

กังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ
SMART ELECTRIC AERATOR



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART ELECTRIC AERATOR



NATTAWUT THUMLANDEE

MAYTAWIN SEEKAEW

WARINEE THONGKAM

WITCHAYUT JEWKHAM

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 LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2021

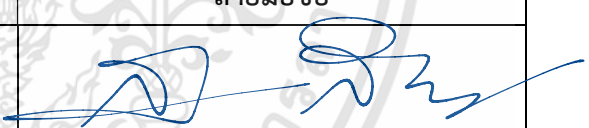
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ กังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ
SMART ELECTRIC AERATOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณัฐวุฒิ ทำลานดี รหัสนักศึกษา 62015039
นายเมธวิวัฒน์ สีแก้ว รหัสนักศึกษา 62015098
นางสาววาริณี ทองคำ รหัสนักศึกษา 62015103
นายวิษุทธิ์ จิวเข้ม รหัสนักศึกษา 62015104

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมการวัดคุม (โครงการบัณฑิตพันธุ์ใหม่)
ปีการศึกษา 2564

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล	

หัวข้อปริญญานิพนธ์ กังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ

SMART ELECTRIC AERATOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณัฐวุฒิ ทำลานดี รหัสนักศึกษา 62015039
 นายเมธวิวัฒน์ สีแก้ว รหัสนักศึกษา 62015098
 นางสาววารินี ทองคำ รหัสนักศึกษา 62015103
 นายวิษุฒม์ จิวเข้ม รหัสนักศึกษา 62015104

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล

ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา เพื่อพัฒนากังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงและใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์ให้สามารถเคลื่อนที่ เพื่อประโยชน์ในการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดใช้เทคโนโลยีการออกแบบด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์โดยให้แผงโซลาร์เซลล์ขับเคลื่อนตามแสงอาทิตย์ได้เองโดยอัตโนมัติ ทำให้ได้รับพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งจะถูกนำมาชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่ การดำเนินการวิจัยได้ทำการออกแบบระบบตรวจสอบแรงดัน กระแสและค่า pH ของน้ำ โดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk สำหรับแสดงข้อมูล ผลที่ได้จากการวิจัยเครื่องขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์อัตโนมัติ ทำให้แผงโซลาร์เซลล์รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ อันเป็นผลทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ สามารถนำไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

Thesis Title SMART ELECTRIC AERATOR
Authors Mr. Nattawut Thumlandee
Mr. Maytawin Seekaew
Miss. Warinee Thongkham
Mr. Witchayut Jewkam
Thesis Advisor Asst.Prof.Suttham Satthamsakul
Year 2021

ABSTRACT

This thesis is the study of the development of smart electric aerator in water by solar energy for water resource. Design and create operation of a DC motor driven to drive the solar panels able to move. For the benefit of obtaining sunlight energy with maximum efficiency using a microcontroller system allows the solar cells to be driven according to the sunlight automatically. It was enabled to transfer sunlight, and the quality of natural power would be delivered stored in the battery. Researching design was to inspect voltage, current and pH of water and using the Blynk app to display the data. Research consequence of automation control solar cell would be accumulated the full quality sunlight energy and the power battery would be required for its operation.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเพราะคำแนะนำจาก ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล และคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ช่วยแนะนำ จัดหาและสอนสิ่งในเนื้อหาวิชาการ รวมถึงสิ่งสำคัญอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังเอื้อเพื่อต่ออุปกรณที่จำเป็นต่อโครงการมากมาย ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาวิศวกรรมการวัดคุมที่คอยช่วยเหลือและต่างก็ให้กำลังใจในระหว่างการทำโครงการที่อาจพบเรื่องผิดพลาดและไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยตนเอง อีกทั้งยังให้ยืมอุปกรณที่ช่วยในการทำโครงการผ่านพ้นไปด้วยดี

และที่ลืมเสียไม่ได้ ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณครอบครัวอันประกอบไปด้วย พ่อ แม่ พี่น้อง รวมถึงปู่ย่า ตายาย ทุกคนที่ช่วยสนับสนุน และเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาานิพนธ์จนประสบผลสำเร็จเช่นนี้ได้

คุณค่าและคุณประโยชน์จากการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยในโครงการชิ้นนี้ประสบผลสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แผงโซล่าเซลล์ (Solar cell panel).....	3
2.1.1 ความหมายของโซล่าเซลล์.....	3
2.1.2 ผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon c-Si).....	4
2.1.3 แผงโซล่าเซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์.....	4
2.1.4 ขั้นตอนการผลิตของแผงโซล่าเซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์.....	5
2.1.4.1 ข้อดีของแผงโซล่าเซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์.....	5
2.1.4.2 ข้อเสียของแผงโซล่าเซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์.....	5
2.1.5 แผงโซล่าเซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells).....	6
2.1.5.1 ขั้นตอนการผลิตของแผงโซล่าเซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์.....	6
2.1.5.2 ข้อดีของแผงโซล่าเซลล์ ชนิด โพลีคริสตัลไลน์.....	6
2.1.6 แผงโซล่าเซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells).....	7
2.1.6.1 ขั้นตอนการผลิตของแผงโซล่าเซลล์ชนิดฟิล์มบาง.....	7
2.1.6.2 ข้อดีของแผงโซล่าเซลล์ชนิดฟิล์มบาง.....	8
2.1.6.3 ข้อเสียของแผงโซล่าเซลล์ชนิดฟิล์มบาง.....	8

สารบัญ (ต่อ)

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า	8
2.2.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า	9
2.2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC MOTOR).....	9
2.2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR).....	9
2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	9
2.2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง.....	9
2.2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง.....	11
2.2.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.2.3.1 มอเตอร์แบบอนุกรม.....	12
2.2.3.2 มอเตอร์แบบขนาน.....	12
2.2.3.3 มอเตอร์แบบผสม.....	13
2.3 สายไฟฟ้า.....	14
2.4 อลูมิเนียม.....	14
2.5 MC4 Solar Connector	15
2.6 อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้า	15
2.7 Arduino ESP32.....	16
2.7.1 ประวัติความเป็นมาของ ESP32	17
2.7.2 รายชื่อผู้พัฒนาชุด ESP_IDF.....	20
2.7.3 MicroPython-ESP32	21
2.7.4 Espruino on ESP32.....	22
2.7.5 การเลือกใช้ชุดซอฟต์แวร์พัฒนา.....	22
2.8 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ.....	23
2.8.1 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟคืออะไร	23
2.8.2 ประเภทของเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ.....	23
2.8.3 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟแบบ Capacitive.....	24
2.8.4 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟแบบตัวต้านทาน.....	24
2.8.5 ข้อดีของเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ.....	25
2.8.6 การประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ.....	25

สารบัญ (ต่อ)

2.9 เซ็นเซอร์วัดกระแส.....	26
2.9.1 การทำงานของเซนเซอร์วัดกระแส ACS712.....	26
2.10 pH sensor.....	27
2.10.1 ความหมายค่า pH.....	27
2.10.2 การตรวจวัดค่า pH	27
2.11 ฟุ่นลอยน้ำ.....	28
2.12 มอเตอร์แกนขั้ว.....	28
2.13 ชาร์จเจอร์ PWM (Pulse Width Modulation).....	29
2.13.1 ข้อควรแนะนำในการเลือกซื้อคอนโทรลเลอร์ชาร์จโซล่าเซลล์.....	30
บทที่ 3 การออกแบบและการทำงาน.....	31
3.1 การออกแบบ.....	31
3.1.1 การออกแบบโครงสร้าง	31
3.1.2 หลักการทำงานของวงจร.....	34
3.1.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	35
3.2 วิธีการดำเนินงาน.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 การทดลองกักเก็บน้ำอัจฉริยะ.....	39
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา	42
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างองศาแอมป์โซล่าเซลล์เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง	45
5.3 วิธีการแก้ไขปัญหาทำการทดลอง	45
5.4 ข้อจำกัดการใช้งาน.....	45

สารบัญ (ต่อ)

5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก. โปรแกรม	49
ภาคผนวก ข. รายการอุปกรณ์และส่วนประกอบ	53



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนประกอบของกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ.....	32
3.2 องค์การหมุนของแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามแสงอาทิตย์.....	33
4.1 การทดลองกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะวันที่ 1.....	40
4.2 การทดลองกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะวันที่ 2.....	41



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผ่นโซลาร์เซลล์.....	3
2.2 Single Crystalline Silicon Solar Cell.....	4
2.3 Polycrystalline Silicon Solar Cells.....	6
2.4 Thin Film Solar Cells.....	7
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า.....	8
2.6 Series Motor.....	12
2.7 Shunt Motor.....	12
2.8 Short Shunt Compound Motor.....	13
2.9 Long shunt motor.....	13
2.10 สายไฟฟ้า.....	14
2.11 อลูมิเนียม.....	15
2.12 MC4 Solar Connector.....	15
2.13 อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้า.....	16
2.14 โมดูล ESP8266.....	17
2.15 ด้านซ้ายบอร์ด NodeMCU 0.9 และด้านขวาบอร์ด NodeMCU 1.0.....	18
2.16 หน้าเว็บหลักของชุดซอฟต์แวร์ Arduino core for ESP8266 WiFi chip อยู่ใน GitHub.....	18
2.17 ด้านหน้าและด้านหลังของโมดูล ESP31B-WROOM-03 ใช้ชิปไอซี ESP31B.....	19
2.18 โมดูล ESP3212 ที่ Ai-Thinker ร่วมกับ Seeedstudio ผลิตขึ้น.....	19
2.19 โมดูล ESP32S ที่ Seeedstudio ส่งมอบ.....	20
2.20 หน้าตาบอร์ดพัฒนา DOIT ESP32 Development Board.....	21
2.21 โลโก้องค์กร MicoPython.....	21
2.22 โลโก้ของโครงการ Espruino.....	22
2.23 หน้า UI ของโปรแกรม Espruino Web IDE.....	22
2.24 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ.....	23
2.25 วงจรเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ.....	24
2.26 วงจรเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าแบบตัวต้านทาน.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 วงจรเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าแบบตัวต้านทาน.....	26
2.28 แสดงส่วนต่างๆของเซ็นเซอร์วัดกระแส.....	26
2.29 pH sensor	27
2.30 ฟุ่นลอยน้ำ.....	28
2.31 Motor แขนหมุนตามแสงโซล่าเซลล์.....	29
2.32 ชาร์จเจอร์ PWM (Pulse Width Modulation).....	29
3.1 โครงสร้างและอุปกรณ์.....	32
3.2 แผนผังหลักการทำงาน.....	33
3.3 แผนผังหลักการทำงานของวงจร.....	34
3.4 ออกแบบโครงสร้างและติดตั้ง.....	36
3.5 ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์หมุนตามแสงอาทิตย์และมอเตอร์แกนชัก.....	37
3.6 ออกแบบโปรแกรมและติดตั้งอุปกรณ์ในกล่องคอนโทรล.....	37
3.7 ทดลองวัดแรงดัน กระแส และความเป็นกรดหรือด่างของน้ำแสดงผ่านแอปพลิเคชัน Blynk.....	38
3.8 ทดลองและเก็บผลการทดลองของแอปพลิเคชัน Blynk และ โซล่าเซลล์หมุนตามตะวัน.....	38
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาวันที่ 1.....	43
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาวันที่ 2.....	43
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างองศาแผงโซล่าเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา.....	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญญานិพนธ์

ในปัจจุบันปัญหาหน้าเสี่ยของประเทศไทยเป็นประเด็นความท้าทายที่หลายหน่วยงานพยายามหาทางแก้ไขโดยมีเป้าหมายฟื้นฟูแหล่งน้ำสำคัญ ต้นเหตุหลักมาจากแหล่งชุมชนโดยเฉพาะชุมชนเมืองที่อยู่ริมน้ำ โดยมีการประเมินสัดส่วนน้ำเสี่ยกว่าร้อยละ 70 รองลงมาคือ น้ำเสี่ยจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตร ทั้ง การเพาะปลูก การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการปศุสัตว์ ดังนั้นการฟื้นฟูคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสี่ยชุมชนจึงเป็นสิ่งจำเป็น หลายแห่งก็ยังไม่มึระบบการจัดการน้ำเสี่ย โดยเฉพาะเขตกรุงเทพมหานครมีการบำบัดน้ำเสี่ยได้ประมาณร้อยละ 40 ส่วนที่เหลือมากกว่าร้อยละ 60 ถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำและคูคลอง ในเมืองใหญ่ ๆ ทั่วประเทศไทย มีระบบบำบัดน้ำเสี่ยกว่า 100 ระบบ แต่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น ส่วนที่เหลือยังบำบัดน้ำเสี่ยไม่ได้มาตรฐาน และหลายพื้นที่ก็ยังไม่สามารถดำเนินการหรือไม่มีโครงการที่จะดำเนินการและเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญที่ทำให้น้ำในแหล่งน้ำหน้าเสี่ย แหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม จะต้องดำเนินการระบบบำบัดน้ำเสี่ยให้ เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้และการบังคับใช้กฎหมายที่เข้มงวด เพื่อลดของเสี่ยลงสู่คูคลองและแม่น้ำ

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้แนวคิดในการทำโครงการ กังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะหรือเครื่องเติมออกซิเจน คือ เครื่องจักรกลชนิดหนึ่งมีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างทำด้วยทุ่นลอยน้ำ เพื่อให้ลอยน้ำและรับน้ำหนักของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยมีตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์มาเก็บไว้มีตัวกักน้ำเพื่อเติมออกซิเจน เพื่อทำหน้าที่ให้น้ำสัมผัสกับอากาศได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในอากาศสามารถละลายผสมผสานเข้าไปในน้ำได้อย่างรวดเร็ว ทุกครั้งที่น้ำถูกตักขึ้นมา ออกซิเจนในอากาศจะละลายในน้ำได้ดีขึ้นเพราะพื้นที่ในการทำปฏิกิริยามีมากกว่าเดิม ทำให้น้ำเสี่ยซึ่งเป็นปัญหาของแหล่งน้ำในหลายพื้นที่ มีคุณภาพที่ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาวิธีการทำงานของระบบไฟฟ้าและการควบคุมตรวจวัดคุณภาพน้ำ
2. เพื่อตอบสนองการใช้งานของเกษตรกร
3. เพื่อตอบโจทยนโยบายยานยนต์ไฟฟ้า
4. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสี่ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมและนำร่องกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะให้สามารถใช้งานได้จริง

