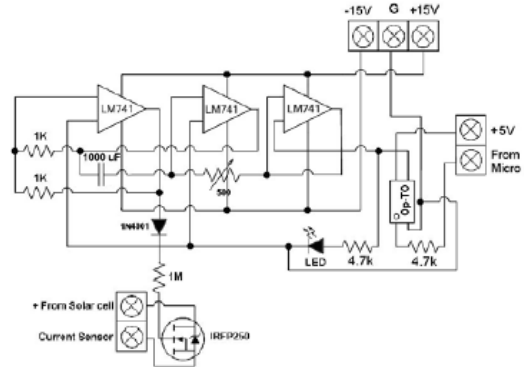


รูปที่ 5 วงจรแหล่งจ่ายพลังงาน

## 2.8 โหลดปรับค่าอัตโนมัติ

ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ค่า I-V Curve นั้นจำเป็นต้องทดสอบการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างโหลดปรับค่าอัตโนมัติ โดยใช้มอสเฟต (MOSFET)

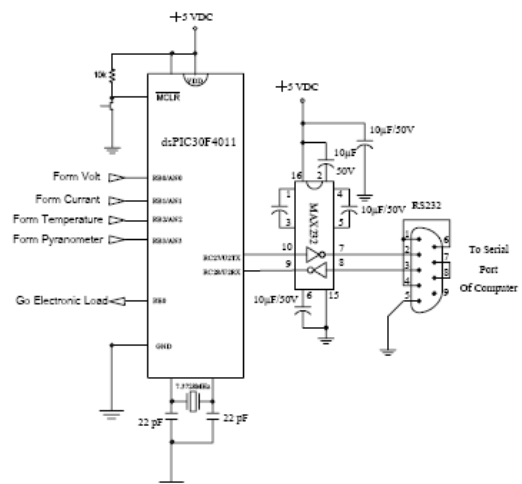
ที่สามารถปรับค่าการไหลของกระแสระหว่างขา Drain และ Source ของมอสเฟตได้โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขา Gate และ Source โดยต้องการให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากค่าน้อยๆแล้วเพิ่มมากขึ้นอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



รูปที่ 6 วงจรโหลดปรับค่าอัตโนมัติ

## 3. หลักการทำงานของตัวเครื่อง

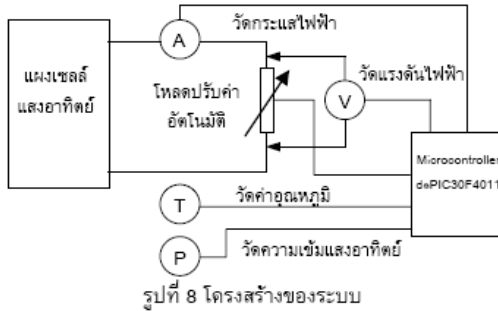
เครื่องทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ เมื่อทำการกดปุ่ม start การทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ทำงานส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานโหลดปรับค่าอัตโนมัติในขณะเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเก็บค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าและส่งค่าที่ได้ไปบันทึกไว้ใน EEPROM จำนวน 40 ตัวอย่าง ในการเก็บข้อมูลครั้งสุดท้ายจะมีการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์ การแสดงผลของข้อมูลที่เก็บนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งผ่านข้อมูลโดยใช้โมดูล UART เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม สามารถแสดงผลข้อมูลในโปรแกรม HyperTerminal จากนั้นทำการคัดลอกข้อมูลไปพล็อตกราฟต่อไป



รูปที่ 7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

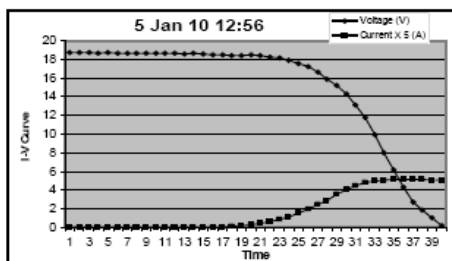
#### 4. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบเราได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ Inntech รุ่น IT 20 C ชนิด Mono Crystalline ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่บริษัทระบุไว้ ดังนี้  $P_{max}=20W$ ,  $I_{mp}=1.14A$ ,  $I_{sc}=1.32A$ ,  $V_{mp}=18V$ ,  $V_{oc}=22V$  โดยมีการติดตั้งไว้ภายนอกอาคารในสภาพการใช้งานจริงเนื่องจากประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรโดยจึงติดตั้งแผงหันไปทางทิศใต้ ทำมุม 30 องศากับพื้นโลก และต่อวงจรการทำงานตามรูปที่ 8

