

เครื่องติดตามแสงอาทิตย์  
SOLAR TRACKER

ณัฐธิ รัศมีเจริญ  
ปริญญญา เล่มมงคล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

เครื่องติดตามแสงอาทิตย์  
SOLAR TRACKER

ณฤทธิ รัศมีเจริญ  
Mr.Narit Rusmicharoen

ปริญญญา เล่ห์มงคล  
Mr.Patinya Raemonkon

อาจารย์ที่ปรึกษา  
อาจารย์ เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2557

ปริญญาานิพนธ์

สาขาวิชา

คณะ

เรื่อง

ผู้จัดทำ

ปีการศึกษา 2557

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เครื่องติดตามแสงอาทิตย์

นาย ณฤทธิ รัศมีเจริญ 54010375

นาย ปริญญา เล่ห์มงคล 54010751

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(อ.เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปริญญาานิพนธ์	เครื่องติดตามแสงอาทิตย์
นักศึกษา	นาย ณฤทธิ รัศมีเจริญ 54010375
	นาย ปริญญา เล่ห์มงคล 54010751
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	อ.เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา

#### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างอุปกรณ์สำหรับการทำให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้าในแต่ละวัน โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนเป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ในการกำหนดทิศทางของแผงโซลาร์เซลล์ให้รับแสงในมุมที่ได้รับความเข้มแสงมากที่สุด โดยแสดงผลของค่ากระแสไฟที่ได้ผ่านหน้าจอดีวีดี

Thesis title	Solar Tracker
Student	Mr. Narit Rusmicharoen Student ID.54010375 Mr. Patinya Raemonkon Student ID.54010751
Degree	Bachelor of engineering
Program	Electronics engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Chaleompun Wangwiwattana

#### ABSTRACT

The purpose of this thesis is to create the solar tracker. This device allows the solar panel orient to the sun direction which gives the maximum power efficiency. The project used the Arduino microcontroller board to control the device to direct direction for solar panel.

### กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์ เฉลิมพันธ์ หวังวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆจนทำให้โครงการฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ได้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในรายงานฉบับนี้ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณฤทธิ รัศมีเจริญ  
ปฏิญญา เล่ห์มงคล

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขต.....	1
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	3
2.2 LDR (Light Dependent Resistor) .....	6
2.3 โซลาร์เซลล์.....	8
2.4 AC Motor.....	14
2.5 Relay (รีเลย์) .....	16
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทำงาน.....	19
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องตามดวงอาทิตย์.....	19
3.2 วงจรขับมอเตอร์.....	20
3.3 วงจรจ่ายSupply.....	21
3.4 โค้ดคำสั่งทำงานArduino.....	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	23
4.1 ผลการทดลอง ณ ช่วงเวลาต่างๆของวัน.....	23
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	26
5.1 บทสรุป.....	26
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	26
บรรณานุกรม.....	27
ภาคผนวก.....	28

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการวัดแรงดันและกระแสในช่วงเวลาต่างๆ.....	23
ตารางที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $I$ กับช่วงเวลาต่างๆ.....	24
ตารางที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $V$ กับช่วงเวลาต่างๆ.....	24
ตารางที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $P$ กับช่วงเวลาต่างๆ.....	25

## สารบัญรูปภาพ

ชื่อรูป	หน้าที่
รูปที่ 2.1 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์.....	4
รูปที่ 2.2 Arduino.....	5
รูปที่ 2.3 Pin และ Interface ของ Arduino UNO R3.....	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้าง LDR.....	7
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับตาคน...7	
รูปที่ 2.6 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR.....	8
รูปที่ 2.7 หลักการทำงาน.....	9
รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด.....	9
รูปที่ 2.9 เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ.....	10
รูปที่ 2.10 Electrodeของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
รูปที่ 2.11 ปริมาณความเข้มแสงที่ได้รับจากมุมที่ต่างกัน.....	14
รูปที่ 2.12 การคำนวณค่าความเข้มแสงที่ทำมุม.....	14
รูปที่ 2.13 คาปาซิเตอร์ มอเตอร์.....	15
รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์.....	17
รูปที่ 2.15 การทำงานของRelay.....	17
รูปที่ 3.1 Block Diagram.....	19
รูปที่ 3.2 วงจรขับ AC Motor .....	20
รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายSupply.....	21
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ทดลอง.....	23

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงานเป็นเรื่องที่ได้รับความกังวลอย่างจึงมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้มากขึ้นและเซลล์แสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความนิยมมาก โดยณสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) ซึ่งเป็น แสงอาทิตย์มาตรฐานสากลบนผิวโลก การที่แสงตกกระทบไม่ทำมุมฉากกับผิว ทำให้ความเข้มรังสีลดลง ผลคือได้พลังงานน้อยลง เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้จึงได้ทำการออกแบบเครื่องติดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้สามารถนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ออกแบบจะเป็นแบบใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุม โดยมีอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยการตรวจจับรังสีตรงด้วยอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มแสง เป็น แอลดีอาร์

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องติดตามดวงอาทิตย์แบบอุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุม

1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมในการรับรังสีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการรับพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.3 เพื่อเรียนรู้การเขียนโปรแกรมของบอร์ด Arduino และหลักการทำงานของ Arduino

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 การติดตามดวงอาทิตย์แบบอุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุมของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้

ได้รับกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพต่างจากการวางทำมุมกับพื้นราบหรือไม่

1.3.2 การติดตามดวงอาทิตย์แบบอุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุมของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมควรเป็นอย่างไร

### 1.4 ขอบเขต

1.4.1 arduino UNO ในการควบคุมการทำงานของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

1.4.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ทั่วไปในท้องตลาด

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาการทำงานและการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ด Arduino

1.5.2 นำวงจรที่เกี่ยวข้องของมาใช้งานร่วมกับบอร์ดArduino และเขียนโปรแกรมให้สามารถอ่านค่าและควบคุมการทำงานของวงจรได้

1.5.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการสร้างวงจร

1.5.4 สร้างวงจรส่วนรับค่าและควบคุมการทำงาน

1.5.5 ศึกษาผลที่ได้ว่ามีผลลัพธ์ตรงตามที่ต้องการหรือไม่ รวมถึงศึกษาปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ในการนำไปใช้งาน

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ได้ทบทวนความรู้ที่ได้ศึกษามาและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน
- 1.5.2 ได้ทบทวนการออกแบบลายวงจร
- 1.5.3 ได้จัดสรรการใช้งบประมาณที่ได้มาให้เกิดประโยชน์และความคุ้มค่ามากที่สุด
- 1.5.4 ได้ฝึกการทำงานและการกำหนดเวลาร่วมกับผู้อื่น
- 1.5.5 ได้รับความรู้เพิ่มตามจากอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.5.6 ได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำชิ้นงาน

## บทที่ 2

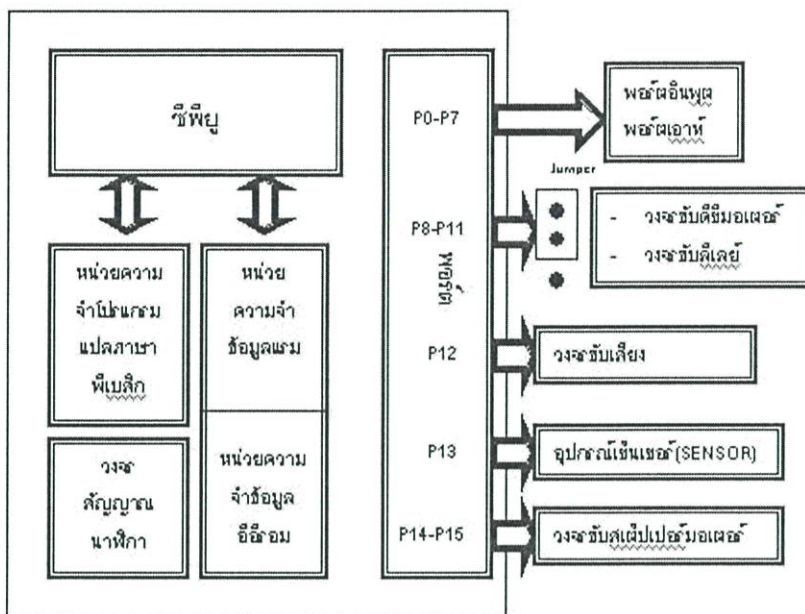
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

