



ระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์
AEROPONIC VEGETABLE GROWING CONTROL SYSTEM

ธีรวุฒิ เพชรรักษ์

THIRAWUT PHETRAK

นิรัชพร ดัชฎยาวัตร

NIRATCHAPHON DATHTUYAWAT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์
AEROPONIC VEGETABLE GROWING CONTROL SYSTEM

ธีรวุฒิ เพชรรักษ์

THIRAWUT PHETRAK

นิรัชพร ดัชฎยาวัตร

NIRATCHAPHON DATHTUYAWAT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
เรื่อง ระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์

Aeroponic Vegetable Growing Control System

ผู้จัดทำ

1. นายธีรภูมิ เพชรรักษ์ รหัสนักศึกษา 62201010
2. นางสาวนิรัชพร ตชฎยาวัตร รหัสนักศึกษา 62201011

สว

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ว่าที่ร้อยตรี ศิลา ศิริมาสกุล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อปริญญาบัตร	ระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โพนิกส์	
นักศึกษา	นายธีรวุฒิ เพชรรักษ์	รหัสนักศึกษา 62201010
	นางสาวนิรัชพร ดัชญาวัตร	รหัสนักศึกษา 62201011
อาจารย์ที่ปรึกษา	ว่าที่ร้อยตรี ศิลา ศิริมาสกุล	
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2565	

บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้กล่าวถึงระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โพนิกส์ ระบบจะมีโครงสร้าง 2 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้างโรงเรือนและโครงสร้างระบบปลูกผัก ส่วนของโครงสร้างโรงเรือนจะประกอบไปด้วย โรงเรือน พีระมิตปลูกผัก สามารถปลูกผักได้ 84 ต้น ต่อการปลูก 1 รอบ มีเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นอยู่ภายใน มอเตอร์หมุนพีระมิตเพื่อรับแสงแดด และปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหาร ส่วนของโครงสร้างระบบปลูกผักจะประกอบไปด้วย กล้องคอลโทรล กล้องแบตเตอรี่สำรองไฟ กล้องปั๊มสารละลายธาตุอาหารเอบี กล้องปั๊มสารละลายกรดและเบส ปั๊มน้ำในถังน้ำสำรอง เซ็นเซอร์อีซี เซ็นเซอร์พีเอช เซ็นเซอร์ลูกลอยวัดระดับน้ำ ถังสารละลาย 4 ชนิด จำนวน 4 ถัง มอเตอร์ผสมปุ๋ย ถังน้ำเปล่าสำรอง และถังรวมสารละลายธาตุอาหาร จะมีไมโครคอนโทรลเลอร์อาตูเอโนเมก้า 2560 เป็นบอร์ดควบคุมการทำงาน ระบบจะทำงานอัตโนมัติ คือวัดและควบคุมระดับน้ำที่ 30 ลิตร วัดและควบคุมค่าความชื้นภายในพีระมิต วัดและควบคุมค่าอีซีและค่าพีเอชปุ๋ย ในถังรวมสารละลาย ฉีดพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 2 นาที ตลอดการปลูก และหมุนพีระมิตเพื่อรับแสงแดด ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา รอบละ 180 องศา ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 17.30 นาฬิกา จากการทดลองปลูกผักกับระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โพนิกส์ ระบบสามารถทำงานอัตโนมัติ ปรับ ค่าอีซี ค่าพีเอช และค่าความชื้น ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งค่าที่กล่าวมามีผลต่อการเจริญเติบโตของผักจนถึงระยะเก็บเกี่ยวได้ภายใน 40 ถึง 45 วัน รวมถึงมีระบบหมุนเพื่อรับแสงทำให้ผักสังเคราะห์แสงได้อย่างสม่ำเสมอ และระบบสำรองไฟเมื่อเกิดไฟดับผักสามารถเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ผักมีมาตรฐานที่ดีจนถึงรอบการเก็บเกี่ยว

คำสำคัญ : การปลูกผักแบบแอร์โพนิกส์, การเกษตร, เซ็นเซอร์พีเอช, เซ็นเซอร์อีซี

Project Title	Aeroponic Vegetable Growing Control System	
Student	Mr.Thirawut Phetrak	Student ID 62201010
	Mrs.Niratchaphon Dathtuyawat	Student ID 62201011
Advisor	Acting Sub Lt.Silar Sirimasakul	
Degree	Bachelor of Engineering	
Program in	Eletronics Engineering	
Academic Year	2022	

ABSTRACT

This thesis discusses an aeroponic control system for growing vegetables. The system is structured in two parts, the structure of the house and the structure of the vegetable growing system. The structure of the house will consist of a house, a vegetable pyramid. able to plant 84 vegetables per 1 planting cycle, built-in humidity sensor, pyramid rotating motor to receive sunlight, and nutrient solution spray pump. The structure of the vegetable growing system consists of Control box, backup battery box, acid-base solution pump box, water tank pump, EC sensor, PH sensor, float level sensor, solution tank, fertilizer mixer motor, spare water tank, and nutrient solution tank. Arduino Mega 2560 microcontroller is a control board. The system will run automatically is to measure and control the water level at 30 liters, measure and control the humidity inside the pyramid, measure and control the EC and pH of the fertilizer in the solution tank, spray the solution for 1 minute, stop for 2 minutes throughout the planting, rotate the pyramid for sunlight 180 degrees per round, every half hour from 8:00 a.m. to 5:30 p.m. From the experiment of growing vegetables with the control system for growing vegetables using aeroponics. The system can automatically adjust the EC value, PH value, and moisture value as specified. The above values affect the growth of vegetables up to the harvest stage within 40 to 45 days. Including having a rotating system to receive light, allowing vegetables to synthesize light evenly and a backup power system when there is a power outage, vegetables can grow continuously.

Keywords : Aeroponic vegetable growing, Agriculture, PH sensor, EC sensor

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจเสร็จสมบูรณ์ขึ้นมาได้ หากปราศจากความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุก ๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งคอยให้การอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา ตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ว่าที่ร้อยตรี ศิลา ศิริมาสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้ง เอื้อเฟื้อเครื่องมือ เครื่องใช้ในการทำโครงการและติดตามเกี่ยวกับงานโครงการตลอดมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ คอยช่วยเหลือเสมอมา และต้องขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือในการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธีรฤทธิ เพชรรักษ์
นิรัชพร ดัชฎยาวัตร
มิถุนายน 2566

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการทำงาน.....	3
1.7 โครงสร้างปริญญานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บอร์ด อาร์ดูโน้ เมก้า 2560 (Arduino Mega 2560).....	5
2.2 จอแอลซีดี (Liquid Crystal Display).....	8
2.3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT20).....	9
2.4 สวิตช์ลุลอย (Water level sensor).....	10
2.5 เซ็นเซอร์วัดค่า pH (pH Sensor).....	11
2.6 เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (Electrical Conductivity Sensor).....	11
2.7 รีเลย์ (Relay).....	12
2.8 ตัวเก็บประจุ (capacitor).....	13
2.9 ทรานซิสเตอร์ (Transistor).....	15
2.10 ไดโอด (Diode).....	17
2.11 วงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ (Boost Converter).....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 ตัวต้านทาน (resistor).....	18
2.13 ปั๊มน้ำ (Water pump).....	20
2.14 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)	22
2.15 การปลูกพืชระบบรากแขวนอยู่ในอากาศ (Aeroponics Culture).....	22
2.16 แบตเตอรี่แห้ง (Sealed Maintenance Free Car Battery - SMF)	23
2.17 โมดูลเวลา (DS3231 Module)	24
2.18 มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor : MOSFET).....	25
บทที่ 3 การออกแบบ	27
3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานโดยรวม	27
3.2 โฟลวชาร์ตการทำงานระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์	28
3.2.1 โฟลวชาร์ตการวัดระดับน้ำที่ 30 ลิตรและเติมน้ำ.....	28
3.2.2 โฟลวชาร์ตการวัดค่าพีเอช และการเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอบี	29
3.2.3 โฟลวชาร์ตการทำงานการวัดค่าพีเอช และเติมกรด-เบส.....	30
3.2.4 โฟลวชาร์ตการทำงานของมอเตอร์หมุนพีระมิดเพื่อให้ผักรับแสง	31
3.2.5 โฟลวชาร์ตการทำงานของปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหาร	32
3.3 การออกแบบวงจร	32
3.3.1 วงจรรีเลย์	33
3.3.2 วงจรขับมอสเฟต	34
3.3.1 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์	34
3.3.1 วงจรระบบสำรองไฟ	35
3.4 การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์	36
3.4.1 การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์	36
3.4.2 การออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้างระบบปลูก	37
3.5 การออกแบบชุดโครงสร้าง	40
3.5.1 การออกแบบโครงสร้างโรงเรือนปลูกผัก.....	40
3.5.2 การออกแบบโครงสร้างปลูกผักทรงพีระมิด	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.3 การออกแบบโครงสร้างระบบปลุกผัก.....	42
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	46
4.1 การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ.....	46
4.2 การทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิต.....	48
4.3 การทดลองวัดวัดและควบคุมค่าพีเอช.....	51
4.4 การทดลองวัดและควบคุมค่าไอซี.....	55
4.5 การทดลองแสดงผลค่า 4 ผล บนจอแอลซีดี.....	59
4.6 การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก.....	65
4.7 การทดลองระบบหมუნเพื่อรับแสงแดดของพีระมิต.....	66
4.8 การทดลองปลุกผักแบบหมუნและไม่หมუნพีระมิต.....	68
4.9 การทดลองระยะเวลาที่สำรองไฟจากแบตเตอรี่.....	71
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	74
5.1.1 การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ.....	74
5.1.2 การทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิต.....	74
5.1.3 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอช.....	74
5.1.4 การทดลองวัดและควบคุมค่าไอซี.....	75
5.1.5 การทดลองแสดงผลค่า 4 ผลบนจอแอลซีดี.....	75
5.1.5.1 การแสดงผลของระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารบนจอแอลซีดี.....	75
5.1.5.2 การแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี.....	75
5.1.5.3 การแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี.....	75
5.1.5.4 การแสดงผลค่าไอซีบนจอแอลซีดี.....	75
5.1.6 การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก.....	75
5.1.7 การทดลองระบบหมუნเพื่อรับแสงแดดของพีระมิต.....	76
5.1.8 ทดลองการปลุกผักแบบหมუნและไม่หมუნพีระมิต.....	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.9 ทดลองระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่.....	76
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	76
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก ก โปรแกรมของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอรโอโพนิกส์.....	79
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอรโอโพนิกส์.....	116
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet).....	122
ประวัติผู้เขียน.....	141



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการภาคเรียนที่ 1	3
1.2 ขั้นตอนการดำเนินโครงการภาคเรียนที่ 2	4
4.1 การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ.....	47
4.2 การทดลองวัดค่าจากเซ็นเซอร์ดีเฮชที 20 เทียบกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง ภายในพีระมิด.....	50
4.3 การทดลองการวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด โดยฉีดน้ำ 1 นาที่ หยุดฉีดน้ำ 2 นาที่	50
4.4 การทดลองปั๊มปล่อยสารละลายกรด-เบส.....	53
4.5 การทดลองวัดค่าพีเอชเซ็นเซอร์เทียบกับพีเอชมิเตอร์.....	54
4.6 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าต่ำกว่า 6	54
4.7 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าสูงกว่า 7.....	55
4.8 การทดลองปั๊มปล่อยสารละลายธาตุอาหารเอบี	57
4.9 การทดลองวัดค่าอีซีเทียบกับอุปกรณ์อีซีมิเตอร์.....	58
4.10 การทดลองวัดและควบคุมค่าอีซีที่ค่าต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร.....	58
4.11 การทดลองวัดและควบคุมค่าอีซีที่ค่าสูงกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร.....	59
4.12 การทดลองแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี.....	61
4.13 การทดลองแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี.....	63
4.14 การทดลองแสดงผลค่าอีซีบนจอแอลซีดี	64
4.15 การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก	65
4.16 ภาพผลการทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก	66
4.17 การทดลองหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด	67
4.18 การทดลองปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด.....	69
4.19 การทดลองปลูกผักแบบหมุนพีระมิด.....	71
4.20 การทดลองระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 8 แอมป์	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บอร์ด อาคูโน เมก้า 2560	5
2.2 ขาดิจิตอล 54 ขา ของอาคูโนเมก้า 2560.....	6
2.3 ขานาล็อก 16 ขา ของอาคูโนเมก้า 2560	7
2.4 ขาเพาเวอร์ 10 ขา ของอาคูโนเมก้า 2560.....	7
2.5 จอแอลซีดี 20x4.....	8
2.6 เอสเอชที 20 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น.....	9
2.7 สวิตช์ลากลอย (Water level sensor).....	10
2.8 เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช (pH Sensor)	11
2.9 เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (Sensor TDS).....	12
2.10 รีเลย์ (Relay)	12
2.11 ส่วนประกอบของรีเลย์.....	13
2.12 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่.....	14
2.13 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้	15
2.14 ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้	15
2.15 ทรานซิสเตอร์.....	16
2.16 ทรานซิสเตอร์ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพี	16
2.17 ไดโอด (Diode).....	17
2.18 วงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ (Boost Converter).....	18
2.19 ตัวต้านทานชนิดค่าคงตัว	19
2.20 ตัวต้านทานปรับค่าได้.....	19
2.21 ตัวต้านทานชนิดพิเศษ	19
2.22 ป้อนน้ำขนาดเล็ก	20
2.23 ป้อนสารเคมีขนาดเล็ก.....	21
2.24 ป้อนพ่นหมอก.....	21
2.25 หลักการทำงานของสวิตซ์ิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	22
2.26 การปลูกพืชระบบรากแขวน (Aeroponics culture).....	22
2.27 แบตเตอรี่แห้ง.....	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 โมดูลดีเอส 3231.....	24
2.29 โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์मेंท์ชนิดเอ็น.....	25
2.30 สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์मेंท์ชนิด (ก) NMOS และ (ข) PMOS.....	26
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบการควบคุมปลุกผักแบบแอร์โพนิกส์.....	27
3.2 โฟลวชาร์ตการวัดระดับน้ำที่ 30 ลิตรและเติมน้ำ.....	28
3.3 โฟลวชาร์ตการทำงานการวัดค่าพีเอช และการเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี.....	29
3.4 โฟลวชาร์ตการทำงานการวัดค่าพีเอช และเติมกรด-เบส.....	30
3.5 โฟลวชาร์ตการทำงานของมอเตอร์หมุนพีระมิตเพื่อให้ผักรับแสง.....	31
3.6 โฟลวชาร์ตการทำงานของปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหาร.....	32
3.7 วงจรขั้วบีเลย์.....	33
3.8 วงจรขั้วมอสเฟต.....	34
3.9 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์.....	34
3.10 วงจรระบบสำรองไฟ.....	35
3.11 เหล็กกล้าปั๊วไนซ์.....	36
3.12 ท่อพีวีซี.....	36
3.13 ข้อต่อท่อพีวีซี.....	37
3.14 คลิปก้ามปู.....	37
3.15 เหล็กกล้าไนซ์.....	38
3.16 เหล็กฉาก.....	38
3.17 เหล็กแบน.....	38
3.18 ลวดเชื่อมโกเบ.....	39
3.19 แผ่นพลาสติก.....	39
3.20 กะละมังซีเอ็นเอ็น.....	39
3.21 โครงสร้างโรงเรือนปลูก.....	40
3.22 โครงสร้างโรงเรือนปลูกผักแบบสมบูรณ์.....	40
3.23 โครงสร้างพีระมิต.....	41
3.24 ผักเจริญเติบโตเต็มที่.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.25 โครงสร้างระบบปลูกผัก	43
3.26 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบ	43
3.27 ภายในของถังรวมธาตุอาหาร	44
3.28 จุดยอดใช้หัวพ่นหมอกแบบ 4 ทิศทาง	44
3.29 หัวพ่นหมอกช่วงที่ 2 และ ช่วงที่ 3	45
3.30 เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นติดตั้งไว้ตำแหน่งตรงกลางของพีระมิด	45
4.1 ระดับของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 1	46
4.2 ระดับของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 2	47
4.3 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง	48
4.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ความชื้น	49
4.5 จุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในพีระมิด	51
4.6 วัดเทียบกับเครื่องวัดพีเอชมิเตอร์	52
4.7 วัดเทียบค่ากับอีซีมิเตอร์	56
4.8 แสดงผลระดับน้ำที่ต่ำกว่า 30 ลิตร บนจอแอลซีดี	60
4.9 แสดงผลระดับน้ำที่ 40 ลิตร บนจอแอลซีดี	60
4.10 มอเตอร์ที่ยึดโครงสร้างของพีระมิด	67
4.11 ตำแหน่งของแต่ละด้านในการปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด	69
4.12 ผักด้านที่พระอาทิตย์ขึ้นและตก	70
4.13 ผักยืดหาแสง	70
4.14 ผักที่ได้จากการปลูกผักแบบหมุนพีระมิด	71
4.15 เปิดระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โพนิคส์	71
4.16 ตัดไฟจากแหล่งจ่ายหลัก	72

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ ขั้นตอนการดำเนินงาน และโครงสร้างปริญญาานิพนธ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเพาะปลูกพืชในปัจจุบันนั้นมี 2 ลักษณะ คือการปลูกพืชแบบบนดินและการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ในที่นี้จะกล่าวถึงการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน จากการศึกษาค้นพบว่าพืชสามารถเจริญเติบโตได้โดยให้พืชนั้นได้รับน้ำ ธาตุอาหาร ออกซิเจน (Oxygen) และที่ยึดเกาะพุงลำต้น ต่อมาจึงได้มีการพัฒนารูปแบบและวิธีการต่าง ๆ ในการที่จะให้น้ำ ธาตุอาหารแก่พืช ในการเพิ่มออกซิเจนให้แก่พืช และในการให้ที่ยึดเกาะแก่ต้นและรากพืช ทำให้เกิดเป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่าง ๆ โดยพิจารณาจากที่อยู่ของรากพืช สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ การปลูกในน้ำ การปลูกในวัสดุปลูก และการปลูกในอากาศ ซึ่งประเภทของการปลูกพืชที่ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในการปลูกผัก คือ การปลูกพืชในอากาศหรือเรียกว่า แอโรโพนิกส์ (Aeroponics) ในลักษณะปล่อยให้รากอยู่ในอากาศ ไม่สัมผัสกับสิ่งใด โดยจับยึดส่วนโคนของลำต้นพืชให้ตั้งตรงและรากลอยอยู่ในอากาศ ปล่อยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านหรือสเปรย์ (Spray) ให้กับรากพืชโดยตรง ระบบนี้จะสามารถลดการใช้สารละลายธาตุอาหาร พื้นที่เพาะปลูก และเจริญเติบโตได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับการปลูกแบบดั้งเดิมโดยการปลูกแบบใช้ดิน ผู้จัดทำมีความต้องการพัฒนาระบบในการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ คือ ผสมสารละลายธาตุอาหาร และการให้สารละลายธาตุอาหารด้วยการฉีดพ่นหมอกแก่พืชผ่านรากแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมี การวัดระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร การตรวจวัดค่าความชื้นในอากาศ ค่าพีเอช (pH) และค่าอีซี (EC) ในน้ำปุ๋ยจะเป็นการปรับค่าอัตโนมัติ จะทำให้ลดการเน่าของรากพืช หรือการเกิดเชื้อรา ทำให้พืชเจริญเติบโตได้เต็มที่ ซึ่งจากที่กล่าวมาทำให้การใช้งานของระบบมีความสะดวกมากยิ่งขึ้นเพราะเป็นระบบที่ทำงานอัตโนมัติทั้งหมด

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์
- 2) เพื่อศึกษาการออกแบบและจัดสร้างระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์
- 3) เพื่อให้สะดวกต่อผู้ที่ไม่มีความรู้ในการปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์
- 4) เพื่อนำความคิดในการทำชิ้นงานไปต่อยอด เพื่อสร้างรายได้ในอนาคต
- 5) เพื่อนำความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) มาประยุกต์ใช้ในการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์เป็นการปลูกผักที่ช่วยให้การปลูกผักง่ายขึ้นอีกทั้งยังประหยัดสารละลายธาตุอาหาร น้ำ และพื้นที่ในการปลูก เพราะจะเป็นระบบการหมุนเวียนน้ำที่ฉีดพ่นให้รากกลับไปยังถังรวม ทำให้ช่วยลดการใช้สารละลายธาตุอาหาร พื้นที่เพาะปลูก และการทำงานของระบบทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) จำนวนพืชที่ปลูกได้ต่อ 1 รอบ ทั้งหมด 84 ต้น ในระยะเวลาการปลูก (40 ถึง 45 วัน)
- 2) ขนาดของโครงสร้างทรงพีระมิดฐานความยาวไม่น้อยกว่า ความกว้าง 128 เซนติเมตร ความยาว 128 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตร
- 3) ระบบเติมน้ำได้อัตโนมัติ
- 4) สามารถผสมสารละลายธาตุอาหารได้อัตโนมัติ 4 ชนิด
- 5) สามารถวัดและควบคุมค่าความชื้นภายในของโครงสร้างไม่ต่ำกว่า (70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)
- 6) สามารถวัดและควบคุมค่าพีเอช ที่ (6 ถึง 7) ค่าอีซี ที่ (1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร)
- 7) สามารถวัดและควบคุมระดับน้ำที่ 30 ลิตร ในถังสารละลายธาตุอาหารได้
- 8) สามารถแสดงผล ค่า 4 อย่าง บนจอแอลซีดี คือ แสดงผลของระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร แสดงผลค่าความชื้น (0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช: ความละเอียด = 1 เปอร์เซ็นต์) แสดงผลค่าพีเอช (0 ถึง 14: ความละเอียด = 1) แสดงผลค่าอีซี (0 ถึง 3 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร: ความละเอียด = 0.1 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร)
- 9) สามารถฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารตามระยะเวลาที่กำหนด
- 10) มีระบบหมุนเพื่อรับแสงแดด
- 11) มีระบบจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้การปลูกผัก 1 รอบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

- 1) ได้รับความรู้และความเข้าใจในการศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และการออกแบบวงจร
- 2) เข้าใจหลักการทำงานของเซนเซอร์ (Sensor) ต่าง ๆ
- 3) เข้าใจหลักการเจริญเติบโตของพืช
- 4) สามารถนำความรู้การปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ไปต่อยอดทางพาณิชย์ได้
- 5) สามารถนำชิ้นงานไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้
- 6) สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่แก่สาธารณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ค้นคว้าหาข้อมูลของอุปกรณ์รวมทั้งหลักการทำงานต่าง ๆ ของวงจรที่นำมาใช้งาน
- 2) ออกแบบโครงสร้างของชิ้นงาน
- 3) จัดหาอุปกรณ์ และสั่งซื้อวัสดุที่ใช้ในการทำโครงงาน
- 4) ทดลองเขียนโปรแกรม (Program) เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของชิ้นงาน
- 5) นำชิ้นงานมาประกอบร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- 6) ทดลองใช้งานจริงรวมถึงการแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดจากการทำโครงงาน
- 7) สรุปผลการทำโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานที่ผู้จัดทำได้วางแผนไว้ เริ่มจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูล ออกแบบโครงสร้าง การจัดหาอุปกรณ์ จัดทำโครงงานการทดลอง เก็บผลการทดลองการแก้ไขจะแบ่งตามภาคเรียนที่ 1 และ ภาคเรียนที่ 2 ซึ่งได้แจกแจง รายละเอียดไว้ในตารางที่ 1.1 และ 1.2 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงานภาคเรียนที่ 1

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน				
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1) คิดหัวข้อโครงงาน นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา	←→				
2) ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล การปลูกผักแบบแอร์โพนิกส์	←→	←→			
3) ศึกษาอุปกรณ์ต่าง ๆ	←→	←→			
4) ศึกษาและเขียนโปรแกรม		←→	←→		
5) จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์			←→		
6) ออกแบบวงจรและสร้าง โครงสร้างของระบบแอร์โพนิกส์			←→	←→	
7) ทดสอบโปรแกรมควบคุม เซ็นเซอร์				←→	
8) นำเสนอผลงาน					←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการภาคเรียนที่ 2

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน				
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1) เพาะต้นกล้าเพื่อเตรียมปลูก	←→				
2) จัดเตรียมสารละลายธาตุอาหาร สำหรับการปลูกผัก	←→				
3) ทดสอบการทำงานของระบบ ตัวเครื่อง		←→			
4) เก็บผลผลิต				←→	
5) จัดทำเล่มปฏิญานิพนธ์				←→	→
6) นำเสนอผลงาน					←→

1.7 โครงสร้างปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเรื่องระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ ด้วยบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนเมก้า 2560 (Arduino Mega 2560) เพื่อใช้ควบคุมในการทำงานของระบบ อธิบายขั้นตอนการทำงาน ผลการทดลอง สุดท้ายจะเป็นการสรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 1 ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานและโครงสร้างปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์และทฤษฎีต่าง ๆ ของอาดูโนเมก้า 2560 จอแอลซีดี (Liquid Crystal Display) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น สวิตช์ลูกลอย เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ รีเลย์ (Relay) ตัวเก็บประจุ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ไดโอด (Diode) วงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ (Boost Converter) ตัวต้านทาน ปั้มน้ำ เป็นต้น

บทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบการทำงานของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรม (Block diagram) ของส่วนต่าง ๆ ในโครงการ และการออกแบบโครงสร้างการออกแบบภาคจ่ายไฟการทำงานของระบบ โครงการชิ้นนี้คณะผู้จัดทำขออธิบายรายละเอียดการทำงานและการออกแบบดังต่อไปนี้

บทที่ 4 ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองวงจรภาคจ่ายไฟ ทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์ และทดลองการทำงานตามขอบเขตของโครงการ

บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึง สรุปผลการทดลอง สรุปการทำงานระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ และข้อเสนอแนะ

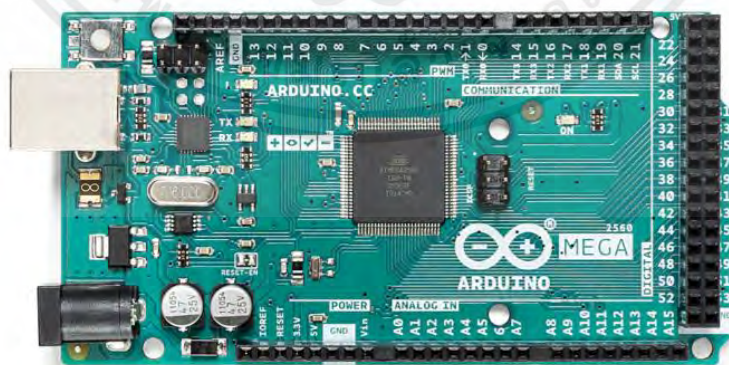
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง รายละเอียดของอุปกรณ์และทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบสร้างระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ ได้แก่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่เมก้า 2560 (Arduino Mega 2560) จอแอลซีดี (Liquid Crystal Display) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น สวิตช์กลอย เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช (pH Sensor) เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (Sensor TDS) รีเลย์ (Relay) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ไดโอด (Diode) บูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) และมอสเฟต (Mosfet) รวมไปถึงความทฤษฎีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นต้น

2.1 บอร์ดอาดูโน่เมก้า 2560 (Arduino Mega 2560)

บอร์ดอาดูโน่เมก้า 2560 [1] คอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในบอร์ดนี้คือ เอทีเมก้า 2560 (ATmega2560) แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีความเร็วสัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิร์ตซ์ และมีหน่วยความจำแฟลช 256 กิโลไบต์ ให้กับบอร์ด แรงดันไฟฟ้าในการทำงานของบอร์ดอาดูโน่เมก้า 2560 คือ 5 โวลต์ และตัวควบคุมสำหรับ อาดูโน่เมก้า 2560 มี แรม (RAM) แบบคงที่ 8 กิโลไบต์ และอีอีพรอม (EEPROM) 4 กิโลไบต์ อาดูโน่เมก้า 2560 มาพร้อมกับ 54 ขา (Pin) สำหรับอินพุต (Input) และเอาต์พุตดิจิทัล (Output Digital) ในขณะที่ 16 ขา สำหรับอินพุต และเอาต์พุตแบบอนาล็อก ในการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่อพ่วงที่เชื่อมต่อกับ อาดูโน่เมก้า 2560 มีทั้งหมด 9 ขา รวมถึงขาสำหรับให้สัญญาณอ้างอิงสำหรับอุปกรณ์อนาล็อก (Analog) ดิจิตอล (Digital) และ ขา 20 คือขาเอสดีเอ (SDA) และ ขา 21 คือ ขาเอสซีแอล (SCL) รองรับการเชื่อมต่อแบบ TWI (I2C)

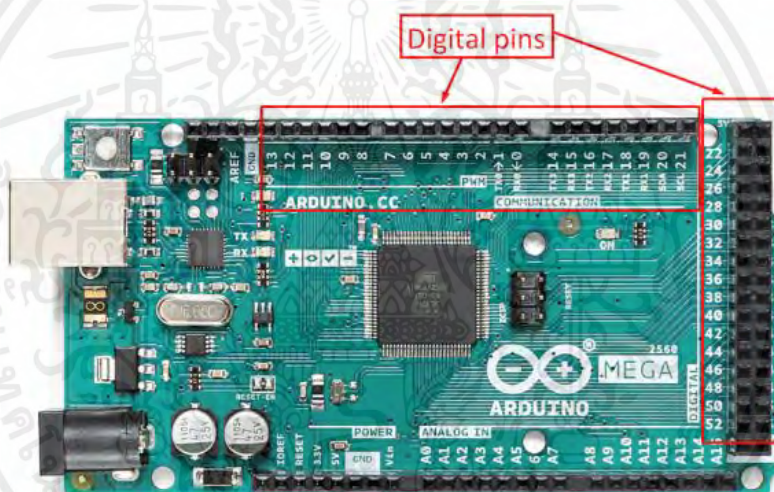


รูปที่ 2.1 บอร์ดอาดูโน่เมก้า 2560 (Arduino Mega 2560)

(ที่มา: <https://ciksiti.com>)

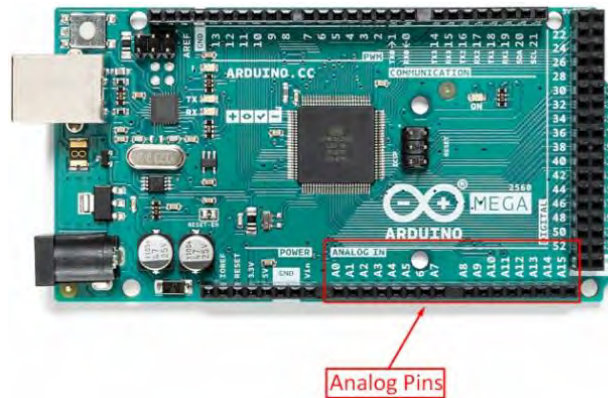
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาดีจิตอลของ อาดูโนเมก้า 2560 ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดีจิตอลกับ อาดูโนเมก้า 2560 มี 54 ขา แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยที่ 0 อาร์เอ็กซ์ศูนย์ (RX0) และ 1 ทีเอ็กซ์ศูนย์ (TX0) ขาใช้สำหรับส่งและรับข้อมูล จากคำว่า ดิจิทัล (Digital) สามารถสมมติว่าข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบ 0 และ 1 ในทำนองเดียวกัน ในการสร้างอินพุต และเอาต์พุต (0 ถึง 5 โวลต์) สามารถใช้ขาได้ตั้งแต่ 2 ถึง 13 ของบอร์ด เนื่องจากเป็นขาเฉพาะของ พีดับบลิวเอ็ม (PWM) และรอบการทำงานของพัลส์อยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 (0 ถึง 5 โวลต์) มีขาเฉพาะสองตัวถัดจากขาการอ้างอิงอนาล็อก (Analog Reference) ที่สามารถใช้สำหรับสายข้อมูล และนาฬิกาของอุปกรณ์ไอทิวซี (I2C) อย่างไรก็ตามเรายังสามารถใช้ขา 20 และ 21 เป็นขาเอสดีเอ และเอสซีแอล สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้โปรโตคอล (Protocol) การสื่อสาร แบบไอทิวซี และ ทูไวร์อินเตอร์เฟส (Two Wire Interface) ขาเอสดีเอ เป็นสายข้อมูลสำหรับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในขณะที่เอสซีแอล เป็นขานาฬิกาของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อสำหรับความช่วยเหลือของผู้ใช้เราได้ให้รูปภาพที่เราได้เน้นหมุดที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.2 ขาดิจิตอล 54 ขา ของอาดูโนเมก้า 2560
(ที่มา: <https://ciksiti.com>)

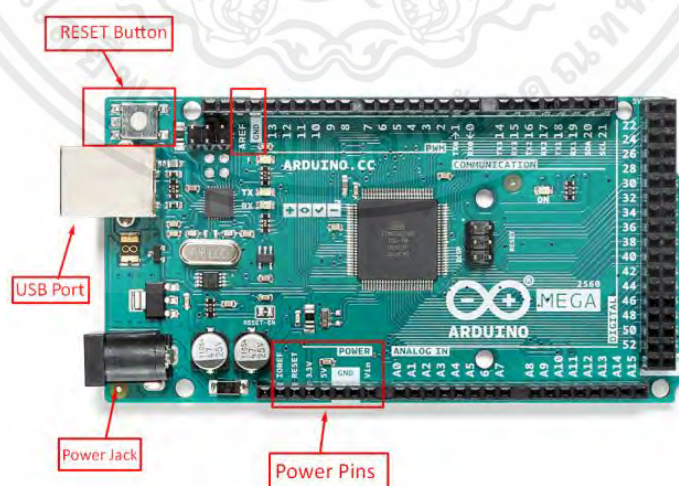
ขานาล็อกของ อาดูโนเมก้า 2560 มี 16 ขานาล็อกในอาดูโนเมก้า 2560 แสดงดังรูปที่ 2.3 ที่สามารถใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์อนาล็อกและมีความละเอียด 0 ถึง 1023 ซึ่งหมายความว่าค่าจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1023 และในแง่ของแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์จะเป็น 1023 รูปที่แนบมาด้านล่างแสดงหมุดอนาล็อกของ อาดูโนเมก้า ที่เน้นด้วยสีแดง



