

เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์
THE SOLAR PANEL CONTROL ROTATE ACCORDING TO
THE DIRECTION OF THE SUN



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE SOLAR PANEL CONTROL ROTATE ACCORDING TO
THE DIRECTION OF THE SUN



Thanyathorn Khajornklin
Pichayud Tongsuksomboon
Kanokpon Sangsuwimol

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์
THE SOLAR PANEL CONTROL ROTATE ACCORDING TO THE
DIRECTION OF THE SUN

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธัญญธรณ์ ขจรกลิ่น รหัสนักศึกษา 64015064
นายพิชญุตม์ ทองสุขสมบูรณ์ รหัสนักศึกษา 64015100
นางกนกพล แสงสุวิมล รหัสนักศึกษา 64015002

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2566

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.สาท คำมูล ผศ.ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ THE SOLAR PANEL CONTROL ROTATE ACCORDING TO THE DIRECTION OF THE SUN		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธัญธรณ์ ขจรกลีน	รหัสนักศึกษา	64015064
	นายพิชญุตม์ ทองสุขสมบูรณ์	รหัสนักศึกษา	64015100
	นางกนกพล แสงสุวิมล	รหัสนักศึกษา	64015002
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สาท คำมูล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วิวัฒน์		
ปีการศึกษา	2566		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา โครงการเครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ โดยที่เราจะทำการออกแบบให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถหมุนหาทิศทางแสงอาทิตย์ได้โดยอัตโนมัติ โดยที่เรานั้นจะใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบที่มีเซนเซอร์ติดอยู่กับแผง ดังนั้นเราจะใช้วงจร Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์เพื่อหมุนปรับทิศทางของแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางของแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับพลังงานได้อย่างเต็มรูปแบบและคุ้มค่าที่สุด ในส่วนของเครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์จะประกอบไปด้วยวงจรที่สำคัญ ได้แก่ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ วงจร Arduino Uno R3 และวงจร Module L298N for Arduino

Thesis Title	THE SOLAR PANEL CONTROL ROTATE ACCORDING TO THE DIRECTION OF THE SUN
Authors	Mr.Thanyathorn Khajornklin Mr.Pichayud Tongsuksomboon Mr.Kanokpon Sangsuwimol
Thesis Advisor	Asst.Sart Kummool
Co Advisor	Asst.Prof.Dr.Narin Tammarugwattana
Year	2023

ABSTRACT

This thesis is a study. Project of a solar panel controller that rotates according to the direction of sunlight. We will design the solar panel to automatically rotate to find the direction of sunlight. In which we will use a solar panel with a sensor attached to the panel. Therefore, we will use the Arduino Uno R3 circuit to control the operation of the motor to adjust the direction of the solar panel according to the direction of the sunlight in order to get full power and the most cost-effective. As for the solar panel controller, it consists of important circuits such as a battery charger circuit, an Arduino Uno R3 circuit, and a Module L298N for Arduino circuit, which we will add to the automatic solar panel cleaning system. For the convenience of cleaning the solar panel.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สาท คำมูล และ ผศ.ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒน์ ที่ช่วยแนะนำจัดหาและสอน สิ่งในเนื้อหาวิชาการรวมถึงสิ่งสำคัญอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยัง เอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมเนื้อหาวิชาการและถ่ายทอด ประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า อันเป็นประโยชน์ต่อการทำ ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้และที่ลืมเสียไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่รักและ เคารพยิ่ง ที่ช่วยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนประสบผลสำเร็จ เช่นนี้ได้

คุณค่าและคุณประโยชน์จากการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้โครงการชิ้นนี้ประสบผลสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญ (ต่อ).....	V
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป.....	IX
สารบัญรูป (ต่อ).....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การโคจรของดวงอาทิตย์.....	3
2.2 แผงโซล่าเซลล์ (Solar cell panel)	5
2.2.1 ความหมายของโซล่าเซลล์	5
2.2.2 หลักการทำงาน.....	6
2.2.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน Crystalline Silicon (c-Si)....	6
2.2.3.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน	7
2.2.3.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน	7
2.2.4 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.2.5 การใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.2.6 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6.1 ความเข้มของแสง.....	9
2.2.6.2 อุณหภูมิ.....	10
2.3 LDR.....	10
2.3.1 คุณสมบัติของ Light Dependent Resistor (LDR)	11
2.3.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ LDR	11
2.3.1.2 คุณสมบัติทางแสงของ LDR	12
2.3.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ LDR.....	12
2.3.2 การเทียบวัดค่าความสว่าง.....	12
2.4 เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง (DC Servo Motor).....	13
2.4.1 ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	14
2.4.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator).....	14
2.4.1.2 ส่วนที่หมุนของมอเตอร์หรือที่เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor).....	14
2.4.1.3 ระบบควบคุมป้อนกลับ	14
2.4.2 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.4.3 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์	15
2.4.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ 180 องศา.....	15
2.4.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ 360 องศา.....	15
2.4.4 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	15
2.4.5 ข้อดีและข้อเสีย.....	16
2.5 Arduino UNO R3	16
2.6 เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (โซล่าชาร์จคอนโทรลเลอร์).....	17
2.7 Switching Power Supply.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ฟันเฟือง.....	19
2.8.1 หน้าที่ของฟันเฟือง.....	19
2.8.2 อัตราทดเกียร์.....	19
2.8.3 รูปแบบการต่อเกียร์.....	19
2.9 ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Adjustable Resistor).....	20
2.10 หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA).....	21
2.10.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีพิจารณาปัจจัยเดียว.....	21
2.10.2 สร้างขอบเขตของการตัดสินใจ.....	22
2.10.3 เลือกวิธีการทางสถิติ/ตัวสถิติที่เหมาะสม.....	22
2.10.4 กำหนดบริเวณวิกฤตของการแจกแจง F.....	22
2.10.5 คำนวณค่าสถิติ F_0 ด้วยตาราง ANOVA.....	22
2.10.6 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน.....	23
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 โครงสร้างและอุปกรณ์.....	24
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	25
3.3 การออกแบบวงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์.....	26
3.4 การเขียนภาษา C# ลงในโปรแกรม Arduino.....	27
3.5 ทำชุดทดลองขนาดเล็กสำหรับทดสอบและเก็บข้อมูล.....	28
3.6 สร้างชิ้นงาน.....	29
3.6.1 LDR Holder.....	29
3.6.2 ออกแบบโครงสร้างของชิ้นงาน.....	30
3.6.3 ทำโครงสร้างชิ้นงาน.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลอง	34
4.1 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LDR Sensor	34
4.2 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์	36
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม.....	48
ภาคผนวก ก.....	49
ภาคผนวก ข.....	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.10.1 ตาราง ANOVA กรณีขนาดตัวอย่างเท่ากัน	22
2.10.2 ตาราง ANOVA กรณีขนาดตัวอย่างไม่เท่ากัน	23
3.1.1 วิสตุและอุปกรณั.....	24
4.1.1 การวัดค่าแรงดันตกคร่อมจาก เซนเซอร์ LDR แบบค้นหาแสง	34
4.2.1 การวัดค่าพลังงานจากโซล่าเซลล์ วางขนานกับพื้น วันที่ท้องฟ้าเปิด.....	36
4.2.2 การวัดค่าพลังงานจากโซล่าเซลล์ วางทำมุม 15 องศาใต้ วันที่ท้องฟ้าเปิด	37
4.2.3 การวัดค่าพลังงานจากโซล่าเซลล์แบบหมุนตามทิศทางแสง วันที่ท้องฟ้าเปิด.....	38
4.2.4 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากการตั้งแผงโซล่าเซลล์ทั้งสามแบบ.....	39
4.2.5 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจากการทดลองวัดแผงโซล่าเซลล์รูปแบบต่างๆ	40
4.2.6 การวัดค่าพลังงานจากโซล่าเซลล์แบบหมุนตามทิศทางแสง วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม	41
4.2.7 การวัดค่าพลังงานจากโซล่าเซลล์แบบหมุนตามทิศทางแสง วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม2	42
4.2.8 การวัดค่าพลังงานจากโซล่าเซลล์แบบหมุนตามทิศทางแสง วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม3	43
4.3.1 ตารางANOVA.....	45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	3
2.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์.....	4
2.3 แผ่นโซลาร์เซลล์.....	5
2.4 Single Crystalline Silicon Solar Cell (c-Si).....	6
2.5 Polycrystalline Silicon Solar Cell(pc-Si).....	7
2.6 Amorphous Silicon Solar Cell(a-Si).....	7
2.7 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.8 โครงสร้างของ LDR.....	10
2.9 LDR แบบธรรมดา และ LDR แบบกันน้ำ.....	11
2.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง.....	11
2.11 กราฟแสดงความไวของ LDR ที่ความยาวคลื่น 550-650 นาโนเมตร.....	12
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและความต้านทานของ LDR.....	13
2.13 DC Servo motor.....	13
2.14 แสดงส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์.....	14
2.15 Arduino UNO R3.....	16
2.16 โซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์.....	17
2.17 Switching Power Supply.....	18
2.18 ชุดเกียร์ในรถยนต์.....	20
2.19 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้.....	20
2.20 บริเวณแจกแจงF.....	23
3.1 Flow Chart แสดงวิธีการดำเนินงาน.....	24
3.2 วงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์.....	25
3.3 ภาษา C# ของ Arduino.....	26
3.4 ตำแหน่ง LDR Sensor และ ตัวแปรที่กำหนดเอาไว้.....	26
3.5 ชุดทดลองขนาดเล็ก.....	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 ข้อมูล LDR Sensor.....	29
3.7 ออกแบบ LDR Holder ใน Auto cap	30
3.8 ออกแบบโครงสร้างของชิ้นงานใน Auto cap.....	30
3.9 วัดและตัดอลูมิเนียมโปรไฟล์	31
3.10 ทำการประกอบตามแบบที่วางเอาไว้.....	31
3.11 ติดตั้งตั้บลูกปืนและแผงโซล่าเซลล์	32
3.12 ติดตั้งอุปกรณ์ที่เหลือเข้าโครงสร้างชิ้นงาน	32
3.13 เตรียมพร้อมวงจรควบคุม	33
3.14 ติดตั้งวงจรเข้าโครงสร้างของชิ้นงาน	33
4.1 ติดตามแสงด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก	35
4.2 แผงโซล่าเซลล์วางขนานกับพื้นโลก วันที่ท้องฟ้าเปิด	36
4.3 แผงโซล่าเซลล์วางในมุม 15 องศาได้ วันที่ท้องฟ้าเปิด	37
4.4 แผงโซล่าเซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิด	38
4.5 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า.....	40
4.6 แผงโซล่าเซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม.....	41
4.7 แผงโซล่าเซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม2	42
4.8 แผงโซล่าเซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม3	43
4.9 บริเวณแจกแจงF ของการการวัดพลังแผงโซล่าเซลล์ทั้งสามแบบ	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประชากรทั้งภายในและภายนอกประเทศต่างก็ใช้พลังงานมากขึ้น หากอัตราการใช้พลังงานยังเพิ่มสูงขึ้นแบบนี้ จะส่งผลกระทบต่อทั้งงบประมาณและสภาพแวดล้อมของธรรมชาติ การนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานเชื้อเพลิงสะอาดที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้งานให้เกิดประโยชน์และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเลือกใช้สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เราเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solacell) เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานเพิ่มเติมจากแหล่งพลังงานอื่นๆ ที่จะลดน้อยลงและมีราคาสูงขึ้นในอนาคต โซลาร์เซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานธรรมชาติอย่างพลังงานแสงอาทิตย์ให้มาอยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าได้ โดยที่สามารถนำพลังงานไฟฟ้านั้นมาใช้งานได้ทันทีหรือเก็บสะสมไว้ในรูปแบบแบตเตอรี่เพื่อใช้ภายหลังก็ได้เช่นกัน ผู้ประกอบการจึงหันมาติดตั้งโซลาร์เซลล์ โรงงาน และสถานประกอบการกันมากขึ้น เพราะตอบโจทย์เรื่องความสะดวกสบายต่อการใช้งาน การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ เป็นระบบพลังงานไฟฟ้าทดแทนที่ได้รับความนิยมสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน เพราะวิถีชีวิต การทำงาน หรือ การใช้ชีวิตที่เปลี่ยนไปเช่นต้องอยู่บ้านมากขึ้น เป็นเหตุให้ต้องเสียค่าไฟที่สูงขึ้นหลายเท่า ทำให้ทุกคนต่างมองหาวิธีการประหยัด และ การลดค่าไฟในระยะยาวด้วยการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ ปัญหาของการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มของแสงที่ไม่สูงพอ รังสีดวงอาทิตย์ไม่มีตลอดเวลา

คณะผู้จัดทำจึงเห็นปัญหาในเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์จึงได้คิดและออกแบบวิธีควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและเลือกที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านการรับแสง โดยพิจารณาจากการแผ่รังสีบนพื้นราบและพื้นเอียง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อสร้างเครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์โดยกำหนดให้หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาการทำงานของ Servo motor
3. เพื่อศึกษาการทำงานของ LDR sensor

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. สามารถออกแบบกลไกให้แสงดวงอาทิตย์ควบคุมการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์
2. ทำการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบทั้งหมดและทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์
3. สามารถสร้างอุปกรณ์สำเร็จและนำไปต่อยอดได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของบอร์ด Arduino uno
2. ศึกษาเงื่อนไขการทำงานของภาษา C ใน Arduino IDE
3. ศึกษาข้อมูลและการทำงานของ LDR sensor Servo motor
4. ศึกษาข้อมูลและการทำงานของ Servo motor
5. ออกแบบวงจรควบคุมคู่กับการเขียนโค้ดใน Arduino IDE
6. สร้างแบบจำลองขนาดเล็กเพื่อเก็บข้อมูลว่าสามารถทำงานตามความคาดหวังได้หรือไม่
7. เก็บข้อมูลบางส่วนจากชิ้นงานตัวทดลองและแก้ไขตรงที่มีปัญหา
8. ออกแบบโครงสร้างของชิ้นงาน และกลไกในการหมุนของตัวชิ้นงาน
9. ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด
10. ทดสอบตัวชิ้นงานและบันทึกผลลัพธ์
11. สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

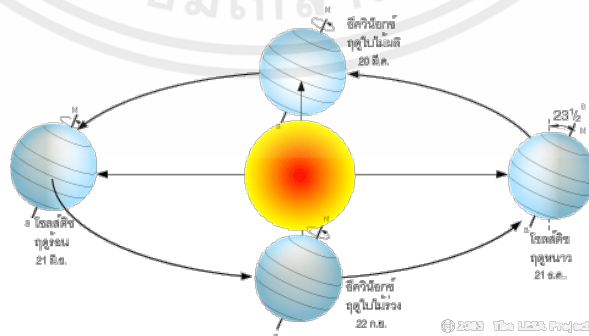
1. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ในระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้อีก
2. ได้ความรู้และฝึกการใช้งานเกี่ยวกับ LDR sensor
3. ได้ความรู้และฝึกการใช้งานเกี่ยวกับ Servo motor