##### 2.1.1 โครงสร้างทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิทช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.1.2 โครงสร้างเพิ่มเติมของไมโครคอนโทรลเลอร์

- ADC (Analog to Digital) ส่วนภาครับสัญญาณอนาล็อกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล
- DAC (Digital to Analog) ส่วนภาคส่งสัญญาณดิจิทัลแปลงไปเป็นสัญญาณอนาล็อก
- I<sup>2</sup>C (Inter Integrate Circuit Bus) เป็นการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ติดต่อสื่อสาร ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) ซึ่งสามารถ เชื่อมต่ออุปกรณ์ จำนวนหลายๆ ตัว เข้าด้วยกันได้ ทำให้ MCU ใช้พอร์ตเพียง 2 พอร์ตเท่านั้น

- SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronize) มีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาเกี่ยวข้องกับระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หรือจะเป็นอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ SPI อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) โดยปกติแล้วจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ Master จะต้องควบคุมอุปกรณ์ Slave ได้ โดยปกติตัว Slave มักจะเป็นไอซี (IC) หน้าที่พิเศษต่างๆ เช่น ไอซีอุณหภูมิ, ไอซีฐานเวลานาฬิกาจริง (Real-Time Clock) หรืออาจเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ในโหมด Slave ก็ได้เช่นกัน

- PWM (Pulse Width Modulation) การสร้างสัญญาณพัลส์แบบสแควร์เวฟ ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และ Duty Cycle ได้เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ

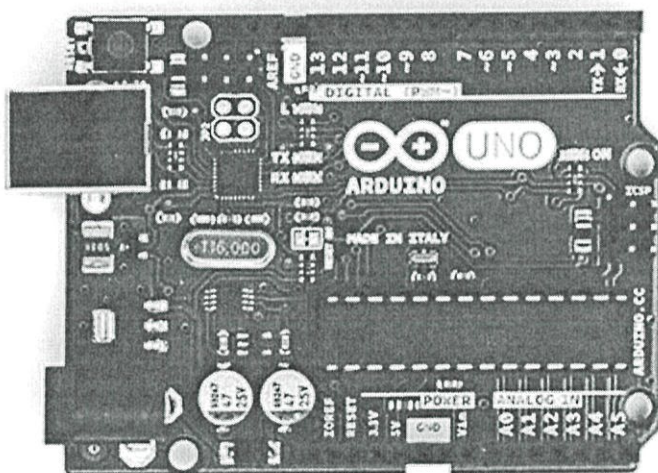
- UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสสำหรับมาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบ RS-232

### 2.1.3 Arduino Board

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะ

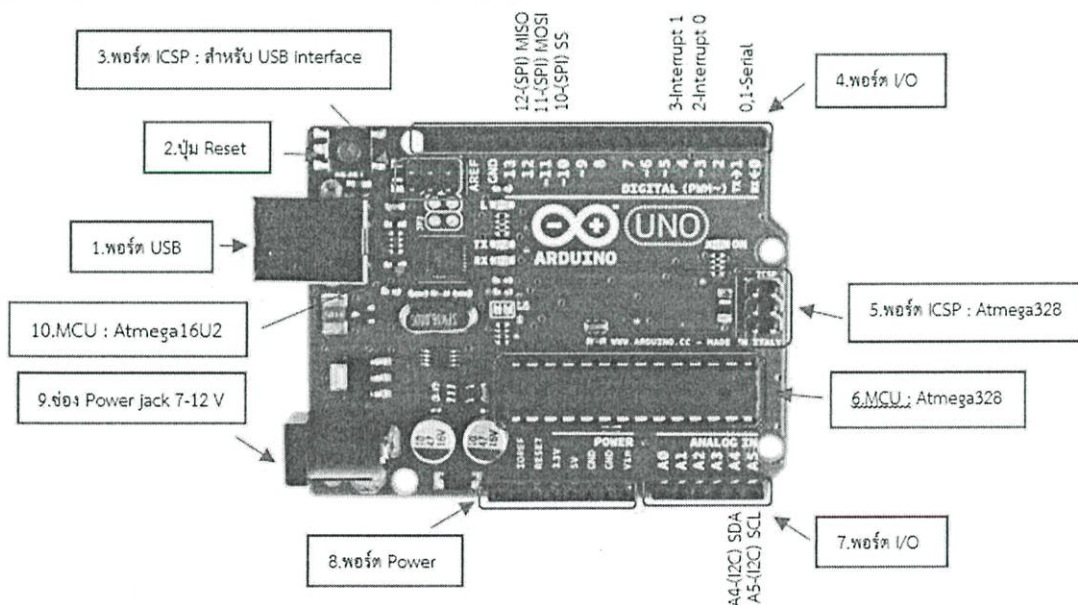
สำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



รูปที่ 2.2 Arduino

#### 2.1.4 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)

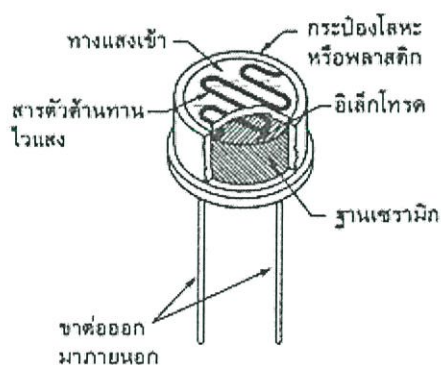


รูปที่ 2.3 Pin และ Interface ของ Arduino UNO R3

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/OPort: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U

## 2.2 LDR (Light Dependent Resistor)

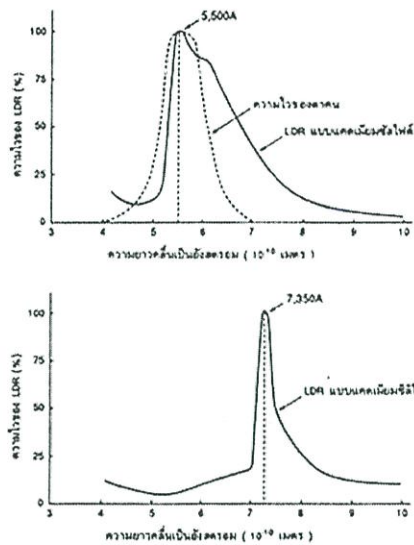
แอลดีอาร์ (LDR: Light Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดไวต่อแสง กล่าวคือ ตัวต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมากระทบบางครั้งเรียกโฟโตริซิสเตอร์ (Photo Resistor) หรือ โฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS: Cadmium Sulfide) หรือ แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe: Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาที่ฉาบไว้ออกมา



รูปที่ 2.4 โครงสร้าง LDR

### 2.2.1 สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำเวลามีแสงมาตกกระทบก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระมากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเอง หรือก็คือยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

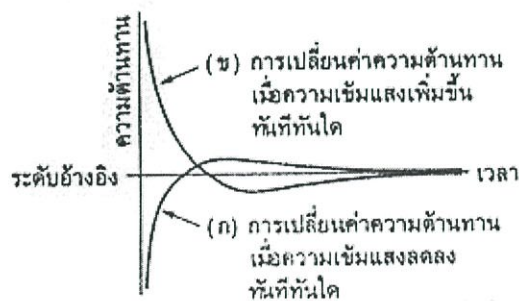


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับตาคน

ในรูปที่ 2.5 จะพบว่าแสงที่ตกกระทบนั้นมีใช้ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอมเท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนอยู่ที่ประมาณ 4,000 ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแคบๆเมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่นๆ อย่างไรก็ตามแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิได้อยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย

## 2.2.2 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มีดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และ ในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20kW ลง ไป อาจจะไม่เหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือ ไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.6 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความ เข้มแสง เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 3 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูง ดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำ และ ในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง. แต่แทนที่มันจะไปหยุด

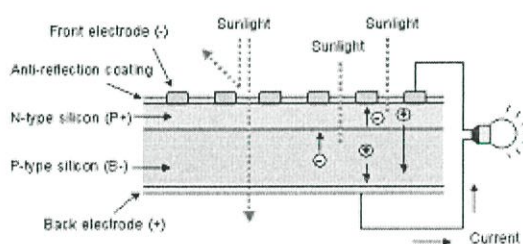
อยู่ระดับอ้างอิง มันกลับ เพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิง เหมือนกับว่า เบรกมันไม่ค่อยดี และ ในทำนองเดียวกันถ้า เก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับ อ้างอิงทันที ดัง ในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลดลงต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซิงไนต์จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบ แคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็ จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และ อีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่า หนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือบางทีก็เป็นวินาทีเลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

