

เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางแสงอาทิตย์  
(Solar Panels Control in The Direction of The sun)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางแสงอาทิตย์  
(Solar Panels Control in The Direction of The sun)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Solar Panels Control in The Direction of The sun



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MOINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางแสงอาทิตย์  
Solar Panels Control in The Direction of The sun

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธูปนา กาวิละมูล รหัสนักศึกษา 53010402  
นายนพพล สีนวลสด รหัสนักศึกษา 53010790  
นายนันทวิชญ์ จันทรทอง รหัสนักศึกษา 53010840

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2556

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ   |
| ผศ. สาท คำมูล                 |  |

|                    |  |           |                       |
|--------------------|--|-----------|-----------------------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางแสงอาทิตย์   |           |                       |
|                    | Solar Panels Control in The Direction of The sun |           |                       |
| นักศึกษาผู้จัดทำ   | นายธรรปนา  | กาวิละมุล | รหัสนักศึกษา 53010402 |
|                    | นายนพพล  | สีนวลสด   | รหัสนักศึกษา 53010790 |
|                    | นายนันทวิชัย                                     | จันทร์ทอง | รหัสนักศึกษา 53010840 |
| ปริญญา             | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต                              |           |                       |
| สาขาวิชา           | วิศวกรรมการวัดคุม                                |           |                       |
| ปีการศึกษา         | 2556   |           |                       |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเรื่องเครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางแสงอาทิตย์ โดยทำการออกแบบให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถหมุนหาทิศทางของแสงอาทิตย์ได้โดยอัตโนมัติ 3 ตำแหน่ง โดยใช้วงจร ARDUINO UNO R3 เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์เพื่อหมุนปรับทิศทางของแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางของแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับพลังงานได้อย่างเต็มที่และคุ้มค่าที่สุด เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์จะประกอบด้วยวงจรที่สำคัญ ได้แก่ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ วงจร ARDUINO UNO R3 และวงจร Module Dual H Bridge DC Stepper Motor Drive Controller Board Module L298N for Arduino โดยแรงดันที่รับมาจาก LDR 3 ตำแหน่งที่ติดตั้งไว้ โดยที่จะทำการเปรียบเทียบแรงดันของ LDR แต่ละตัว เพื่อทำการขับมอเตอร์ให้หมุนแผงโซลาร์เซลล์ไปตามทิศทางของแสงอาทิตย์

|                |   |
|----------------|---|
| Thesis Title   | Solar Panels Control in The Direction of The sun                      |
| Authors        | Mr.Thapana Kawilamul<br>Mr.Nopphol Senualsod<br>Mr.Nuntavich Junthong |
| Thesis Advisor | Assistant Professor.Sart Kammul                                       |
| Year           | 2013  |

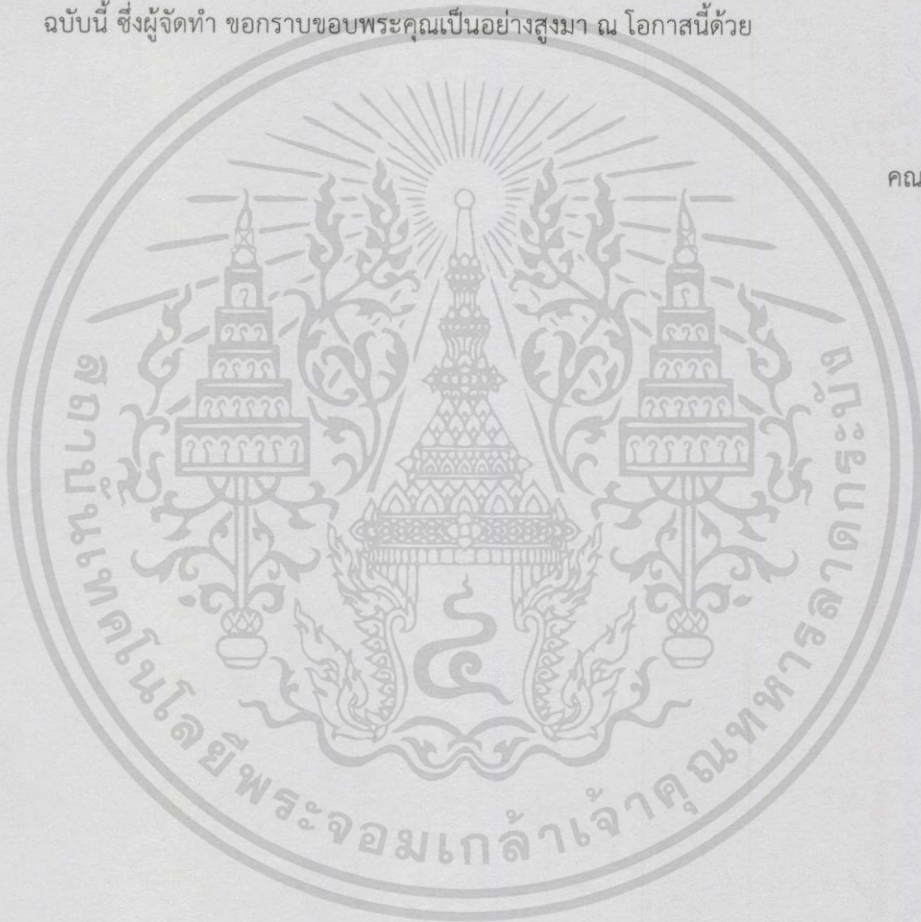
### ABSTRACT

This project is to study the control panels in the direction of the sun. Designs a solar panel can rotate the direction of the sun automatically 3 position circuits using ARDUINO UNO R3 to control the motors to rotate the solar panels in the direction of the sun to gain energy. fullest and most rewarding . The control panel consists of a circuit including a charging battery circuit, ARDUINO UNO R3 circuit and Circuit Module Dual H Bridge DC Stepper Motor Drive Controller Board Module L298N for Arduino by voltage derived from LDR 3 position mount. set It will compare each of the LDR voltage to drive the motor to rotate the solar panel towards the sun.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ซึ่งได้รับความกรุณาจาก ผศ. สารท คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความกรุณาให้ความช่วยเหลือสนับสนุนการทดลองในปริญญานิพนธ์ และให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนวคิดต่างๆในการปรับปรุงแก้ไขงาน และการทดลอง ตลอดจน อาจารย์ทุกๆท่าน ที่ได้อบรมให้ความรู้ ทำให้สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ ซึ่งผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



# สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ.....                                 | I    |
| ABSTRACT.....                                 | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....                          | III  |
| สารบัญ.....                                   | IV   |
| สารบัญรูป.....                                | VII  |
| สารบัญตาราง.....                              | IX   |
| บทที่ 1 บทนำ.....                             | 1    |
| 1.1 ความสำคัญของปริยฐานิพนธ์.....             | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริยฐานิพนธ์.....          | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของปริยฐานิพนธ์.....                | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....                      | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....            | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....     | 3    |
| 2.1 การโคจรของดวงอาทิตย์.....                 | 3    |
| 2.2 อุปกรณ์ที่นำมาทำแผงควบคุมโซลาร์เซลล์..... | 6    |
| 2.3 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์.....          | 7    |
| 2.3.1 N - type ซิลิคอน.....                   | 8    |
| 2.3.2 P - type ซิลิคอน.....                   | 8    |
| 2.3.3 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ.....           | 8    |
| 2.3.4 Front Electrode and Back Electrode..... | 8    |
| 2.4 ชนิดของโซลาร์เซลล์.....                   | 8    |
| 2.4.1 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Amorphous.....        | 9    |
| 2.4.2 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Crystalline.....      | 10   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 2.4.3 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Super Amorphous.....                  | 11   |
| 2.5 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action).....        | 12   |
| 2.5.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....                        | 13   |
| 2.5.1.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor).....                  | 13   |
| 2.5.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor).....        | 13   |
| 2.5.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor).....      | 13   |
| 2.5.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....                  | 13   |
| 2.5.2.1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือเรียกว่าสเตเตอร์ (Stator).....   | 13   |
| 2.5.2.2 ตัวหมุน (Rotor).....                                  | 14   |
| 2.5.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....                      | 15   |
| 2.5.3.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor).....          | 15   |
| 2.5.3.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor).....             | 15   |
| 2.5.3.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม (Compound Motor).....           | 16   |
| 2.6 Arduino Uno r3.....                                       | 17   |
| 2.7 Module L298N for Arduino.....                             | 18   |
| 2.8 หลักการของเซนเซอร์แสง LDR (Light Dependent Resistor)..... | 19   |
| 2.8.1 โครงสร้าง LDR.....                                      | 20   |
| 2.8.2 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า.....                                  | 21   |
| 2.9 ผลการดำเนินงาน.....                                       | 22   |
| 2.9.1 วงจรชาร์จแบตเตอรี่.....                                 | 22   |
| 2.9.1.1 อธิบายวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....                         | 23   |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....                                 | 24   |
| 3.1 ออกแบบโครงสร้างชิ้นงาน.....                               | 24   |
| 3.1.1 การใช้โปรแกรม Solid work เบื้องต้น.....                 | 24   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| 3.1.2 ออกแบบโดยใช้การวาดมือ.....                              | 24        |
| 3.2 การออกแบบวงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์.....                    | 25        |
| 3.3 การออกแบบการจัดวางของเซนเซอร์แสง LDR.....                 | 25        |
| 3.3.1 การออกแบบ LDR.....                                      | 25        |
| <b>บทที่ 4 การทดลอง.....</b>                                  | <b>27</b> |
| 4.1 การทดลองความถูกต้องแม่นยำของ LDR ครั้งที่1.....           | 27        |
| 4.2 การทดลองความถูกต้องแม่นยำของ LDR ครั้งที่2.....           | 28        |
| 4.3 การทดลองความถูกต้องแม่นยำของ LDR ครั้งที่3.....           | 30        |
| 4.4 การทดลองตอนฟ้ามีเมฆมาก ตอนฟ้าโปร่ง และตอนฟ้ามีดครึ้ม..... | 31        |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>               | <b>34</b> |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง.....                                       | 34        |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....   | 34        |
| <b>บรรณานุกรม.....</b>  | <b>35</b> |

## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....                         | 3    |
| 2.2 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์.....                               | 4    |
| 2.3 DC Power Supply.....  | 6    |
| 2.4 LDR.....  | 6    |
| 2.5 Arduino Uno r3.....   | 7    |
| 2.6 DC Module L298N for Arduino.....                            | 7    |
| 2.7 แสดงแผงโซลาร์เซลล์แบบ Amorphous.....                        | 9    |
| 2.8 แสดงแผงโซลาร์เซลล์แบบ Crystalline.....                      | 10   |
| 2.9 แสดงแผงโซลาร์เซลล์แบบ Super Amorphous.....                  | 11   |
| 2.10 แสดงมอเตอร์ 12 Vdc.....                                    | 12   |
| 2.11 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม.....                      | 15   |
| 2.12 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน.....                        | 15   |
| 2.13 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมชนิดขอร์ทันท์.....            | 16   |
| 2.14 แสดงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมชนิดลอลงขันท์.....            | 16   |
| 2.15 แสดงแผงวงจรบอร์ด Arduino Uno r3.....                       | 17   |
| 2.16 แสดงแผงวงจร Module L298N for Arduino.....                  | 18   |
| 2.17 แสดงแผนภาพหลักการวงจร Module L298N for Arduino.....        | 19   |
| 2.18 แสดงภายนอกและภายในของ LDR.....                             | 20   |
| 2.19 แสดงรูปลักษณะโครงสร้างและสัญลักษณ์ตัวแอลดีอาร์.....        | 20   |
| 2.20 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR..... | 21   |
| 2.21 แสดงวงจรชาร์ตแบตเตอรี่.....                                | 22   |

## สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.1 แสดงโครงสร้างที่ออกแบบโดย Solid work.....                           | 24   |
| 3.2 แสดงโครงสร้างด้านหน้า.....  | 24   |
| 3.3 แสดงโครงสร้างด้านข้าง.....  | 24   |
| 3.4 แสดงวงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์.....                                   | 25   |
| 3.5 แสดงโครงสร้างโซลาร์เซลล์และการติดตั้ง LDR Sensor.....               | 26   |
| 4.1 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ voltage ของLDR แต่ละตัวในแต่ละสถานที่..... | 27   |
| 4.2 แสดงการส่องไฟฉายบน LDR.....   | 28   |
| 4.3 แสดงการทดลอง LDR ณ เวลาเที่ยง วางขนานกับพื้นโลก.....                | 30   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.1 ตารางการทดลอง LDR แต่ละตัวขณะที่ไม่มีแสง(วัตถุบังแสง)<br>แสงสว่างในห้องและจากดวงอาทิตย์..... | 27   |
| 4.2.1 ตารางการทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 10 เซนติเมตร.....                                   | 28   |
| 4.2.2 ตารางการทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 20 เซนติเมตร.....                                   | 29   |
| 4.2.3 ตารางการทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 30 เซนติเมตร.....                                   | 29   |
| 4.3.1 ตารางการทดลอง LDR ณ เวลาเที่ยง วางขนานกับพื้นโลก.....                                      | 30   |
| 4.4.1 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้ามีเมฆมาก.....   | 31   |
| 4.4.2 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้าโปร่ง.....  | 32   |
| 4.4.3 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้าครึ้ม.....  | 33   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันได้มีการใช้พลังงานในประเทศเป็นอย่างมาก ในแต่ละปีนั้นเราจะต้องใช้งบประมาณหลายหมื่นล้านบาทที่สูญเสียไปกับค่าเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ลิกไนต์ และ ก๊าซธรรมชาติ และมีแนวโน้มว่าค่าใช้จ่ายจะต้องสูงขึ้นทุกปี ประกอบกับแหล่งพลังงานแบบ Non-Renewable ซึ่งมีอย่างจำกัดก็ร่อยหรอลงไปทุกที การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ให้มากที่สุด โดยได้อาศัยสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เราเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพิ่มเติมจากแหล่งพลังงานอื่นๆ ที่จะหมดไปในอนาคตเหตุที่ทำให้เราสนใจแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีหลายประการยกตัวอย่างเช่น

1. มีปริมาณมหาศาล
2. ไม่มีวันหมดไปจากโลก ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระบบสุริยะ
3. ไม่ทำให้เกิดมลภาวะ (Pollution) ถ้าคิดเฉพาะดวงอาทิตย์

สำหรับปัญหาของการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ นั้นเกิดจากเช่นพลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มแสงสูงไม่พอ รังสีดวงอาทิตย์ไม่มีตลอดเวลา เช่น เวลาที่ท้องฟ้าปกคลุมด้วยก้อนเมฆหรือในเวลา กลางคืนสำหรับประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลก ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศ ในแถบอื่นๆ เช่น แถบยุโรป และ แถบอเมริกา และยังมีแสงอาทิตย์อยู่ตลอดทั้งปี ซึ่งสามารถนำเอาพลังงาน จากแสงมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจังจะสามารถลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี ใน การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั้น ยังมี ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ในโครงการนี้เลือกที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในด้าน การรับแสง โดยพิจารณาจากการแผ่รังสีบนพื้นราบและพื้นเอียง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Module L298N for Arduino
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมบนวงจร Arduino Uno R3
4. เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม Solid Works เพื่อออกแบบชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. สามารถออกแบบตัวเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดปริมาณแสงแบบสมดุล 3 ทิศทาง
2. สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของวงจร Arduino Uno R3
3. สามารถออกแบบกลไกในการเคลื่อนพิกัดของLDR เพื่อหมุนแผงโซลาร์เซลล์ให้ปรับทิศทางตามแสงอาทิตย์เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด
4. ทำการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบทั้งหมดและทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการการโคจรของดวงอาทิตย์
2. ศึกษาหลักการทำงานของโซลาร์เซลล์
3. ศึกษาหลักการทำงานของ Module L298N for Arduino
4. ศึกษาการทำงานของLDR
5. ศึกษาและเขียนโปรแกรมวงจร Arduino Uno R3
6. ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์
7. ออกแบบกลไกในการทำงานของการหมุนแผงโซลาร์เซลล์
8. เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน
9. ทดลองการทำงานของระบบควบคุมและปรับแก้ระบบ
10. สรุปผลการทดลอง และจัดทำรายงาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้เกิดทักษะจากการศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆรวมทั้งทักษะการศึกษาโปรแกรมใหม่ๆเพิ่มเติม และสามารถวิเคราะห์สาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นตลอดจนแก้ไขปัญหาที่บกพร่องและสามารถทำให้โซลาร์เซลล์หมุนรับแสงอาทิตย์ได้อย่างสมดุล

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การโคจรของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่สำคัญที่เป็นแหล่งให้แสงสว่าง และพลังงาน อยู่ห่างจากโลกมากแต่ก็ทำให้โลกอบอุ่นได้การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทุกอย่างบนโลกขึ้นอยู่กับรังสีจากดวงอาทิตย์เป็นสำคัญ

แกนโลกเอียงทำมุม 23.30 องศากับระนาบวงโคจรของดวงอาทิตย์ทำให้อากาศมีการเปลี่ยนแปลงเกิดฤดูกาลที่เหมาะสมขึ้น ความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสอากาศและของน้ำในมหาสมุทร ภูมิอากาศจะแตกต่างกันไปตามส่วนต่าง ๆ ของโลก บริเวณที่ร้อนที่สุดของโลกได้แก่บริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ทุกๆ วัน แต่ในเวลากลางคืนอากาศจะเย็นลงเล็กน้อย ส่วนบริเวณที่หนาวที่สุดของโลกได้แก่ บริเวณที่อยู่รอบๆ ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ ซึ่งไม่เคยรับแสงอาทิตย์โดยตรงแม้เป็นเวลาเที่ยงวันก็ตาม ดังนั้นบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงเป็นเขตที่มีภูมิอากาศร้อนและมีฝนตกชุก ในแต่ละวันจะมีอากาศร้อนและความกดอากาศโดยทั่วไปต่ำ ความร้อนจากแสงแดดทำให้น้ำระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเมฆและมีฝนตกในตอนบ่าย ส่วนบริเวณที่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรทั้งเหนือและใต้จะมีอากาศแห้งแล้ง



รูปที่ 2.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากแกนของโลกเอียง 23.30 องศา จากเส้นดิ่งกับระนาบการโคจรและอาการเอียงจะชี้เป็นทางเดียวกันเสมอจะทำให้ภาพที่ปรากฏบนท้องฟ้า ณ ตำแหน่งหนึ่งเปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่องตลอดปีและจะกลับมาเหมือนเดิมอีกครั้งเมื่อโลกกลับมาถึงตำแหน่งเดิมในวงโคจรสำหรับปรากฏการณ์ ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวัน ในวันที่ 22 ธันวาคม แสงอาทิตย์จะส่องแสงตั้งฉากที่เส้นทรอปิกออฟแคปริคอร์น หรือ 23.30 องศาใต้ หรือ วันเริ่มต้นฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ หรือ วันเริ่มต้นฤดูร้อนในซีกโลกใต้สำหรับประเทศไทย จะสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และตกทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นในช่วงมีข่าวเหลืองเต็มมาเก็บเกี่ยวข้าวของประเทศไทยพอดีจึงเรียกว่า ตะวันอ้อมข้าว หรือ ตะวันอ้อมใต้ จะสัมพันธ์กับวิถีสุริยะดวงอาทิตย์จะอยู่ระหว่างกลุ่มดาวแมงป่องกำลังเคลื่อนสู่กลุ่มดาวคนยิงธนู



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

**หมายเหตุ** การส่องแสงตั้งฉากของแสงดวงอาทิตย์จะอยู่ระหว่าง 23.30 องศาเหนือ - 23.30 องศาใต้ โดยจะผ่านเส้นศูนย์สูตร 2 ครั้งในรอบ 1 ปี