รูปที่ 2.3 ขอนาฬิกา 16 ขา ของอาดูโน่เมก้า 2560
(ที่มา: <https://ciksiti.com>)

ขาเพาเวอร์ของ อาดูโน่เมก้า 2560 มี 10 ขา แสดงดังรูปที่ 2.4 ให้ใช้งานอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ อาดูโน่ เมก้า 2560 ซึ่งมี 3 ขาสำหรับกราวด์ 1 ขาสำหรับ 5 โวลต์ 1 ขาสำหรับ 3.3 โวลต์ และ 2 ขาสำหรับการจ่ายแรงดันอ้างอิงสำหรับอุปกรณ์อนาล็อก และดิจิทัล มีรีเซ็ต (Reset) ให้ในบอร์ดเพื่อรีเซ็ตเมกะ อย่างไรก็ตามยังมีปุ่มรีเซ็ตเฉพาะบนบอร์ดอีกด้วย

ในการเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่เมก้า 2560 กับแรงดันไฟมีพอร์ตยูเอสบี และแจ็คด้วย สามารถใช้พอร์ตยูเอสบี (USB) เพื่อจ่ายไฟให้กับบอร์ด และยังสามารถใช้เพื่ออัปโหลดโปรแกรมไปยังอาดูโน่เมก้า 2560 ในขณะที่แจ็คที่จัดหาให้ส่วนใหญ่จะใช้เมื่ออาดูโน่ ต้องทำงานในโหมดสแตนด์ออล (Standalone) ภาพด้านล่างแสดงขาพาวเวอร์ซัพพลาย (Supply) และปุ่มรีเซ็ตของ อาดูโน่เมก้า 2560



รูปที่ 2.4 ขาเพาเวอร์ 10 ขา ของอาดูโน่เมก้า 2560
(ที่มา: <https://ciksiti.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 จอแอลซีดี (Liquid Crystal Display)

จอแอลซีดี เป็นจอที่ทำมาจากผลึกคริสตัลเหลว [2] แสดงดังรูปที่ 2.5 หลักการคือด้านหลังจอจะมีไฟส่องสว่าง หรือที่เรียกว่าแบล็คไลท์ (Backlight) เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึก ก็จะทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟแบล็คไลท์ แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้ จะมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตัล เช่น สีเขียว หรือ สีฟ้า ทำให้เมื่อมองไปที่จอ ก็จะพบกับตัวหนังสือสีขาว แล้วพบกับพื้นหลังสีต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.5 จอแอลซีดี (Liquid Crystal Display)

(ที่มา: <http://www.ett.co.th/>)

จอแอลซีดี จะแบ่งเป็น 2 แบบตามลักษณะการแสดงผลดังนี้

1) Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว เช่น จอแอลซีดีขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ส่วน 20x4 จะหมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 20 ตัว

2) Graphic LCD เป็นจอที่สามารถกำหนดได้จะให้แต่ละจุดบนหน้าจอขึ้นแสงหรือปล่อยแสงออกไป ทำให้จอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ การระบุขนาดจะระบุในลักษณะของจำนวนจุด (Pixels) ในแต่ละแนว เช่น 128x64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด

คุณสมบัติทางเทคนิค

- 1) จอแอลซีดี แบบตัวอักษรขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด พื้นสีน้ำเงิน อักษรสีขาว
 - 2) การเชื่อมต่อแบบ ไอทิวซี-บัส (I2C-bus) ทำให้สามารถต่อร่วมกันได้ 8 ตัวบนบัสเดียวกัน (เลือกแอดเดรสต่างกัน)
 - 3) ใช้ไอซีขยายพอร์ตเบอร์ พีซีเอฟ8574เอ (PCF8574A) หรือ พีซีเอฟ8574 (PCF8574) ในการเชื่อมต่อกับจอแอลซีดี
 - 4) ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์
- ส่วนประกอบของ จอแอลซีดี 20x4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ขาต่อใช้งานมี 4 ขา มีดังนี้
 - 1.1) ขา 1 ขากราวด์ (GND)
 - 1.2) ขา 2 ขาไฟเลี้ยง (VCC)
 - 1.3) ขา 3 ขาสัญญาณสำหรับรับ - ส่งข้อมูล (SDA)
 - 1.4) ขา 4 ขาสัญญาณนาฬิกา (SCL)
- 2) ตัวต้านทานปรับค่าได้ สำหรับปรับความเข้มของหน้าจอ
- 3) จัมเปอร์เลือก แอดเดรส (A0 - A2) ของจอแอลซีดี
- 4) ไอซีขยายพอร์ตเบอร์ พีซีเอฟ 8574 เอ หรือ พีซีเอฟ 8574
- 5) จัมเปอร์สำหรับเปิดปิดการจ่ายไฟของไฟส่องสว่างด้านหลังจอแอลซีดี ถ้าต่อไว้จะเป็นการเปิดไฟเลี้ยงส่องสว่างด้านหลังจอแอลซีดี

2.3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (Temperature and humidity sensor)

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT20) [3] แสดงดังรูปที่ 2.6 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive) และเซ็นเซอร์อุณหภูมิแถบความถี่ ชิพ (Chip) ยังประกอบด้วยวงจรรขยาย (Amplifier) วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to digital converter) หน่วยความจำ โอทีพี (OTP) และหน่วยประมวลผลดิจิทัล สามารถวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมโดยรอบ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้อย่างแม่นยำ เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นกันน้ำ อาดูโนเอสเอชที20 ใช้การป้องกันน้ำแบบคูกู พีซีบี (PCB) ด้านในมีการป้องกันน้ำเข้า และการห่อหุ้ม ส่วนหุ้มโพรบทำจากวัสดุกันน้ำ พีอี (PE) วัสดุนี้เป็นวัสดุกันน้ำระบายอากาศแบบพิเศษที่ช่วยให้โมเลกุลของน้ำซึมเข้าไปได้ ปิดกั้นไม่ให้หยดน้ำซึมเข้าไป เซ็นเซอร์จะไม่เสียหายแม้ว่าจะจมน้ำเป็นเวลานาน มีตัวต้านทานแบบตั้งขึ้น 10,000 โอห์ม ในตัวและตัวเก็บประจุตัวกรอง 0.1 ไมโครฟารัด ดังนั้นจึงสามารถใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูเอโนได้โดยตรง



รูปที่ 2.6 เอสเอชที 20 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

(ที่มา: <https://www.direnc.net/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเบื้องต้น

- 1) แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน: 3.3 โวลต์ / 5 โวลต์
- 2) อินเทอร์เฟซการสื่อสาร: I2C / IIC
- 3) เวลาตอบสนอง อาเอช: 8 วินาที
- 4) ความแม่นยำ: ± 3 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช / ± 0.3 องศาเซลเซียส
- 5) ช่วงการวัด: 0-100 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช / -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส

2.4 สวิตช์ลुकลอย (Water Level Sensor)

สวิตช์ลुकลอย [4] แสดงดังรูปที่ 2.7 เมื่อมีระดับน้ำน้อยกว่า ระดับลुकลอย เป็นวงจรปิดจะมี กระแสไหล เมื่อน้ำถึงระดับลुकลอย เป็นวงจรเปิดกระแสจะไม่ไหล รองรับไฟกระแสตรง และ กระแสสลับ กระแสสูงสุด 3 แอมป์



รูปที่ 2.7 สวิตช์ลुकลอย (Water Level Sensor)

(ที่มา: <https://www.cybertice.com>)

คุณสมบัติเบื้องต้น

- 1) อัตราการสัมผัสสูงสุด: 10 วัตต์
- 2) แรงดันไฟสลับสูงสุด: 220 โวลต์
- 3) กระแสสลับสูงสุด: 0.5 แอมป์
- 4) แรงดันพังทลายสูงสุด: 300 โวลต์
- 5) ความต้านทานการสัมผัสสูงสุด: 100 มิลลิโอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช (pH Sensor)

เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช [5] เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเป็นกรดกับเบส แสดงดังรูปที่ 2.8 ของสารละลายโดยค่าที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 14 พีเอช (pH) เอาต์พุตของเซ็นเซอร์เป็นแบบอนาล็อก (0-1023) ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ สามารถจุ่มแช่น้ำได้ตลอดเวลา



รูปที่ 2.8 เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช (pH Sensor)

(ที่มา: <https://shopee.co.th/>)

คุณสมบัติเบื้องต้น

- 1) กำลังไฟโมดูล: 5.0 โวลต์
- 2) ช่วงการวัด: 0 ถึง 14 พีเอช
- 3) อุณหภูมิการวัด: 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- 4) ความแม่นยำ: ± 0.1 พีเอช (25 องศาเซลเซียส)
- 5) เวลาตอบสนอง: ≤ 1 นาที

2.6 เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (Sensor TDS)

เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ [6] แสดงดังรูปที่ 2.9 เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดคุณภาพของน้ำ วัดปริมาณของสารละลายที่เจือปนอยู่ในน้ำ เป็นสัญญาณรูปแบบอนาล็อกเพื่อป้อนไปยัง บอร์ดอาคูเอโน แล้วนำไปแสดง หรือเขียนโปรแกรมได้ตามที่ต้องการอีกด้วย ทีดีเอสเซ็นเซอร์ เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำโดยใช้หลักการวัดทีดีเอส ซึ่งเป็นค่าที่แสดงจำนวนของสารละลายที่อยู่ในน้ำ เช่น เกลือ แร่ธาตุ และสารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



รูปที่ 2.9 เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (Sensor TDS)

(ที่มา: <https://www.ab.in.th/>)

2.7 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ [7] เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 2.10 เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัส (Contact) ให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิด หรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้มากมาย แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รีเลย์ (Relay)

(ที่มา: <https://th.aliexpress.com/>)

รีเลย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลัก แสดงดังรูปที่ 2.11

1) ส่วนของขดลวด เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แก่โลหะไปกระตุ้นให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน (ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่คุณผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระตุ้นให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน

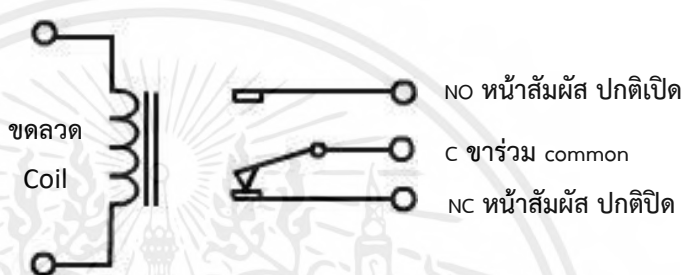
2) ส่วนของหน้าสัมผัส ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดต่อใช้งานมาตรฐาน มีดังต่อไปนี้

1) จุดต่อ เอ็นซี (NC) ย่อมาจาก Normal Close หมายความว่า ปกติปิด หรือ หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา

2) จุดต่อ เอ็นโอ (NO) ย่อมาจาก Normal Open หมายความว่า ปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำ หน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักจะต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิดเช่น โคมไฟสนาม

3) จุดต่อ ซี (C) ย่อมาจาก Common คือจุดรวมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของรีเลย์

(ที่มา: <http://primusthai-pm.blogspot.com/>)

2.8 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ตัวเก็บประจุ [8] เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ทำหน้าที่เก็บพลังงานในสนามไฟฟ้า ที่สร้างขึ้นระหว่างคู่ตัวนำ โดยมีค่าประจุไฟฟ้าเท่ากัน แต่มีชนิดของประจุตรงข้ามกัน บางครั้งเรียกตัวเก็บประจุนี้ว่า คอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานสำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์

หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์ หรือ ตัวเก็บประจุ คือ เมื่อนำตัวเก็บประจุไปต่อเข้ากับวงจร หรือแหล่งจ่ายไฟครบวงจร เราจะสังเกตว่ากระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านตัวเก็บประจุได้ มองเป็นวงจรเปิด ก็เพราะว่าในตัวเก็บประจุมีฉนวนกั้นอยู่ในขณะเดียวกันก็เกิดประจุไฟฟ้าที่ไหลข้ามฉนวนไม่ได้ก็ติดอยู่ที่แผ่นตัวนำ ทำให้ด้านนั้นมีประจุไฟฟ้าลบบ่อยะ ส่วนแผ่นตัวนำด้านตรงข้ามก็กลายเป็นประจุไฟฟ้าด้านบวกเพราะอิเล็กตรอนไหลไปอีกด้านหนึ่งจำนวนมาก การที่มีประจุติดอยู่ที่แผ่นตัวนำของตัวเก็บประจุได้ก็เพราะว่า แต่ละด้านมีประจุไฟฟ้าที่เป็นขั้วตรงกันข้ามกันทำให้เกิดสนามไฟฟ้าดึงดูดซึ่งกันและกัน (บวกและลบดึงดูดกัน) ซึ่งทำให้ตัวเก็บประจุสามารถเก็บพลังงานศักย์ หรือแรงดันไว้ได้

ชนิดของตัวเก็บประจุ

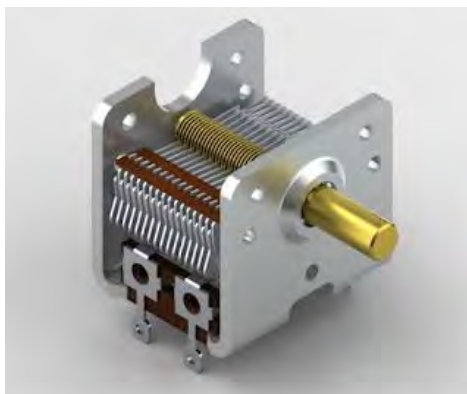
ตัวเก็บประจุ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ คือตัวเก็บประจุที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยปกติจะมีรูปลักษณะเป็นวงกลม หรือเป็นทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งมักแสดงค่าที่ตัวเก็บประจุ เช่น 5 พิโกฟารัด (pF) หรือ 10 ไมโครฟารัด (uF) แผ่นเพลทตัวนำมักใช้โลหะ และมีไดอิเล็กตริก (Dielectric) ประเภท ไมก้า (Mica) เซรามิก (ceramic) และอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic) คั่นกลาง เป็นต้น การเรียกชื่อตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่นี้จะเรียกชื่อตามไดอิเล็กตริกที่ใช้ เช่น ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก ชนิดเซรามิก และชนิดไมก้า เป็นต้น ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่มีใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป



รูปที่ 2.12 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่
(ที่มา: <https://projectpoint.in/index.php>)

2) ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ แสดงดังรูปที่ 2.13 ค่าการเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลง ไปตามการเคลื่อนที่ของแกนหมุน โครงสร้างภายในประกอบด้วย แผ่นโลหะ 2 แผ่น หรือมากกว่าวางใกล้กัน แผ่นหนึ่งจะอยู่กับที่ส่วนอีกแผ่นหนึ่งจะเคลื่อนที่ได้ ไดอิเล็กตริกที่ใช้มีหลายชนิดด้วยกันคือ อากาศ ไมก้า เซรามิก และพลาสติก เป็นต้น ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้อีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันดีคือทริมเมอร์ (Trimmer) และแพดเดอร์ (Padder) โครงสร้างภายในประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่นวางขนานกัน ในกรณีที่ต้องการปรับค่าความจุ ให้ใช้ไขควงหมุนสลักตรงกลางค่าที่ปรับจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 พิโกฟารัด ถึง 20 พิโกฟารัด การเรียกชื่อตัวเก็บประจุแบบนี้ว่าทริมเมอร์ หรือแพดเดอร์นั้นขึ้นอยู่กับว่า จะนำไปต่อในลักษณะใด ถ้านำไปต่อขนานกับตัวเก็บประจุตัวอื่นจะเรียกว่า ทริมเมอร์ แต่ถ้านำไปต่ออนุกรมจะเรียกว่า แพดเดอร์



รูปที่ 2.13 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้
(ที่มา: <http://waritka.blogspot.com/>)

3) ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้ แสดงในรูปที่ 2.14 คือตัวเก็บประจุในตัวถังเดียว แต่มีค่าให้เลือกใช้งานมากกว่าหนึ่งค่า



รูปที่ 2.14 ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้
(ที่มา: <https://www.thai-shizuki.com/>)

2.9 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

ทรานซิสเตอร์ [9] แสดงดังรูปที่ 2.15 เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาจากไดโอด ซึ่งคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์นั้น หมายถึงสามารถนำไปใช้งานในด้านขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง โดยการป้อนสัญญาณที่มีขนาดเล็กให้ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสได้มากที่สามารถทำให้เกิดสัญญาณขนาดใหญ่ทางขาออกได้สบายๆ และทรานซิสเตอร์ยังเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่สามารถทำหน้าที่ ขยายสัญญาณไฟฟ้า เปิดและปิด สัญญาณไฟฟ้า และคงค่าแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น การทำงานของทรานซิสเตอร์ เปรียบได้กับวาล์วที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าขาเข้า เพื่อปรับขนาดกระแสไฟฟ้าขาออกที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

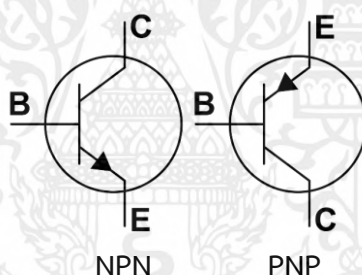


รูปที่ 2.15 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

(ที่มา: <http://phnote.blogspot.com/>)

ทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภท แสดงดังรูปที่ 2.16 ดังนี้

- 1) ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น (NPN)
- 2) ทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี (PNP)



รูปที่ 2.16 ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพี

(ที่มา: <http://www.psptech.co.th/>)

ทรานซิสเตอร์มีขาต่อใช้งานทั้งหมดสามขา คือ ขาคอลเล็กเตอร์ (Collector) หรือ ขา (C) ขา อิมิตเตอร์ (Emitter) หรือ ขา (E) ขาเบส (Base) หรือ ขา (B) และการนำไปใช้งานเราต้องป้อนกระแส และแรงดันให้ ทรานซิสเตอร์ทำงาน เรียกว่าการไบอัส (Bias)

การทำงานของทรานซิสเตอร์

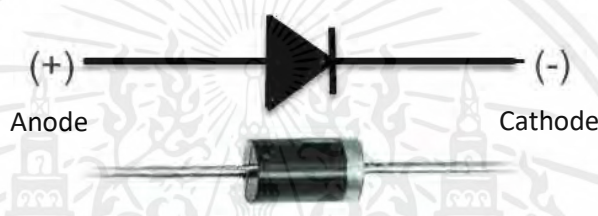
1) การทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น คือ การจ่ายไฟลบให้ขาอิมิตเตอร์ เมื่อเทียบกับ ที่จ่ายให้ขาเบส และจ่ายไฟบวกให้ขา คอลเล็กเตอร์ เมื่อเทียบกับไฟลบที่จ่ายให้ขาเบส มีทั้งไฟบวกและไฟลบ แต่การเทียบศักย์ไบอัสไป ข้างหน้า นั้นจะเทียบระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ เท่านั้น ทำให้ขาเบส ซึ่งเป็นสารพี ได้รับแรงไฟ พอร์เวิร์ต คือเป็นไฟบวกเมื่อเทียบกับขาอิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี โดยการจ่ายไฟบวกให้ขา อิมิตเตอร์ เมื่อเทียบกับ ไฟลบบที่จ่ายให้ขาเบส และจ่ายไฟลบเข้าขาคอลเล็กเตอร์ เมื่อเทียบกับไฟบวกที่จ่ายให้ขาเบส ทำให้ขาเบส มีทั้ง ไฟลบบและไฟบวก ทำให้ขาเบส ซึ่งเป็นสารเอ็น ได้รับ การไบแอสไปข้างหน้า (Forward Bias) คือเป็นลบเมื่อเทียบกับขาอิมิตเตอร์ เท่านั้น

2.10 ไดโอด (Diode)

ไดโอด [10] แสดงดังรูปที่ 2.17 เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น (p-n) สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด หรือขั้ว (Anode ; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p) และแคโทดหรือขั้ว (Cathode ; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n)



รูปที่ 2.17 ไดโอด (Diode)

(ที่มา: <https://powerelectronics-21052112.blogspot.com/>)

การทำงานของไดโอด ไดโอดจะทำงานได้ต้องต่อแรงดันไฟให้กับขาของไดโอด การต่อแรงดันไฟให้กับไดโอด เรียกว่า การให้ไบแอส (Bias) การให้ไบแอสแก่ไดโอดมีอยู่ 2 วิธีคือ

1) การไบแอสไปข้างหน้า หรือเรียกว่า ฟอว์เวิร์ดไบแอส การให้ไบแอส แบบนี้คือ ต่อขั้วบวกของแรงดันไฟตรงเข้ากับสารกึ่งตัวนำประเภทพีและต่อขั้วลบของแรงดันไฟตรงเข้ากับสารกึ่งตัวนำประเภทเอ็น

2) การไบแอสผกกลับ หรือที่เรียกว่า รีเวิร์ดไบแอส (Reverse Bias) ซึ่งการไบแอสในลักษณะนี้ จะเป็นการกำหนดให้ขั้วแอโนด ที่มีลักษณะของสารเป็นสารพี มีค่าของแรงดันน้อยกว่าขั้วแคโทด ที่มีลักษณะของสารเป็นสารเอ็น ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวนี้ก็จะทำให้ไดโอดนั้นไม่สามารถที่จะนำกระแสได้ และจากลักษณะของการไบแอสนี้นั้นมันก็จะ เป็นลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ไดโอดในทางอุดมคติ

ไดโอดที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน มี 2 ชนิด

1) ไดโอดที่ทำจากซิลิคอนเรียกว่า ซิลิคอนไดโอด เป็นไดโอดที่ทนกระแสไฟได้สูงและสามารถใช้งานได้ในพื้นที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส นิยมเอาไดโอดแบบนี้ใช้ในวงจรเรียงกระแส

2) ไดโอดทำจากเจอร์มาเนียม (Germanium) เรียกว่า เจอร์มาเนียมไดโอด ไดโอดแบบนี้ทนกระแสได้ต่ำกว่าแบบซิลิคอน ทนความร้อนได้ประมาณ 85 องศาเซลเซียส ไดโอดแบบนี้ใช้ในวงจรที่มีความถี่สูง นิยมใช้ในวงจรแยกสัญญาณหรือวงจรผสมสัญญาณ

2.11 วงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ (Boost Converter)

วงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ [11] แสดงดังรูปที่ 2.18 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ ซึ่งหลักการทำงานคือ การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้สูงขึ้น โดยมีแรงดันเอาต์พุตจะสูงกว่าค่าแรงดันอินพุตส่วนประกอบที่สำคัญของวงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ จะประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรสร้างสัญญาณ



รูปที่ 2.18 วงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับ (Boost Converter)

(ที่มา: <https://thai.alibaba.com/>)

2.12 ตัวต้านทาน (Resistor)

ตัวต้านทาน [12] เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมา มีค่าเฉพาะค่าหนึ่งที่ใช้ในการต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้มากที่สุด วงจรอิเล็กทรอนิกส์มักเรียกสั้นๆ ว่า อาร์ “R” มีคุณสมบัติในการลดกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ชนิดของตัวต้านทาน ตัวต้านทานแบ่งตามการใช้งานได้ 3 แบบ คือ

1) ตัวต้านทานชนิดค่าคงตัว แสดงดังรูปที่ 2.19 มีค่าความต้านทานคงที่ มีให้เลือกหลายวัสดุและกำลังวัตต์ โดยขนาดตัวต้านทานจะยึดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต้านได้เป็นเกณฑ์มีตั้งแต่ 0.25 ถึง 100 วัตต์ โดยใช้รหัสแถบสีเป็นตัวบอกค่า



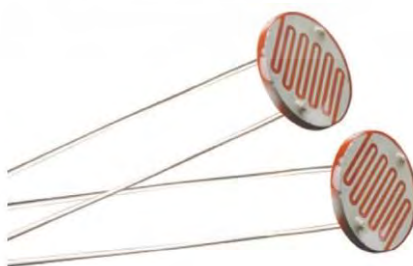
รูปที่ 2.19 ตัวต้านทานชนิดค่าคงตัว
(ที่มา: <https://www.ec-bot.com/>)

2) ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ แสดงดังรูปที่ 2.20 สามารถเปลี่ยนค่าได้ตลอดเวลา



รูปที่ 2.20 ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้
(ที่มา: <https://commandronestore.com/>)

3) ตัวต้านทานชนิดพิเศษ แสดงดังรูปที่ 2.21 เป็นตัวต้านทานที่มีสมบัติและการใช้งานต่างจากตัวต้านทานทั่วไป ตัวอย่างของตัวต้านทานชนิดพิเศษ ได้แก่ แอลดีอาร์ (LDR) เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) และวาริสเตอร์ (Varistor) เป็นต้น



รูปที่ 2.21 ตัวต้านทานชนิดพิเศษ
(ที่มา: <https://www.ai-corporation.net/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ปั๊มน้ำ (Water Pump)

ปั๊มน้ำ [13] คืออุปกรณ์สำหรับส่งน้ำหรือถ่ายเทของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง หรือ หมุนเวียนน้ำหรือของเหลวให้ผสมกันในบริเวณที่จำกัด ซึ่งปั๊มน้ำมีทั้งแบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า และแบบที่ใช้เครื่องยนต์ ทำหน้าที่หมุนส่งกำลังให้ปั๊มน้ำทำงาน เพื่อเพิ่มแรงดัน และส่งน้ำไปตามท่อ ปัจจุบันปั๊มน้ำที่ใช้กันภายในบ้านจะเป็นแบบใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

ปั๊มน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด

1) ปั๊มน้ำอัตโนมัติ เหมาะสำหรับอาคาร ตึกแถว ทาวน์เฮ้าส์ หรือบ้านเดี่ยว เป็นระบบสวิตช์เปิดและปิดอัตโนมัติ ประหยัดไฟ มีกำลังส่งน้ำไปยังจุดต่างๆภายในบ้านได้ดี สามารถต่อกับเครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องซักผ้า หรือก๊อกน้ำทั่วไปได้

2) ปั๊มน้ำจุ่ม ใช้กับงานดูดน้ำเล็กๆ เช่น ปั๊มน้ำขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 2.22 บ่อน้ำพุ หรือใช้กับงานสูบน้ำขนาดใหญ่ เช่น ปั๊มไต้ไต้ ก็จะใช้ในงาน สูบบ่อและคลอง

3) ปั๊มน้ำหอยโข่ง เหมาะกับงานเกษตร งานสูบน้ำขึ้นตึกสูง งานสูบน้ำจากแหล่ง หรืองานหัวจ่ายน้ำ ที่สามารถสูบน้ำได้ในปริมาณที่มากหรือแรงส่งสูง ๆ

4) ปั๊มน้ำแรงดันคงที่ เช่น ปั๊มลสารเคมีขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 2.23 และปั๊มหั่นหมอก แสดงดังรูปที่ 2.24 เป็นปั๊มอัตโนมัติควบคุมแรงอุปกรณ์เกี่ยวกับน้ำให้มีแรงดันคงที่ กำลังส่งน้ำสม่ำเสมอ เหมาะกับการติดตั้งใช้กับงานต่างๆ

ซึ่งในโปรแกรมระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ เลือกใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็ก ปั๊มลสารเคมีขนาดเล็ก และ ปั๊มหั่นหมอก



รูปที่ 2.22 ปั๊มน้ำขนาดเล็ก

(ที่มา: <https://tailybuddy.com>)



รูปที่ 2.23 ปัมสารเคมีขนาดเล็ก
(ที่มา: <https://www.lazada.co.th>)



รูปที่ 2.24 ปัมพ่นหมอก
(ที่มา: <https://www.chang-store.com/product>)

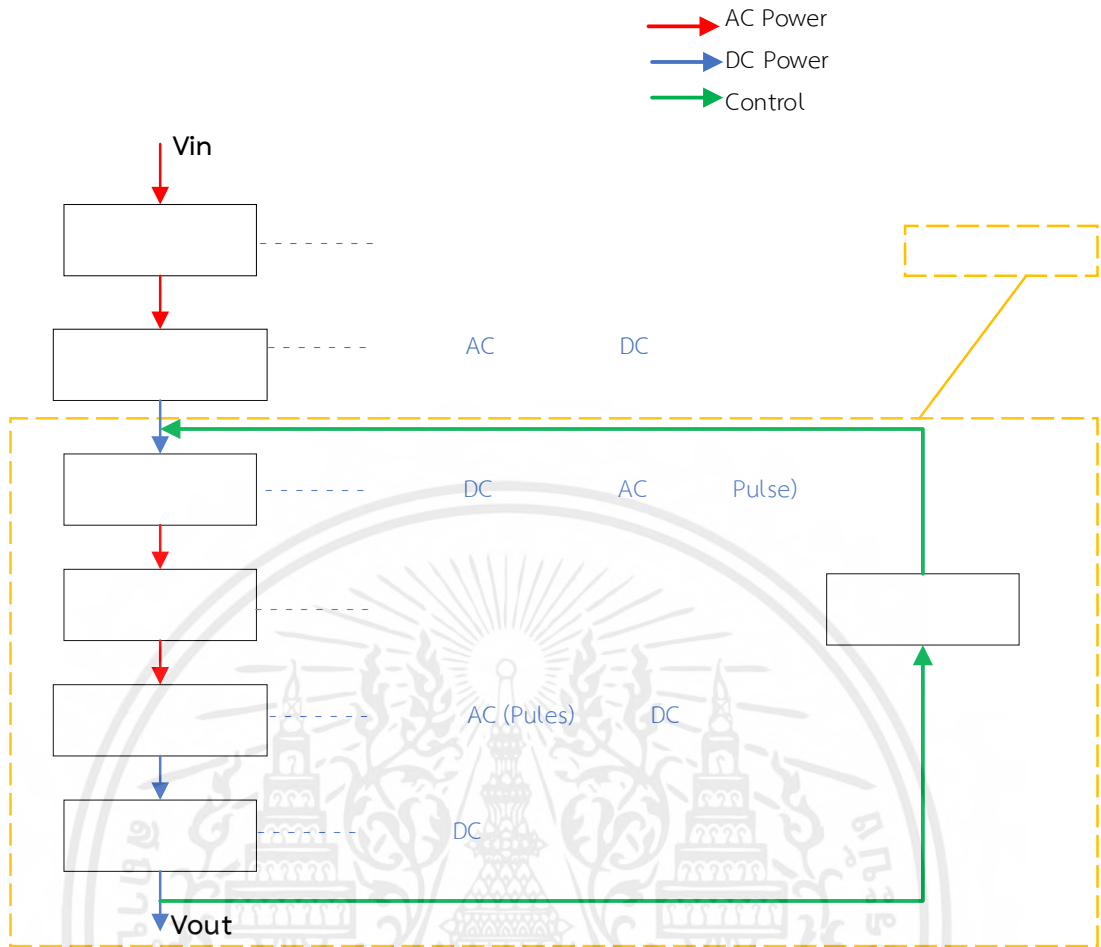
2.14 สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)

สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย [14] เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟ จากไฟกระแสสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น แสดงดังรูปที่ 2.25

สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

- 1) วงจรฟิลเตอร์และเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรง
- 2) คอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับความถี่สูง และแปลงกลับเป็นไฟตรงโวลต์ต่ำ
- 3) วงจรควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ

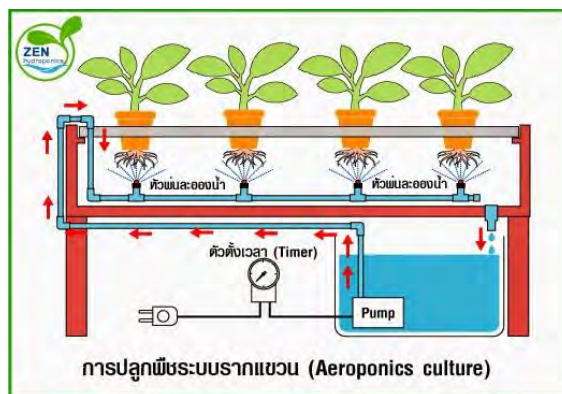
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 หลักการทำงานของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย

2.15 การปลูกพืชระบบรากแขวนอยู่ในอากาศ (Aeroponics Culture)

การปลูกพืชระบบรากแขวนอยู่ในอากาศ [15] หรือแอโรโปนิคส์ หมายถึง การปลูกพืชโดยที่ให้รากของพืชแขวนอยู่ในอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.26 หลักการของระบบนี้ คือ เป็นการปลูกพืช โดยที่ส่วนของรากพืชนั้นลอยอยู่ในอากาศ แล้วจ่ายสารละลายธาตุอาหาร ให้แก่พืชโดยวิธีฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารเป็นฝอย หรือหมอก ไปที่รากพืชโดยตรงอย่างต่อเนื่อง หรือฉีดพ่นเป็นระยะ ๆ และสารละลายธาตุอาหารที่เหลือก็จะไหลไปรวมกันที่ถังพักเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ปลูกพืชในระบบรากแขวนอาจมีได้หลายรูปแบบ เช่น แบบกล่องสี่เหลี่ยม แบบกระโจมสามเหลี่ยม เป็นต้น วิธีการปลูกพืชแบบนี้เป็นวิธีที่ไม่ต้องเติมออกซิเจน (oxygen) หรืออากาศลงไปในสารละลายธาตุอาหาร รากของพืชที่ปลูกจะได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอตลอดเวลา จึงทำให้รากของพืชที่ปลูกด้วยวิธีนี้นั้นมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.26 การปลูกพืชระบบรากแขวน (Aeroponics Culture)

(ที่มา: <https://zen-hydroponics.blogspot.com/>)