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การโคจรของดวงอาทิตย์

ปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของดวงอาทิตย์ คือ การที่มีกลุ่มจุดเกิดขึ้น กลุ่มจุดเหล่านี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วก็มีการเปลี่ยนแปลง และในที่สุด จะสลายตัวหมดไป ขณะเดียวกันก็มีกลุ่มจุดใหม่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม กลุ่มจุดบนดวงอาทิตย์มีอายุอยู่นานพอ ที่จะใช้เป็นเครื่องติดตามสังเกตดูได้ว่า ดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเองเป็นรอบๆ เช่นเดียวกับที่โลกหมุนรอบตัวเองวันละรอบ ซึ่งดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่สำคัญที่เป็นแหล่งให้แสงสว่าง และพลังงาน อยู่ห่างจากโลกมากแต่ก็ทำให้โลกอบอุ่น การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทุกอย่างบนโลกขึ้นอยู่กับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่เป็นสำคัญ แกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศากับระนาบวงโคจรของดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศมีการเปลี่ยนแปลง เกิดฤดูกาลที่เหมาะสมขึ้น ความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสอากาศ และกระแสน้ำในมหาสมุทร ภูมิอากาศจากแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ ของโลก บริเวณที่ร้อนที่สุดของโลกได้แก่ บริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ทุกวัน ของโลก แต่ในเวลากลางคืนอากาศจะเย็นลงเล็กน้อย ส่วนบริเวณที่หนาวที่สุดของโลกได้แก่ บริเวณที่อยู่รอบๆ ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ ซึ่งไม่เคยรับแสงอาทิตย์โดยตรงแม้เป็นเวลาเที่ยงก็ตาม ดังนั้นบริเวณที่อยู่รอบๆ ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ซึ่งไม่เคยรับแสงอาทิตย์โดยตรงแม้เป็นเวลาเที่ยงวันก็ตาม ดังนั้นบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงเป็นเขตที่มีภูมิอากาศร้อนและมีฝนตกชุก ในแต่ละวันจะมีอากาศร้อนและความกดอากาศโดยทั่วไปต่ำ ความร้อนจากแสงแดดทำให้น้ำระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเมฆและมีฝนตกในตอนบ่าย ส่วนบริเวณที่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรทั้งเหนือและใต้จะมีอากาศแห้งแล้ง



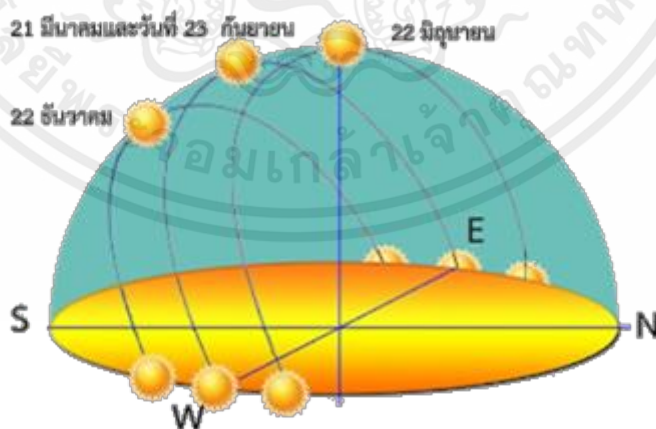
รูปที่ 2.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.) วันที่ 21-22 มิถุนายน โลกหันไปทางขั้วโลกเหนือเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด นั่นจึงเป็นวันเริ่มต้นฤดูร้อนของซีกโลกเหนือ ช่วงเวลากลางวันยาวกว่ากลางคืน
- 2.) วันที่ 22-23 กันยายน โลกหันไปทางบริเวณศูนย์สูตรเข้าหาดวงอาทิตย์พอดี ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นฤดูใบไม้ร่วง ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนยาวเท่ากัน
- 3.) วันที่ 21-22 ธันวาคม โลกหันไปทางขั้วโลกเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด จึงเป็นวันเริ่มต้นฤดูหนาวของซีกโลกเหนือ ช่วงเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน
- 4.) วันที่ 20-21 มีนาคม โลกหันไปทางบริเวณศูนย์สูตรเข้าหาดวงอาทิตย์พอดี เป็นช่วงเริ่มต้นฤดูใบไม้ผลิ ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนยาวเท่ากัน

การที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในรูปแบบลักษณะที่แกนโลกเอียง ทำให้ตำแหน่งขึ้นและตกของดวงอาทิตย์นั้น เปลี่ยนแปลงอย่างเป็นวัฏจักร ดังนี้

- 1.) วันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์ขึ้นจะตรงกับทิศตะวันออกเฉียงใต้และตกพอดีตรงกับทิศตะวันตก แต่ตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ขึ้นในแต่ละวัน จะเลื่อนไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทางเหนือ
- 2.) วันที่ 21 มิถุนายน ดวงอาทิตย์ขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทางเหนือโดยประมาณ 23.5 องศา หลังจากนั้น ตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ขึ้นในแต่ละวันจะกลับไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้
- 3.) วันที่ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์ขึ้นไปตรงกับทิศตะวันออกเฉียงใต้อีกครั้ง ตำแหน่งที่ขึ้นในแต่ละวันจะเลื่อนไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้
- 4.) วันที่ 22 ธันวาคม ดวงอาทิตย์ขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 23.5 องศา แล้วเริ่มเคลื่อนกลับไปยังทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

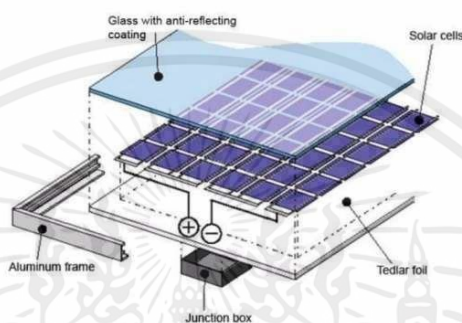


รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar cell panel)

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ และที่หลายๆคนรู้จักในชื่อ เซลล์โฟโตโวลตาอิก Photovoltaic cell เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar Cell) โดยพลังงานกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์นั้น เป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือ (DC) ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที



รูปที่ 2.3 แผงโซลาร์เซลล์

2.2.1 ความหมายของโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์นั้น จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) ซึ่งเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันทีรวมทั้งสามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลังได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและไม่สร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมและไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Co₂) เหมือนกับแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น น้ำมัน, โรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตจากก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่มีวันหมดไปเซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ.1954 โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียสัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น (P-N) แบบใหม่โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้วในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไป โคจรในอวกาศ ต่อมามีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลกมากขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรก ๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาๆ ปัจจุบัน มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำ เงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อ ความสวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่า อิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่า โฮล) ซึ่งอยู่ในภายในโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ เป็นต้น) ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

2.2.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ ได้แก่



รูปที่ 2.4 Single Crystalline Silicon Solar Cell (c-Si)

2.2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน Crystalline Silicon (c-Si)

ซิลิคอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาสูงที่สุดเนื่องจากซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถลงได้จากหินและทราย ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก



รูปที่ 2.5 Polycrystalline Silicon Solar Cell(pc-Si)

2.2.3.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน

ในการที่จะลดต้นทุนการผลิตของ c-Si จึงทำให้เกิดการพัฒนาในด้านเทคโนโลยีของ pc-Si ขึ้น เป็นผลให้ต้นทุนของการผลิตของ pc-Si ต่ำกว่า c-Si ร้อยละ 10 ในขณะที่เทคโนโลยี pc-Si ก็ได้รับ ความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน



รูปที่ 2.6 Amorphous Silicon Solar Cell(a-Si)

2.2.3.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นเดียวกัน แต่ว่าจะไม่เป็นผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้มันเกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมันมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองในเรื่องของ วัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และ ข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อ PN ของสารกึ่งนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างโซลาร์เซลล์ โดยนำซิลิคอนมาถลุง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อ PN โดยจะเติมสารเจือฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N เพราะฟอสฟอรัสมีสมบัตินำไฟฟ้าด้วย อิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ และเมื่อเติมสารเจือโบรอน ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P เพราะโบรอนนำไฟฟ้าด้วยโฮลจึงมีประจุบวก เพราะฉะนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มาต่อกัน จะเกิดรอยต่อ PN ขึ้น



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน มีรูปร่างหลายแบบ มีทั้งแบบแผ่นวงกลม หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ด้านผิวฝั่งที่รับแสงอาทิตย์จะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีรูปลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

2.2.5 การใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่รอยต่อ PN ของสารกึ่งตัวนำซึ่งวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกได้แก่ ซิลิคอน ซึ่งถลุงได้จากควอตไซต์ หรือทรายและผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ด้านละ 5 นิ้ว) มีความหนา 200 - 400 ไมครอน (ประมาณ 0.2 - 0.4 มิลลิเมตร) และต้องนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูง (ประมาณ 1000C) เพื่อสร้างรอยต่อ P-N ขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มหน้าส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายก้างปลาเมื่อมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์ตกกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ และประจุบวก ขึ้น ซึ่งได้แก่อิเล็กตรอนและโฮลโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสองเมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เช่น หลอดแสงสว่าง มอเตอร์ เป็นต้น)ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรสลับก่อน) เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้วจะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3 แอมแปร์และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.5 โวลต์ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามาก ๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อขนานกันหรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันสูง ๆ ก็นำเซลล์มาต่ออนุกรมกันเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายในท้องตลาดจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมสีเหลืองผิมน้ำซึ่งเรียกว่า แผง หรือ โมดูล เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการนำไปจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อน ถ้าจ่ายไฟฟ้าให้เฉพาะเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในเวลากลางวัน เช่น หลอดแสงสว่างกระแสตรงสามารถต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง ถ้าจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในเวลากลางวัน เช่น ตู้เย็นเครื่องปรับอากาศในระบบจะต้องมีอินเวอร์เตอร์ด้วย ถ้าต้องการใช้ไฟฟ้าในเวลากลางคืนด้วยจะต้องมีแบตเตอรี่เข้ามาใช้ในระบบด้วย

2.2.6 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

2.2.6.1 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีมาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า 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 ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงอีกด้วย

2.3 LDR

LDR หรือ เซนเซอร์และโมดูลวัดความสว่าง ซึ่งเราสามารถมองความเข้มแสงหรือความสว่างเป็นสัญญาณประเภทหนึ่งที่มีมนุษย์สามารถสัมผัสได้ด้วยดวงตา ความสว่างมีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) เป็นหน่วยที่ใช้วัดค่าความสว่าง (Illuminance) ต่อพื้นที่ หรือคิดเป็นลูเมนต่อตารางเมตร โดยในปกติความสว่างตามสถานที่ต่าง ๆ นั้นได้มาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน เช่น จากหลอดไฟ จากดวงอาทิตย์หรือแสงจากไฟในบริเวณข้างเคียง เป็นต้น ในทางปฏิบัติจะมีการกำหนดค่าความสว่างที่เหมาะสม กับการใช้งานในสถานที่นั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าไม่น้อยกว่า 50-500 ลักซ์



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ LDR

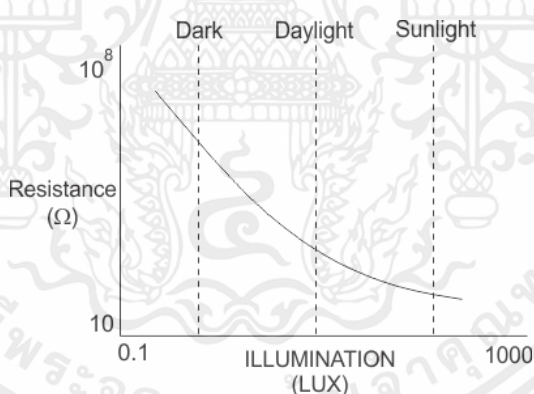


รูปที่ 2.9 LDR แบบธรรมดา และ LDR แบบกันน้ำ

ในรูปที่ 2.6 รูปร่างของ LDR ในส่วนขดที่เป็นแนวเล็กๆสีดำ ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำ จะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง สีทอง จะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอิเล็คโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และ อุปกรณ์ สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบด้วยกัน

2.3.1 คุณสมบัติของ Light Dependent Resistor (LDR)

ค่าความต้านทานในตัว LDR ระหว่างขั้วต่อทั้งสองก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มของ แสงที่มาตกกระทบ ความเข้มของแสงน้อย LDR มีค่าความต้านทานสูงและถ้าความเข้มของแสงมาก LDR ก็มีค่าความต้านทานต่ำ



รูปที่ 2.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง

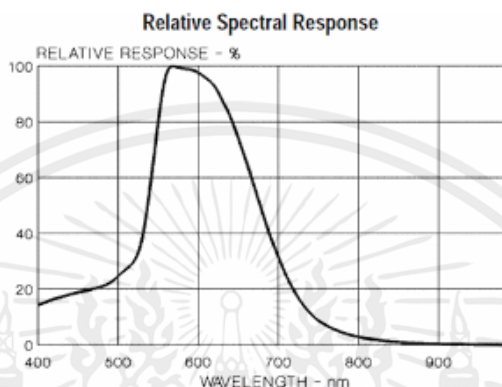
2.3.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ LDR

1. ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 10 lux ตัวต้านทานจะมีค่าประมาณ 10 – 15 kOhm
2. ตัวต้านทานที่มีผลการตอบสนองสูงสุดในช่วง 550-650 nm
3. กำลังงานที่แผ่กระจายออกไบนั้นสูงสุดที่ 35 mW
4. ผลการตอบสนองทางเวลาอยู่ที่ 35 ms
5. ใช้งานได้ที่อุณหภูมิ -30 ถึง 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 คุณสมบัติทางแสงของ LDR

LDR ไวต่อแสงในช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10 ยกกำลังลบเก้าเมตร) ซึ่งครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตาคน (400-700 นาโนเมตร) นั่นคือ LDR ไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไส้ หรือ หลอดเรืองแสง และยังไวต่อพวกแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป)



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความไวของ LDR ที่ความยาวคลื่น 550-650 นาโนเมตร

2.3.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ LDR

ความต้านทานในขณะไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5 เมกะวัตต์ขึ้นไป และความต้านทานในขณะที่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์ ลงมาทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลต์ และทนกำลังไฟได้ประมาณ 50 มิลลิวัตต์

2.3.2 การเทียบวัดค่าความสว่าง

ในการใช้ไมโครวัดความสว่างด้วยเซนเซอร์ LDR นี้ เพื่อให้การอ่านค่าของความสว่าง (ที่มีหน่วยเป็นลักซ์) ได้อย่างถูกต้อง เราควรจะทำ การเทียบวัดค่า (calibration) เสียก่อน โดยหลักการเทียบวัดนั้น จะเริ่มจากการใช้เซนเซอร์อ่านค่าแสงที่ทราบค่าของความสว่าง ซึ่งอาจจะวัดโดยใช้ลักซ์มิเตอร์วัดเปรียบเทียบ ตัวอย่างผลการทดลองกับ LDR ตัวหนึ่งแสดงในตารางที่ 2.12 และพล็อตเป็นกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.11

ค่าความสว่าง (lux)	ค่าความต้านทาน (Ohm)
1	11600
60	2840
310	1374
590	1060
1300	664
1770	546

รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและความต้านทานของ LDR

2.4 เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง (DC Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง (DC Servo Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของมัน (State) ไม่ว่าจะเป็นระยะ ความเร็ว มุมการหมุน โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบในการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น การควบคุมความเร็ว (Speed), การควบคุมแรงบิด (Torque), การควบคุมแรงต้านตำแหน่ง (Position), ระยะทางในการเคลื่อนที่(หมุน) (Position Control) ของตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งมอเตอร์ทั่วไปนั้น ไม่สามารถที่จะควบคุมในลักษณะงานเบื้องต้นได้ โดยให้ผลลัพธ์ตามความต้องการที่มีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.13 DC Servo motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

2.4.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator)

ซึ่งมีขดลวดที่สร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่าน

2.4.1.2 ส่วนที่หมุนของมอเตอร์หรือที่เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor)