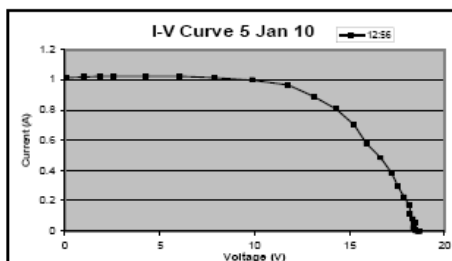


#### 5. ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดสอบตัวเครื่องในสภาวะการทำงานจริง สามารถบันทึกค่าของข้อมูลกระแสและแรงดันอย่างละ 40 ชุด อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์อย่างละ 1 ชุดต่อ 1 รอบการทำงานของตัวเครื่อง โดยตัวเครื่องจะทำการบันทึกข้อมูลลงใน EEPROM ของ dsPIC30F4011 เมื่อต้องการดูผลของข้อมูลได้ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรม HyperTerminal ในการดูผลข้อมูล และทำการพล็อตกราฟได้โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 9 และ 10

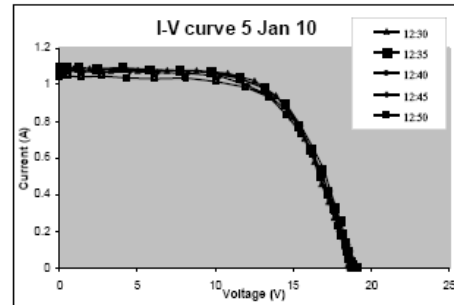


รูปที่ 9 ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 10 I-V curve ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 32 °C ความเข้มแสงอาทิตย์ 174 W/m<sup>2</sup>

เมื่อทำการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องในการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาห่างกัน 5 นาที ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ผลที่ได้เมื่อนำมาพล็อตกราฟ ตัวเครื่องสามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 I-V curve จากการทดสอบที่เวลาห่างกัน 5 นาที

#### 6. สรุป

บทความนี้นำเสนอเครื่องทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ในการประมวลผลและเก็บข้อมูล ผลที่ได้จากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาค่าของ I-V Curve ได้ผลเป็นเป็นอย่างดี และสามารถบันทึกค่าของอุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์ได้ ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกทำให้สามารถใช้ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งไว้แล้วได้ สามารถใช้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานหรือใช้ในการเก็บข้อมูลก่อนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ทำให้ได้ข้อมูลจากสถานที่ติดตั้งจริง เพื่อใช้ในการพิจารณาก่อนตัดสินใจติดตั้งระบบ ตัวเครื่องที่ทำการสร้างขึ้นมีราคาถูก เมื่อเทียบกับที่จำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน

แนวทางในการพัฒนาชุดทดสอบ คือในการแสดงผลยังไม่สะดวกเนื่องจากยังต้องใช้คอมพิวเตอร์ ในการพล็อตกราฟจึงจะพัฒนาให้สามารถแสดงผลในจอกราฟฟิค LCD และในส่วนของพื้นที่เก็บข้อมูลของ EEPROM สามารถเพิ่มได้ จากภายนอกเพื่อที่จะให้สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการทำเป็น Data logger ต่อไป

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Carmen Ilie, Nicolae Olariu, Carlin Oros, 1996. Indoor PV devices Testing. IEEE ,1996: 611-614.
- [2] Carmen Ilie, Nicolae Olariu, Carlin Oros , 1997. New Techniques for Characterising solar cells. IEEE,1997: 505-508.
- [3] เอกรินทร์ วาสนาสง. 2549. ระบบบันทึกข้อมูลและวัดค่าคุณสมบัติกระแสและแรงดันแบบพกพาสำหรับแผงเซลล์อาทิตย์. EECON 29, ชลบุรี, ประเทศไทย, 9-10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2549: 317-320.