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สร้างความสมดุลของน้ำและระบบนิเวศวิทยา
2. แอปพลิเคชัน Blynk ในการแสดงข้อมูล
3. โซลาร์เซลล์หมุนตามแสงอาทิตย์

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมของบอร์ด Arduino
2. ศึกษาเงื่อนไขการทำงานของโค้ดโปรแกรม
3. ศึกษาข้อมูลวงจรโซลาร์เซลล์หมุนตามแสงอาทิตย์
4. ศึกษาข้อมูลด้านการบำบัดน้ำเสียในแหล่งน้ำขนาดใหญ่

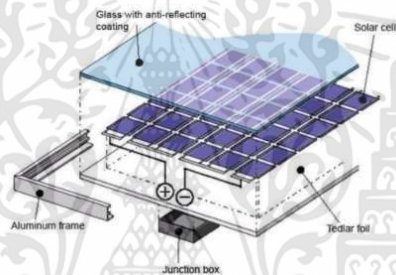


บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar cell panel)

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) หรือเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง Renewable Energy สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใด ๆ ขณะใช้งาน โดยมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผงโซลาร์เซลล์

2.1.1 ความหมายของโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic/PV) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงแดดให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ก่อนจะตัดสินใจเลือกขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ จำเป็นต้องทราบก่อนว่าต้องการผลิตกระแสไฟฟ้ามากน้อยเพียงใดและขนาดกำลังวัตต์เท่าใดจึงจะเหมาะสม โดยทั่วไปตามท้องตลาดจะมีแผงโซลาร์เซลล์จำหน่ายตั้งแต่ขนาด 10 -285 วัตต์ การเลือกแผงโซลาร์เซลล์ควรเลือกให้มีกำลังไฟมากกว่าขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างน้อย 20% เพราะอาจเกิดการสูญเสียกำลังไฟในระบบได้ และยังเป็นการรักษาแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานที่ยาวขึ้นไม่ต้องชาร์ตแบตเตอรี่ทุกวัน แผงโซลาร์เซลล์จะมีอายุการใช้งานนานถึง 25 ปี แต่เมื่อเวลาผ่านไป 10 ปี ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์จะลดลงประมาณ 90% และเมื่อมีอายุการใช้งานถึง 25 ปี จะลดลงเหลือ 80% แผงโซลาร์เซลล์มีหลายขนาดสามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน โซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียมฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นตัวนำไฟฟ้าและจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและ

ลอบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

2.1.2 ผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon c-Si)

ในปัจจุบัน เกือบ 90% ของแผงโซลาร์เซลล์ นั้นทำมาจากซิลิคอน (Silicon) ซึ่งซิลิคอนนี้อาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กันไป และ 95% ของแผงโซลาร์เซลล์ ที่มีใช้ตามบ้านเรือนนั้น เป็นซิลิคอนที่อยู่ในรูปของ ผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon) ความบริสุทธิ์ของเนื้อซิลิคอนเป็นคุณสมบัติสำคัญที่สุดที่ทำให้รูปแบบของซิลิคอนที่นำมาใช้ทำโซลาร์เซลล์มีความแตกต่างกันออกไป ด้วยคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีแล้วซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์กว่าจะมีโมเลกุลจัดเรียงตัวดีและเป็นระเบียบกว่าและทำให้มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์จึงขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของซิลิคอน แต่กระบวนการที่จะทำให้ซิลิคอนมีความบริสุทธิ์นั้นยุ่งยากมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูง ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์จึงไม่ใช่สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงแต่การคำนึงถึงเรื่องของราคาต้นทุนความคุ้มค่าในการลงทุนหรือจุดคืนทุนประสิทธิภาพต่อพื้นที่และขนาดพื้นที่ก่อนจะเหมาะสมกว่า ผลึกซิลิคอนในแผงโซลาร์เซลล์มี 2 รูปแบบหลัก ๆ ได้แก่ ผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยวหรือโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอน (monocrystalline Silicon) และผลึกซิลิคอนเชิงผสมหรือโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอน (polycrystalline Silicon)

2.1.3 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells)

แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells) แผงโซลาร์เซลล์ ชนิดที่ทำมาจาก ผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (mono-Si) หรือบางทีก็เรียกว่า single crystalline (single-Si) สังเกตดูค่อนข้างง่ายกว่าชนิดอื่นเพราะจะเห็นแต่ละเซลล์ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสี่เข็ม แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ นั้น เป็นชนิดที่ทำมาจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยเริ่มมาจากแท่งซิลิคอนทรงกระบอก อันเกิดมาจากกระบวนการ กวนให้ผลึกเกาะกันที่แกนกลาง ที่เรียกว่า Czochralski process จึงทำให้เกิดแท่งทรงกระบอก จากนั้นจึงนำมาตัดให้เป็นสี่เหลี่ยม และลบมุมทั้งสี่ออก เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้วัตถุดิบโมโนซิลิคอนลง ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นอีกที จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์ ลักษณะตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Single Crystalline Silicon Solar Cell

2.1.4 ขั้นตอนการผลิตของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

- 1) นำซิลิคอนที่ถูกล้างได้มาหลอมเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1400 °C แล้วดึงผลึกออกจากของเหลว โดยลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จนได้แท่งผลึกซิลิคอนเป็นของแข็งแล้วนำมาตัดเป็นแว่น ๆ
- 2) นำผลึกซิลิคอนที่เป็นแว่น มาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่าง ๆ เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นภายในเตาแพร่ซึมที่มีอุณหภูมิประมาณ 900-1000 °C แล้วนำไปทำขั้นตอนการสะท้อนแสงด้วยเตา oxidation ที่มีอุณหภูมิสูง
- 3) ทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยการฉาบโลหะภายใต้สุญญากาศ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องนำไปทดสอบประสิทธิภาพด้วยแสงอาทิตย์เทียมและวัดหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า

2.1.4.1 ข้อดีของแผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์

- 1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะผลิตมาจากซิลิคอนเกรดดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 15-20%
- 2) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่สูงสุด เพราะว่าให้กำลังสูงจึงต้องการพื้นที่น้อยที่สุดในการติดตั้ง แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เกือบ 4 เท่า ของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (thin film)
- 3) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ มีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 25 ปีขึ้นไป
- 4) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าชนิดโพลีคริสตัลไลน์ เมื่ออยู่ในภาวะแสงน้อย

2.1.4.2 ข้อเสียของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

- 1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์เป็นชนิดที่มีราคาแพงที่สุดในบางครั้งการติดตั้งด้วยแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ หรือแผงโซลาร์เซลล์ฟิล์มบาง (thin film) อาจมีความคุ้มค่ามากกว่า
- 2) ถ้าหากแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ มีความสกปรกหรือถูกบังแสงในบางส่วนของแผงอาจทำให้วงจรหรือ inverter ไหม้ได้ เพราะอาจจะทำให้เกิดโวลต์สูงเกินไป

2.1.5 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)

แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดแรก ที่ทำมาจากผลึกซิลิคอน โดยทั่วไปเรียกว่า โพลีคริสตัลไลน์ (polycrystalline, p-Si) แต่บางครั้งก็เรียกว่า มัลติ-คริสตัลไลน์ (multi-crystalline, mc-Si) โดยในกระบวนการผลิต สามารถที่จะนำเอา ซิลิคอนเหลว มาเทใส่โมลด์ที่เป็นสี่เหลี่ยมได้เลย ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นบางอีกที จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่มีการตัดมุม สีของแผงจะออกน้ำเงิน ไม่เข้มมาก ลักษณะตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Polycrystalline Silicon Solar Cells

2.1.5.1 ขั้นตอนการผลิตของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

- 1) นำซิลิคอนที่ถลุงและหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อซิลิคอนแข็งตัวจะได้เป็นแท่งซิลิคอนเป็นแบบผลึกรวม แล้วนำมาตัดเป็นแว่น ๆ
- 2) จากนั้นนำมาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่าง ๆ และทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว

2.1.5.2 ข้อดีของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

- 1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 13-16% ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์
- 2) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์จะมีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์
- 3) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์มีสีน้ำเงินทำให้บางครั้งอาจดูไม่สวยงาม เมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์และชนิดฟิล์มบางที่มีสีเข้มเข้ากับสิ่งแวดล้อม

2.1.6 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells)

โซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell, TFSC) ลักษณะตามรูปที่ 2.4 หลักการโดยทั่วไปของการผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบางคือ การนำเอาสารที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นกระแสไฟฟ้ามาฉาบเป็นฟิล์มหรือชั้นบาง ๆ ซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น จึงเรียก โซลาร์เซลล์ชนิดนี้ว่าฟิล์มบาง หรือ thin film ซึ่งสารฉาบที่ว่ามีด้วยกันหลายชนิดชื่อเรียกของ แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบางจึงแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่นำมาใช้ได้แก่ อะมอร์ฟัส Amorphous silicon (a-Si), Cadmium telluride (CdTe), Copper indium gallium selenide (CIS/CIGS) และ Organic photovoltaic cells (OPC) ด้านประสิทธิภาพของ แผงโซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบางนั้น มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นฟิล์มฉาบ แต่สำหรับบ้านเรือนโดยทั่วไปแล้ว มีเพียงประมาณ 5% เท่านั้นที่ใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่เป็นแบบชนิดฟิล์มบาง



รูปที่ 2.4 Thin Film Solar Cells

2.1.6.1 ขั้นตอนการผลิตของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง

- 1) ทำการแยกสลายก๊าซซิลเลน (Silane Gas) ให้เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่อง Plasma CVD เป็นการผ่านก๊าซซิลเลนเข้าไปในครอบแก้วที่มีขั้วไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้ก๊าซแยกสลายเกิดเป็นพลาสมา และอะตอมของซิลิคอนจะตกลงบนฐานหรือสแตนเลสสตีลที่วางอยู่ในครอบแก้ว เกิดเป็นฟิล์มบางขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน หรือ 0.001 มม.
- 2) ขณะที่แยกสลายก๊าซซิลเลนจะผสมก๊าซฟอสฟีนและไดโบเรนเข้าไปเป็นสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นสำหรับใช้เป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) การทำขั้วไฟฟ้ามักใช้ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ทำจาก ITO (Indium Tin Oxide)

2.1.6.2 ข้อดีของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง

- 1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบางมีราคาถูกกว่า เพราะสามารถผลิตจำนวนมากได้ง่ายกว่าชนิดผลึกซิลิคอน
- 2) ในที่อากาศร้อนมาก ๆ แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบางมีผลกระทบน้อยกว่า
- 3) ไม่มีปัญหาเมื่อแผงสกปรกแล้วจะทำให้วงจรไหม้
- 4) ถ้ามีพื้นที่การติดตั้งเพียงพอแผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบางก็เป็นทางเลือกที่ดี

2.1.6.3 ข้อเสียของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง

- 1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง มีประสิทธิภาพต่ำ
- 2) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำ
- 3) สิ้นเปลืองค่าโครงสร้างและอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น สายไฟ
- 4) ไม่เหมาะนำมาใช้ตามหลังคาบ้านเพราะมีพื้นที่จำกัด
- 5) การรับประกันมากกว่าชนิดผลึกซิลิคอน

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า (MOTOR) หมายถึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่แปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงาน ดังนั้นจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า ตลอดจนคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้น ๆ และสามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับงานออกแบบหรืองานอื่นที่เกี่ยวข้องได้ ตัวอย่างของมอเตอร์ไฟฟ้าแสดงตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.2.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้

2.2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

เอซี มอเตอร์ (AC MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (AC Single Phase) แบ่งออกเป็น 5 ชนิดได้แก่

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

2.2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

ดีซี มอเตอร์ (DC MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

- มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)
- มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ถือเป็นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่เด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด มักนิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จัก อุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

2.2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

- 1) ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วยเฟรมหรือโยค (Frame or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรง

แม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหน้าม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวน ประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque)

ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบ ๆ แกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้นและเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

- 2) ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ ทำให้เกิดกำลังงาน มีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ
- แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลาจะวางอยู่บนแบร์ริง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้
 - แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)
 - คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมกา (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลาเป็นรูปทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก อีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้าง และเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิด

จากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นเรียกได้ว่าปฏิกิริยา
มอเตอร์ (Motor action)

- ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่อง
สลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และ
จำนวนรอบ จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับารออกแบบของ ตัวโรเตอร์
ชนิดนั้น ๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ ที่ต้องการ

3) แปรงถ่าน (Brushes) ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าใน
ช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์
ตลอดเวลา เพื่อรับกระแสและส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์
กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้ามอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับ
กระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ให้ลวดอาร์มาเจอร์เกิดแรงบิด
ทำให้มอเตอร์หมุนได้

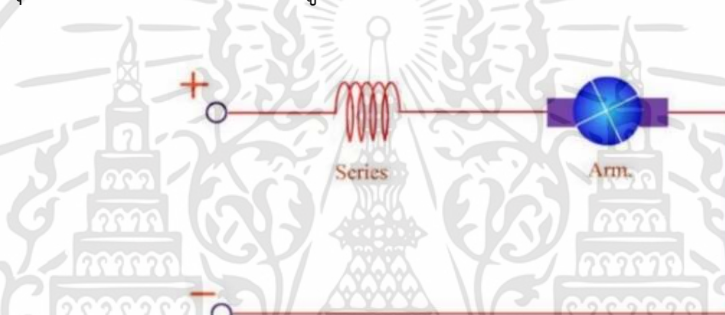
2.2.2.2 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดัน
กระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งแปรงถ่านจะผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์
สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil)
สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก
จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวขดลวด
อาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลลาและแกนเพลลานี้สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้
โดยขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้จะเรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่
อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกันทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นซึ่งเป็นไป
ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's left hand rule)

2.2.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.3.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