2.16 แบตเตอรี่แห้ง (Sealed Maintenance Free Car Battery - SMF)

แบตเตอรี่แห้ง [16] แสดงดังรูปที่ 2.27 เป็นแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วอีกประเภทหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดขั้นตอนในการดูแลรักษาแบตเตอรี่รถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นการที่ไม่มีช่องสำหรับเปิดและปิดเพื่อเติมน้ำกลั่นแบบที่มีในแบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไป ซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่น้ำกรดภายในแบตเตอรี่จะรั่วไหลออกมาทำลายเครื่องยนต์ ตลอดจนอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แห้งที่มากกว่าแบตเตอรี่น้ำ ทำให้แบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่ทั่วไป



รูปที่ 2.27 แบตเตอรี่แห้ง (Sealed Maintenance Free Car Battery - SMF)

(ที่มา: <https://www.homepro.co.th/>)

แบตเตอรี่แห้ง มี 2 ประเภท

1) แบตเตอรี่แห้งแบบเอจีเอ็ม (AMG) จัดเป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดพิเศษที่มีเทคโนโลยีแผ่นกั้นใยแก้วพิเศษ ช่วยลดการระเหยของน้ำและช่วยลดซบน้ำกรดได้เป็นอย่างดีในกรณีที่รถยนต์อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะสั้นมาก หรือกรณีที่แบตเตอรี่แตก น้ำกรดจะถูกดูดซับเอาไว้และไม่ไหลออกมาสร้างความเสียหายให้กับบอร์ด แบตเตอรี่แห่งแบบเอจีเอ็ม ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับนวัตกรรมยานยนต์ ในปัจจุบันที่ต้องการแหล่งพลังงานประสิทธิภาพสูง เช่นรถยนต์รุ่นใหม่จากบริษัทชั้นนำในแถบยุโรป ปัจจุบันอาจพบว่าแบตเตอรี่ดังกล่าวไม่เป็นที่นิยมใช้งานในในแถบเอเชียมากนัก

2) แบตเตอรี่แห่งแบบเจล (Gel) คือแบตเตอรี่ที่มีตัวอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในรูปของเจล มีความคงทนต่ออุณหภูมิการใช้งานที่กว้างทั้งในอุณหภูมิที่เย็นและร้อน จึงเป็นที่นิยมใช้งานในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น เนื่องจากตัวอิเล็กโทรไลต์ในรูปของเจลจะไม่จับตัวแข็งเมื่อเจอกับสภาพอากาศหนาวจัด

2.17 โมดูลเวลา (DS3231 Module)

โมดูลเวลา โมดูลดีเอส 3231 [17] แสดงดังรูปที่ 2.28 เป็นโมดูลนาฬิกาแบบเวลาจริง ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงเพราะข้างในมีวงจรวัดอุณหภูมิ เพื่อนำอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมมาคำนวณชดเชยความถี่ของคริสตัล ที่ถูกรบกวนจากอุณหภูมิภายนอก มาพร้อมแบตเตอรี่รี ใช้งานได้แม้ไม่มีแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก สามารถตั้งค่า วัน เวลา ได้อย่างง่าย มีไลบรารีมาพร้อมใช้งาน สามารถเลือกแสดงผลเวลาแบบ 24 ชั่วโมง หรือแบบ 12 ชั่วโมงก็ได้ นอกจากนี้จะแสดงวันและเวลาได้อย่างแม่นยำแล้ว โมดูลนี้ยังสามารถ แสดงอุณหภูมิภายนอกได้ เบอร์ต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติต่างกัน แต่ล้วนมีการทำงานเหมือนกันคือนับความถี่จากคริสตัล 32.768 กิโลเฮิร์ตซ์ มาผ่านวงจรมัลติพลายหารลงไปเป็นสัญญาณนาฬิกา 1 เฮิร์ตซ์ คือ 1 ลูกคลื่นสัญญาณต่อวินาที (ยกเว้น ดีเอส 3231 ที่นับจากคริสตัลในตัวชิปเลย ไม่ต้องอาศัยคริสตัลสัญญาณจากภายนอก ทำให้ได้เวลาที่เที่ยงตรงมากขึ้น) และส่วนมากจะมีการนับเวลาเป็น วินาที นาที และชั่วโมง วันที่ของเดือน วันของสัปดาห์ และปีพร้อมด้วยปีอธิกสุรทิน (คือปีที่เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน)



รูปที่ 2.28 โมดูลดีเอส 3231 (DS3231 Module)

(ที่มา: <https://www.cybertice.com>)

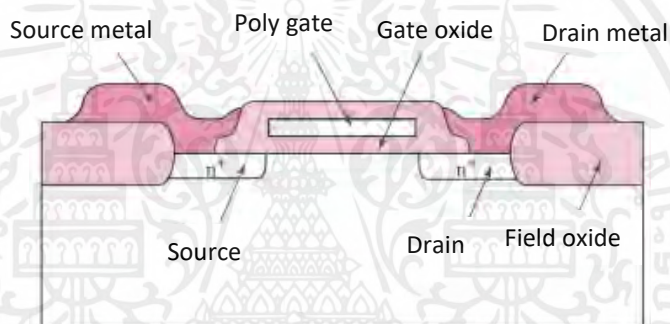
2.18 มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET)

มอสเฟต [18] เป็นอุปกรณ์ สารกึ่งตัวนำที่มีการทำงานในลักษณะที่แปลงแรงดันเป็นกระแส กระแสที่ได้เป็นผลมาจากอิเล็กตรอน หรือโฮล (Hold) ซึ่งเป็นพาหะข้างมาก ขึ้นอยู่กับว่าอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นมอสเฟตชนิดเอ็น (NMOS) หรือมอสเฟตชนิดพี (PMOS)

มอสเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- 1) มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion)
- 2) มอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement)

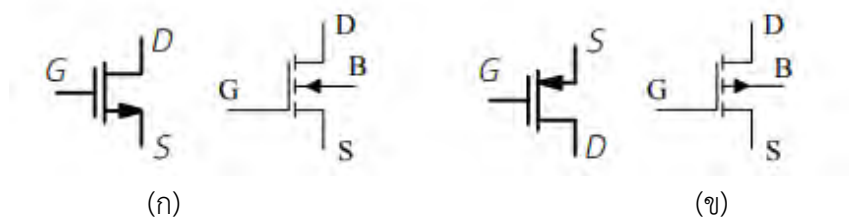
มอสเฟตแต่ละประเภทยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิด คือ มอสเฟตชนิดเอ็น ซึ่งมีประจุพาหะอิเล็กตรอนเป็นตัวนำกระแส และมอสเฟตชนิดพี ซึ่งมีประจุพาหะโฮลเป็นตัวนำกระแส



รูปที่ 2.29 โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ชนิดเอ็น

(ที่มา: <http://pws.npru.ac.th/>)

จากรูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ชนิดเอ็น ขั้วซอส (Source) และขั้วเดรน (Drain) ถูกสร้างขึ้นโดยการแพร่อะตอมสารเจือชนิดเอ็นที่มีความหนาแน่นมาก เข้าไปในฐานรองของสารกึ่งตัวนำชนิดพี ซึ่งเป็นแผ่นผลึก ซิลิกอนรูปเดี่ยว ที่มีความหนาแน่นน้อย ขั้วเกต (Gate) จะเป็นส่วนของโลหะ หรือชั้นของโพลีซิลิกอน ซ้อนอยู่บนชั้นของออกไซด์ระหว่างขั้วเดรนและขั้วซอส โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสองเป็นความยาวของมอสเฟต และมีระยะทางด้านข้าง เป็นความกว้างของมอสเฟต ซึ่งโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ชนิดพี จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ชนิดเอ็น แต่จะสลับกัน คือ มอสเฟตชนิดพีจะประกอบด้วยผลึกฐานรองชนิดเอ็น ที่มีความหนาแน่นน้อยและมีการแพร่อะตอมสารเจือชนิดพีที่มีความหนาแน่นมาก เข้าไปฐานรองเพื่อเป็นขั้วซอสและขั้วเดรน ลักษณะสัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ชนิดเอ็นมอส และพีมอส จะมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เม้นท์ชนิด (ก) NMOS และ (ข) PMOS

(ที่มา: <http://pws.npru.ac.th/>)



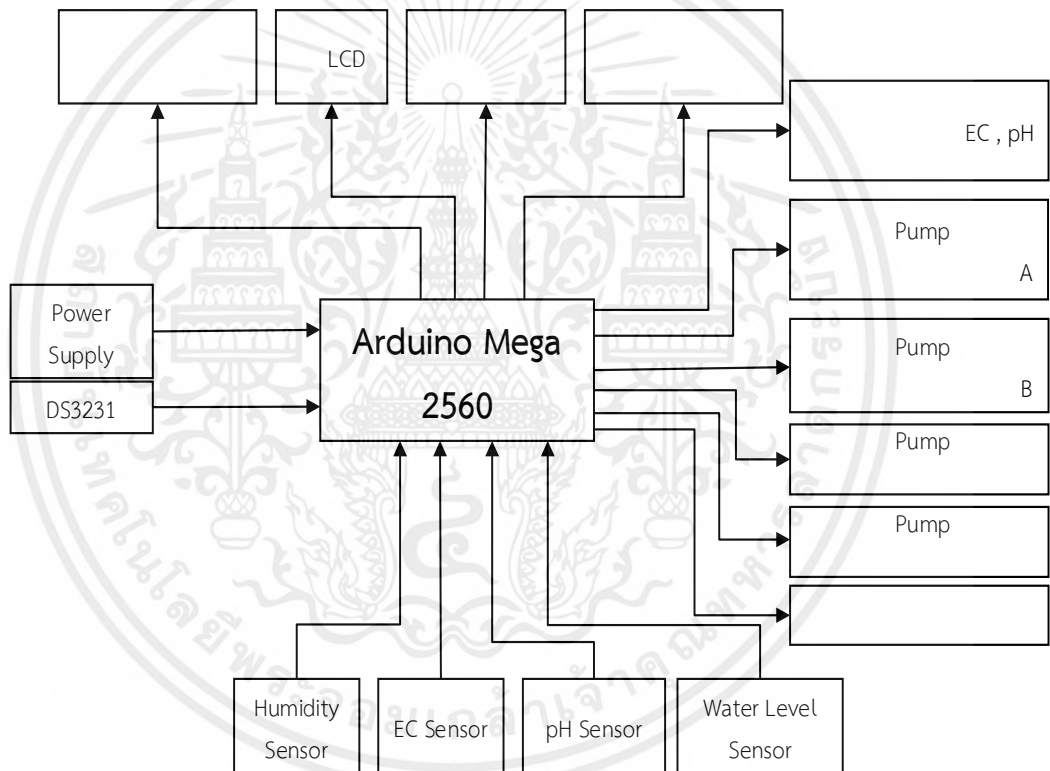
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ (Aeroponics) ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรม (Block diagrams) ของแสดงหลักการทำงานของส่วนต่าง ๆ ในโครงงานโฟลวชาร์ต (Flowchart) การทำงานระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ การออกแบบวงจร และการออกแบบโครงสร้างการทำงานของระบบ

3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานโดยรวม



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบการควบคุมปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์

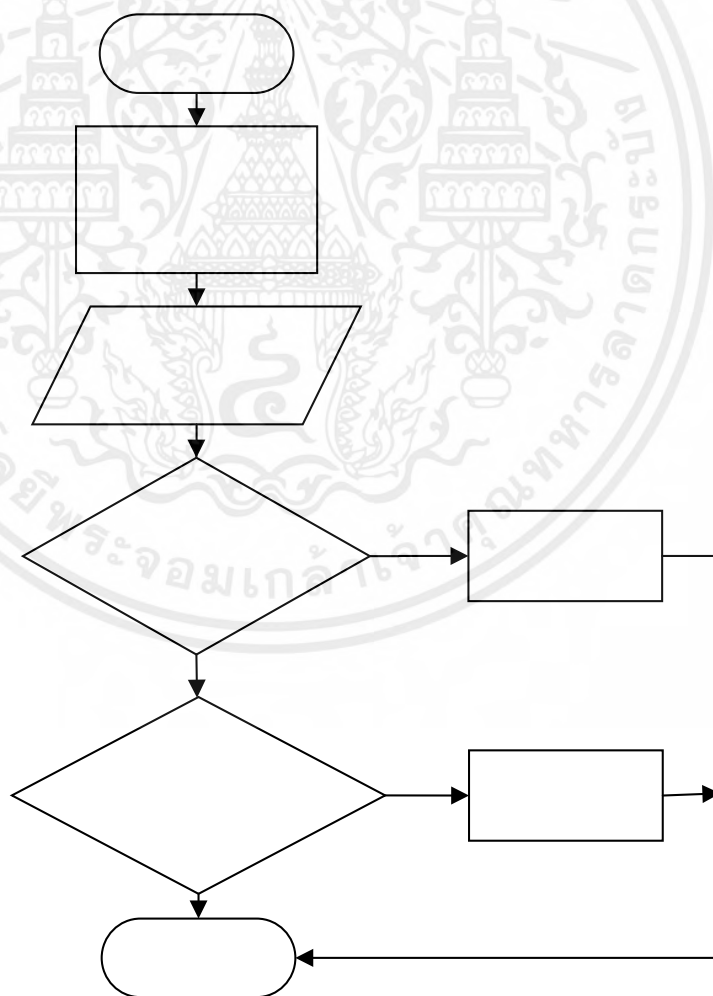
จากรูปที่ 3.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ โดยจ่ายไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ เข้าที่ สวิตช์ซึ่งพาวเวอร์ซัพพลาย 12 โวลต์ 20 แอมป์ เพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 รีเลย์ (Relay) และอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในวงจร โดยมีเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำที่ตำแหน่ง 30 ลิตร โมดูลนาฬิกา วัดค่าความชื้น วัดค่าพีเอช และอีซี ซึ่งโมดูลนาฬิกาทำการตรวจสอบเวลาแล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูเอโนเมก้า 2560 เพื่อไปแสดงค่าที่หน้าจอแอลซีดี และไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูเอโนเมก้า 2560 สั่งให้ปั๊มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี ปื้มสารละลายกรดและเบส ปื้มน้ำสำรอง และมอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน เมื่อปื้มสารละลายธาตุอาหารทั้ง 4 ชนิด อย่างใดอย่างหนึ่ง มีการทำงาน มอเตอร์ กวนผสมปุ๋ยจะทำการกวนปุ๋ยให้ผสมกันหลังจากปล่อยสารเสร็จ และเมื่อระดับน้ำในถังรวมสารละลายธาตุอาหารต่ำกว่า 30 ลิตร ปื้มน้ำสำรองมีการเติมน้ำใสในถังรวมสารละลายธาตุอาหารให้ถึงระดับ 40 ลิตรปื้มน้ำสำรองจะหยุดทำงานทันที

3.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์

โฟลวชาร์ตการทำงานของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ คือ โฟลวชาร์ตการวัดระดับน้ำและเติมน้ำ โฟลวชาร์ตการวัดค่าอีซี เพื่อเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอบี โฟลวชาร์ตการวัดค่าพีเอช เพื่อเติมสารละลายกรดและเบส โฟลวชาร์ตการทำงานของมอเตอร์หมุนพีระมิดเพื่อให้ผักรับแสง และโฟลวชาร์ตการทำงานของปื้มพ่นสารละลายธาตุอาหาร

3.2.1 โฟลวชาร์ตการวัดระดับน้ำที่ 30 ลิตรและเติมน้ำ

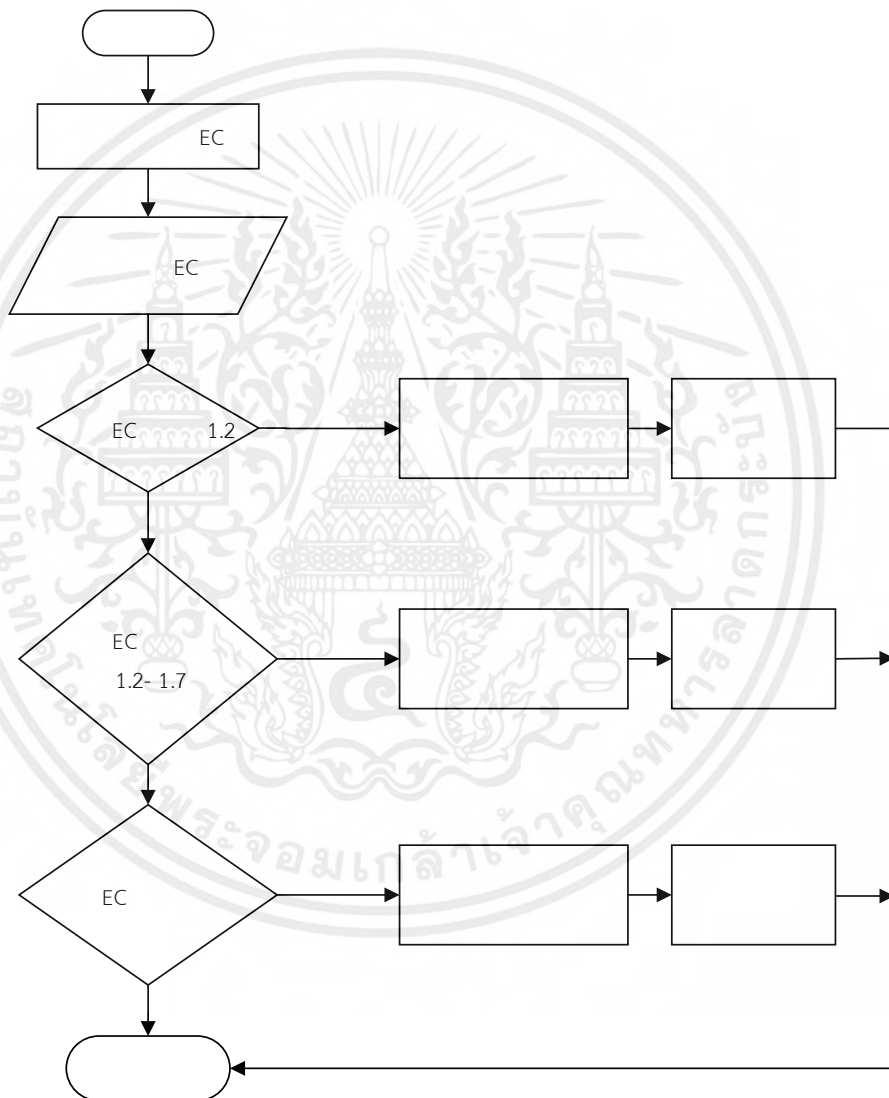


รูปที่ 3.2 โฟลวชาร์ตการทำงานการวัดระดับน้ำที่ 30 ลิตรและเติมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 เป็นโฟลวชาร์ตของการทำงานการวัดระดับน้ำที่ 30 ลิตรและเติมน้ำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 จะทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้น ถ้าหากระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารมีระดับน้ำต่ำกว่า 30 ลิตร ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 จะสั่งให้รีเลย์ทำงานเพื่อทำการเปิดปั้มน้ำสำรองเติมน้ำมาที่ถังรวมสารละลายธาตุอาหาร แต่ถ้าหากเติมน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารจนถึงระดับน้ำที่ 40 ลิตร รีเลย์จะหยุดการทำงานและปั้มน้ำสำรองจะหยุดการทำงานทันที

3.2.2 โฟลวชาร์ตการวัดค่าอีซีและการเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอบี



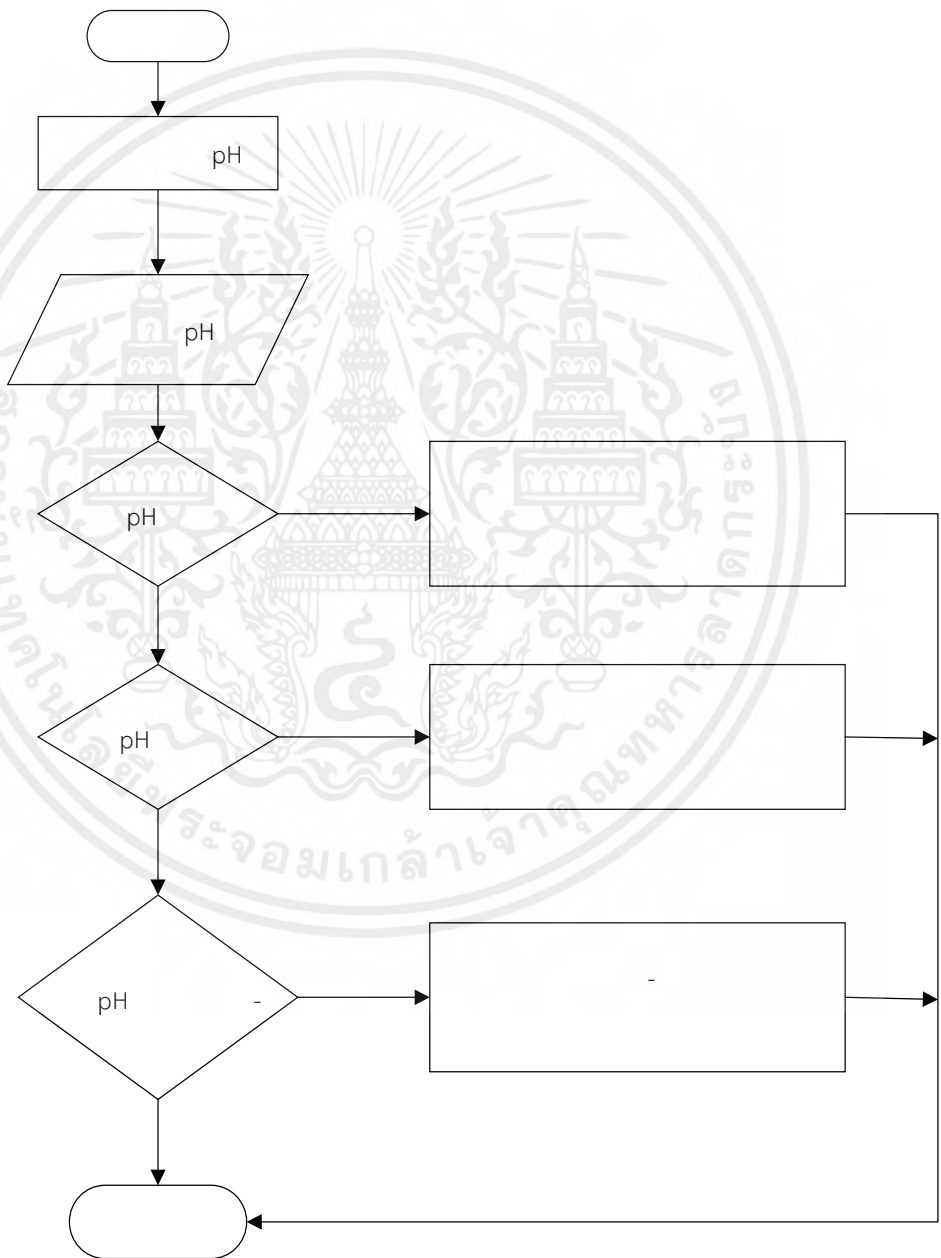
รูปที่ 3.3 โฟลวชาร์ตการทำงานการวัดค่าอีซี และการเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี

จากรูปที่ 3.3 เป็นโฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของการทำงานการวัดค่าอีซีและการเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 ทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดค่าอีซีและนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าทางหน้าจอแอลซีดี เมื่อเซ็นเซอร์วัดค่าไอซี วัดค่าได้ต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูโนเมก้า 2560 สั่งให้ปั๊มเริ่มทำงานเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบีมอเตอร์กวนผสมปุ๋ยทำงานหลังจากปล่อยสารละลายเสร็จ และเมื่อเซ็นเซอร์ไอซี วัดค่าไอซีได้ค่าระหว่าง 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร ปั๊มเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบีและมอเตอร์กวนผสมปุ๋ยไม่มีการทำงาน แต่ถ้าหากเซ็นเซอร์ไอซี ทำการวัดค่าไอซีได้มากกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร ปั๊มเติมน้ำเปล่ามีการเติมน้ำและมอเตอร์กวนผสมปุ๋ยทำงาน

3.2.3 โฟลวชาร์ตการทำงานการวัดค่าพีเอช และเติมกรดกับเบส

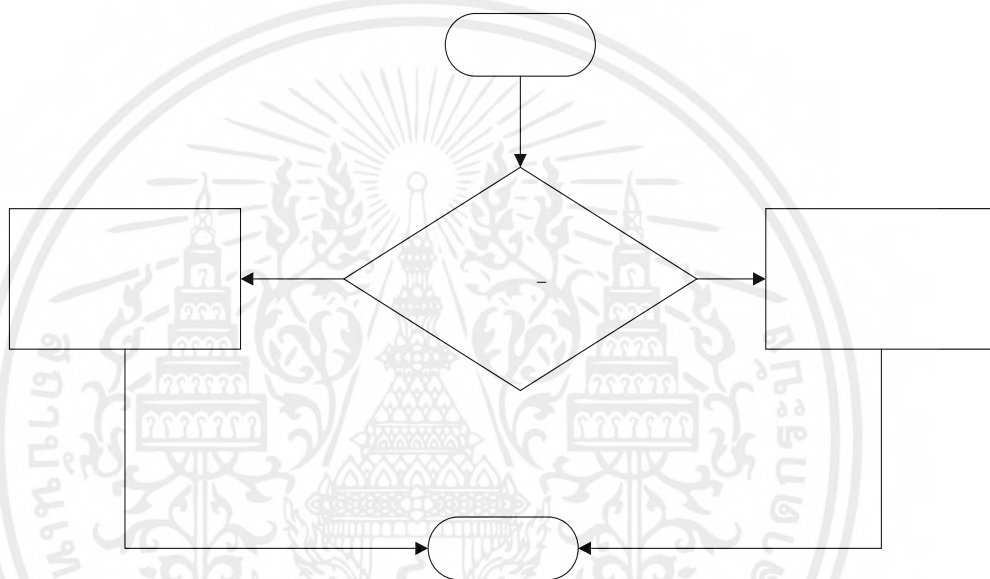


รูปที่ 3.4 โฟลวชาร์ตการทำงานการวัดค่าพีเอชและเติมกรดกับเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 เป็นโฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของการทำงานการวัดค่าพีเอช และเติมสารละลายกรดกับเบส ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูเอโนเมก้า 2560 ทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช นำไปแสดงค่าทางหน้าจอแอลซีดี เมื่อเซ็นเซอร์พีเอช วัดค่าพีเอชได้ค่าต่ำกว่า 6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 จะสั่งให้ปั๊มเติมสารละลายเบส และมอเตอร์กวนปุยจะเริ่มทำงาน หากเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอชได้ค่าสูงกว่า 7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 สั่งให้ปั๊มเติมสารละลายกรด และมอเตอร์กวนปุยทำงาน ถ้าหากเซ็นเซอร์พีเอช วัดค่าพีเอชได้ค่าระหว่าง 6 ถึง 7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 สั่งให้ปั๊มเติมสารละลายกรดกับเบส และมอเตอร์กวนปุยไม่ต้องทำงาน

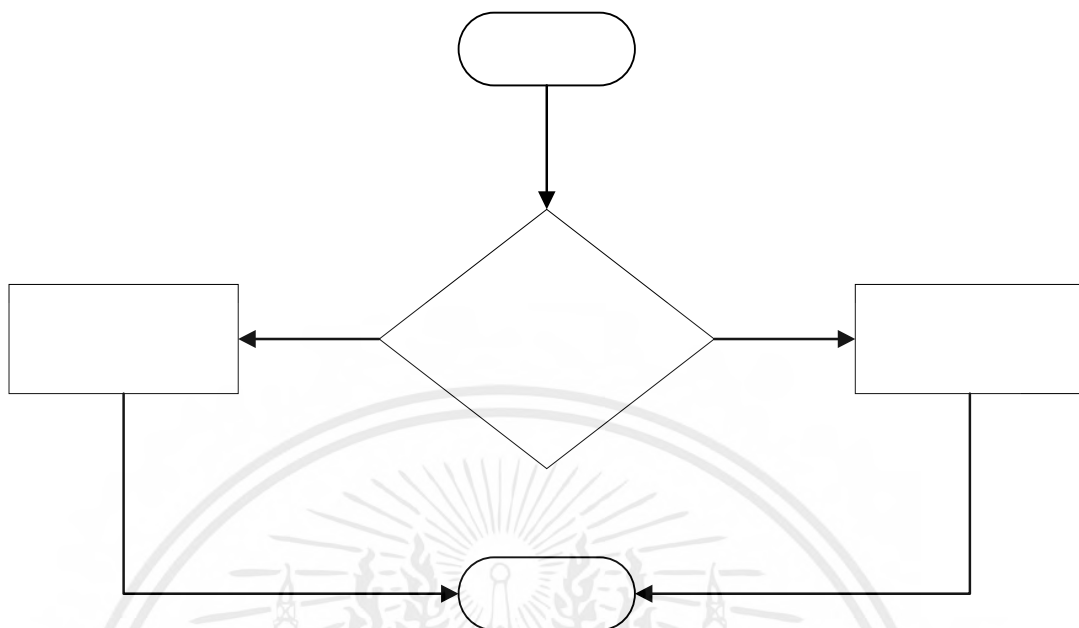
3.2.4 โฟลวชาร์ตการทำงานของมอเตอร์หมุนพีระมิตเพื่อให้ผักรับแสง



รูปที่ 3.5 โฟลวชาร์ตการทำงานของมอเตอร์หมุนพีระมิตเพื่อให้ผักรับแสง

จากรูปที่ 3.5 เป็นโฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของมอเตอร์หมุนพีระมิต เพื่อให้ผักได้มีการรับแสงสม่ำเสมอเท่ากันในทุก ๆ ด้านของพีระมิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 ทำการรับค่าและตรวจสอบเวลาจากโมดูลนาฬิกา ดีเอส 3231 ตั้งเวลาให้มอเตอร์หมุนพีระมิตเพื่อให้ผักได้รับแสงทำงาน เมื่อถึงเวลามอเตอร์ทำการหมุนทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง เป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกาและหมุนทวนเข็มนาฬิกา รอบละ 180 องศา ทำการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูเอโนเมก้า 2560 โดยรับค่าจาก โมดูลนาฬิกา ดีเอส 3231 ตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 17.30 นาฬิกา นอกเหนือจากเวลาที่กล่าวมานี้ มอเตอร์หมุนพีระมิตเพื่อให้ผักรับแสงจะไม่ทำงาน

3.2.5 โฟลวชาร์ตการทำงานของปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหาร



รูปที่ 3.6 โฟลวชาร์ตการทำงานของปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหาร

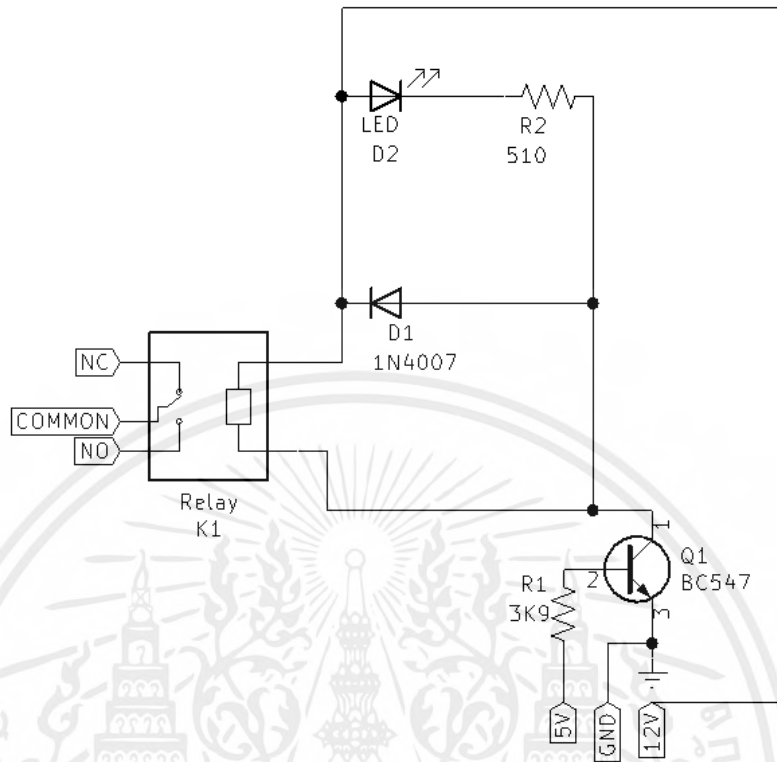
จากรูปที่ 3.6 เป็นโฟลวชาร์ตการทำงานของปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหารเริ่มต้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโนเมก้า 2560 ทำการรับค่าและตรวจสอบเวลาจากโมดูลนาฬิกา ดีเอส 3231 ตั้งเวลาให้ปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหารทำการเปิดและปิด ตามเวลาที่ต้องการ โดยทำงานเปิด 1 นาที และหยุด 2 นาที

3.3 การออกแบบวงจร

ในการออกแบบวงจรจะขอกว่าถึง การออกแบบวงจรรวมของระบบการควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์ โดยแบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

- 1) วงจรรีเลย์ (Relay Driver)
- 2) วงจรขับมอสเฟต (MOSFET Driver)
- 3) วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์ (H-Bridge)
- 4) วงจรของระบบสำรองไฟ (Power Supply System)