- วันที่ 22 มิถุนายน แสงอาทิตย์จะตั้งฉากที่เส้นทรอปิกออฟแคนเซอร์ 23.30 องศาเหนือ (ซีกโลกเหนือ)
- วันที่ 23 มีนาคม และ 21 กันยายน ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากที่ศูนย์สูตร
- วันที่ 22 ธันวาคม แสงอาทิตย์จะส่องแสงตั้งฉากที่ เส้นทรอปิกออฟแคปริคอร์น หรือ 23.30 องศาใต้

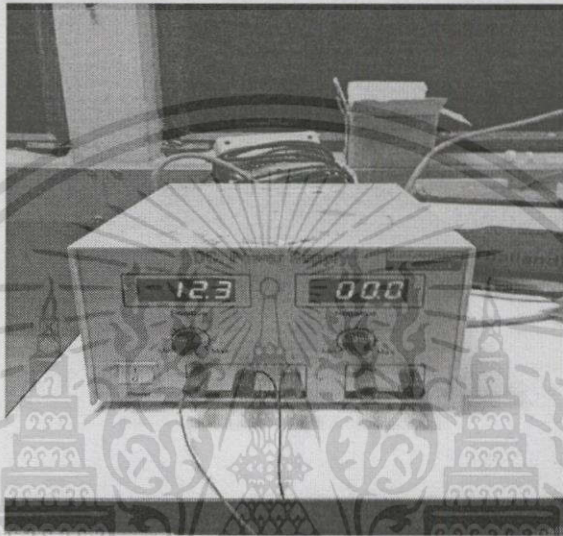
การโคจรของโลกกับภาพท้องฟ้ากับแสงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันที่ปรากฏบนท้องฟ้า ณ ละติจูดต่างๆ ในตอนเที่ยงวันที่ 22 ธันวาคม หรือ ละติจูด 23.30 ได้ จะเห็นว่า

1. ถ้าแสงดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันส่องข้ามขั้วโลกได้ ข้ามไปฝั่งตรงกันข้ามถึงละติจูด 66.30 องศาใต้ทางตะวันตก แสดงว่า พื้นที่โลกระหว่าง 60.30 องศาใต้ถึง ขั้วโลกใต้ (90 องศาใต้) จะสว่างตลอด 24 ชั่วโมง
2. ขั้วโลกใต้ (90 องศาใต้) จะเห็นดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันอยู่สูงจากขอบฟ้าด้านเหนือ 23.30 องศาและดวงอาทิตย์ จะเคลื่อนที่ปรากฏในแนวขนานกับเส้นขอบฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง
3. ที่เส้นแอนตาร์คติกเซอร์เคิล หรือ 60.30 องศาใต้ ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันจะอยู่สูงจากขอบฟ้าด้านเหนือ 47 องศา
4. ที่เส้นทรอปิคออฟแคปริคอร์น หรือละติจูด 23.30 ใต้ ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันส่องแสงตั้งฉากที่นี่ จึงเห็นดวงอาทิตย์อยู่ที่ศูนย์กลางท้องฟ้า ( $Z = \text{Zenith}$ )
5. ที่เส้นศูนย์สูตร หรือละติจูดศูนย์องศา ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันจะเอียงไปทางขอบฟ้าด้านใต้สูงจากขอบฟ้าด้านใต้ 66.30 องศา
6. ที่เส้นทรอปิคออฟแคนเซอร์ หรือ ที่ละติจูด 23.30 เหนือ จะเห็นดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันเอียงไปทางขอบฟ้าด้านใต้ และสูงจากขอบฟ้าด้านใต้ 53 องศา
7. ที่เส้นอาร์คติกเซอร์เคิล หรือ 60.30 องศาเหนือ จะเห็นดวงอาทิตย์จะอยู่ที่ขอบฟ้าด้านใต้ แสดงว่าดวงอาทิตย์ขึ้น 12.00 น. และตกเวลา 12.00 น. ดวงอาทิตย์ปรากฏที่ขอบฟ้าด้านใต้อยู่ชั่วอึดใจเดียว ดังนั้นพื้นที่จากเส้นอาร์คติกเซอร์เคิลไปถึงขั้วโลกเหนือ (90 องศาเหนือ) จะมีตลอด 24 ชั่วโมง
8. ที่ขั้วโลกเหนือจะมีตลอด 24 ชั่วโมง และ ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันจะอยู่ต่ำกว่าขอบฟ้า - 23.30 องศา

**หมายเหตุ** ให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง วัน เดือน ปี และตำแหน่งของผู้สังเกตประกอบกับ มติสัมพันธ์ระหว่าง ดวงอาทิตย์ และโลก

## 2.2 อุปกรณ์ที่นำมาทำแผงควบคุมโซลาร์เซลล์

### 2.2.1 DC. Power Supply



รูปที่ 2.3 DC. Power Supply

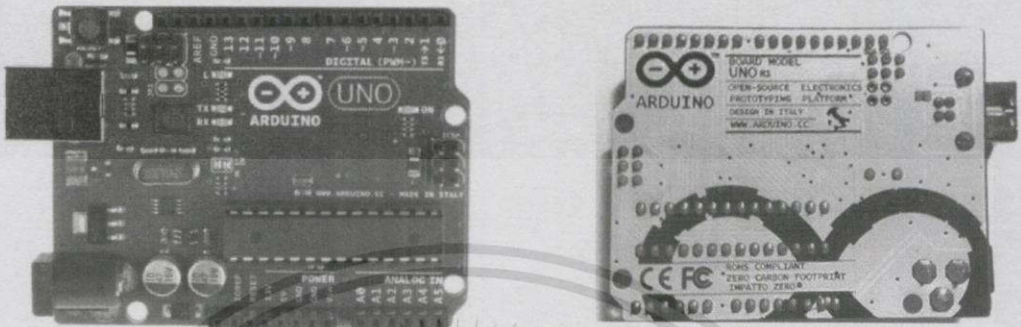
### 2.2.2 LDR



รูปที่ 2.4 LDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 Arduino Uno R3



รูปที่ 2.5 Arduino Uno R3

### 2.2.4 Module L298N for Arduino



รูปที่ 2.6 DC. Module L298N for Arduino

## 2.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

การทำงานของโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงโดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกันพลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 N - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารฟอสฟอรัสมี คุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ (Solar Cell)

2.3.2 P - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้ อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อยด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะ เรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2.3.3 เมื่อ มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮลทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กตรอนจะ วิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

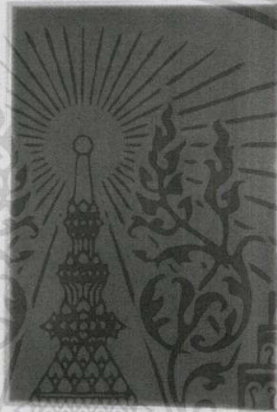
2.3.4 อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กันเป็น ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆเช่นระบบ เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ (Solar Cell)กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซลระบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ (Solar Cell)กับ พลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำเป็นต้นโดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรออกแบบตาม วัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ (Solar Cell)มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบ

## 2.4 ชนิดของโซล่าเซลล์

หนึ่งในอุปกรณ์สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ นั่นคือ แผ่นโซล่าเซลล์ หรือแผงโซล่าเซลล์ หรือ Solar Panel ก็ตามแต่ ซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด โดยที่ราคาถูกที่สุด และมีความทนทาน และคุณสมบัติอื่นๆอีกมากมาย และในปัจจุบันนั้นมีการผลิตแผ่นโซล่าเซลล์ออกมาหลายประเภท ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

### 2.4.1 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Amorphous

หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า“เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell หรือ a-Si)” ถือเป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในพื้นที่ที่มีแสงแดดน้อย มีหมอกปกคลุม หรือมีฝนตกบ่อย เพราะมีความไวในการจับแสงดีมาก แต่ราคาค่อนข้างแพงและมีความบอบบางมาก ไม่สามารถใช้ประยุกต์เข้ากับอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าแบบอื่นได้มากนัก มีข้อดีและข้อเสีย ดังแสดงในตาราง



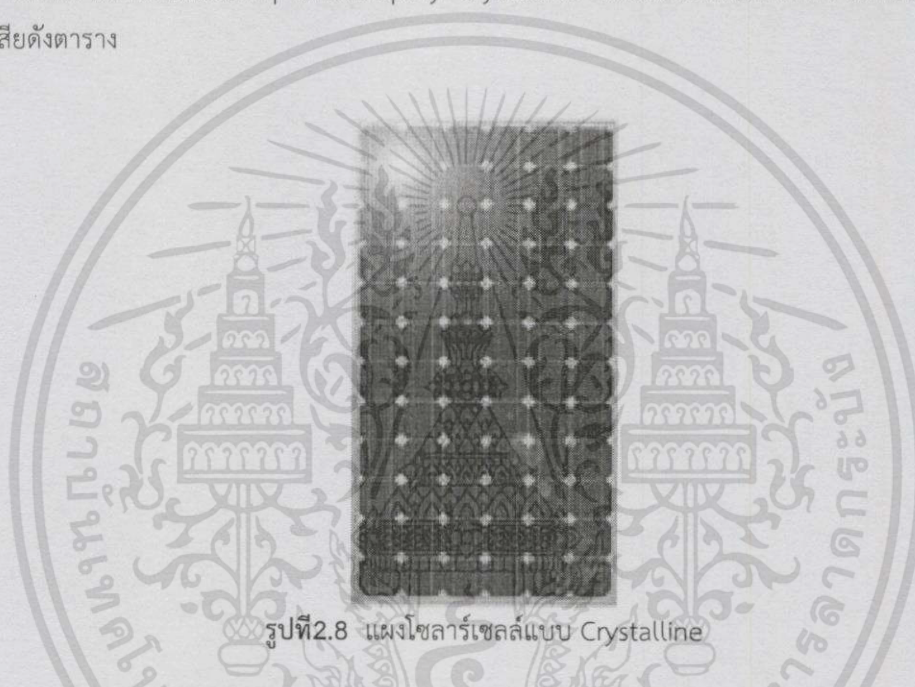
รูปที่ 2.7 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Amorphous