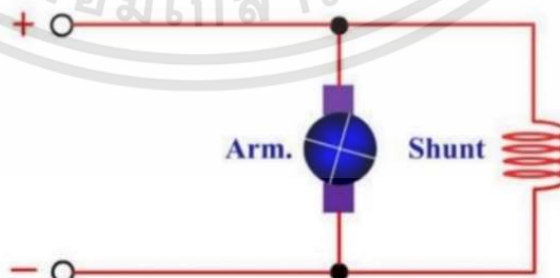
มอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ลักษณะตามรูปที่ 2.6 เรียกมอเตอร์ชนิดนี้ได้ว่า ซีรีฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูง นิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้ายกของเครื่องบิน ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลด ความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลด แต่ขดลวดของมอเตอร์ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้ จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมาก ความเร็วรอบจะลดลง เมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ท มอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



รูปที่ 2.6 Series Motor

2.2.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

เรียกว่าชันทมอเตอร์มอเตอร์แบบขนาน ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวดชุดอาร์เมเจอร์ ลักษณะตามรูปที่ 2.7 มอเตอร์แบบขนานมีคุณลักษณะมีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำแต่ความเร็วรอบคงที่ ชันทมอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับการใช้งานเป็นพัดลม เพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



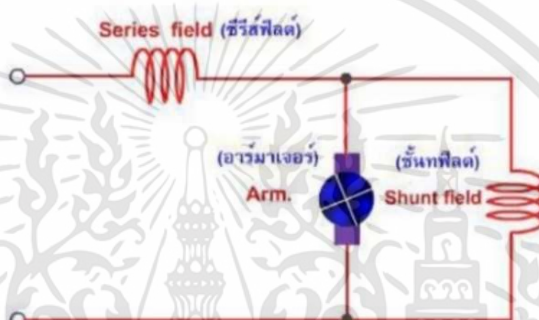
รูปที่ 2.7 Shunt Motor

2.2.3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

เรียกว่าคอมเปาว์ดมอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสม มีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีโหลด จนกระทั่งมีโหลดเต็มที่ มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชั้นที่อยู่ที่ 2 วิธี

1) ชอร์ตชันทคอมเปาว์ดมอเตอร์ (Short Shunt Compound Motor)

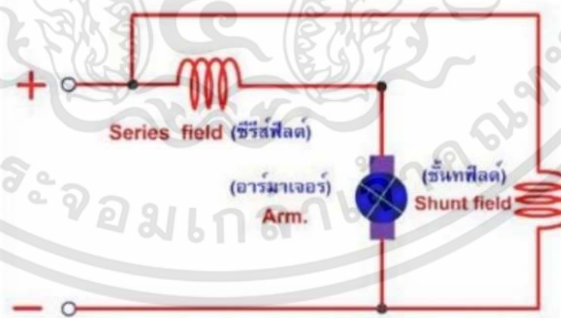
ต่อขดลวดแบบขนานกับขดลวดอนุกรม ลักษณะตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Short Shunt Compound Motor

2) ลองชันทมอเตอร์ (Long shunt motor)

ต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรม และขดลวดอาร์มาเจอร์ ลักษณะตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Long shunt motor

2.3 สายไฟฟ้า

วัสดุที่ประกอบไปด้วยธาตุโลหะที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี เนื่องจากเนื้อโลหะที่มีความแข็งและเหนียว โดยเฉพาะทองแดงที่สามารถนำมาแปรรูปได้ตามต้องการ สายไฟแต่ละชนิดจะได้รับการออกแบบแตกต่างกันออกไปตามโครงสร้างและคุณสมบัติการใช้งาน โดยรูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างของสายไฟฟ้า สายไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยกระแสไฟฟ้าจะเป็นตัวนำพลังงานไฟฟ้าผ่านไปตามสายไฟจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า สายไฟทำด้วยสารที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ เรียกว่าตัวนำไฟฟ้า และตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ทำสายไฟเป็นโลหะที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ดี ลวดตัวนำแต่ละชนิดยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ต่างกัน ตัวนำไฟฟ้าที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้มากเรียกว่ามีความนำไฟฟ้ามากหรือมีความต้านทานไฟฟ้าน้อย ลวดตัวนำจะมีความต้านทานไฟฟ้าอยู่ด้วย โดยลวดตัวนำที่มีความต้านทานไฟฟ้ามากจะยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้น้อย



รูปที่ 2.10 สายไฟฟ้า

2.4 อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส มีลักษณะมันวาวเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับภาระน้ำหนักได้สูงสามารถขึ้นรูปได้ง่ายไม่เสี่ยงต่อรอยร้าวและการแตกหัก ไม่เป็นสนิมทนต่อการกัดกร่อน อะลูมิเนียมเป็นที่ต้องการในปัจจุบันและได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน สำหรับภาคอุตสาหกรรมนั้นนำไปใช้ในการผลิตอะลูมิเนียมผสม และผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียม ส่วนภาคครัวเรือนมีใช้มากในการก่อสร้างและตกแต่งบ้านใช้ทดแทนไม้และเหล็ก เนื่องจากเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติคงทนต่อการหัก, ความร้อน, การกัดกร่อน, น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อนแสงและความร้อนได้ดี มักใช้ในงานก่อสร้าง งานตกแต่ง เช่น การทำประตู, หน้าต่าง, ฝ้า, ราวกัน และโครงสร้างต่าง ๆ นั่นเอง ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอะลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยาน และสำคัญในด้านอื่น ๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา, ความทนทานและความแข็งแรง โดยในรูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างการขึ้นรูปของอะลูมิเนียม



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการขึ้นรูปของอะลูมิเนียม

2.5 MC4 Solar Connector

MC4 Solar Connector ขั้วต่อคอนเนคเตอร์สำหรับโซลาร์เซลล์ มีลักษณะตามรูปที่ 2.12 นิยมใช้สำหรับการเชื่อมสายไฟของแผงโซลาร์เซลล์เข้าด้วยกัน ขั้วของ MC4 จะมี 2 ขั้ว ขั้วที่เป็นเต้าเสียบ และ ขั้วที่เป็นเต้ารับ เต้าเสียบและเต้ารับจะถูกวางไว้ภายในวัสดุหุ้มที่เป็นพลาสติกที่จะเป็นเพสตรงกันข้ามกัน โดยเต้าเสียบจะถูกไปใส่อยู่ในวัสดุหุ้มรูปทรงกระบอกที่คล้ายกับ Connector จะเรียกว่าตัวผู้และตัวเมียจะมีนิ้วพลาสติก 2 อันที่ต้องกดเข้ากันการใช้วัสดุ MC4 นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานกลางแจ้งจึงต้องมีการออกแบบอย่างดีสามารถทนอุณหภูมิต่ำสุด -40 องศาเซลเซียสจนถึง 85 องศาเซลเซียส สามารถทนต่อรังสี UV และสามารถทนกระแสสูงสุด 20 A แรงดันไฟฟ้า 600 V ขึ้นอยู่ที่ตัวนำไปใช้



รูปที่ 2.12 MC4 Solar Connector

2.6 อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกัน คืออุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดจากไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดไฟฟ้าช็อต ไฟฟ้าดูด กระแสไฟฟ้าเกินพิกัดหรือเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ใช้สำหรับป้องกันความเสียหายของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือเครื่องจักร อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีระบบไฟฟ้าใหญ่ขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรก็จะสูงมาก ดังนั้นการที่มีอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าเข้ามานั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไหลเกินเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นเกิดความเสียหาย ลักษณะโครงสร้างอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าจะเป็นรูปทรง

สีเหลี่ยมต่าง ๆ มีสวิตช์ ปิดขึ้น-ลง และมีช่องไว้สำหรับพ่วงต่อสายไฟ โดยมีลักษณะตามรูปที่ 2.13 ผลิตด้วยพลาสติกที่มีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ปัจจุบันเบรกเกอร์จะมีให้เลือกใช้งานหลากหลายประเภททั้งเบรกเกอร์ขนาดเล็กที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และไปจนถึงเบรกเกอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายไฟให้กับเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งแต่ละประเภทก็จะมีพิกัดแรงดันไฟฟ้าและคุณสมบัติการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้รุ่นที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน เพื่อประสิทธิภาพในการทำงานและความปลอดภัยของการใช้งาน



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้า

2.7 Arduino ESP32

ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน ตัวไอซี ESP32 มีสเปคโดยละเอียด ดังนี้

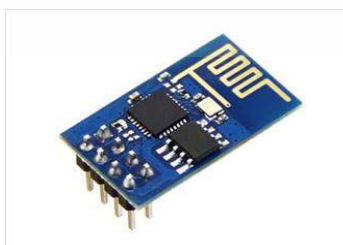
- ซีพียูใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240MHz มีแรมในตัว 512KB
- รองรับการเชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16MB
- มาพร้อมกับ WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station
- softAP และ Wi-Fi direct
- มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE
- ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6V ถึง 3V
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C
- วงจรกรองสัญญาณรบกวนในวงจรขยายสัญญาณ
- เซ็นเซอร์แม่เหล็ก
- เซ็นเซอร์สัมผัส (Capacitive touch) รองรับ 10 ช่อง
- รองรับการเชื่อมต่อคิสตอล 32.768kHz สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลาโดยเฉพาะ
- มี GPIO จำนวน 32 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ SPI จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ I²C จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง
- รองรับ DAC จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ I²S จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ PWM / Timer ทุกช่อง
- รองรับการเชื่อมต่อกับ SD-Card
- รองรับการเข้ารหัส WiFi แบบ WEP และ WPA/WPA2 PSK/Enterprise
- มีวงจรเข้ารหัส AES / SHA2 / Elliptical Curve Cryptography / RSA-4096 ในตัว
- รับ – ส่ง ข้อมูลได้ความเร็วสูงสุดที่ 150Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 ได้ความเร็วสูงสุด 72Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 ได้ความเร็วสูงสุดที่ 54Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11g และได้ความเร็วสูงสุดที่ 11Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11b
- เมื่อใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล UDP จะสามารถรับ – ส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 135Mbps
- โหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5uA

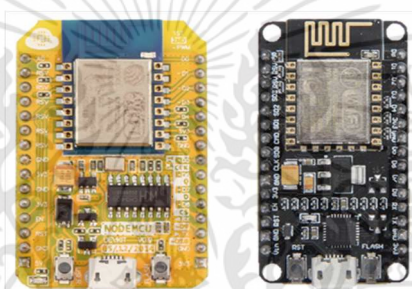
2.7.1 ประวัติความเป็นมาของ ESP32

ก่อนที่ ESP32 จะได้ถือกำเนิดขึ้น ได้มีไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี WiFi ในตัวออกมา คือไอซีเบอร์ ESP8266 โดยมีลักษณะโครงสร้างไอซีตามรูปที่ 2.14 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีนในช่วงเริ่มแรกไอซี ESP8266 สามารถทำงานได้ โดยใช้การสื่อสารผ่าน UART เท่านั้นและพูดคุยสั่งงานผ่าน AT command ไม่สามารถอัปเดตหรือแก้ไขเฟิร์มแวร์ด้านในได้ แต่ต่อมาไม่นานบริษัท Espressif ได้ออกไอซีเวอร์ชันใหม่มาในครั้งนี้อาจอัปเดตเฟิร์มแวร์ได้ และสามารถเขียนลงเฟิร์มแวร์เองได้ โดยในขณะนั้นการเขียนเฟิร์มแวร์จะใช้ภาษา C เพียงอย่างเดียวและใช้ ESP8266 SDK เป็นชุดซอฟต์แวร์พัฒนาด้วยความยากของการใช้งานภาษา C เพียงอย่างเดียวทำให้ไม่ได้รับความนิยมเรื่องการพัฒนาเฟิร์มแวร์เองมากนัก



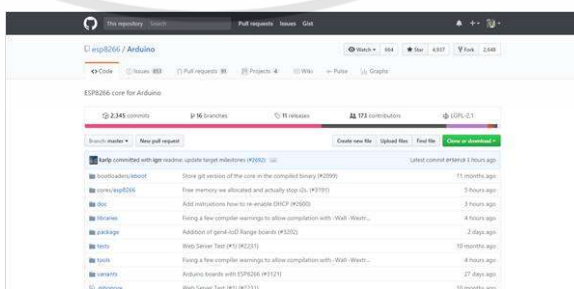
รูปที่ 2.14 โมดูล ESP8266

ประมาณ 1 ปี ผู้ผลิตบอร์ด NodeMCU ได้พอร์ตตัว Runtime ภาษา Lua มาลงใน ESP8266 ทำให้ตัว ESP8266 สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานตรง ๆ ได้ง่ายมากขึ้น รวมทั้งมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น และในบอร์ด NodeMCU ลักษณะตามรูปที่ 2.15 เป็นบอร์ดพัฒนา ESP8266 สำเร็จรูปเพียงบอร์ดเดียวที่มาพร้อมกับ USB to UART ทำให้สามารถอัปโหลดเฟิร์มแวร์เข้า ESP8266 ได้ผ่าน USB โดยตรงนอกจากนี้ผู้พัฒนาบอร์ด NodeMCU ได้คิดค้นวงจรการเข้าโหมดอัปโหลดโปรแกรมอัตโนมัติและตั้งชื่อว่า nodemcu ซึ่งภายหลังบอร์ดพัฒนาทุกรุ่นจะใช้วงจรแบบ nodemcu ในการเข้าโหมดอัปโหลดโปรแกรมอัตโนมัติ และด้วยเหตุผลที่บอร์ด NodeMCU เป็นบอร์ดพัฒนา ESP8266 บอร์ดแรกในท้องตลาด ทำให้ได้รับความนิยมมากจนถึงปัจจุบัน



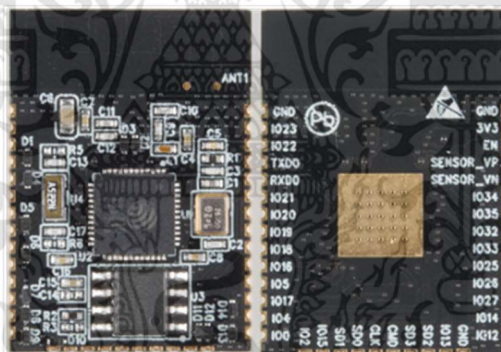
รูปที่ 2.15 ด้านซ้าย บอร์ด NodeMCU 0.9 และด้านขวา บอร์ด NodeMCU 1.0