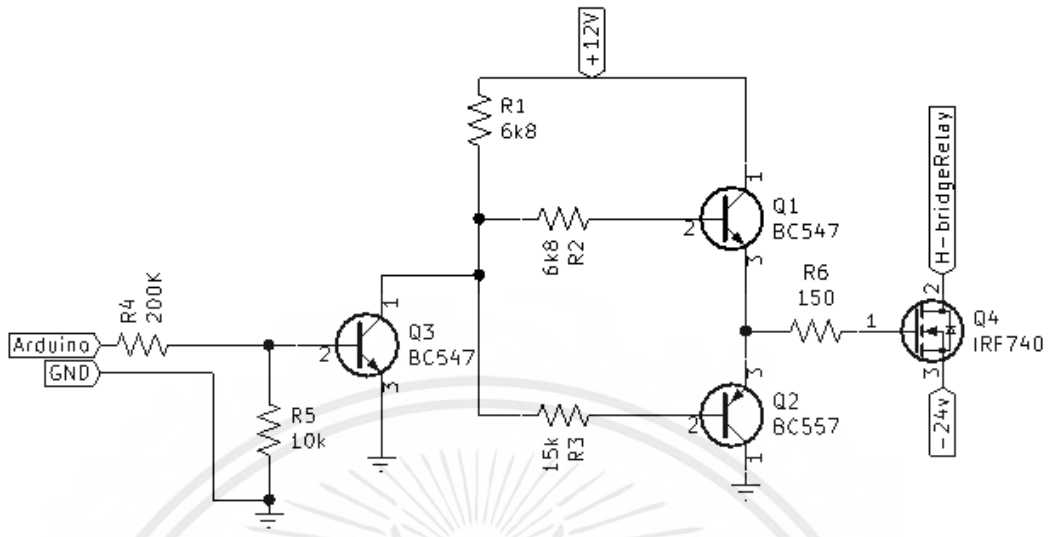
3.3.1 วงจรขับรีเลย์



รูปที่ 3.7 วงจรขับรีเลย์

ในการสร้างระบบควบคุมการปลุกผักแบบแอร์โพนิคส์ ได้มีการออกแบบวงจรขับรีเลย์ แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยการเลือกใช้รีเลย์ 12 โวลต์ เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมการเปิดและปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ โดยผ่านวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูโนเมก้า 2560 จากรูปที่ 3.7 เมื่อเอาต์พุตออกมาจากพอร์ต (Port) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูโนเมก้า 2560 ผ่านตัวต้านทาน 3,900 โอห์ม มาเพื่อจำกัดกระแสที่ไหลมายังทรานซิสเตอร์ บีซี 547 (BC547) โดยกระแสที่ไหลมายังทรานซิสเตอร์ บีซี 547 นั้น ถูกขยายกระแสให้คอยล์รีเลย์ทำงานครบวงจร แอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของรีเลย์ ไดโอด (Diode) 1 เอ็น 4007 (1N4007) มีไว้เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับจากคอยล์รีเลย์เอาต์พุต (Output) นำไปควบคุมการเปิดและปิดการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไม่ว่าจะเป็น ป้อนน้ำพ่นสารละลายธาตุอาหาร ป้อนสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี ป้อนสารละลายกรดกับเบส ป้อนน้ำเปล่าสำรองมอเตอร์กวนผสมปุ๋ย มอเตอร์หมุนพีระมิตเพื่อให้ผักรับแสง และอุปกรณ์ต่าง ๆ อีกมากมาย

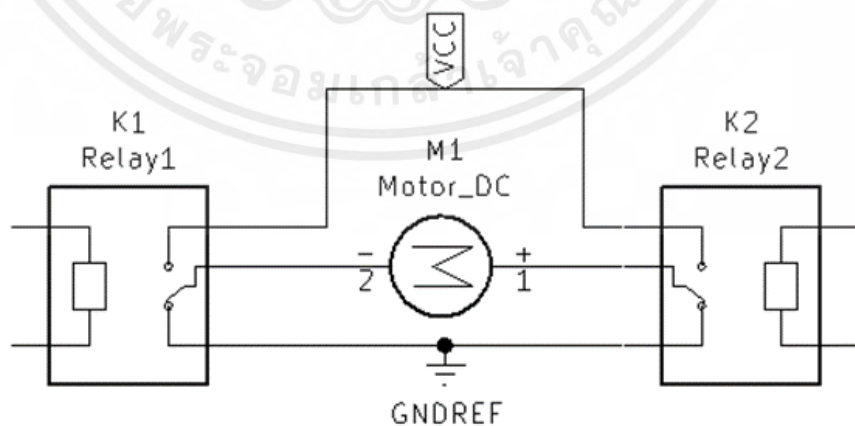
3.3.2 วงจรขับมอสเฟต



รูปที่ 3.8 วงจรขับมอสเฟต

รูปที่ 3.8 เป็นวงจรขับมอสเฟต เพื่อหมุนพีระมิด โดยมีทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ที่แปลงแรงดันลอจิกจากแรงดัน 5 โวลต์เป็น 12 โวลต์ เพื่อให้มีแรงดันเพียงพอในการขับขาเกตของมอสเฟต ในส่วนของทรานซิสเตอร์ Q3 นั้น เป็นน็อทเกตทำหน้าที่รับสัญญาณการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 ในการสั่งให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานในสถานะลอจิกสูง และ Q2 ทำงานในสถานะลอจิกต่ำ

3.3.3 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์

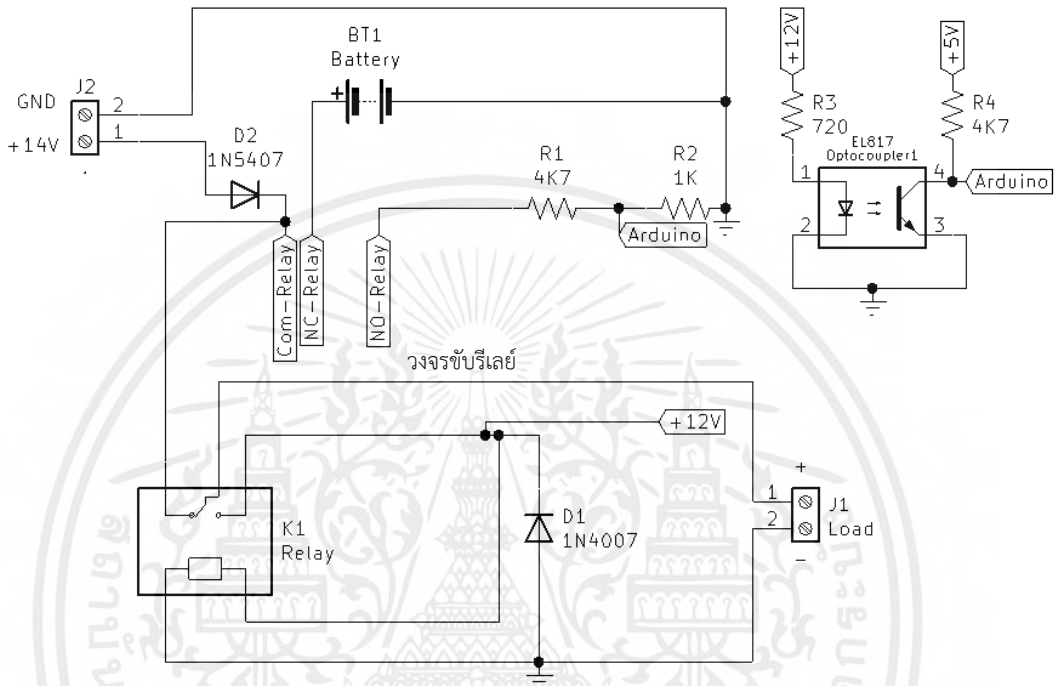


รูปที่ 3.9 วงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 คือวงจรควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้หลักการนำรีเลย์ ที่มีหน้าสัมผัส เอ็นโอ เอ็นซี และคอมมอน มาต่อกันจำนวน 2 ตัว มอเตอร์ไฟฟ้าจะสามารถกลับทิศทางการหมุนด้วยการ กลับขั้วแหล่งจ่าย เป็นการควบคุมมอเตอร์แบบเอชบริดจ์ (H-Bridge)

3.3.4 วงจรระบบสำรองไฟ



รูปที่ 3.10 วงจรระบบสำรองไฟ

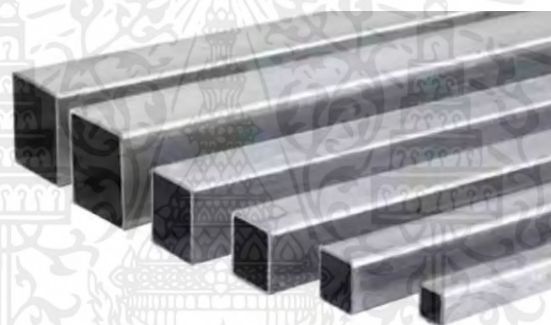
รูปที่ 3.10 เป็นวงจรระบบสำรองไฟ เพื่อใช้ในการสำรองไฟให้ระบบควบคุมการปลุกผักแบบ แอโรโพนิกส์ในสถานการณ์ไฟดับ รีเลย์หลัก K1 ทำหน้าที่สลับแหล่งจ่ายไฟระหว่างแบตเตอรี่กับสวิทซ์ ซึ่ง 12 โวลต์ การควบคุมรีเลย์ K1 ซึ่งมาจากแหล่งจ่ายไฟหลักของระบบ เมื่อไฟดับทำให้หน้าสัมผัส ของรีเลย์สลับไปยังหน้าสัมผัส เอ็นซี ที่มาจากแบตเตอรี่ โดยมีวงจรขั้วรีเลย์ทำหน้าที่เชื่อมต่อ แบตเตอรี่กับรีเลย์หลัก K1 และเป็นตัวควบคุมแบตเตอรี่ทั้งการชาร์จแบตเตอรี่ การป้องกันแบตเตอรี่ เมื่อมีแรงดันต่ำ ซึ่งวงจรขั้วรีเลย์นั้นรับคำสั่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 ในการ จัดการแบตเตอรี่ โดยการรับค่าจากตัวต้านทานแบ่งแรงดัน R1 และ R2 ที่มีหน้าที่ตรวจสอบแรงดัน ของแบตเตอรี่ ในส่วนของอปโตคัปเปิลอร์ อีแอล 817 (Optocoupler EL817) ทำหน้าที่ตรวจสอบ สถานะไฟดับ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูเอโนเมก้า 2560 สั่งการให้ระบบควบคุมการปลุกผัก แบบแอโรโพนิกส์ มีการทำงานที่เหมาะสมในสถานการณ์ไฟดับ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และเวลาในการสำรองไฟให้นานที่สุด

3.4 การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โรโพนิกส์

การออกแบบโครงสร้างของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โรโพนิกส์นั้น มีความสำคัญมาก หากโครงสร้างของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โรโพนิกส์ไม่มีความแข็งแรง จะส่งผลให้การทำงานของระบบเกิดการผิดพลาดและไม่สามารถทำงานได้ตรงตามจุดประสงค์ที่วางไว้

3.4.1 การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โรโพนิกส์

โครงสร้างหลักใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าชุบวาไนซ์ (Galvanize) แสดงดังรูปที่ 3.11 ขนาด $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ นิ้ว และโครงสร้างส่วนของหลังคาใช้เหล็กกล้าวาไนซ์ขนาด 1×1 นิ้ว เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถนำมาใช้งานเป็นโครงสร้างหลักของโครงสร้างปลูกผัก จะใช้เป็นการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมโกเบ (KOBÉ) ขนาด 2.6 มิลลิเมตร ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเป็นอย่างมาก ในส่วนของด้านข้างจะใช้เป็นท่อพีวีซี (PVC) แสดงดังรูปที่ 3.12 ขนาด 1/2 นิ้ว โดยใช้ข้อต่อท่อ แสดงดังรูปที่ 3.13 เพื่อเชื่อมต่อกัน และใช้คลิปก้ามปู แสดงดังรูปที่ 3.14 เป็นตัวยึดพีวีซีกับโครงสร้างหลัก ช่วยทำให้สามารถถอดออกได้ง่ายและสะดวกต่อการขนย้ายโครงสร้าง



รูปที่ 3.11 เหล็กกล้าชุบวาไนซ์
(ที่มา: <https://watsaduonline.com>)



รูปที่ 3.12 ท่อพีวีซี
(ที่มา: <https://tgthailand.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



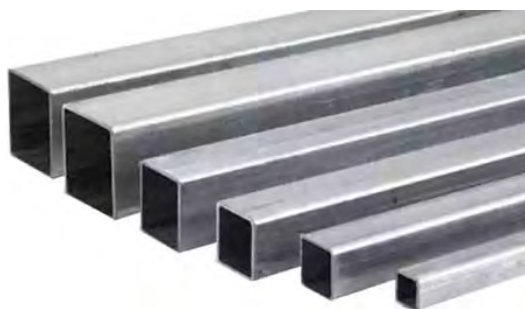
รูปที่ 3.13 ข้อต่อท่อพีวีซี
(ที่มา: <https://tgthailand.com>)



รูปที่ 3.14 คลิปก้ำมปู
(ที่มา: <https://tgthailand.com/>)

3.4.2 การออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้างระบบปลุก

โครงสร้างหลักใช้วัสดุเป็นเหล็กกัลวาไนซ์ แสดงดังรูปที่ 3.15 ขนาด $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นส่วนของฐาน ในส่วนของชุดตั้งถังสารละลายธาตุอาหารทั้ง 4 ชนิด ใช้วัสดุเป็นเหล็กกัลวาไนซ์ ขนาด 1×1 นิ้ว และใช้เหล็กฉาก แสดงดังรูปที่ 3.16 กับเหล็กแบน แสดงดังรูปที่ 3.17 ขนาด 1 นิ้ว เป็นตัวรองถังรวมสารละลายธาตุอาหาร จากนั้นใช้ลวดเชื่อมโกเบ แสดงดังรูปที่ 3.18 ทำการเชื่อมเหล็กติดกันซึ่งทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรง ใช้แผ่นพลาสติก (Plaswood) แสดงดังรูปที่ 3.19 เป็นพื้นที่ปลูกในการทำพีระมิด และใช้กะละมังของซีเอ็นเอ็น (CNN) แสดงดังรูปที่ 3.20 เป็นถังรองน้ำ เพื่อไหลย้อนกลับไปยังถังรวมสารละลายธาตุอาหาร



รูปที่ 3.15 เหล็กกล้าไนซ์

(ที่มา: <https://watsaduonline.com>)



รูปที่ 3.16 เหล็กฉาก

(ที่มา: <http://jcmart1998.lnwshop.com>)



รูปที่ 3.17 เหล็กแบน

(ที่มา: <https://www.phiphatsteel.co.th>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ลวดเชื่อมโกเบ
(ที่มา: <https://scg-towiwat.com/>)



รูปที่ 3.19 แผ่นพลาสติก
(ที่มา: <http://partitionroom.lnwshop.com/>)

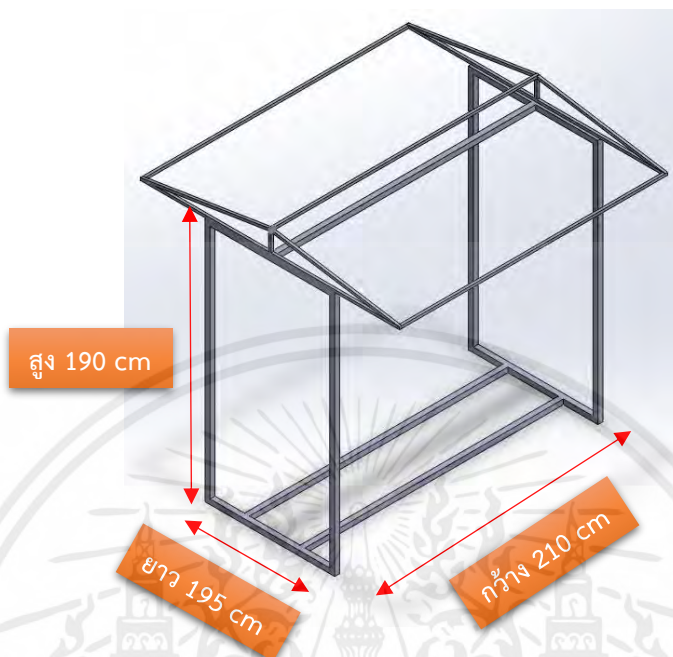


รูปที่ 3.20 กะละมังซีเอ็นเอ็น
(ที่มา: <https://mmtradings.com/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

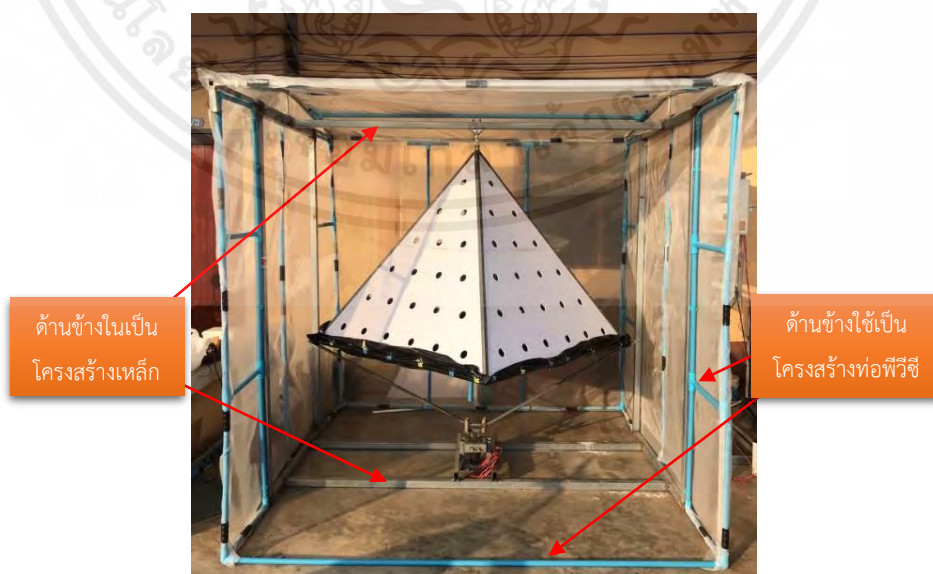
3.5 การออกแบบชุดโครงสร้าง

3.5.1 การออกแบบโครงสร้างโรงเรือนปลูกผัก



รูปที่ 3.21 โครงสร้างโรงเรือนปลูกผัก

จากรูปที่ 3.21 แสดงโครงสร้างโรงเรือนปลูกผัก มีความกว้าง 210 เซนติเมตร ความยาว 195 เซนติเมตร และความสูง 190 เซนติเมตร



รูปที่ 3.22 โครงสร้างโรงเรือนปลูกผักแบบสมบูรณ์

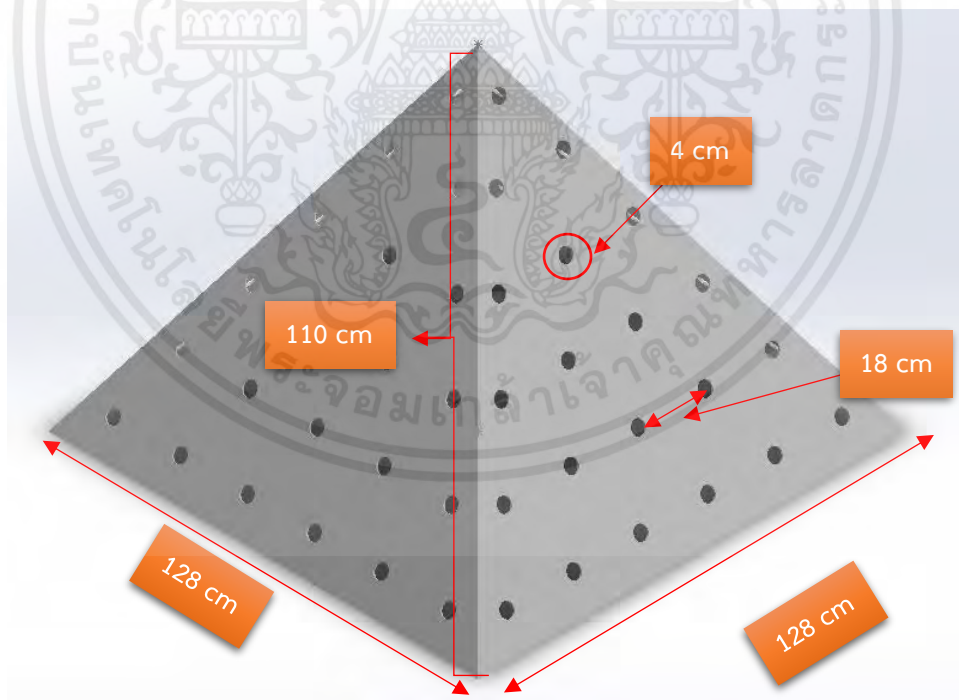
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.22 แสดงโครงสร้างโรงเรือนปลูกผักแบบสมบรูณ์ โครงสร้างโรงเรือนที่ออกแบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างที่ใช้เหล็กเป็นโครงสร้างหลัก และด้านข้างจะเปลี่ยนจากเหล็กไปใช้ท่อพีวีซีแทน เพื่อไว้ใช้ในการยึดมุ้งกันแมลง ซึ่งในการยึดมุ้งนั้นต้องใช้คลิปยึดผ้าใบในการยึด ทำให้การใช้ท่อพีวีซีเป็นโครงสร้างด้านข้างจึงสะดวกกว่าใช้เหล็ก

3.5.2 การออกแบบโครงสร้างปลูกผักทรงพีระมิต

โครงสร้างปลูกผักทรงพีระมิต แสดงดังรูปที่ 3.23 เพื่อต้องการเพิ่มพื้นที่ในการปลูกผัก จากเดิมพื้นที่แนวราบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้าง 128 เซนติเมตร ความยาว 128 เซนติเมตร สามารถปลูกผักได้เพียงแค่ 36 ต้น ต่อ 1 รอบการเก็บเกี่ยว ซึ่งถ้าเทียบกับการปลูกผักแบบทรงพีระมิตที่สามารถปลูกผักได้มากถึง 84 ต้น ต่อ 1 รอบการเก็บเกี่ยว จึงออกแบบโครงสร้างพีระมิตให้มีขนาดดังต่อไปนี้

- 1) โครงสร้างของพีระมิตปลูกผักมีขนาด ความกว้าง 128 เซนติเมตร ความยาว 128 เซนติเมตร และความสูง 110 เซนติเมตร
- 2) จำนวนช่องปลูกผักมีทั้งหมด 84 ช่อง 4 ด้าน ซึ่งมีจำนวนด้านละ 21 ช่อง
- 3) ช่องปลูกผักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างช่อง 18 เซนติเมตร



รูปที่ 3.23 โครงสร้างพีระมิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของพีระมิดปลูกผักซึ่งมี ความกว้าง 128 เซนติเมตร ความยาว 128 เซนติเมตร ความสูง 110 เซนติเมตร ช่องปลูกผักมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างช่อง 18 เซนติเมตร เนื่องจากต้องการรองรับการปลูกผักจำนวน 84 ต้น เมื่อผักเจริญเติบโตเต็มที่ แสดงดังรูปที่ 3.24 มีความกว้างของลำต้นและใบจะมีความยาวประมาณ 18 เซนติเมตร ทำให้ช่วงเวลาที่ผักเจริญเติบโตเต็มที่ใบผักไม่ทับซ้อนกันหรือหนาแน่นจนเกินไป

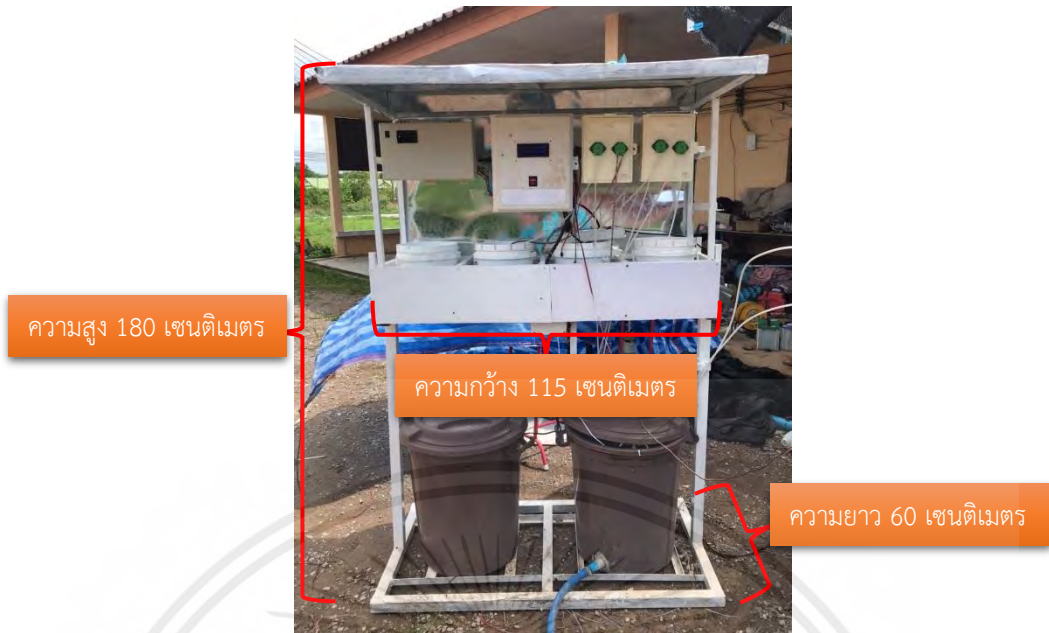


รูปที่ 3.24 ผักเจริญเติบโตเต็มที่

3.5.3 การออกแบบโครงสร้างระบบปลูกผัก

การออกแบบโครงสร้างของระบบปลูกผักจะออกแบบด้วยการนำอุปกรณ์ของระบบทุกอย่างมาไว้รวมกันที่โครงสร้างเดียว คือ กล่องคอลโทรล กล่องแบตเตอรี่สำรองไฟ กล่องปั๊มสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี และกล่องปั๊มสารละลายกรด-เบส ถึงสารละลายธาตุอาหาร รวมทั้งหมด 4 ชนิด จำนวน 4 ถัง มอเตอร์กวนผสมปุ๋ย ถังน้ำเปล่าสำรอง ถึงรวมสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งในขั้นนี้ จะประกอบไปด้วย เซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช เซ็นเซอร์วัดค่าไฟเอช และเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำอยู่ด้วย ในส่วนของระบบน้ำฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารกับเซ็นเซอร์วัดความชื้นจะถูกติดตั้งอยู่ภายในพีระมิดรายละเอียดมีดังนี้

1) โครงสร้างระบบปลูกผัก แสดงดังรูปที่ 3.25 มีความกว้าง 115 เซนติเมตร ความยาวของฐาน 60 เซนติเมตร ความสูง 180 เซนติเมตร



รูปที่ 3.25 โครงสร้างระบบปลุกผัก

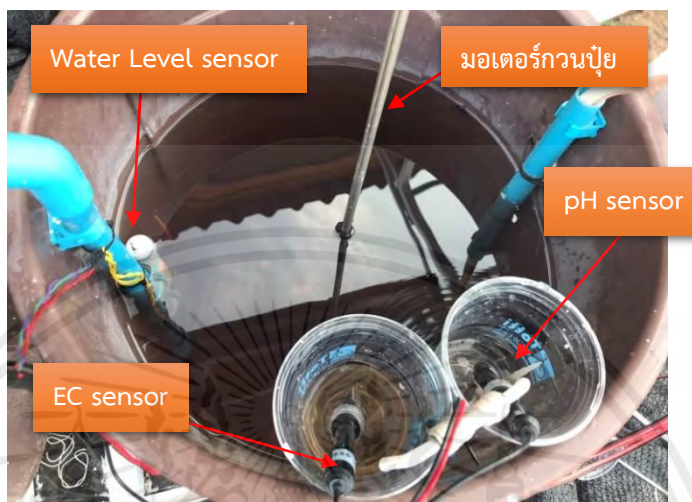
2) ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.26 คือ กล่องคอลโทรล กล่องแบตเตอรี่สำรองไฟ กล่องปั๊มสารละลายธาตุอาหารเอบี กล่องปั๊มสารละลายกรด-เบส ถึงสารละลาย 4 ชนิด จำนวน 4 ถัง มอเตอร์ผสมปุ๋ย ถังน้ำเปล่าสำรอง และถังรวมสารละลายธาตุอาหาร



รูปที่ 3.26 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบ

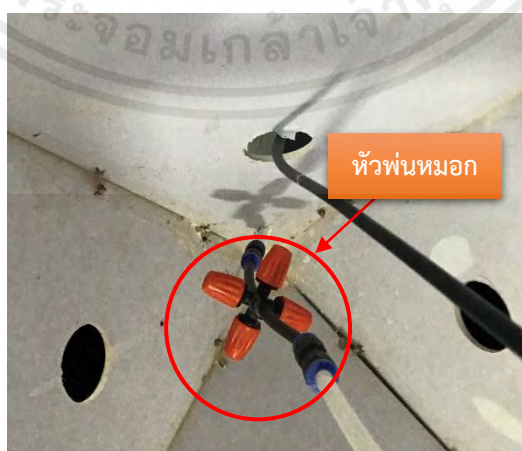
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ภายในของถังรวมธาตุอาหาร แสดงดังรูปที่ 3.27 จะมีระบบวัดและควบคุมค่าไอซีค่าพีเอช และระดับน้ำ จะติดตั้งมอเตอร์กวนปุ๋ยไว้ด้านบนของถังรวมสารละลายธาตุอาหาร ภายในถังจะติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าไอซีกับเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช และเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำไว้เพื่อวัดและควบคุมค่าต่าง ๆ



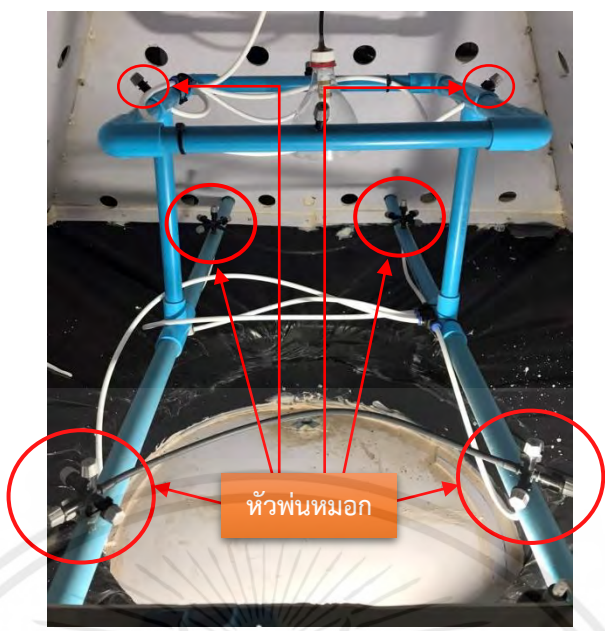
รูปที่ 3.27 ภายในของถังรวมธาตุอาหาร

4) ระบบฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารให้แก่ผัก จะเป็นระบบฉีดพ่นหมอก โดยมีการติดตั้งหัวพ่นหมอก ภายในพีระมิดทั้งหมด 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 จุดยอดจะใช้หัวพ่นหมอกแบบ 4 ทิศทาง แสดงดังรูปที่ 3.28 ส่วนช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ด้านล่างจะติดตั้งเข้ากับโครงสร้างท่อพีวีซี ซึ่งสามารถกันน้ำได้และไม่มีผลต่อปุ๋ย ในส่วนของเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นจะติดตั้งไว้ตำแหน่งตรงกลางของพีระมิด แสดงดังรูปที่ 3.30

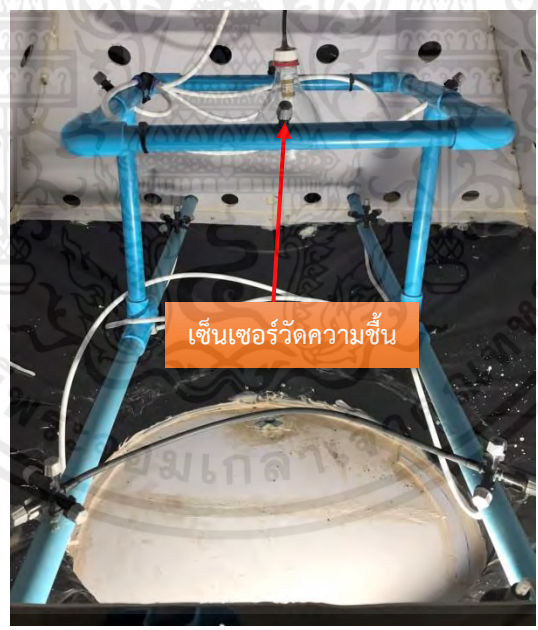


รูปที่ 3.28 จุดยอดใช้หัวพ่นหมอกแบบ 4 ทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 หัวพ่นหมอกช่วงที่ 2 และ ช่วงที่ 3



รูปที่ 3.30 เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นติดตั้งไว้ตำแหน่งตรงกลางของพีระมิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง ผลการทดลองของแต่ละส่วน อธิบายการทำงานของ การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ การทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอช การทดลองวัดและควบคุมค่าไอซี การทดลองแสดงผลค่า 4 ผล บนจอแอลซีดี การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊ม ฟันหมอก การทดลองระบบหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด ทดลอง การปลูกผักแบบหมุนและไม่หมุนพีระมิด และทดลองระยะเวลาที่สำรองไฟจากแบตเตอรี่ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ

ในการทดลองนี้จะใช้เซ็นเซอร์ ลูกลอย 2 ตัว ทำการวัดระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารที่ระดับตำแหน่ง 30 ลิตร และ 40 ลิตร เมื่อระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารต่ำกว่าตำแหน่ง 30 ลิตร ที่ตำแหน่งเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 1 จะทำการทดลองว่าระบบจะเติมน้ำจากถังสำรองน้ำเปล่ามายังถังสารละลายธาตุอาหาร ให้ระดับน้ำถึงที่ระดับตำแหน่ง 40 ลิตร ที่ตำแหน่งเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 2 ซึ่งขั้นตอนการทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ

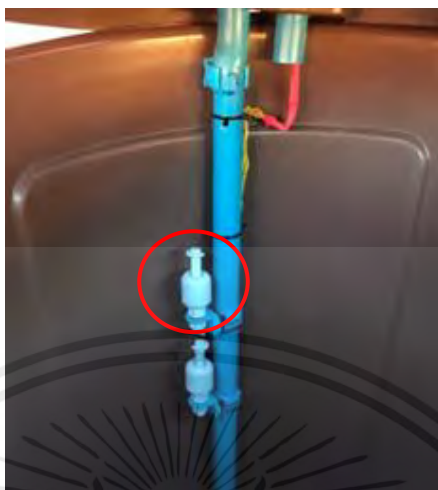
- 1) เปิดระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โพนิกส์
- 2) ทำการทดลองให้ระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร ต่ำกว่าระดับ 30 ลิตร ที่ระดับของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระดับของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 1

3) ทดลองว่าหลังจากน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร ต่ำกว่าระดับ 30 ลิตร ที่ระดับของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 1 ปัมจากถังน้ำสำรองทำการเติมน้ำมายังถังสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในระดับที่ 40 ลิตร ที่ระดับของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.2 ทั้งหมด 8 ครั้ง



รูปที่ 4.2 ระดับของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 2

4) ทำการบันทึกผลการทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ ลงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ

ทดสอบ (ครั้งที่)	ระดับน้ำที่ 30 ลิตร	ระดับน้ำที่ 40 ลิตร
1	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน
2	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน
3	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน
4	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน
5	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน
6	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน
7	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน
8	ปั้มทำงาน	ปั้มหยุดทำงาน

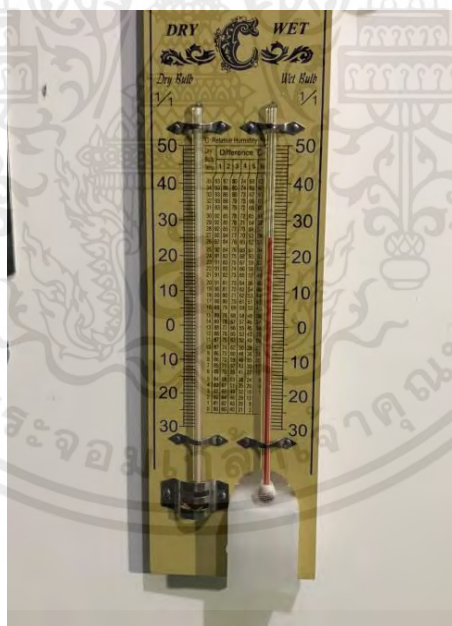
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ ทั้งหมด 8 ครั้ง ผลปรากฏว่าเมื่อระดับน้ำลดลงถึงระดับน้ำที่น้อยกว่า 30 ลิตร ในตำแหน่งของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 1 ป้อนน้ำในถังน้ำสำรอง จะทำงานเพื่อเติมน้ำไปยังถังสารละลายธาตุอาหารทันที โดยจะเติมน้ำให้ถึงระดับน้ำที่ 40 ลิตร ในตำแหน่งของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 2 ป้อนน้ำในถังน้ำสำรองก็จะหยุดทำงาน ในการทดลองทั้ง 8 ครั้ง ระบบสามารถเติมน้ำอัตโนมัติได้อย่างไม่ผิดพลาด

4.2 การทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองวัดค่าความชื้นด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นเอสเอชที 20 ภายในพีระมิด 6 ตำแหน่ง เพื่อสังเกตความแตกต่างของความชื้นในแต่ละตำแหน่งภายในพีระมิด และควบคุมความชื้นไม่ให้ต่ำกว่า 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช ให้แน่ใจว่าผักจะได้รับความชื้นที่เท่ากันทุกต้นในทุกตำแหน่งของการปลูก ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิดดังต่อไปนี้

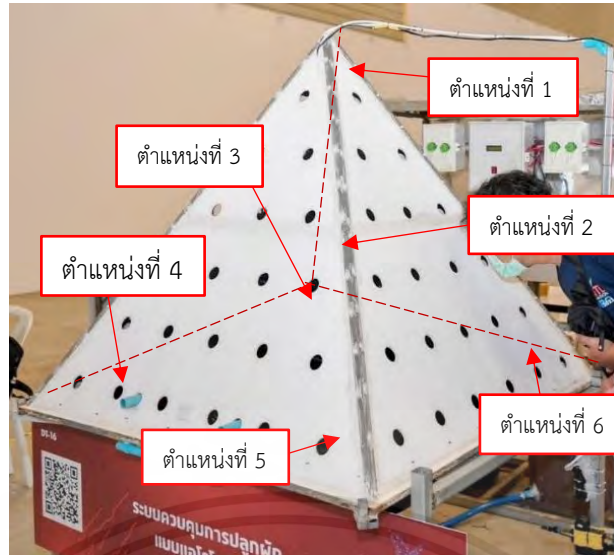
1) ทดลองวัดค่าความชื้นกับเซ็นเซอร์ดีเอสซีที่ 20 เทียบกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้งมีลักษณะดังรูปที่ 4.3 จะทดลองเพื่อดูค่าความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์หลักที่ใช้งานในระบบ



รูปที่ 4.3 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง

- 2) บันทึกผลการทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิดลงในตารางที่ 4.2
- 3) ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นดีเอสซีที่ 20 ภายในพีระมิด แสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ความชื้น

- 4) วัดค่าความชื้นด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดีไฮชที่ 20 6 ตำแหน่งในพีระมิด
 5) บันทึกผลการทดลองการวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด โดยฉีดน้ำ 1 นาที หยุดฉีดน้ำ 2 นาทีลงในตารางที่ 4.3

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในตารางที่ 4.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_t} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

โดย X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

X_t คือ ค่าจริง (True value)

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ 4.1

การคำนวณค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.3

$$\text{ค่าเฉลี่ยรวม} = \frac{\text{ผลรวมค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง}}{\text{จำนวนของตำแหน่งที่วัดค่า}} \quad (4.2)$$

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าค่าเฉลี่ยจากสมการที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การทดลองวัดค่าจากเซ็นเซอร์ดีเฮชที่ 20 เทียบกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก กระเปาะแห้งภายในพีระมิด

ตำแหน่ง	เซ็นเซอร์ดีเฮชที่ 20 (เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)	เทอร์โมมิเตอร์ ตุ้มเปียกตุ้มแห้ง (เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)	ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
1	99	96	3.03
2	98	96	2.04
3	99	96	3.03
4	99	96	3.03
5	99	96	3.03
ค่าเฉลี่ย	98.8	96	2.83

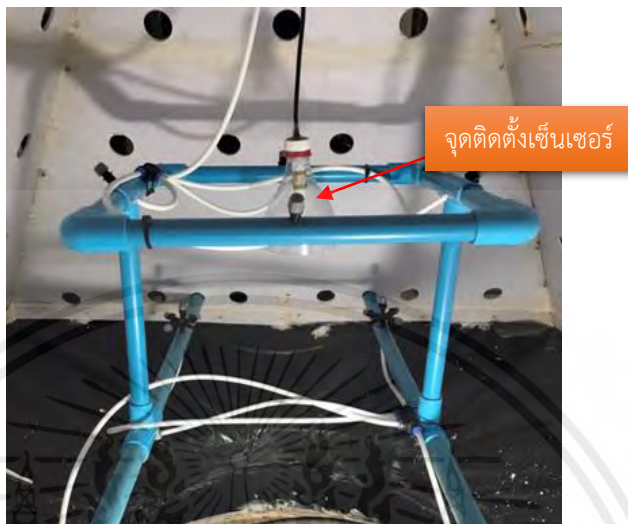
จากตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่าจากเซ็นเซอร์ดีเฮชที่ 20 เทียบกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้งภายในพีระมิด เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้งอ่านค่าได้สูงสุดที่ 96 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช ผลปรากฏว่า เซ็นเซอร์ดีเฮชที่ 20 มีค่าเฉลี่ยความชื้นที่ 98.8 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 2.04 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 3.03 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.83 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 การทดลองการวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด โดยฉีดน้ำ 1 นาที หยุดฉีดน้ำ 2 นาที

ตำแหน่งที่	จำนวนครั้งที่ทดลอง (เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)						ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ อาร์เอช)
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		
	ฉีด	หยุดฉีด	ฉีด	หยุดฉีด	ฉีด	หยุดฉีด	
1	97	94	98	94	99	96	96
2	97	94	97	94	98	95	96
3	98	94	100	95	100	99	98
4	100	99	101	98	101	99	100
5	101	100	101	99	101	100	100
6	100	100	101	100	100	100	100

จากตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด เซ็นเซอร์ทำการวัดค่าความชื้นทั้ง 6 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้ง ผลที่ได้คือค่าเฉลี่ยรวมของความชื้นทั้งหมดคือ 98

เปอร์เซ็นต์อาร์เอช จึงทราบได้ว่าความชื้นในโครงสร้างปลุกพีระมิดจะมีค่าความชื้นไม่ต่ำกว่า (70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช) แน่นอน จึงติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในพีระมิดไว้ตำแหน่งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.5 ในการทดลองข้างต้นซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางของโครงสร้างพอดี



รูปที่ 4.5 จุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในพีระมิด

4.3 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอช

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองวัดค่าและควบคุมค่าพีเอช ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช เมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 6 และ เมื่อค่าพีเอชสูงกว่า 7 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ปั๊มเติมสารละลายกรดกับเบส ทำงาน และมอเตอร์กววนปุ๋ยก็จะทำงานหลังจากปั๊มปล่อยสารเสร็จ และเมื่อเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช ได้ระหว่าง 6 ถึง 7 ปั๊มเติมสารละลายกรดกับเบส และมอเตอร์กววนปุ๋ยจะหยุดทำงาน ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชดังต่อไปนี้

- 1) ทดลองปล่อยสารละลายจากปั๊มปล่อยสาร เพื่อจะทราบอัตราการปล่อยสารของปั๊มปล่อยสาร คือปริมาณสารที่ได้เวลาในการปล่อยโดยวัดจากขีดบอกริมาตรของบีกเกอร์ (Beaker) และเวลาในการปล่อยสาร
- 2) บันทึกผลการทดลองปั๊มปล่อยสารละลายกรดกับเบสลงในตารางที่ 4.4
- 3) ทดลองวัดค่าพีเอชกับพีเอชเซ็นเซอร์ เทียบกับพีเอชมิเตอร์ (pH Meter) แสดงดังรูปที่ 4.6 เพื่อดูผลความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์



รูปที่ 4.6 วัดเทียบกับเครื่องวัดพีเอชมิเตอร์

- 4) บันทึกผลการทดลองวัดค่าพีเอชเซ็นเซอร์เทียบกับพีเอชมิเตอร์ลงในตารางที่ 4.5
- 5) เมื่อวัดเทียบค่าเสร็จแล้วนำสารที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 6 มาทดลองให้พีเอชเซ็นเซอร์ที่ใช้ในระบบวัดค่า หลังจากนั้นปั๊มเติมสารละลายเบสก็จะเติมสารละลายจนกว่าค่าพีเอชจะกลับมาอยู่ในช่วง 6 ถึง 7 อีกครั้ง และหลังจากปล่อยสารทุกครั้งมอเตอร์กวนปยุจะกวนให้สารละลายผสมเข้ากับ
- 6) บันทึกผลการทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าต่ำกว่า 6 ลงในตารางที่ 4.6
- 7) จากนั้นนำสารที่ค่าพีเอชสูงกว่า 7 มาทดลองให้พีเอชเซ็นเซอร์ที่ใช้ในระบบวัดค่าหลังจากนั้นปั๊มเติมสารละลายกรดก็จะเติมสารละลายจนกว่าค่าพีเอชจะกลับมาอยู่ในช่วง 6 ถึง 7 อีกครั้งเช่นกัน และหลังจากปล่อยสารทุกครั้งมอเตอร์กวนปยุจะกวนให้สารละลายผสมเข้ากัน
- 8) บันทึกผลการทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าสูงกว่า 7 ลงในตารางที่ 4.7
การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในตารางที่ 4.5

$$\text{เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_t} \right| \times 100 \quad (4.3)$$





โดย X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

X_t คือ ค่าจริง (True value)

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การทดลองปั๊มปล่อยสารละลายกรดกับเบส

ครั้งที่	ปริมาณสารละลายที่ได้	เวลาที่ปล่อยสารละลาย (วินาที)	ภาพการทดลอง
1	10 มิลลิลิตร	4	
2	20 มิลลิลิตร	8	
3	30 มิลลิลิตร	12	
4	40 มิลลิลิตร	16	

จากตารางที่ 4.4 การทดลองปั๊มปล่อยสารละลายโดยวัดปริมาณสารจากบีกเกอร์ ผลปรากฏว่าเมื่อปริมาณสารได้ 10 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 4 วินาที เมื่อปริมาณสารได้ 20 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 8 วินาที เมื่อปริมาณสารได้ 30 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 12 วินาที เมื่อปริมาณสารได้ 40 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 16 วินาที สรุปได้ว่าทุก ๆ 4 วินาที จะได้ปริมาณสารเพิ่มขึ้น 10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การทดลองวัดค่าพีเอชเซ็นเซอร์เทียบกับพีเอชมิเตอร์

การทดลองที่	ค่าที่วัดได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	พีเอชเซ็นเซอร์	พีเอชมิเตอร์	
1	1	1	0
2	2	2	0
3	3	3	0
4	4	4	0
5	5	5	0
6	6	6	0
7	7	7	0
8	8	8	0
9	9	9	0
10	10	10	0

จากตารางที่ 4.5 การทดลองวัดค่าพีเอชเซ็นเซอร์เทียบกับพีเอชมิเตอร์ ในการทดลอง 10 ครั้ง ผลปรากฏว่า เซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวสามารถวัดค่าพีเอชได้ตรงกัน ค่าความคลาดเคลื่อนคือ 0 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้การวัดและควบคุมค่าพีเอชกับพีเอชเซ็นเซอร์มีประสิทธิภาพในการใช้งานเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 4.6 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าต่ำกว่า 6

ครั้งที่	ค่าที่เซ็นเซอร์ พีเอชวัดได้	ป้อนเติม สารละลายเบส	มอเตอร์กวนปุย	ค่าที่ได้หลังจาก ผสมเสร็จ
1	4	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
2	4	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
3	4	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
4	4	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
5	5	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7
6	5	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7
7	5	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7
8	5	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7

จากตารางที่ 4.6 การทดลองการวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าต่ำกว่า 6 โดยการนำสารละลายกรดที่ค่า 4 กับ 5 มาทดลอง เมื่อเซ็นเซอร์พีเอชวัดค่าได้ 4 ระบบจะปล่อยสารละลายเบสมาผสม ค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ออกมาจะเท่ากับ 6 เมื่อเซ็นเซอร์พีเอชวัดค่าได้ 5 ระบบจะปล่อยสารละลายเบสมาผสม ค่าที่ได้ ออกมาจะเท่ากับ 7 สรุปได้ว่าระบบจะผสมสารละลายเบสได้ค่ามากกว่าค่าที่นำมาทดลองอยู่ 2 ค่า

ตารางที่ 4.7 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าสูงกว่า 7

ครั้งที่	ค่าที่เซ็นเซอร์พีเอชวัดได้	ป้อนเติมสารละลายกรด	มอเตอร์กวนปุ๋ย	ค่าที่ได้หลังจากผสมเสร็จ
1	8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
2	8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
3	8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
4	8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	6
5	9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7
6	9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7
7	9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7
8	9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	7

จากตารางที่ 4.7 การทดลองการวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าสูงกว่า 7 โดยการนำสารละลายเบสที่ค่า 8 กับ 9 มาทดลอง เมื่อเซ็นเซอร์พีเอชวัดค่าได้ 8 ระบบจะปล่อยสารละลายเบสมาผสม ค่าที่ได้ ออกมาจะเท่ากับ 6 เมื่อเซ็นเซอร์พีเอชวัดค่าได้ 9 ระบบจะปล่อยสารละลายเบสมาผสม ค่าที่ได้ ออกมาจะเท่ากับ 7 สรุปได้ว่าระบบจะผสมสารละลายเบสได้ค่าน้อยกว่าค่าที่นำมาทดลองอยู่ 2 ค่า

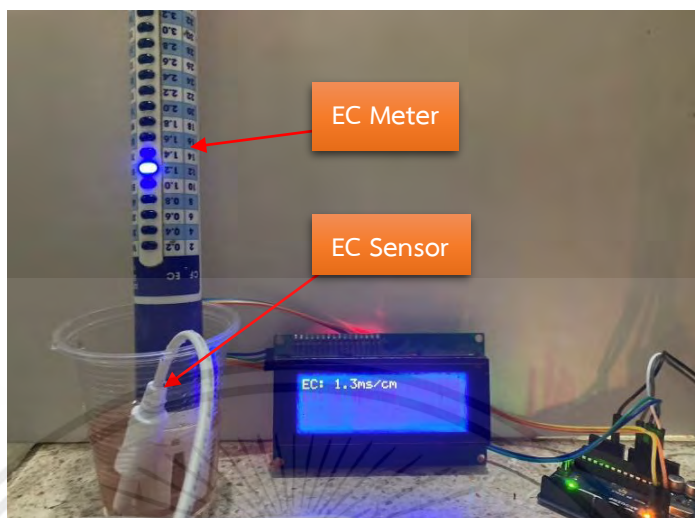
4.4 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอช

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอช ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช เมื่อค่าพีเอชต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และสูงกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ปั๊มเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบีปล่อยสารพร้อมกัน และมอเตอร์กวนปุ๋ยก็จะทำงานหลังจากปั๊มเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบีปล่อยสารเสร็จ และเมื่อเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอชได้ระหว่าง 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ปั๊มเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบีและมอเตอร์กวนผสมปุ๋ยก็จะหยุดทำงาน ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอชดังต่อไปนี้

1) ทดลองปล่อยสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบีจากปั๊มปล่อยสาร เพื่อจะทราบอัตราการปล่อยสารของปั๊มปล่อยสาร คือปริมาณสารที่ได้เวลาในการปล่อยโดยวัดจากขีดบอกปริมาตรของบีกเกอร์ และเวลาในการปล่อยสาร บันทึกผลการทดลองปั๊มปล่อยสารละลายธาตุอาหารเอบีลงในตารางที่ 4.8

2) ทดลองวัดค่าพีเอชกับพีเอชเซ็นเซอร์เทียบกับพีเอชมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.7 เพื่อดูผลความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์หลักที่ใช้งานในระบบ บันทึกผลการทดลองวัดค่าพีเอชเทียบกับอุปกรณ์พีเอช

มิเตอร์ลงในตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.7 วัดเทียบค่ากับอีซีมิเตอร์

3) นำสารที่ค่าอีซีต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร มาทดลองให้เซ็นเซอร์อีซีที่ใช้ในระบบวัดจากนั้นปั๊มเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอปี้ก็จะเติมสารในอัตราส่วนที่เท่ากันจนกว่าค่าอีซีจะกลับมาอยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และมอเตอร์กวนปุ๋ยจะกวนให้สารผสมเข้ากันหลังจากปล่อยสารทุกครั้ง บันทึกผลลงในตารางที่ 4.10

4) จากนั้นนำสารที่ค่าอีซีสูงกว่า 7 มาทดลองให้เซ็นเซอร์อีซีที่ใช้ในระบบวัดจากนั้นปั๊มเติมสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอปี้ก็จะเติมสารในอัตราส่วนที่เท่ากันจนกว่าค่าอีซีจะกลับมาอยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และมอเตอร์กวนปุ๋ยจะกวนให้สารผสมเข้ากันหลังจากปล่อยสารทุกครั้ง บันทึกผลลงในตารางที่ 4.11

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในตารางที่ 4.9




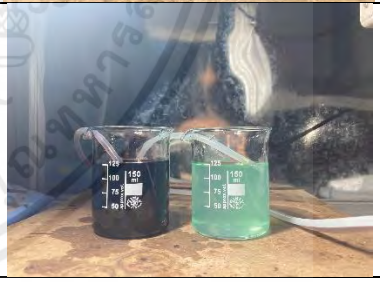
$$\text{เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_t} \right| \times 100 \quad (4.4)$$

โดย X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

X_t คือ ค่าจริง (True value)

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ 4.4

ตารางที่ 4.8 การทดลองปั๊มปล่อยสารละลายธาตุอาหารเอบี

ครั้งที่	ปริมาณสารละลายธาตุอาหาร		เวลาที่ปล่อยสารละลาย (วินาที)	ภาพการทดลอง
	สารละลายเอ	สารละลายบี		
1	50 มิลลิลิตร	50 มิลลิลิตร	25	
2	75 มิลลิลิตร	75 มิลลิลิตร	39	
3	100 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร	53	
4	125 มิลลิลิตร	125 มิลลิลิตร	67	

จากตารางที่ 4.8 การทดลองปั๊มปล่อยสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี โดยวัดปริมาณสารจากบีกเกอร์ ผลปรากฏว่าเมื่อปริมาณสารได้ 50 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 25 วินาที เมื่อปริมาณสารได้ 75 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 39 วินาที เมื่อปริมาณสารได้ 100 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 53 วินาที เมื่อปริมาณสารได้ 125 มิลลิลิตร เวลาที่ปล่อยสารคือ 67 วินาที สรุปได้ว่าเมื่อถึงปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่เวลา 25 วินาที ทุก ๆ 14 วินาที จะได้ปริมาณสารเพิ่มขึ้น 25 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การทดลองวัดค่าไอซีเทียบกับอุปกรณ์ไอซีมิเตอร์

การทดลองที่	ค่าที่วัดได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	ไอซีเซ็นเซอร์ (มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)	ไอซีมิเตอร์ (มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)	
1	1.7	1.7	0
2	1.6	1.5	6.25
3	1.5	1.5	0
4	1.4	1.3	7.14
5	1.3	1.2	7.69
6	1.2	1.1	8.33

จากตารางที่ 4.9 การทดลองวัดค่าไอซีเทียบกับอุปกรณ์ไอซีมิเตอร์ ผลปรากฏว่าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 0 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การวัดและควบคุมค่าไอซีอยู่ที่ค่า 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณออกมามีเปอร์เซ็นต์ที่มาก แต่ประสิทธิภาพการวัดของอุปกรณ์ทั้ง 2 อุปกรณ์ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 4.10 การทดลองวัดและควบคุมค่าไอซีที่ค่าต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร

ครั้งที่	ค่าที่เซ็นเซอร์ไอซีวัดได้ (มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)	ปั๊มเติมน้ำเปล่า	มอเตอร์กวนปุ๋ย	ค่าที่วัดได้หลังจากผสมเสร็จ (มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)
1	0.8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.4
2	0.8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.4
3	0.8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.4
4	0.8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
5	0.9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.4
6	0.9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
7	1.0	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
8	1.0	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5

จากตารางที่ 4.10 การทดลองวัดและควบคุมค่าไอซี ค่าไอซีต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ผลปรากฏว่าเมื่อค่าไอซีต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ปั๊มเติมน้ำปุ๋ยสารละลายธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารเอปี้จะทำการเติมปุ๋ย และมอเตอร์กววนปุ๋ยก็จะทำงานอัตโนมัติ หากบีมเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอปี้เติมไปจนเซ็นเซอร์อีซีวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำได้ระหว่าง 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บีมเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอปี้ และมอเตอร์กววนปุ๋ยจะหยุดทำงาน

ตารางที่ 4.11 การทดลองวัดและควบคุมค่าอีซีที่ค่าสูงกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร

ครั้งที่	ค่าที่เซ็นเซอร์อีซีวัดได้ (มิลลิซีเมนส์ต่อ เซนติเมตร)	บีมเติม น้ำเปล่า	มอเตอร์ กววนปุ๋ย	ค่าที่วัดได้หลังจากผสมเสร็จ (มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)
1	1.8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
2	1.8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
3	1.8	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
4	1.9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.6
5	1.9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
6	1.9	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.5
7	2.0	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.6
8	2.0	ทำงานปกติ	ทำงานปกติ	1.6

จากตารางที่ 4.11 การทดลองวัดและควบคุมค่าอีซี ค่าอีซีสูงกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ผลปรากฏว่าเมื่อค่าอีซีสูงกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บีมเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอปี้ จะทำการเติมปุ๋ย และมอเตอร์กววนปุ๋ยก็จะทำงานอัตโนมัติ เมื่อบีมเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอปี้เติมไปจนเซ็นเซอร์อีซีวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำได้ระหว่าง 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บีมเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอปี้ และมอเตอร์กววนปุ๋ยก็จะหยุดทำงาน

4.5 การทดลองแสดงผลค่า 4 ผล บนจอแอลซีดี

การทดลองนี้คือการแสดงผลค่าของเซ็นเซอร์ลูกลอยที่ใช้ในการวัดระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร ที่ระดับน้ำ 30 ลิตร และ 40 ลิตร ค่าความชื้น (70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช) ค่าพีเอช (4 ถึง 9) และค่าอีซี (1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร) บนจอแอลซีดี ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองแสดงผลค่า 4 ผล บนจอแอลซีดีดังต่อไปนี้

- 1) ทดลองแสดงผลของระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารบนจอแอลซีดี
- 2) ทดลองแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี
- 3) บันทึกการแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี ลงในตารางที่ 4.12
- 4) ทดลองแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) บันทึกการแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี ลงในตารางที่ 4.13

6) ทดลองแสดงผลค่าอีซีบนจอแอลซีดี

7) บันทึกการแสดงผลค่าอีซีบนจอแอลซีดี ลงในตารางที่ 4.14

การแสดงผลของระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารบนจอแอลซีดี

1) รูปการแสดงผลระดับน้ำที่ต่ำกว่า 30 ลิตร แสดงดังรูปที่ 4.8 บนจอแอลซีดีของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์



รูปที่ 4.8 แสดงผลระดับน้ำที่ต่ำกว่า 30 ลิตร บนจอแอลซีดี

2) รูปการแสดงผลระดับน้ำที่ 40 ลิตร แสดงดังรูปที่ 4.9 บนจอแอลซีดีของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์



รูปที่ 4.9 แสดงผลระดับน้ำที่ 40 ลิตร บนจอแอลซีดี

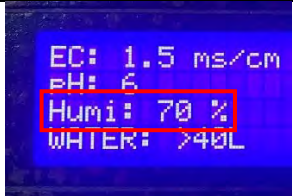
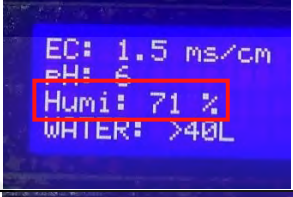
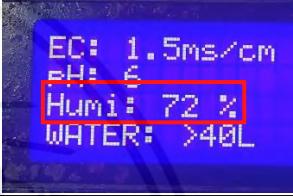
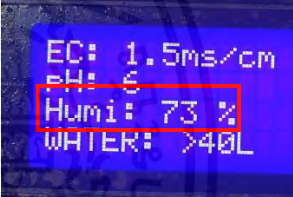
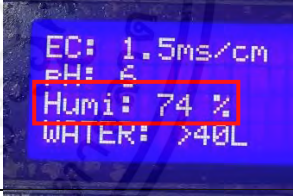
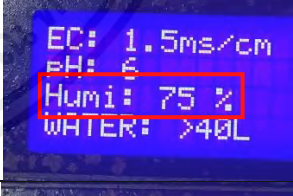
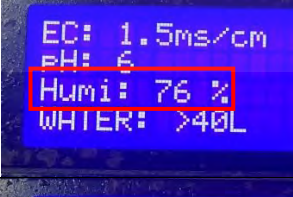
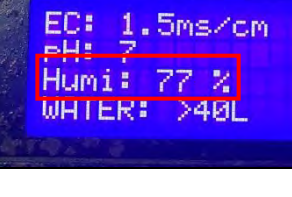
การทดลองแสดงผลค่าของระดับน้ำบนจอแอลซีดีที่ระดับน้ำ 30 ลิตร บนหน้าจอแอลซีดีแสดงออกมาเป็น WATER: <30L และที่ระดับน้ำ 40 ลิตร บนหน้าจอแอลซีดีแสดงออกมาเป็น WATER: >30L

การแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองวัดค่าความชื้นที่ (70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช) แสดงผลบนจอแอลซีดี เพื่อให้เห็นการแสดงผลของค่าพีเอช ที่ความละเอียดเพิ่มขึ้นหรือลดลงครั้งละ 1 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช

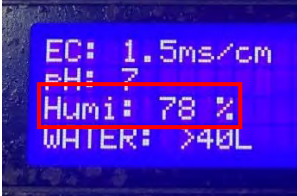
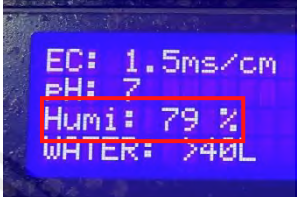
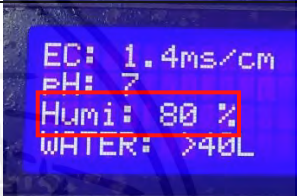
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การทดลองแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี

การทดลอง	ค่าที่วัด (เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)	ภาพผลบนจอแอลซีดี
1	70	
2	71	
3	72	
4	73	
5	74	
6	75	
7	76	
8	77	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การทดลองแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี (ต่อ)

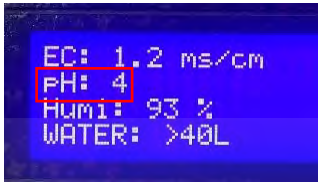
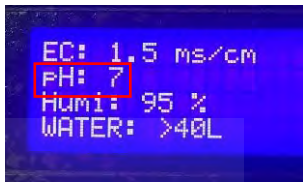
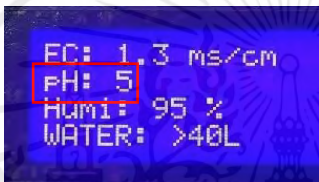
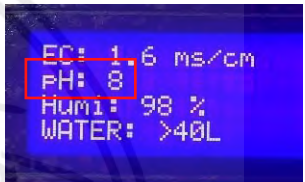
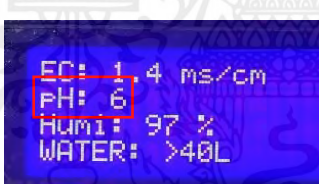
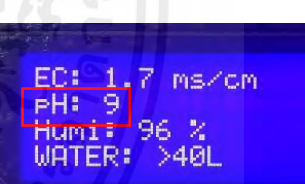
การทดลอง	ค่าที่วัด (เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)	ภาพผลบนจอแอลซีดี
9	78	
10	79	
11	80	

จากตารางที่ 4.12 การทดลองแสดงผลค่าความชื้นบนหน้าจอลแอลซีดี ทั้งหมด 11 ครั้ง ผลปรากฏว่าค่าความชื้นที่วัดได้คือ 70 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 71 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 72 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 73 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 74 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 75 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 76 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 77 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 78 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช 79 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช และ 80 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช ค่าความชื้นที่วัดได้ข้างต้นแสดงบนหน้าจอลแอลซีดีออกมาเป็น Humi: 70 %, Humi: 71 %, Humi: 72 %, Humi: 73 %, Humi: 74 %, Humi: 75 %, Humi: 76 %, Humi: 77 %, Humi: 78 %, Humi: 79 %, และ Humi: 80 % ตามลำดับ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าจากการวัดของเซ็นเซอร์ได้ความละเอียดครั้งละ 1 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช

การแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองวัดค่าพีเอชที่ (4 ถึง 9) แสดงผลบนจอแอลซีดี เพื่อให้เห็นการแสดงผลของค่าพีเอชที่ความละเอียดเพิ่มขึ้นหรือลดลงครั้งละ 1 พีเอช

ตารางที่ 4.13 การทดลองแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี

การทดลองที่	ค่าที่วัดได้	ภาพผลบนจอแอลซีดี	การทดลองที่	ค่าที่วัดได้	ภาพผลบนจอแอลซีดี
1	4		4	7	
2	5		5	8	
3	6		6	9	

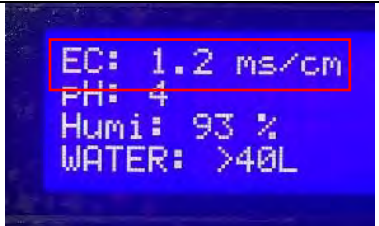
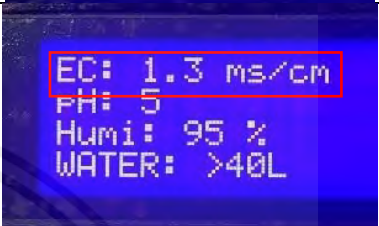
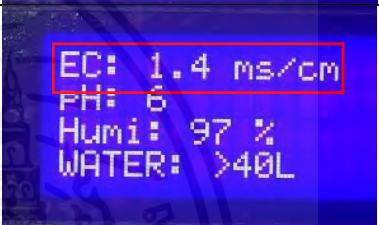
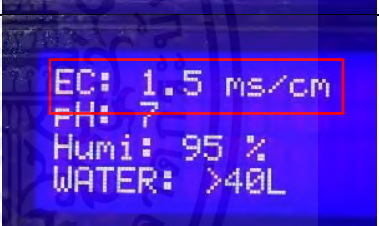
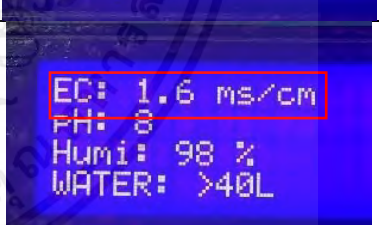
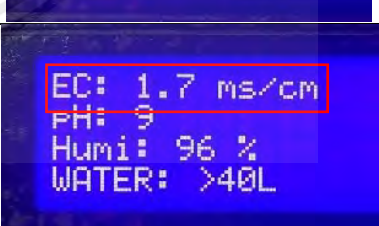
จากตารางที่ 4.13 การทดลองแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี ทั้งหมด 6 ครั้ง ผลปรากฏว่าค่าที่วัดได้คือค่า 4, 5, 6, 7, 8, และ 9 ค่าพีเอชที่วัดได้ข้างต้นแสดงบนหน้าจอแอลซีดีออกมาเป็น pH: 4, pH: 5, pH: 6, pH: 7, pH: 8, และ pH: 9 ตามลำดับ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าจากการวัดของเซ็นเซอร์ได้ความละเอียดครั้งละ 1 พีเอช