## 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทาง electronic ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน ไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมี มากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตก กระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงทฤษฎีของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเท พลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูด ของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้า กระแสตรงขึ้น

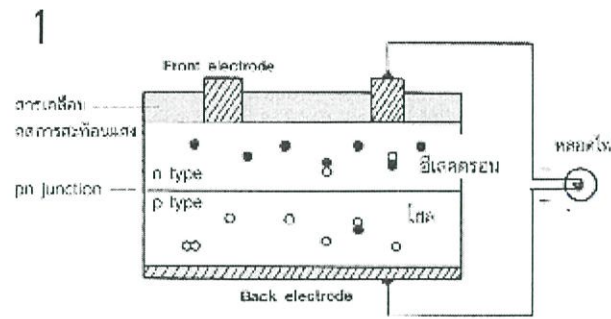
### 2.3.1 หลักการทำงาน

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดย เมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่าง กัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อ กระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้ (ตามรูป)



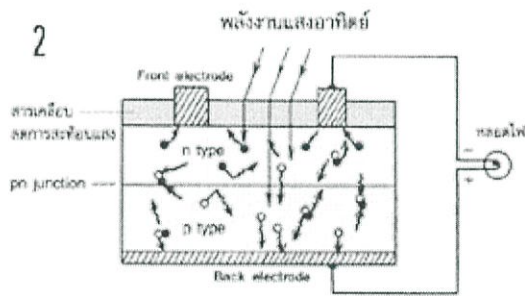
รูปที่ 2.7 หลักการทำงาน

1. n - type ซิลิกอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติ เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิกอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วย สารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่ เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิกอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิกอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิกอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้าง ส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิกอนจะมีแถบโลหะ เรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



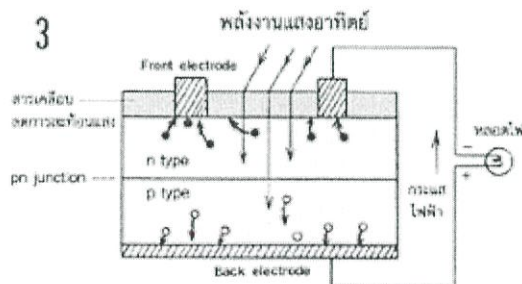
รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type



รูปที่ 2.9 เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



รูปที่ 2.10 Electrodeของเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.3.2 ชนิดของโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์แบ่งออกตามชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตได้ 2 ชนิด คือกลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (Silicon) และ กลุ่มที่ทำจากสารประกอบ ที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทหลังนี้ จะเป็นโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ส่วนมากใช้งานสำหรับดาวเทียม แต่ปัจจุบันการพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่ ทำให้แผงโซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารประกอบมีราคาถูกลง และมีแนวโน้มการมาใช้มากขึ้นในอนาคต

โซลาร์เซลล์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (Silicon) สามารถแบ่งย่อยตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น ได้ 2 ชนิด คือ แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก หรือโซลาร์เซลล์ แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) และแบบเป็นรูปผลึก (Crystal)

โซลาร์เซลล์แบบอะมอร์ฟัส จะเห็นทั่วไปในเครื่องคิดเลขพลังแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการนำมาทำเป็น Thin film โซลาร์เซลล์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำ ประมาณ 6-10%

โซลาร์เซลล์แบบที่เป็นรูปผลึก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดโมโนซิลิคอน (Mono Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดโพลีซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell)

โซลาร์เซลล์แบบโมโนจะเป็นชนิดผลึกเดี่ยว จะมีความบริสุทธิ์ของซิลิคอนสูงกว่าแบบโพลี ทำให้โซลาร์เซลล์แบบโมโนนั้นมีราคามันแพงกว่าโพลี และมีประสิทธิภาพสูง ถึงประมาณ 18% ปัจจุบันโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนได้มีการปรับปรุงและพัฒนา โดยมีการสะท้อนของแสงอาทิตย์ภายในเซลล์ลดลง เพื่อให้แสงตกกระทบลงบนชั้น n ได้มากที่สุดครับ ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 25% เลยทีเดียว

โซลาร์เซลล์แบบโพลี จะมีความบริสุทธิ์ของซิลิคอนน้อยกว่า แบบโมโน ทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบโมโน แต่ก็สูงกว่าอะมอร์ฟัส โซลาร์เซลล์แบบโพลี ถ้าสังเกตที่แผ่นจะมีสีเงินๆ ผสมอยู่ด้วย เนื่องจากเป็นแร่อื่นๆ ที่ติดมาด้วย ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์แบบ โพลีจะอยู่ที่ประมาณ 12-15%

โซลาร์เซลล์ที่ผลิตจากสารประกอบ ที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่ซิลิคอน และนำมา dope แบบหลายชั้น ตั้งแต่ double junction, triple junction และ multi junction เช่น Ga, Td และอื่นๆ แต่ที่นิยมกันในปัจจุบันนำมาใช้กับระบบรวมแสง หรือ concentrated คือ GaAs หรือแกเลียมอาเซไนด์ โซลาร์เซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงถึง 35% และมีราคาสูงกว่าชนิดอื่น

### 2.3.3 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

#### 1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศ

ปลดปล่อย ปรากฏจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

## 2. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ  $V_{oc}$ ) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ( $0.5\% \times 5$  องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่  $V_{oc}$  จะลดลง 0.525 V ( $21\text{ V} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 V ( $21\text{V} - 0.525\text{V}$ ) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อ ตร.เมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศา C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 W ต่อ ตร.เมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศา C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

### 2.3.4 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

#### การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มาจากกระทบกับแผง ดังนั้นควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้โดนแสงตลอดทั้งวัน ไม่ควรที่จะมีเงามาบังแผง หลีกเลี้ยงให้ไกลจากเงาต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เพราะจะทำให้แผงผลิตไฟฟ้าได้ไม่เต็มที่ ข้อควรระวังในการติดตั้งคือเมื่อมีแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งในระบบเป็นจำนวนมากและมีการต่อแผงโซลาร์เซลล์เป็นแบบวงจรอนุกรม เมื่อมีเงามาบังแสงอาทิตย์เพียงแคแผงเดียว จะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของทั้งระบบลดลงเป็นอย่างมากหรือระบบอาจจะไม่ผลิตไฟฟ้าเลย ในกรณีอย่างนี้ไม่เป็นผลต่ออย่างแน่นอนเพราะจะได้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้น้อยลง แต่ก็มีวิธีแก้โดยการต่อ**บายพาสไดโอด**ขนานกับแผงโซลาร์เซลล์แต่ละแผง

## โซลาร์เซลล์ควรติดตั้งหันไปทิศทางด้านใด

ในหนึ่งวัน โลกหมุนรอบตัวเองรอบเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นตำแหน่งที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากเท่าไร ก็จะมีแสงแดดส่องของดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น ประเทศไทยถือเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมแก่การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เพราะอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ความเข้มแสงมีปริมาณที่สูง แต่เนื่องจากประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรขึ้นมา จึงทำให้การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จึงต้องติดตั้งแผงระนาบรับแสงให้หันไปทางด้านทิศใต้(มุมจากทิศเหนือ[Azimuth] ประมาณ 180 องศา) และมีความชันของแผง (Tilt angle) จากแนวระนาบตาม องศาละติจูดแต่พื้นที่ที่จะติดตั้ง โดยที่กรุงเทพฯจะมีความชันแผงเซลล์อยู่ที่ประมาณ 13.5 องศาจากแนวระนาบ ส่วนเชียงใหม่ความชันแผงเซลล์อยู่ที่ประมาณ 18.4 องศา แผงโซลาร์เซลล์จึงจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีโดยเฉลี่ยตลอดปี