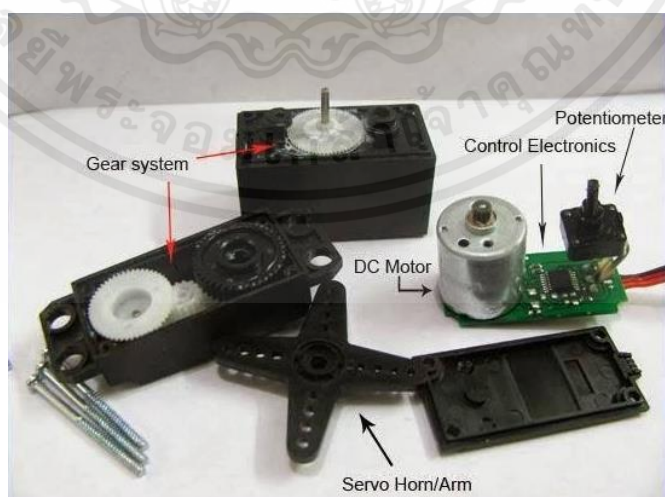
ซึ่งติดตั้งอยู่บนเพลลาและมีการออกแบบให้หมุนในสนามแม่เหล็กที่สร้างโดย สเตเตอร์

2.4.1.3 ระบบควบคุมป้อนกลับ

ใช้เพื่อตรวจสอบตำแหน่งหรือความเร็วของมอเตอร์ และปรับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์เพื่อรักษาตำแหน่งหรือความเร็วที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วระบบควบคุมนี้จะใช้เซ็นเซอร์ เช่น เอ็นโค้ดเดอร์ (encoder) หรือโพเทนซิโอมิเตอร์เพื่อให้ข้อมูลป้อนกลับไปยังตัวควบคุมเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงมักถูกใช้ในหลากหลายการใช้งาน เช่น วิทยาการหุ่นยนต์ระบบอัตโนมัติ และการผลิต ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมตำแหน่งหรือความเร็วอย่างแม่นยำ

2.4.2 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ 1.มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) 2. ชุดเฟืองทดรอบ (Gear system) 3. วอลุ่ม (Potentiometer หรือ VR) 4. วงจรควบคุม (Control Electronics)



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์เริ่มที่วงจรควบคุม เมื่อวงจรควบคุมได้รับข้อมูลองศาที่ต้องการมาแล้ว วงจรควบคุมจะคำนวณว่ามอเตอร์จะต้องหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ไปสู่องศาที่ต้องการได้ เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน ตัววอลุ่มที่ติดอยู่กับชุดเฟืองมอเตอร์จะตรวจสอบตำแหน่งที่มอเตอร์หมุนไป โดยหากวอลุ่มตรวจพบว่าตำแหน่งที่มอเตอร์หมุนเริ่มใกล้กับองศาที่ผู้ใช้กำหนด วงจรส่วนควบคุมจะเริ่มสั่งให้มอเตอร์หมุนช้าลงเพื่อให้หมุนเข้าใกล้องศาที่กำหนดได้มากที่สุด เมื่อมอเตอร์หมุนได้ตำแหน่งองศาที่ถูกต้องแล้ว วงจรส่วนควบคุมจะตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์เป็นระยะ ๆ โดยอ่านค่าจากวอลุ่ม หากตรวจพบว่าตำแหน่งผิดเพี้ยนไปจากค่าที่ตั้งไว้ (อันอาจเกิดจากผู้ใช้เอามือไปหมุนเล่น หรือภาระส่งผลให้ตำแหน่งเคลื่อน) วงจรควบคุมก็จะสั่งให้มอเตอร์หมุนกลับมาให้ได้ตำแหน่งเป็นระยะ ๆ

2.4.3 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.4.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ 180 องศา

เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่นิยมใช้งานทั่วไป มีหลายรุ่น หลายขนาด และหลายราคา สามารถควบคุมให้หมุนได้ตามองศาที่ต้องการ โดยหมุนได้ 0 ถึง 180 องศา (ในบางรุ่นหมุนได้สุดที่ประมาณ 200 องศา)

2.4.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ 360 องศา

เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่ส่วนใหญ่ดัดแปลงมาจากแบบ 180 องศา โดยดัดแปลงวงจรควบคุม และตัดแกนหรือนำเอาวอลุ่มออกเพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์สามารถหมุนได้ครบรอบ เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถควบคุมองศาได้ ควบคุมได้แค่ความเร็ว และทิศทางการหมุนเท่านั้น นิยมนำมาใช้เป็นมอเตอร์สำหรับบังคับ รถวิ่งตามเส้น เพราะอาศัยชุดเฟืองที่เซอร์โวมอเตอร์มีอยู่แล้ว ทำให้ได้แรงบิดที่มากกว่ามอเตอร์กระแสตรงปกติ รวมทั้งการควบคุมยังไม่ต้องใช้วงจรขับมอเตอร์แยก ทำให้ลดความยุ่งยากในการต่อวงจรไปได้มาก รวมทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย เซอร์โวมอเตอร์ชื่อรุ่นเดียวกัน แต่อาจจะมีทั้งชนิด 180 องศา และ 360 องศา จำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากในการเลือกซื้อ

2.4.4 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ถูกควบคุมโดยการควบคุมตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ ความกว้างของพัลส์ที่ใช้กับมอเตอร์นั้นแตกต่างกันไปและส่งไปตามระยะเวลาที่กำหนด

ความกว้างของพัลส์จะกำหนดตำแหน่งเชิงมุมของเซอร์โวมอเตอร์ เช่น ความกว้างของพัลส์ 1 มิลลิวินาที จะทำให้เกิดตำแหน่งเชิงมุม 0 องศา ในขณะที่เดียวกัน ถ้าความกว้างของพัลส์ 2 จะ มิลลิวินาทีทำให้เกิดความกว้างเชิงมุม 180 องศา

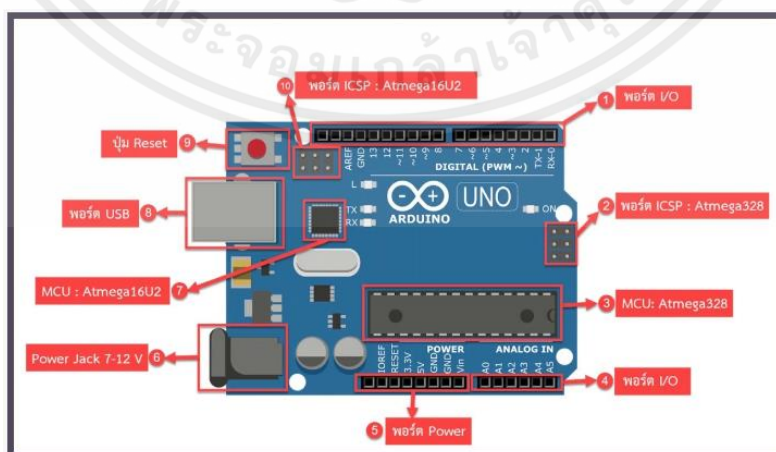
2.4.5 ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี หากมีภาระหนักวางอยู่บนมอเตอร์ใดเวอร์จะเพิ่มกระแสไปยังขดลวดของมอเตอร์ขณะพยายามหมุนมอเตอร์ ไม่มีเงื่อนไขนอกขั้นตอนสามารถใช้งานความเร็วสูงได้

ข้อเสีย เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์พยายามหมุนตามพัลส์คำสั่งแต่ล่าช้าจึงไม่เหมาะสมสำหรับการควบคุมการหมุนอย่างแม่นยำ ต้นทุนที่สูงขึ้น และเมื่อหยุดทำงานโรเตอร์ของมอเตอร์จะยังคงเคลื่อนที่ไปมาหนึ่งพัลส์ดังนั้นจึงไม่เหมาะหากต้องการป้องกันการสั่นสะเทือน

2.5 Arduino UNO R3

Arduino Uno R3 คำว่า Uno เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งแปลว่าหนึ่ง เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกที่เกิดออกมา มีขนาดประมาณ 68.6x53.4 mm. เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง และส่วนใหญ่โปรเจกต์และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือกรณีที่ MCU เสียผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย Arduino Uno R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP



รูปที่ 2.15 Arduino UNO R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.) I/O Port: 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
- 2.) ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
- 3.) MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
- 4.) I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
- 5.) Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
- 6.) Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
- 7.) MCU: ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2
- 8.) USB Port: ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับ Computer เพื่อใช้ในการอัปเดตโปรแกรมเข้า MCU และใช้จ่ายไฟให้กับตัวบอร์ด
- 9.) Reset Button: เป็นปุ่ม Reset เพื่อเริ่มการทำงานใหม่
- 10.) ICSP Port: ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

2.6 เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (โซล่าชาร์จคอนโทรลเลอร์)

เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ หรือก็คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวหนึ่งที่คอยควบคุมการประจุไฟจากแผงโซล่าให้กับแบตเตอรี่ ของระบบโซล่าเซลล์เพื่อเก็บกระแสมาใช้งานตามระบบที่เราออกแบบไว้ โดยทั่วไปแล้วชาร์จเจอร์มีหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เมื่อ แรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่มีระดับต่ำ และทำหน้าที่ตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อชาร์จแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่มี ส่วนทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ ยาวนานขึ้น



รูปที่ 2.16 โซล่าชาร์จคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ

- ควบคุมการทำงานด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ประสิทธิภาพสูง
- ตัวเครื่องมีระบบเลือกแรงดันไฟโดยอัตโนมัติ
- โหมดการทำงานหลากหลายฟังก์ชัน สามารถตั้งค่าเวลาการทำงาน
- ควบคุมการชาร์จด้วยระบบ PWM ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- LED บอกระดับแสดงสถานะการชาร์จและการทำงาน
- สามารถตั้งเวลาเปิดปิดการไหลไฟ DC ที่ไหลออกไปใช้งานได้
- ตัดการทำงานเมื่อแบตเตอรี่เต็ม และตัดระบบการไหลไฟใช้งานเมื่อแบตเตอรี่แดงดันไฟต่ำ ป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย
- ป้องกันโอเวอร์โวลต์และกัลตวงจร
- โหมดการทำงานหลากหลาย มีฟังก์ชันชดเชยอุณหภูมิ

2.7 Switching Power Supply

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย หรืออาจเรียกกันในชื่อของ Switch Mode Power Supplies (SMPS) เป็นอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่งและสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟสลับค่าสูงเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำได้ ในชีวิตประจำวัน สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก ตัวอย่างพวกเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูง เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ เครื่องโทรสาร และอีกต่างๆ มากมายก็ล้วนแล้วแต่ใช้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายในการจ่ายไฟแทบทั้งสิ้น



รูปที่ 2.17 Switching Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ส่วนประกอบ 3 ส่วนของ Switching Power Supply

2.7.1.1 วงจรฟิลตเตอร์และเรกติไฟเออร์

ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรง

2.7.1.2 คอนเวอร์เตอร์

ทำหน้าที่แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับความถี่สูง และแปลงกลับเป็นไฟตรงโวลต์ต่ำ

2.7.1.3 วงจรควบคุม

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามที่ต้องการ

2.8 ฟันเฟือง

2.8.1 หน้าที่ของฟันเฟือง

ฟันเฟืองหรือชุดเกียร์คือ อุปกรณ์ทางกลมีหน้าที่ส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยจะประกอบไปด้วยฟันเฟืองที่มาขบกัน จะเป็นฟันเฟืองชุดเดียว หรือฟันเฟืองหลายชุดก็ขึ้นอยู่กับ การออกแบบ ทิศทางการหมุน รอบ กำลัง และพื้นที่ใช้งาน

2.8.2 อัตราทดเกียร์

อัตราทดเกียร์คือ อัตราส่วนของฟันตามหารด้วยฟันขับ ยิ่งเฟืองตามใหญ่กว่าเฟืองขับมาก อัตราทดเกียร์จะสูงมาก

$$\text{อัตราทดเกียร์ } (i) = \frac{\text{จำนวนเฟืองตาม } (z_2)}{\text{จำนวนเฟืองขับ } (z_1)} = \frac{\text{ความเร็วของฟันขับ } (n_1)}{\text{ความเร็วรอบของฟันตาม } (n_2)}$$

โดยอัตราทดจะช่วยให้สามารถทดแรงบิดเพื่อประหยัดแรงที่ใส่เข้าไป โดยแรงบิดที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนฟันที่ทดไป นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มหรือลดความเร็วรอบตามเหมาะสมกับงานได้

$$\text{อัตราทดเกียร์ } (i) = \text{อัตราแรงบิด (Torque ratio)} = \frac{\text{แรงบิดขาออก } (T_{out})}{\text{แรงบิดขาเข้า } (T_{in})}$$

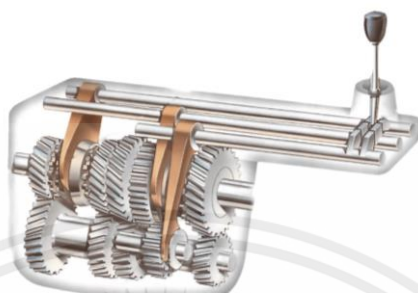
2.8.3 รูปแบบการต่อเกียร์

การต่อชุดฟันเฟืองมักจะต่อกัน 2 รูปแบบหลักๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.1 ต่อให้อัตราทดมากกว่า 1

จะเป็นการต่อแบบที่เฟืองตามใหญ่กว่าเฟืองขับ การต่อแบบนี้จะช่วยให้ตัวขับเคลื่อนหรือมอเตอร์ออกแรงขับลดลงเยอะ แต่ขาออกจะช้ากว่าขาเข้า



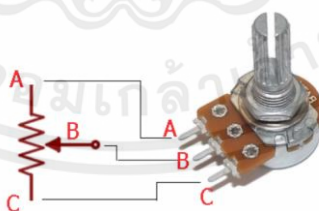
รูปที่ 2.18 ชุดเกียร์ในรถยนต์

2.8.3.2 ต่อให้อัตราตดน้อยกว่า 1

จะเป็นการต่อแบบที่เฟืองตามจะเล็กกว่าเฟืองขับการต่อแบบนี้จะช่วยให้ได้ความเร็วที่สูง แต่แรงบิดต้องใช้มากขึ้นตาม

2.9 ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistor)

ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่า คือตัวต้านทานชนิดที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้โดยการปรับแกนหมุน ในที่นี้จะใช้เป็นแบบวงแหวน วัสดุที่ใช้ทำตัวต้านทานนี้สำหรับวงจรกระแสต่ำ คือคาร์บอน(Carbon) ส่วนวัสดุที่ใช้ทำตัวต้านทานนี้สำหรับวงจรกระแสสูง คือเส้นลวด(Wire Wound)