การประชุมวิชาการ  
**เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**  
ครั้งที่ 6



5-7 พฤษภาคม 2553  
ณ โรงแรมออลสตีเดย์ฮิลล์ รีสอร์ท ราชันย์ บีช ะอำ จ. เพชรบุรี

## การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6

จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

### ที่ปรึกษา

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
รองคณบดีฝ่ายวิจัยและสารสนเทศ

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ  
รองคณบดีฝ่ายนวัตกรรมและบริการวิชาการ

รองคณบดีฝ่ายแผนและพัฒนา  
รองคณบดีฝ่ายกิจการนิสิต

### บรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์

### ผู้ช่วยบรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.อาจริ์ ศุภสุธีกุล

อาจารย์ ดร.วิซชากร จารุศิริ

### ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

#### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร

รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

#### มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศาสตราจารย์ ดร.ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอดขวัญ นามสงวน

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนาคม สุนทรชัยนาคแสง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย นิยมผล

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ โสภณระณฤทธิ  
รองศาสตราจารย์ ดร.ลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ ภาศยปัทม์  
รองศาสตราจารย์ วรุณี เตีย

รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ นาดกรณกุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษกานา กุษา  
อาจารย์ ดร.พัฒนะ รักความสุข

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.จาร์วัตร เจริญสุข

#### มหาวิทยาลัยเรศวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย

#### มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ

อาจารย์ณรงค์ อึ้งกิมบัว

#### มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด

#### มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัชชัย กุลวรรณิษฐพงษ์

สถาบันเทคโนโลยีนาหาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชาติ จงโอบูลย์พัฒนา

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ เอี่ยมสะอาด

อาจารย์ ดร.นุภาพ แยมไทรพัฒน์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติ๊กะ บุญนาค

อาจารย์ อำนาจ ผดุงศิลป์

อาจารย์ ดร.สโรชา เจริญวัย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

อาจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรฤทธิกุล

มหาวิทยาลัยรังสิต

รองศาสตราจารย์ ดร.พินิจ งามสม

อาจารย์ ดร.วรรณิ เอกศิลป์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายในมหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญญัติ คงตระกูล

อาจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล

อาจารย์ ดร.พิมพ์พันธุ์ เจริญพงษ์

อาจารย์ ดร.อาจรี สุกสุณีกุล

อาจารย์ ดร.วิษชากร จารุศิริ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัชรชัย วิริยะสุทธีวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ

อาจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์

อาจารย์ ดร.ธนารีย์ สุขอิม

อาจารย์ ดร.ภูริภัท สุนทรนนท์

อาจารย์ ดร.นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติชัย รักษาชาติ

อาจารย์ นิตต์อลิน พันธุ์อภัย

ผู้ประสานงาน

นิษา ชาน้ำ

วนิดา วรรณฤทธิกุล

จัดพิมพ์โดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ถ.รังสิต-องครักษ์ ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 2034 โทรสาร 037-322-601

พิมพ์ครั้งที่ 1 เมษายน 2553 จำนวนพิมพ์ 300 เล่ม

ISBN 978-616-7299-23-5

ศิลปกรรมและออกแบบปกโดย

ศิริเพ็ญ พิลาคุณ

**วันพฤหัสบดีที่ 6 พฤษภาคม 2553**

**ห้อง ROOM 3 : วัสดุทางด้านพลังงาน (ต่อ)**

- 11:45 ENETT6-1022 การศึกษาผลกระทบของทิศการวางตัวและความลาดเอียงที่มีต่อปริมาณความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวรับรังสีอาทิตย์ได้รับภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย อภิชัย แซ่มพรมราช และ ชีระชาติ พรพิบูลย์
- 12:05 ENETT6-1036 เครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล และ จักรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