หลังจากตัว Runtime ภาษา Lua ได้ถูกพอร์ตมาลง ESP8266 ได้ประมาณ 2 – 4 เดือน ทางชุมชนพัฒนาชื่อ ESP8266 Community Forum ได้ออกชุดไลบรารีและคอมไพเลอร์ สำหรับใช้กับโปรแกรม Arduino IDE มาในชื่อ Arduino core for ESP8266 WiFi chip หน้าเว็บหลักของชุดซอฟต์แวร์อยู่บน GitHub ลักษณะตามรูปที่ 2.16 ทำให้การพัฒนาเฟิร์มแวร์ของ ESP8266 นั้นง่ายขึ้นมาก ๆ โดยใช้การเขียนโปรแกรมแบบ Arduino ดังนั้นคนที่มีความรู้ในการเขียนโปรแกรมลงบอร์ด Arduino เป็นอยู่แล้ว จึงมาเขียนเฟิร์มแวร์ลง ESP8266 โดยใช้โปรแกรม Arduino ได้ไม่ยาก และนอกจากนี้ ไลบรารีต่าง ๆ ที่ใช้งานได้กับบอร์ด Arduino ยังสามารถนำมาใช้งานกับ ESP8266 ได้เลยทำให้ ESP8266 ได้รับความนิยมสูงมากจนถึงขณะนี้



รูปที่ 2.16 หน้าเว็บหลักของชุดซอฟต์แวร์ Arduino core for ESP8266 WiFi chip อยู่บน GitHub

ด้วยความสำเร็จอย่างถึงที่สุดของไอซี ESP8266 ทำให้บริษัท Espressif ออกไอซีรุ่นถัดไปมา ในช่วงแรกใช้ชื่อว่า ESP31B เปิดให้ร้านค้าขนาดใหญ่อย่าง Adafruit SparkFun และผู้สนใจบางส่วนได้ทำการทดสอบ โดยในขณะนั้นได้มีการพัฒนาชุดซอฟต์แวร์ ESP32_RTOS_SDK พร้อม ๆ กับการพัฒนาไอซี ESP31B ทำให้มีคณนำชุด ESP32_RTOS_SDK ไปพัฒนาลงโปรแกรม Arduino รอ ก่อนไอซีตัวจริงจะออกในชื่อ Arduino core for ESP31B WiFi chip ลักษณะตามรูปที่ 2.17 แต่หลังจากนั้นไม่นานบริษัท Espressif ได้ยกเลิกการใช้ชุดซอฟต์แวร์พัฒนา ESP32_RTOS_SDK แล้วไปสร้างชุดพัฒนาใหม่ชื่อ ESP-IDF แทน จากนั้นจึงออกไอซี ESP32 ออกมาเป็นครั้งแรกด้วยในอดีตที่ไอซี ESP8266 ได้ทำไว้ดีมาก จึงส่งผลให้ ESP32 ได้รับความสนใจอย่างมาก บริษัท Ai-Thinker ได้ร่วมมือกับ Seeedstudio ผลิตโมดูล ESP3212 ขึ้นมา ลักษณะตามรูปที่ 2.18 โดยมีสถานะเป็นพรีออเดอร์แต่เมื่อถึงกำหนดส่งมอบบริษัท Seeedstudio ได้เลื่อนการส่งมอบออกไป ด้วยปัญหาด้านการออกแบบลายวงจรของตัวโมดูลเองทาง Ai-Thinker จึงได้ยกเลิกการผลิต ESP3212 แล้วหันไปผลิต ESP32S แทน ลักษณะตามรูปที่ 2.19 โดยลายวงจรเหมือนกับ ESP-WROOM-32 ทุกประการแล้วจึงเริ่มส่งมอบ

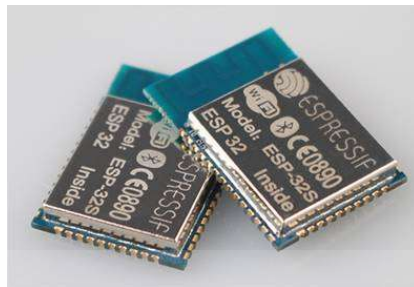


รูปที่ 2.17 ด้านหน้า และด้านหลังของโมดูล ESP31B-WROOM-03 ใช้ชิปไอซี ESP31B



รูปที่ 2.18 โมดูล ESP3212 ที่ Ai-Thinker ร่วมกับ Seeedstudio ผลิตขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 โมดูล ESP32S ที่ Seeedstudio ส่งมอบ

หลังจากสินค้า ESP32S ได้เริ่มส่งมอบทางทีมผู้พัฒนา Arduino core for ESP8266 WiFi chip ของบริษัท Espressif ได้พัฒนาชุดไลบรารีและคอมไพล์เลอร์สำหรับ Arduino ในชื่อ Arduino core for ESP32 WiFi chip ทำให้การพัฒนาเป็นไปด้วยความรวดเร็วมากขึ้น ภายหลังจากผู้พัฒนา Arduino core for ESP31B WiFi chip ก็ถูกดึงตัวให้มาร่วมทีมพัฒนา Arduino core for ESP32 WiFi chip ด้วยเช่นเดียวกัน การพัฒนา Arduino core for ESP32 WiFi chip จะทำไปควบคู่กับการพัฒนา ESP-IDF โดยที่ ESP-IDF จะเป็นหลักเมื่อมีการเพิ่มฟีเจอร์ใหม่ ๆ ให้ ESP-IDF แล้วจะมีการเพิ่มใน Arduino core for ESP32 WiFi chip โดยที่ ESP-IDF รองรับการเขียนโปรแกรมแบบ Arduino เช่นเดียวกัน

2.7.2 รายชื่อผู้พัฒนาชุด ESP_IDF

รายชื่อผู้พัฒนาชุด ESP_IDF ในฐานะของผู้ใช้งานเต็มรูปแบบควรที่จะทำความรู้จักกับทีมผู้พัฒนาทั้งบ้าง โดยชื่อที่ยกมานี้ เป็นชื่อที่ใช้ในเว็บ GitHub

- Igr (ผู้พัฒนาหลัก)
- Projectgus
- Spritetm
- Liuzfesp
- TianHao-Espressif
- wmy-espressif
- heyinling
- wujiangang
- TimXia
- Costaud
- Krzychb
- me-no-dev

ชุดซอฟต์แวร์พัฒนา ESP32 อื่น ๆ ตั้งแต่ยุคของ ESP8266 ที่ได้รับความนิยมสูงสุด ได้มีการพยายามนำตัว Runtime ของภาษาระดับสูงหลาย ๆ ตัวมาใช้งาน เพื่อให้คนที่คุ้นชินกับภาษาระดับสูงมาใช้กับ ESP8266 ได้ง่ายมากยิ่งขึ้น เมื่อมาถึงยุค ESP32 ก็ได้มีการนำ Source code เดิมที่ทำไว้ มาดัดแปลงและใช้งานกับ ESP32 ด้วยหน้าตาบอร์ด DOIT ESP32 มีลักษณะตามรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 หน้าตาบอร์ดพัฒนา DOIT ESP32 Development Board

2.7.3 MicroPython-ESP32

ชุดพัฒนา ที่พยายามสร้างตัว Runtime ของภาษา Python 3 บนไมโครคอนโทรลเลอร์ต่าง ๆ ซึ่งพัฒนาโดย MicroPython โลโก้องค์กร ลักษณะตามรูปที่ 2.21 ก่อนหน้านี้ได้เปิดระดมทุนในเว็บ Kickstarter เพื่อนำ Python 3 มาลงใน ESP8266 แล้วประสบความสำเร็จอย่างมาก ทำให้โครงการสามารถอยู่มาได้เรื่อย ๆ จนสามารถนำภาษา Python 3 มาใช้งานบน ESP32 ได้สำเร็จ MicroPython-ESP32 รองรับการใช้งานพื้นฐานภาษา Python ส่วนใหญ่ได้ รองรับการจัดการ WiFi การเชื่อมต่อ I²C SPI ADC และการควบคุม GPIO เต็มรูปแบบ



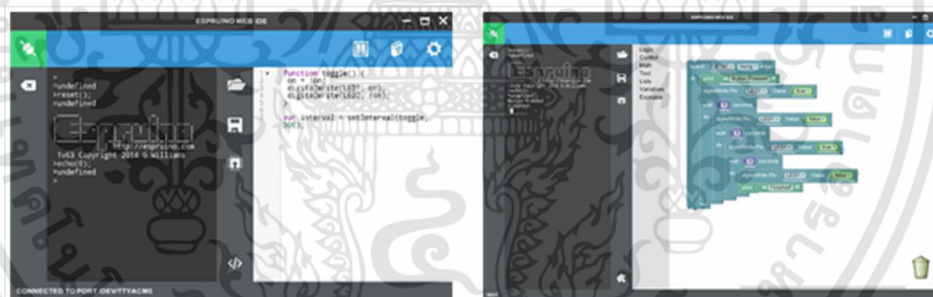
รูปที่ 2.21 โลโก้องค์กร MicroPython

2.7.4 Espruino on ESP32

ESP32 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มาพร้อมกับ WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n และบลูทูธเวอร์ชัน 4.2 เป็นรุ่นต่อ ยอดความสำเร็จของ ESP8266 โดยในรุ่นนี้ได้ออกมาแก้ไขข้อเสียของ ESP8266 ทั้งหมด เป็นชุดพัฒนาที่ทำให้สามารถใช้ภาษา JavaScript ในการสั่งงานได้ โดยโครงการ Espruino โลโก้โครงการแสดงตามรูปที่ 2.22 ได้ทำตัว Runtime ขึ้นมาใช้กับ ESP32 และไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ โครงการนอกจากจะพัฒนาตัวเฟิร์มแวร์ Runtime แล้ว ยังได้พัฒนา Espruino Web IDE ซึ่งเป็นโปรแกรม IDE แบบเว็บแอปพลิเคชันแสดงตามรูปที่ 2.23 ที่ใช้งานร่วมกับ Google Chrome ด้วยในการติดตั้งจะต้องติดตั้งผ่าน Chrome เว็บเบราว์เซอร์รับการเขียนโปรแกรมแบบ Text และภาษาบล็อก (Block)



รูปที่ 2.22 โลโก้ของโครงการ Espruino



รูปที่ 2.23 หน้า UI ของโปรแกรม Espruino Web IDE

2.7.5 การเลือกใช้ชุดซอฟต์แวร์พัฒนา

การเลือกใช้ แนะนำให้เลือก ESP-IDF เป็นตัวเลือกอันดับต้นๆ เนื่องจากมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และไปในทิศทางเดียวกับการพัฒนาชิป แต่หากมีพื้นฐานภาษา C ไม่มากนัก ผู้เขียนแนะนำให้เลือกใช้ชุดพัฒนา Arduino core for ESP32 WiFi chip จะดีกว่า เนื่องจาก การเขียนโปรแกรมเป็นแบบ Arduino มีฟังก์ชันในการใช้งานต่างๆ ที่ค่อนข้างง่าย และมีเว็บไซต์ arduino.cc เป็นเว็บรวมตัวอย่างโค้ดต่างๆ และเอกสารในการใช้งานแต่ละฟังก์ชันอยู่มาก รวมทั้งเว็บไซต์ส่วนใหญ่ที่รวมวิธีการประยุกต์ใช้ ESP32 ยังนิยมใช้โค้ดโปรแกรมสำหรับชุดพัฒนา Arduino core for ESP32 WiFi chip

2.8 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

เซ็นเซอร์ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 - 24V เอาดต์พุต ที่ได้เป็นแบบ Analog 0 - 5V ออกมาเป็นค่า Digital 0 - 1023 ลักษณะตามรูปที่ 2.24



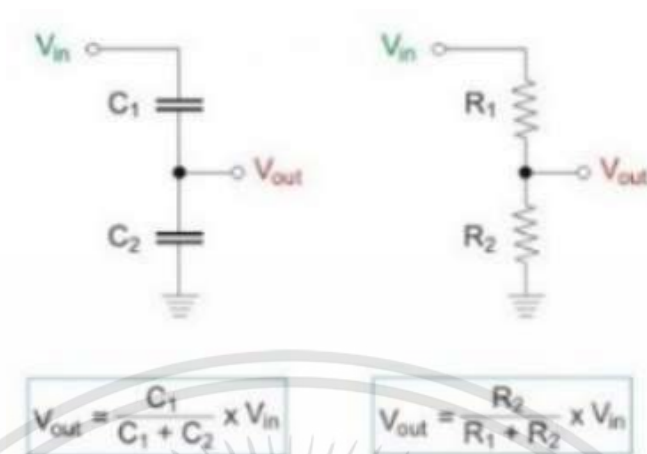
รูปที่ 2.24 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ

2.8.1 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าคืออะไร

เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการคำนวณและตรวจสอบปริมาณแรงดันไฟฟ้าในวัตถุ สามารถกำหนดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ อินพุตของเซ็นเซอร์นี้คือแรงดันไฟฟ้า ในขณะที่เอาต์พุตคือสวิทช์ สัญญาณแรงดันอนาล็อก สัญญาณกระแสไฟหรือสัญญาณที่ได้ยินเซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับ หรือระบุและตอบสนองต่อสัญญาณไฟฟ้าหรือแสงบางชนิดได้การใช้เซ็นเซอร์แรงดันไฟและเทคนิคเซ็นเซอร์กระแสได้กลายเป็นตัวเลือกที่ยอดเยี่ยมสำหรับวิธีการวัดกระแสและแรงดันแบบทั่วไป

2.8.2 ประเภทของเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ

เซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าสามารถกำหนด ตรวจสอบ และวัดการจ่ายแรงดันไฟได้ สามารถวัดระดับไฟ เอซี และ/หรือ ดีซี ได้ การต่อวงจรแสดงตามรูปที่ 2.25 อินพุตของเซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้า และเอาต์พุตอาจเป็นสัญญาณแรงดันอนาล็อก สวิทช์ สัญญาณที่ได้ยินระดับกระแสอนาล็อก ความถี่ หรือแม้แต่เอาต์พุตที่มอดูเลตความถี่นั้นคือเซ็นเซอร์แรงดันไฟบางตัวสามารถให้ไซน์หรือไฟพัลส์เป็นเอาต์พุต และตัวอื่น ๆ สามารถสร้างมอดูเลตแอมพลิจูด มอดูเลตความกว้างพัลส์หรือเอาต์พุตมอดูเลตความถี่ เซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าที่วัดตั้งอยู่บนพื้นฐานแบ่งแรงดันสองประเภทหลักของเซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าที่มีอยู่ capacitive เซ็นเซอร์ชนิดแรงดันไฟฟ้าและเซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าชนิดต้านทาน