ตารางที่ 2.1 ข้อดี/ข้อเสีย ของแผงโซลาร์เซลล์แบบ Amorphous

| ข้อดี                                     | ข้อเสีย               |
|---|-----------------------|
| 1.ไวแสง                                   | 1.หาอุปกรณ์ต่อพ่วงยาก |
| 2.ผลิตพลังงานได้ง่าย                      | 2.ราคาแพง             |
| 3.ใช้ในสถานที่ที่มีหมอกจัด หรือฝนตกชุกได้ | 3.น้ำหนักมาก          |

#### 2.4.2 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Crystalline

แผงโซลาร์เซลล์แบบนี้มีทั้ง mono crystalline และ poly crystalline คือ แผงชนิดผลึกเดี่ยวและ ผลึกผสมตามลำดับบางทีก็เรียกว่า Single Crystalline กับ Multi Crystalline ก็แล้วแต่จะใช้คำแบบวิทยาศาสตร์หรือคำแบบภาษาอังกฤษ ซึ่งมันก็คือแผงโซลาร์เซลล์แบบต่างๆไปให้เห็นๆกัน เกือบตลาดนั้นล่ะครับ ร้อยละ 90 ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้กันอยู่จะเป็นชนิดนี้ โดยแบบ mono crystalline จะมีราคาแพงกว่าเล็กน้อยหรือเท่าๆกันกับแบบ poly crystalline และมีประสิทธิภาพดีกว่าเล็กน้อย มีข้อดีข้อเสียดังตาราง



ตารางที่ 2.2 ข้อดี/ข้อเสีย ของแผงโซลาร์เซลล์แบบ Crystalline

| ข้อดี                   | ข้อเสีย                     |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. ทนอุปกรณ์ต่อพ่วงง่าย | 1. ทำงานไม่ดีในสภาพอากาศปิด |
| 2. มีน้ำหนักเบา         | 2. ราคาแพง                  |
| 3. อายุการใช้งานทนทาน   | 3. ทำงานตอนฝนตกไม่ได้       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Super Amorphous

ที่จริงควรจะเรียกว่าเป็น Amorphous Triple Junction จะถูกต้องกว่า แต่เพื่อให้เรียกง่ายในที่นี้ขอเรียกเป็น super Amorphous แผงโซลาร์เซลล์ชนิดใหม่ที่ได้รวบรวมเอาข้อดีของ Amorphous และ Crystalline มาไว้ด้วยกัน มีความไวแสงสูงมาก ยังสูงกว่าแบบ Amorphous และกินพื้นที่มากกว่า Crystalline เพียงเล็กน้อย และก็ใช้ อุปกรณ์ต่อพ่วงร่วมกับแบบ Crystalline ได้ และยังมีคุณสมบัติพิเศษอันน่าทึ่งอีกหลายประการ เช่น ม้วนได้, น้ำหนักเบามาก, เสียหายยากมาก ทนทานต่อลูกเห็บ หรือแม้แต่ลูกปืนยิงทะลุก็ยังทำงานได้ มีข้อดีและข้อเสียอีกหลายอย่าง ดังแสดงในตาราง



รูปที่ 2.9 แผงโซลาร์เซลล์แบบ Super Amorphous

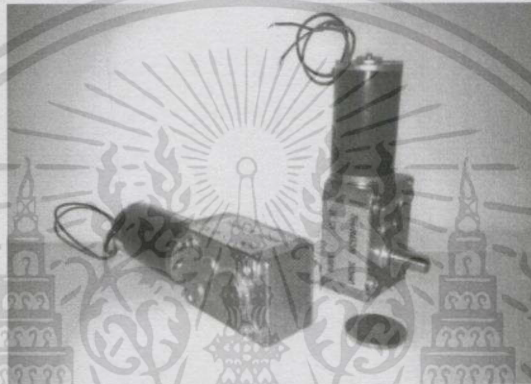
ตารางที่ 2.3 ข้อดี/ข้อเสีย ของแผงโซลาร์เซลล์แบบ Super Amorphous

| ข้อดี                | ข้อเสีย         |
|----------------------|-----------------|
| 1.ไวแสงสูง           | 1.ราคาแพง       |
| 2.มีน้ำหนักเบา       | 2.กินพื้นที่มาก |
| 3.อายุการใช้งานทนทาน | 3.เปราะบาง      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่เด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จัก อุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.10 มอเตอร์ 12 Vdc

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะ แปรปรำงผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลลาและแกนเพลลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming 'left hand rule)

## 2.5.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.5.1.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้ายานยนต์ ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมาก แต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตรายจากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่างเช่นเครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร ส่วนไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนัก กระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ

### 2.5.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

หรือเรียกว่าชันท่อมอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหม่นต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันท่อมอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับงานดัดแปลงเพราะที่ดัดแปลงต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้

### 2.5.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่นั้นไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็ม

## 2.5.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.5.2.1. ส่วนที่อยู่กับหรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator)

-เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอก

-ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงคืให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque) ส่วนที่สองขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆแกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

#### 2.5.2.2. ตัวหมุน (Rotor)

ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในดลบลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

-แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลาจะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

-แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

-คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้ยึดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยัง ขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและ เสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้ว เรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor action) ระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ให้ลวดอาร์มาเจอร์เกิดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้

-ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ ควรศึกษาต่อไปในเรื่องการพันอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) ในโอกาสต่อไป ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแส และส่งกระแสไฟฟ้า

2.5.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมี 3 ชนิด คือมอเตอร์แบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม ในการควบคุมความเร็ว ต้องมีวิธีการที่ควบคุมแตกต่างกันไปตามชนิดของมอเตอร์ดังนี้

2.5.3.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor)

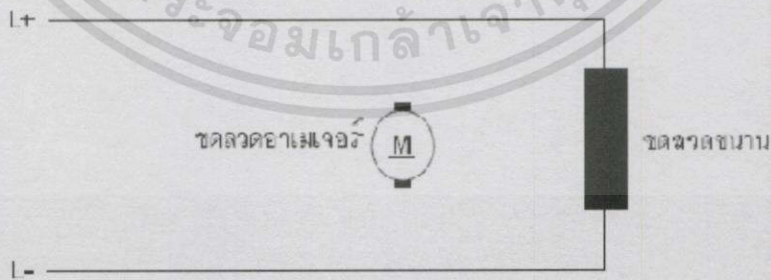
คือ มอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ เรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือ ให้แรงบิดสูง นิยมใช้เป็นตัวก้ำลังของรถไฟฟ้า, รถยกของ, เครื่องไฟฟ้า เป็นต้น ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม เมื่อไม่มีภาระงานความเร็วจะสูงมาก แต่ถ้ามีภาระงานมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามภาระงาน



รูปที่ 2.11 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

2.5.3.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

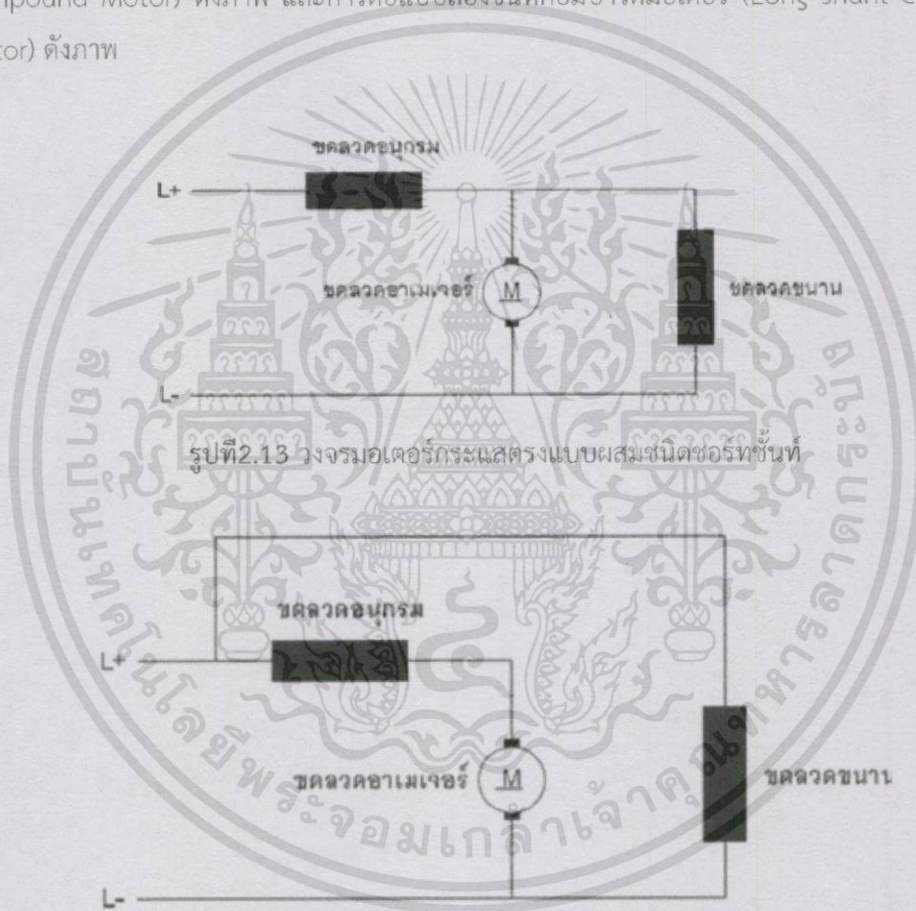
หรือ เรียกว่า ชันทมอเตอร์ มอเตอร์กระแสตรงแบบขนานนี้ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์กระแสตรงแบบขนานมีคุณลักษณะที่ดีมีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ชันทมอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับงานประเภท เช่น พัดลม เพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่



รูปที่ 2.12 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

### 2.5.3.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

หรือ เรียกว่าคอมปาวด์ มอเตอร์ มอเตอร์กระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนานและมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์กระแสตรงแบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษ คือ มีแรงบิดสูง ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่มอเตอร์กระแสตรงแบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชั้นที่อยู่ 2 วิธี คือ วิธีต่อขดลวดแบบชั้นขนานกับอาเมเจอร์ เรียกว่า ชอร์ตชั๊นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Short Shunt Compound Motor) ดังภาพ และการต่อแบบลงชั้นที่คอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt compound motor) ดังภาพ