**ห้อง ROOM 3 : วัสดุทางด้านพลังงาน**

**ประธาน : ผศ.ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด**

- 13:30 ENETT6-1038 อิทธิพลของวัสดุพูนที่ติดตั้งในฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพูนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน จรินทร์ เจนจิตต์ และ อนิรุทธ์ มัทธจักร์
- 13:50 ENETT6-1040 การเตรียมพื้นผิวฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการขัดด้วยผงเพชรเพื่อนำไปใช้เป็นกระจกฐานรองในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง ศศิวิมล ทรงไทร ปฏิภาณ กรุดตาด ทวีศักดิ์ มัญญาพันธ์ จริญญา ศรีธาราริคุณ อมรรัตน์ ลีมมณี และ กอบศักดิ์ ศรีประภา
- 14:10 ENETT6-1048 การพัฒนาฟิล์มซิงค์ออกไซด์เจือโบรอนโดยวิธี MOCVD และการประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ปฏิภาณ กรุดตาด ศศิวิมล ทรงไทร จริญญา ศรีธาราริคุณ อมรรัตน์ ลีมมณี และ กอบศักดิ์ ศรีประภา
- 14:30 ENETT6-1053 แบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ทรงเกียรติ อภิชัย และ วันชัย ทรัพย์สิงห์
- 14:50 ENETT6-1094 บัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ชนิด T8 มณฑกานต์ พีรศักดิ์โสภณ และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์

**ห้อง ROOM 3 : วัสดุทางด้านพลังงาน**

**ประธาน : ดร.อนุภาพ แยมไตรพัฒน**

- 15:30 ENETT6-1097 การศึกษาการรวมแสงของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์ วิชาพร สุญพานิช สุกฤต สมุทธะภงศ์ ภัทริยา กิตติเดชาชาญ
- 15:50 ENETT6-1103 การคำนวณอุณหภูมิทางออกด้วยวิธีไฟไนต์ริชิสแทนซ์สำหรับตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแฮร์핀 2 ตัว ต่ออนุกรม-ขนาน ประเสริฐ อินประเสริฐ



# เครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

## A portable data logger for measuring and recording of solar cell panel parameters using dsPIC Microcontroller

อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล<sup>1</sup> ฉัตรชัย สุภาพัทขสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 0-2555-1816 E-mail: katwattanakul@hotmail.com

Anurak Katwattanakul<sup>1</sup> Chatchai Suphapitaksakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Thanyaburi, Pathumthani 12110 Thailand Tel: 0-2555-1816 E-mail: katwattanakul@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ เครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC เบอร์ 30F4011 ของบริษัท Microchip ซึ่งทำให้ได้ตัวเครื่องราคาถูกลง สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถนำไปใช้วัดและบันทึกค่า ณ สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยระหว่างการวัด และบันทึกค่าไม่จำเป็นต้องต่อคอมพิวเตอร์ สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการวัดและเก็บค่า ได้แก่ กระแส แรงดัน อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์ ได้มีการใช้ซอฟต์แวร์ MPLAB IDE v7.50 ในการโปรแกรมเครื่อง งานวิจัยนี้ต้องการเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดสอบเครื่องสามารถบันทึกผลได้ในระดับที่น่าพอใจ

### Abstract

This paper presents a portable data logger for measuring and recording of solar cell panel parameters. The data logger employs the dsPIC microcontroller 30F4011 which is low cost and convenient to carry for using as a standalone data logger. The solar cells parameters such as current, voltage, temperature and solar radiation are measured and recorded then save to the memory in the data logger. MPLAB IDE v7.50 is used for programming the data logger. This research requires having a prototype for solar cell panel testing using microcontroller. Therefore, the data logger was applied to measure and collect the parameters of a solar cell panel and the satisfactory results were obtained.

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานได้จากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่ได้รับนิยามมากขึ้นในประเทศไทยเนื่องจากเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถใช้ได้ไม่มีวันหมดและยังเป็นพลังงานสะอาดไม่มีมลพิษหรือมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บริษัทผู้ผลิตจะมีการทดสอบเพื่อหาค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า I-V curves เพื่อใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และหาจุดคุ้มทุนในการติดตั้ง โดยส่วนใหญ่บริษัทหรือผู้ผลิตกำหนดอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการทำงานที่ 25 องศาเซลเซียส และที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 1000 W/m<sup>2</sup> ตามมาตรฐานการทดสอบ AM 1.5 [1-2] แต่สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส และความเข้มแสงมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 700 W/m<sup>2</sup> [3-4] ทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ในการคำนวณจะต้องมีการเผื่อค่าที่คำนวณได้และในกรณีที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วเมื่อเกิดการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการตรวจสอบได้ยาก เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนั้นส่วนใหญ่มีราคาแพง ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดสร้างเครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC เพื่อใช้ในการทดสอบและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมที่ทำการติดตั้งจริงได้ ลดความผิดพลาดในการคำนวณและยังเป็นการตรวจสอบคุณภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะใช้ติดตั้ง ลดการนำเข้าเครื่องตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ ในงานวิจัยนี้ยังได้มีการจัดทำอุปกรณ์ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ขึ้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการจัดสร้างตัวเครื่องให้ได้มากที่สุด