การแสดงผลค่าไอซีบนจอแอลซีดี

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองวัดค่าไอซีที่ (1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร) แสดงผลบนจอแอลซีดี เพื่อให้เห็นการแสดงผลของค่าไอซีที่ความละเอียดเพิ่มขึ้นหรือลดลงครั้งละ 0.1 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 การทดลองแสดงผลค่าไอซีบนจอแอลซีดี

การทดลองที่	ค่าที่วัดได้ (มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร)	ภาพผลบนจอแอลซีดี
1	1.2	
2	1.3	
3	1.4	
4	1.5	
5	1.6	
6	1.7	

จากตารางที่ 4.14 การทดลองแสดงผลค่าไอซีบนจอแอลซีดี ทั้งหมด 6 ครั้ง ค่าที่ทดลองวัดคือ ค่า 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, และ 1.7 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร ผลปรากฏว่าเมื่อใช้เซ็นเซอร์พีเอชวัด ค่าที่กำหนดมาข้างต้นแสดงบนหน้าจอแอลซีดีออกมาเป็น EC : 1.2 ms/cm, EC : 1.3 ms/cm, EC : 1.4 ms/cm, EC : 1.5ms/cm, EC : 1.6 ms/cm, และ EC : 1.7 ms/cm ตามลำดับ สามารถแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดเพิ่มขึ้นหรือลดลงครั้งละ 0.1 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร

4.6 การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก ว่าช่วงเวลาในการพ่นหมอกให้ปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารในพีระมิด ช่วงเวลาใดเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตแก่ผักมากที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอกดังต่อไปนี้

- 1) ทดลองฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารในแต่ละช่วงเวลา
 - 2) ฉีดพ่นตามเวลาที่กำหนด
 - 3) สังเกตการเจริญเติบโตของผัก
 - 4) บันทึกผลการทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอกลงในตารางที่ 4.15
 - 5) บันทึกภาพผลการทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอกลงในตารางที่ 4.16
- การคำนวณค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.15

$$\text{ค่าเฉลี่ยรวมของความชื้น} = \frac{\text{ผลรวมค่าความชื้นพีระมิด}}{\text{จำนวนของค่าความชื้น}} \quad (4.5)$$

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยจากสมการที่ 4.5









ตารางที่ 4.15 การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก

ช่วงเวลาที่	ระยะเวลาการทำงานของปั๊มพ่นหมอก (นาที)		ความชื้นในพีระมิด (เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)		ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์อาร์เอช)
	ฉีด	หยุดฉีด	ฉีด	หยุดฉีด	
1	0.5	3	90	75	82
2	0.5	2	90	85	87
3	1	3	100	85	92
4	1	2	100	98	99

จากตารางที่ 4.15 การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก ผลปรากฏว่าช่วงเวลาในการพ่นหมอก ช่วงเวลาที่ 1 เป็นการฉีด 30 วินาที หยุดฉีด 3 นาที มีค่าเฉลี่ย 82 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช ช่วงเวลาที่ 2 เป็นการฉีด 30 วินาที หยุดฉีด 2 นาที มีค่าเฉลี่ย 87 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช ช่วงเวลาที่ 3 เป็นการฉีด 1 นาที หยุดฉีด 3 นาที มีค่าเฉลี่ย 92 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช และช่วงเวลาที่ 4 มีเป็นการฉีด 1 นาที หยุดฉีด 2 นาที ค่าเฉลี่ย 99 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ภาพผลการทดลองช่วงเวลาในการทำงานของบีมพ่นหมอก

ช่วงเวลาที่	ภาพใบผัก	ภาพรากผัก
1		
2		
3		
4		

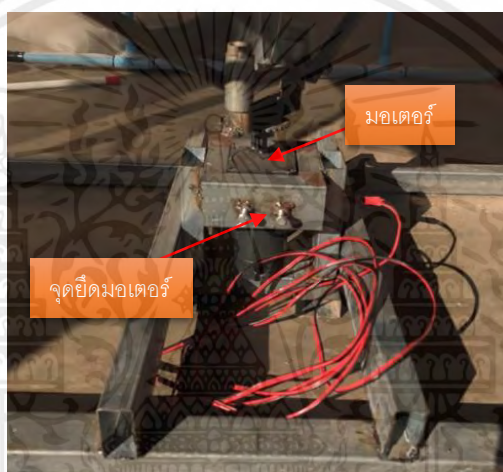
จากตารางที่ 4.16 ภาพผลการทดลองช่วงเวลาในการทำงานของบีมพ่นหมอก ผลปรากฏว่า ช่วงเวลาที่ 1 ผลที่ได้คือ ใบเน่า รากแห้ง ช่วงเวลาที่ 2 ผลที่ได้คือ ใบเน่า รากแห้ง ช่วงเวลาที่ 3 ผลที่ได้คือ ใบไม่เน่ามาก แต่รากก็ยังแห้งอยู่ และช่วงเวลาที่ 4 ผลที่ได้คือ ใบสมบูรณ์ มีการแตกราก แตกต่างจากช่วงเวลา 1 ถึง 3 อย่างเห็นได้ชัด จึงสรุปได้ว่า ช่วงเวลาที่ 4 เป็นช่วงเวลาที่ดีที่สุดของการเจริญเติบโตของผัก และการพ่นสารละลายธาตุอาหาร ในช่วงความชื้นที่ 99 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองระบบหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองระบบหมุนเพื่อรับแสงแดดของฝักที่ปลูกในพีระมิด จะทำการทดลองหมุนทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง จะเป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกาและหมุนทวนเข็มนาฬิกา รอบละ 180 องศา ควบคุมการทำงานด้วยไมโครเวลา ดีเอส 3231 ตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 17.30 นาฬิกา เพื่อให้ฝักได้รับการสังเคราะห์แสงได้ทั่วถึงเท่ากันทุกต้น ซึ่งจะตั้งเวลาหมุนแค่ช่วงเช้าถึงเย็น เพราะเป็นเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นและตก ส่วนในช่วงกลางคืนจะไม่ได้หมุนพีระมิดเพราะไม่ได้สังเคราะห์แสง ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองระบบหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิดดังต่อไปนี้

1) ทดลองให้มอเตอร์หมุนพีระมิดหมุนตามเข็มนาฬิกาและหมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยมอเตอร์จะติดตั้งไว้กับโครงสร้างของพีระมิด ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 มอเตอร์ที่ยึดโครงสร้างของพีระมิด

2) สังเกตการณ์ช่วงเวลาการหมุนของพีระมิด บันทึกผลการทดลองหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิดลงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การทดลองหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด

เวลา	การหมุน		เวลา	การหมุน	
	ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา		ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา
08.00	✓		08.30		✓
09.00	✓		09.30		✓
10.00	✓		10.30		✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 การทดลองหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด (ต่อ)

เวลา	การหมุน		เวลา	การหมุน	
	ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา		ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา
11.00	✓		11.30		✓
12.00	✓		12.30		✓
13.00	✓		13.30		✓
14.00	✓		14.30		✓
15.00	✓		15.30		✓
16.00	✓		16.30		✓
17.00	✓		17.30		✓

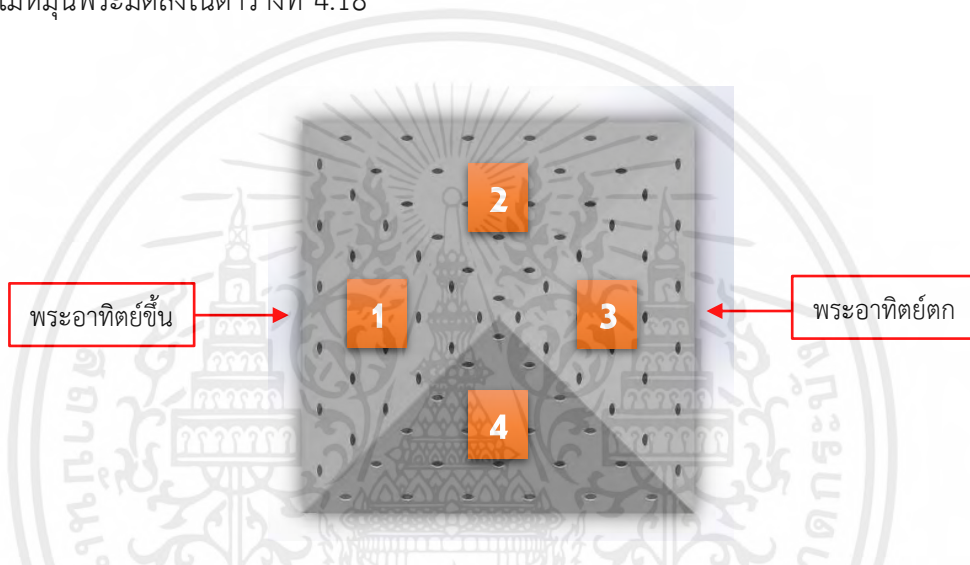
หมายเหตุ: ✓ หมายถึง ทำงานได้เป็นปกติ

จากตารางที่ 4.17 การทดลองหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด ผลปรากฏว่าเวลา 8.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 08.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 09.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 09.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 10.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 10.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 11.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 11.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 12.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 12.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 13.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 13.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 14.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 14.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 15.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 15.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 16.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เวลา 16.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เวลา 17.00 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา และเวลา 17.30 นาฬิกา พีระมิดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา พีระมิดสามารถหมุนตามเข็มนาฬิกาและหมุนทวนเข็มนาฬิกาทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 17.30 นาฬิกา

4.8 การทดลองปลูกผักแบบหมุนและไม่หมุนพีระมิด

ในการทดลองเทียบการปลูกแบบไม่หมุนพีระมิดและหมุนพีระมิดเพื่อดูความแตกต่างการเจริญเติบโตของผัก โดยจะใช้เวลาในการให้ปุ๋ยเท่ากัน คือช่วงเวลาที 4 ของตารางที่ 4.15 ที่เวลาฉีด 1 นาที หยุดฉีด 2 นาที เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดีที่สุดในการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารแก่ผัก ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองปลูกผักแบบหมุนและไม่หมุนพีระมิดดังต่อไปนี้

1) ตำแหน่งของแต่ละด้านในการปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด แสดงดังรูปที่ 4.11 ให้ด้านที่ 1 หันไปทางที่พระอาทิตย์ขึ้น และด้านที่ 3 หันไปทางที่พระอาทิตย์ตก แล้วสังเกตความเปลี่ยนแปลงของผักแต่ละด้านของพีระมิดทั้ง 4 ด้าน ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร บันทึกผลการทดลองปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิดลงในตารางที่ 4.18



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งของแต่ละด้านในการปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด

- 2) ปลูกผักแบบหมุนพีระมิด หมุนทุกๆครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่ 08.00 ถึง 17.30 นาฬิกา
- 3) บันทึกผลการทดลองปลูกผักแบบหมุนพีระมิดลงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 การทดลองปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด

พีระมิดด้านที่	การเจริญเติบโตของผัก
1	ลำต้นไม่ยืดยาว ใบของผักห่อ
2	ลำต้นมีการยืดหาแสง กางออกเยอะ
3	ลำต้นไม่ยืดยาว ใบของผักห่อ
4	ลำต้นมีการยืดหาแสง กางออกเยอะ

จากผลการทดลองปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด ผลปรากฏว่าผักด้านที่พระอาทิตย์ขึ้น และพระอาทิตย์ตก แสดงดังรูปที่ 4.12 ผักมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอีก 2 ด้าน เพราะอีก 2 ด้านผักมีการยืดเพื่อหาแสงอย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 4.13 และใบของผักไม่ตั้งมีอาการเฉาบางต้น ทำให้ทรงของต้นนำไปใช้สร้างรายได้ไม่ได้



รูปที่ 4.12 ผักด้านที่พระอาทิตย์ขึ้นและตก



รูปที่ 4.13 ผักยืดหาแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 การทดลองปลูกผักแบบหมุนพีระมิด

ด้านที่	การเจริญเติบโตของผัก
1	ลำต้นไม่ยืดยาว ใบของผักห่อ
2	ลำต้นไม่ยืดยาว ใบของผักห่อ
3	ลำต้นไม่ยืดยาว ใบของผักห่อ
4	ลำต้นไม่ยืดยาว ใบของผักห่อ

จากตารางที่ 4.19 การทดลองปลูกผักแบบหมุนพีระมิด ผลปรากฏว่าผักทั้ง 4 ด้าน มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ลำต้นของผักเตี้ยเป็นพุ่ม ไม่ยืดยาวเนื่องจากได้รับแสงเพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงทำให้ผักมีการเจริญเติบโตที่ดูอย่างเห็นได้ชัด แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผักที่ได้จากการปลูกผักแบบหมุนพีระมิด

4.9 การทดลองระยะเวลาที่สำรองไฟจากแบตเตอรี่

ในการทดลองระยะเวลาที่สำรองไฟจากแบตเตอรี่ ใช้เป็นแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 8 แอมป์ แบตเตอรี่สำรองจะสำรองไฟเมื่อเกิดเหตุไฟตกหรือไฟดับ ซึ่งหากเกิดเหตุไฟตกหรือไฟดับจะเปลี่ยนไปใช้ไฟสำรองจากแบตเตอรี่ทันที เพื่อให้การเจริญเติบโตของผักต่อเนื่อง หากผักไม่ได้รับสารละลายธาตุอาหารเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ผักได้ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองระยะเวลาที่สำรองไฟจากแบตเตอรี่ ดังต่อไปนี้

- 1) เปิดระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอร์โพนิกส์ แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 เปิดระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์

2) ทำการตัดไฟจากแหล่งจ่ายไฟหลัก แสดงดังรูปที่ 4.18 จากนั้นระบบจะตัดไปใช้ไฟสำรองจากแบตเตอรี่ จากนั้นบันทึกผลการทดลองระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 8 แอมป์ลงในตารางที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ตัดไฟจากแหล่งจ่ายหลัก

การคำนวณหาระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ ดังสมการ 4.6

$$\text{ระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่} = \frac{\text{ความจุแบตเตอรี่ (Ah)}}{\text{กระแสไฟฟ้าที่ใช้}} \quad (4.6)$$

แบตเตอรี่ที่ใช้งานคือ แบตเตอรี่แห่ง 12 โวลต์ 8 แอมป์อัวร์ เมื่อคำนวณระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ จะคำนวณได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาในการทำงานแบตเตอรี่} &= \frac{8 (Ah)}{8} \\ &= 1 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

จากการคำนวณถ้าใช้งานจ่ายไฟให้กับปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาจะได้เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งในการใช้งานของระบบจะจ่ายไฟให้ปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหาร แค่ 24 นาที ต่อ 1 ชั่วโมง ก็จะได้เวลาในการจ่ายไฟคือ 2.5 ชั่วโมง

การคำนวณหาค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.19

$$\text{ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ไฟสำรอง} = \frac{\text{ผลรวมของเวลาในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนครั้งที่ทดลอง}} \quad (4.7)$$

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยจากสมการที่ 4.7

ตารางที่ 4.20 การทดลองระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 8 แอมป์

ทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ไฟสำรอง (ชั่วโมง)
1	2.30
2	2.35
3	2.33
ค่าเฉลี่ย (ชั่วโมง)	2.32

จากตารางที่ 4.20 การทดลองระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่ 3 ครั้ง ผลปรากฏว่า เวลาที่สำรองไฟได้น้อยที่สุดคือ 2.30 ชั่วโมง และเวลาที่สำรองได้มากที่สุดคือ 2.35 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยของเวลาที่สำรองไฟคือ 2.32 ชั่วโมง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึง บทสรุปในการทดลองจากบทที่ 4 ในการทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ การทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอช การทดลองวัดและควบคุมค่าอีซี การทดลองแสดงผลค่า 4 ผล บนจอแอลซีดี การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊ม ฟันหมอก การทดลองระบบหมุนเพื่อรับแสงของพีระมิด ทดลองการปลูกผักแบบหมุนและไม่หมุน พีระมิด และทดลองระยะเวลาที่สำรองไฟจากแบตเตอรี่ ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะต่าง ๆ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ

จากการทดลองวัดและควบคุมระดับน้ำ ทั้งหมด 8 ครั้ง ผลปรากฏว่าเมื่อระดับน้ำ ลดลงถึงระดับน้ำที่น้อยกว่า 30 ลิตร ในตำแหน่งของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 1 ปั๊มน้ำในถังน้ำสำรองจะ ทำงานเพื่อเติมน้ำไปยังถังสารละลายธาตุอาหารทันที โดยจะเติมน้ำให้ถึงระดับน้ำที่ 40 ลิตร ใน ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ลูกลอยตัวที่ 2 ปั๊มน้ำในถังน้ำสำรองก็จะหยุดทำงาน ในการทดลองทั้ง 8 ครั้ง ระบบสามารถเติมน้ำอัตโนมัติได้อย่างไม่ผิดพลาด

5.1.2 การทดลองวัดค่าความชื้นภายในพีระมิด

จากการทดลองวัดค่าจากเซ็นเซอร์เอสเอชที่ 20 เทียบกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะ เปียกกระเปาะแห้งภายในพีระมิด ผลปรากฏว่า เซ็นเซอร์เอสเอชที่ 20 มีค่าเฉลี่ยความชื้นที่ 98.8 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 2.04 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 3.03 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.83 เปอร์เซ็นต์ และการวัดค่าความชื้นภายใน พีระมิด เซ็นเซอร์ทำการวัดค่าความชื้นทั้ง 6 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้ง ผลที่ได้คือค่าเฉลี่ยรวมของ ความชื้นทั้งหมดคือ 98 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช

5.1.3 การทดลองวัดและควบคุมค่าพีเอช

จากการทดลองปั๊มปล่อยสารละลายโดยวัดปริมาณสารจากบีกเกอร์ สรุปได้ว่าทุก ๆ 4 วินาที จะได้ปริมาณสารเพิ่มขึ้น 10 มิลลิลิตร การทดลองค่าพีเอชเซ็นเซอร์เทียบกับพีเอชมิเตอร์ ใน การทดลอง 10 ครั้ง ผลปรากฏว่า เซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวสามารถวัดค่าพีเอชได้ตรงกัน ค่าความคลาด เคลื่อนคือ 0 เปอร์เซ็นต์ การทดลองการวัดและควบคุมค่าพีเอชที่ค่าต่ำกว่า 6 และค่าสูงกว่า 7 สรุปได้ ว่า ถ้าค่าต่ำกว่า 6 ระบบจะผสมสารละลายเบส ได้ค่ามากกว่าค่าที่นำมาทดลองอยู่ 2 ค่า ถ้าค่าสูงกว่า 7 ระบบจะผสมสารละลายเบส ได้ค่าน้อยกว่าค่าที่นำมาทดลองอยู่ 2 ค่า

5.1.4 การทดลองวัดและควบคุมค่าไอซี

จากการทดลองปั๊มปล่อยสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอบี โดยวัดปริมาณสารจาก ปีกเกอร์ สรุปได้ว่าเมื่อถึงปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่เวลา 25 วินาที ทุก ๆ 14 วินาทีจะได้ปริมาณสารเพิ่มขึ้น 25 มิลลิลิตร การทดลองวัดค่าไอซีเทียบกับอุปกรณ์ไอซีมิเตอร์ ผลปรากฏว่าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 0 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 8.33 เปอร์เซ็นต์ การทดลองการวัดและควบคุมค่าไอซี ที่ค่าไอซีต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และเมื่อค่าไอซีสูงกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ผลปรากฏว่าเมื่อเซ็นเซอร์วัดค่าไอซีได้ต่ำกว่า 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และค่าไอซีสูงกว่า 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ปั๊มเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอบี จะทำการเติมปุ๋ย และมอเตอร์กวนปุ๋ยก็จะทำงานอัตโนมัติ จนเซ็นเซอร์ไอซีวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำได้ระหว่าง 1.2 ถึง 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ปั๊มเติมปุ๋ยสารละลายธาตุอาหารเอบี และมอเตอร์กวนปุ๋ยก็จะหยุดทำงาน

5.1.5 การทดลองแสดงผลค่า 4 ผลบนจอแอลซีดี

1) การแสดงผลของระดับน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารบนจอแอลซีดี

จากการทดลองแสดงผลค่าของระดับน้ำบนจอแอลซีดีที่ระดับน้ำ 30 ลิตร บนหน้าจอแอลซีดีแสดงออกมาเป็น WATER : <30L และที่ระดับน้ำ 40 ลิตร บนหน้าจอแอลซีดีแสดงออกมาเป็น WATER : >30L

2) การแสดงผลค่าความชื้นบนจอแอลซีดี

จากการทดลองการแสดงผลค่าความชื้นบนหน้าจอแอลซีดี ทั้งหมด 11 ครั้ง ผลปรากฏว่าค่าที่วัดได้จริง คือ 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, และ 80 สามารถแสดงผลค่าบนจอแอลซีดีได้ทุกค่า และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าจากการวัดของเซ็นเซอร์ได้ ความละเอียดครั้งละ 1 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช

3) การแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี

จากการทดลองการแสดงผลค่าพีเอชบนจอแอลซีดี ทั้งหมด 6 ครั้ง ผลปรากฏว่าค่าที่วัดได้คือค่า 4, 5, 6, 7, 8, และ 9 สามารถแสดงผลของค่าบนหน้าจอแอลซีดีได้ทุกค่าที่กล่าวมา และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าจากการวัดของเซ็นเซอร์ได้ ความละเอียด ครั้งละ 1 พีเอช

4) การแสดงผลค่าไอซีบนจอแอลซีดี

จากการทดลองการแสดงผลค่าไอซีบนจอแอลซีดี ทั้งหมด 6 ครั้ง ค่าที่ทดลองวัดคือค่า 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, และ 1.7 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร ผลปรากฏว่าสามารถแสดงผลค่าบนจอแอลซีดีได้ทุกค่า และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าจากการวัดของเซ็นเซอร์ได้ ความละเอียด ครั้งละ 0.1 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร

5.1.6 การทดลองช่วงเวลาในการทำงานของปั๊มพ่นหมอก

จากการทดลอง ช่วงเวลาที่ 4 มี ค่าเฉลี่ย 99 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช เป็นช่วงเวลาที่ที่สุดของการเจริญเติบโตของผัก และการพ่นหมอกสารละลายธาตุอาหารแก่ผัก เพราะผักแตกใบแตกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รากอย่างเห็นได้ชัด จึงสรุปได้ว่าผักสามารถเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงความชื้นที่ 99 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช

5.1.7 การทดลองระบบหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด

จากการทดลองหมุนเพื่อรับแสงแดดของพีระมิด ผลปรากฏว่าทุก ๆ ครั้งชั่วโมงพีระมิดสามารถหมุนตามเข็มนาฬิกาและหมุนทวนเข็มนาฬิกา ตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 17.30 นาฬิกาได้ปกติ

5.1.8 ทดลองการปลูกผักแบบหมุนและไม่หมุนพีระมิด

1) ปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด

จากการทดลองปลูกผักแบบไม่หมุนพีระมิด ผลปรากฏว่าด้านที่พระอาทิตย์ขึ้นและพระอาทิตย์ตก ผักมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอีก 2 ด้าน เพราะอีก 2 ด้านผักมีการยืดเพื่อหาแสงอย่างชัดเจน และใบของผักไม่ตั้งมีอาการเฉาบางต้น ทำให้ทรงของต้นนำไปใช้สร้างรายได้ไม่ได้

2) ปลูกผักแบบหมุนพีระมิด

จากการทดลองปลูกผักแบบหมุนพีระมิด ผลปรากฏว่าผักทุกด้านมีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ลำต้นของผักเตี้ยเป็นพุ่ม ไม่ยืดหาแสงเนื่องจากได้รับแสงเพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงทำให้ผักมีการเจริญเติบโตที่ดี

5.1.9 ทดลองระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่

จากการทดลองระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่ 3 ครั้ง ผลปรากฏว่า เวลาที่สำรองไฟได้น้อยที่สุดคือ 2.30 ชั่วโมง และเวลาที่สำรองได้มากที่สุดคือ 2.35 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยของเวลาที่สำรองไฟคือ 2.32 ชั่วโมง

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 1) เมื่อมีมอเตอร์หมุนพีระมิดทำให้น้ำที่ไหลเวียนกลับไหลเวียนไม่สะดวกเพราะจะติดเหล็กที่ยึดติดระหว่างพีระมิดและมอเตอร์
- 2) เนื่องจากพีระมิดต้องใช้เหล็กเป็นโครงสร้างทำให้ต้องใช้ซิลิโคนยาแนวภายในพีระมิดทั้งหมดเพื่อไม่ให้น้ำปูดกับเหล็กโดยตรง
- 3) เซ็นเซอร์ฮีสและพีเอชถ้าแช่ไว้ด้วยกันค่าจะแกว่งและไม่เสถียร ทำให้ระบบทำงานผิดพลาด และเซ็นเซอร์เสียหาย

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรทำโครงสร้างการปลูกที่ไม่ต้องหมุน น้ำสามารถไหลเวียนได้ดี และมีพื้นที่รับแสงของผักที่สม่ำเสมอเท่ากัน
- 2) ควรใช้วัสดุโครงสร้างปลูกที่สัมผัสกับน้ำได้
- 3) ควรใช้ปั้มน้ำที่มีแรงดันน้ำมากพอในการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ควรใส่หัวกรองน้ำที่สายดูดน้ำ ไม่อย่างนั้นอาจจะทำให้หัวพ่นหมอกอุดตันได้
- 5) ไม่ควรแช่เซ็นเซอร์อีซี และ เซ็นเซอร์พีเอชไว้ด้วยกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จีราวุธ วารินทร์, **Arduino UNO พื้นฐานสำหรับงาน IOT**, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ พร้อมท์, 2561
- [2] อภิชาติ ศรีสอาด และพัชรี สำโรงเย็น, **ผักไฮโดรโปนิคส์ (ฉบับชาวบ้าน)**, กรุงเทพฯ, นาคา อินเทอร์เน็ตมีเดีย บจก, 2559
- [3] จิราภา จอมไธสง, **การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, ชุมชนุมนสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2558
- [4] ธนดชัย กุลวรวานิชพงษ์, **การป้องกันและรีเลย์(Protection and relay)**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมุทรปราการ, Powerjoe, 2559
- [5] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, **เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมุทรปราการ, ส.ส.ท., 2548
- [6] นพ มหิษานนท์, **Arduino Startup สนุกสุดเหวี่ยงกับเซ็นเซอร์**, นนทบุรี, คอร์ฟังก์ชั่น สำนักพิมพ์, 2561
- [7] “รีเลย์ (Relay) คืออะไร?” [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.psptech.co.th> เข้าถึงครั้งสุดท้ายเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2565
- [8] “แอโรโปนิคส์ การปลูกพืชในระบบรากแขวนอยู่ในอากาศ” [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/56/no12.pdf> เข้าถึงครั้งสุดท้ายเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2565
- [9] ประภาส พุ่มพวง, **การเขียนและการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Arduino**, กรุงเทพฯ, บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2561
- [10] “ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ Arduino Mega 2560” [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://ciksiti.com/th/chapters/11168-introduction-to-arduino-mega-2560> เข้าถึงครั้งสุดท้ายเมื่อ 14 พฤศจิกายน 2565
- [11] “การขับมอเตอร์โหลดสูงด้วยทรานซิสเตอร์-มอสเฟต” [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://fitrox.lnwhshop.com/> เข้าถึงครั้งสุดท้ายเมื่อ 20 มีนาคม 2566