รูปที่ 2.19 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

เมื่อเราทำการหมุนแกนไปทางซ้ายสุด ค่าความต้านทานที่จุด A ลบ B จะเท่ากับ 0 ส่วนความต้านทานที่จุด B ลบ C จะเท่ากับค่าต้านทานสูงสุดของตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ตัวนั้นๆ เมื่อเราหมุนไว้จุดกลาง A ลบ B และ B ลบ C จะเท่ากัน เช่น ตัวต้านทาน 100K Ohm ทั้งสองจุดจะเท่ากับ 50K Ohm ในทำนองเดียวกันเมื่อเราหมุนแกนไปทางขวาสุด ค่าความต้านทานที่จุด A ลบ B จะเท่ากับค่าต้านทานสูงสุด ส่วนความต้านทานที่จุด B ลบ C จะเท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ในการทดสอบสมมติฐานที่มีชุดข้อมูลประชากรมากกว่า 2 หรือ มีเงื่อนไขจำเป็นต้องใช้วิธีการเปรียบเทียบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เป็นวิธีที่ใช้ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับข้อมูลประชากรที่ตั้งแต่ 3 ชุดขึ้นไป โดยให้ความสำคัญกับการศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากร ($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$) ซึ่งมีความเหมือนกันหรือต่างกันในแต่ละกลุ่ม อันมีสาเหตุจากความแปรปรวนหรือความผันแปรในข้อมูลที่เกิดจาก 2 แหล่งคือ ปัจจัยการศึกษา (Treatment) เป็นปัจจัยที่สนใจศึกษา มีผลต่อค่าสังเกตที่เก็บรวบรวมอยู่ และ ปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ (Error) เป็นปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่อยู่ในสิ่งที่สนใจศึกษาไม่มีการควบคุมหรือควบคุมไม่ได้ ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อค่าสังเกตที่เก็บรวบรวมด้วย

ถ้าจะตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากร จะได้ว่า

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ (อย่างน้อย 1 คู่ของ } i, j \text{ ที่ } i \neq j)$$

ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละประชากรมาจากความผันแปรของข้อมูลจาก 2 สาเหตุคือจากปัจจัยศึกษาและจากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0: \sigma_{\tau}^2 = \sigma_E^2 \text{ (สาเหตุของความผันแปรในข้อมูลมาจากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ)}$$

$$H_1: \sigma_{\tau}^2 > \sigma_E^2 \text{ (สาเหตุของความผันแปรในข้อมูลมาจากทั้งสองปัจจัย)}$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) มี 2 แบบประกอบไปด้วยกรณีพิจารณาปัจจัยเดียว (One way ANOVA) และกรณี 2 ปัจจัย (Two way ANOVA) โดยในเอกสารนี้เราเลือกใช้แบบกรณีพิจารณาปัจจัยเดียว

2.10.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีพิจารณาปัจจัยเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เป็นวิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นโดยตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) ที่จำแนกออกเป็นระดับหรือประเภทต่างๆ กับตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 ขั้นตอนของการทดสอบสมมติฐานกรณีพิจารณาปัจจัยเดียว

2.10.2.1 กำหนดสมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม

2.10.2.2 สร้างขอบเขตของการตัดสินใจ

การเลือกระดับนัยสำคัญ ในเอกสารนี้จะเลือกใช้ $\alpha = 0.05$

2.10.2.3 เลือกวิธีการทางสถิติ/ตัวสถิติที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว : One way ANOVA

2.10.2.4 กำหนดบริเวณวิกฤตของการแจกแจง F

2.10.2.5 คำนวณค่าสถิติ F_0 ด้วยตาราง ANOVA

- 1.) สำหรับกรณีขนาดตัวอย่างของแต่ละกลุ่มเท่ากันจะใช้ตารางที่ 2.10.1
- 2.) สำหรับกรณีขนาดตัวอย่างของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากันจะใช้ตารางที่ 2.10.2

ตารางที่ 2.10.1 ตาราง ANOVA กรณีขนาดตัวอย่างเท่ากัน

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมของค่ากำลังสอง	องศาอิสระ	กำลังสองเฉลี่ย	ค่าสถิติ
ปัจจัยศึกษา SS_{tr}	$\sum_{i=1}^a \frac{y_{i\cdot}^2}{n} - \frac{y_{\cdot\cdot}^2}{an}$	a - 1	$\frac{SS_{tr}}{a - 1}$	$\frac{MS_{tr}}{MS_E}$
ปัจจัยแวดล้อม SS_{Error}	$SS_t - SS_{tr}$	a(n - 1)	$\frac{SS_E}{a(n - 1)}$	
ผลรวม SS_T	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{\cdot\cdot}^2}{an}$	an - 1		

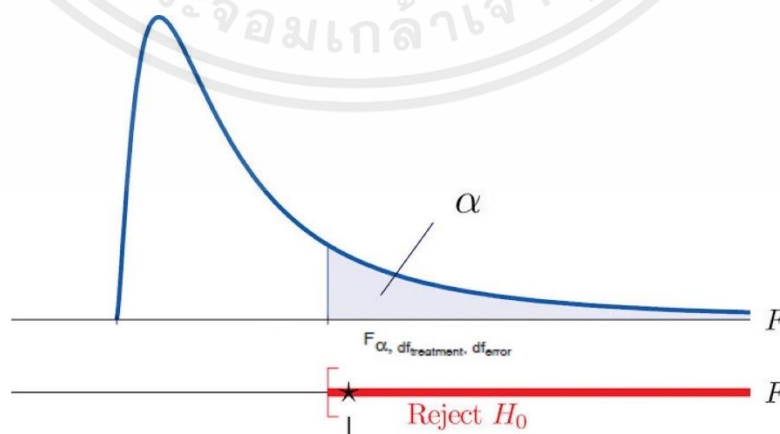
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10.2 ตาราง ANOVA กรณีขนาดตัวอย่างไม่เท่ากัน

แหล่งของ ความผันแปร	ผลรวมของ ค่ากำลังสอง	องศาอิสระ	กำลังสองเฉลี่ย	ค่าสถิติ
ปัจจัยศึกษา SS_{tr}	$\sum_{i=1}^a \frac{y_{i\cdot}^2}{n_i} - \frac{y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$a - 1$	$\frac{SS_{tr}}{a - 1}$	$\frac{MS_{tr}}{MS_E}$
ปัจจัยแวดล้อม SS_{Error}	$SS_T - SS_{tr}$	$N - a$	$\frac{SS_E}{N - 1}$	
ผลรวม SS_T	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$N - 1$		

2.10.2.6 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

- ถ้า $F_0 \leq F_{\alpha, a-1, N-a}$ จะสรุปว่ายอมรับสมมติฐานหลัก H_0 แสดงว่า
 - 1.) ปัจจัยศึกษาไม่มีผลต่อค่าสังเกต y_{ij} หรือ
 - 2.) สาเหตุของความผันแปรในข้อมูลมาจากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ หรือ
 - 3.) ค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน
- ถ้า $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$ จะสรุปว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 แสดงว่า
 - 4.) ปัจจัยศึกษามีผลต่อค่าสังเกต y_{ij} หรือ
 - 5.) สาเหตุของความผันแปรในข้อมูลมาจากทั้งสองปัจจัยคือ จากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ หรือ
 - 6.) ค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.20 บริเวณแจกแจง F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีการดำเนินการ

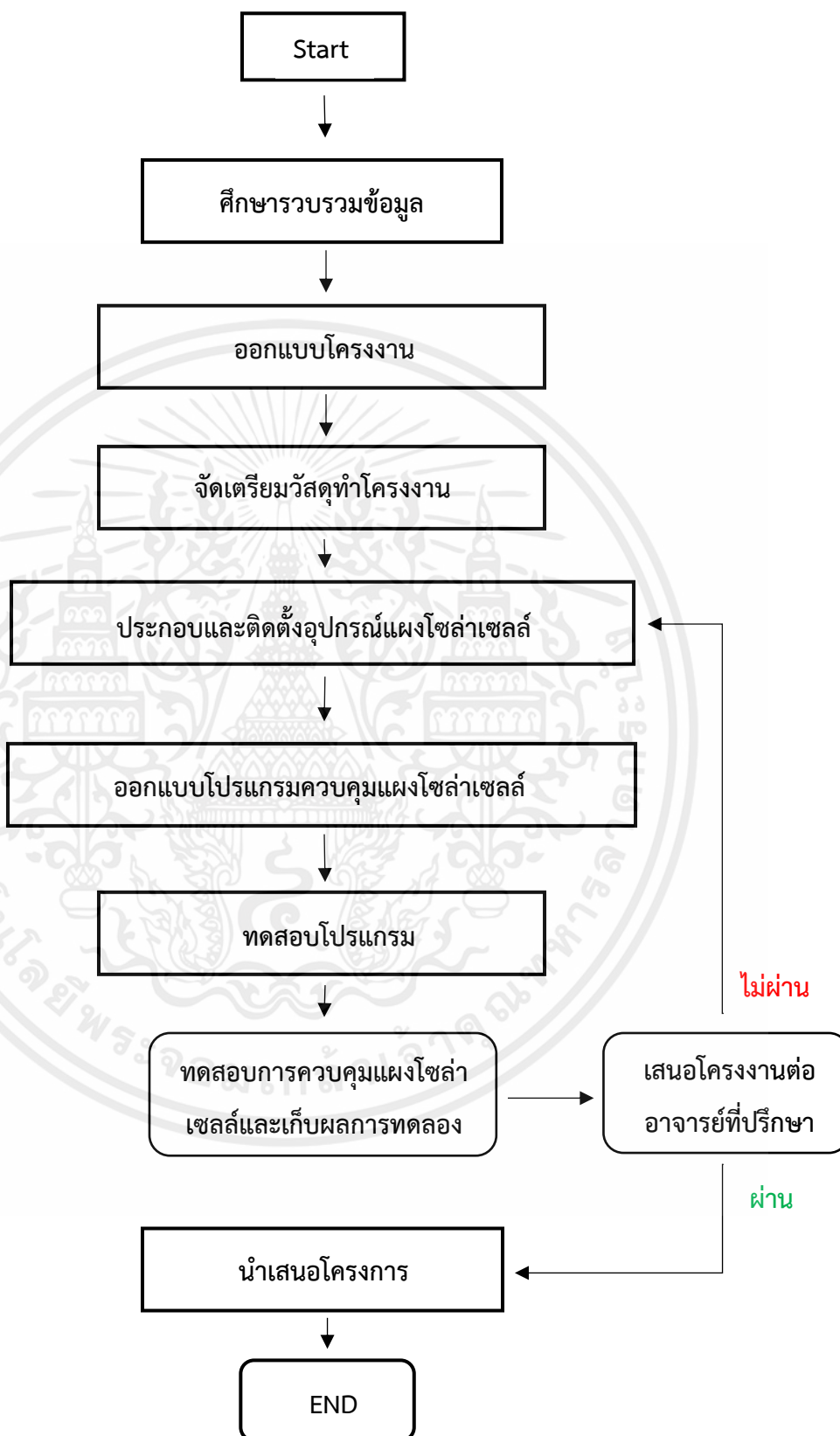
3.1 วัสดุและอุปกรณ์

ตารางที่ 3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

ลำดับ	โครงสร้างและอุปกรณ์
1	แผงโซลาร์เซลล์ 100 w 1 แผง
2	โซลาร์ชาร์จเจอร์ PWM 10A 12/24V
3	สายไฟโซลาร์เซลล์ PV1F ขนาด 4 มม./ดำ
4	สายไฟโซลาร์เซลล์ PV1F ขนาด 4 มม./แดง
5	ข้อต่อสายไฟ MC4
6	ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ จำนวน 2 ตัว
7	ตัวต้านทาน 100 k Ω จำนวน 4 ตัว
8	Servo motor แรงบิด 35 kg 180 องศา จำนวน 1 ตัว
9	Servo motor แรงบิด 15 kg 360 องศา จำนวน 1 ตัว
10	Switching Power Supply 1 กล่อง
11	LDR Sensor จำนวน 4 ตัว
12	Arduino UNO R3 จำนวน 1 แผง
13	แกนเพลลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร จำนวน 1 เส้น
14	ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น
15	ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้น
16	สายต่อวงจร Jumper
17	อลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาด 20x20 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร จำนวน 7 ท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

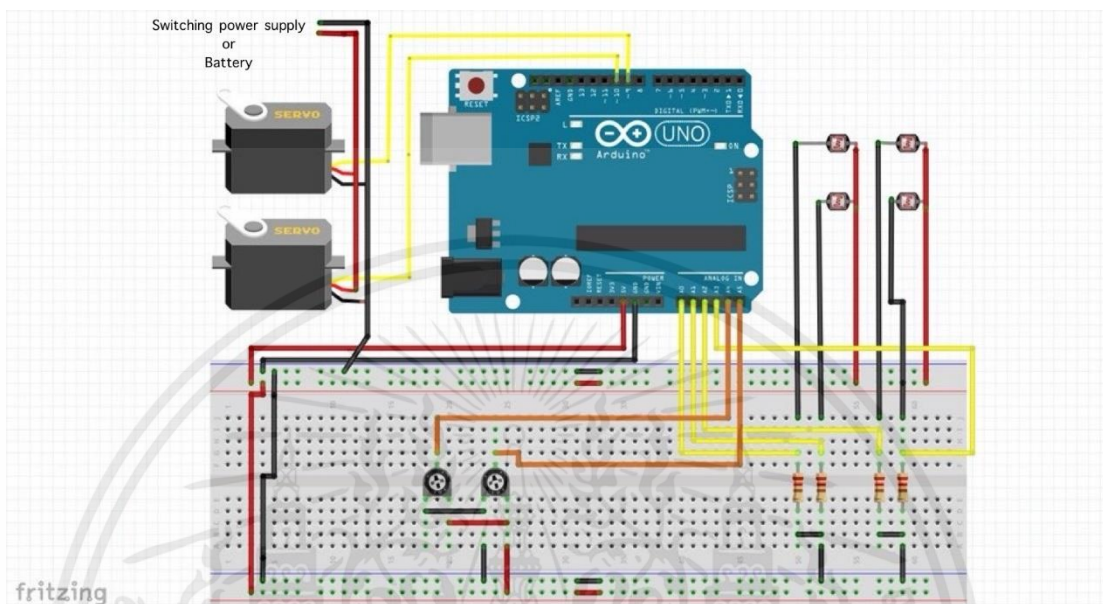


รูปที่ 3.1 Flow Chart แสดงวิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์

3.3.1 ใช้โปรแกรม Fritzing



รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์

- 1.) LDR Sensor ตำแหน่งซ้ายบน
- 2.) LDR Sensor ตำแหน่งขวาบน
- 3.) LDR Sensor ตำแหน่งซ้ายล่าง
- 4.) LDR Sensor ตำแหน่งขวาล่าง
- 5.) Horizontal Servo motor เซอร์โวมอเตอร์แนวนอน หรือ แนวระดับ
- 6.) Vertical Servo motor เซอร์โวมอเตอร์แนวตั้ง หรือ แนวตั้ง
- 7.) ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าได้ ใช้สำหรับปรับความถี่ในการติดตามความเข้มของแสง
- 8.) ตัวต้านทานปรับค่าได้ ใช้สำหรับปรับเพดานค่าสูงสุดที่ LDR Sensor จะสามารถรับแสง

จากรูปที่ 3.2 LDR Sensor ทั้ง 4 ตัวจะทำหน้าที่รับค่าอินพุตเข้ามาและส่งค่านี้ไปที่คอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณก่อนจะสั่งเซอร์โวมอเตอร์ทั้งสองแกนให้ขับเคลื่อนเข้าหาทิศทางที่มีแสงเข้มข้นมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเขียนภาษา C# ลงในโปรแกรม Arduino

หลังจากที่ทำการระบบค้นหาแสงพระอาทิตย์แล้ว นำมาเขียนภาษา C# แล้วอัปโหลดไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่าน USB เพื่อทำให้เป็นระบบค้นหาแสงพระอาทิตย์โดยสมบูรณ์

```

1 #include <servo.h> // include Servo library
2
3 Servo horizontal; // horizontal servo เซอร์โวมอเตอร์
4 int servoh = 90; // stand horizontal servo ตั้งระดับเซอร์โวมอเตอร์
5
6 Servo vertical; // vertical servo
7 int servov = 90; // stand vertical servo ตั้งระดับเซอร์โวมอเตอร์
8
9 // LDR pin connections ชื่อสายต่อ LDR
10 // name = analogpin;
11 int ldrt = 0; //LDR top left
12 int ldrt = 1; //LDR top right
13 int ldld = 2; //LDR down left
14 int ldrd = 3; //LDR down right
15
16 void setup()
17 {
18   serial.begin(9600);
19   // servo connections
20   // name.attach(pin);
21   horizontal.attach(9); // กำหนดสัญญาณเซอร์โวมอเตอร์ pin 9 สายขาว
22   vertical.attach(10); // กำหนดสัญญาณเซอร์โวมอเตอร์ pin 10 สายดำ
23 }
24
25 void loop()
26 {
27   int lt = analogRead(ldrt); // top left
28   lt = analogRead(ldrt);
29   int rt = analogRead(ldrt); // top right
30   rt = analogRead(ldrt);
31   int ld = analogRead(ldld); // down left
32   ld = analogRead(ldld);
33   int rd = analogRead(ldrd); // down right

```

รูปที่ 3.3 ภาษา C# ของ Arduino

ในส่วนของ Void loop กำหนดตัวแปรให้อ่านค่าสัญญาณจาก LDR ทั้ง 4 ขา กำหนดค่าสัญญาณ d time เป็นตัวแปรจาก Potentiometer หลังจากนั้นให้นำค่าอนาล็อกที่ส่งจาก LDR ทั้ง 4 ขา มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาทิศทางที่มีความเข้มข้นของแสงสูงที่สุดค่าเดียวสำหรับเตรียมเคลื่อนที่ไปยังทิศทางดังกล่าว

LT : Upper-left corner.