รูปที่ 2.25 วงจรเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ

2.8.3 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าแบบ Capacitive

ตัวเก็บประจุประกอบด้วยตัวนำสองตัว (หรือสองแผ่น) เมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับบนเพลตเหล่านี้กระแสจะเริ่มไหลผ่านเนื่องจากการดึงดูด หรือการผลักของอิเล็กตรอนผ่านแรงดันของเพลตที่อยู่ตรงข้ามสนามระหว่างเพลตจะสร้างวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่สมบูรณ์โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ นี่คือการทำงานของตัวเก็บประจุต่อไป การแบ่งแรงดันไฟฟ้าในตัวเก็บประจุสองตัวที่อยู่ในอนุกรม โดยปกติ ในวงจรอนุกรม แรงดันสูงจะพัฒนาผ่านส่วนประกอบที่มีอิมพีแดนซ์สูง ในกรณีของตัวเก็บประจุค่าความจุและอิมพีแดนซ์ (ค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุ) จะเป็นสัดส่วนผกผันเสมอ จากความสัมพันธ์ทั้งสองข้างต้นสามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจะสะสมในตัวเก็บประจุที่เล็กที่สุดเซ็นเซอร์แรงดันตัวเก็บประจุทำงานโดยใช้หลักการง่าย ๆ นี้ พิจารณากำลังจับเซ็นเซอร์แล้ววางส่วนปลายไว้ใกล้กับตัวนำไฟฟ้าที่มีชีวิตในที่นี้ กำลังใส่องค์ประกอบการตรวจจับของอิมพีแดนซ์สูงลงในวงจรคัปปลิงแบบคาปาซิทีฟแบบอนุกรม ปัจจุบันปลายของเซ็นเซอร์เป็นตัวเก็บประจุที่เล็กที่สุดควบคู่ไปกับแรงดันไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้า ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดจะพัฒนาทั่วทั้งวงจรตรวจจับซึ่งสามารถตรวจจับแรงดันไฟได้ และไฟสัญญาณหรือเปิดอยู่ ซึ่งอยู่ด้านหลังเซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าแบบไม่สัมผัส

2.8.4 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าแบบตัวต้านทาน

มี 2 วิธีในการแปลงความต้านทานขององค์ประกอบการตรวจจับเป็นแรงดันไฟฟ้า วิธีแรกเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ซึ่งก็คือการจ่ายแรงดันไฟให้กับวงจรตัวแบ่งตัวต้านทาน ลักษณะวงจรแสดงตามรูปที่ 2.26 ประกอบด้วยเซ็นเซอร์และตัวต้านทาน แรงดันไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นในตัวต้านทานอ้างอิงหรือเซ็นเซอร์จะถูกบัพเฟอร์แล้วส่งไปยังเครื่องขยายเสียง แรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ ข้อเสียของวงจรนี้คือแอมพลิฟายเออร์ที่มีอยู่จะขยายแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดที่พัฒนาผ่านเซ็นเซอร์ อย่างไรก็ตามจะเป็นการดีกว่าที่จะ

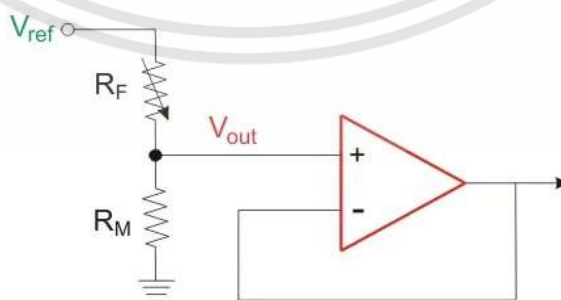
ขยายเฉพาะการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซ็นเซอร์ ซึ่งทำได้โดยวิธีที่สองในการติดตั้งตัวต้านทาน ลักษณะวงจรแสดงตามรูปที่ 2.27

2.8.5 ข้อดีของเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

- ขนาดเล็กและน้ำหนัก
- ความปลอดภัยของบุคลากรอยู่ในระดับสูง
- ระดับความแม่นยำสูงมาก
- ไม่อึดื้อ
- ช่วงไดนามิกกว้าง
- เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
- สามารถรวมการวัดแรงดันและกระแสเข้าไว้ในอุปกรณ์ทางกายภาพเครื่องเดียวที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด

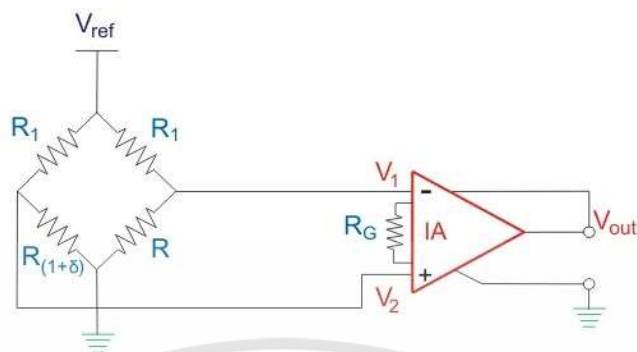
2.8.6 การประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

- การตรวจจับไฟฟ้าขัดข้อง
- การตรวจจับโหลด
- การเปลี่ยนความปลอดภัย
- การควบคุมอุณหภูมิ
- การควบคุมความต้องการพลังงาน
- การตรวจจับข้อผิดพลาด
- เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าวางอยู่ในชุดเริ่มต้น Arduino ที่ดีที่สุดหลายชุดเนื่องจากมีประโยชน์อย่างมากในโครงการอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก



รูปที่ 2.26 วงจรเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าแบบตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 วงจรเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าแบบตัวต้านทาน

2.9 เซ็นเซอร์วัดกระแส

เซ็นเซอร์วัดกระแส แสดงตามรูปที่ 2.28 เป็นโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าโดยจ่ายเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณ อนาล็อก สามารถต่อได้ทั้งไฟ ดีซี และ เอซี โดยสามารถทำงานได้ 3 โหมด คือ 5A, 20A และ 30A



รูปที่ 2.28 แสดงส่วนต่างๆของเซนเซอร์วัดกระแส

2.9.1 การทำงานของเซนเซอร์วัดกระแส ACS712

เซนเซอร์ ACS712 ประกอบด้วยวงจร Hall Effect เอาต์พุตแบบเชิงเส้น มีวงจรเหนี่ยวนำไฟฟ้าทองแดงตั้งอยู่รอบ ๆ พื้นผิวของตัวชิพ ACS712 เมื่อกระแส เอซี หรือ ดีซี ผ่านเส้นทองแดงจะเกิดการสร้างสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้ทำปฏิกิริยากับเซนเซอร์ Hall Effect แปลงแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นแรงดันตามสัดส่วนของกระแสไฟฟ้าได้ทั้ง เอซี หรือ ดีซี ขึ้นอยู่กับชนิดของกระแสไฟฟ้าอินพุต สามารถใช้บอร์ด Arduino หรือไมโครคอนโทรเลอร์รุ่นอื่น ๆ วัดค่าแรงดันนี้ได้โดยตรง เพื่อแปลงค่ากลับมาเป็นกระแสไฟฟ้า

2.10 pH sensor

เครื่องวัด pH เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ หรือของเหลว เพื่อตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของน้ำ ลักษณะตามรูปที่ 2.29 อาศัยหลักการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (electrical potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดวัด (indicator electrode) ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายแล้วเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เป็นค่า pH โดยการเทียบค่ากับบัฟเฟอร์มาตรฐาน (Standard buffer) การคำนวณค่า pH ตัดแปลงมาจากสมการของเนิร์นสต์ (Nernst's equation) ซึ่งหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า (electrical cell) ใด ๆ โดยการวัดเทียบกับไฮโดรเจนอิเล็กโทรด (hydrogen electrode) ซึ่งกำหนดให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 0.0000 โวลต์ที่ 25 ซึ่งในทางปฏิบัติไม่นิยมใช้ไฮโดรเจนอิเล็กโทรดเป็นอิเล็กโทรดอ้างอิง สำหรับการหาค่า pH เพราะไฮโดรเจนอิเล็กโทรดมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกต่อการใช้งาน ดังนั้น National Bureau of Standard NBS จึงกำหนดค่า pH ของบัฟเฟอร์มาตรฐานขึ้นมาใช้โดยการวัดค่า pH ของบัฟเฟอร์มาตรฐานด้วยอิเล็กโทรดวัดชนิด Ag / AgCl เปรียบเทียบกับไฮโดรเจนอิเล็กโทรดเมื่อไม่ใช้รอยต่อระหว่างของเหลว (liquid junction)



รูปที่ 2.29 pH sensor

2.10.1 ความหมายค่า pH

pH หรือ potential of hydrogen คือค่าวัดความเป็นกรดเป็นด่างของสารเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ ระดับของค่า pH ทั้งหมดจะอยู่ระหว่าง 1-14 ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 สารชนิดนั้นจะมีฤทธิ์เป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีฤทธิ์เป็นเบสหรือด่าง แต่ถ้าค่า pH นั้นมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารชนิดนั้นมีค่าเป็นกลางหรือที่เรียกว่า pH balance

2.10.2 การตรวจวัดค่า pH สามารถทำได้ 2 วิธี

- 1) วิธีเปรียบเทียบสี (Colorimetric) วิธีนี้เป็นการวัดค่า pH โดยประมาณ วัดค่าด้วยการเติมสารอินดิเคเตอร์ (Indicator solution) ที่เหมาะสมลงไปในการละลายที่ต้องการแล้วเปรียบเทียบสี กับสารละลายบัฟเฟอร์ (buffer) ที่ทราบค่า pH ที่

แน่นอน ซึ่งได้เติมอินดิเคเตอร์ชนิดเดียวกันไปแล้ว หรือวัดค่า pH ด้วยกระดาษลิตมัส โดยการชุบสารอินดิเคเตอร์จุ่มลงไปในการละลายที่ต้องการวัดค่า pH แล้วเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน กระดาษลิตมัสจะมีแบ่งแยกย่อยออกไปเป็น 1.ชนิดใช้วัดกรด 2.ชนิดใช้วัดเบสหรือต่าง และ 3.ชนิดใช้วัดได้ทั้งกรดและเบส ที่เรียกว่าแบบ Universal litmus

- 2) วิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (electrical potential) วิธีนี้วัดค่า pH ได้อย่างละเอียดเป็นที่นิยมในปัจจุบันเพราะมีความถูกต้องแม่นยำสูง โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า pH Meter ซึ่งวัดค่า pH ได้โดยการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่เกิดขึ้นระหว่าง Indicator electrode และ Reference electrode

2.11 ทุ่นลอยน้ำ

ทุ่นลอยน้ำ (Buoy or Float or Pontoon) คือ แท่นพลาสติกที่ใช้ลอยอยู่ในแม่น้ำหรือในทะเล มีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับรองรับน้ำหนักของสิ่งของต่าง ๆ ลักษณะตามรูปที่ 2.30 การเลือกใช้ทุ่นลอยน้ำเพื่อรับน้ำหนักแผงโซลาร์เซลล์ต้องพิจารณาเปรียบเทียบถึงภาระที่ทุ่นลอยน้ำสามารถรับน้ำหนักได้



รูปที่ 2.30 ทุ่นลอยน้ำ

2.12 มอเตอร์แกนชัก

มอเตอร์แกนชัก ลักษณะตามรูปที่ 2.31 เป็นมอเตอร์ที่เคลื่อนที่เชิงเส้นขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าสามารถนำมาใช้งานทดแทนระบบไฮดรอลิกและระบบนิวเมตริก โดยจะมีทิศทางเคลื่อนที่ลักษณะคือเคลื่อนที่เข้าและเคลื่อนที่ออก ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมการเคลื่อนที่เข้าและเคลื่อนที่ออก



รูปที่ 2.31 มอเตอร์แกนชัก

2.13 ชาร์จเจอร์ PWM (Pulse Width Modulation)

โซล่าชาร์จเจอร์ แบบ PWM ลักษณะตามรูปที่ 2.32 คือใช้ลูกคลื่นไฟฟ้าในช่วงสั้น ๆ ในการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ จะมีน้ำหนักเบา ราคาถูกกว่าแบบ MPPT เพื่อการประจุแบตเตอรี่ การจะเพิ่มหรือลดแรงดันในการประจุแบตเตอรี่จะมีตัวควบคุมที่เรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานอยู่ จะมีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งข้อเสียก็คือ เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็ม จะชาร์จประจุบ้างไม่ประจุบ้างตามการวัดค่าของเครื่อง นอกจากนี้ในการประจุแบตเตอรี่ก็จะมีการตรวจ อุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้อีกด้วย ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลในการประจุแบตเตอรี่ คอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบมาดีจะมี Function เหล่านี้อยู่ มีฟังก์ชันไฟแสดงสถานะการทำงานที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การทำงานของแผงโซล่าเซลล์ / ระดับการเก็บประจุของแบตเตอรี่ (ไฟเต็ม/ไฟกลาง/ไฟน้อย หรือใกล้หมด) / การจ่ายไฟ DC ให้เครื่องใช้ไฟฟ้า DC ที่กำลังต่อเชื่อมวงจร มีระบบการตัดไฟอัตโนมัติ ในกรณีไฟแบตเตอรี่ใกล้หมด เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสีย/เสื่อมสภาพ เนื่องจากการใช้ไฟเกินกำลัง (Over Charge/ Over Discharge Protection) บางรุ่นมี USB Port ให้ใช้อีกด้วย



รูปที่ 2.32 ชาร์จเจอร์ PWM (Pulse Width Modulation)

2.13.1 ข้อควรแนะนำในการเลือกซื้อคอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์

- 1) ไม่ควรเลือกขนาดของคอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์ใหญ่เกินกว่าที่ระบบต้องการ เพราะต้องเสียเงินซื้อเครื่องควบคุมการชาร์จราคาแพงเกินความจำเป็นด้วย เนื่องจากตัวคอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์กระแสสูง ๆ จะแพงกว่าตัวกระแสต่ำ
- 2) ควรเลือกคอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์ ให้รองรับกับแรงดันระบบที่เลือกใช้เช่น แรงดันระบบ 24 V ควรเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จที่รองรับแรงดัน 24 V แต่ปัจจุบันได้มีรุ่นที่ออกแบบมาสำหรับ 12 V และ 24 V ในตัวเดียวกันมาจำหน่ายกันแล้ว
- 3) ควรเลือกขนาดกระแสของคอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์ให้เหมาะสมกับขนาดรวมของแผงโซล่าเซลล์ มิฉะนั้นอาจทำให้เครื่องควบคุมการชาร์จหรือแบตเตอรี่เสียหายได้ เช่น คอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์ จะมีค่าจำกัดอยู่ว่ายอมให้กระแสผ่านได้เท่าไร เช่น คอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์ 12V./10A. หมายความว่า ชาร์จลงแบตเตอรี่ 12V. ส่วน 10A. นั้นไม่ใช่ขนาดแบตเตอรี่ แต่เป็นขนาดโซล่าเซลล์ที่ใช้ได้ โซล่าเซลล์แต่ละขนาด จะมีค่า Imp บอกที่ฉลากอยู่แล้วว่าเท่าไร ถ้าค่า Imp นั้นไม่เกิน 10A. ก็เป็นใช้ได้ ถ้าเกินก็ต้องใช้รุ่น 20A. เช่นนี้ เป็นต้น

บทที่ 3

การออกแบบและการดำเนินงาน

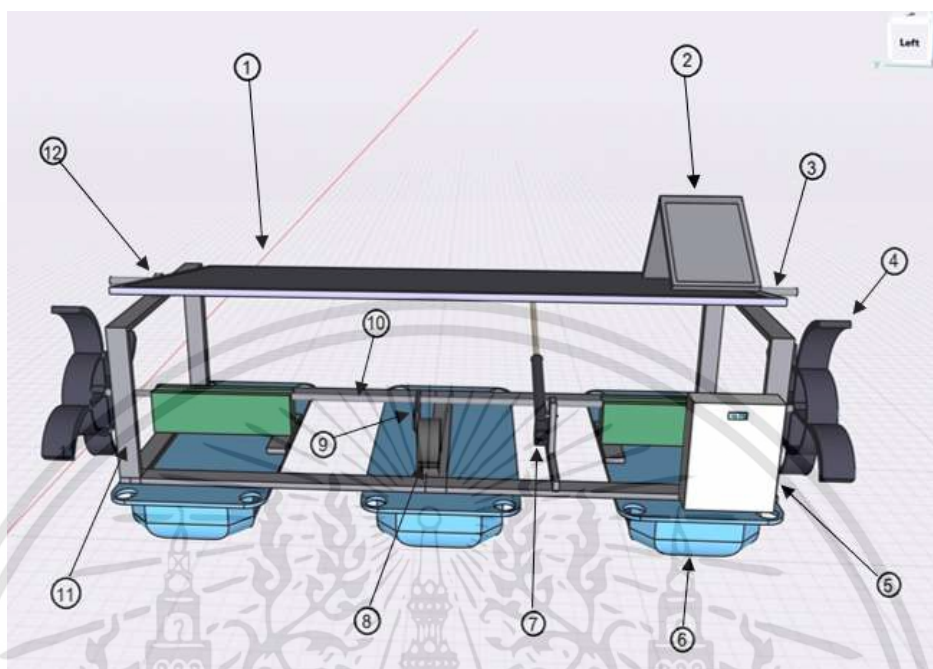
3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างของกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ แสดงตามรูปที่ 3.1 โดยมีส่วนประกอบของอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วย แผงโซลาร์เซลล์ 340 W แผงโซลาร์เซลล์ 5 W จำนวน 2 แผง มอเตอร์ (ดีซี 24 V) มอเตอร์แกนซึก (ดีซี 12 V) โดยตัวโครงสร้างของกังหันน้ำอัจฉริยะทำจากอะลูมิเนียมมีท่อนลอยน้ำ ใบพัดตีน้ำ ชุดโซ่และสเตอร์ ลูกปืนตุ๊กตา และอุปกรณ์ภายในตู้คอนโทรลประกอบไปด้วยอุปกรณ์ Arduino ESP32, Voltage sensor Module, Current sensor Module, pH sensor, Charger, Battery และ Circuit breaker

เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกันจึงทำให้เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากนั้นจะส่งพลังงานไปยังเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อทำการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อส่งกำลังผ่านแกนเพลลาในการขับใบพัดกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ และส่งไปยังชาร์จเจอร์ไฟฟ้า (ดีซี 12 V) เพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์แกนซึกเพื่อขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์ และนำไปจ่ายไฟเลี้ยงวงจรผ่านพอร์ต USB แสดงตามรูปที่ 3.2

แผงโซลาร์เซลล์มีการออกแบบให้หมุนตามแสงอาทิตย์สามารถหมุนทำมุมได้ตั้งแต่ 45 ถึง 135 องศา ขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับพื้นโลก โดยแต่ละเวลามีการสั่งโซลาร์เซลล์ให้หมุนตามแสงด้วยระบบการทำงานของรีเลย์ โดยการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กจำนวน 2 แผงเป็นตัวรับแสงในมุมที่ตั้งฉากกัน ซึ่งจะสั่งให้รีเลย์ทำงานและแผงโซลาร์เซลล์จะหมุนไปในทิศทางที่แผงโซลาร์เซลล์แผงที่รับแสงมากที่สุดและแผงโซลาร์เซลล์จะหยุดการหมุน เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก 2 แผงรับแสงจากดวงอาทิตย์เท่ากัน มีรูปแบบในการทำงานดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 โครงสร้างและอุปกรณ์ของกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ

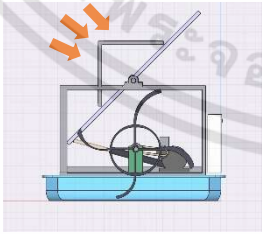
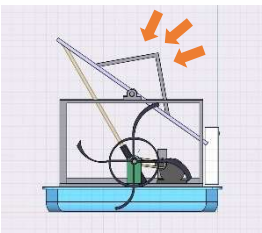
หมายเลข	รายละเอียดอุปกรณ์
1	แผงโซลาร์เซลล์ 340W
2	แผงโซลาร์เซลล์ 5W
3	แกนหมุนโซลาร์เซลล์
4	ใบพัดตีน้ำ
5	ตู้คอนโทรล
6	พุนลอยน้ำ
7	มอเตอร์แกนชัก
8	มอเตอร์ DC 24V
9	ชุดสเตอร์และโซ่
10	แกนหมุนใบพัดตีน้ำ
11	โครงสร้างอะลูมิเนียม
12	ลูกปืนตุ๊กตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังหลักการทำงาน

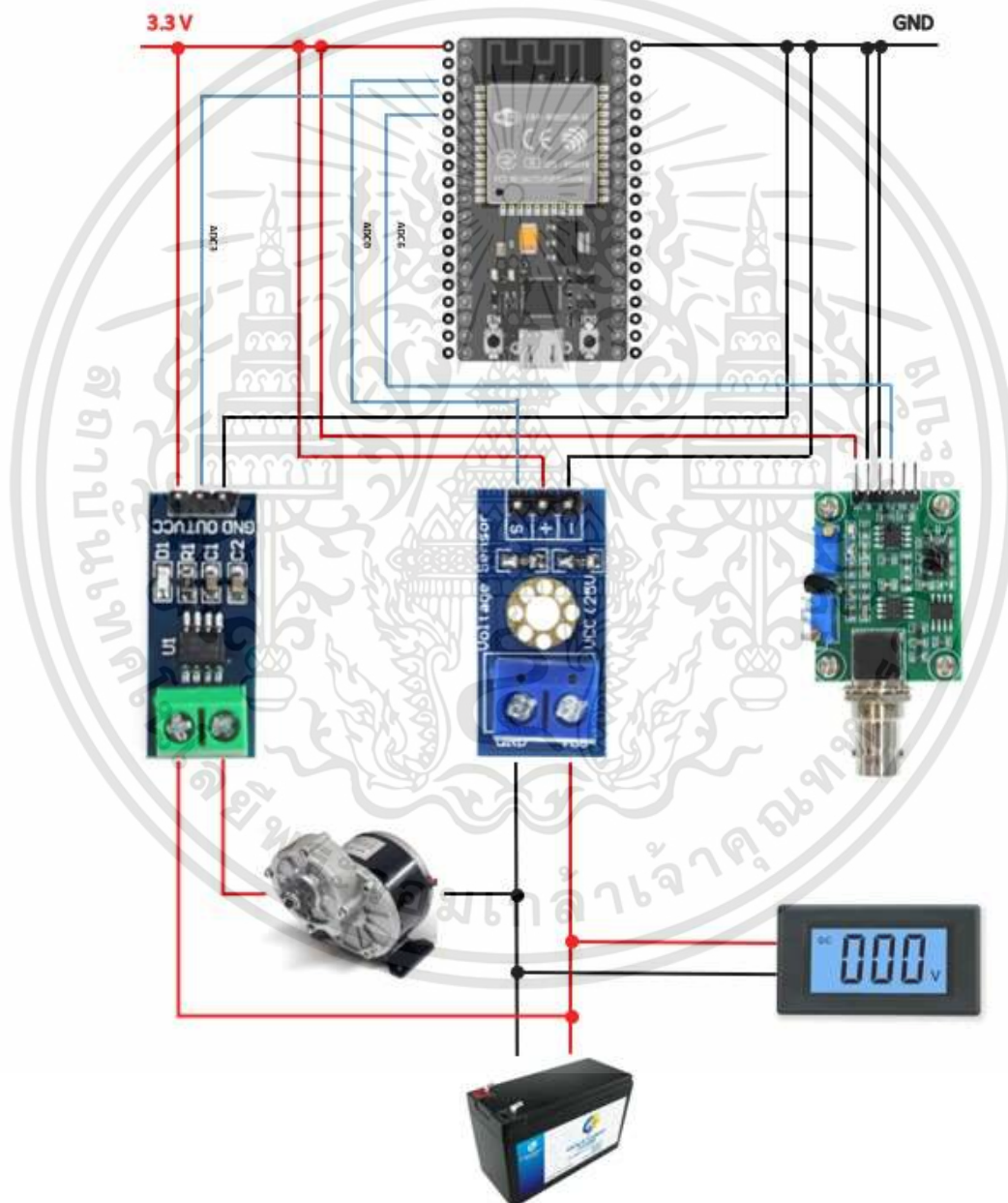
ตารางที่ 3.2 องศาการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามแสงอาทิตย์

ทิศทางของแผงโซลาร์เซลล์	องศาการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์
	45 องศา
	135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 หลักการทำงานของวงจร

Esp32 จ่ายไฟ 3.3 V ให้กับเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า, เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า และเซ็นเซอร์วัดค่า pH ของน้ำ โดยเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าวัดกระแสจากมอเตอร์ ดีซี 24V ส่งค่าไปยัง Esp32 ผ่านขาอนุลอก adc03 และเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าจะทำการวัดแรงดันจากแบตเตอรี่ แล้วทำการส่งค่าไปยัง Esp32 ผ่านขาอนุลอก adc0 จากนั้น pH sensor ทำการวัดค่ากรดและด่างของน้ำและส่งค่าไปยัง Esp32 ผ่านขา adc06 นำค่าไปประมวลผลและแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk แสดงตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังหลักการทำงานของวงจร

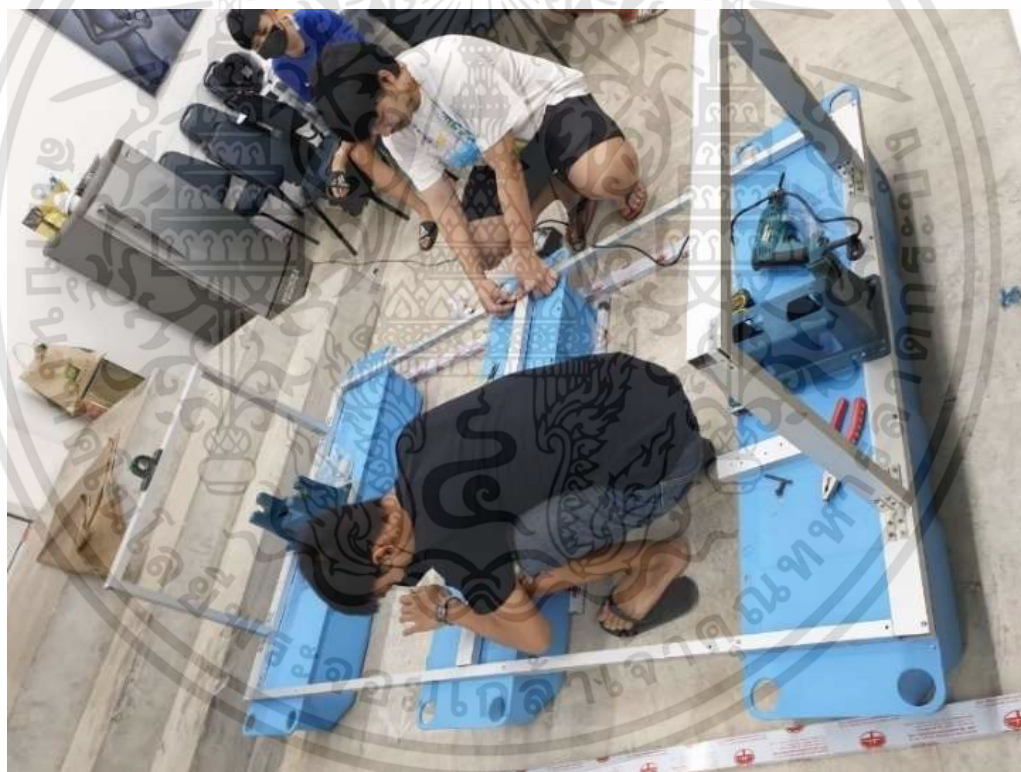
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