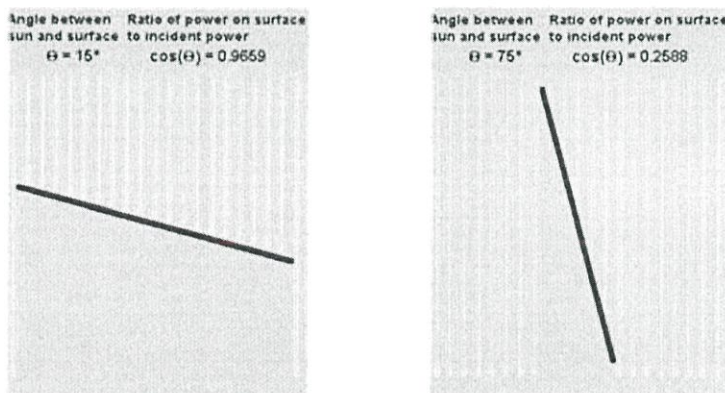
การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในกรณีข้างบนนี้เป็นแบบยึดกับโครงเหล็กไว้ถาวร(นอกจากจะปรับตัวเอง) แต่มีสิ่งประดิษฐ์เสริมที่เป็นตัวช่วยให้แผงโซลาร์เซลล์หันเข้าหาแสงได้เอง เรียกว่า แทรคเกอร์(Tracker) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้นไปอีก เพราะระนาบของแผงจะหันเข้าหา ดวงอาทิตย์ตลอดเวลาตามการเคลื่อนที่ไปของดวงอาทิตย์

แทรคเกอร์ แบ่งเป็นสองประเภทคือ

- 1.) แพลซีพแทรคเกอร์ (Passive Tracker) – ทำงานโดยบรรจุของเหลวเมื่อโดนความร้อนจากแสงอาทิตย์จะทำให้ตำแหน่งระนาบรับแสงเปลี่ยนตาม ผลการทดสอบแทรคเกอร์แบบนี้ค่อนข้างจะแม่นยำและเป็นที่น่าพอใจ
- 2.) แอคทีฟแทรคเกอร์ (Active Tracker) – ทำงานโดยการขับเคลื่อนของมอเตอร์ขนาดเล็ก การปรับองศาของมอเตอร์อาจควบคุมโดยตัวตรวจจับแสงหรือตั้งเวลาตามการเคลื่อนคล้อยของดวงอาทิตย์ก็ได้ แทรคเกอร์แบบนี้ค่อนข้างจะแม่นยำกว่าแบบแรก แต่มีราคาแพงกว่า

### 2.3.5 ความเข้มรังสีที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำมุมเอียง

เนื่องจากข้อมูลของความเข้มรังสีมาตรฐาน จะเป็นข้อมูลที่แสงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับพื้นผิวผลของการที่แสงตกกระทบไม่ทำมุมฉากกับผิวทำให้ความเข้มรังสีลดลง



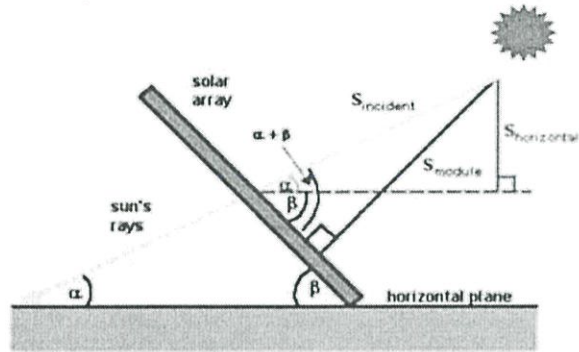
รูปที่ 2.11 ปริมาณความเข้มแสงที่ได้รับจากมุมที่ต่างกัน

ความเข้มรังสีที่ตกกระทบกับแผงโซลาร์เซลล์ที่เอียงทำมุมจะเท่ากับความเข้มรังสีส่วนที่ตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์

$$I_{horizontal} = I_{incident} \sin(\alpha)$$

$$I_{module} = I_{incident} \sin(\alpha + \beta)$$

$$I_{module} = \frac{I_{horizontal} \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha)}$$

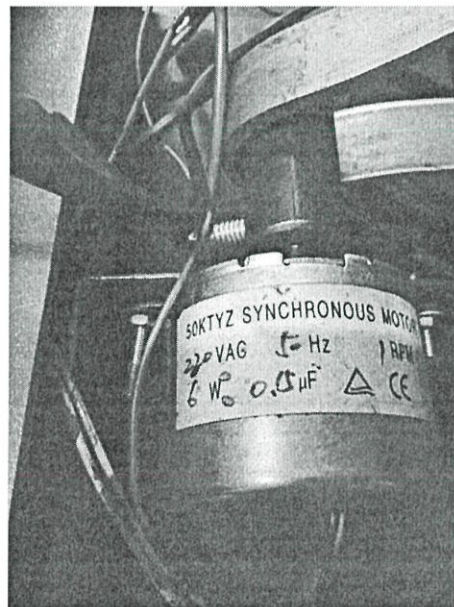


รูปที่ 2.12 การคำนวณค่าความเข้มแสงที่ทำมุม

## 2.4 AC Motor

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส (A.C. Single Phase) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีหลักการคือแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล โดยไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบกระแสสลับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่า ซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Single Phase) มีหลายชนิดดังนี้

1. สปลิทเฟส มอเตอร์ (Split-Phase Motor)
2. คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor Motor)
3. รีพัลชัน มอเตอร์ (Repulsion-type Motor)
4. ยูนิเวอร์แซล มอเตอร์ (Universal Motor)
5. เซ็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole Motor)



รูปที่ 2.13 คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor Motor)

## ข้อดีของ AC motor

1. ราคาถูกกว่า DC motor ที่ขนาดพิกัดกำลังเท่ากันเช่น ที่ 2 แรงม้า AC=4500 บาท ,DC = 20000 บาท
2. มีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน และเล็กกว่า DC motor ที่พิกัดเท่ากัน
3. การบำรุงรักษาน้อยมาก แข็งแรงทนทาน
4. ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟ หรือสารเคมีได้
5. มีประสิทธิภาพสูงกว่า DC motor
6. หาซื้อได้ง่าย เป็นที่นิยม

## ข้อเสียของ AC motor

การควบคุมความเร็วทำได้ยากมาก จะต้องใช้อุปกรณ์ทาง power electronics มาควบคุมคือ inverter ซึ่งค่อนข้างจะมีราคาสูง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Single Phase)

- สปลิตเฟส มอเตอร์ (Split-Phase motor)
- คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor motor)
- รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
- ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)
- เซ็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C. Two phase Motor)

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase

Motor)

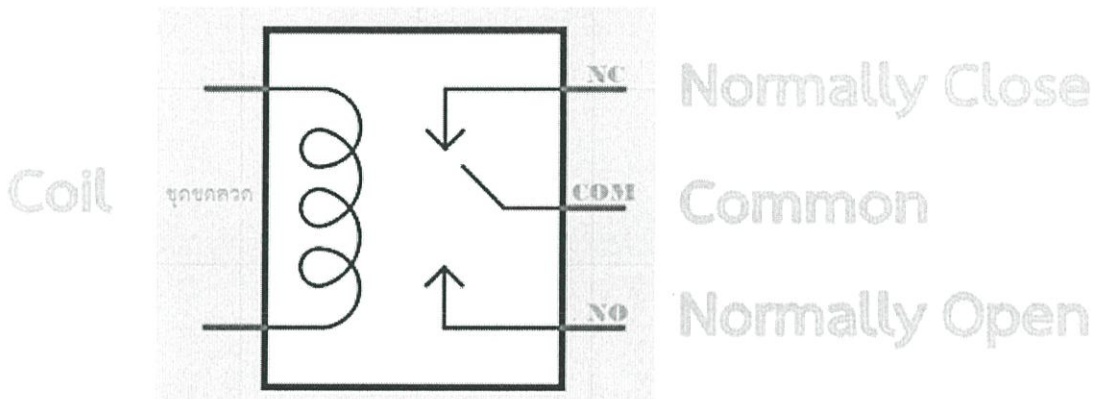
## 2.10 Relay (รีเลย์)