## 2. หลักการและส่วนประกอบของระบบ

### 2.1 การหาค่าของเส้นโค้งของกระแสและแรงดัน

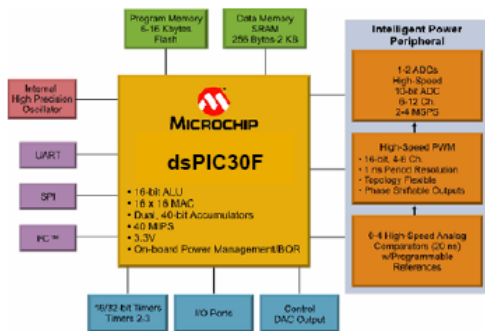
ในทางทฤษฎี ค่าของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของโหลดจาก 0 Ω จนถึง ∞ Ω ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่ความเข้มแสง 1000 W/m<sup>2</sup>

ในทางปฏิบัติ เมื่อมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งใช้งานจริงเนื่องจากแต่ละพื้นที่มีสภาพภูมิอากาศและสถานที่ติดตั้งแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องนำค่าที่ได้มาปรับค่าให้เหมาะสมและสอดคล้องกับความเป็นจริง ซึ่งในประเทศไทยนั้นมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส มีความเข้มแสงมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 700 W/m<sup>2</sup> แต่ละพื้นที่ของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่ออายุการใช้งานและพลังงานที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC สร้างเป็นเครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา

### 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ผลิตโดยบริษัท Microchip Inc. ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่รวมความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เข้ากับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) ซึ่งนอกจากประสิทธิภาพในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้เป็นอย่างดี การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ สามารถเขียนด้วยภาษา C (MPLAB IDE&MPLAB C30) ที่รอบคอบคุณสมบัติทั้งหมดของ dsPIC30F4011 รวมถึงการใช้งานโมดูล DSP

ภายในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่องสัญญาณ ใช้การแปลงแบบประมาณค่า (Successive Approximation) มีความเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM) ขนาด 16 บิต ความจุ 1 กิโลไบต์

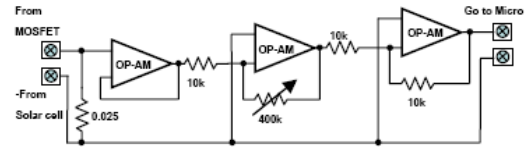


รูปที่ 1 Block Diagram dsPIC30F

### 2.3 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

ในการวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้จัดทำได้ออกแบบให้ตัวเครื่องสามารถวัดกระแสสูงสุดได้ 5 แอมแปร์ ในการวัดกระแสไฟฟ้าเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ไม่

สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงจึงต้องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ผู้จัดทำได้ใช้ R-sensor ขนาด 0.025 Ω ในการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากมีความแม่นยำในการวัดค่าสูงโดยมีการต่อวงจรดังรูปที่ 2



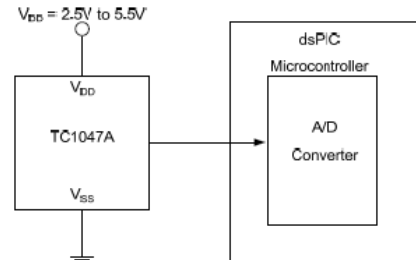
รูปที่ 2 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

### 2.3 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ออกแบบให้ตัวเครื่องสามารถวัดแรงดันสูงสุด 50 โวลต์ แต่โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล Analog-to-digital (A/D) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สามารถรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน 5 โวลต์ ดังนั้นจึงได้ใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) ในการลดแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน

### 2.4 การวัดค่าอุณหภูมิ

ในการวัดค่าอุณหภูมิ นำไอซีวัดอุณหภูมิ TC1047A ในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากมีความแม่นยำสูงสามารถวัดอุณหภูมิตั้งแต่ - 40 ถึง 125 °C ทางผู้จัดทำได้ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยและใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยให้สามารถวัดค่าอุณหภูมิ 0 ถึง 100 °C ที่โดยมีแรงดันเอาต์พุต 0 ถึง 5 โวลต์



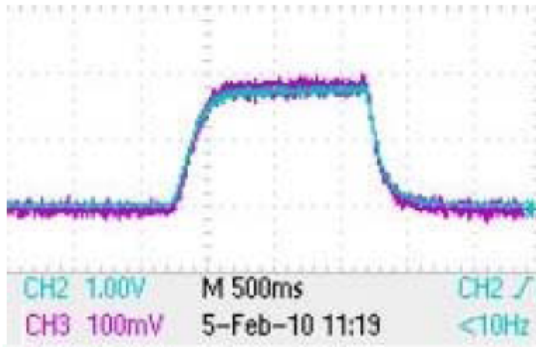
รูปที่ 3 Block Diagram TC1047A

### 2.5 การวัดความเข้มแสงอาทิตย์

การวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar radiation) เป็นการวัดพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร สามารถวัดค่าได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อว่า Pyranometer มีหน่วยของการวัดคือวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m<sup>2</sup>) ในงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้ตัวเครื่องที่มีราคาถูกจึงได้มีการทดลองจัดสร้าง Pyranometer จากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กขึ้น โดยเปรียบเทียบการทำงานด้วย Pyranometer ของบริษัท Apogee รุ่น SP-110 ซึ่งเป็นแบบ Silicon-cell ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยการทำงานด้วยแสงจากหลอดฮาโลเจนและวัดผลการทำงานด้วยออสซิลออสโคปของบริษัท Tektronix รุ่น TDS 2014 B ได้ผลเป็นที่น่าพอใจแสดงดังรูปที่ 4 โดย



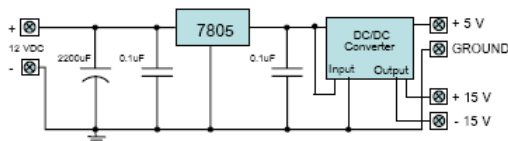
CH2 คือค่าที่ได้จากPyranometerc และ CH3 คือค่าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการทำงานของ Pyranometer

### 2.6 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

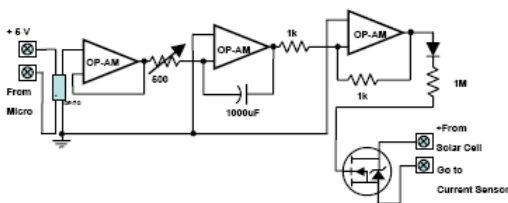
จากที่ต้องการให้สามารถเคลื่อนย้ายตัวเครื่องได้ จึงต้องมีแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ไว้สำหรับจ่ายพลังงานให้กับตัวเครื่อง แต่ในการวางจรรยาการทำงานภายในมีการใช้แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และ  $\pm 15$  โวลต์ จึงต้องมีการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายพลังงานภายในโดยใช้ไอซีรักษาระดับแรงดัน 7805 เป็นตัวรักษาระดับแรงดัน 5 โวลต์และ ไอซี DC/DC Converter ของMurata-ps รุ่น MUA0515SC เป็นตัวขยายแรงดันไฟฟ้าจาก 5 โวลต์ ไปเป็น  $\pm 15$  โวลต์ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรแหล่งจ่ายพลังงาน