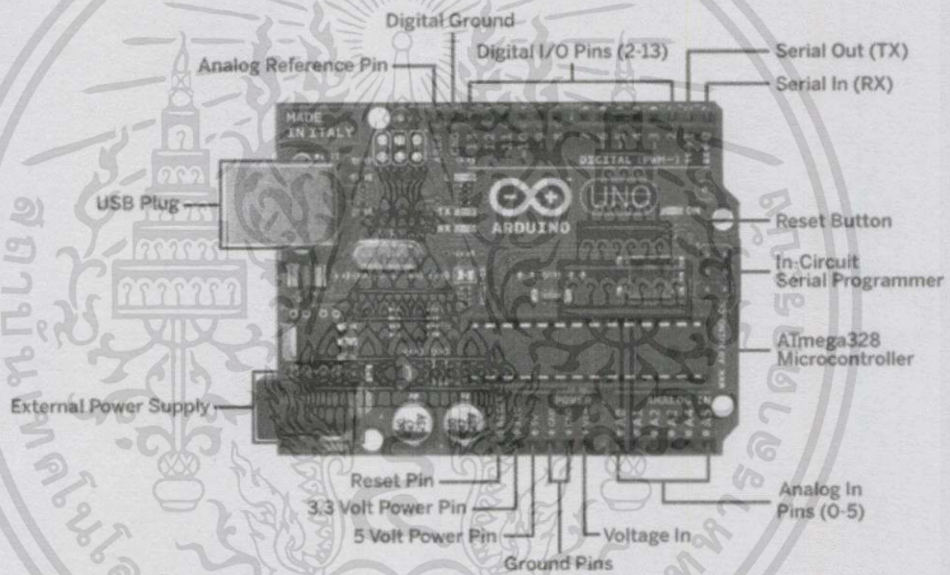


รูปที่ 2.14 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมชนิดลงชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 Arduino Uno r3

บอร์ดนี้นิยมใช้งานมากที่สุดในบรรดาบอร์ดของ Arduino สาเหตุพอจะสรุปได้ดังนี้ครับ Arduino Uno R3 เป็น Microcontroller board ที่ใช้ ATmega328 (datasheet) เป็น MCU หลัก ซึ่งตัวนี้จะมีขา Digital 14 ขา อินพุต/เอาพุต (สามารถทำเป็น PWM ได้ถึง 6 ขา) และมีขา Analog อินพุตได้อีก 6 ขา, รั้นที่ความถี่ 16 MHz มี USB Connector และ Power Jack DC ซึ่ง Concept ของ Arduino Board นี้ทำมาเพื่อความสะดวก ง่ายในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถต่อ USB เข้ากับช่องคอมพิวเตอร์ ก็สามารถ Run โปรแกรมที่ Board ได้ เหมาะสำหรับผู้ที่กำลังเริ่มต้นเข้าสู่วงการอิเล็กทรอนิกส์อย่างแท้จริง



รูปที่ 2.15 แผงวงจรบอร์ด Arduino Uno r3

บอร์ดนี้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานนอกประสงค์ โดยมีรายละเอียด

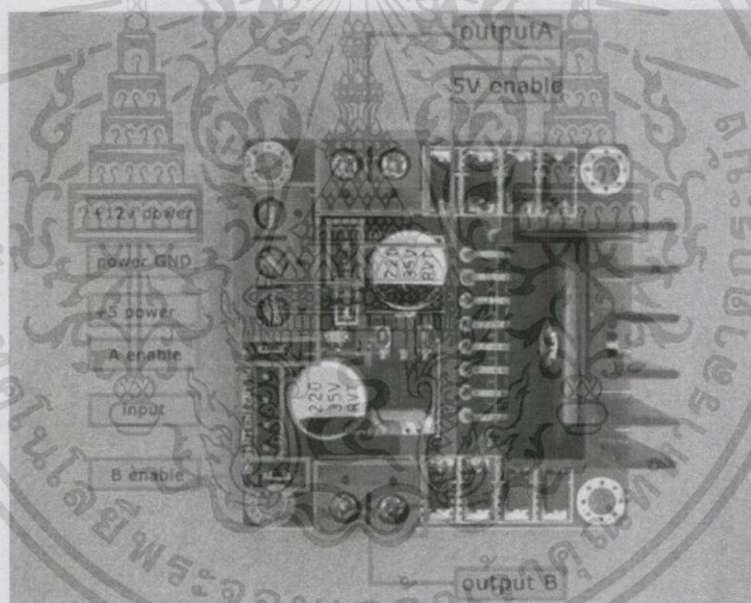
ของบอร์ดดังนี้

|                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Microcontroller             | ATmega328                          |
| Operating Voltage           | 5V                                 |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V                              |
| Input Voltage (limits)      | 6-20V                              |
| Digital I/O Pins            | 14 (of which 6 provide PWM output) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Analog Input Pins       | 6   |
| DC Current per I/O Pin  | 40 mA   |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA   |
| Flash Memory            | 32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by boot loader |
| SRAM                    | 2 KB (ATmega328)                                      |
| EEPROM                  | 1 KB (ATmega328)                                      |
| Clock Speed             | 16 MHz  |

## 2.7 Module L298N for Arduino



รูปที่ 2.16 แผงวงจร Module L298N for Arduino

### คุณสมบัติ

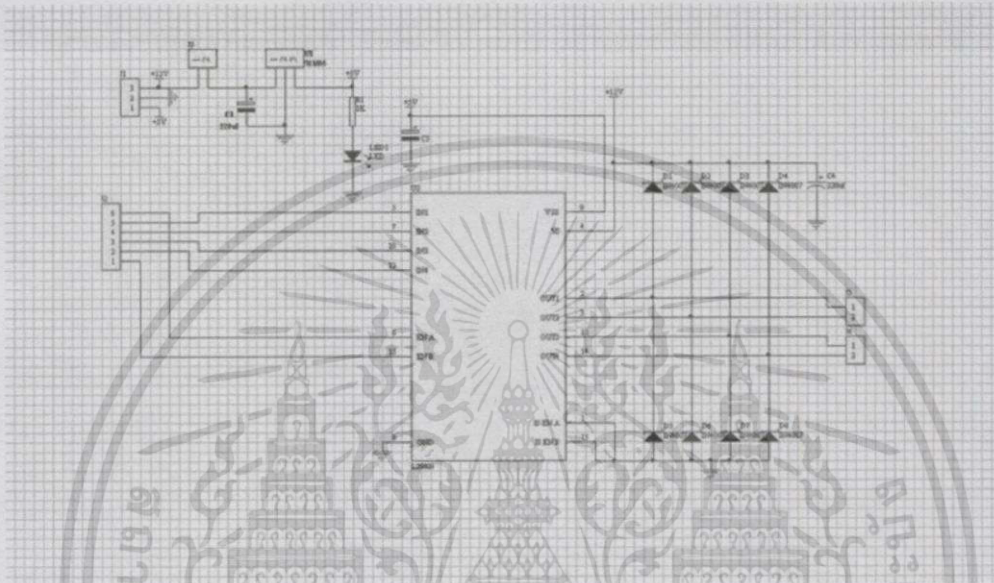
1. สามารถใช้แรงดันขับเคลื่อนมอเตอร์ได้สูงสุด 50V
2. สัญญาณ Logic สูงสุด 7 Volt
3. สามารถขับเคลื่อน มอเตอร์ ได้สองตัวด้วย IC ตัวเดียว
4. สามารถใช้การควบคุมแบบ Full Speed หรือแบบ Pulse สำหรับปรับ Speed ได้ด้วยเช่นกัน
5. สามารถควบคุมทิศทางมอเตอร์ด้วยการจ่าย Logic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เมื่อ Enable A ช่วยให้การควบคุม IN2 IN1 OUT2 OUT1

-เมื่อ Enable B ช่วยให้การควบคุม IN4 IN3 OUT4 OUT3

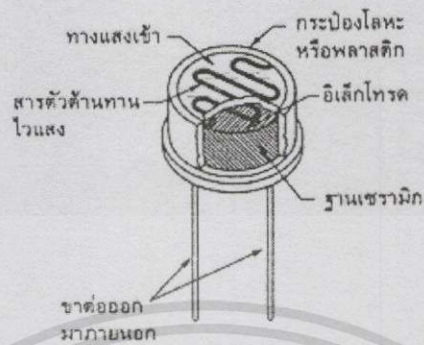
ซึ่งโมดูลนี้สามารถใช้งาน ควบคู่กับวงจรของบอร์ด Arduino ได้ **แผนภาพหลักการวงจร**



รูปที่ 2.17 แผนภาพหลักการวงจร Module L298N for Arduino

## 2.8 หลักการของ เซนเซอร์แสง LDR (Light Dependent Resistor)

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้า ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์ (Photo Resistor) หรือ โฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenite) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอา มาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบ ให้ออกมา



รูปที่ 2.18 ภายนอกและภายในของ LDR

2.8.1 โครงสร้าง LDR

รูปร่างของ LDR ในรูปส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็ๆสี่ ด้านทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง สีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัส กับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และ อุปกรณ์ สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบ

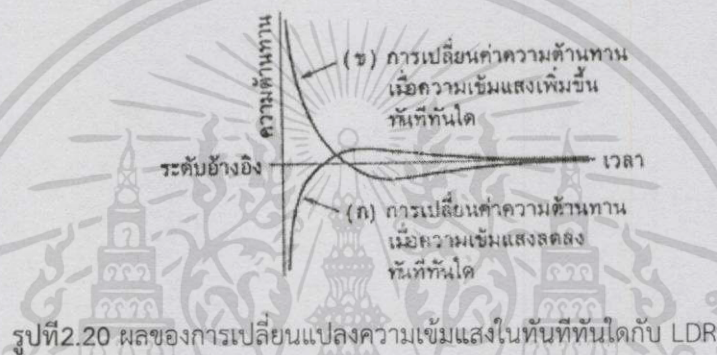


รูปที่ 2.19 รูปลักษณะโครงสร้างและสัญลักษณ์ตัวแอลดีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.2 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีความเข้มแสง กับขณะที่มีความเข้มแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีความเข้มแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มีดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และในขณะที่มีความเข้มแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20kW ลง ไป อาจจะเป็นเพียงไม่กี่โอห์ม หรือ ไม่ถึงโอห์มก็ได้. ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 3 ถ้า LDR ได้รับความเข้มสูงดังเส้น ( ก ) ความต้านทานจะมีค่า ต่ำ และ ในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง. แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับ เพิ่มขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิง เหมือนกับว่า เบรกมันไม่ค่อยดี และ ในทำนองเดียวกันถ้า เก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับ อ้างอิงทันที ดังในรูป ( ข ) ความต้านทานก็จะลด เล็ดต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซัลไฟด์ จะใช้เวลา ในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบ แคดเมียมซัลไฟต์ แต่ก็วิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และ อีกอย่างหนึ่ง ความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก. ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บางทีก็เป็นวินาที เลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

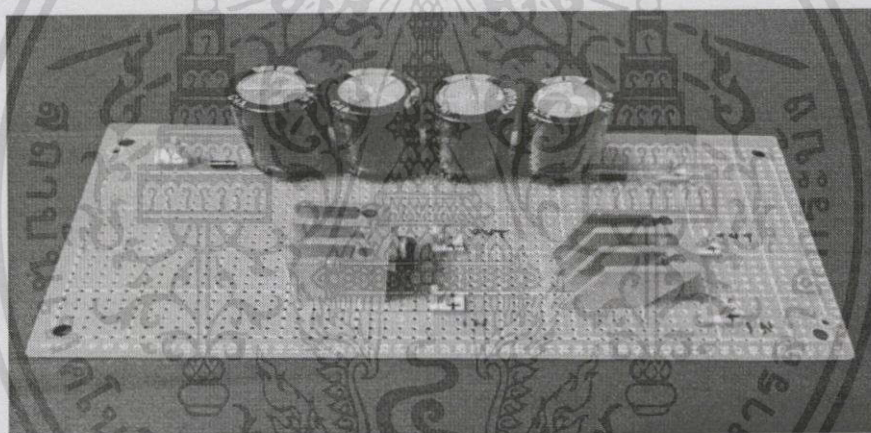
## 2.9 ผลการดำเนินงาน

- ได้ทำวงจรสำเร็จ เพื่อนำไปใช้ประกอบกับแผงโซลาร์เซลล์ และดำเนินการในการติดตั้งและใช้งานต่อเนื่องขั้นตอนต่อไป

### 2.9.1 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

วงจรชาร์จแบตเตอรี่เป็นวงจรที่ช่วยเพิ่มประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่เพื่อให้สามารถใช้งานได้มากขึ้น ในโครงการนี้ใช้แบตเตอรี่เป็นแบตเตอรี่แห้ง อุปกรณ์ที่ใช้

1. ตัวเก็บประจุแบบมีขั้ว 2200  $\mu$ F/50 V 4 ตัว
2. ไดโอด ซิลิคอน IN 4007 2 ตัว
3. ขา Connector แบบ 2 ขา 3 ตัว



รูปที่ 2.21 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

การออกแบบวงจร

อินพุต

รับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์

เอาต์พุต

เข้าวงจรชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์ DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.1.1 อธิบายวงจรชาร์จแบตเตอรี่

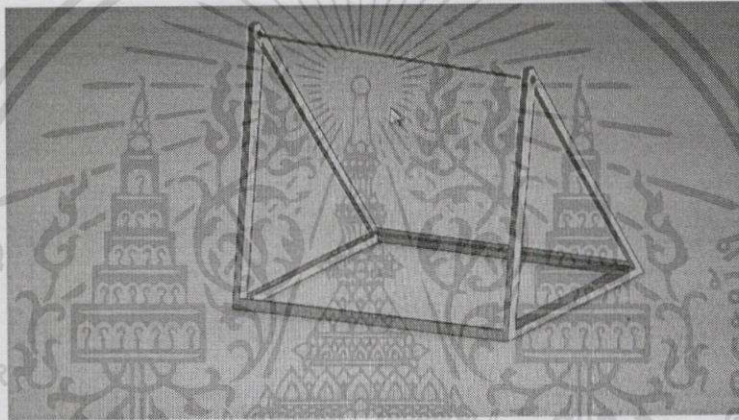
พลังงาน Input ที่รับพลังงานมาจากแผงโซลาร์เซลล์ ปกติจะมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 15-20 โวลต์ DC จะผ่านไดโอด 1 เข้าตัวเก็บประจุมีขั้ว 2200  $\mu\text{F}/50\text{ V}$  4 ตัว ไดโอด 1 จะทำหน้าที่ป้องกันการไหลกลับของกระแสเข้าโซลาร์เซลล์ ตัวเก็บประจุจะช่วยทำให้แรงดันที่ได้มีค่าคงที่ หรือทำให้แรงดันมีค่าสม่ำเสมอมากขึ้น แล้วจะผ่านไดโอด 2 อีกชั้น ไปเป็น Output เพื่อใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์ DC ซึ่งไดโอด 2 ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้กระแสจากแบตเตอรี่ ไหลย้อนกลับไปยังตัวเก็บประจุลายวงจรชาร์จแบตเตอรี่



## บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

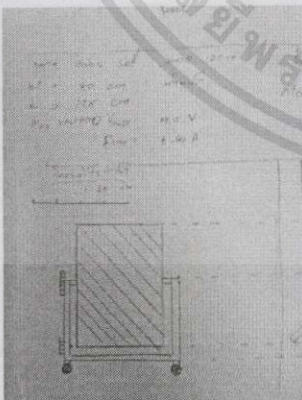
### 3.1 ออกแบบโครงสร้างชิ้นงาน

#### 3.1.1 การใช้โปรแกรม Solid work เบื้องต้น

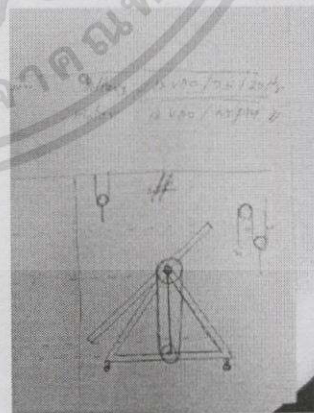


รูปที่ 3.1 โครงสร้างที่ออกแบบโดย Solid work

#### 3.1.2 ออกแบบโดยใช้การวาดมือ



รูปที่ 3.2 โครงสร้างด้านหน้า

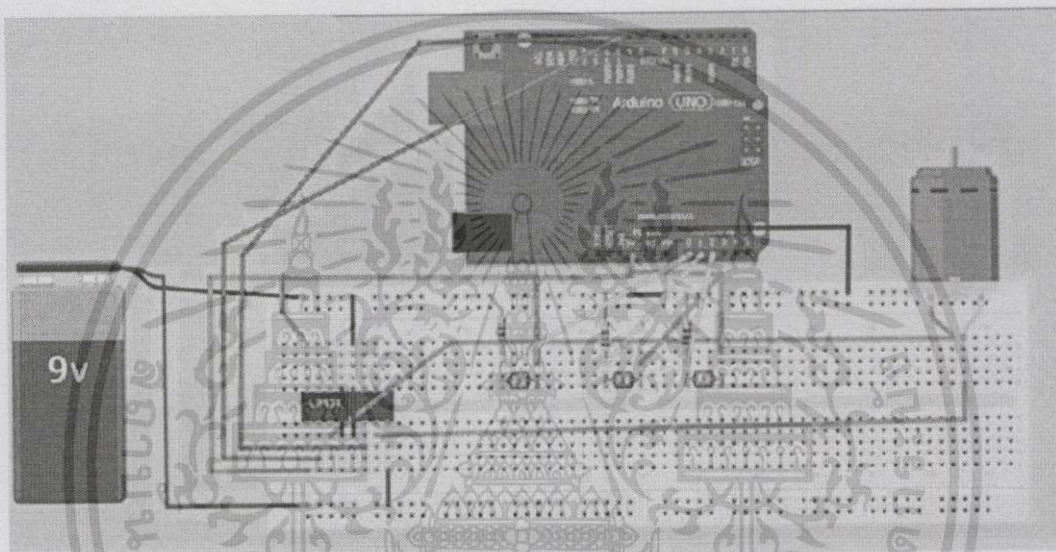


รูปที่ 3.3 โครงสร้างด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบวงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์

การออกแบบวงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ จะใช้

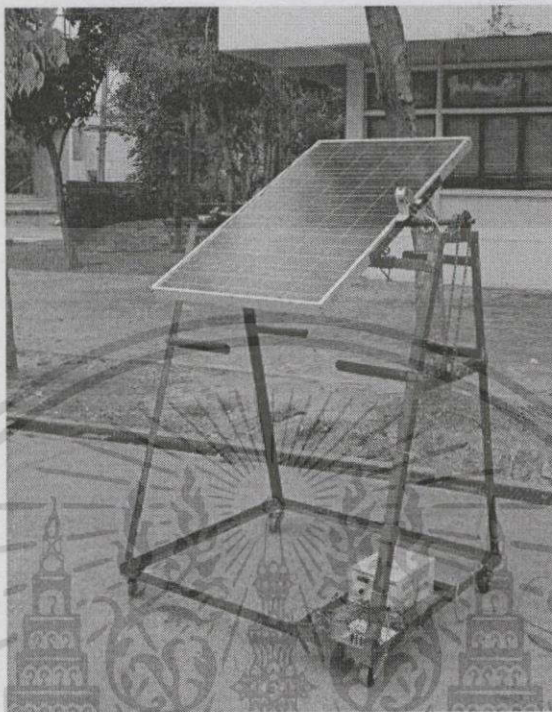


รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์

### 3.3 การออกแบบการจัดวางของเซนเซอร์แสง LDR

#### 3.3.1 การออกแบบ LDR

หลังจากที่ทำการปรับปรุงโครงสร้างเป็นที่เรียบร้อยแล้วจากนั้นได้นำ LDR Sensor มาติดตั้งเพื่อตรวจจับแสงบนแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเพื่อสั่งให้มอเตอร์หมุนไปควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ให้ทำมุมกับแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงสร้างโซลาร์เซลล์และการติดตั้ง LDR Sensor