รีเลย์ (Relay) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัด-ต่อวงจร โดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า และการที่จะให้มันทำงานก็ต้องจ่ายไฟให้มันตามที่กำหนด เพราะเมื่อจ่ายไฟให้กับตัวรีเลย์ มันจะทำให้หน้าสัมผัสติดกัน กลายเป็นวงจรปิด และตรงข้ามทันทีที่ไม่ได้จ่ายไฟให้มัน มันก็จะกลายเป็นวงจรเปิด ไฟที่เราใช้ป้อนให้กับตัวรีเลย์ก็จะเป็นไฟที่มาจาก เพาเวอร์ๆ ของเครื่องเรา ดังนั้นทันทีที่เปิดเครื่อง ก็จะทำให้รีเลย์ทำงาน

### 2.10.1 ประเภทของรีเลย์

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (Solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจร ไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

- รีเลย์กำลัง (Power relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา
- รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุม บางทีเรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์"



รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์

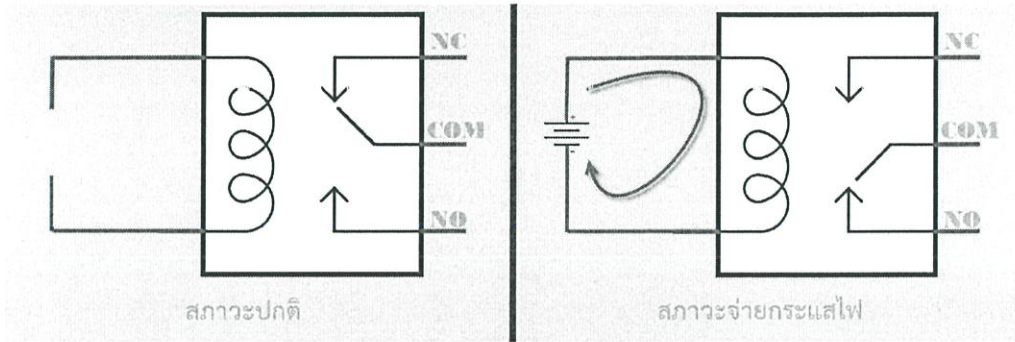
ภายใน Relay จะประกอบไปด้วยขดลวดและหน้าสัมผัส

หน้าสัมผัส NC (Normally Close) เป็นหน้าสัมผัสปกติปิด โดยในสภาวะปกติหน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับขา COM (Common) และจะลดยหรือไม่สัมผัสกันเมื่อมีกระแสไฟไหลผ่านขดลวด

หน้าสัมผัส NO (Normally Open) เป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด โดยในสภาวะปกติจะลดยอยู่ ไม่ถูกต้องกับขา COM (Common) แต่จะเชื่อมต่อกันเมื่อมีกระแสไฟไหลผ่านขดลวด

ขา COM (Common) เป็นขาที่ถูกใช้งานร่วมกันระหว่าง NC และ NO ขึ้นอยู่กับว่า ขณะนั้นมีกระแสไฟไหลผ่านขดลวดหรือไม่ หน้าสัมผัสใน Relay 1 ตัวอาจมีมากกว่า 1 ชุด ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและลักษณะของงานที่นำไปใช้จำนวนหน้าสัมผัสถูกแบ่งออกดังนี้

สวิตช์จะถูกแยกประเภทตามจำนวน Pole และจำนวน Throw ซึ่งจำนวน Pole (SP-Single Pole, DP-Double Pole, 3P-Triple Pole, etc.) จะบอกถึงจำนวนวงจรที่ทำการเปิด-ปิด หรือ จำนวนของขา COM นั้นเอง และจำนวน Throw (ST, DT) จะบอกถึงจำนวนของตัวเลือกของ Pole ตัวอย่างเช่น SPST- Single Pole Single Throw สวิตช์จะสามารถเลือกได้เพียงอย่างเดียวโดยจะเป็นปกติเปิด (NO-Normally Open) หรือปกติปิด (NC-Normally Close) แต่ถ้าเป็น SPDT- Single Pole Double Throw สวิตช์จะมีหนึ่งคู่เป็นปกติเปิด (NO) และอีกหนึ่งคู่เป็นปกติปิดเสมอ (NC) ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.15 การทำงานของRelay

จากส่วนประกอบข้างต้นที่ได้กล่าวไป ในบทความนี้เราจะใช้งาน Relay แบบ SPDT (Single Pole Double Throw) หลักการทำงานของ Relay นั้น ในส่วนของขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้ขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำและทำหน้าที่เสมือนแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้ขา COM ที่เชื่อมต่ออยู่กับหน้าสัมผัส NC (ในสภาวะที่ยังไม่เกิดการเหนี่ยวนำ) ย้ายกลับเชื่อมต่อกับหน้าสัมผัส NO แทน และปล่อยให้ขา NC ลอย เมื่อมองที่ขา NC กับ COM และ NO กับ COM แล้วจะเห็นว่ามีการทำงานติด-ดับลักษณะคล้ายการทำงานของสวิตช์ เราสามารถอาศัยคุณสมบัตินี้ไปประยุกต์ใช้งานได้

## บทที่ 3

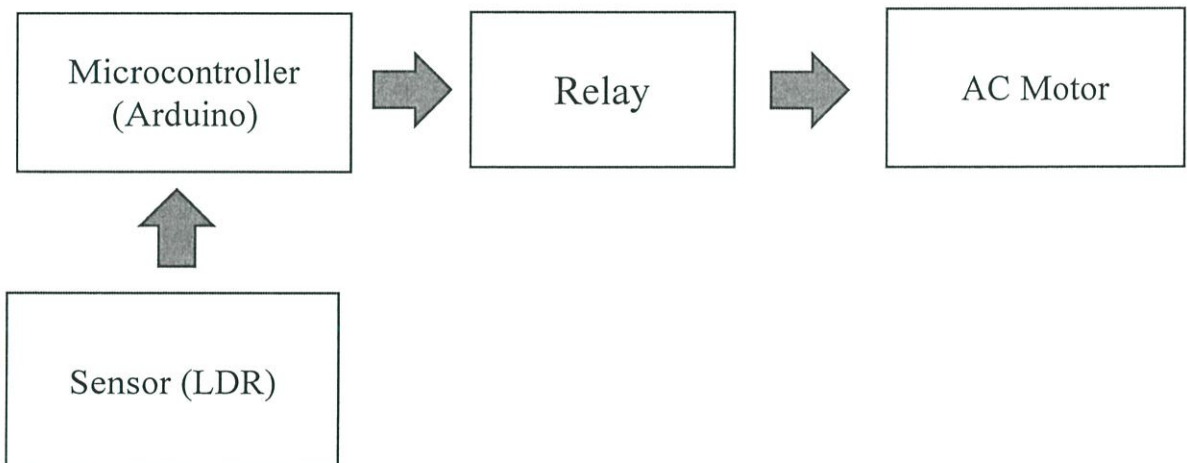
### การออกแบบและหลักการทำงาน

การทำงานของมอเตอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆคือ

- 3.1) การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องตามดวงอาทิตย์
- 3.2) วงจรขับมอเตอร์
- 3.3) วงจรควบคุม
- 3.4) Arduino