LD : Lower-left corner.

RT : Upper-right corner

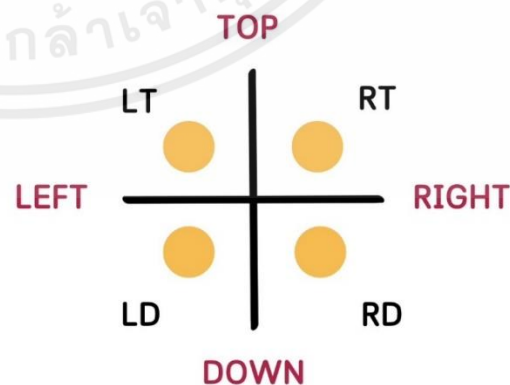
RD : Lower-right corner.

TOP = (LT+RT)/2

DOWN = (LD+RD)/2

RIGHT = (RT+RD)/2

LEFT = (LT+LD)/2



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งของ LDR Sensor และ ตัวแปรที่กำหนดเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของเงื่อนไข $int\ dvert = avt(TOP) - avd(DOWN)$; เช็คว่าส่วนต่างของด้านบนและล่างเพื่อหาจุดกึ่งกลางตรวจสอบความแตกต่างว่าอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนหรือไม่และเปลี่ยนในแนวตั้ง เมื่อ $avt(TOP)$ มากกว่า $avd(DOWN)$ จะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ขึ้นข้างบน ในขณะที่ $avt(TOP)$ น้อยกว่า $avd(DOWN)$ จะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ลงข้างล่าง

$int\ dhoriz = avl(LEFT) - avr(RIGHT)$; เช็คว่าส่วนต่างของซ้ายและขวาเพื่อหาแนวนอนตรวจสอบความแตกต่างว่าอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนหรือไม่และเปลี่ยนในแนวนอน เมื่อ $avl(LEFT)$ มากกว่า $avr(RIGHT)$ จะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ในขณะที่ $avl(LEFT)$ น้อยกว่า $avr(RIGHT)$ จะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ไปทางขวา

สุดท้ายหาก $avt(TOP) = avd(DOWN)$ และ $avl(LEFT) = avr(RIGHT)$ เซอร์โวมอเตอร์จะไม่เคลื่อนไหว

3.5 ทำชุดทดลองขนาดเล็กสำหรับทดสอบและเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.5 ชุดทดลองขนาดเล็ก

เก็บข้อมูลการทำงานของชุดทดลองขนาดเล็ก โดยทดสอบทั้งที่สว่างกลางแจ้ง และห้องมืดเพื่อดูว่า LDR Sensor และ เซอร์โวมอเตอร์ สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ สถานที่แรกมีแหล่งกำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์และสถานที่สองมีแหล่งกำเนิดแสงจากโคมไฟ โดยที่ LDR Sensor รับแรงดันสูงสุดได้ 320 โวลต์ รับกระแสสูงสุดได้ 75 มิลลิแอมป์ การสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 250 มิลลิวัตต์ ย่านการใช้งานที่อุณหภูมิลบ 60 องศาเซลเซียสไปถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เมื่อ LDR Sensor รับความสว่างที่ 1000 ลักซ์ ความต้านทานภายในเซลล์ จะอยู่ที่ 400 โอห์ม เมื่อ LDR Sensor อยู่ในที่มืด ความต้านทานภายในเซลล์จะอยู่ที่ 1 เมกะโอห์ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ช่วงRise time1 เมื่อความสว่างที่ 1000 ลักซ์ ความเร็วในการตอบสนองจะอยู่ที่ 2.8 มิลลิวินาที เมื่อความสว่างอยู่ที่ 10 ลักซ์ ความเร็วในการตอบสนองจะอยู่ที่ 18 มิลลิวินาที และช่วงFall time2 เมื่อความสว่างอยู่ที่ 1000 ลักซ์ ความเร็วในการตอบสนองอยู่ที่ 48มิลลิวินาที เมื่อความสว่างอยู่ที่ 10 ลักซ์ ความเร็วในการตอบสนองจะอยู่ที่ 120 มิลลิวินาที และ LDR Sensor นำค่าที่ได้เป็นแรงดันป้อนเข้า Analog input ของ Board Arduino Uno R3

Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak _____ 320V

Current _____ 75mA

Power dissipation at 30°C _____ 250mW

Operating temperature range _____ -60°C to +75°C

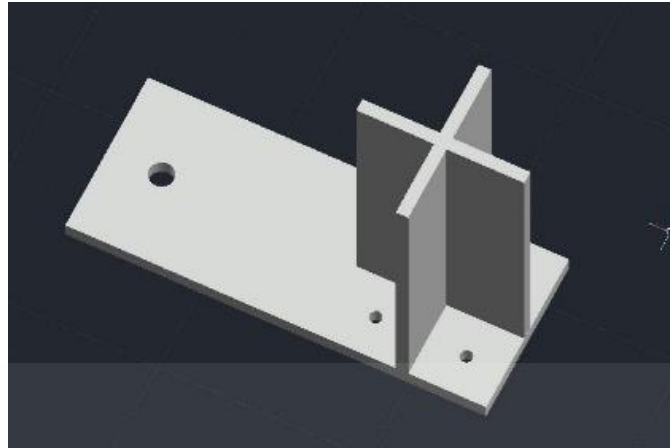
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	Ω
	10 lux	-	9	-	k Ω
Dark resistance	-	1.0	-	-	M Ω
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

รูปที่ 3.6 ข้อมูล LDR Sensor

3.6 สร้างชิ้นงาน

3.6.1 LDR Holder

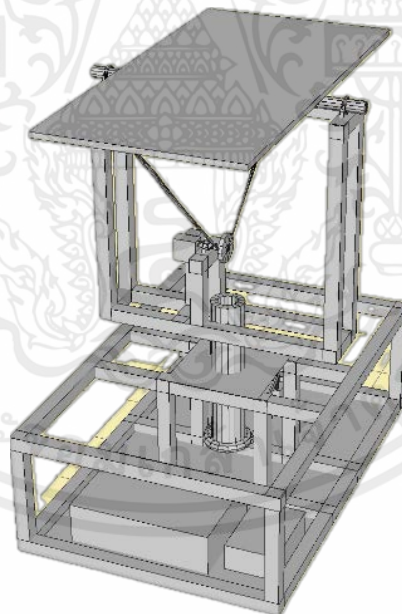
ออกแบบ LDR Holder ใน Auto cap หลังจากนั้นนำไปปรี้นโดยใช้เครื่องปรี้น 3 มิติ โดยมีกำแพงกัน LDR Sensor 4 ตัวออกจากกันเพื่อให้เซ็นเซอร์สามารถแยกทิศทางที่มีความเข้มข้นของแสงสูงสุดได้



รูปที่ 3.7 ออกแบบ LDR Holder ใน Auto cap

3.6.2 ออกแบบโครงสร้างของชิ้นงาน

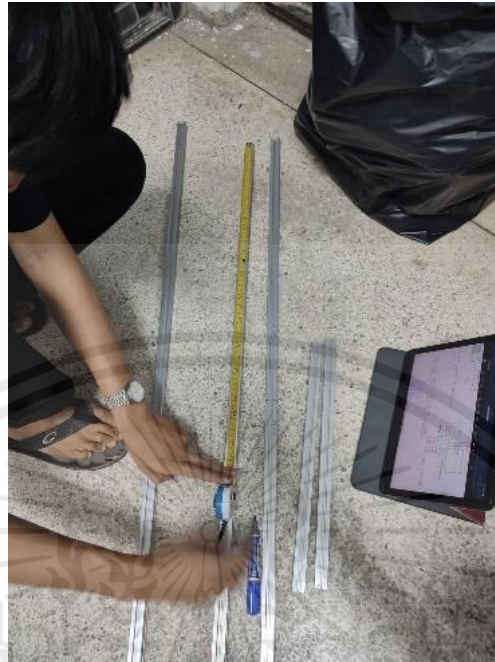
ออกแบบโครงสร้างของชิ้นงานใน Auto cap โดยรูปที่ 3.8 เป็นการออกแบบรูปแบบล่าสุด เนื่องจากการออกแบบโครงสร้างของชิ้นงานอันก่อนหน้าหลายอันต้องปรับเปลี่ยนไปตามปัญหาที่พบระหว่างการทำงาน



รูปที่ 3.8 ออกแบบโครงสร้างของชิ้นงานใน Auto cap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 ทำโครงสร้างชิ้นงาน



รูปที่ 3.9 วัดและตัดอลูมิเนียมโปรไฟล์



รูปที่ 3.10 ทำการประกอบตามแบบที่วางเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ติดตั้งตลับลูกปืนและแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3.12 ติดตั้งอุปกรณ์ที่เหลือเข้าโครงสร้างชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 เตรียมพร้อมวงจรควบคุม



รูปที่ 3.14 ติดตั้งวงจรเข้าโครงสร้างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LDR Sensor

การวัดค่าแรงดันตกคร่อมจาก เซนเซอร์ LDR แบบค้นหาแสง โดยเลือก LDR sensor ที่มีค่าแรงดันตกคร่อมใกล้เคียงกันมากที่สุด 4 ตัวจาก 9 ตัวมาใช้งาน โดยจะใช้เลือก LDR1 เป็นตัวอ้างอิง สำหรับเลือกอีก LDR2 LDR3 และ LDR4

ตารางที่ 4.1.1 การวัดค่าแรงดันตกคร่อมจาก เซนเซอร์ LDR แบบค้นหาแสง

Time	LDR1(V) reference	LDR2(V)	LDR3(V)	LDR4(V)
9.00	1.13	1.10	1.14	1.16
9.30	0.99	1.01	1.02	1.04
10.00	0.91	0.90	0.91	0.93
10.30	0.87	0.89	0.88	0.90
11.00	0.81	0.82	0.81	0.79
11.30	0.82	0.80	0.79	0.81
12.00	0.78	0.80	0.79	0.78
12.30	0.64	0.67	0.63	0.67
13.00	0.56	0.61	0.59	0.59
13.30	0.83	0.85	0.85	0.86
14.00	1.01	0.98	0.94	0.99
14.30	1.09	1.08	1.09	1.10
15.00	1.23	1.20	1.22	1.24
15.30	1.29	1.30	1.27	1.31
16.00	1.38	1.36	1.38	1.40
16.30	1.46	1.43	1.44	1.48
17.00	1.50	1.44	1.53	1.42

จากตารางที่ 4.1.1 แสดงให้เห็นว่าแรงดันตกคร่อมของเซนเซอร์ LDR จะแปรผันตามความเข้มชั้นของแสง ยิ่งแรงดันตกคร่อมน้อยเท่าไรแสดงว่าได้รับความเข้มชั้นของแสงสูงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ติดตามแสงด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก

จากการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 เมื่อ เซนเซอร์ LDR ทั้งหมดมีค่าแรงดันตกคร่อมใกล้เคียงกัน จะส่งผลให้ LDR Holder ตั้งฉากกับทิศทางที่ได้รับแสงมากที่สุด โดยเราจะนำเอา LDR Holder ไปติดตั้งในแนวระนาบเดียวกับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อที่จะทำให้แผงโซลาร์เซลล์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์



รูปที่ 4.2 แผงโซลาร์เซลล์วางขนานกับพื้นโลก วันที่ท้องฟ้าเปิด

ตารางที่ 4.2.1 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ วางขนานกับพื้น วันที่ท้องฟ้าเปิด

Time	Volt	Amp	Watt
9.00	19.37	1.01	19.56
9.30	19.50	1.49	29.06
10.00	10.84	2.32	46.03
10.30	20.21	3.57	72.15
11.00	20.10	3.80	76.38
11.30	20.19	4.41	89.04
12.00	21.30	4.75	101.20
12.30	20.98	4.76	99.86
13.00	20.47	4.95	101.33
13.30	20.12	4.60	92.55
14.00	20.00	4.39	87.8
14.30	19.83	4.11	81.50
15.00	19.90	3.88	77.21
15.30	20.10	3.43	68.94
16.00	19.51	2.07	40.39
16.30	19.62	1.71	33.56
17.00	19.34	1.22	23.59
ค่าเฉลี่ย	20.02	3.32	67.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แผงโซลาร์เซลล์วางในมุม 15 องศาใต้ วันที่ท้องฟ้าเปิด

ตารางที่ 4.1.2 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์วางมุม 15 องศาใต้ วันที่ท้องฟ้าเปิด

Time	Volt	Amp	Watt
9.00	19.66	1.01	19.85
9.30	19.71	1.94	38.24
10.00	19.79	2.42	47.89
10.30	20.01	4.01	99.05
11.00	20.10	4.95	99.50
11.30	20.73	5.24	108.63
12.00	21.17	5.58	118.13
12.30	20.82	5.48	114.10
13.00	20.52	5.49	112.65
13.30	20.12	5.39	108.45
14.00	20.00	5.06	101.20
14.30	20.20	4.80	96.96
15.00	19.90	4.26	84.77
15.30	19.99	4.33	86.56
16.00	19.51	3.05	59.51
16.30	19.72	2.77	54.62
17.00	19.30	1.31	25.28
ค่าเฉลี่ย	20.07	3.95	79.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แผงโซล่าเซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิด

ตารางที่ 4.2.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์แบบหมุนตามทิศทางความเข้มข้นแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิด

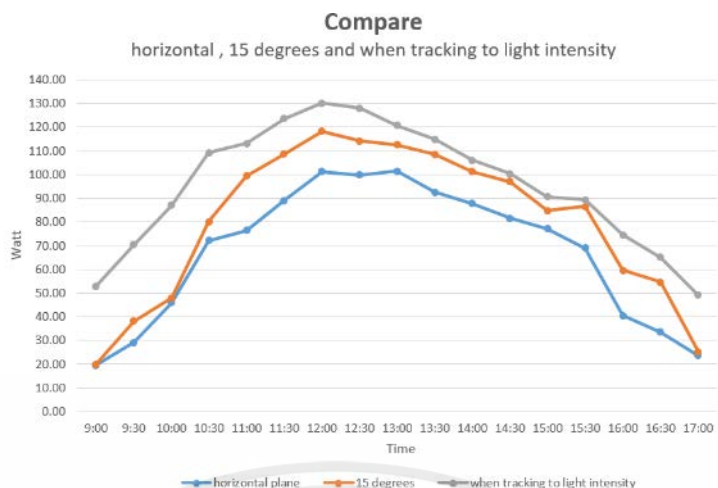
Time	Volt	Amp	Watt
9.00	20.27	2.61	52.90
9.30	20.84	3.38	70.43
10.00	20.65	4.22	87.14
10.30	21.05	5.19	109.24
11.00	20.84	5.43	113.16
11.30	21.03	5.88	123.65
12.00	21.25	6.12	130.05
12.30	21.13	6.06	128.04
13.00	20.86	5.79	120.77
13.30	20.74	5.54	114.89
14.00	20.71	5.12	106.03
14.30	20.60	4.87	100.32
15.00	20.56	4.41	90.66
15.30	20.48	4.36	89.29
16.00	20.42	3.65	74.53
16.30	20.33	3.20	65.05
17.00	20.24	2.43	49.18
ค่าเฉลี่ย	20.70	4.60	95.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.4 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากการตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสามแบบ

Time	วางขนานพื้นโลก(W)	วางทำมุม 15 องศา(W)	ติดตามแสง(W)
9.00	19.56	19.85	52.90
9.30	29.06	38.24	70.43
10.00	46.03	47.89	87.14
10.30	72.15	99.05	109.24
11.00	76.38	99.50	113.16
11.30	89.04	108.63	123.65
12.00	101.2	118.13	130.05
12.30	99.86	114.10	128.04
13.00	101.33	112.65	120.77
13.30	92.55	108.45	114.89
14.00	87.80	101.20	106.03
14.30	81.50	96.96	100.32
15.00	77.21	84.77	90.66
15.30	68.94	86.56	89.29
16.00	40.39	59.51	74.53
16.30	33.56	54.62	65.05
17.00	23.59	25.28	49.18
ค่าเฉลี่ย	67.07	79.29	95.60

จากการทดลองเก็บข้อมูลจากการวัดพลังงานที่ได้ของแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสามแบบตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกา ดังรูปที่ 4.4 เส้นสีฟ้าคือค่ากำลังไฟฟ้าแผงโซลาร์เซลล์วางขนานกับพื้นโลก วันที่ท้องฟ้าเปิด เส้นสีส้มคือแผงโซลาร์เซลล์วางในมุม 15 องศาใต้ วันที่ท้องฟ้าเปิดและสุดท้าย เส้นสีเทาคือแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิด



รูปที่ 4.5 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า

จากการทดลอง การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ เมื่อทำการทดลองวาง ขนานกับพื้นโลกวันที่ฟ้าเปิด จากตาราง 4.2.1 ตั้งแต่เวลา 9.00 นาฬิกา ไปจนถึงเวลา 17.00 นาฬิกา ซึ่งทำการวัดทุกๆครึ่งชั่วโมง ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้คือ 67.07 วัตต์ ต่อมาเมื่อทดลองทำการวัด แรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์หันไปทางทิศใต้ ทำมุม 15 องศา กับพื้นโลกวันที่ฟ้าเปิด ตั้งแต่เวลา 9.00 นาฬิกา ไปจนถึงเวลา 17.00 นาฬิกา ซึ่งทำการวัดทุกๆครึ่งชั่วโมง ค่ากำลังไฟฟ้า เฉลี่ย 79.29 วัตต์ ที่ได้คือ จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มากกว่าแบบวางขนานกับพื้นโลก และสุดท้าย เมื่อทดลองทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์แบบหมุนติดตามทิศทางของแสงอาทิตย์ ตั้งแต่เวลา 9.00 นาฬิกา ไปจนถึงเวลา 17.00 นาฬิกา เป็นการวัดทุกๆครึ่งชั่วโมง ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ได้คือ 95.60 วัตต์

ตารางที่ 4.2.5 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจากการทดลองวัดแผงโซล่าเซลล์รูปแบบต่างๆ

รูปแบบการติดตั้งโซล่าเซลล์	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น(%)
แผงโซล่าเซลล์วางขนานกับพื้นโลก	67.07 วัตต์	-
แผงโซล่าเซลล์วางไปทิศใต้ และทำมุม 15 องศา กับพื้นโลก	79.29 วัตต์	18.22 %
แผงโซล่าเซลล์หมุนติดตามทิศทางของ แสงอาทิตย์	95.60 วัตต์	42.54 %

จากตารางที่ 4.2.5 พบว่าเมื่อโซล่าเซลล์สามารถหมุนติดตามทิศทางของแสงอาทิตย์ได้ แผงโซล่าเซลล์จะสามารถผลิตพลังงานได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม

ตารางที่ 4.2.6 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบหมุนตามทิศทางความเข้มข้นแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม

Time	Volt	Amp	Watt
9.00	20.24	2.53	51.20
9.30	20.63	3.32	68.49
10.00	20.60	4.21	86.72
10.30	21.01	5.19	109.04
11.00	20.75	5.42	112.46
11.30	20.82	5.87	122.21
12.00	21.24	6.11	129.77
12.30	21.06	6.02	126.78
13.00	20.84	5.73	119.41
13.30	20.72	5.36	111.05
14.00	20.67	5.12	105.83
14.30	20.61	4.82	99.34
15.00	20.56	4.31	88.61
15.30	20.45	4.29	87.73
16.00	20.42	3.52	71.87
16.30	20.35	3.14	63.89
17.00	20.22	2.36	47.71
ค่าเฉลี่ย	20.65	4.54	94.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

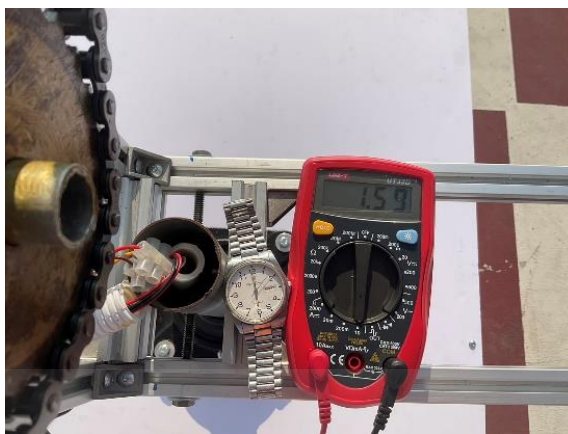


รูปที่ 4.7 แผงโซล่าเซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม2

ตารางที่ 4.2.7 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์แบบหมุนตามทิศทางความเข้มข้นแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม2

Time	Volt	Amp	Watt
9.00	20.25	2.56	51.84
9.30	20.67	3.34	69.03
10.00	20.64	4.21	86.89
10.30	21.03	5.17	108.72
11.00	20.72	5.41	112.09
11.30	20.84	5.87	122.33
12.00	21.25	6.09	129.41
12.30	21.04	6.02	126.66
13.00	20.86	5.73	119.52
13.30	20.75	5.36	111.22
14.00	20.68	5.11	105.67
14.30	20.60	4.85	99.91
15.00	20.53	4.39	90.12
15.30	20.47	4.32	88.43
16.00	20.43	3.63	74.16
16.30	20.35	3.15	64.10
17.00	20.23	2.39	48.34
ค่าเฉลี่ย	20.67	4.56	94.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม3

ตารางที่ 4.2.8 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบหมุนตามทิศทางความเข้มข้นแสงอาทิตย์ วันที่ท้องฟ้าเปิดเพิ่มเติม3

Time	Volt	Amp	Watt
9.00	20.29	2.69	54.58
9.30	20.87	3.40	70.95
10.00	20.67	4.23	87.43
10.30	21.06	5.21	109.72
11.00	20.85	5.46	113.84
11.30	21.05	5.94	125.03
12.00	21.24	6.09	129.35
12.30	21.16	6.12	129.49
13.00	20.89	5.80	121.16
13.30	20.74	5.57	115.52
14.00	20.72	5.25	108.78
14.30	20.64	4.88	100.72
15.00	20.59	4.46	91.83
15.30	20.52	4.38	89.87
16.00	20.45	3.67	75.05
16.30	20.36	3.24	65.96
17.00	20.27	2.49	50.47
ค่าเฉลี่ย	20.73	4.64	96.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Time	วางขนานพื้นโลก(W)	วางทำมุม 15 องศา(W)	ติดตามแสง(W)
9.00	19.56	19.85	52.90
9.30	29.06	38.24	70.43
10.00	46.03	47.89	87.14
10.30	72.15	99.05	109.24
11.00	76.38	99.50	113.16
11.30	89.04	108.63	123.65
12.00	101.20	118.13	130.05
12.30	99.86	114.10	128.04
13.00	101.33	112.65	120.77
13.30	92.55	108.45	114.89
14.00	87.80	101.20	106.03
14.30	81.50	96.96	100.32
15.00	77.21	84.77	90.66
15.30	68.94	86.56	89.29
16.00	40.39	59.51	74.53
16.30	33.56	54.62	65.05
17.00	23.59	25.28	49.18
ค่าเฉลี่ย	67.07	79.29	95.60

ผลการทดสอบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้ข้อมูลประชากรกลุ่มตัวอย่างจากตารางที่ 4.2.4 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากการตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ทั้งสามแบบ โดยกำหนดให้ i คือชนิดการวางแผงโซลาร์เซลล์จากทั้ง 3 แบบ (Treatment) และ j คือ ช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกา

ตัวแปรอื่นๆ $a = 3$ (ชนิดการวางแผงโซลาร์เซลล์) , $n = 17$ (จำนวนที่ทำการวัดพลังงาน)
 $an = 51$ (ชนิดการวางแผงโซลาร์เซลล์คูณจำนวนที่ทำการวัดพลังงาน) , $\alpha = 0.05$, $V_1 = a-1 = 2$
 $V_2 = a(n-1) = 48$

$$\text{บริเวณวิกฤต} = F_0 > F_{\alpha} , V_1 , V_2$$

$$F_0 > F_{0.05} , 2 , 48$$

$$F_0 > F_{3.198}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนยกกำลังสองเรียก Sum of Squares (SS)

$$\begin{aligned} \text{Total Sum of Squares (SS}_T) &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 \\ &= (19.56^2 + 19.85^2 + \dots + 49.18^2) - \frac{4210.87^2}{51} \\ &= 58249.807 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Treatment Sum of Squares (SS}_{tr}) &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{i.} - \bar{y}_{..})^2 \\ &= (1140.15^2 + 1445.39^2 + \dots + 1625.33^2) - \frac{4210.87^2}{51} \\ &= 7077.44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error Sum of Squares (SS}_E) &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = (SS_T) - (SS_{tr}) \\ &= (1140.15^2 + 1445.39^2 + \dots + 1625.33^2) - \frac{4210.87^2}{51} \\ &= 7077.44 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.3.1 ตารางANOVA

แหล่งของ ความผันแปร	ผลรวมของ ค่ากำลังสอง	องศาอิสระ	กำลังสองเฉลี่ย	ค่าสถิติ
กำลังไฟฟ้า SS_{tr}	707.44	$a-1 = 2$	$SS_{tr}/a-1$ $= 3538.72$	$MS_{tr}/MS_E = 3.32$
ปัจจัยแวดล้อม SS_{Error}	$SS_t - SS_{tr}$ $= 51172.37$	$a(n-1) = 48$	$SS_E/a(n-1)$ $= 1066.09$	
ผลรวม SS_T	58249.81	$an-1 = 50$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยของผลรวมของค่ากำลังสอง (Sum of Squares) เรียกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสอง (Mean Square (MS)) หาได้จาก หาได้จาก

$$\text{Mean Square} = \frac{\text{Sum of Squares}}{\text{Degrees of Freedom}}$$

$$\text{Treatment Mean Square (MS}_{\text{tr}}) = \frac{(SS_{\text{tr}})}{(df_{\text{tr}})} = \frac{(SS_{\text{tr}})}{(a - 1)}$$

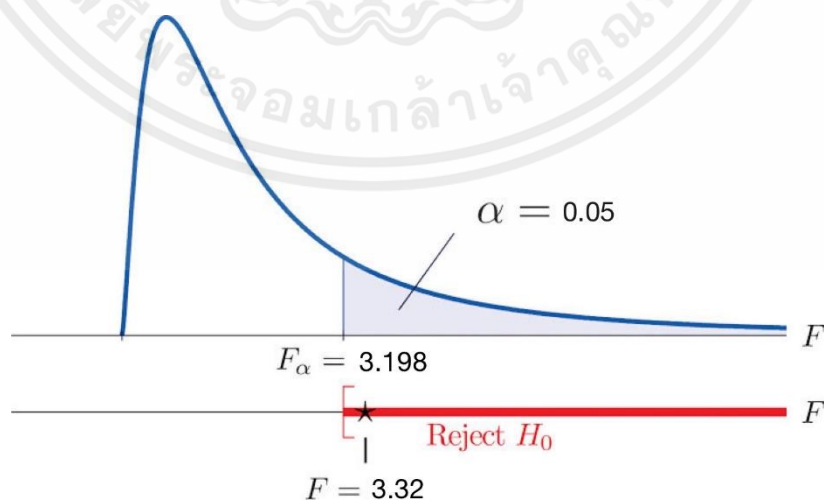
$$= \frac{7077.44}{3 - 1} = 3538.72$$

$$\text{Error Mean Square (MS}_{\text{E}}) = \frac{(SS_{\text{E}})}{(df_{\text{E}})} = \frac{(SS_{\text{E}})}{a(n - 1)}$$

$$= \frac{51172.366}{3(17 - 1)} = 1066.09$$

$$F_0 = \frac{(MS_{\text{tr}})}{(MS_{\text{E}})} = \frac{3538.72}{1066.09} = 3.32$$

สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน ที่ $F_{0.05, 2, 48} = 3.198$ ดังนั้น $F_0 > F_{0.05, 2, 48}$ อยู่ในบริเวณวิกฤต ดังนั้นปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การวัดพลังงานจากชนิดการวางแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสามแบบให้กำลังไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยน้อยสุดจะเป็นการวางแผงโซลาร์เซลล์ขนานกับพื้นโลกและมากที่สุดคือการวางแผงโซลาร์เซลล์ติดตามทิศทางแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.9 บริเวณแจกแจง F ของการการวัดพลังงานแผงโซลาร์เซลล์ทั้งสามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้โซลาร์เซลล์สามารถติดตามหาทิศทางของแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มข้นที่สุด โดยอัตโนมัติเพื่อให้ตัวแผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตพลังงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด จากการทดลองของแต่ละวัน ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตรงกับความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ ถ้าความเข้มแสงนั้นมาก กระแสก็จะมากขึ้นด้วยแบตเตอรี่ก็จะสามารถชาร์จได้เร็วยิ่งขึ้น ทว่าในช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นของแสงสูงมาก LDR sensor จะวัดค่าความสว่างได้เท่ากันทั้งหมดเป็นครั้งคราว ส่งผลให้แผงยังไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ได้ตลอดทุกช่วงเวลา

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่แผงโซลาร์เซลล์ยังไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นของแสงสูงมาก อาจจะสามารถแก้ไขได้ด้วยการเปลี่ยน LDR sensor เป็นตัวที่สามารถรับค่าความเข้มของแสงได้สูงมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องของแหล่งจ่ายพลังงานที่ยังต้องพึ่งพาพลังงานจากภายนอกในการขับเคลื่อน Servo motor เนื่องจากงบประมาณที่จำกัด

บรรณานุกรม

สำนักพิมพ์ Simplify “Arduino uno + ตัวอย่างงาน IoT”

ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์ “สถิติวิศวกรรม Engineering Statistics”

Douglas C. Montgomery, George C. Runger “Applied Statistics & Probability for Eng.6th”

William Navidi “Statistics for Engineer & Scientist 4th”

การใช้งาน LDR Sensor [Online]

<http://suwitkiravittaya.eng.chula.ac.th>

ชนิดของ Solar cell [Online]

<https://www.irradiance.co.th>

การใช้งาน Servo motor [Online]

<https://www.cybertice.com/article>

ทิศทางของแสง และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือน [Online]

<https://www.bydecora.com>

อัตราทดเกียร์ [Online]

<https://naichangmashare.com/2020/02/23/gear-ratio-calculation/>

ภาคผนวก ก

Code Program

```

#include <Servo.h> // include Servo library

Servo horizontal; // horizontal servo เซอร์โวแนวนอน
int servoh = 90; // stand horizontal servo ตั้งแรกเริ่มเซอร์โวแนวนอน

Servo vertical; // vertical servo
int servov = 90; // stand vertical servo ตั้งแรกเริ่มเซอร์โวแนวตั้ง

// LDR pin connections ช่องเสียบสายLDR
// name = analogpin;
int ldrlt = 0; //LDR top left
int ldrrt = 1; //LDR top right
int ldrlld = 2; //LDR down left
int ldrrd = 3; //ldr down right

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  // servo connections
  // name.attach(pin);
  horizontal.attach(9); // กำหนดสัญญาณเซอร์โวแนวนอนout put ออกขา9
  vertical.attach(10); // กำหนดสัญญาณเซอร์โวแนวตั้งout put ออกขา10

  vertical.write(90);
  delay(3000);
}

void loop()
{

  int lt = analogRead(ldrlt); // top left
  lt = analogRead(ldrlt);
  int rt = analogRead(ldrrt); // top right
  rt = analogRead(ldrrt);
  int ld = analogRead(ldrlld); // down left
  ld = analogRead(ldrlld);
  int rd = analogRead(ldrrd); // down right
  rd = analogRead(ldrrd);

  Serial.println(lt);
  Serial.println(rt);
  Serial.println(ld);
  Serial.println(rd);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    int dtime = analogRead(4)/20; // read potentiometers
    int tol = analogRead(5)/4;

    int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
    int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
    int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
    int avr = (rt + rd) / 2; // average value right

    Serial.print("servov = " );
    Serial.println(servov);
    Serial.print("servoh = " );
    Serial.println(servoh);
    Serial.print("avd = " );
    Serial.println(avd);
    Serial.print("avt = " );
    Serial.println(avt);
    int dvert = avt - avd; // check the diffirence of up and down ตรวจสอบความ
    //แตกต่างของการขึ้นและลง
    int dhoriz = avl - avr; // check the diffirence og left and right ตรวจสอบความ
    //แตกต่างซ้ายและขวา

    if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // check if the diffirence is in the
    tolerance else change vertical angle ตรวจสอบว่าความแตกต่างอยู่ในความ
    อดทนหรือไม่เปลี่ยนมุมแนวตั้ง
    {
    if (avt == avd){
        servov = servov;
    }
    else if (avt > avd)
    {
    servov = ++servov;
    if (servov > 180)
    {
    servov = 180;
    }
    }
    else if (avt < avd)
    {
    servov= --servov;
    if (servov < 0)
    {
    servov = 0;
    }
    }
    vertical.write(servov);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // check if the difference is in