ในส่วนของการทดลอง จะนำโครงสร้างโซลาร์เซลล์พร้อมติดตั้ง LDR Sensor มาทดสอบกับไฟฉาย ในที่ที่มีแสง และไม่มีแสง พร้อมทั้งทดลองกับแสงอาทิตย์จริงและเปรียบเทียบกระแสที่ได้ในแต่ละวัน ในวันที่ฟ้ามีเมฆมาก ตอนฟ้าโปร่ง และตอนฟ้ามีดครุ้ม และทำการเปรียบเทียบแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละวัน ในส่วนของบทที่ 4

## บทที่ 4

### การทดลอง

#### 4.1 การทดลองความถูกต้องแม่นยำของ LDR ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.1 การทดลอง LDR แต่ละตัวขณะที่ไม่มีแสง(วัดอุบ้งแสง) แสงสว่างในห้องและจากดวงอาทิตย์

| การทดสอบ LDR | ขณะที่ไม่มีแสง(วัดอุบ้งแสง)(V) | แสงสว่างในห้อง(V) | แสงสว่างจากดวงอาทิตย์(V) |
|--------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|
| LDR ตัวที่ 1 | 0.123                          | 3.4               | 5.11                     |
| LDR ตัวที่ 2 | 0.114                          | 3.5               | 5.09                     |
| LDR ตัวที่ 3 | 0.124                          | 3.2               | 5.12                     |



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ voltage ของ LDR แต่ละตัวในแต่ละสถานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองความถูกต้องแม่นยำของ LDR ครั้งที่ 2

จากการทดลองครั้งที่ 1 ทำให้ไม่ทราบว่า LDR แต่ละตัวนั้นมีความแตกต่างกันเพียงใด ดังนั้นจึงทำการทดลองครั้งที่ 2 โดยทำการฉายไฟฉายใส่ LDR แต่ละตัวเพื่อเป็นการจำลองว่ามีแสงตกกระทบ LDR แต่ละตัว ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ระยะที่ทำการทดลอง คือ ระยะประมาณ 10 เซนติเมตร, 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร และทำการทดลองและบันทึกค่าดังแสดงในตารางที่ 4.2.1, 4.2.2 และ 4.2.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 รูปการส่องไฟฉายบน LDR

ตารางที่ 4.2.1 การทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 10 เซนติเมตร ของตัวเซนเซอร์แสง LDR1 , LDR2 และ LDR3 ในทิศทางการส่องตรงกลาง , ส่องในทางทิศตะวันออก และ ส่องในทางทิศตะวันตก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ส่องตรงกลาง | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันออก | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันตก |
|----------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| LDR1           | 4.32        | 4.18                     | 4.24                    |
| LDR2           | 4.36        | 4.22                     | 4.37                    |
| LDR3           | 4.31        | 4.31                     | 4.45                    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.2 การทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 20 เซนติเมตร ของตัวเซนเซอร์แสง LDR1 , LDR2 และ LDR3 ในทิศทางการส่องตรงกลาง , ส่องในทางทิศตะวันออก และ ส่องในทางทิศตะวันตก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ส่องตรงกลาง | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันออก | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันตก |
|----------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| LDR1           | 4.30        | 3.98                     | 4.42                    |
| LDR2           | 4.54        | 3.97                     | 4.32                    |
| LDR3           | 4.33        | 4.42                     | 4.01                    |

ตารางที่ 4.2.3 การทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 30 เซนติเมตร ของตัวเซนเซอร์แสง LDR1, LDR2 และ LDR3 ในทิศทางการส่องตรงกลาง , ส่องในทางทิศตะวันออก และ ส่องในทางทิศตะวันตก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ส่องตรงกลาง | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันออก | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันตก |
|----------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| LDR1           | 4.34        | 4.23                     | 4.01                    |
| LDR2           | 4.45        | 4.22                     | 4.35                    |
| LDR3           | 4.33        | 4.04                     | 4.41                    |

จากการทดลองทำให้ได้ทราบว่าค่าที่ฉายแสงจากไฟฉาย ณ ตำแหน่งต่างๆกันจะทำให้เห็นค่าที่ได้มามีความถูกต้องตามหลักที่ได้ทำการคิดและออกแบบเอาไว้ แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบ LDR ในแต่ละช่วงนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ถ้าต้องการทดลองความแตกต่างกันของค่าที่ได้ออกจาก LDR แต่ละตัวจึงต้องแบ่งระยะการวางของ LDR แต่ละตัวออกในระยะที่เท่ากัน และสามารถรับแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ค่าที่ออกมาเกิดความแตกต่าง จึงได้ทำการทดลองครั้งที่ 3

### 4.3 การทดลองความถูกต้องแม่นยำของ LDR ครั้งที่ 3

ทำการทดลอง LDR ณ เวลาเที่ยง ในแนววางขนานกับพื้นโลกโดยทำการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4.3 และทำการบันทึกค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.3.1



ภาพที่ 4.3 แสดงการทดลอง LDR ณ เวลาเที่ยง วางขนานกับพื้นโลก

ตารางที่ 4.3.1 การทดลอง LDR ณ เวลาเที่ยง วางขนานกับพื้นโลก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ณ เวลาเที่ยง |
|----------------|--------------|
| LDR1           | 4.986        |
| LDR2           | 4.991        |
| LDR3           | 4.967        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองตอนฟ้ามีเมฆมาก ตอนฟ้าโปร่ง และตอนฟ้ามีดครึ้ม

ในการทดลองจะใช้วิธีการวัดค่าโวลต์และกระแสที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ตอนที่ LDR เคลื่อนที่เข้าหาแสงอาทิตย์เพื่อที่จะได้กระแสสูงสุดเพื่อที่จะทำการชาร์จแบตเตอรี่ เนื่องจากสภาพอากาศแต่ละวันไม่เหมือนกัน บางวันอาจมีเมฆมาก บางวันอาจฝนตก บางวันฟ้าโปร่ง จะได้ค่าตามตารางดังนี้

ตาราง 4.4.1 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้ามีเมฆมาก

| TIME(Hr) | V(DC) | I(A)  |
|----------|-------|-------|
| 8.00     | 19.82 | 0.363 |
| 9.00     | 20.74 | 0.584 |
| 10.00    | 21.52 | 1.013 |
| 11.00    | 21.80 | 4.213 |
| 12.00    | 22.46 | 5.416 |
| 13.00    | 22.35 | 5.322 |
| 14.00    | 21.72 | 4.134 |
| 15.00    | 21.40 | 0.988 |
| 16.00    | 20.73 | 0.572 |
| 17.00    | 18.22 | 0.323 |

ตาราง 4.4.2 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้าโปร่ง

| TIME(Hr) | V(DC) | I(A)  |
|----------|-------|-------|
| 8.00     | 20.42 | 4.363 |
| 9.00     | 20.89 | 4.584 |
| 10.00    | 21.72 | 5.013 |
| 11.00    | 21.96 | 6.213 |
| 12.00    | 22.69 | 7.416 |
| 13.00    | 22.34 | 6.322 |
| 14.00    | 21.84 | 5.134 |
| 15.00    | 21.78 | 4.988 |
| 16.00    | 20.82 | 4.572 |
| 17.00    | 20.53 | 4.323 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.4.3 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้าครึ้ม

| TIME(Hr) | V(DC) | I(A)  |
|----------|-------|-------|
| 8.00     | 19.82 | 1.363 |
| 9.00     | 20.74 | 1.584 |
| 10.00    | 21.52 | 2.013 |
| 11.00    | 21.86 | 3.213 |
| 12.00    | 22.46 | 3.416 |
| 13.00    | 22.32 | 3.322 |
| 14.00    | 21.56 | 2.134 |
| 15.00    | 21.22 | 1.988 |
| 16.00    | 19.73 | 1.572 |
| 17.00    | 18.22 | 1.323 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้โซลาร์เซลล์หันตามหาแสงอาทิตย์และทำให้เกิดกระแสมากที่สุดเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ จากการทดลองของแต่ละวัน ค่ากระแสที่ได้จะแปรผันตรงกับความเข้มของแสงที่ได้จากดวงอาทิตย์ ถ้าความเข้มแสงมากกระแสก็จะมากขึ้นด้วยแล้วก็นำมาชาร์จแบตเตอรี่ได้เร็วขึ้นด้วย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาการควบคุมแผ่นโซลาร์เซลล์ให้เคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์นั้น สามารถพัฒนาได้โดยการเพิ่มขนาดของแผงโซลาร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อที่จะได้รับพลังงานได้มากขึ้น และปรับค่าในการใช้ LDR หนึ่งชิ้น เพื่อที่จะทำให้แผงโซลาร์เซลล์ไม่แกว่ง และได้รับค่ากระแสที่ได้มากขึ้น หรือการใช้ MOTOR DC ที่มีขนาดรอบต่ำๆ

## บรรณานุกรม

วิศรุต ศรีรัตน์นะ “เซนเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์ ในงาน อุตสาหกรรม”

Smart Learning “การประยุกต์ใช้งาน PIC ในบอร์ด Arduino ด้วยภาษา C++”

Smart Learning “Micro Controller Learning by Doing”

วิธีเลือกใช้งาน Solar Cell [Online]

Available : [http://www.nsthai.com/howtobuy\\_solar.htm](http://www.nsthai.com/howtobuy_solar.htm)

หลักการการทำงานของ Solar Cell [Online]

Available : <http://www.bankoksolar.com/th/products/detail.php?id=113&System>

การใช้งานของบอร์ด Arduino [Online]

Available : <http://www.arduitronics.com/article/installing-driver-arduino-on-window>