#### 3.1 การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องตามดวงอาทิตย์

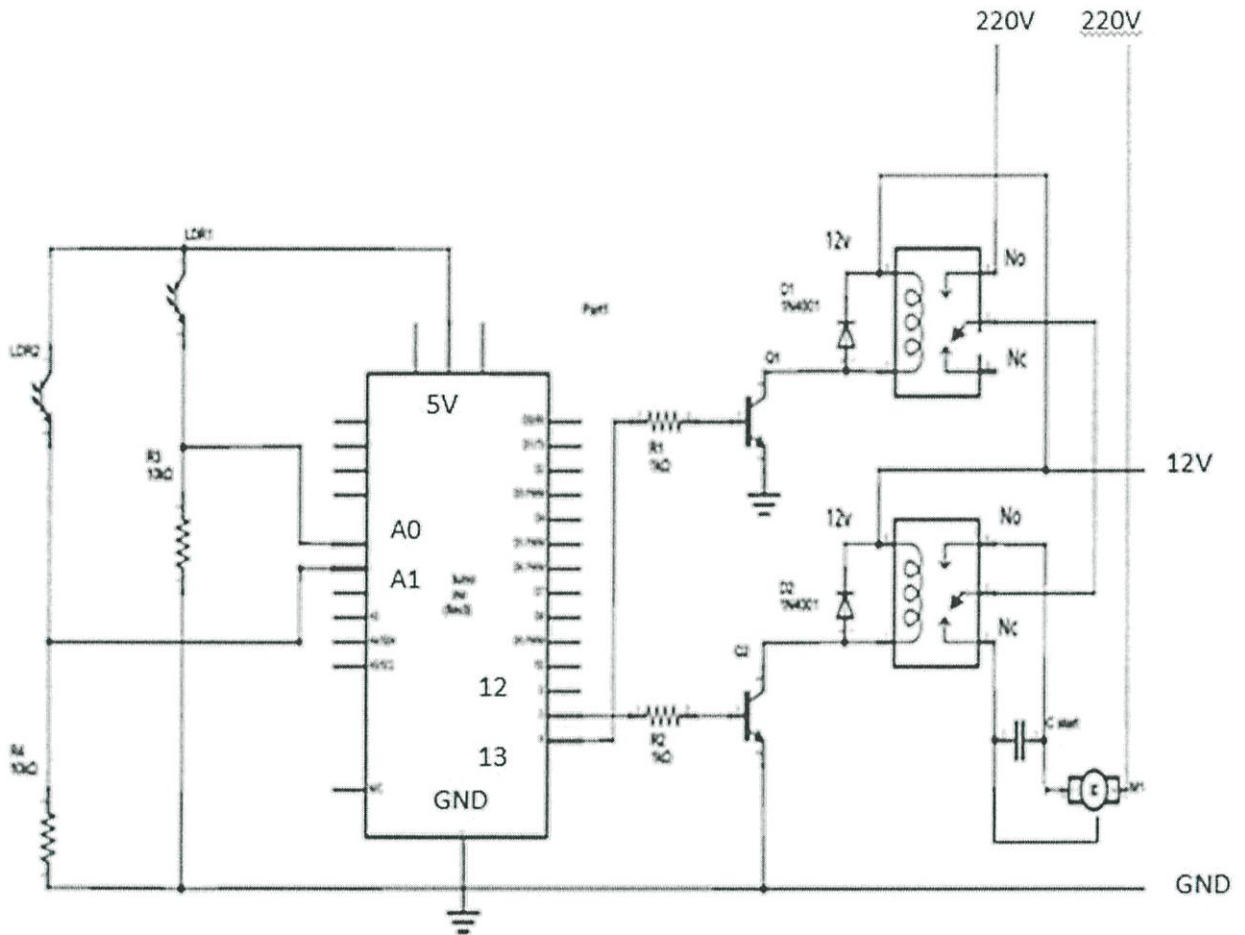
การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องตามดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็นสี่ส่วนหลักๆมีการทำงานเป็นไปตามขั้นตอนดังรูป



รูปที่ 3.1 Block Diagram

## 3.2 วงจรขับมอเตอร์ AC

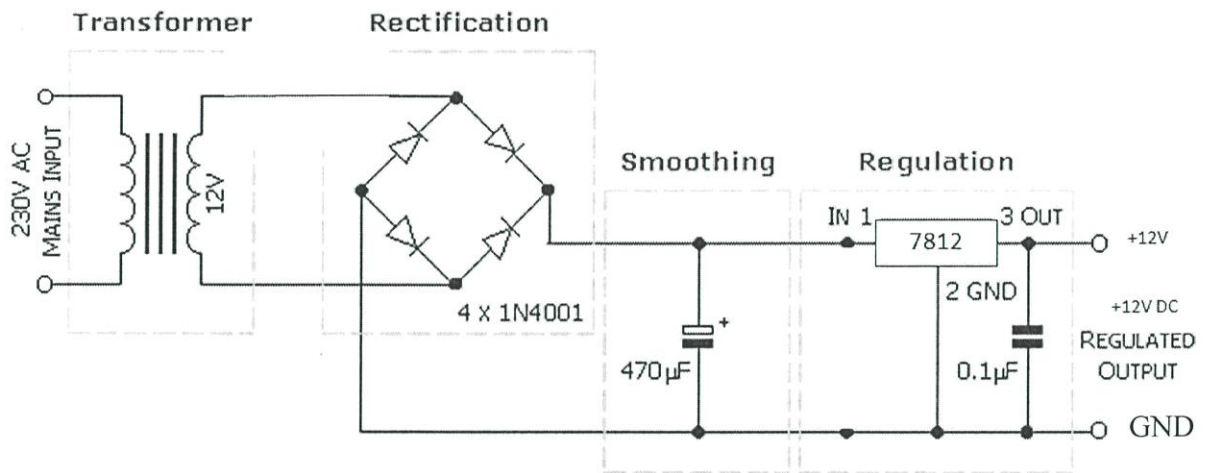
### 3.2.1 AC Motor



รูปที่ 3.2 วงจรขับ AC Motor

วงจร AC Motor นี้จะรับสัญญาณ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งควบคุมการทำงานของรีเลย์ โดยเมื่อเริ่มระบบ Arduino จ่ายไฟ 5v ทราบซิสเตอร์จะทำหน้าที่จ่ายกระแสเข้ารีเลย์จะทำให้ขดลวดภายในเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ Nc สวิตช์ไปที่ No รีเลย์จึงเริ่มทำงาน โดยรีเลย์มีไฟเลี้ยงจากขั้วพลาายท์ 12v มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 1 รอบ/นาที โดยเมื่อกระแสไฟผ่านสายไฟเส้นสีขาวและแดงมอเตอร์จะหมุนไปทางหนึ่งและเมื่อกระแสไฟผ่านสายไฟเส้นสีขาวและเขียวมอเตอร์จะหมุนไปอีกทางหนึ่ง ถ้ารีเลย์ทำงานเพียงตัวเดียวมอเตอร์จะหมุนไปทางขวา ถ้าทำงานทั้ง 2 ตัวจะหมุนไปทางซ้าย

### 3.3 วงจรจ่ายSupply



รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายSupply

เมื่อจ่ายแรงดัน 220v ผ่านหม้อแปลงเพื่อแปลงแรงดันให้ออกที่รีเลย์ 12v แรงดันจะผ่านตัววงจรกรองกระแสเป็นวงจรที่ทำให้กระแสตรงที่ไม่สม่ำเสมอ (จากวงจรเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรง) เปลี่ยนเป็นกระแสตรงที่สม่ำเสมอ ใกล้เคียงกับไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเช่นถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่วงจรกรองกระแส จะมีตัวเก็บประจุต่อคร่อมที่ปลายทั้งสองของขดลวดก่อนที่จะนำไปใช้งาน

### 3.4 โค้ดคำสั่งทำงานArduino

```
#define W 12
#define R 13
int sens1 = A0;
int sens2 = A1;
int tolerance = 300;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(W, OUTPUT);
  pinMode(R, OUTPUT);
  pinMode(sens1, INPUT);
  pinMode(sens2, INPUT);
  delay(2000);
}

void loop()
```

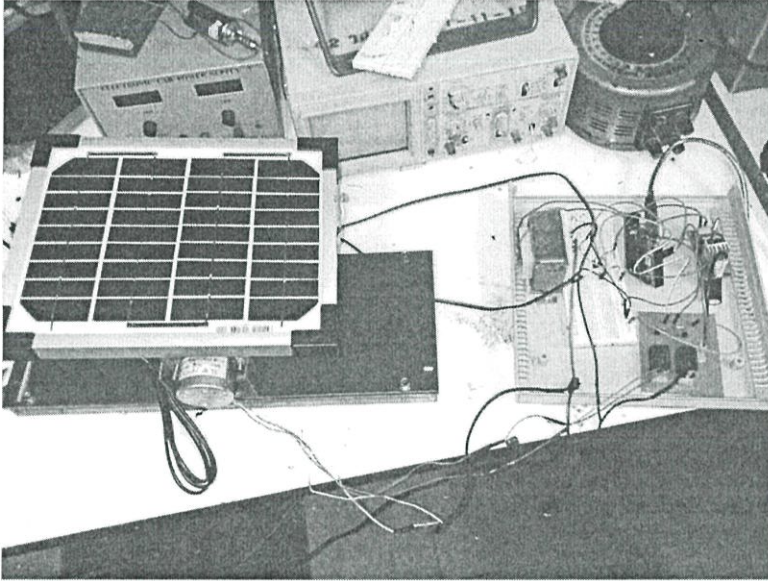
```
{
  int val1 = analogRead(sens1);
  int val2 = analogRead(sens2);

  if ( (val1 - val2) >= tolerance )
  { digitalWrite(W, LOW);
    digitalWrite(R, HIGH);
  }

  if ((val1 - val2) <= tolerance)
  {
    digitalWrite(W, HIGH);
    digitalWrite(R, HIGH);
  }

  if ( (val1 - val2) <= tolerance && (val2 - val1) <= tolerance )
  {
    digitalWrite(R, LOW);
  }
}
```