### 2.7 โหลดปรับค่าอัตโนมัติ

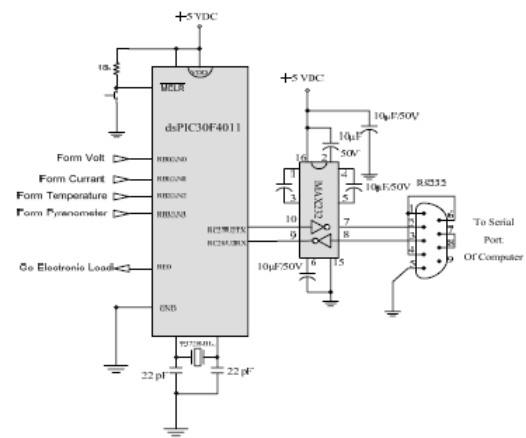
ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ค่า I-V Curve นั้นจำเป็นต้องทดสอบการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างโหลดปรับค่าอัตโนมัติ โดยใช้มอสเฟต (MOSFET) ที่สามารถปรับค่าการไหลของกระแสระหว่างขา Drain และ Source ของมอสเฟตได้ โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขา Gate และ Source โดยต้องการให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากค่าน้อยๆแล้วเพิ่มมากขึ้นอัตโนมัติและควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรโหลดปรับค่าอัตโนมัติ

### 3. หลักการทำงานของตัวเครื่อง

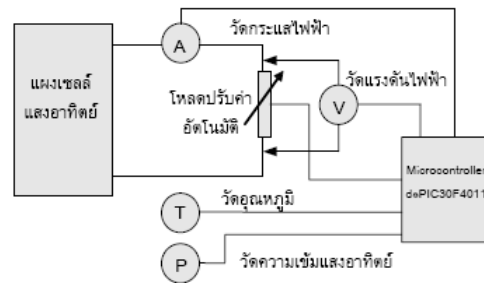
เครื่องทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ เมื่อทำการกดปุ่มstart การทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ทำงานส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานโหลดปรับค่าอัตโนมัติในขณะที่แผงไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการเก็บค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดและส่งค่าที่ได้ไปบันทึกไว้ใน EEPROM ของ dsPIC30F4011 โดยจะมีการบันทึกค่าของกระแสไฟฟ้า 40 ค่า แรงดันไฟฟ้า 40 ค่า และจะมีการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและความเข้มแสงอย่างละ 1 ค่า การแสดงผลของข้อมูลที่บันทึกไว้ใน EEPROM นั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งผ่านข้อมูลโดยใช้โมดูล UART เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมสามารถแสดงผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม HyperTerminal จากนั้นทำการคัดลอกข้อมูลไปพล็อตกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel หรือโปรแกรมพล็อตกราฟอื่นๆ



รูปที่ 6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

### 4. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

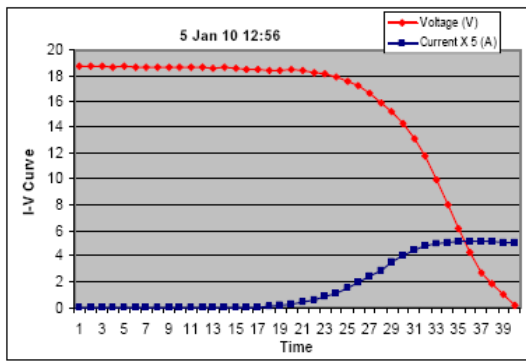
ในการทดสอบเราได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ Inntech รุ่น IT 20 C ชนิด Mono Crystalline ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่บริษัทระบุไว้ดังนี้  $P_{max}=20W$ ,  $I_{mp}=1.14A$ ,  $I_{sc}=1.32A$ ,  $V_{mp}=18V$ ,  $V_{oc}=22V$  โดยมีการติดตั้งไว้ภายนอกอาคารในสภาพการใช้งานจริงเนื่องจากประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรโดยจึงติดตั้งแผงหันไปทางทิศใต้ทำมุม 30 องศา กับพื้นโลก และต้องวางจรรยาการทำงานตามรูปที่ 7