ภาคผนวก ก

โปรแกรมของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดควบคุมการทำงานของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์

```

#include <DS3231.h> //เรียกใช้ไลบรารีโมดูลนาฬิกา
#include <Wire.h> //เรียกใช้ Library Wire
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //เรียกใช้ไลบรารีจอแอลซีดี
#include <EEPROM.h>
#include "DFRobot_SHT20.h" //เรียกใช้ไลบรารีเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้น
#include "GravityTDS.h" //เรียกใช้ไลบรารีเซ็นเซอร์วัดค่าEC
#define TdsSensorPin A2 //ประกาศตัวแปร Tds Sensor Pin = A2;
#define VREF 5.0 //แรงดันอ้างอิงแบบแอนะล็อก (โวลต์) ของ
ADC
#define SCOUNT 30 //ผลรวม
GravityTDS gravityTds;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); //ตั้งค่าที่อยู่ LCD
DFRobot_SHT20 sht20;
DS3231 rtc(SDA, SCL); //เริ่มต้น DS3231 โดยใช้อินเทอร์เฟซฮาร์ดแวร์
Time t;
//-----เซ็นเซอร์EC-----
int analogBuffer[SCOUNT]; // เก็บค่าอนาล็อกไว้ในอาร์เรย์ อ่านจาก ADC
int analogBufferTemp[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0, copyIndex = 0;
float averageVoltage = 0, tdsValue = 0, temperature = 25;
//-----เซ็นเซอร์ pH-----
const int analogInPin = A5; //ประกาศตัวแปร analogInPin = A5;
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10], temp;
//----- Water level -----
const int waterLevel1 = 6; //ประกาศตัวแปร waterLevel1 = 6;
const int waterLevel2 = 8; //ประกาศตัวแปร waterLevel2 = 8;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//----- LED Status -----
const int ledStatus1 = 12;           //ประกาศตัวแปร ledStatus1 = 12;
const int ledStatus2 = 13;           //ประกาศตัวแปร ledStatus2 = 13;

//----- Button State -----
int buttonState1 = 0;                 //ประกาศตัวแปร buttonState1 = 0;
int buttonState2 = 0;                 //ประกาศตัวแปร buttonState2 = 0;
int stat;

int MF =2;                            //ประกาศตัวแปร MF = 2;
int pump1 = 10;                        //ประกาศตัวแปร pump1 = 10;
int pump = 9;                          //ประกาศตัวแปร pump = 9;
int Relay2 = 17;                       //ประกาศตัวแปร Relay2 = 17;
int Relay3 = 23;                       //ประกาศตัวแปร Relay3 = 23;
int Relay4 = 24;                       //ประกาศตัวแปร Relay4 = 24;
int Relay5 = 22 ;                      //ประกาศตัวแปร Relay5 = 22 ;
int Relay6 = 18;                       //ประกาศตัวแปร Relay6 = 18;
int Relay7 = 16;                       //ประกาศตัวแปร Relay7 = 16;
int Relay8 = 25;                       //ประกาศตัวแปร Relay8 = 25;
int Relay9 = 35;                       //ประกาศตัวแปร Relay9 = 35;
int Relay10 = 37;                      //ประกาศตัวแปร Relay10 = 37;
int relay = 31;                        //ประกาศตัวแปร relay = 31;
int vin;
float realvolt;
int opto = 33;                         //ประกาศตัวแปร opto = 33;
unsigned char a ;
unsigned char v ;
unsigned char u = 0;
String myTxt;
void setup() {
    rtc.begin();
    Serial.begin(115200);
    pinMode(ledStatus1, OUTPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(ledStatus2, OUTPUT);
pinMode(waterLevel1, INPUT);
pinMode(waterLevel2, INPUT);
pinMode(pump1, OUTPUT);
pinMode(pump,OUTPUT );
pinMode(Relay2, OUTPUT);
pinMode(Relay3, OUTPUT);
pinMode(Relay4, OUTPUT);
pinMode(Relay7, OUTPUT);
pinMode(Relay8, OUTPUT);
pinMode(Relay9, OUTPUT);
pinMode(Relay10, OUTPUT);
pinMode(MF,OUTPUT);
pinMode(relay, OUTPUT);
pinMode(opto, INPUT);
pinMode(A0, INPUT);
pinMode(TdsSensorPin, INPUT);
lcd.init();
lcd.backlight(); // เปิด backlight
lcd.setCursor ( 0,0);
lcd.print("EC:");
lcd.setCursor ( 6,0);
lcd.print("mS/cm");
lcd.setCursor ( 0,2);
lcd.print("Humi:" );
lcd.setCursor ( 8,2);
lcd.print("%");
lcd.setCursor ( 0,1);
lcd.print("pH:");
lcd.setCursor(4,1);
t = rtc.getTime();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

a = t.min;
u = 0;
sht20.initSHT20(); //เริ่มต้นเซ็นเซอร์ SHT20
sht20.checkSHT20(); //ตรวจสอบเซ็นเซอร์ SHT20
gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
gravityTds.setAref(5.0);
gravityTds.setAdcRange(1024);
gravityTds.begin();
}
void loop() {
  vin = analogRead(A0);
  Serial.println(vin);
  realvolt = ((vin * (5.0/1023)) / (0.1699385)); b //วัดแรงดันของแบตเตอรี่
  Serial.println(realvolt);
  if(realvolt < 13.8){
    digitalWrite(relay, HIGH);
  }
  t = rtc.getTime();
  Serial.print(t.hour);
  Serial.print("hour (s),");
  Serial.print(t.min);
  Serial.print("minute (s)");
  Serial.print(" ");
  Serial.print(t.sec);
  Serial.print("second (s)");
  Serial.println(u);
  delay(800);
  buttonState1 = digitalRead(waterLevel1);
  buttonState2 = digitalRead(waterLevel2);
  int humd = sht20.readHumidity(); //วัดค่าความชื้น
  Serial.print("Temp:");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(temp);
Serial.println("C");
Serial.print("Humd:");
Serial.print(humd);
Serial.println("%");

//-----ปั๊มพ่นหมอกทำงาน-----
if( (t.min - a >= 2 ) && ( u == 0)){
    digitalWrite(pump1, HIGH);           //ปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหารทำงาน
    Serial.print(" ON ");
    v = t.min;
    u = 1;
}
if( t.min - v >= 1 && ( u == 1 ) ){
    digitalWrite(pump1, LOW);           // ปั๊มพ่นสารละลายธาตุอาหารหยุด
ทำงาน
    Serial.print(" OFF ");
    a = t.min;
    u = 0;
    v = t.min;
}
//----- วัดระดับน้ำและเติมน้ำ -----
if (buttonState1 == HIGH && buttonState2 == HIGH ) {
    digitalWrite(ledStatus1, HIGH);
    digitalWrite(ledStatus2, HIGH);
    digitalWrite(pump, LOW);
    stat = 0;
    Serial.println("HIGH HIGH");
    Serial.println("PUMP : OFF");
    Serial.println("Status Water level 1 : HIGH");
    lcd.setCursor ( 0,3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print("WATER1: >30L ");
Serial.println("Status Water level 1 : HIGH");
}
else if (buttonState1 == HIGH && buttonState2 == LOW && stat == 0 ) {
digitalWrite(ledStatus1, HIGH);
digitalWrite(ledStatus2, LOW);
digitalWrite(pump, LOW);
Serial.println("HIGH LOW 0");
Serial.println("PUMP : OFF");
Serial.println("Status Water level 1 : <40L");
lcd.setCursor ( 0,3);
lcd.print("WATER1: <30L ");
}
else if (buttonState1 == HIGH && buttonState2 == LOW && stat == 1 ) {
digitalWrite(ledStatus1, HIGH);
digitalWrite(ledStatus2, LOW);
digitalWrite(pump, HIGH);
Serial.println("HIGH LOW 1");
Serial.println("PUMP : ON");
Serial.println("Status Water level 1 : <40L");
lcd.setCursor ( 0,3);
lcd.print("WATER1: <30L ");
}
else if (buttonState1 == LOW && buttonState2 == LOW ) {
digitalWrite(ledStatus1, LOW);
digitalWrite(ledStatus2, LOW);
digitalWrite(pump, HIGH);
stat = 1;
Serial.println("LOW LOW 1");
Serial.println("PUMP : ON");
Serial.println("Status Water level 1 : <30L");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd.setCursor ( 0,3);
    lcd.print("WATER1: <30L ");
}
else{
    digitalWrite(ledStatus1, LOW);
    digitalWrite(ledStatus1, LOW);
    Serial.println("PUMP : OFF");
    stat =0;
    Serial.println("Status Water level 1 : ERROR");
    lcd.setCursor ( 0,3);
    lcd.print("WATER1: ERROR ");
    delay(1000);
    lcd.setCursor ( 12,3);
    lcd.print(" PUM OFF ");
    digitalWrite(pump, LOW);
}
if (t.hour == 7 && t.min == 5 &&t.sec== 55 ) {
    digitalWrite(Relay8, HIGH);
    Serial.println("CH1 = ON");
}
//-----วัดค่า EC ทำการเติมสารละลายปุ๋ย AB ถ้า EC <1.2 -----

else if (t.hour == 7 && t.min == 6 &&t.sec >= 00 &&t.sec < 20 ) {
    digitalWrite(Relay8, HIGH);
    Serial.println("CH1 = ON");
    digitalWrite(Relay2, HIGH);
    Serial.println("EC = ON");
}
//-----ไต่การอ่านค่า EC -----

static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
if (millis() - analogSampleTimepoint > 40U){
    analogSampleTimepoint = millis();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

digitalWrite(Relay4, LOW);
Serial.println("AB OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 6&&t.sec == 43 ) { // ปิดการทำงานทุกอย่างของการเติม
ปั๊ม AB
digitalWrite(Relay2, LOW);
Serial.println("EC = OFF");
digitalWrite(Relay4, LOW);
Serial.println("AB OFF");
digitalWrite(Relay3, LOW);
Serial.println("OFF");
digitalWrite(Relay8, LOW);
Serial.println("CH1 = OFF");
}
//-----วัดค่า EC ทำการเติมสารละลายปั๊ม AB ถ้า EC <1.2-----
else if (t.hour == 7 && t.min == 7 && t.sec >=0 &&t.sec < 20 ){
digitalWrite(Relay8, HIGH);
Serial.println("CH1 = ON");
digitalWrite(Relay2, HIGH);
Serial.println("EC = ON");
//-----ไค้การอ่านค่า EC-----
static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
if (millis() - analogSampleTimepoint > 400){
analogSampleTimepoint = millis();
analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin);
analogBufferIndex++;
if (analogBufferIndex == SCOUNT)
analogBufferIndex = 0;
}
static unsigned long printTimepoint = millis();
if (millis() - printTimepoint > 800){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printTimepoint = millis();
for (copyIndex = 0; copyIndex < SCOUNT; copyIndex++)
    analogBufferTemp[copyIndex] = analogBuffer[copyIndex];
averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, SCOUNT) * (float)VREF /
1024.0;
float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
float compensationVolatge = averageVoltage / compensationCoefficient;
tdsValue = ((133.42 * compensationVolatge * compensationVolatge *
compensationVolatge - 255.86 * compensationVolatge * compensationVolatge +
857.39 * compensationVolatge) * 0.5)/600;
Serial.print("TDS Value:");
Serial.print(tdsValue);
Serial.println("ms/cm");
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(tdsValue);
if (tdsValue < 1.2){
    digitalWrite(Relay4, HIGH); // ปุ่มเติมสารละลายปุ๋ย
    Serial.println("AB ON");
}
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 7&&t.sec == 36 ) { //กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("ch1 = on");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 7&&t.sec == 39 ) { // ปิดการทำงานทุกอย่างของ
การเติมปุ๋ย AB
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
    digitalWrite(Relay2, LOW);
    Serial.println("EC = OFF");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(Relay4, LOW);
Serial.println("AB OFF");
digitalWrite(Relay3, LOW);
Serial.println("OFF");
}

//-----วัดค่า EC ทำการเติมสารละลายปุ๋ย AB ถ้า EC <1.2 และเติมปุ๋ย 50 ml -----
-----
else if (t.hour == 7 && t.min == 8&&t.sec >=00 &&t.sec < 15){
    digitalWrite(Relay8, HIGH);
    Serial.println("CH1 = ON");
    digitalWrite(Relay2, HIGH);
    Serial.println("EC = ON");
//----- ใ้จัดการอ่านค่า EC -----
-----

    static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
    if (millis() - analogSampleTimepoint > 40U){ //every 40 milliseconds,read the analog
value from the ADC
        analogSampleTimepoint = millis();
        analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin); //read the analog
value and store into the buffer
        analogBufferIndex++;
        if (analogBufferIndex == SCOUNT)
            analogBufferIndex = 0;
    }

    static unsigned long printTimepoint = millis();
    if (millis() - printTimepoint > 800U){
        printTimepoint = millis();
        for (copyIndex = 0; copyIndex < SCOUNT; copyIndex++)
            analogBufferTemp[copyIndex] = analogBuffer[copyIndex];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, SCOUNT) * (float)VREF /
1024.0;

float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0); //temperature
compensation formula: fFinalResult(25^C) = fFinalResult(current)/(1.0+0.02*(FTP-
25.0));

float compensationVolatge = averageVoltage / compensationCoefficient;
//temperature compensation

tdsValue = ((133.42 * compensationVolatge * compensationVolatge *
compensationVolatge - 255.86 * compensationVolatge * compensationVolatge +
857.39 * compensationVolatge) * 0.5)/600; //convert voltage value to tds value

Serial.print("TDS Value:");
Serial.print(tdsValue);
Serial.println("mS/cm");
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(tdsValue);
if (tdsValue <1.2){
    digitalWrite(Relay4, HIGH); // ป้อนเติมสารละลายปุ๋ย AB
50 ml
    Serial.println("AB ON");
}
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 8&&t.sec== 22 ) { // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour== 7 && t.min == 8&&t.sec == 25 ) { //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
    digitalWrite(Relay2, LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("EC = OFF");
digitalWrite(Relay4, LOW);
Serial.println("AB OFF");
digitalWrite(Relay3, LOW);
Serial.println("OFF");
}

//-----ทำการวัดค่าEC อีกครั้ง EC >1.7 เติมน้ำเปล่า-----
-----
else if (t.hour == 7 && t.min == 9&&t.sec == 00 &&t.sec < 6 ){
digitalWrite(Relay8, HIGH);
Serial.println("CH1 = ON");
digitalWrite(Relay2, HIGH);
Serial.println("EC = ON");
//-----ไ้จัดการอ่านค่า EC -----
-----

static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
if (millis() - analogSampleTimepoint > 40U){ //every 40 milliseconds,read the analog
value from the ADC
analogSampleTimepoint = millis();
analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin); //read the analog
value and store into the buffer
analogBufferIndex++;
if (analogBufferIndex == SCOUNT)
analogBufferIndex = 0;
}

static unsigned long printTimepoint = millis();
if (millis() - printTimepoint > 800U){
printTimepoint = millis();
for (copyIndex = 0; copyIndex < SCOUNT; copyIndex++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

analogBufferTemp[copyIndex] = analogBuffer[copyIndex];
averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, SCOUNT) * (float)VREF /
1024.0; // read the analog value more stable by the median filtering algorithm, and
convert to voltage value

float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0); //temperature
compensation formula: fFinalResult(25^C) = fFinalResult(current)/(1.0+0.02*(fTP-
25.0));

float compensationVolatge = averageVoltage / compensationCoefficient;
//temperature compensation

tdsValue = ((133.42 * compensationVolatge * compensationVolatge *
compensationVolatge - 255.86 * compensationVolatge * compensationVolatge +
857.39 * compensationVolatge) * 0.5)/600; //convert voltage value to tds value

Serial.print("TDS Value:");
Serial.print(tdsValue);
Serial.println("ms/cm");
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(tdsValue);
if (tdsValue >1.7){
    digitalWrite(pump, HIGH); // ป้อนน้ำเปล่าทำงาน
    Serial.println("NAM ON");
}
}
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 9&&t.sec== 3 ) { // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 9&&t.sec== 6 ) { //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(Relay2, LOW);
Serial.println("EC = OFF");
digitalWrite(pump, LOW);
Serial.println("NAM OFF");
digitalWrite(Relay3, LOW);
Serial.println("OFF");
}
//-----ทำการวัดค่าEC อีกครั้ง EC >1.7 เติมน้ำเปล่า-----
--

else if (t.hour == 7 && t.min == 10&&t.sec == 00 &&t.sec< 6 ){
digitalWrite(Relay8, HIGH);
Serial.println("CH1 = ON");
digitalWrite(Relay2, HIGH);
Serial.println("EC = ON");
//-----ได้ผลการอ่านค่า EC -----
--

    static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
    if (millis() - analogSampleTimepoint > 400){
        analogSampleTimepoint = millis();
        analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin);
        analogBufferIndex++;
        if (analogBufferIndex == SCOUNT)
            analogBufferIndex = 0;
    }

    static unsigned long printTimepoint = millis();
    if (millis() - printTimepoint > 800){
        printTimepoint = millis();
        for (copyIndex = 0; copyIndex < SCOUNT; copyIndex++)
            analogBufferTemp[copyIndex] = analogBuffer[copyIndex];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, SCOUNT) * (float)VREF /
1024.0;

float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
float compensationVolatge = averageVoltage / compensationCoefficient;
tdsValue = ((133.42 * compensationVolatge * compensationVolatge *
compensationVolatge - 255.86 * compensationVolatge * compensationVolatge +
857.39 * compensationVolatge) * 0.5)/600;

Serial.print("TDS Value:");
Serial.print(tdsValue);
Serial.println("ms/cm");
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(tdsValue);
if (tdsValue >1.7){
    digitalWrite(pump, HIGH); // ปั๊มน้ำเปล่าทำงาน
    Serial.println("NAM ON");
}
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 10&&t.sec == 3 ) { // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 10&&t.sec == 6 ) { //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
    digitalWrite(Relay2, LOW);
    Serial.println("EC = OFF");
    digitalWrite(pump, LOW);
    Serial.println("NAM OFF");
    digitalWrite(Relay3, LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("OFF");
}
//-----ทำการวัดค่าEC อีกครั้ง ถ้า EC >1.7 เติมน้ำเปล่า-----
else if (t.hour == 7 && t.min == 12&&t.sec >=00 &&t.sec < 7 ){
digitalWrite(Relay7,HIGH);
Serial.println("pH ON");
//-----ไ้จัดการอ่านค่า pH -----
-
for (int phi1 = 0; phi1 < 10; phi1++){
buf[phi1] = analogRead(analogInPin);
delay(10);
}
for (int phj1 = 0; phj1 < 9; phj1++){
for (int phk1 = phj1 + 1; phk1 < 10; phk1++){
if (buf[phj1] > buf[phk1]){
temp = buf[phj1];
buf[phj1] = buf[phk1];
buf[phk1] = temp;
}
}
}
avgValue = 0;
for (int phl1 = 2; phl1 < 8; phl1++)
avgValue += buf[phl1];
float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
int ph = pHValue+2;
Serial.print(" \npH = ");
Serial.println(ph);
lcd.setCursor ( 5,1);
lcd.print(ph);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (phValue >7){
    digitalWrite(Relay5,HIGH);           //ปั๊มสารละลายกรดกรด
ทำงาน
    Serial.println("acid ON");
}
}

else if (t.hour == 7 && t.min == 12&&t.sec == 8 ) {
    digitalWrite(Relay5,LOW);           //ปั๊มสารละลายกรดหยุด
    Serial.println("acid OFF");
    digitalWrite(Relay7,LOW);
    Serial.println("pH OFF");
}

else if (t.hour == 7 && t.min == 12&&t.sec== 9 ) {           // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH);         //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}

else if (t.hour == 7 && t.min == 12&&t.sec== 12 ) {
    digitalWrite(Relay3, LOW);          //มอเตอร์กวนปุ๋ยหยุด
    Serial.println("pump1 OFF");
}

else if (t.hour == 7 && t.min == 12&&t.sec == 14 ){
    digitalWrite(Relay8, HIGH);
    Serial.println("CH1 = ON");
}

else if (t.hour == 7 && t.min == 12&&t.sec== 20 ) {           //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
}
}

```

//-----วัดค่า pH >7 ปั๊มสารละลายกรดทำงาน-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if (t.hour == 7 && t.min == 14 && t.sec >=0 && t.sec < 6 ){
    digitalWrite(Relay7,HIGH);
    Serial.println("pH ON");
//-----ได้ผลการอ่านค่า pH -----
for (int phi2 = 0; phi2 < 10; phi2++){
    buf[phi2] = analogRead(analogInPin);
    delay(10);
}
for (int phj2 = 0; phj2 < 9; phj2++){
    for (int phk2 = phj2 + 1; phk2 < 10; phk2++){
        if (buf[phj2] > buf[phk2]){
            temp = buf[phj2];
            buf[phj2] = buf[phk2];
            buf[phk2] = temp;
        }
    }
}
avgValue = 0;
for (int phl2 = 2; phl2 < 8; phl2++)
    avgValue += buf[phl2];
float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
int ph = pHValue+2;
Serial.print(" \npH = ");
Serial.println(ph);
lcd.setCursor ( 5,1);
lcd.print(ph);
if (pHValue >7){
    digitalWrite(Relay5,HIGH);
    Serial.println("acid ON");
}

```

//ป้อนสารละลายกรดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
else if (t.hour == 7 && t.min == 14&&t.sec == 8 ) {
    digitalWrite(Relay5,LOW);           //ปั๊มสารละลายกรดหยุด
    ทำงาน
    Serial.println("acid OFF");
    digitalWrite(Relay7,LOW);
    Serial.println("pH OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 14&&t.sec == 9) {           // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH);           //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 14&&t.sec== 12 ) {           // กวนปุ๋ย 3 วินาที
    digitalWrite(Relay3, LOW);           //มอเตอร์กวนปุ๋ยหยุดทำงาน
    Serial.println("pump1 OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 14&&t.sec==15 ){
    digitalWrite(Relay8, HIGH);
    Serial.println("CH1 = ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 14&&t.sec== 20 ) {           //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
    ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
}
//-----วัดค่า pH >7 ปั๊มสารละลายกรดทำงาน-----

else if (t.hour == 7 && t.min == 15 && t.sec >=0 && t.sec < 6 ){
    digitalWrite(Relay7,HIGH);
    Serial.println("pH ON");
    for (int phi3 = 0; phi3 < 10; phi3++){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    buf[phi3] = analogRead(analogInPin);
    delay(10);
}
//-----ได้ค่าการอ่านค่า pH -----
---
for (int phj3 = 0; phj3 < 9; phj3++){
    for (int phk3 = phj3 + 1; phk3 < 10; phk3++){
        if (buf[phj3] > buf[phk3]){
            temp = buf[phj3];
            buf[phj3] = buf[phk3];
            buf[phj3] = temp;
        }
    }
}
avgValue = 0;
for (int phl3 = 2; phl3 < 8; phl3++){
    avgValue += buf[phl3];
}
float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
int ph = pHValue+2;
Serial.print(" \npH = ");
Serial.println(ph);
lcd.setCursor ( 5,1);
lcd.print(ph);
if (pHValue >7){
    digitalWrite(Relay5,HIGH);
    Serial.println("acid ON");
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 15&&t.sec == 8 ) {
    digitalWrite(Relay5,LOW);

```

//ป้อนสารละลายกรดทำงาน

//ป้อนสารละลายกรดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("acid OFF");
digitalWrite(Relay7,LOW);
Serial.println("pH OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 15&&t.sec == 9) {           //กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH);                               //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 15&&t.sec== 12 ) {
    digitalWrite(Relay3, LOW);                               //มอเตอร์กวนปุ๋ยหยุดทำงาน
    Serial.println("pump1 OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 15&&t.sec==15 ){
    digitalWrite(Relay8, HIGH);
    Serial.println("CH1 = ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 15&&t.sec== 20 ) {           //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
    ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
}
//-----วัดค่า pH <6 ป้อนสารละลายเบสทำงาน-----
else if (t.hour == 7 && t.min == 35&&t.sec >=00 &&t.sec < 6 ){
    digitalWrite(Relay7,HIGH);
    Serial.println("pH ON");
//-----ไต่การอ่านค่า pH -----
-
for (int phi5 = 0; phi5 < 10; phi5++){
    buf[phi5] = analogRead(analogInPin);
    delay(10);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for (int phj5 = 0; phj5 < 9; phj5++){
  for (int phk5 = phj5 + 1; phk5 < 10; phk5++){
    if (buf[phj5] > buf[phk5]){
      temp = buf[phj5];
      buf[phj5] = buf[phk5];
      buf[phk5] = temp;
    }
  }
}

avgValue = 0;
for (int phl5 = 2; phl5 < 8; phl5++){
  avgValue += buf[phl5];
  float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;
  float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
  int ph = pHValue+2;
  Serial.print(" \npH = ");
  Serial.println(ph);
  lcd.setCursor ( 5,1);
  lcd.print(ph);
  if (pHValue <6){
    digitalWrite(Relay6,HIGH); //ป้อนสารละลายเบสทำงาน
    Serial.println("base ON");
  }
}

else if (t.hour == 7 && t.min == 35&&t.sec == 7 ) {
  digitalWrite(Relay6,LOW); //ป้อนสารละลายเบสหยุด
  ทำงาน
  Serial.println("base OFF");
  digitalWrite(Relay7,LOW);
  Serial.println("pH OFF");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if (t.hour == 7 && t.min == 35&&t.sec== 9 ) { // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 35&&t.sec== 11 ) {
    digitalWrite(Relay3, LOW); //มอเตอร์กวนปุ๋ยหยุดทำงาน
    Serial.println("pump1 OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 35&&t.sec ==14 ){
    digitalWrite(Relay8, HIGH);
    Serial.println("CH1 = ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 35&&t.sec== 19 ) { //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
    ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
}
//-----วัดค่า pH <6 ป้มสารละลายเบสทำงาน-----
else if (t.hour == 7 && t.min == 36&&t.sec >=00 &&t.sec < 6 ){
    digitalWrite(Relay7,HIGH);
    Serial.println("pH ON");
    for (int phi6 = 0; phi6 < 10; phi6++){
        buf[phi6] = analogRead(analogInPin);
        delay (10);
    }
}
//-----ไค้ดการอ่านค่า pH -----
for (int phj6 = 0; phj6 < 9; phj6++){
    for (int phk6 = phj6 + 1; phk6 < 10; phk6++){
        if (buf[phj6] > buf[phk6]){
            temp = buf[phj6];
            buf[phj6] = buf[phk6];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    buf[phj6] = temp;
  }
}
}
avgValue = 0;
for (int phl6 = 2; phl6 < 8; phl6++)
avgValue += buf[phl6];
float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
int ph = pHValue+2;
Serial.print(" \npH = ");
Serial.println(ph);
lcd.setCursor ( 5,1);
lcd.print(ph);
if (pHValue <6){
  digitalWrite(Relay6,HIGH); //ปั๊มสารละลายเบส
  Serial.println("base ON");
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 36&&t.sec == 7 ) {
  digitalWrite(Relay6,LOW); //สารละลายเบส
  Serial.println("base OFF");
  digitalWrite(Relay7,LOW);
  Serial.println("pH OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 36&&t.sec == 9) { // กวนปุ๋ย 4 วินาที
  digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
  Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 36&&t.sec == 11 ) {
  digitalWrite(Relay3, LOW); //มอเตอร์กวนปุ๋ยหยุด

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("pump1 OFF");
}
else if (t.hour == 7 &&t.min == 36&&t.sec ==20 ){
digitalWrite(Relay8, HIGH);
Serial.println("CH1 = ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 36&&t.sec == 25 ) {           //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
ทุกอย่าง
digitalWrite(Relay8, LOW);
Serial.println("CH1 = OFF");
}
//-----วัดค่า pH <6 ป้อนสารละลายเบสทำงาน-----

else if (t.hour == 7 && t.min == 37&&t.sec >=00 &&t.sec < 6 ){
digitalWrite(Relay7,HIGH);
Serial.println("pH ON");
//-----ไต่ค่าการอ่านค่า pH -----

for (int phi7 = 0; phi7 < 10; phi7++){
buf[phi7] = analogRead(analogInPin);
delay(10);
}
for (int phj7 = 0; phj7 < 9; phj7++){
for (int phk7 = phj7 + 1; phk7 < 10; phk7++){
if (buf[phj7] > buf[phk7]){
temp = buf[phj7];
buf[phj7] = buf[phk7];
buf[phj7] = temp;
}
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

avgValue = 0;
for (int phl7 = 2; phl7 < 8; phl7++)
avgValue += buf[phl7];
float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
int ph = pHValue+2;
Serial.print(" \npH = ");
Serial.println(ph);
lcd.setCursor ( 5,1);
lcd.print(ph);
if (pHValue <6){
    digitalWrite(Relay6,HIGH); //ปั๊มสารละลายเบสทำงาน
    Serial.println("base ON");
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 37&&t.sec == 7 ) {
    digitalWrite(Relay6,LOW); //ปั๊มสารละลายเบสหยุด
    Serial.println("base OFF");
    digitalWrite(Relay7,LOW);
    Serial.println("pH OFF");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 37&&t.sec == 9) { // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ย
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 37&&t.sec == 11 ) {
    digitalWrite(Relay3, LOW); //มอเตอร์กวนปุ๋ยหยุดทำงาน
    Serial.println("pump1 OFF");
}
else if (t.hour == 7 &&t.min == 37&&t.sec ==20 ){
    digitalWrite(Relay8, HIGH);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("CH1 = ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 37&&t.sec == 25 ) {           //การทำงานการเติมปุ๋ยหยุด
ทุกอย่าง
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
}
//-----วัดค่า pH <6 ป้อนสารละลายเบสทำงาน-----
-----
else if (t.hour == 7 && t.min == 38&&t.sec >=00 &&t.sec < 6){
    digitalWrite(Relay7,HIGH);
    Serial.println("pH ON");
//-----ได้ค่าการอ่านค่า pH-----
-----
for (int phi8 = 0; phi8 < 10; phi8++){
    buf[phi8] = analogRead(analogInPin);
    delay (10);
}
for (int phj8 = 0; phj8 < 9; phj8++){
    for (int phk8 = phj8 + 1; phk8 < 10; phk8++){
        if (buf[phj8] > buf[phk8]){
            temp = buf[phj8];
            buf[phj8] = buf[phk8];
            buf[phk8] = temp;
        }
    }
}

avgValue = 0;
for (int phl8 = 2; phl8 < 8; phl8++)
    avgValue += buf[phl8];

float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
int ph = pHValue+2;
Serial.print(" \npH = ");
Serial.println(ph);
lcd.setCursor ( 5,1);
lcd.print(ph);
if (pHValue <6){
    digitalWrite(Relay6,HIGH); //ปั๊มสารละลายเบสทำงาน
    Serial.println("base ON");
}
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 38&&t.sec == 5) { // กวนปุ๋ย 4 วินาที
    digitalWrite(Relay3, HIGH); //มอเตอร์กวนปุ๋ยทำงาน
    Serial.println("pump1 ON");
}
else if (t.hour == 7 && t.min == 38&&t.sec == 7 ) { //หยุดการทำงานเติมปุ๋ยทุก
อย่าง
    digitalWrite(Relay6,LOW);
    Serial.println("base OFF");
    digitalWrite(Relay8, LOW);
    Serial.println("CH1 = OFF");
    digitalWrite(Relay7,LOW);
    Serial.println("pH OFF");
}
//-----มอเตอร์หมุนผักรับแสง ทุกๆครึ่งชั่วโมงตั้งแต่เวลา -----
----
----- 08.00-17.00 นาฬิกา -----
----
else if (t.hour == 8 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
    delay(80);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    analogWrite(MF, 190);
  }
  else if (t.hour == 8 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
  }
  else if (t.hour == 8 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay10,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
  }
  else if (t.hour == 8 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay10,LOW);
  }
  else if (t.hour == 9 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
  }
  else if (t.hour == 9 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
  }
  else if (t.hour == 9 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay10,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
  }
  else if (t.hour == 9 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay10,LOW);
  }
  else if (t.hour == 10 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
  }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(80);
analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 10 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
  digitalWrite(Relay9,LOW);
}
else if (t.hour == 10 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
  digitalWrite(Relay10,HIGH);
  delay(80);
  analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 10 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
  digitalWrite(Relay10,LOW);
}
else if (t.hour == 11 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
  digitalWrite(Relay9,HIGH);
  delay(80);
  analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 11 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
  digitalWrite(Relay9,LOW);
}
else if (t.hour == 11 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
  digitalWrite(Relay10,HIGH);
  delay(80);
  analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 11 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
  digitalWrite(Relay10,LOW);
}
else if (t.hour == 12 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(Relay9,HIGH);
delay(80);
analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 12 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
}
else if (t.hour == 12 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay10,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 12 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay10,LOW);
}
else if (t.hour == 13 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 13 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
}
else if (t.hour == 13 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay10,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 13 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay10,LOW);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if (t.hour == 14 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 14 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
}
else if (t.hour == 14 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay10,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 14 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay10,LOW);
}
else if (t.hour == 15 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 15 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
}
else if (t.hour == 15 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay10,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 15 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay10,LOW);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
else if (t.hour == 16 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 16 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
}
else if (t.hour == 16 && t.min == 30&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay10,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 16 && t.min == 30&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay10,LOW);
} else if (t.hour == 17 && t.min == 0&&t.sec == 0 ) {
    digitalWrite(Relay9,HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(MF, 190);
}
else if (t.hour == 17 && t.min == 0&&t.sec== 3 ) {
    digitalWrite(Relay9,LOW);
}
Serial.println();
while(digitalRead(opto)==1){
    //digitalWrite(relay, HIGH);
    if(realvolt < 11.0){
        digitalWrite(relay, LOW);          // สั่งอุปกรณ์ให้ปิดทั้งหมด --หากมีอุปกรณ์ทำงานขณะ
        ไฟดับอยู่
        digitalWrite(pump1, LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(pump, LOW);
digitalWrite(Relay2, LOW);
digitalWrite(Relay3, LOW);
digitalWrite(Relay4, LOW);
digitalWrite(Relay7, LOW);
digitalWrite(Relay8, LOW);
digitalWrite(Relay9, LOW);
digitalWrite(Relay10, LOW);
}
vin = analogRead(A0);
Serial.println(vin);
realvolt = ((vin * (5.0/1023)) / (0.1699385)); //วัดแรงดันแบตเตอรี่
Serial.println(realvolt);
digitalWrite(pump1, HIGH);
delay (60000);
digitalWrite(pump1, LOW);
delay (120000);
}
}
int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen){
    int bTab[iFilterLen];
    for (byte i = 0; i < iFilterLen; i++)
        bTab[i] = bArray[i];
    int i, j, bTemp;
    for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++)
    {
        for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++)
        {
            if (bTab[i] > bTab[i + 1])
            {
                bTemp = bTab[i];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    bTab[i] = bTab[i + 1];
    bTab[i + 1] = bTemp;
}
}
}
if ((iFilterLen & 1) > 0)
    bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];
else
    bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) / 2;
return bTemp;
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอรโพนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คู่มือการใช้งานระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งานของระบบควบคุมการปลูกผักแบบแอโรโพนิกส์

- 1) เตรียมสารละลาย 4 ชนิด คือ สารละลายกรด สารละลายเบส สารละลายธาตุอาหารเอและบี ใส่ไว้ใน ถังเก็บสารละลายให้ครบทั้ง 4 ถัง ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 เตรียมสารละลายทั้ง 4 ถัง

- 2) เตรียมน้ำเปล่า ใส่ไว้ในถังสำรองน้ำเปล่า และถังรวมสารละลายธาตุอาหาร ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 เตรียมน้ำเปล่าทั้ง 2 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำต้นกล้าของผักที่เพาะไว้อายุประมาณ 20 ถึง 25 วัน จำนวน 84 ต้น มาใส่ในช่องสำหรับใส่ผักของพีระมิด ดังรูปที่ ข.3



(ก)



(ข)

รูปที่ ข.3 นำต้นกล้ามาใส่ในช่องของพีระมิด

(ก) ผักอายุ 20 ถึง 25 วัน ที่เพาะไว้ (ข) ใส่ผักในช่องพีระมิดครบทั้ง 84 ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เสียบปลั๊กไฟ 220 โวลต์ ดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 เสียบปลั๊กไฟ

5) กดสวิตช์เปิดใช้งานระบบที่หน้ากล่องคอนโทรล ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 กดสวิตช์เปิดใช้งานระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ระบบจะทำงานโดยอัตโนมัติ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 6.1) ระบบจะวัดและควบคุมระดับน้ำไม่ให้ต่ำกว่า 30 ลิตร
- 6.2) ระบบจะวัดและควบคุมค่าความชื้นไม่ให้ต่ำกว่า 70 – 80 เปอร์เซ็นต์อาร์เอช
- 6.3) ระบบจะวัดและควบคุมค่าพีเอช ให้อยู่ระหว่างช่วงค่า 6 – 7 พีเอช
- 6.4) ระบบจะวัดและควบคุมค่าไอซี ให้อยู่ระหว่างช่วงค่า 1.2 - 1.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร
- 6.5) ระบบจะฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยการฉีด 1 นาที หยุดฉีด 2 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง
- 6.6) มีระบบสำรองไฟจากแบตเตอรี่หากเกิดไฟตกหรือไฟดับ





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007
www.vishay.com Vishay General Semiconductor

General Purpose Plastic Rectifier



FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS COMPLIANT

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
V_{RRM}	50 V, 100 V, 200 V, 400 V, 600 V, 800 V, 1000 V
I_{FSM} (8.3 ms sine-wave)	30 A
I_{FSM} (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
V_F	1.1 V
I_R	5.0 μ A
T_J max.	150 °C
Package	DO-41 (DO-204AL)
Circuit configuration	Single

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters, and freewheeling diodes application.