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

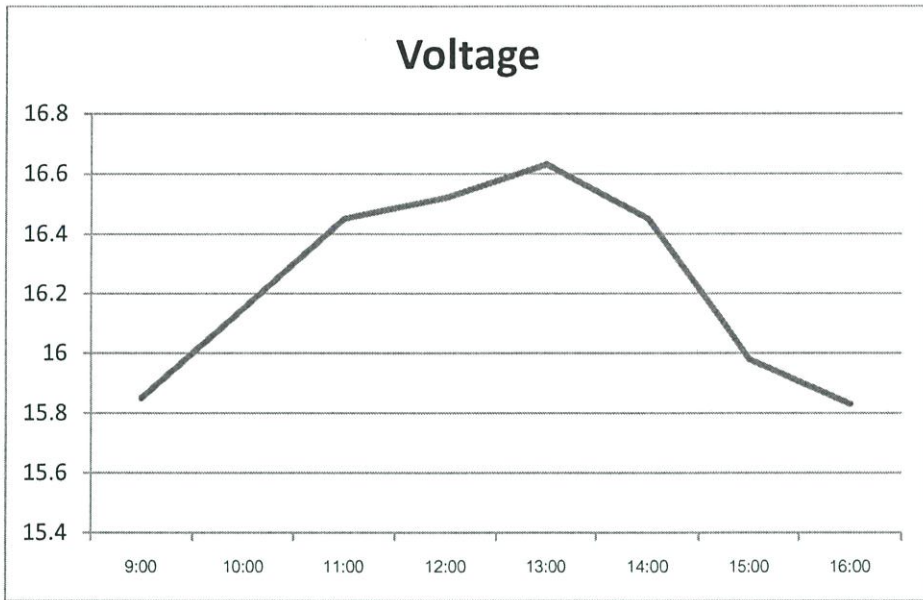


รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ทดลอง

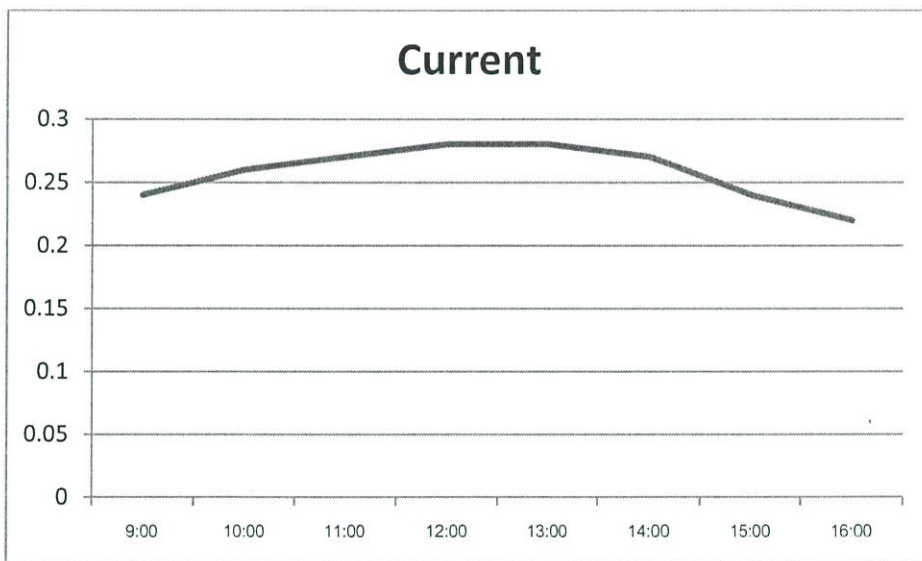
### 4.1 ผลการทดลอง ณ ช่วงเวลาต่างๆของวัน

ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการวัดแรงดันและกระแสในช่วงเวลาต่างๆ

Times	$V_{MP}(V)$	$I_{MP}(A)$	$P=I*V (W)$
9:00	15.85	0.24	3.804
10:00	16.15	0.26	4.199
11:00	16.45	0.27	4.4415
12:00	16.52	0.28	4.6256
13:00	16.63	0.28	4.6564
14:00	16.45	0.27	4.4415
15:00	15.98	0.24	3.8352
16:00	15.83	0.22	3.4826

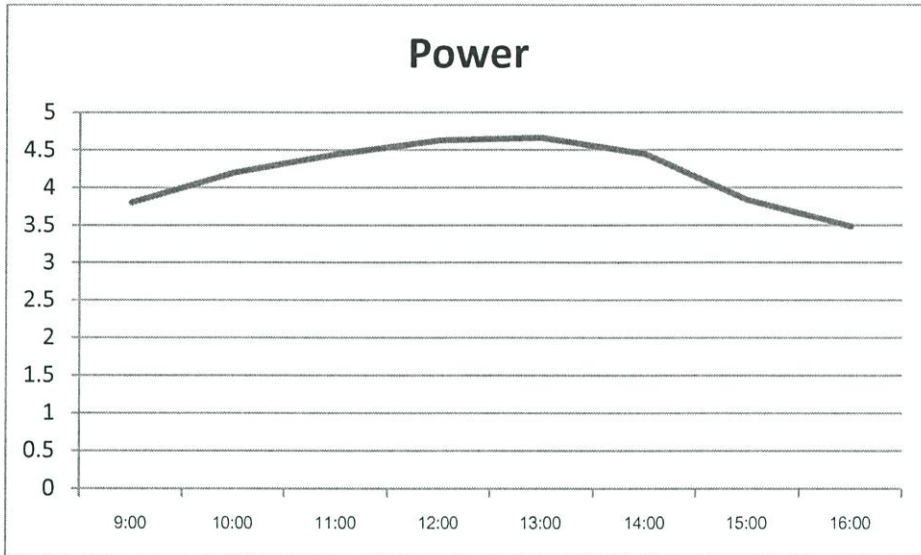


ตารางที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ V กับช่วงเวลาต่างๆ



ตารางที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I กับช่วงเวลาต่างๆ

จากผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้จากสมการความสัมพันธ์  $P = IV$



ตารางที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ P กับช่วงเวลาต่างๆ

## บทที่ 5

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1 บทสรุป

ในรายงานได้กล่าวถึงความเป็นมาของโครงงาน แนวคิด ทฤษฎี รายละเอียดการทำงานของวงจร และการทดสอบเบื้องต้น โดยการใช้หลักการของ โซลาร์เซลล์ และ วงจร Supply ในตัว controller ในการคำนวณหาค่าเบื้องต้นของอุปกรณ์อินพุตที่ต่อกับวงจรและแสดงผลที่หน้าจอ LCD ทำให้ทราบค่าเบื้องต้นก่อนได้