the tolerance else change horizontal angle ตรวจสอบว่าความแตกต่างอยู่ในความอดทนหรือไม่เปลี่ยน
มุมแนวนอน
{
if (av1 > avr)
{
servoh = --servoh;
if (servoh < 90)
{
servoh = 76;
}
}
else if (av1 < avr)
{
servoh = ++servoh;
if (servoh > 90)
{
servoh = 104;
}
}
else if (av1 == avr)
{
// nothing
}
horizontal.write(servoh);
}
delay(dtime);
}

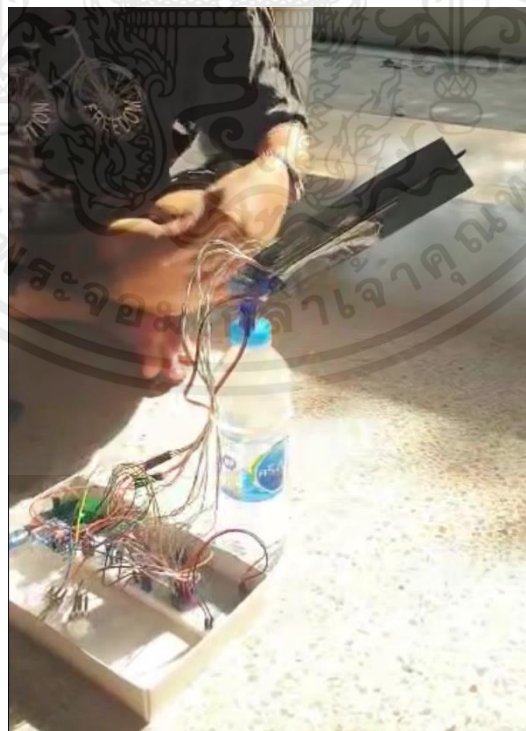
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

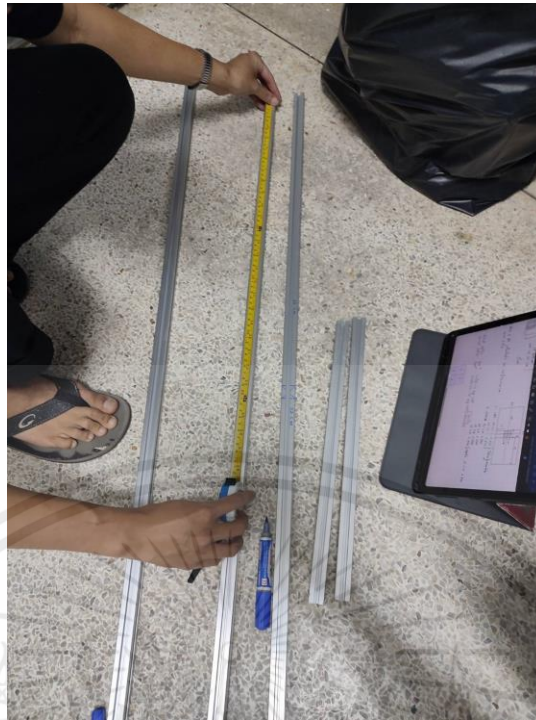


รูปที่ 1 ทดสอบชุดทดลองขนาดเล็กในที่มืด



รูปที่ 2 ทดสอบชุดทดลองขนาดเล็กกลางแจ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การวัดและตัดอลูมิเนียมโปรไฟล์



รูปที่ 4 การประกอบโครงสร้างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ประกอบโครงสร้างของชิ้นงาน



รูปที่ 6 ประกอบโครงสร้างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ติดตั้งตลับลูกปืน



รูปที่ 8 ติดตั้งวงจรและอุปกรณ์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แผงโซลาร์เซลล์แบบค้นหาแสงในวันที่ฟ้าครึ้ม

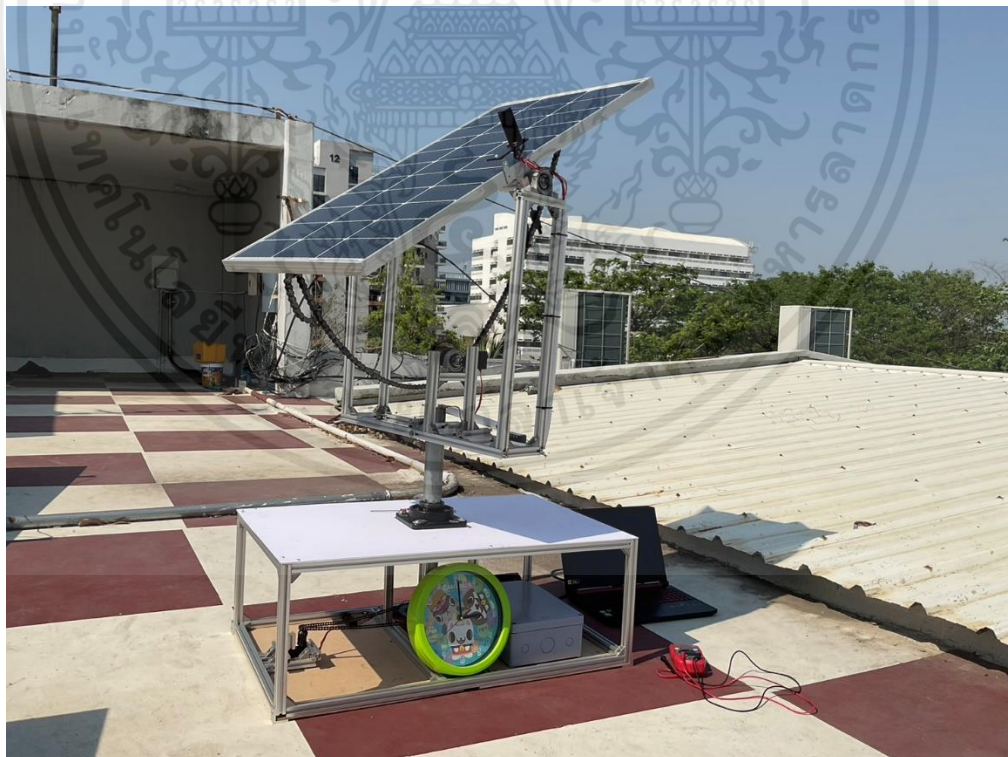


รูปที่ 10 แผงโซลาร์เซลล์แบบค้นหาแสงในวันที่ฟ้าโปร่ง ณ เวลา 10.00 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แผงโซลาร์เซลล์แบบค้นหาแสงในวันที่ฟ้าโปร่ง ณ เวลา 12.00 นาฬิกา



รูปที่ 12 แผงโซลาร์เซลล์แบบค้นหาแสงในวันที่ฟ้าโปร่ง ณ เวลา 15.00 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

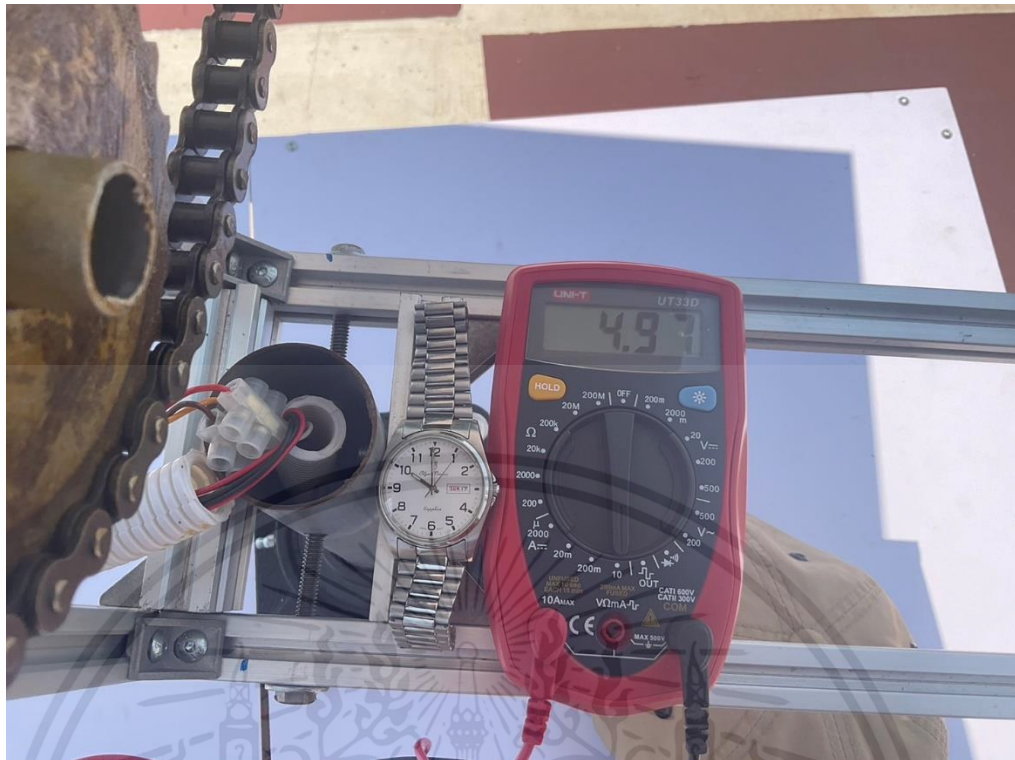


รูปที่ 13 แผงโซลาร์เซลล์แบบค้นหาแสงในวันที่ฟ้าโปร่ง ณ เวลา 17.00 นาฬิกา

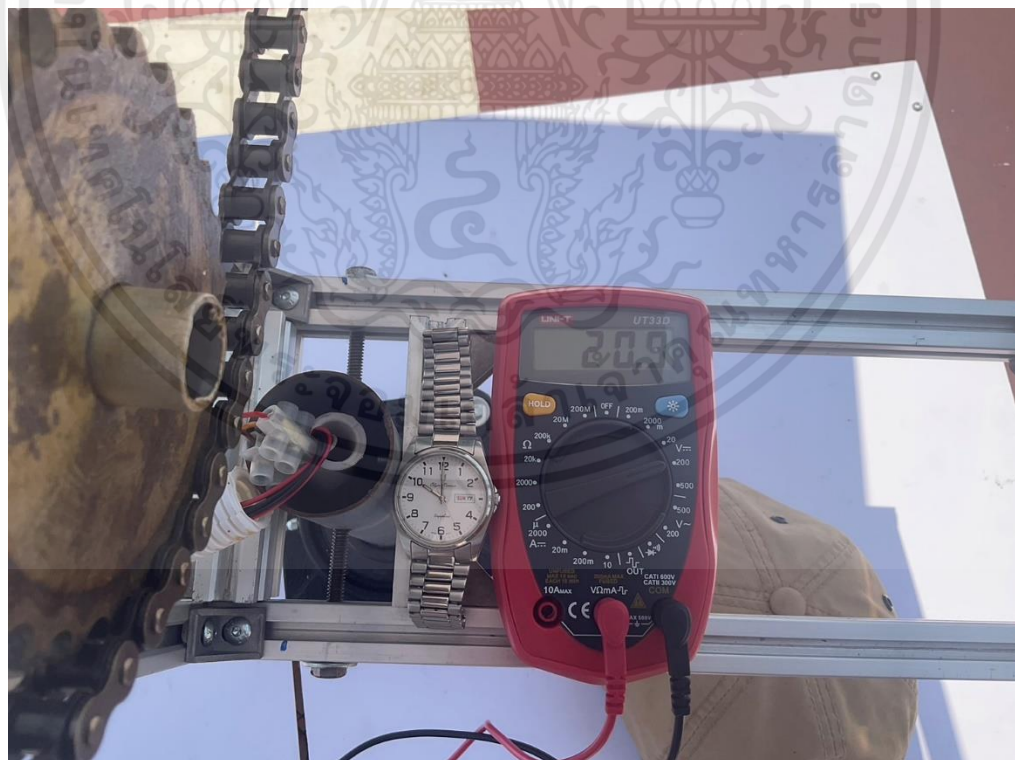


รูปที่ 14 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์? ณ เวลา 17.00 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

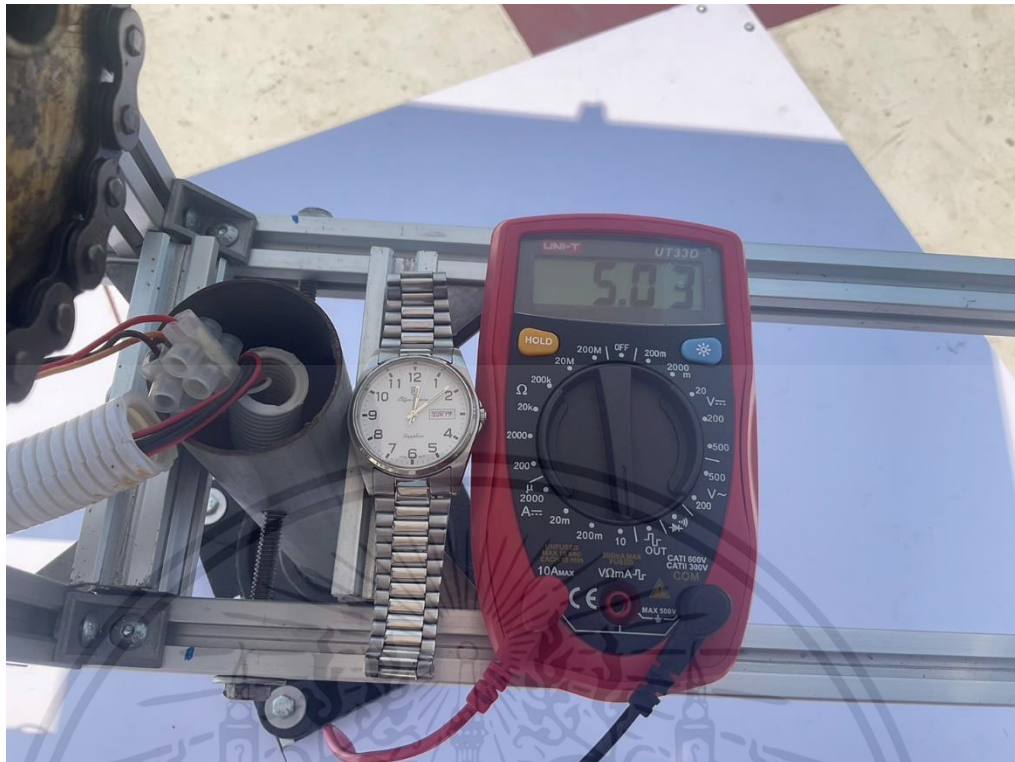


รูปที่ 15 ค่ากระแสที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 10.00 นาฬิกา

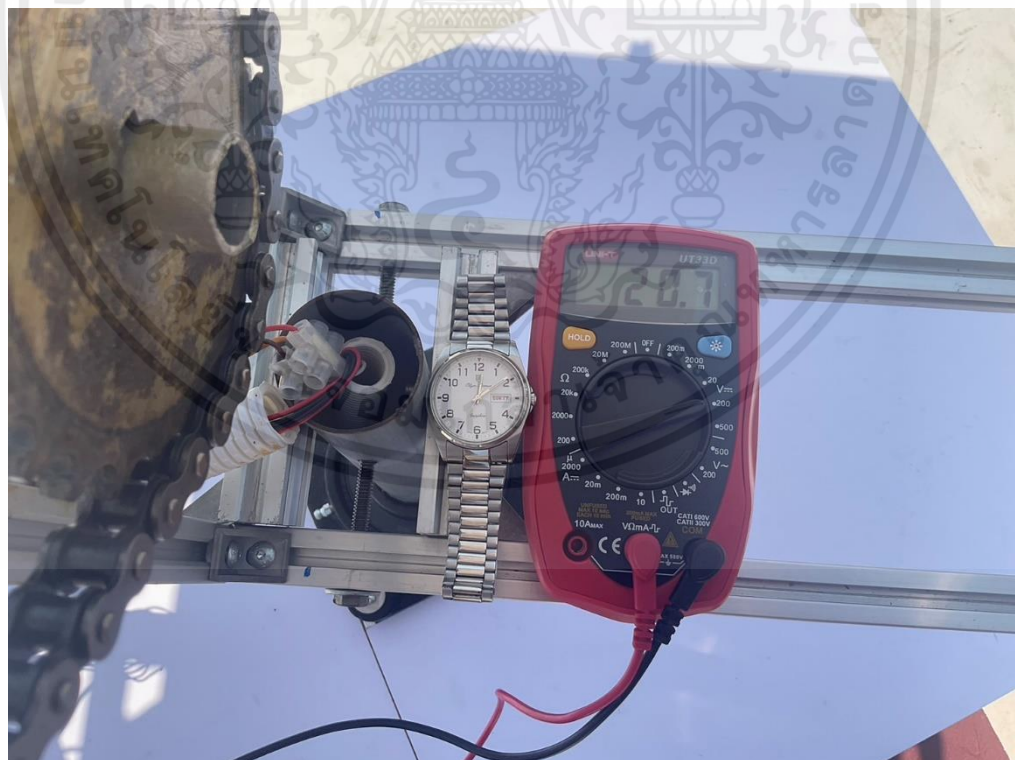


รูปที่ 16 ค่าแรงดันที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 10.00 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 ค่ากระแสที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 12.09 นาฬิกา

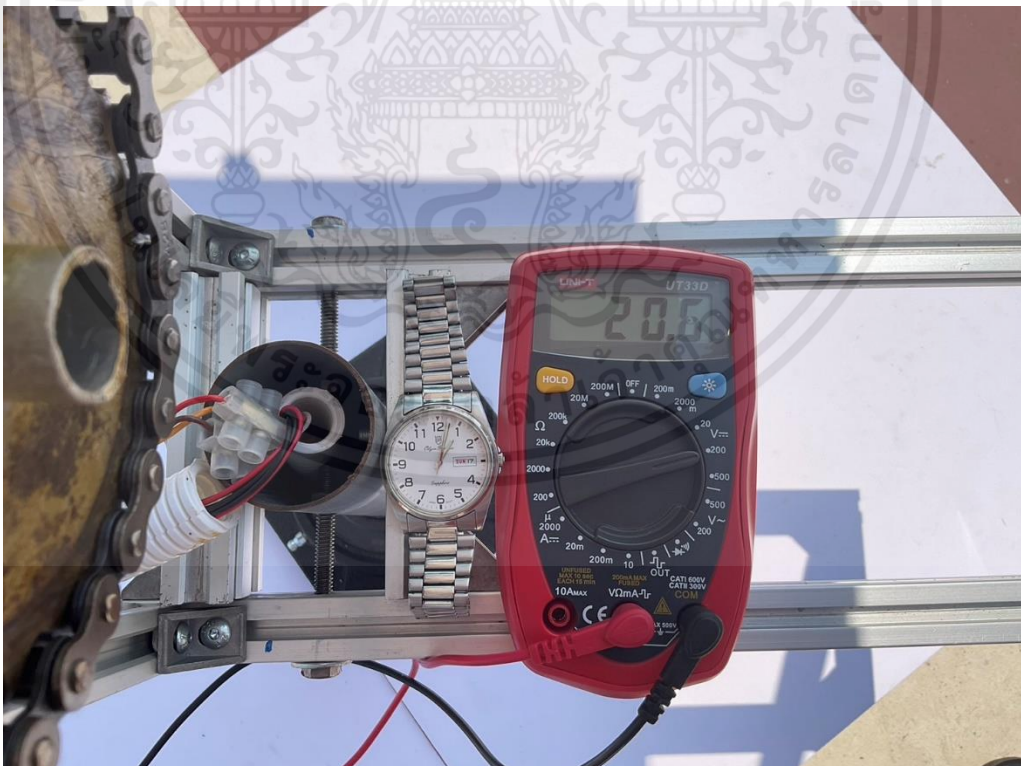


รูปที่ 17 ค่าแรงดันที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 12.09 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 ค่ากระแสที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 13.03 นาฬิกา

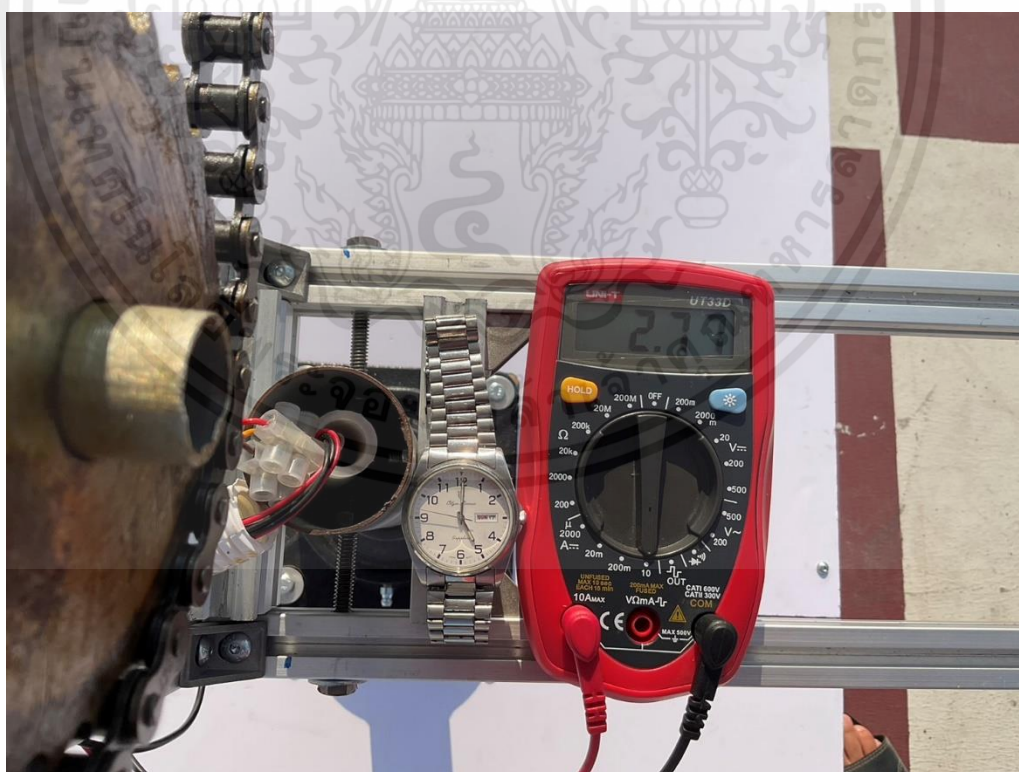


รูปที่ 19 ค่ากระแสที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 13.03 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

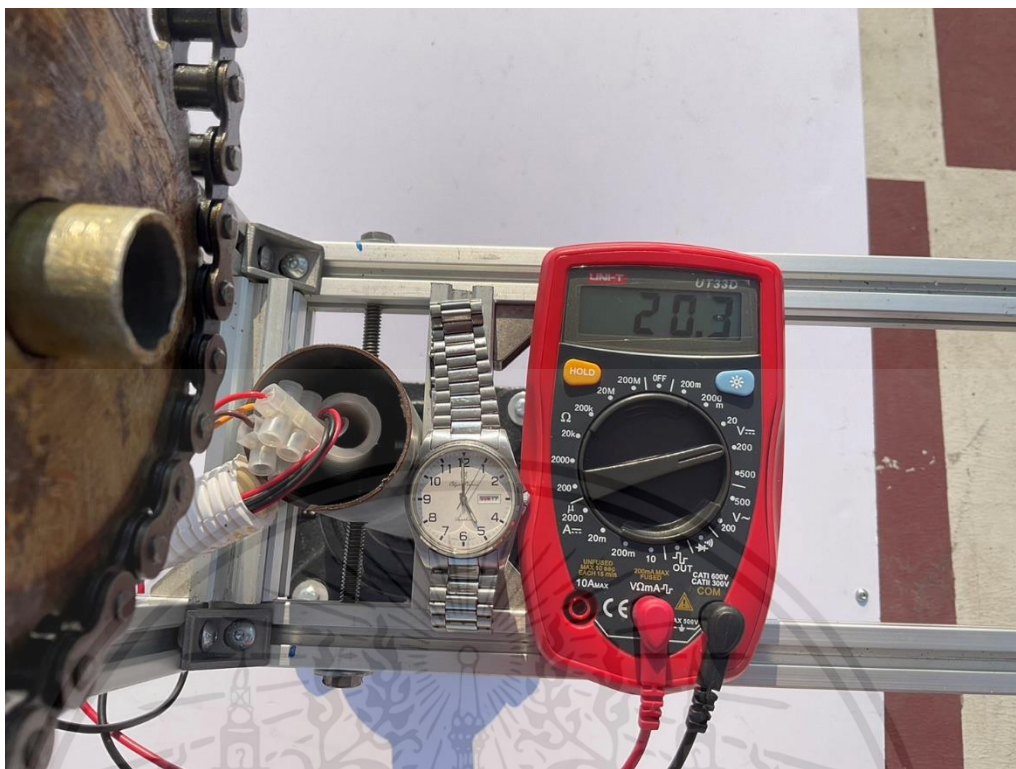


รูปที่ 20 ค่าแรงดันที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 15.05 นาฬิกา

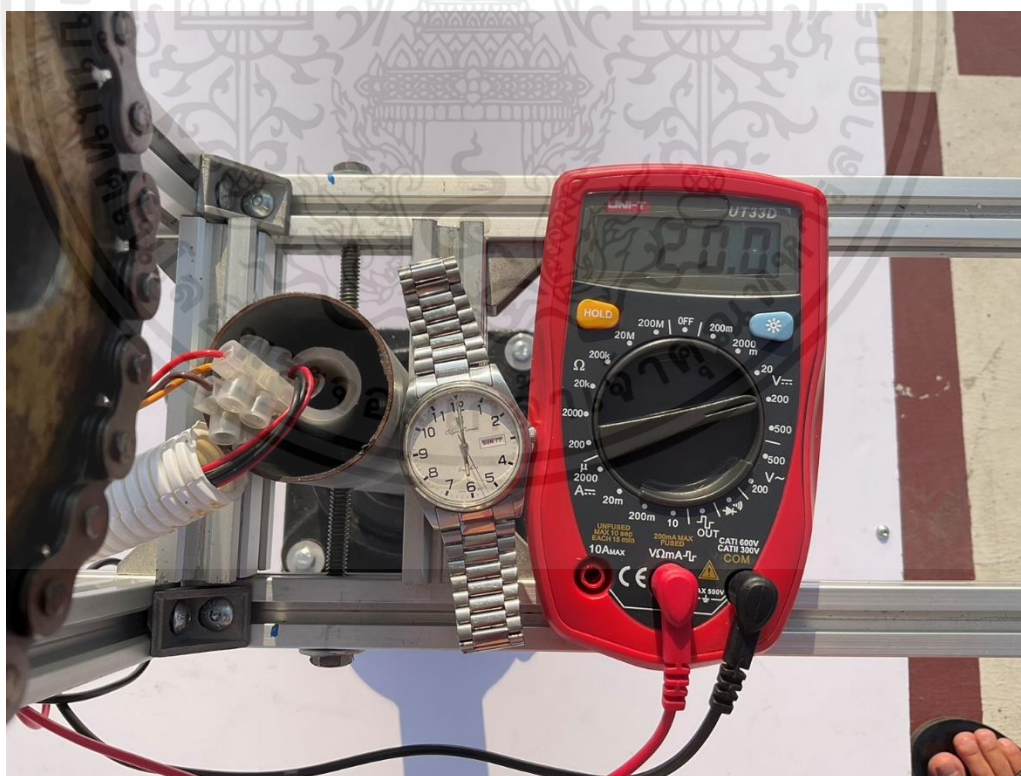


รูปที่ 21 ค่ากระแสที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 17.01 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 ค่าแรงดันที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 17.00 นาฬิกา



รูปที่ 23 ค่าแรงดันที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 18.00 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 24 ค่ากระแสที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตามแสง ณ 18.00 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้