MECHANICAL DATA

Case: DO-41 (DO-204AL), molded epoxy body
Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade
Terminals: matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102
E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test
Polarity: color band denotes cathode end

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_A = 75$ °C	$I_{F(AV)}$				1.0				A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}				30				A
Non-repetitive peak forward surge current square waveform $T_A = 25$ °C (fig. 3)	$t_p = 1$ ms				45				A
	$t_p = 2$ ms				35				
	$t_p = 5$ ms				30				
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length $T_L = 75$ °C	$I_{R(AV)}$				30				μ A
Rating for fusing ($t < 8.3$ ms)	$I_{ft}^{(1)}$				3.7				A ² s
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}				-50 to +150				°C

Note

(1) For device using on bridge rectifier application



1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)											
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A	V_F					1.1				V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	I_R					5.0				μA
	$T_A = 125\text{ }^\circ\text{C}$						50				
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz	C_J					15				pF

THERMAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}$ (1)					50				$^\circ\text{C/W}$
	$R_{\theta JL}$ (1)					25				

Note

(1) Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, PCB mounted

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N4004-E3/54	0.33	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N4004-E3/73	0.33	73	3000	Ammo pack packaging

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

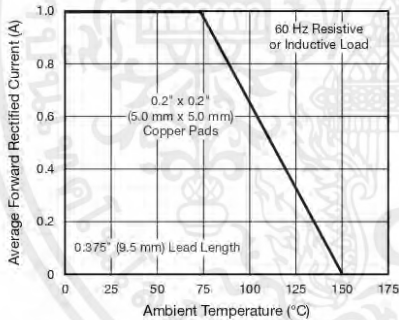


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

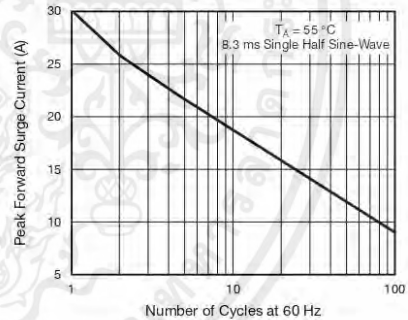


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current



1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

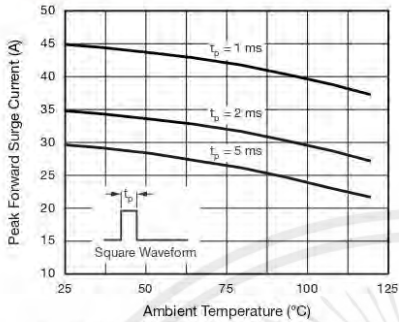


Fig. 3 - Non-Repetitive Peak Forward Surge Current

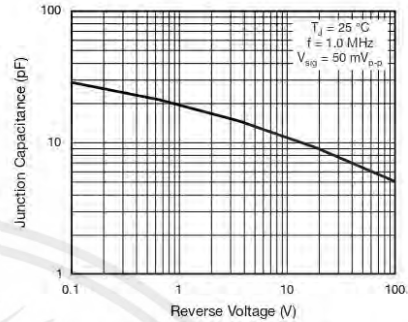


Fig. 6 - Typical Junction Capacitance

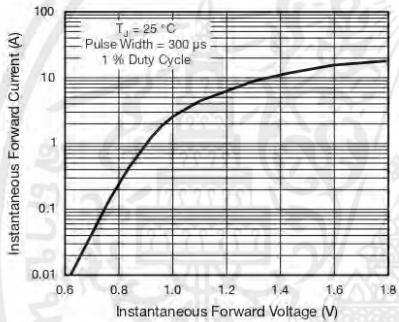


Fig. 4 - Typical Instantaneous Forward Characteristics

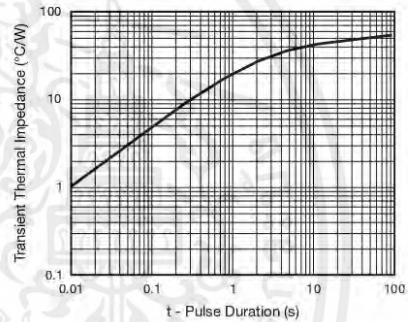


Fig. 7 - Typical Transient Thermal Impedance

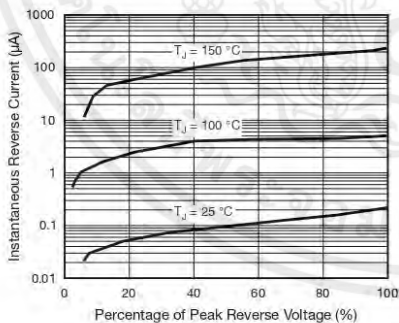


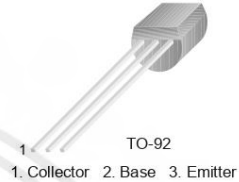
Fig. 5 - Typical Reverse Characteristics



BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	BC546	80
		: BC547/550	50
		: BC548/549	30
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage	BC546	65
		: BC547/550	45
		: BC548/549	30
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	BC546/547	6
		: BC548/549/550	5
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ C$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure	: BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	2	10	dB
		: BC549/550	$f=1KHz, R_G=2K\Omega$	1.2	4	dB
		: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	1.4	4	dB
		: BC550	$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$	1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

Typical Characteristics

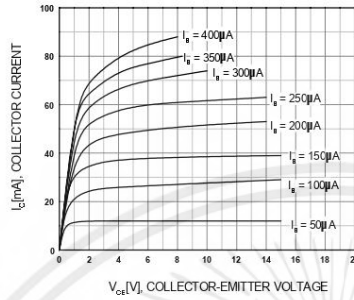


Figure 1. Static Characteristic

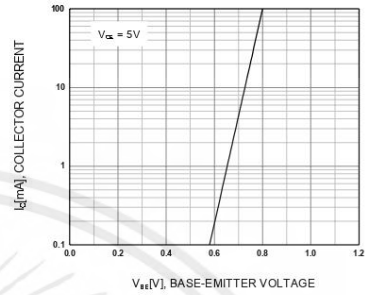


Figure 2. Transfer Characteristic

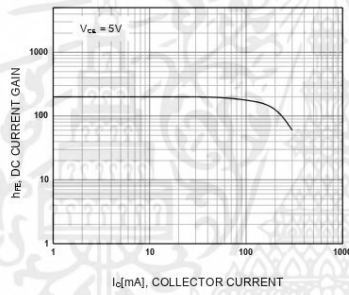


Figure 3. DC current Gain

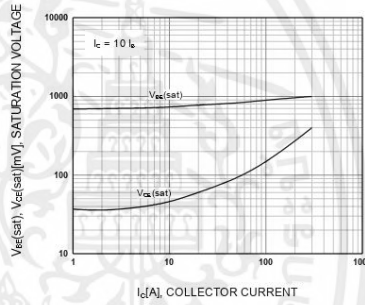


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

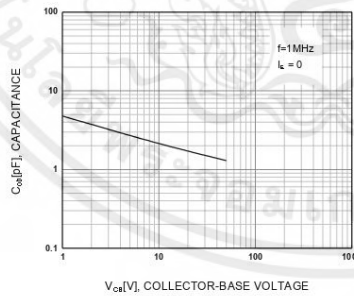


Figure 5. Output Capacitance

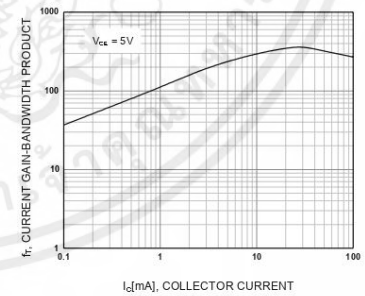
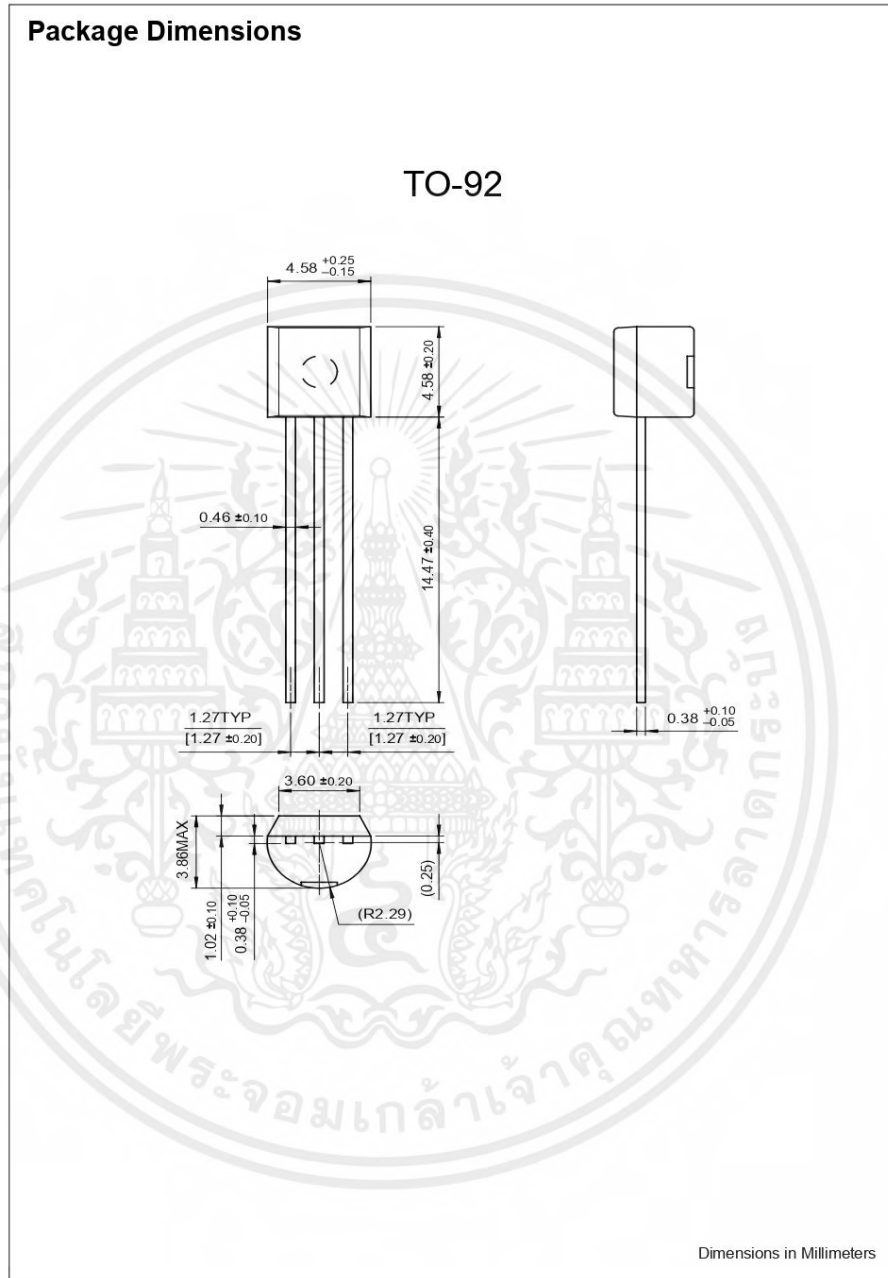


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BC546/547/548/549/550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

Handling, PC Board Layout, and Assembly

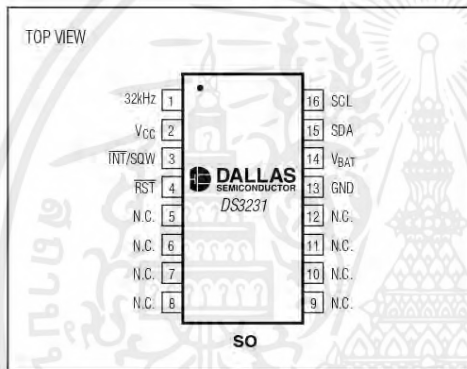
The DS3231 package contains a quartz tuning-fork crystal. Pick-and-place equipment can be used, but precautions should be taken to ensure that excessive shocks are avoided. Ultrasonic cleaning should be avoided to prevent damage to the crystal.

Avoid running signal traces under the package, unless a ground plane is placed between the package and the

signal line. All N.C. (no connect) pins must be connected to ground.

Moisture-sensitive packages are shipped from the factory dry packed. Handling instructions listed on the package label must be followed to prevent damage during reflow. Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 standard for moisture-sensitive device (MSD) classifications and reflow profiles. Exposure to reflow is limited to 2 times maximum.

Pin Configuration



Chip Information

SUBSTRATE CONNECTED TO GROUND

PROCESS: CMOS

Package Information

For the latest package outline information and land patterns, go to www.maxim-ic.com/packages. Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
16 SO	W16#H2	21-0042	90-0107

19-5170; Rev 8; 7/10



Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μ P reset.

Applications

Servers Utility Power Meters
Telematics GPS

Pin Configuration appears at end of data sheet.

Features

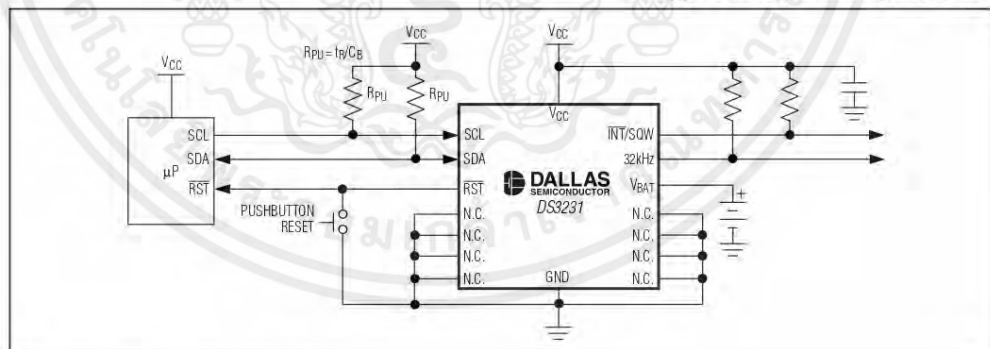
- ◆ Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
- ◆ Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
- ◆ Battery Backup Input for Continuous Timekeeping
- ◆ Operating Temperature Ranges
Commercial: 0°C to +70°C
Industrial: -40°C to +85°C
- ◆ Low-Power Consumption
- ◆ Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Day, Date, Month, and Year with Leap Year Compensation Valid Up to 2100
- ◆ Two Time-of-Day Alarms
- ◆ Programmable Square-Wave Output
- ◆ Fast (400kHz) I²C Interface
- ◆ 3.3V Operation
- ◆ Digital Temp Sensor Output: ± 3 °C Accuracy
- ◆ Register for Aging Trim
- ◆ RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
- ◆ Underwriters Laboratories (UL) Recognized

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
DS3231S#	0°C to +70°C	16 SO
DS3231SN#	-40°C to +85°C	16 SO

#Denotes a RoHS-compliant device that may include lead that is exempt under RoHS requirements. The lead finish is JESD97 category e3, and is compatible with both lead-based and lead-free soldering processes. A '#' anywhere on the top mark denotes a RoHS-compliant device.

Typical Operating Circuit



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on V _{CC} , V _{BAT} , 32kHz, SCL, SDA, \overline{RST} , INT/SQW Relative to Ground.....	-0.3V to +6.0V	Storage Temperature Range.....	-40°C to +85°C
Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) (Note 1).....	73°C/W	Lead Temperature (soldering, 10s).....	+260°C
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) (Note 1).....	23°C/W	Soldering Temperature (reflow, 2 times max)	
Operating Temperature Range (noncondensing).....	-40°C to +85°C	Lead(Pb)-free.....	+260°C
Junction Temperature.....	+125°C	Containing lead(Pb).....	+240°C

(See the *Handling, PC Board Layout, and Assembly* section.)

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maxim-ic.com/thermal-tutorial.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

(T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V _{CC}		2.3	3.3	5.5	V
	V _{BAT}		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V _{IH}		0.7 x V _{CC}		V _{CC} + 0.3	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V _{IL}		-0.3		0.3 x V _{CC}	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	I _{CCA}	(Notes 4, 5)	V _{CC} = 3.63V		200	μA
			V _{CC} = 5.5V		300	
Standby Supply Current	I _{CCS}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	V _{CC} = 3.63V		110	μA
			V _{CC} = 5.5V		170	
Temperature Conversion Current	I _{CCSCONV}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	V _{CC} = 3.63V		575	μA
			V _{CC} = 5.5V		650	
Power-Fail Voltage	V _{PF}		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	V _{OL}	I _{OL} = 3mA			0.4	V
Logic 0 Output, \overline{RST}	V _{OL}	I _{OL} = 1mA			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	I _{LO}	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I _{LI}		-1		+1	μA
\overline{RST} Pin I/O Leakage	I _{OL}	\overline{RST} high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V _{BAT} Leakage Current (V _{CC} Active)	I _{BATLKG}			25	100	nA

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V		32,768		kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	-40°C to +40°C		±2	ppm
			>40°C to +70°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	-40°C to <0°C		±3.5	ppm
			0°C to +40°C		±2	
			>40°C to +85°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Voltage	Δf/V			1		ppm/V
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	Δf/LSB	Specified at:	-40°C		0.7	ppm
			+25°C		0.1	
			+70°C		0.4	
			+85°C		0.8	
Temperature Accuracy	Temp	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V	-3		+3	°C
Crystal Aging	Δf/f _O	After reflow, not production tested	First year		±1.0	ppm
			0–10 years		±5.0	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 0V, V_{BAT} = 2.3V to 5.5V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Note 2)

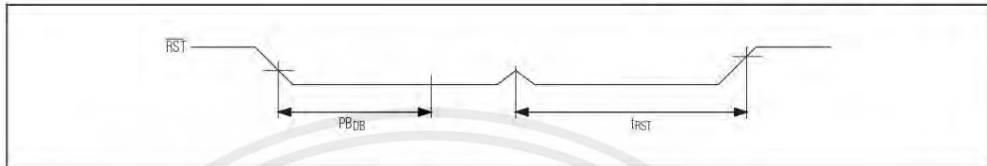
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	I _{BATA}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V		70	μA
			V _{BAT} = 5.5V		150	
Timekeeping Battery Current	I _{BATT}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT} (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V	0.84	3.0	μA
			V _{BAT} = 5.5V	1.0	3.5	
Temperature Conversion Current	I _{BATTC}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT}	V _{BAT} = 3.63V		575	μA
			V _{BAT} = 5.5V		650	
Data-Retention Current	I _{BATTD}	E _{OSC} = 1, SCL = SDA = 0V, +25°C			100	nA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

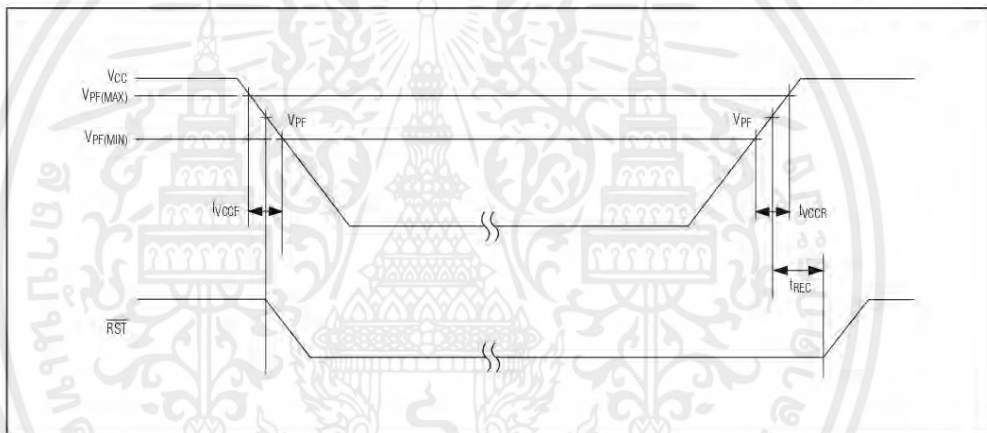
Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Pushbutton Reset Timing



Power-Switch Timing

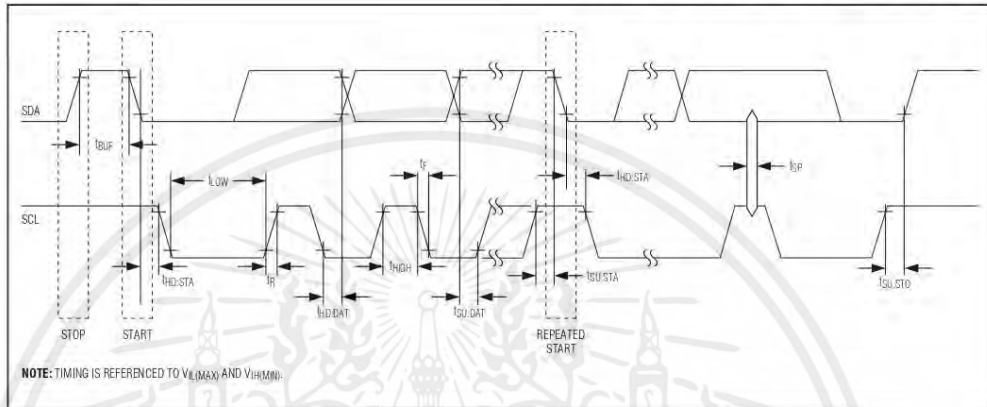


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Data Transfer on I²C Serial Bus



WARNING: Negative undershoots below -0.3V while the part is in battery-backed mode may cause loss of data.

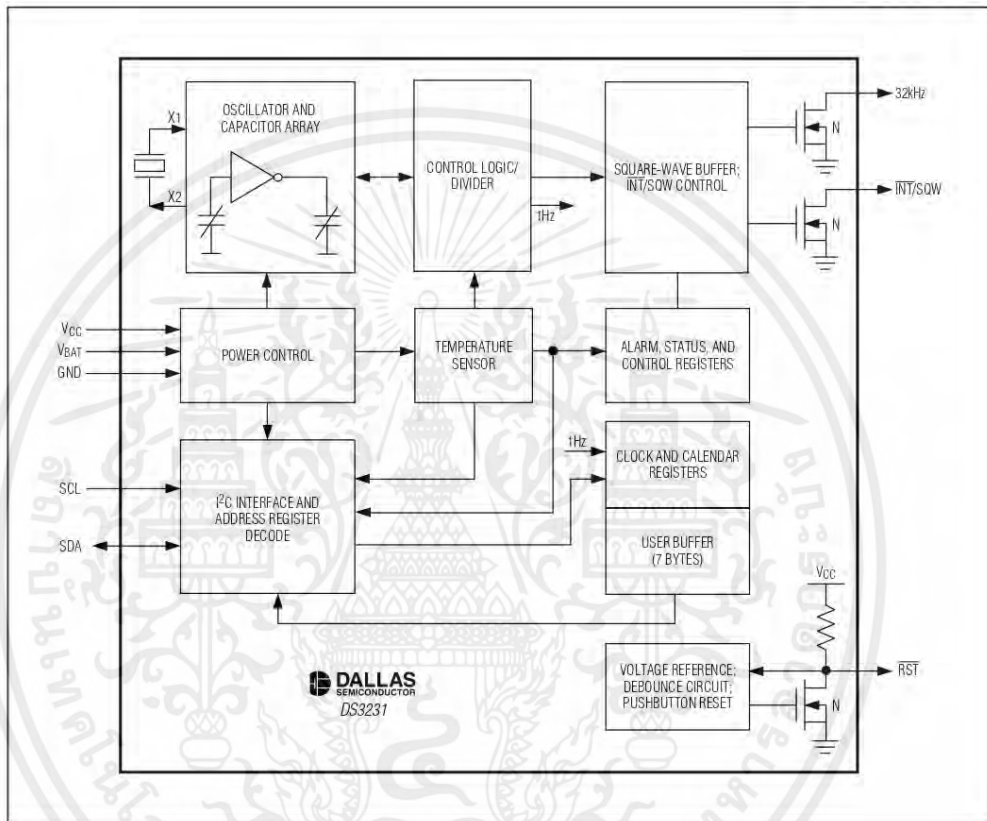
- Note 2:** Limits at -40°C are guaranteed by design and not production tested.
- Note 3:** All voltages are referenced to ground.
- Note 4:** I_{CCA}—SCL clocking at max frequency = 400kHz.
- Note 5:** Current is the averaged input current, which includes the temperature conversion current.
- Note 6:** The RST pin has an internal 50kΩ (nominal) pullup resistor to V_{CC}.
- Note 7:** After this period, the first clock pulse is generated.
- Note 8:** A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V_{IH(MIN)} of the SCL signal) to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
- Note 9:** The maximum t_{HD,DAT} needs only to be met if the device does not stretch the low period (t_{LOW}) of the SCL signal.
- Note 10:** A fast-mode device can be used in a standard-mode system, but the requirement t_{SU,DAT} ≥ 250ns must then be met. This is automatically the case if the device does not stretch the low period of the SCL signal. If such a device does stretch the low period of the SCL signal, it must output the next data bit to the SDA line t_{R(MAX)} + t_{SU,DAT} = 1000 + 250 = 1250ns before the SCL line is released.
- Note 11:** C_B—total capacitance of one bus line in pF.
- Note 12:** The parameter t_{OSF} is the period of time the oscillator must be stopped for the OSF flag to be set over the voltage range of 0.0V ≤ V_{CC} ≤ V_{CC(MAX)} and 2.3V ≤ V_{BAT} ≤ 3.4V.
- Note 13:** This delay applies only if the oscillator is enabled and running. If the $\overline{\text{EQOSC}}$ bit is a 1, t_{REC} is bypassed and RST immediately goes high. The state of RST does not affect the I²C interface, RTC, or TCXO.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

DS3231

Figure 1. Timekeeping Registers

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE
00h	0	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Hours	1–12 + AM/PM 00–23
03h	0	0	0	0	0	Day			Day	1–7
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	Century	0	0	10 Month	Month				Month/ Century	01–12 + Century
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	A1M1	10 Seconds			Seconds				Alarm 1 Seconds	00–59
08h	A1M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 1 Minutes	00–59
09h	A1M3	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Alarm 1 Hours	1–12 + AM/PM 00–23
0Ah	A1M4	DY/DT	10 Date		Day				Alarm 1 Day	1–7
0Bh	A2M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 2 Minutes	00–59
0Ch	A2M3	12/24	AM/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Alarm 2 Hours	1–12 + AM/PM 00–23
0Dh	A2M4	DY/DT	10 Date		Day				Alarm 2 Day	1–7
0Eh	EOSC	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE	Control	—
0Fh	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Control/Status	—
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	—
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MSB of Temp	—
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	LSB of Temp	—

Note: Unless otherwise specified, the registers' state is not defined when power is first applied.

Address Map

Figure 1 shows the address map for the DS3231 timekeeping registers. During a multibyte access, when the address pointer reaches the end of the register space (12h), it wraps around to location 00h. On an I²C START or address pointer incrementing to location 00h, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to reread the registers in case the main registers update during a read.

I²C Interface

The I²C interface is accessible whenever either V_{CC} or V_{BAT} is at a valid level. If a microcontroller connected to the DS3231 resets because of a loss of V_{CC} or other

event, it is possible that the microcontroller and DS3231 I²C communications could become unsynchronized, e.g., the microcontroller resets while reading data from the DS3231. When the microcontroller resets, the DS3231 I²C interface may be placed into a known state by toggling SCL until SDA is observed to be at a high level. At that point the microcontroller should pull SDA low while SCL is high, generating a START condition.

Clock and Calendar

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. Figure 1 illustrates the RTC registers. The time and calendar data are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

the binary-coded decimal (BCD) format. The DS3231 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic-high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the 20-hour bit (20–23 hours). The century bit (bit 7 of the month register) is toggled when the years register overflows from 99 to 00.

The day-of-week register increments at midnight. Values that correspond to the day of week are user-defined but must be sequential (i.e., if 1 equals Sunday, then 2 equals Monday, and so on). Illogical time and date entries result in undefined operation.

When reading or writing the time and date registers, secondary (user) buffers are used to prevent errors when the internal registers update. When reading the time and date registers, the user buffers are synchronized to the internal registers on any START and when the register pointer rolls over to zero. The time information is read from these secondary registers, while the clock continues to run. This eliminates the need to reread the registers in case the main registers update during a read.

The countdown chain is reset whenever the seconds register is written. Write transfers occur on the acknowledge from the DS3231. Once the countdown chain is reset, to avoid rollover issues the remaining time and date registers must be written within 1 second. The 1-Hz square-wave output, if enabled, transitions high 500ms after the seconds data transfer, provided the oscillator is already running.

Alarms

The DS3231 contains two time-of-day/date alarms. Alarm 1 can be set by writing to registers 07h to 0Ah. Alarm 2 can be set by writing to registers 0Bh to 0Dh. The alarms can be programmed (by the alarm enable and INTCN bits of the control register) to activate the INT/SQW output on an alarm match condition. Bit 7 of each of the time-of-day/date alarm registers are mask bits (Table 2). When all the mask bits for each alarm are logic 0, an alarm only occurs when the values in the timekeeping registers match the corresponding values stored in the time-of-day/date alarm registers. The alarms can also be programmed to repeat every second, minute, hour, day, or date. Table 2 shows the possible settings. Configurations not listed in the table will result in illogical operation.


The DY/DT bits (bit 6 of the alarm day/date registers) control whether the alarm value stored in bits 0 to 5 of that register reflects the day of the week or the date of the month. If DY/DT is written to logic 0, the alarm will be the result of a match with date of the month. If DY/DT is written to logic 1, the alarm will be the result of a match with day of the week.

When the RTC register values match alarm register settings, the corresponding Alarm Flag 'A1F' or 'A2F' bit is set to logic 1. If the corresponding Alarm Interrupt Enable 'A1IE' or 'A2IE' is also set to logic 1 and the INTCN bit is set to logic 1, the alarm condition will activate the INT/SQW signal. The match is tested on the once-per-second update of the time and date registers.

Table 2. Alarm Mask Bits

DY/DT	ALARM 1 REGISTER MASK BITS (BIT 7)				ALARM RATE
	A1M4	A1M3	A1M2	A1M1	
X	1	1	1	1	Alarm once per second
X	1	1	1	0	Alarm when seconds match
X	1	1	0	0	Alarm when minutes and seconds match
X	1	0	0	0	Alarm when hours, minutes, and seconds match
0	0	0	0	0	Alarm when date, hours, minutes, and seconds match
1	0	0	0	0	Alarm when day, hours, minutes, and seconds match
DY/DT	ALARM 2 REGISTER MASK BITS (BIT 7)			ALARM RATE	
	A2M4	A2M3	A2M2		
X	1	1	1	Alarm once per minute (00 seconds of every minute)	
X	1	1	0	Alarm when minutes match	
X	1	0	0	Alarm when hours and minutes match	
0	0	0	0	Alarm when date, hours, and minutes match	
1	0	0	0	Alarm when day, hours, and minutes match	

SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
---	---------------	------------



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

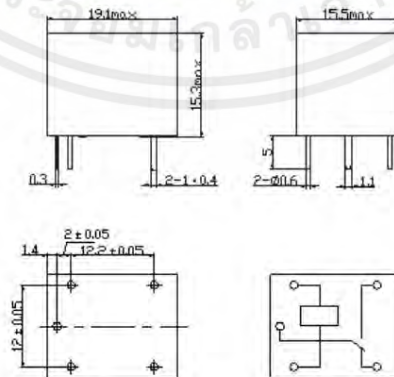
3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03, 05, 06, 09, 12, 24, 48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B
				C:1 form C

4. RATING

CCC FILE NUMBER: CQC03001003731 10A/250VDC
 UL/CUL FILE NUMBER: E167996 10A/125VAC 28VDC
 TUV FILE NUMBER: R 50056114 10A/250VAC 30VDC

5. DIMENSION_(unit:mm) DRILLING_(unit:mm) WIRING DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

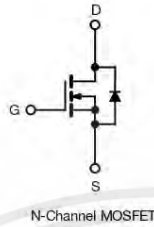


www.vishay.com

IRF740

Vishay Siliconix

Power MOSFET



FEATURES

- Dynamic dV/dt rating
- Repetitive avalanche rated
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple drive requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



Note

* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details

DESCRIPTION

Third generation power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness. The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

PRODUCT SUMMARY	
V _{DS} (V)	400
R _{DS(on)} (Ω)	V _{GS} = 10 V 0.55
Q _g max. (nC)	63
Q _{gs} (nC)	9.0
Q _{gd} (nC)	32
Configuration	Single

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF740PbF
Lead (Pb)-free and halogen-free	IRF740PbF-BE3

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _C = 25 °C, unless otherwise noted)			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-source voltage	V _{DS}	400	V
Gate-source voltage	V _{GS}	± 20	
Continuous drain current	V _{GS} at 10 V	T _C = 25 °C	10
		T _C = 100 °C	6.3
Pulsed drain current ^a	I _{DM}	40	A
Linear derating factor		1.0	W/°C
Single pulse avalanche energy ^b	E _{AS}	520	mJ
Repetitive avalanche current ^a	I _{AR}	10	A
Repetitive avalanche energy ^a	E _{AR}	13	mJ
Maximum power dissipation	P _D	125	W
Peak diode recovery dV/dt ^c	dV/dt	4.0	V/ns
Operating junction and storage temperature range	T _J , T _{stg}	-55 to +150	°C
Soldering recommendations (peak temperature) ^d	For 10 s	300	
Mounting torque	6-32 or M3 screw		10
			1.1

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11)
- V_{DD} = 50 V, starting T_J = 25 °C, L = 9.1 mH, R_θ = 25 Ω, I_{AS} = 10 A (see fig. 12)
- I_{SD} ≤ 10 A, di/dt ≤ 120 A/μs, V_{DD} ≤ V_{DS}, T_J ≤ 150 °C
- 1.6 mm from case

S21-0853-Rev. D, 16-Aug-2021

1

Document Number: 91054

For technical questions, contact: hvm@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.vishay.com

IRF740

Vishay Siliconix

THERMAL RESISTANCE RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum junction-to-ambient	$R_{\theta JA}$	-	62	°C/W
Case-to-sink, flat, greased surface	$R_{\theta CS}$	0.50	-	
Maximum junction-to-case (drain)	$R_{\theta JC}$	-	1.0	

SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-source breakdown voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	400	-	-	V
V_{DS} temperature coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.49	-	V/ $^\circ\text{C}$
Gate-source threshold voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Gate-source leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero gate voltage drain current	I_{DSS}	$V_{DS} = 400\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 320\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	250	
Drain-source on-state resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 6.0\text{ A}^b$	-	-	0.55	Ω
Forward transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 50\text{ V}, I_D = 6.0\text{ A}^b$	5.8	-	-	S
Dynamic						
Input capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	1400	-	pF
Output capacitance	C_{oss}		-	330	-	
Reverse transfer capacitance	C_{rss}		-	120	-	
Total gate charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 10\text{ A}, V_{DS} = 320\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	63	nC
Gate-source charge	Q_{gs}		-	-	9.0	
Gate-drain charge	Q_{gd}		-	-	32	
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 200\text{ V}, I_D = 10\text{ A}, R_g = 9.1\text{ }\Omega, R_D = 20\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b	-	14	-	ns
Rise time	t_r		-	27	-	
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$		-	50	-	
Fall time	t_f		-	24	-	
Gate input resistance	R_g		$f = 1\text{ MHz}$, open drain	0.8	-	
Internal drain inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact	-	4.5	-	nH
Internal source inductance	L_S		-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous source-drain diode current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode	-	-	10	A
Pulsed diode forward current ^a	I_{SM}		-	-	40	
Body diode voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 10\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	2.0	V
Body diode reverse recovery time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = 10\text{ A}, dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	370	790	ns
Body diode reverse recovery charge	Q_{rr}		-	3.8	8.2	μC
Forward turn-on time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11)
 b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล

นายธีรวุฒิ เพชรรัักษ์

วัน เดือน ปีเกิด

4 เมษายน 2544

ที่อยู่

60/1 หมู่ที่ 4 ตำบลบางพระเหนือ อำเภอละอุ่น
จังหวัดระนอง รหัสไปรษณีย์ 85130

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนพิชัยรัตนาคาร จังหวัดระนอง

Tel: 065-2815653

Email: tigertigerxyz.11@gmail.com



ชื่อ-นามสกุล

นางสาวนิรัชพร ดัชฎยาวัตร

วัน เดือน ปีเกิด

19 สิงหาคม 2543

ที่อยู่

88 หมู่ที่ 15 ตำบลไทยสามัคคี อำเภอหนองหงส์
จังหวัดบุรีรัมย์ รหัสไปรษณีย์ 31240

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จาก โรงเรียนปะทิววิทยา จังหวัดชุมพร

Tel: 093-7284080

Email: Niratchaphon19@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้