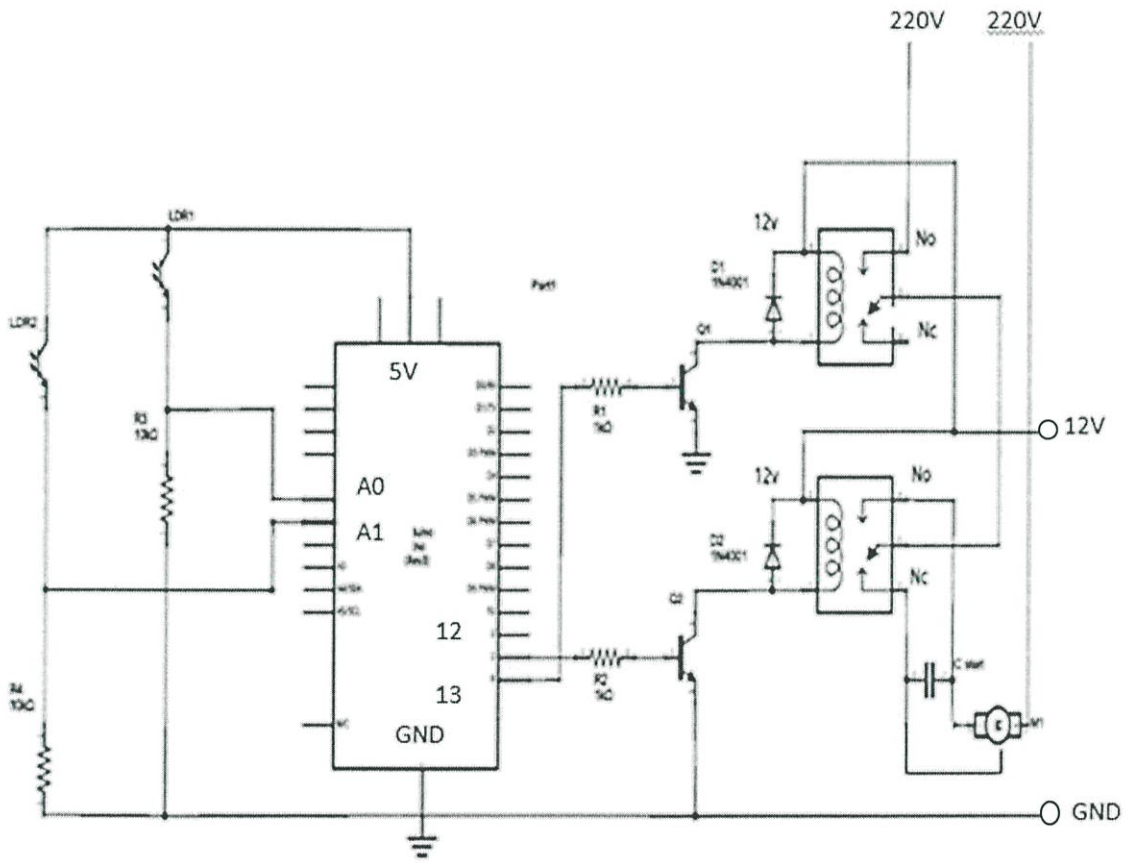
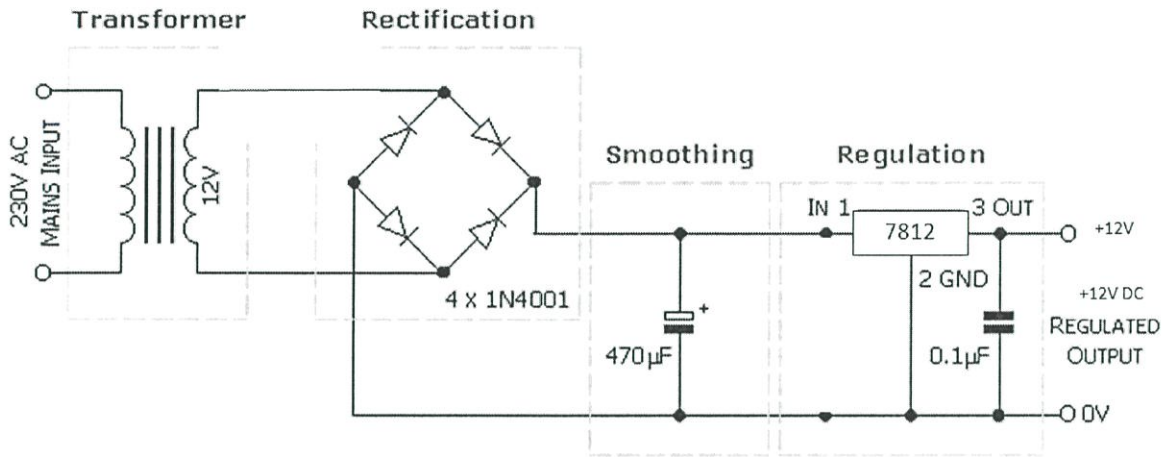
#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) ความแม่นยำในการรับค่าของอุปกรณ์มีผลต่อการควบคุมการทำงานของวงจร เนื่องการใช้เซนเซอร์ LDRแต่ละตัวนั้นมีความไวการตอบสนองต่อแสงไม่เท่ากันโดยสามารถแก้ด้วยการเขียนโปรแกรมคำสั่ง Arduino มาชดเชยได้
- 2) ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์บางครั้งหากมีสิ่งรบกวนภายนอกเข้ามาร่วมด้วยอาจทำให้การรับค่าความเข้มแสงผิดพลาดได้ เช่นหากมีสัตว์หรือสิ่งของมาบังในช่วงที่เซนเซอร์ LDR ทำงานจะทำให้การรับค่าผิดพลาดและทำให้แผงโซลาร์เซลล์หันไปในทิศทางอื่นทำให้การผลิตกำลังงานตกลง ควรแก้โดยการเขียนคำสั่งการทำงานให้สามารถตรวจสอบค่าการผลิตกำลังงานเมื่อลดลงกว่าระดับปกติไปมากแล้วจะให้วงจรเริ่มทำงานใหม่ตั้งแต่ค่ามุมเริ่มต้น

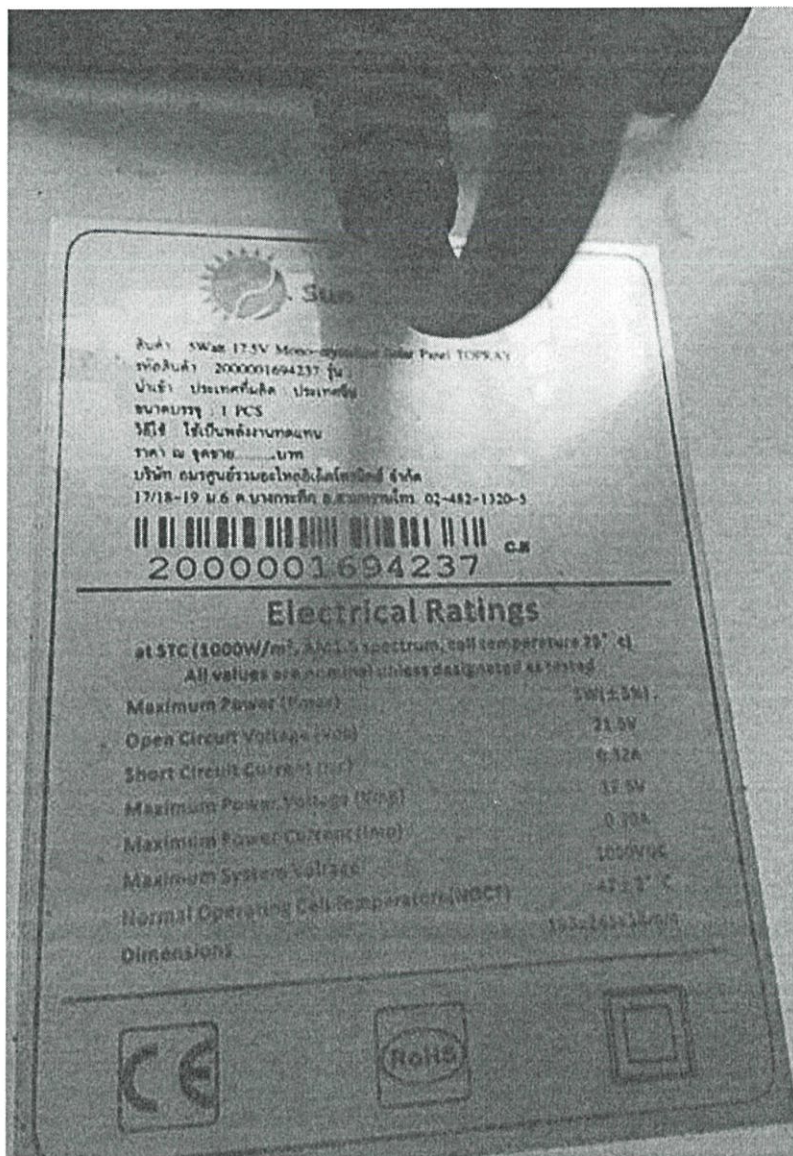
## บรรณานุกรม

- [1] Antonio Luque and Steven Hegedus (2003): “Handbook of photovoltaic science and engineering”, John Wiley & Sons. Ltd.
- [2] Jenny Nelson (2003): “The Physics of Solar Cells”, Imperial College Press
- [3] <http://www.capacitorguide.com/>
- [4] <http://www.electroschematics.com/>
- [5] <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [6] <http://www.pveducation.org/pvcdrom/>
- [7] <http://solarelectricityhandbook.com/solar-angle-calculator.html>
- [8] <http://suncalc.net/>
- [9] <http://www.thaieasyelec.com/>

ภาคผนวก



วงจรการทำงานของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์



สเปคของแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้