- 1) การกำหนดการอ่านค่าโปรแกรมของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยกำหนดให้ อนุลอกอ่านค่าที่ขา A0 แล้วเก็บค่าไว้ที่ adc_value จากนั้นทำการแปลงค่าอนุลอก เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้สมการ $(adc_value \times ref_voltage / 4096)$ แล้วเก็บไว้ที่ตัวแปร adc_voltage ทำการหาค่าแรงดันไฟฟ้า โดยใช้สมการ $adc_voltage / (R2 / (R1 + R2))$ (กำหนดให้ $R1 = 30000$, $R2 = 7500$) แล้วเก็บค่าไว้ที่ตัวแปร in_voltage กำหนด pin V1 ของตัวแปร in_votage เพื่อแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน blynk
- 2) การกำหนดการอ่านค่าโปรแกรมของการวัดค่ากระแสโดยกำหนดให้ อนุลอกอ่านค่าที่ขา A3 แล้วเก็บค่าไว้ที่ counts จากนั้นทำการแปลงค่าเป็น volt โดยใช้สมการ $(counts \times vpp)$ โดยกำหนดให้ $vpp = 0.0008056640625$ จากนั้นทำการแปลงค่าเป็น amp โดยใช้สมการ $(voltage / sensitivity)$ กำหนดให้ $sensitivity = 0.100$ mv แล้วกำหนด pin V2 ของตัวแปร amp เพื่อแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk
- 3) การกำหนดการอ่านค่าโปรแกรมของการวัดหาความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ โดยสร้างเงื่อนไขการทำงาน (กำหนดให้ $i = 0$ และ i น้อยกว่า 10 และ i บวกเพิ่มทีละ 1) แล้วทำอ่านค่าอนุลอกเก็บไว้ที่ตัวแปร buff[i] แล้วทำการสร้างเงื่อนไข (กำหนดให้ $i = 0$ และ i น้อยกว่า 9 และ i บวกเพิ่มทีละ 1) และ (กำหนดให้ $j = i + 1$ และ j น้อยกว่า 10 และ j บวกเพิ่มทีละ 1) แล้วทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าเป็นจริงหรือเป็นเท็จ ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะทำงาน แต่ถ้าเป็นเท็จจะทำการข้าม โดย temp มีค่าเท่ากับ buff[i] , buff[i] มีค่าเท่ากับ buff[j] , buff[j] มีค่าเท่ากับ temp กำหนดให้ avgValue มีค่าเท่ากับ 0 แล้วทำการสร้างเงื่อนไข (กำหนดให้ $i = 2$ และ i น้อยกว่า 8 และ i บวกเพิ่มทีละ 1) จากนั้นนำค่า $avgValue + buff[i]$ แล้วเก็บค่าไว้ที่ตัวแปร avgValue แล้วนำค่ามาแปลงเป็น pHvol โดยใช้สมการ $avgValue \times 3.3 / 4096 / 6$ แล้วทำการคำนวณค่าโดยใช้สมการ $phValue = -5.70 \times pHvol + 21.34$ แล้วเก็บค่าไว้ที่ตัวแปร phValue จากนั้นกำหนด pin V0 ของตัวแปร phValue เพื่อแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

3.2 วิธีการดำเนินงาน

เริ่มต้นจากการทำโครงสร้างโดยใช้อะลูมิเนียมยึดติดกับตัวหุ่นลอยน้ำ และทำการยึดที่ตัวรองแกนหมุนใบพัด แสดงตามรูปที่ 3.4 ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์โดยใช้เหล็กกลมเป็นตัวแกนยึดเข้ากับแผงโซล่าเซลล์ เพื่อให้แผงโซล่าเซลล์สามารถหมุนได้ ทำการติดตั้งมอเตอร์แกนซึกกับตัวโครงสร้างกั้นน้ำไฟฟ้า ติดตั้งมอเตอร์ ดีซี 24 V และติดตั้งชุดโซสเตอร์เข้ากับแกนใบพัด แสดงตามรูปที่ 3.5 ทำการติดตั้งอุปกรณ์ในตัวคอนโทรลพร้อมกับติดตั้งเข้ากับตัวโครงสร้างกั้นน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ แสดงตามรูปที่ 3.6 ทำการทดลองและทำการเก็บค่าผลการทดลอง วัดแรงดัน วัดกระแส และวัดความเป็นกรดหรือด่างของน้ำแสดงผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ของกั้นน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ ผลการทดลองแสดงตามรูปที่ 3.7 การทดลองและเก็บค่าผลการทดลองวัดแรงดัน กระแส และความเป็นกรดหรือด่างของน้ำแสดงผ่านแอปพลิเคชัน Blynk อีกครั้ง โดยที่แผงโซล่าเซลล์โซล่าเซลล์หมุนตามตะวัน ผลการทดลองแสดงตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.4 ออกแบบโครงสร้างและติดตั้ง

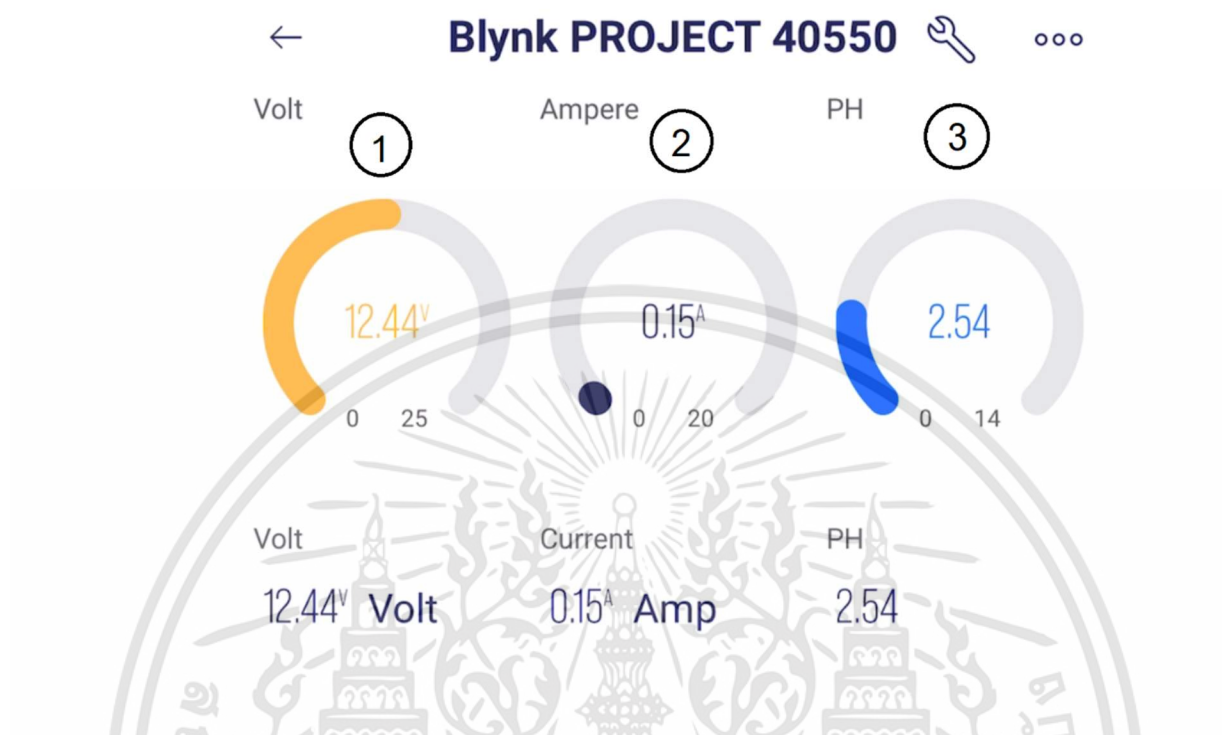


รูปที่ 3.5 ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์หมุนตามแสงอาทิตย์และมอเตอร์แกนชัก



รูปที่ 3.6 ออกแบบโปรแกรมและติดตั้งอุปกรณ์ในกล่องคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ทดลองวัดแรงดัน กระแส และความเป็นกรดหรือด่างของน้ำแสดงผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

- 1) Volt แสดงค่าวัดแรงดันจากแบตเตอรี่
- 2) Current แสดงค่าวัดกระแสจากมอเตอร์
- 3) pH แสดงค่าวัดความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ



รูปที่ 3.8 ทดลองและเก็บผลการทดลองของแอปพลิเคชัน Blynk และ โซลาร์เซลล์หมุนตามตะวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองกักหน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ

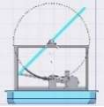
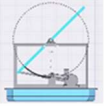
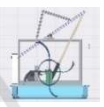
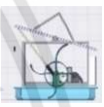

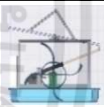

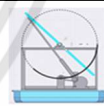
จากการศึกษาและค้นคว้าคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการทดสอบกักหน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ จะทำการวัดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อจะนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งโดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะประกอบไปด้วย ค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ (pH) ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า จากนั้นจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของกักหน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะในแต่ละช่วงเวลา

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกักหน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะวันที่ 1 ทำให้ทราบค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสสูงสุด คือช่วงเวลา 13.00 น. โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 16.87 V ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 0.36 A และทิศทางการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์อยู่ที่ 95° ในทางตรงกันข้ามในช่วงเวลา 09.00 น. จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสต่ำสุด โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 12.67 V ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 0.18 A และทิศทางการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์อยู่ที่ 45° และวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งค่าที่วัดได้อยู่ช่วงระหว่าง 2.54-2.55 ดังนั้นค่า pH น้อยกว่า 7 หมายความว่าน้ำในบ่อมีความเป็นกรด และค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกักหน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะวันที่ 2 ทำให้ทราบค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสสูงสุดคือช่วงเวลา 13.00 น. โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 16.97 V ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 0.35 A และทิศทางการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์อยู่ที่ 94° ในทางตรงกันข้ามในช่วงเวลา 09.00 น. จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสต่ำสุด โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 12.75 V ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 0.17 A และทิศทางการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์อยู่ที่ 45° และวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งค่าที่วัดได้อยู่ช่วงระหว่าง 2.54-2.55 ดังนั้นค่า pH น้อยกว่า 7 หมายความว่าน้ำในบ่อมีความเป็นกรด และค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

การทดลองวันที่ 1


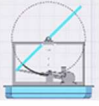
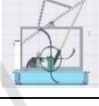
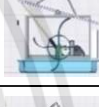
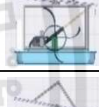



ตารางที่ 4.1 การทดลองกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะวันที่ 1

เวลา	ค่า pH	ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)	ค่ากระแสไฟฟ้า (A)	องศาของ โซลาร์เซลล์	ทิศทางของ โซลาร์เซลล์
09.00	2.54	12.67	0.18	45°	
10.00	2.55	13.56	0.22	45°	
11.00	2.55	14.68	0.28	60°	
12.00	2.54	16.22	0.35	75°	
13.00	2.55	16.87	0.36	95°	
14.00	2.54	16.56	0.31	105°	
15.00	2.54	15.92	0.28	115°	
16.00	2.54	14.24	0.21	135°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองวันที่ 2

ตารางที่ 4.2 การทดลองกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะวันที่ 2

เวลา	pH ในน้ำ	ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)	ค่ากระแสไฟฟ้า (A)	องศาของ โซลาร์เซลล์	ทิศทางของโซลาร์ เซลล์
09.00	2.54	12.75	0.17	45°	
10.00	2.54	13.76	0.22	45°	
11.00	2.55	14.08	0.28	62°	
12.00	2.54	16.28	0.32	73°	
13.00	2.55	16.97	0.35	94°	
14.00	2.54	16.16	0.24	108°	
15.00	2.54	15.72	0.25	118°	
16.00	2.54	13.65	0.19	135°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

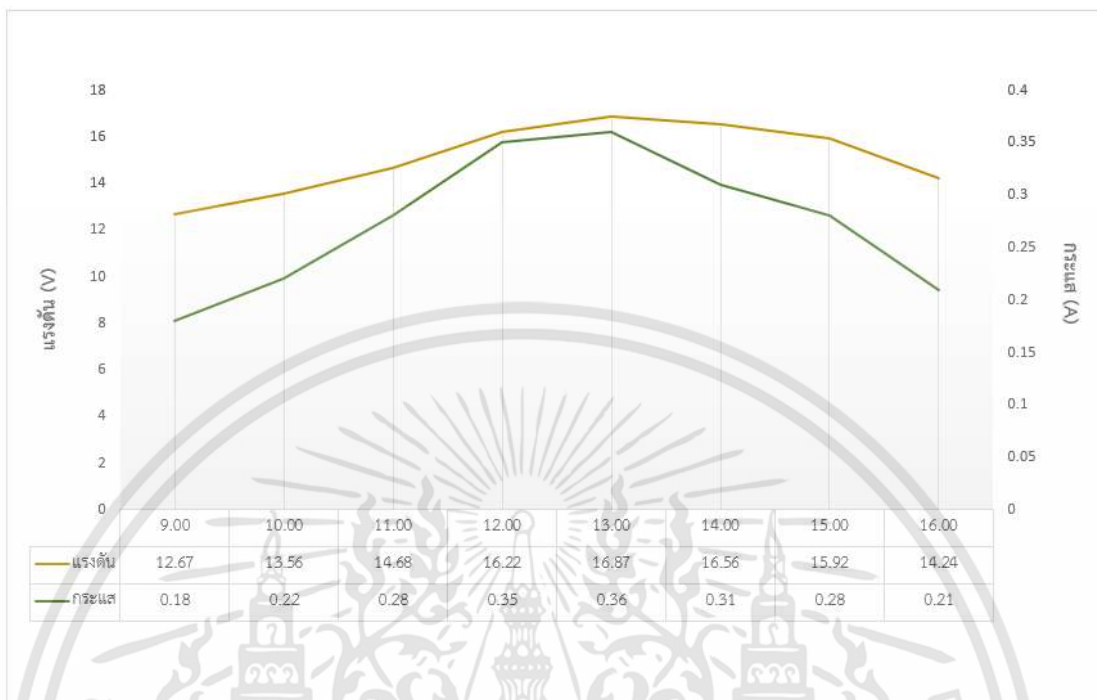
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