## ภาคผนวก

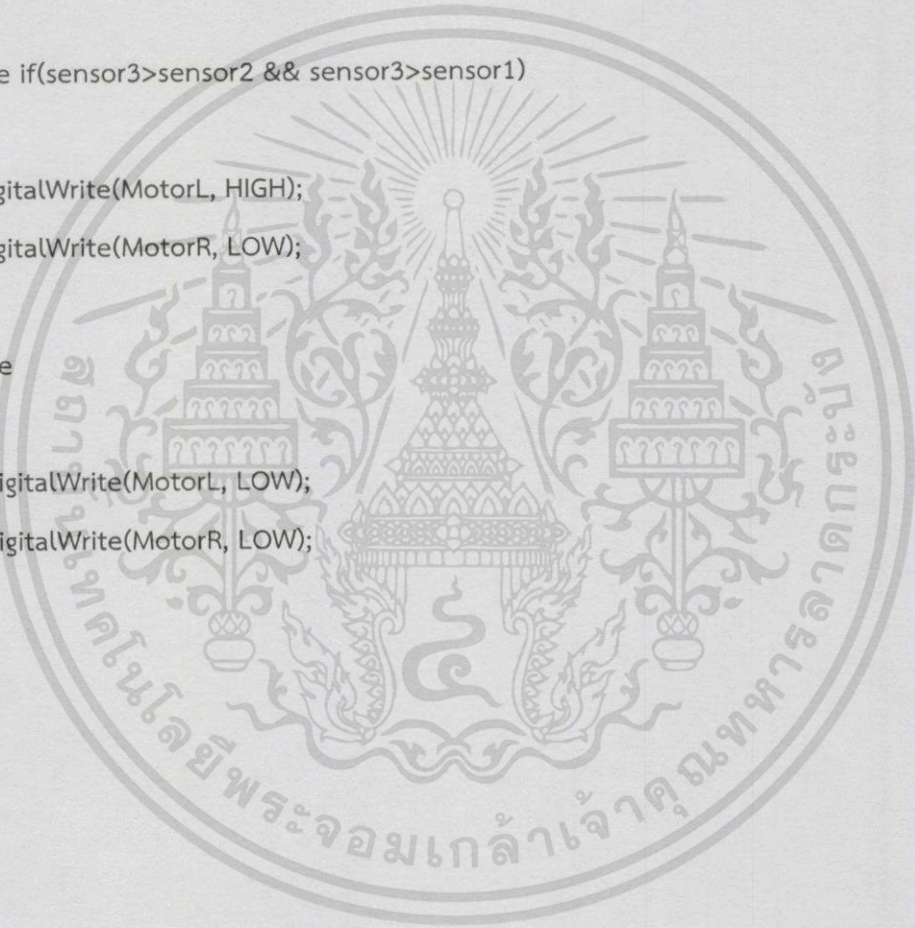
โปรแกรมภาษา C++ ควบคุมการทำงานของ PIC

### Code Program

```
#define MotorL 10
#define MotorR 13
#define S0 0
#define S1 1
#define S2 2
int val0=0,val1=0,val2=0,i=0,j=0,k=0;
int sensor1,sensor2,sensor3;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(MotorL,OUTPUT);
  pinMode(MotorR,OUTPUT);
}
void loop()
{
  sensor1 = analogRead(A0);
  sensor2 = analogRead(A1);
  sensor3 = analogRead(A2);
  Serial.println(sensor1);
  Serial.println(sensor1);
```

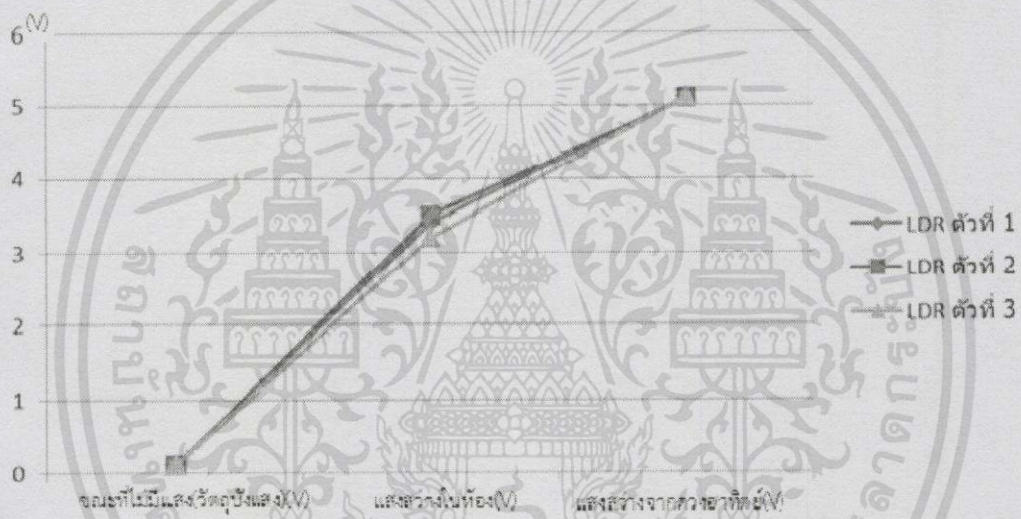
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Serial.println(sensor1);  
if(sensor1>sensor2 && sensor1>sensor3)  
{  
  digitalWrite(MotorL, LOW);  
  digitalWrite(MotorR, HIGH);  
}  
else if(sensor3>sensor2 && sensor3>sensor1)  
{  
  digitalWrite(MotorL, HIGH);  
  digitalWrite(MotorR, LOW);  
}  
else  
{  
  digitalWrite(MotorL, LOW);  
  digitalWrite(MotorR, LOW);  
}  
}
```



ตารางที่ 1 การทดลอง LDR แต่ละตัวขณะที่ไม่มีแสง(วัตถุบังแสง) แสงสว่างในห้องและจากดวงอาทิตย์

| การทดสอบ LDR | ขณะที่ไม่มีแสง(วัตถุบังแสง)(V) | แสงสว่างในห้อง(V) | แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (V) |
|--------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------|
| LDR ตัวที่ 1 | 0.123                          | 3.4               | 5.11                      |
| LDR ตัวที่ 2 | 0.114                          | 3.5               | 5.09                      |
| LDR ตัวที่ 3 | 0.124                          | 3.2               | 5.12                      |



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ voltage ของ LDR แต่ละตัวในแต่ละสถานที่

**ตารางที่2** การทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 10 เซนติเมตร ของตัวเซนเซอร์แสง LDR1 , LDR2 และ LDR3 ในทิศทางการส่องตรงกลาง , ส่องในทางทิศตะวันออก และ ส่องในทางทิศตะวันตก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ส่องตรงกลาง | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันออก | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันตก |
|----------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| LDR1           | 4.32        | 4.18                     | 4.24                    |
| LDR2           | 4.36        | 4.22                     | 4.37                    |
| LDR3           | 4.31        | 4.31                     | 4.45                    |

**ตารางที่3** การทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 20 เซนติเมตร ของตัวเซนเซอร์แสง LDR1 , LDR2 และ LDR3 ในทิศทางการส่องตรงกลาง , ส่องในทางทิศตะวันออก และ ส่องในทางทิศตะวันตก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ส่องตรงกลาง | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันออก | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันตก |
|----------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| LDR1           | 4.30        | 3.98                     | 4.42                    |
| LDR2           | 4.54        | 3.97                     | 4.32                    |
| LDR3           | 4.33        | 4.42                     | 4.01                    |

**ตารางที่4** การทดลองใช้ไฟฉายส่องที่ระยะประมาณ 30 เซนติเมตร ของตัวเซนเซอร์แสง LDR1, LDR2 และ LDR3 ในทิศทางการส่องตรงกลาง , ส่องในทางทิศตะวันออก และ ส่องในทางทิศตะวันตก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ส่องตรงกลาง | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันออก | ส่องในทางทิศ<br>ตะวันตก |
|----------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| LDR1           | 4.34        | 4.23                     | 4.01                    |
| LDR2           | 4.45        | 4.22                     | 4.35                    |
| LDR3           | 4.33        | 4.04                     | 4.41                    |

**ตารางที่5** การทดลอง LDR ณ เวลาเที่ยง วางขนานกับพื้นโลก

| ตัวเซนเซอร์แสง | ณ เวลาเที่ยง |
|----------------|--------------|
| LDR1           | 4.986        |
| LDR2           | 4.991        |
| LDR3           | 4.967        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้ามีเมฆมาก

| TIME(Hr) | V(DC) | I(A)  |
|----------|-------|-------|
| 8.00     | 19.82 | 0.363 |
| 9.00     | 20.74 | 0.584 |
| 10.00    | 21.52 | 1.013 |
| 11.00    | 21.80 | 4.213 |
| 12.00    | 22.46 | 5.416 |
| 13.00    | 22.35 | 5.322 |
| 14.00    | 21.72 | 4.134 |
| 15.00    | 21.40 | 0.988 |
| 16.00    | 20.73 | 0.572 |
| 17.00    | 18.22 | 0.323 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้าโปร่ง

| TIME(Hr) | V(DC) | I(A)  |
|----------|-------|-------|
| 8.00     | 20.42 | 4.363 |
| 9.00     | 20.89 | 4.584 |
| 10.00    | 21.72 | 5.013 |
| 11.00    | 21.96 | 6.213 |
| 12.00    | 22.69 | 7.416 |
| 13.00    | 22.34 | 6.322 |
| 14.00    | 21.84 | 5.134 |
| 15.00    | 21.78 | 4.988 |
| 16.00    | 20.82 | 4.572 |
| 17.00    | 20.53 | 4.323 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ตารางแสดงการทดลองตอนฟ้าครึ้ม

| TIME(Hr) | V(DC) | I(A)  |
|----------|-------|-------|
| 8.00     | 19.82 | 1.363 |
| 9.00     | 20.74 | 1.584 |
| 10.00    | 21.52 | 2.013 |
| 11.00    | 21.86 | 3.213 |
| 12.00    | 22.46 | 3.416 |
| 13.00    | 22.32 | 3.322 |
| 14.00    | 21.56 | 2.134 |
| 15.00    | 21.22 | 1.988 |
| 16.00    | 19.73 | 1.572 |
| 17.00    | 18.22 | 1.323 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้