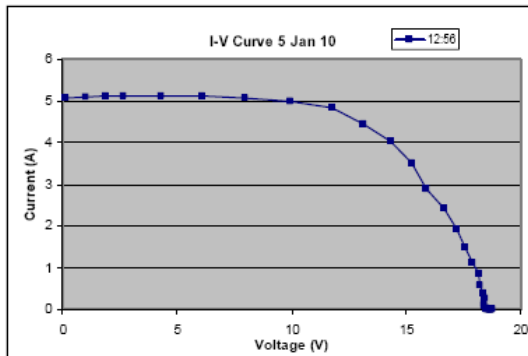
รูปที่ 7 Block Diagram โครงสร้างของระบบ

## 5. ผลการทดลอง

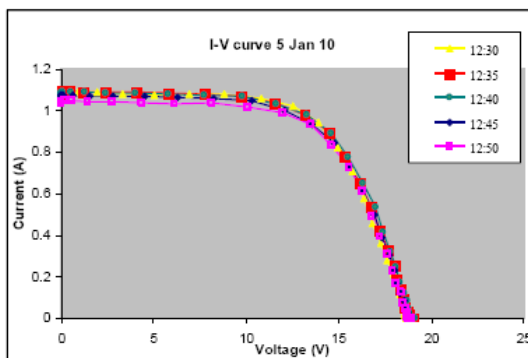
เมื่อทำการทดสอบตัวเครื่องในสภาวะการทำงานจริง สามารถบันทึกค่าของข้อมูลกระแสและแรงดันอย่างละ 40 ตัวอย่าง อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์อย่างละ 1 ชุดต่อ 1 รอบการทำงานของตัวเครื่อง โดยตัวเครื่องจะทำการบันทึกข้อมูลลงในEEPROM ของ dsPIC30F4011 เมื่อต้องการดูผลของข้อมูลได้ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรม HyperTerminal ในการดูผลข้อมูล และทำการพล็อตกราฟได้โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 9 I-V curve ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 32 °C ความเข้มแสงอาทิตย์ 174 W/m<sup>2</sup>



รูปที่ 10 I-V curve จากการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องที่ช่วงเวลาห่างกัน 5 นาที

เมื่อทำการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องที่จัดทำขึ้นในการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาห่างกัน 5 นาที ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ผลที่ได้เมื่อนำมาพล็อตกราฟผลที่ได้ตัวเครื่องสามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจดังแสดงในรูปที่ 10

## 6. สรุป

บทความนี้นำเสนอเครื่องทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ในการประมวลผลและเก็บข้อมูล ผลที่ได้จากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาค่าของ I-V Curve ได้ผลเป็นเป็นอย่างดี และยังสามารถบันทึกค่าของอุณหภูมิและความเข้มแสงได้ ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกทำให้ใช้ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งไว้แล้วเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานหรือใช้ในการเก็บข้อมูลก่อนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ทำให้ได้ข้อมูลที่ได้จากสถานที่ที่จะทำการติดตั้งจริง ตัวเครื่องที่ทำการสร้างขึ้นมีราคาถูก เมื่อเทียบกับที่จำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน

แนวทางในการพัฒนาชุดทดสอบ คือในการแสดงผลยังไม่สะดวกเนื่องจากยังต้องใช้คอมพิวเตอร์ ในการพล็อตกราฟจึงจะพัฒนาให้สามารถแสดงผลในจอกราฟฟิก LCD และในส่วนของพื้นที่เก็บข้อมูล EEPROM สามารถเพิ่มเข้าไปได้จากภายนอกเพื่อที่จะให้สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการทำเป็น Data logger ต่อไป

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Carmen Ilie, Nicolae Olariu, Carlin Oros., "Indoor PV devices Testing," IEEE ,pp. 611-614, 1996.
- [2] Carmen Ilie, Nicolae Olariu, Carlin Oros., "New Techniques for Characterising solar cells," IEEE ,pp. 505-508, 1997.
- [3] เอกรินทร์ วาสนาส่งและสมศักดิ์ เสนากักดี, เครื่องมือวัดคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงกระพริบ, EECON 27, 2547.
- [4] เอกรินทร์ วาสนาส่ง,ระบบบันทึกข้อมูลและวัดค่าคุณสมบัติกระแสและแรงดันแบบพกพาสำหรับแผงเซลล์อาทิตย์, EECON 29, 2549

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นาย อนรรักษ์ เกษวัฒนากุล
วัน เดือน ปีเกิด	10 กรกฎาคม 2525
ที่อยู่	87 หมู่ 8 ต.นาบาง อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เมื่อ พ.ศ.2548
ประวัติการทำงาน	ตำแหน่งอาจารย์จ้างสอน สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผลงานวิจัย	<p>อนรรักษ์ เกษวัฒนากุล, ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ทดสอบหาค่า I-V Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8 วันที่ 22-23 เมษายน 2553</p> <p>อนรรักษ์ เกษวัฒนากุล, ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, เครื่องวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพกพา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC , การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 วันที่ 5 - 7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ</p>