จากกราฟรูปที่ 4.1 การทดลองวันที่ 1 พบว่าในเวลาเริ่มต้นที่ 9.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งในช่วงเวลาเริ่มต้นนั้นมีค่าแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างน้อยมีค่าเท่ากับ 12.67 V มีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.18 A หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สูงสุดที่เวลา 13.00 น. จะส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้ามียุทธค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันหลังจากเวลา 9.00 น. และค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 16.87 V และค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.36 A และเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มีลดลงช่วงเวลาประมาณ 16.00 น. ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าลดลง ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงมีค่าเท่ากับ 14.24 V และค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.21 A แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าช่วงเวลา 16.00 น. ยังคงมีค่ามากกว่าเวลาเริ่มต้น โดยค่าแรงดันไฟฟ้ามียุทธค่ามากกว่าเท่ากับ 1.57 V และค่ากระแสไฟฟ้ามียุทธค่ามากกว่าเท่ากับ 0.03 A

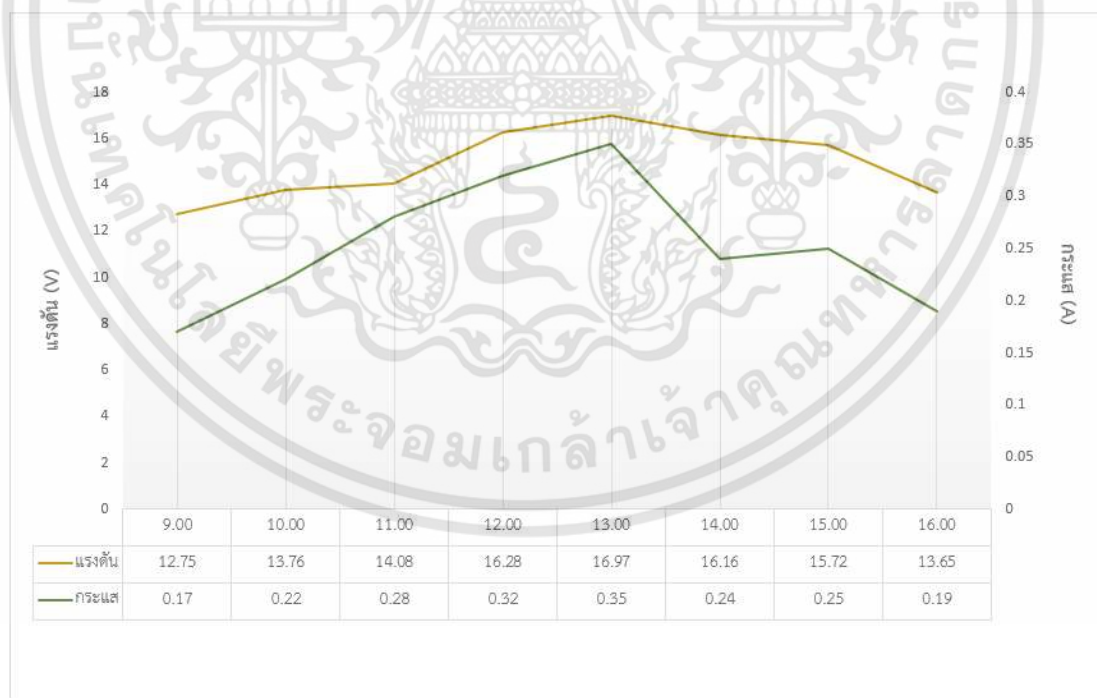
จากกราฟรูปที่ 4.2 การทดลองวันที่ 2 จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเหมือนกับการทดลองวันที่ 1 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงเวลาเริ่มต้นที่ 9.00 น. และช่วงเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุด ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 16.97 V และค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.35 A และค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้ากลับมาลดลงในช่วงเวลาประมาณ 16.00 น. เช่นกัน ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงมีค่าเท่ากับ 13.65 V และค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.19 A ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการทดลองวันที่ 1

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างองศาแผงโซลาร์เซลล์ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

กั๊งหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะทดสอบในบ่อน้ำนั๊ง โดยวัตถุประสงค์เพื่อวัดองศาการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์ในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้มั่นใจว่าแผ่นโซลาร์เซลล์ที่ได้ทำการติดตั้งสามารถหมุนตามแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดีหรือไม่ กราฟแสดงตามรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าแผงโซลาร์เซลล์สามารถหมุนตามตะวันได้อย่างสมบูรณ์ กั๊งหันน้ำไฟฟ้าสามารถทำงานได้ดีตลอดทั้งวันที่มีแดดโดยสามารถทำงานได้เองอัตโนมัติ เมื่อท้องฟ้าเริ่มมีแดด

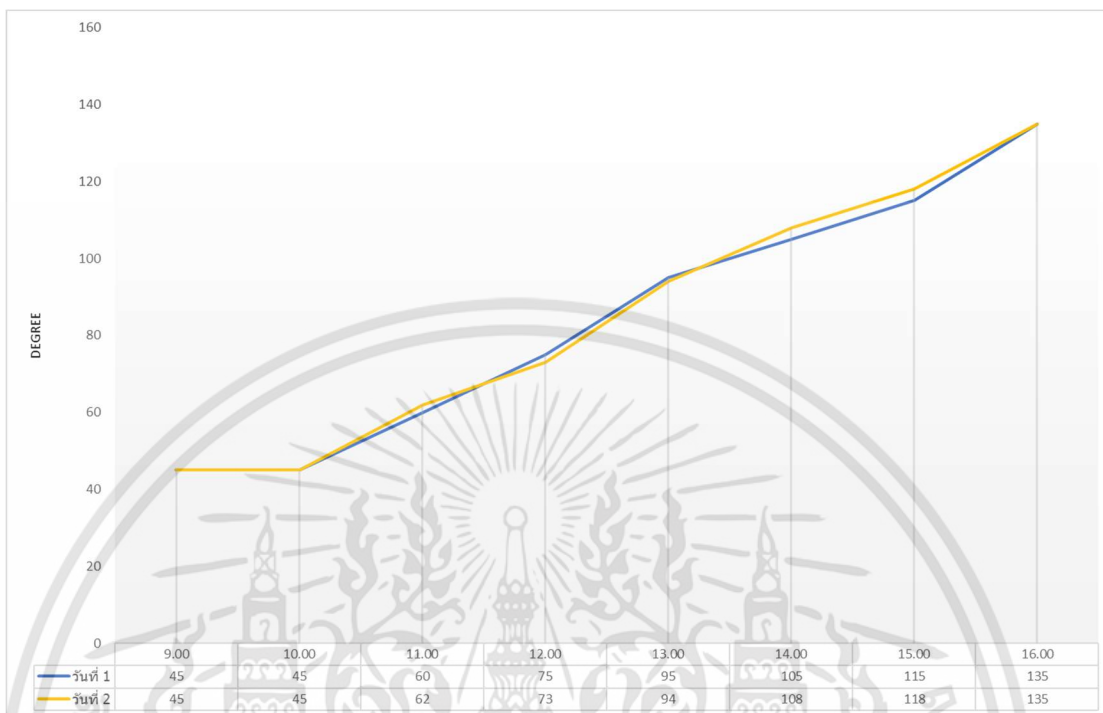


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาวันที่ 1



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาวันที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างองศาแผงโซล่าเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองกักกันน้ำอัจฉริยะผลที่ได้รับจากการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการวัดค่าคุณภาพของน้ำ แรงดัน และกระแส แสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และส่วนที่สองเป็นการควบคุมโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางของแสงอาทิตย์

จากการทดลองที่หนึ่ง กักกันน้ำอัจฉริยะตรวจวัดค่าความเป็นกรดหรือด่างของบ่อน้ำ pH ของน้ำต่ำกว่า 7 เป็นกรด แสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ผลการทดสอบพบว่ากักกันน้ำอัจฉริยะสามารถทำงานได้ในเวลา 9.00-16.00 น. โดยค่าแรงดันและกระแสจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ ในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงมากที่สุดจะทำให้แรงดันและกระแสขึ้นสูงที่สุดในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และในช่วงเวลาที่ความเข้มของแสงมีความเข้มน้อยที่สุดในช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา โดยกระแสจะแปรผันตรงตามความเข้มแสงอาทิตย์

5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง

- 1) การออกแบบโครงสร้างและการจัดวางอุปกรณ์มีความไม่สมดุลของน้ำหนักเพราะจะเกี่ยวข้องกับ การตีน้ำของใบพัดทั้งสองข้างตีน้ำได้ไม่เท่ากัน
- 2) ในการเริ่มต้นการใช้งานอุปกรณ์เซนเซอร์แบบเรียลไทม์ จำเป็นต้องใช้อินเทอร์เน็ต Wi-Fi ในการเชื่อมต่อ
- 3) มีสิ่งกีดขวางการตกกระทบของแสงอาทิตย์ลงบนแผงโซลาร์เซลล์เช่น เงาต้นไม้ เงาตึก เป็นต้น

5.3 วิธีการแก้ไขปัญหาค่าการทดลอง

- 1) ทำการถ่วงน้ำหนักให้เกิดความสมดุลเพื่อให้ใบพัดสม่ำเสมอ
- 2) เชื่อมต่อ Wi-Fi ที่ไม่มีการเชื่อมต่อบนคลาวด์หรือเชื่อมต่อ Wi-Fi บนหน้าเว็บเบราว์เซอร์
- 3) นำโครงงานวางไว้ในที่ไม่มีสิ่งกีดขวางตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์

5.4 ข้อจำกัดการใช้งาน

- 1) โครงงานมีขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ ที่มีขนาดกว้าง
- 2) จำเป็นต้องใช้ในพื้นที่ที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อ Wi-Fi ตลอดเวลาเพื่อสามารถดูค่าได้ในเวลาใดก็ตามที่ต้องการ
- 4) สามารถใช้งานได้ในช่วงที่มีแสงอาทิตย์เท่านั้น

5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

นำไปพัฒนาต่อโดยเพิ่มแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถใช้งานได้ในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์เพิ่มชุดหมุนแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์ เพิ่มตัวยึดส่วนกลางของเพลาใบพัดเพื่อให้แกนไม่สั่นขณะหมุน



บรรณานุกรม

Analogread. 2022. **Voltage Sensor**. [Online].

Available : <https://www.analogread.com/p/28>.

Arduino4. 2022. **Voltage Sensor Module**. [Online].

Available : <https://www.arduino4.com/p/327>.

Cybertice. 2022. **Current Sensor Module 30A**. [Online].

Available : <https://www.cybertice.com/p/35>.

Cybertice. 2022. **PH Sensor arduino Analog pH Meter**. [Online].

Available : <https://www.cybertice.com/p/854>.

Element14. 2022. **Current sensor**. [Online].

Available : <https://th.element14.com/sensor-current-sensor-technology>.

Legatool. 2016. **Solar cell**. [Online].

Available : <https://legatool.com/wp/5388>.

Sunnergy. 2022. **MPPT Solar Charge Controller**. [Online].

Available : <https://www.sunnergytech.com/category/70>.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Fill-in information from your Blynk Template here
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLYbWkE7V_"
#define BLYNK_DEVICE_NAME "PROJECT"
#define BLYNK_FIRMWARE_VERSION "0.1.0"
#define BLYNK_PRINT Serial
#define BLYNK_DEBUG
#define APP_DEBUG
#include "BlynkEdgent.h"
//*****วัด PH *****
const int analogInPin = A6;
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buff[10], temp;
//*****วัดโวลท์*****
#define ANALOG_IN_PIN A0
float adc_voltage = 0.0;
float in_voltage = 0.0;
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7500.0;
float ref_voltage = 3.3;
int adc_value = 0;
//*****วัดกระแส*****
float vpp = 0.0008056640625;
float sensitivity = 0.100; //mv
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  delay(100);
  BlynkEdgent.begin();

```

```

}

void loop() {
  BlynkEdgent.run();
  //*****วัดโวลท์*****
  adc_value = analogRead(ANALOG_IN_PIN);
  adc_voltage = (adc_value * ref_voltage) / 4096.0;
  in_voltage = adc_voltage / (R2 / (R1 + R2));
  Serial.print("Voltage = ");
  Serial.print(in_voltage, 2);
  Blynk.virtualWrite(V1, in_voltage);
  delay(500);
  //*****วัดกระแส*****
  int counts = analogRead(A3) + 150;
  float voltage = counts * vpp;
  voltage -= 1.65;
  float amp = voltage / sensitivity;
  Serial.print("  AMP " + String(amp));
  Blynk.virtualWrite(V2, amp);
  delay(500);
  //***** วัด PH *****
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    buf[i] = analogRead(analogInPin);
    delay(10);
  }
  for (int i = 0; i < 9; i++)
  {
    for (int j = i + 1; j < 10; j++)
    {
      if (buf[i] > buf[j])
      {

```

```
temp = buf[i];
buf[i] = buf[j];
buf[j] = temp;
}
}
}
avgValue = 0;
for (int i = 2; i < 8; i++)
    avgValue += buf[i];
float pHVol = (float)avgValue * 3.3 / 4096 / 6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
Serial.print("sensor = ");
Serial.println(pHValue);
Blynk.virtualWrite(V0, pHValue);
delay(1000);
}
```



ภาคผนวก ข.

รายการอุปกรณ์และส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รายการอุปกรณ์และส่วนประกอบกังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะ

ลำดับ	รายการอุปกรณ์
1	อะลูมิเนียม
2	ฟუნบ่อกึ่ง
3	ใบพัดตีน้ำ
4	แกนเพลลา
5	โซ่
6	สเตอร์34
7	ตุ้คอนโทรล
8	บารองเพลลา
9	ลูกปืนตุ้กตา
10	โซล่าเซลล์ 340 W
11	โซล่าเซลล์ 5 W
12	มอเตอร์ 250 W
13	มอเตอร์แกนชักขนาด 18 นิ้ว
14	รีเลย์
15	ฟิวส์
16	ไดรฟ์โอด W005M
17	Terminal
18	แบตเตอรี่
19	โซล่าชาร์จเจอร์
20	เบรกเกอร์
21	Current sensor module 20 A
22	Voltage meter sensor module 0 – 24 Vdc
23	pH sensor
24	ESP 32 WIFI
25	Voltage meter 0 – 24 Vdc
26	สายต่อวงจร jumper
27	สาย VCT 2 x 2.5
28	สาย THW 1 x 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้